



Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden

Een systeemanalyse

G.L. Velthof, M.H. de Haan, R.L.M. Schils, G.J. Monteny,
A. van den Pol-van Dasselaar & P.J. Kuikman



Alterra-rapport 114.2, ROB-bemesting

Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden

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

- 114.1 Beperking van lachgasemissie uit beweide 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

Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden

Een systeemanalyse

G.L. Velthof¹

M.H. de Haan²

R.L.M. Schils²

G.J. Monteny³

A. van den Polvan Dasselaar²

P.J. Kuikman¹

¹ Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen

² Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad

³ IMAG, Instituut voor Milieu- en Agritechniek, Wageningen

Alterra-rapport 114-2

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

REFERAAT

Velthof, G.L., M.H. de Haan, R.L.M. Schils, G.J. Monteny, A. van den Pol-van Dasselaar en P.J. Kuikman, 2000. *Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden; een systeemanalyse*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 114-2. 68 blz. 3 fig.; 11 tab.; 44 ref.

In het kader van het Reductie Plan Overige Broeikasgassen project 1.2 getiteld “Vermindering van de lachgasemissie door aanpassingen in strategieën en technieken van dierlijke mest en kunstmest”, worden de mogelijkheden bestudeerd voor het verminderen van de lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden. In een deskstudie is een beschrijving gegeven van de huidige bemestingsstrategieën, is de lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden gekwantificeerd en zijn de meest perspectiefvolle maatregelen om deze lachgasemissie te verminderen aangegeven. De lachgasemissie uit bemeste gronden varieert sterk, waarin factoren als soort meststof, stikstofgift, tijdstip van toediening, bodemtype, weersomstandigheden en gewassoort een rol spelen. De gemiddelde emissiefactor voor stikstofmeststoffen is 1,25 procent van de toegediende hoeveelheid stikstof. Perspectiefvolle maatregelen zijn het verlagen van de stikstofgift, het opvolgen en verfijnen van de bemestingsadviezen, het delen van giften, een efficiëntere timing en toediening, het telen van wintergewassen en het verlagen van het stikstofgehalte van mest door aanpassing van rantsoen of door mestbehandeling. Een reductie van 0,1 tot 1,5 Mton CO₂-equivalenten in Nederland ten op zichte van 1990 lijkt mogelijk met een pakket aan bemestingsmaatregelen.

Trefwoorden: akkerbouw, bemesting, broeikasgas, grasland, kunstmest, lachgas, mest, stikstof

ISSN 1566-7197

Opdrachtnummer NOVEM: 374299/0020

Dit rapport kunt u bestellen door NLG 40,00 over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 114-2. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 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

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.

Alterra is de fusie tussen het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN) en het Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC). De fusie is ingegaan op 1 januari 2000.

Inhoud

Samenvatting en conclusies	7
1 Inleiding	11
2 Beschrijving van het systeem	13
2.1 Arealen in Nederland	13
2.2 Bemestingsadviezen	13
2.2.1 Adviezen voor grasland	13
2.2.2 Adviezen voor voedergewassen	14
2.2.3 Milieukundig bemestingsadviezen	14
2.2.4 Adviezen voor akkerbouwgewassen	14
2.3 Soorten meststoffen en samenstelling	15
2.3.1 Kunstmest	15
2.3.2 Dierlijke mest	15
2.4 Toedieningstechnieken	16
2.5 Stikstofstromen	18
3 Kwantificering van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden	19
3.1 Literatuurstudie	19
3.2 Emissiefactoren	20
3.3 Schatting van N ₂ O-emissie uit bemeste landbouwgronden in Nederland	21
4 Sturende factoren	23
4.1 Chemische, fysische en biologische factoren	23
4.2 Sociaal –economische factoren	23
5 Mogelijke maatregelen om emissie te beperken	27
5.1 Lachgasemissie uit drie melkveehouderijen	27
5.1.1 Autonome ontwikkeling	27
5.1.2 Bemestingsmaatregelen	29
5.2 Kritische handelingen en momenten	31
5.3 Specifieke bemestingsmaatregelen	31
6 Kennishiaten en vervolgonderzoek	35
Literatuur	37

Aanhangsels

1. Stikstofadviezen en –overschotten bij akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten	41
2. Literatuurstudie naar N ₂ O-emissie uit bemeste landbouwgronden	43
3. Lachgasemissie uit drie typen melkveehouderijen	47
4. Maatregelen om de lachgasemissie te verminderen	55

Samenvatting en conclusies

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

In dit rapport wordt de eerste fase van het project weergegeven: de systeemanalyse. De systeemanalyse heeft de volgende doelstellingen:

- het beschrijven van de arealen aan gewassen, bemestingsadviezen, meststoffen en toedieningstechnieken;
- het kwantificeren van de lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden op basis van literatuurgegevens;
- het beschrijven van de sturende factoren van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden;
- het identificeren en beschrijven van de meest perspectiefvolle maatregelen.

De belangrijkste resultaten uit de systeemanalyse zijn:

- De geschatte emissie van lachgas in 1990 als gevolg van bemesting bedraagt 4.3 Mton CO₂ 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 verplicht. Toegepaste technieken op grasland zijn sleepvoeten, zodebemesten, sleufkouter en mestinjectie en op bouwland injecteren en het direct onderwerken.
- De lachgasemissies uit bemeste gronden varieert sterk, waarin factoren als soort meststof, stikstofgift, tijdstip van toediening, bodemtype, weersomstandigheden en gewassoort een rol spelen. De gemiddelde emissiefactor voor stikstofmeststoffen (kunstmest en dierlijke mest) over alle proeven van minimaal één jaar is

1,25 procent. Dit is ook de default emissiefactor¹ van de Intergovernmental Panel of Climate Change.

- 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 een hogere emissiefactor voor geïnjecteerde dierlijke mest dan voor kunstmest.
- De lachgasemissie uit dierlijke mest, die ammoniakemissie-arm is toegediend, is waarschijnlijk hoger dan uit oppervlakkig toegediende dierlijke mest. De berekende lachgasemissie uit de Nederlandse landbouw is daardoor lager in 1990 (het referentie jaar in kader van het klimaatverdrag), toen de mest oppervlakkig werd toegediend, dan eind jaren '90 waarin de mest emissie-arm werd toegediend.

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

Maatregel	Geschatte effectiviteit, Mton CO ₂ -equivalenten t.o.v. 1990	Kosten-efficiëntie	Controleerbaarheid	Handhaafbaarheid	Risico op afwenteling	Draagvlak bij boeren ¹	Kennis-hiaten
25% minder N via kunstmest en 25% via dierlijke mest ²	1,37	Groot	Goed via MINAS	via MINAS	Kunstmest: klein dierlijke mest; wel	redelijk	Beperkt
25% minder N via kunstmest ²	0,82	Groot	Goed via MINAS	via MINAS	Klein	groot	beperk
25% minder N via dierlijke mest ²	0,43	Neutraal	Goed via MINAS	via MINAS	Aanwezig	redelijk	beperkt
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
efficiëntere toedieningstechnieken	0,29	Neutraal-klein	Goed	redelijk	Klein	redelijk	groot
geen toediening kunstmest en dierlijke mest op zelfde perceel	0,07	Klein	Moeilijk	moeilijk	Klein	klein	groot
geen toediening nitraat kunstmest aan natte gronden	0,23	Neutraal	Moeilijk	moeilijk	Klein	redelijk	beperkt
wintergewassen	0,10	Groot	Redelijk/Moeilijk	redelijk / moeilijk	Klein	redelijk	groot
nitrificatieremmers bij kunstmest en mest	0,31	Klein	Moeilijk	moeilijk	Aanwezig	klein	groot

¹ effectiviteit ten op zichte van 1990 zonder rekening te houden met mogelijke autonome ontwikkelingen. Autonome ontwikkelingen leiden naar schatting tot een emissievermindering uit bemeste landbouwgronden met 0,5-1,7 Mton CO₂-equivalenten per jaar.

² een lagere stikstofbemesting leidt tot lagere lachgasemissie. 25% is als voorbeeld genomen

¹ 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.

- Er zijn een groot aantal bemestingsmaatregelen te nemen die leiden tot een verminderde lachgasemissie. In onderstaande tabel wordt een globale schatting gegeven van de effecten van potentiële maatregelen. De geschatte effectiviteit is onzeker en moeten met experimenteel onderzoek worden onderbouwd.
- Er moet worden opgemerkt dat indien verschillende maatregelen worden gecombineerd, de totale reductie minder groot is dan de som van reducties van de afzonderlijke maatregelen. Er treden namelijk interacties op.
- Het Mineralen Aangifte Systeem (MINAS) heeft een groot effect op het gebruik van stikstof in de landbouw en met name op de stikstofbemesting. Voor het ROB is het belangrijk om vast te stellen welke maatregelen gunstig voor MINAS én daarbij leiden tot een grote vermindering van de lachgasemissie. Het draagvlak van maatregelen wordt versterkt indien de maatregel gunstig is in kader van MINAS.
- Het risico op 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 duidelijk risico op afwenteling, omdat de ammoniak- en methaanemissie dan toenemen.

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 melkveehouderijen is groot is: een reductie van 0,1 tot 1,5 Mton CO₂-equivalenten ten op zichte van 1990 lijkt mogelijk met een pakket van bemestingsmaatregelen. Een deel van de voorgesteld 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. Daarnaast heeft bemesting ook een effect op lachgasemissies uit gewasresten en beweide grasland, zodat de totale vermindering groter is.

1 Inleiding

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

In dit rapport wordt de eerste fase van het project weergegeven: de systeemanalyse. De systeemanalyse heeft de volgende doelstellingen:

- Het beschrijven van het systeem. Welke gewassen (inclusief grasland) worden in Nederland geteeld, wat zijn arealen, welke meststoffen worden toegediend, wat is de samenstelling, hoe groot zijn de giften en welke stikstofstromen in het systeem zijn belangrijk voor de lachgasemissie.
- Het kwantificeren van de lachgasemissie. De lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden wordt gekwantificeerd voor 1990 (referentiejaar in kader klimaatverdrag) en 1998/99 aan de hand van de literatuur, de IPCC-methode en de door Nederland gebruikte methode.
- Het beschrijven van de sturende factoren van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden, waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen chemische, fysische en biologische factoren en sociaal-economische factoren.
- Het aangeven van mogelijke maatregelen, waarbij elke maatregel op de volgende aspecten wordt geëvalueerd: i) effectiviteit (potentiële reductie van N₂O-emissie), ii) kostenefficiëntie, iii) controleerbaarheid van de gestelde emissiereductie, iv) handhaafbaarheid van de maatregel, v) afwentelingsmechanismen via andere verliezen (nitraat en ammoniak) en via andere broeikasgasemissies (TEWI-benadering), vi) draagvlak bij boeren en vii) kennishiaten. De meest perspectiefvolle maatregelen worden geselecteerd.
- Het aangeven van kennishiaten. Welke kennis en vervolgonderzoek is nodig om maatregelen op efficiënte wijze in de praktijk te kunnen implementeren.

2 Beschrijving van het systeem

In dit hoofdstuk wordt een korte beschrijving gegeven van de arealen van gewassen in Nederland, bemestingsadviezen, bemesting in de praktijk, soort en samenstelling van meststoffen en toedieningstechnieken. Doel van dit hoofdstuk is het beschrijven van het systeem ‘bemeste landbouwgronden in Nederland’. De gegevens uit dit hoofdstuk wordt in de andere hoofdstukken gebruikt voor het berekenen van lachgasemissies en het opstellen van maatregelen die leiden tot een vermindering van de door bemesting veroorzaakte lachgasemissie.

2.1 Arealen in Nederland

Grasland is het belangrijkste gewas in Nederland met ruim 1 miljoen ha; dit areaal nam iets af tussen 1990 en 1999 (tabel 1). Het areaal snijmaïs nam iets toe tussen 1990 en 1999 en totale areaal aan akkerbouwgewassen, vollegrondsgroenten en overige voedergewassen nam iets af in deze periode. Het grootste oppervlak aan akkerbouwgewassen wordt in Nederland ingenomen door aardappelen (waarvan 48 procent consumptie-, 30 procent zetmeel- en 22 pootaardappelen), granen (waarvan ongeveer 72 procent uit tarwe) en suikerbieten.

Tabel 1. Arealen in ha van de belangrijkste gewassen in Nederland in 1990 en 1999 (CBS, 1999).

Gewas	1990	1998-1999
Grasland	1.096.496	1.031.771
Snijmaïs	201.811	230.746
Akkerbouwgewassen, vollegrondsgroentegewassen en overige voedergewassen	628.829	602.179

2.2 Bemestingsadviezen

2.2.1 Adviezen voor grasland

Het bemestingsadvies voor stikstof is gebaseerd op het marginale opbrengsteffect: de opbrengstverhoging die kan worden bereikt met de laatste kg stikstof die wordt gestrooid. Het marginale effect wordt vooral bepaald door de prijzen van kunstmest en ruwvoer. In de afgelopen tien jaar zijn de bemestingsadviezen gebaseerd op een marginaal effect van 7,5 kg droge stof per kg stikstof (Vellinga, 1998).

In de afgelopen tien jaar is het bemestingsadvies een aantal keer aangepast, de laatste maal in 1998 (PR, 1998). De aanpassingen hebben vooral betrekking op verfijning naar stikstofleverend vermogen van de bodem (Hassink, 1996). Het nieuwe bemestingsadvies kent een zogenaamde NLV (stikstofleverend vermogen) variërend van 50 kg ha⁻¹ jaar⁻¹, voor de zeer humusarme gronden tot 300 kg ha⁻¹ jaar⁻¹ voor de goed ontwaterde veen of klei-op-veen gronden. De bijbehorende stikstofjaargiften variëren van 395 tot 230 kg ha⁻¹. In het voorjaar wordt geadviseerd om de

stikstofbemesting uit te voeren vanaf een temperatuursom² van 180 graden. In de praktijk betekent dit dat de voorjaarsbemesting tussen midden februari en begin april wordt uitgevoerd. In het najaar wordt geadviseerd om geen kunstmest meer toe te dienen na 15 september en geen dierlijke mest meer toe te dienen na 15 augustus. In de praktijk is de stikstofbemesting vaak hoger dan het bemestingsadvies.

De bemestingsadviezen voor stikstof gelden voor snelwerkende kunstmeststoffen. Bij gebruik van dierlijke mest vindt een omrekening naar kunstmestequivalenten plaats met behulp van de zogenaamde werkingscoëfficiënt voor stikstof (zie paragraaf 2.3.2).

2.2.2 Adviezen voor voedergewassen

Maïs is het meest geteelde voedergewas, met daarnaast enige teelt van luzerne, voederbieten en granen (gehele plant silage). Voor de meeste voedergewassen is het advies gebaseerd op de voorraad minerale stikstof in de bodem in het voorjaar. Voor maïs bestaat sinds 1992 een stikstofbemestingsadvies op basis van grondonderzoek in maart. De geadviseerde stikstofgift bij inzaai bedraagt 180 kg ha^{-1} minus de hoeveelheid minerale stikstof in de 0-30 cm laag. Voor voederbieten en gehele plant silage (GPS) is het stikstofadvies ook gebaseerd op de voorraad minerale stikstof in het voorjaar. Luzerne is een vlinderbloemige en hoeft niet met stikstof bemest te worden. Op maïsland wordt veel dierlijke mest toegediend, waardoor de stikstofgift aan maïsland vaak hoger is dan de stikstofadviezen.

2.2.3 Milieukundig bemestingsadviezen

In de afgelopen jaren zijn er voor grasland en veel ander gewassen milieukundige criteria opgesteld voor een verantwoorde stikstofbemesting. De milieukundige criteria zijn bijvoorbeeld het stikstofoverschot, de hoeveelheid minerale bodemstikstof in het najaar of het nitraatgehalte in het bovenste grondwater. De daarbij geadviseerde stikstofgiftten zijn lager dan de standaardadviezen.

2.2.4 Adviezen voor akkerbouwgewassen

Voor de belangrijkste akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten zijn gewasgerichte stikstofbemestingsadviezen afgeleid, waarin een stikstofgift wordt geadviseerd die afhankelijk is van het gewas, de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem in het voorjaar en de bodemtype (Anon., 1998b). De bemestingsadviezen zijn afgeleid voor een maximale financiële opbrengst, waarbij rekening wordt gehouden met de meststofkosten en de kwaliteit van het oogstproduct. Met de stikstoflevering van gewasresten wordt in beperkte mate rekening gehouden. Alleen bij bietenblad,

² De temperatuursom is de som van de positieve gemiddelden van de minimum en maximum dagtemperatuur, geteld vanaf 1 januari.

gescheurd grasland en groenbemesters wordt met een bepaalde stikstofnalevering rekening gehouden. In aanhangsel 1 zijn de stikstofadviezen voor de belangrijkste gewassen en het stikstofoverschot (=aanvoer via meststoffen minus de afvoer via oogstproducten) bij het advies weergegeven. De stikstofadviezen variëren tussen 0 en 200 kg N ha⁻¹. Het gemiddelde stikstofoverschot bij advies varieert van een negatief overschot voor vlinderbloemigen tot een overschot hoger dan 150 kg N ha⁻¹ voor bepaalde groenten.

In de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt wordt kunstmest volgens het stikstofadvies (of iets hoger) toegediend en wordt daarnaast dierlijke mest gebruikt. De stikstofgiften aan akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten vaak hoger dan de geadviseerde stikstofgiften (Postma & Van Erp, 1998; Schröder et al., 1996).

2.3 Soorten meststoffen en samenstelling

2.3.1 Kunstmest

Stikstof wordt vooral toegediend in de vorm van meststoffen die enkel stikstof bevatten (Tabel 2). Ongeveer 75 % van de kunstmeststikstof wordt toegediend in de vorm van ammoniumnitraat. De totale binnenlandse afzet is in de jaren '90 ongeveer gelijk gebleven.

2.3.2 Dierlijke mest

In 1990 is totaal 539 miljoen kg N via dierlijke mest uitgescheiden (tabel 3). De totale stikstofuitscheiding is in 1998 onveranderd gebleven. Rundvee en varkens nemen respectievelijk ongeveer 75 en 20 % van de mestuitscheiding voor hun rekening. In 1997 is ongeveer 33.561 miljoen kg rundveemest in de stal uitgescheiden en vervolgens toegediend op hoofdzakelijk grasland. Ongeveer 18.010 miljoen kg is uitgescheiden tijdens beweiding van. Varkensmest is in haar geheel in de stal uitgescheiden en grotendeels op maïs toegediend en eventueel op akker- en grasland.

Tabel 2. Samenstelling en binnenlandse afzet van de belangrijkste stikstofhoudende kunstmeststoffen (LEI, 1999; NMI, 1995).

Meststof	Stikstofgehalte (%)	Samenstelling	Binnenlandse afzet (1000 kg N)	
			1990/1991	1996/1997
Kalkammonsalpeter	27	Ammoniumnitraat	250.163	279.843
Stikstofmagnesia	22	Ammoniumnitraat	48.661	34.856
Ammoniumsulfaat	20	Ammoniumsulfaat	6.416	
Kalksalpeter	15	Calciumnitraat	4.344	
Ureum	44	Ureum	2.568	
Chilisalpeter	15	Natriumnitraat	1.679	
Vloeibare ammoniak	80	Ammoniak	1.298	
Mengmeststoffen (NPK)		Ammonium/Nitraat	80.654	
Overige			4.285	90.601
Totaal			400.068	405.300

De stikstofbenutting van dierlijke mest wordt uitgedrukt als een percentage van de stikstofbenutting van kalkammonsalpeter, de zogenaamde stikstofwerking. De stikstofwerking wordt apart weergegeven voor het organische en het minerale deel van de stikstof.

Voor grasland bedraagt bij voorjaarstoediening de werking van organische stikstof 16 tot 28 procent en die van de minerale stikstof 58 tot 92 procent voor dunne rundvee- en varkensmest. De werking neemt toe naarmate de mest dieper in de zode is toegediend. De totale stikstofwerking is lager naarmate het later in het jaar toegediend wordt. Voor rundveemest die gedurende de beweiding wordt uitgescheiden wordt een stikstofwerking van nul aangehouden.

Bij voorjaarstoediening op maïsland en bouwland is de stikstofwerking van de organische stikstof van dunne rundermest 30 procent en van dunne varkens- en kippenmest 45 procent. De stikstofwerking van minerale stikstof varieert voor alle dunne mestsoorten van 75 tot 90 procent. Bij najaartoediening is de stikstofwerking van de meeste dierlijke mest lager dan 20 procent.

Tabel 3 Samenstelling en productie van de belangrijkste soorten dierlijke mest (LEI; PR, 1998)

Diersoort	Mestsoort	Gehalte, kg ton ⁻¹		Mestproductie, 10 ⁹ kg	
		Ammonium-N	Totaal-N	1990	1997
Rundvee	Dunne mest (totaal)	2,6	4,9	60,85	51,57
	w.o. weide			32,92	27,63
	w.v. opslag				9,62
	w.v. weide				18,01
	Vaste mest	1,6	6,9		1,02
Vleesstieren	Dunne mest	2,6	4,9	2,65	1,89
Vleeskalveren	Dunne mest	2,4	3,0	1,93	2,62
Schapen en geiten	Vaste mest (stal)	2,0	8,6	0,31	1,70
	Dunne mest (weide)			1,58	1,39
Mestvarkens		4,2	7,2	9,13	7,85
Fokvarkens		2,5	4,2	7,22	7,22
Pluimvee	Dunne mest	5,8	10,2	1,49	0,97
	Vaste mest	2,4	24,1	0,86	1,13
Totaal				86,02	76,34

¹ gehalte in de bewaarde mest (zonder de stikstofverliezen tijdens opslag)

2.4 Toedieningstechnieken

Sinds 1991-1994 is emissie-arme mesttoediening op grasland verplicht. Op bouwland was een verplichting tot onderwerken van mest sinds 1988 reeds van kracht. Voor toegelaten technieken is het belangrijkste principe dat het contact tussen mest en lucht zo gering mogelijk is. Dit wordt op grasland bereikt door de mest in de zode te brengen. Voor bouwland wordt dit bereikt door mest onder te werken tegelijk met of zo snel mogelijk na toediening. Hierna volgt een korte karakteristiek van de belangrijkste emissie-arme toedieningstechnieken voor dierlijke mest op gras- en bouwland.

Grasland

Bij sleepvoeten wordt de mest in smalle strookjes (afstand tussen strookjes is 15-25 cm) toegediend, waarbij gras door een voorziening zo veel mogelijk opzij geduwd wordt, zodat de mest 'op de bodem tussen het gras' gedoseerd worden. De mestgift bedraagt 10-15 m³ ha⁻¹. De besmeuring van gras met mest is beperkt.

Bij zodebemesten wordt de mest toegediend in sleufjes in de grond. De sleufdiepte is 3-5 cm en de afstand tussen sleufjes is 15-25 cm. De mestgift bedraagt 20-30 m³ ha⁻¹.

Bij mestinjectie wordt de mest toegediend in sleufjes, die daarna worden dichtgedrukt. De sleufdiepte is 15 cm en de onderlinge afstand is 50 cm. De mestgift bedraagt 30-40 m³ ha⁻¹.

Sleufkouter is een ondiepe zodebemesting en een tussenvorm van sleepvoeten en zodebemesten. De mestgift bedraagt 15-30 m³ ha⁻¹.

Sleepvoetenmachine, sleufkouter en zodebemester worden op alle grondsoorten toegepast. Op de veen- en kleigronden worden met name sleepvoeten en sleufkouter toegepast en op zandgronden zodebemesting en sleufkouter. Mestinjectie komt op grasland bijna niet meer voor in Nederland. Door de ondiepe werking vraagt de sleepvoetenmachine een beperkte trekkracht. De sleufkouter en zodebemester vragen meer trekkracht naarmate ze dieper werken. Als nadeel bij de sleufkouter en zodebemester wordt soms het open blijven staan en uitdrogen van de sleuven genoemd. Bij de sleepvoetenmachine wordt besmeuring van het gras met mest als nadeel genoemd. Vaste mest kan op grasland bovengronds verspreid worden zonder verdere emissiebeperkende maatregelen.

Bouwland

Bij injecteren wordt mest rechtstreeks via injectietanden in de grond gebracht.

Bij onderwerken wordt mest oppervlakkig toegediend en door een grondbewerkings-werktuig in een tweede werkgang bedekt met grond of intensief gemengd.

Vaste mest dient evenals dunne mest zo snel mogelijk ondergewerkt te worden.

Tabel 4. Gemeten vervluchtigingspercentage (VP als % van de toegediende TAN (ammonium stikstof)) bij verschillende mesttoedieningstechnieken op gras- en bouwland ontleend aan Huijsmans et al. (1997 en 1998).

Techniek	VP % TAN	Variatie in gemeten VP (min-max % TAN)	aantal metingen
Grasland			
Oppervlakkig uitrijden	67,8	27,3 - 97,7	47
Mestinjectie *	0,9	0 - 3,0	6
Zode-injectie	0,9**		
Zodebemesting	10,2	1,5 - 25,1	34
Sleepvoetenmachine	25,6	8,5 - 50,3	29
Bouwland			
Oppervlakkig uitrijden	67,6	20,3 - 100	29
Mestinjectie	9,0	0 - 39,9	9
Onderw, 2 werkgangen **	19,7	1,1 - 48,5	28

* Bij de gemeten VP is geen onderscheid gemaakt tussen mestinjectie en zode-injectie

** Direct onderwerken (tijd tussen toedienen en onderwerken geminimaliseerd)

2.5 Stikstofstromen

Grasland en een belangrijk deel van de voedergewassen maken deel uit van melkveehouderijen. De stikstofstromen naar, van, en in het grasland zijn daarom sterk gekoppeld aan het management op bedrijfsniveau en de stikstof stromen in het vee, de stallen en mestopslag. De belangrijkste stikstofverliesposten op melkveehouderijen zijn nitraatuitspoeling, denitrificatie en ammoniakvervluchtiging uit het grasland en maïsland én ammoniakvervluchtiging uit de stal en mestopslag.

In veel akkerbouw-en vollegrondsgroentebedrijven zijn geen landbouwdieren aanwezig. In deze bedrijven zijn de stikstofstromen minder complex dan die op een melkveehouderij. De belangrijkste stikstofstromen in deze bedrijven zijn de aanvoer van kunstmest en dierlijke mest en de afvoer van de oogstproducten. De belangrijkste stikstofverliesposten op akkerbouwbedrijven zijn nitraatuitspoeling, denitrificatie en ammoniakvervluchtiging (met name bij dierlijke mest) uit bouwland. Bij gecombineerde bedrijven (akkerbouw of vollegrondsgroenten gecombineerd met intensieve veehouderij) is de ammoniakvervluchtiging een grote verliespost en zal een groot deel van de geproduceerde mest op het eigen bedrijf worden gebruikt. Het risico op overmatig gebruik van dierlijke mest (en de hieraan gekoppelde stikstofverliezen via nitraatuitspoeling en denitrificatie) is bij dit type bedrijven groter dan die bij akkerbouwbedrijven zonder intensieve veehouderij.

3 Kwantificering van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de literatuur naar de lachgasemissie uit landbouwgronden en drie methodieken voor schatting van de lachgasemissie veroorzaakt door bemesting. De totale lachgasemissie in Nederland uit bemeste gronden in 1990 (referentiejaar in kader Klimaatverdrag) en 1998 wordt gekwantificeerd met behulp van de drie methodieken, waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen kunstmest en dierlijke mest.

3.1 Literatuurstudie

De belangrijkste conclusies uit de literatuurstudie zijn (aanhangel 2):

- er zijn grote variaties in lachgasemissies uit bemeste gronden, waarin factoren als soort meststof, stikstofgift, tijdstip van toediening, bodemtype, weersomstandigheden en gewassoort een rol spelen.
- de gemiddelde emissiefactor voor stikstofmeststoffen (kunstmest en dierlijke mesten) over alle proeven van minimaal één jaar is 1,25 procent. Dit is ook de default emissiefactor van de IPCC.
- onder natte omstandigheden op grasland is de lachgasemissie uit meststoffen met alleen ammonium veel lager (meer dan een factor 10) dan die uit nitraathoudende meststoffen. Dit verschil biedt mogelijkheden voor emissie-beperkende maatregelen.
- uit veel studies blijkt dat de lachgasemissie uit aan landbouwgronden dierlijke mest (veel) lager is dan 1 procent van toegediende stikstof. Dit geeft aan dat lachgasemissie uit dierlijke mest lager is dan die uit nitraathoudende kunstmest (gemiddeld emissiefactor: 1,25 procent).
- het binnen enkele weken toedienen van dierlijke mest en een nitraathoudende meststof op hetzelfde perceel leidt tot een hogere lachgasemissie dan alleen toediening van een nitraathoudende kunstmest. De interactie tussen het nitraat uit de kunstmest en de gemakkelijk afbreekbare organische stof uit organische stof speelt hierbij een rol.
- er zijn slechts enkele studies naar de effecten van toedieningsmethoden van dierlijke mest op de lachgasemissie; er is geen duidelijk effect van toedieningstechniek op de lachgasemissie.
- er zijn geen studies uitgevoerd naar de effecten van toedieningstechnieken en bemestingsstrategieën met kunstmest op de lachgasemissie.
- een beperkt aantal studies laat zien dat nitrificatieremmers de lachgasemissie uit ammoniumhoudende meststoffen en dierlijke mesten met meer dan 50 procent kunnen remmen.
- enkele studies geven aan dat langzaamwerkende meststoffen leiden tot een lagere lachgasemissie in vergelijking tot de gangbare en snelwerkende meststoffen.

3.2 Emissiefactoren

In tabel 5 staan de gemiddelde emissiefactoren weergegeven voor bemesting (en aan bemesting gerelateerde bronnen) volgens IPCC (Mosier et al., 1998), de door Nederland gehanteerde methode (Kroeze, 1994) en een voor Nederland aangepaste methode (Velthof & Oenema, 1997). Bij alle emissiefactoren bestaan grote onzekerheden (vaak meer dan 100 procent) en dit wordt bij alle drie methoden ook aangegeven. De aangepaste methode is gebaseerd op experimenteel onderzoek op grasland in Nederland; de emissiefactoren worden in rapport ook toegepast voor bemesting van bouwland. In alle drie methoden wordt de directe door bemesting veroorzaakte lachgasemissie berekend door de totale stikstofgift (per ha of voor het gehele land) te vermenigvuldigen met een emissiefactor in g N₂O-N per kg meststof-N. De belangrijkste verschillen tussen de methoden zijn:

- De IPCC gebruikt voor alle meststoffen dezelfde emissiefactor; hierbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen minerale gronden en veengronden. Veengronden hebben bij de IPCC een aparte emissiefactor voor achtergrondemissie uit de bodem. De Nederlandse en aangepaste methode hebben voor veen- en minerale gronden afzonderlijke emissiefactoren voor achtergrondemissie uit de bodem, kunstmest, oppervlakkig toegediende mest en geïnjecteerde dierlijke mest.
- De achtergrondemissie uit veengronden is bij de Nederlandse methode bijna een factor twee hoger dan bij de aangepaste methode.
- De emissiefactor voor dierlijke mest is een factor 2 tot 4 lager bij de aangepaste methode dan bij de methode die door Nederland wordt toegepast. Ook de IPCC-emissiefactor is hoger dan de emissiefactor voor dierlijke mest met de aangepaste methode.
- De emissiefactor voor de indirecte lachgasemissie uit nitraatuitspoeling is hoger bij de IPCC en de aangepaste methode dan bij de methode die door Nederland wordt toegepast;
- De emissiefactoren voor de stalemissie en de indirecte lachgasemissie uit ammoniakvervluchtiging is lager bij de aangepaste methode.

Tabel 5. Emissiefactoren voor lachgasemissie uit bemesting volgens IPCC (Mosier et al., 1998), volgens de Nederlands methode (Kroeze, 1994) en volgens de aangepaste methode van Velthof & Oenema (1997)¹.

N ₂ O-Bron	Bodem	N ₂ O-emissie	IPCC	Nederland	Aangepast
Bodem-achtergrond	mineraal	g N ha ⁻¹ jr ⁻¹	-	1000	900
	veen	g N ha ⁻¹ jr ⁻¹	5000	10000	5300
Kunstmest	mineraal	g N kg ⁻¹ kunstmest-N	12,5	10	10
	veen	g N kg ⁻¹ kunstmest-N	12,5	20	30
Dierlijke mest; oppervlakkig	mineraal	g N kg ⁻¹ mest-N	12,5	10	3
	veen	g N kg ⁻¹ mest-N	12,5	20	6
Dierlijke mest: emissie arm	mineraal	g N kg ⁻¹ mest-N	12,5	20	5
	veen	g N kg ⁻¹ mest-N	12,5	20	10
Nitraatuitspoeling	alle	g N kg ⁻¹ NO ₃ -N	25	10	25
Ammoniak		g N kg ⁻¹ NH ₃ -N	10	10	5
Stal/mestopslag: dunne mest		g N kg ⁻¹ mest-N	1	1	0,05
Stal/mestopslag: vaste mest		g N kg ⁻¹ mest-N	20	50	-

¹ De methode van Velthof & Oenema (1997) is afgeleid voor grasland, maar wordt voor alle landbouwgronden toegepast. Andere bronnen, zoals beweiding en biologische stikstofbinding worden niet in deze 'bemestings' tabel genoemd, maar worden wel in de verschillende methodieken onderscheiden.

3.3 Schatting van N₂O-emissie uit bemeste landbouwgronden in Nederland

In tabel 6 staan de totale lachgasemissie uit bemeste gronden in Nederland weergegeven volgens de drie in de vorige paragraaf beschreven methoden. De drie methoden geven vergelijkbare waarden voor kunstmest, maar bij dierlijke mest worden grote verschillen gevonden. In 1990 werd de meeste mest nog oppervlakkig toegediend, terwijl in 1998 alle mest emissiearm (bijvoorbeeld via zodebemesting) werd toegediend. De totale hoeveelheid toegediende mest was iets lager in 1998 dan in 1990. Het grote verschil in emissiefactor (tabel 5) tussen de in de Nederland toegepaste methode en de aangepaste methode is de oorzaak van het grote verschil in lachgasemissie uit dierlijke mest tussen beide methoden.

Tabel 6. Directe lachgasemissie (in Mton CO₂-equivalenten) uit bemeste landbouwgronden in Nederland in 1990 en 1998 volgens de IPCC-methode, de methode uit Nederland en de aangepaste methode¹.

	IPCC		Nederland		Aangepaste methode	
	1990	1998	1990	1998	1990	1998
kunstmest	2,5	2,4	2,2	2,1	2,4	2,3
dierlijke mest	2,0	2,0	1,8	3,1	0,5	0,8
totaal	4,4	4,4	4,0	5,2	2,9	3,1

¹ * de gegevens van het gebruik van kunstmest en dierlijke mest die inde berekeningen zijn gebruikt afkomstig van RIVM (Van der Hoek, pers. mededeling). Bij de gegevens van 1998 gaat het om voorlopige gegevens.

* lachgasemissie uit andere bodembronnen zoals beweiding, biologische stikstofbinding en achtergrond staan niet in tabel vermeld, maar worden wel in de verschillende methodieken onderscheiden.

* 1 g N₂O = 310 g CO₂-equivalenten

4 Sturende factoren

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste sturende factoren van N₂O-emissie uit bemeste landbouwgronden, opgesplitst naar chemische, fysische en biologische factoren (klimaat, bodem, gewassen, grondsoort en bodembeheer) en sociaal-economische factoren (wetgeving, economische aspecten, maatschappelijk aspecten en (bio)technologische aspecten). Aan de hand van drie voorbeeld melkveehouderijbedrijven wordt een verwachte autonome ontwikkeling geschetst en de effecten hiervan op de lachgasemissie.

4.1 Chemische, fysische en biologische factoren

In tabel 7 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste sturende factoren van N₂O-emissie uit bemeste landbouwgronden, opgesplitst naar factoren op het gebied van klimaat, bodem, gewassen, grondsoort en bodembeheer. De belangrijkste factoren die de N₂O-emissie uit bemeste landbouwgronden bepalen, zijn de grootte van de gift, de soort en samenstelling van de meststof, het tijdstip en methode van toediening, het vochtgehalte van de bodem (beïnvloed door neerslag, verdamping, gewas, bodemtype en waterbeheer), de temperatuur, de stikstofopname door het gewas, en een eventueel wintergewas en het volggewas.

4.2 Sociaal –economische factoren

In de nabije toekomst worden de volgende (autonome) sociaal-economische ontwikkelingen verwacht (tabel 8):

- invoeren van MINAS en een gebruiksnorm voor dierlijke mest;
- herstructurering van de varkenshouderij en het aan banden leggen van het aantal kippen;
- het aanscherpen van het beleid naar gewasbeschermingsmiddelen;
- economische ontwikkelingen: Agenda 2000 en WTO, waardoor de landbouwsubsidies en de prijzen van veel producten zullen dalen;
- het toetreden van Oost Europese landen tot de EU, waardoor een grotere concurrentie ontstaat;
- toenemende vraag naar schone productiewijzen (oa, biologische landbouw, perceelsrandenbeheer, slootkantenbeheer, beheersovereenkomsten op grasland); deze ontwikkeling wordt gestimuleerd door de overheid;
- toenemende eisen die worden gesteld aan het landelijk gebied door natuurbeheer, infrastructuur, wonen, recreatie en waterwinning, waardoor de monofunctionele landbouw zal moeten veranderen in een multifunctionele landbouw;
- mogelijk aangescherpt ammoniakbeleid, opgelegd door de EU. Dit kan leiden tot een verdere inkrimping van de veestapel.

Tabel 7. Sturende factoren voor de N₂O-emissie uit bemeste landbouwgronden: klimaat, bodem, gewassen, grondsoort en bodembeheer. De tabel is gebaseerd op algemene kennis over N₂O-emissie (b.v. Granli & Bockman, 1994) en de literatuurstudie (aanhangsel 2).

Factor		Effect op N ₂ O-emissie ¹
Klimaat	temperatuur	denitrificatie- en nitrificatieactiviteit nemen toe en de N ₂ /N ₂ O-verhouding van denitrificatie neemt af. Meestal neemt de N ₂ O-emissie toe bij toenemende temperatuur.
	neerslag	neemt toe naarmate er meer neerslag valt.
Bodem	vochtgehalte/ zuurstofgehalte	neemt toe bij toenemend vochtgehalte en afnemend zuurstofgehalte.
	organische stof	neemt toe naarmate er meer gemakkelijk afbreekbare koolstof aanwezig is.
	minerale stikstof	bemesting van een bodem met een hoge minerale stikstofgehalte, kan leiden tot een hoge N ₂ O-emissie.
	structuur/ compactie	de structuur van de bodem heeft een groot effect op het vochtgehalte en het zuurstofgehalte en daardoor op de microbiële activiteit. Enerzijds leidt een dichte structuur tot een verhoogde denitrificatieactiviteit; anderzijds leidt een dichte structuur tot een lagere N ₂ O/N ₂ -verhouding tijdens denitrificatie.
	grondsoort	de grondsoort heeft een groot effect op de waterhuishouding, zuurstofvoorziening en organische stofgehalte in de bodem. In het algemeen is de volgorde in N ₂ O-emissie: veen > klei > zand, maar soms worden hogere N ₂ O-emissies uit zand- dan uit kleigrond gevonden. De N ₂ O-emissie uit permanent grasland is meestal hoger dan uit bouwland, omdat het organische stofgehalte hoger is in grasland dan in bouwland.
Gewassen	stikstofopname	naarmate een gewas sneller stikstof opneemt, wordt het risico op N ₂ O-emissie lager. Grasland is in staat om stikstof snel op te nemen of vast te leggen. Bemesting van bouwland vindt vaak plaats voordat er een actief opnemend gewas aanwezig is.
	stikstofefficiëntie	N ₂ O-emissie neemt toe naarmate de stikstofefficiëntie van het gewas afneemt en er meer stikstof in de bodem en gewasresten achterblijven in de herfst
	gewasresten	de aanwezigheid van gemakkelijk afbreekbare gewasresten met lage C/N-verhouding kan leiden tot een verhoogde N ₂ O-emissie
Bodem-beheer	waterbeheer	een goede drainage leidt tot minder natte bodems in de herfst en tot minder N ₂ O. Verhoging van het grondwater peil en irrigatie leiden tot meer N ₂ O.
Bemesting	soort meststof	toediening van nitraathoudende meststoffen leiden meestal tot hoger N ₂ O-emissie dan meststoffen met alle ammonium (inclusief dierlijke mest), en met name onder natte omstandigheden.
	grootte gift	naarmate de gift toeneemt, neemt de verhouding N ₂ O/N ₂ tijdens denitrificatie en de N ₂ O-emissie toe.
	tijdstip	het toedienen van meststoffen tijdens of vlak voor een periode waarin het gewas stikstof opneemt, leidt tot een lagere N ₂ O-emissie dan indien de meststof ver voor de groeiperiode wordt toegediend (najaarstoediening of toediening in vroege voorjaar).
	techniek	de toedieningstechniek kan grote effecten hebben op de N ₂ O-emissie, maar het effect is sterk afhankelijk van de soort techniek, de weersomstandigheden, het bodemtype en het gewas. Kan zowel tot een afname als toename van de N ₂ O-emissie leiden.

¹ N₂O wordt gevormd tijdens nitrificatie en denitrificatie en er zijn een groot aantal factoren (en interacties) die een rol spelen bij de grootte van de N₂O-emissie. Dit bemoeilijkt het inschatten van de effecten van de afzonderlijke factoren op de N₂O-emissie. De effecten die in de tabel worden beschreven, zijn de effecten die in het algemeen verwacht worden.

Tabel 8 Belangrijke sturende factoren van de landbouw in Nederland die een effect kunnen hebben op de N₂O-emissie uit bemeste gronden: wettelijke (milieu), -economische, maatschappelijke en technologische factoren

Factor	Omschrijving en effect
Milieuwetgeving	
Nutriënten	in het kader van de EG-nitraatrichtlijn, MINAS, en een mogelijk toekomstig aangescherpt ammoniakbeleid wordt een sterke afname van de stikstofaanvoer naar landbouwgronden verwacht (met name via dierlijke mest). De stikstofbemesting zal daardoor sterk afnemen en de N ₂ O-emissie daardoor ook.
Herstructurering intensieve veehouderij	De overheid streeft er na om het aantal varkens en pluimvee te verminderen in de nabij toekomst. Dit leidt tot minder mest en daardoor tot minder N ₂ O-emissie.
Gewas-beschermings-middelen	er worden steeds strengere eisen aan het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen gesteld. Indien het beleid strict wordt doorgevoerd, kunnen de gevolgen voor bepaalde teelten groot zijn (bv, maïs, uien, aardappelen) en dit zou kunnen resulteren in kleiner areaal van bepaalde gewassen, een ruimer bouwplan en lagere opbrengsten. De benodigde bemesting zal hierdoor omlaag gaan de N ₂ O-emissie ook.
Economisch	
Wereldmarkt/EG-subsidies	naar verwachting zullen de EG-subsidies op landbouwproducten afnemen (oa, onder invloed van de wereldmarkt) waardoor het inkomen van de boeren ook afneemt. Het toetreden van Oost-Europese landen zal tot een sterkere concurrentie leiden, mogelijk resulterend in verschuivingen in teelten. Het effect op N ₂ O-emissie is niet duidelijk.
Kosten	de kosten voor landbouw en het kunnen voldoen aan de gestelde maatschappelijke en wettelijke eisen nemen toe. De prijzen van de producten nemen af. Mogelijk leidt dit tot een lagere bemesting en daardoor een lager N ₂ O-emissie.
Maatschappelijk	
Kwaliteit	er worden steeds hogere eisen gesteld aan productiemethoden (zoals bemesting) en producten. Een deel van deze eisen worden ook gesteld in de wettelijke maatregelen. Leidt tot een lagere N ₂ O-emissie.
Biologische producten	de vraag naar biologische producten neemt toe en de overheid stimuleert de ontwikkeling van biologische landbouw. Het areaal biologische landbouw zal daarom toenemen in Nederland, maar gezien de hoge prijzen van de producten en de problemen met ziekten, onkruid en bemesting wordt verwacht dat het aandeel biologische landbouw beperkt blijft ten op zichte van de gangbare landbouw. De bemesting en opbrengsten van de biologische landbouw zijn lager dan die van de gangbare landbouw en daardoor ook de N ₂ O-emissie.
Multifunctionele Landbouw/natuur-beheer	de landbouw zal steeds meer rekening moeten houden met ander gebruik van het landelijk gebied (natuur, recreatie). Een deel van de maatregelen zal worden genomen onder invloed van wettelijke en economische factoren. De N ₂ O-emissie zal hierdoor afnemen.
(Bio)technologisch	
Nutriënten-Management	het gebruik van de informatietechnologie, geografische informatie systemen en gewas- en bodemmodellen zullen er toe leiden dat de bemestingsadviezen en –strategieën steeds verfijnder worden (precisiebemesting) en er daardoor minder stikstof naar het milieu verloren gaat. Dit zal leiden tot minder N ₂ O-emissie, met name uit bemesting.
Genetische manipulatie	door middel van genetische manipulatie en veredeling kunnen bepaalde eigenschappen van planten worden verbeterd, die kunnen leiden tot een verlaging van de N ₂ O-emissie: verhoging van de stikstof- en waterefficiëntie, de ziektegevoeligheid en de harvest- en stikstofindex. Gezien de huidige publieke en politieke discussies lijkt genetische manipulatie op korte termijn (binnen vijf jaar) nog geen grote rol te gaan spelen, maar naar verwachting zal deze rol op (midden)lange termijn wel toenemen.

5 Mogelijke maatregelen om emissie te beperken

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de maatregelen die kunnen worden genomen om de lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden te verminderen. Aangezien de verschillende stikstofstromen in melkveehouderijen sterk aan elkaar zijn gekoppeld, wordt in paragraaf 5.1 nader ingegaan op de effecten van maatregelen op de totale lachgasemissie uit drie verschillende voorbeeld melkveehouderijen. Hierbij wordt ook nader ingegaan op de autonome ontwikkelingen met betrekking tot MINAS.

In paragraaf 5.2 wordt ingegaan op specifieke bemestingsmaatregelen, zowel voor melkveehouderijen, akkerbouw en vollegrondsgroentebedrijven. In deze paragraaf wordt per maatregel een overzicht gegeven van: i) de effectiviteit (potentiële vermindering van de N_2O -emissie), ii) de kostenefficiëntie, iii) de controleerbaarheid van gestelde emissie reductie, iv) de handhaafbaarheid van de maatregel, v) afwentelingsmechanismen (in de tijd, naar andere systemen, via andere verliezen (nitraat en ammoniak) en andere broeikasgasemissies: TEWI-benadering, vi) het draagvlak bij boeren en vii) kennishiaten.

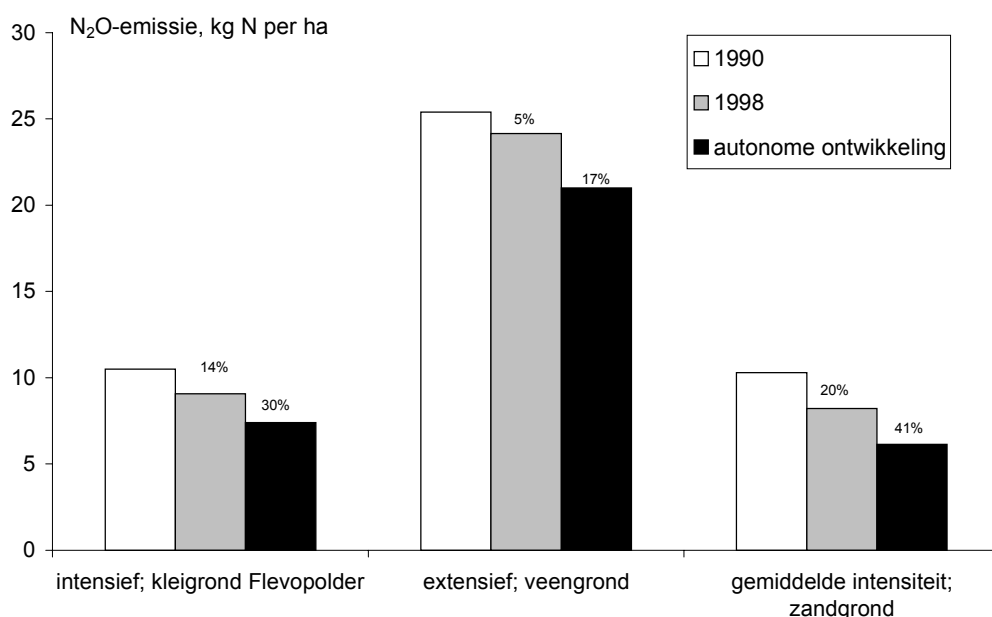
5.1 Lachgasemissie uit drie melkveehouderijen

5.1.1 Autonome ontwikkeling

In aanhangsel 3 staat een beschrijving gegeven van de te verwachten autonome ontwikkeling van drie belangrijke typen melkveehouderij systemen in Nederland: i) intensieve Flevolandse bedrijven op kleigrond, ii) extensieve westelijke veenweidegebieden en iii) zandbedrijven met gemiddelde intensiteit³. In tabel 9 staan maatregelen weergegeven die op drie typen bedrijven kunnen worden genomen om aan de MINAS-normen te voldoen.

In deze berekeningen is uitgegaan van bedrijfssysteemanalyse, omdat de stikstofstromen op een melkveehouderij sterk aan elkaar zijn gekoppeld. Volgens berekeningen met het model BBPR van het PR in Lelystad en de emissiefactoren van Velthof & Oenema (1997) leidt MINAS tot een verlaging van de totale lachgasemissie (dus niet alleen uit bemesting, maar ook uit andere bronnen) ten opzichte van 1990 met 30 procent voor de bedrijven op de kleigrond in de Flevopolder, 17 procent voor de extensieve bedrijven op de veengrond en 41 procent voor de gemiddeld intensieve bedrijven op de zandgrond (Figuur 1).

³ bij de berekeningen met BBPR is uitgegaan van gegevens over bemesting van het LEI. Deze gegevens geven aan de stikstofbemesting van melkveehouderijen tussen 1990 en 1998 iets is afgenomen. Andere statistieken (bijvoorbeeld totaal kunstmestverbruik in Nederland volgens CBS uit tabel 2) later een lichte toename zien. Er is in het kader van deze studie niet naderonderzocht waardoor deze verschillen worden veroorzaakt.



Figuur 1. Berekende gemiddelde lachgasemissie in kg N per ha voor drie typen melkveehouderijen in 1990, in 1998 en volgens de verwachte autonome ontwikkeling in de nabije toekomst. De percentages geven de vermindering in lachgas weer ten op zichte van 1990 (zie aanhangsel 3 voor gedetailleerde beschrijving van de uitgangspunten). De lachgasemissie is de totale lachgasemissie, inclusief de achtergrondemissie uit de bodem, kunstmest, dierlijke mest, beweiding, stal- en mestopslag en indirecte emissies via ammoniakemissie en nitraatuitspoeling.

Het moet hierbij duidelijk worden opgemerkt dat bij de berekeningen is uitgegaan van bepaalde maatregelen waardoor aan de normen van MINAS kan worden voldaan (tabel 9). Er kunnen ook andere maatregelen worden genomen om aan de MINAS-normen te voldoen; deze zouden tot een andere lachgasemissie kunnen leiden. Voor het ROB-Landbouw is het belangrijk om vast te stellen welke maatregelen gunstig zijn in het kader van MINAS én daarbij leiden tot een grote vermindering van de lachgasemissie.

Economische berekeningen met BBPR laten zien dat de financiële opbrengsten in de melkveehouderij in de nabije toekomst sterk (30.000 – 100.000 gulden per bedrijf ten op zichte van 1998) zullen dalen (aanhangsel 3), waarbij zowel het milieubeleid als de prijseffecten van Agenda 2000 en WTO een rol spelen.

Tabel 9. Maatregelen om aan de Minas-normen te voldoen.

Bedrijfstype	Maatregelen
A: intensief bedrijf op kleigrond	verhogen melkproductie: + 500 kg melk per koe 5% lager vervangingspercentage totale stikstofjaargift verlagen tot 327 kg N/ha
B: extensief bedrijf op veengrond	5 ha in beheersregime ¹ stikstof bemesten volgens advies
C: bedrijf op zandgrond met gemiddelde intensiteit	verhogen melkproductie :+ 500 kg /koe 5% lager vervangingspercentage totale stikstofjaargift verlagen tot 250 kg N/ha 100 m ³ mestafvoer

¹ Deze maatregel is niet zozeer van belang om het MINAS-overschot te verlagen, maar geeft wel de autonome ontwikkeling weer

5.1.2 Bemestingsmaatregelen

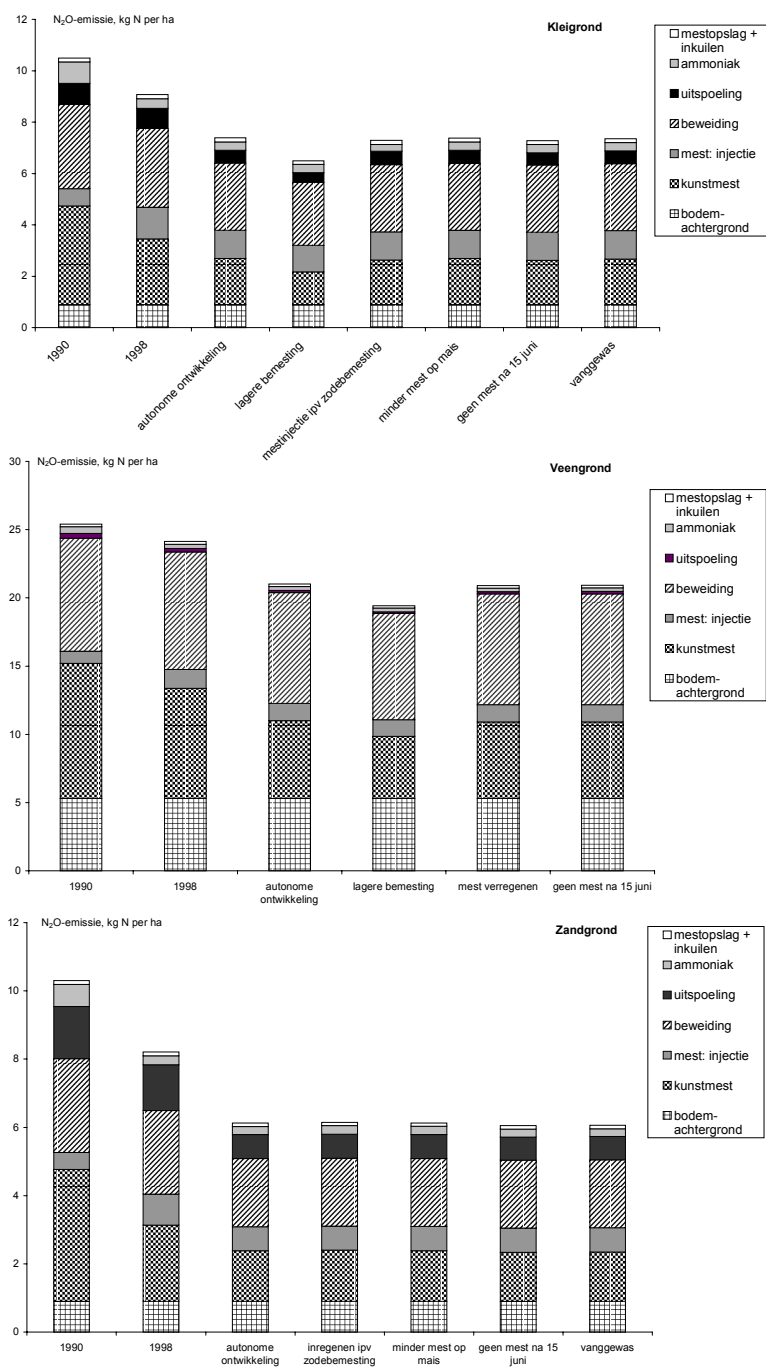
In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de effecten van verschillende maatregelen op de totale lachgasemissie uit de drie voorbeeldbedrijven, berekend met BBPR van het PR in Lelystad en de emissiefactoren van Velthof & Oenema (1997).

In aanhangsel 3 wordt een gedetailleerde beschrijving van de berekeningen en resultaten weergegeven. In figuur 2 wordt een overzicht gegeven van de berekende lachgasemissie in 1990, 1998, bij een autonome ontwikkeling (deze staan ook in figuur 1 beschreven) en bij verschillende maatregelen voor de drie bedrijven. Deze maatregelen worden genomen bij bedrijven die al aan de normen van MINAS voldoen. De belangrijkste conclusies zijn:

- de lachgasemissie uit het extensieve bedrijf op veengrond is veel hoger dan die op klei- en zandgrond; dit verschil wordt veroorzaakt door de grondsoort. Een veengrond is relatief nat (hoge grondwaterstanden) en heeft een hoog organisch stofgehalte waardoor de denitrificatie (en lachgasemissie) hoog is.
- de berekende lachgasemissie neemt sterk af door de autonome ontwikkeling;
- het verlagen van de stikstofbemesting op de klei- en veengrond (ten opzichte van de autonome situatie) leidt tot een duidelijke vermindering (ongeveer 10 procent) van de lachgasemissie ten opzichte van de autonome ontwikkeling;
- alle overige maatregelen hebben volgens de berekeningen geen of een gering effect op de totale lachgasemissie uit de melkveehouderijen op zichte van de autonome ontwikkelingen. Dit komt deels doordat de lachgasemissie op bedrijfsniveau wordt uitgedrukt. Bijvoorbeeld een vanggewas bij maïs heeft wel een effect op de lachgasemissie uit het maïsland, maar het areaal maïsland is klein ten opzichte van grasland, zodat het effect op bedrijfsniveau gering is.

Bij figuur 2 moeten twee opmerkingen worden gemaakt:

- De lachgasemissies in figuur 2 zijn de berekende lachgasemissies. In de berekeningen wordt uitgegaan van dezelfde emissiefactoren (Velthof & Oenema, 1997). De effecten die in figuur 3 zichtbaar zijn, zijn de ‘volume-effecten’ (effecten van de hoeveelheid stikstof). Waarschijnlijk hebben de maatregelen ook een effect op de hoeveelheid lachgasemissie per eenheid stikstof (de emissiefactor), zodat de werkelijke lachgasemissies wel wordt beïnvloed door de maatregel. Het goed inschatten van de effecten van bepaalde maatregelen vraagt dus om een verfijning van de emissiefactoren of hanteren van andere rekenmethodieken (bijvoorbeeld mechanistische modellen).
- De autonome ontwikkeling (met name MINAS) leidt tot een sterke vermindering van de lachgasemissie. In de berekeningen is uitgegaan van bepaalde maatregelen die in kader van MINAS genomen kunnen worden (tabel 8). Er zouden ook andere maatregelen genomen kunnen worden, die mogelijk een groter effect op de werkelijke lachgasemissie hebben dan de hier beschreven maatregelen. In kader van ROB is het belangrijk om maatregelen te ontwikkelen en te toetsen die zowel leiden tot een sterke vermindering van het stikstofoverschot (in kader MINAS) als tot een sterke vermindering van de lachgasemissie. Het draagvlak bij boeren is ook groter indien de maatregelen gunstig zijn in kader van MINAS.



Figuur 2. Berekende totale lachgasemissie uit drie standaard bedrijven (intensief bedrijf op klei, extensief op veen en gemiddeld intensief op zand) in 1990, 1998, bij een autonome ontwikkeling (voldoen aan MINAS-normen met maatregelen uit tabel 9) en met extra maatregelen, waarbij ook aan MINAS wordt voldaan.

5.2 Kritische handelingen en momenten

Om efficiënte maatregelen te ontwikkelen die leiden tot een significante vermindering van de N₂O-emissie uit bemeste landbouwgronden moeten de kritische momenten en handelingen worden vastgesteld. Uit de systeemanalyse kan worden geconcludeerd dat de volgende handelingen en momenten belangrijk zijn bij het opstellen van maatregelen voor het beperken van de N₂O-emissie uit bemeste landbouwgronden:

- In de periode vlak na bemesting is minerale stikstofgehalte van de bodem hoog en daardoor het risico op lachgasemissie groot. De lengte van deze periode varieert van enkele dagen (voor grasland bij groeizaam weer) tot enkele weken (voor bouwland met een pas ingezaaid gewas).
- Inefficiënte bemestingsstrategieën en gewassen met een slechte stikstofbenutting.
- Bemesting van een natte bodem (veel regen en/of hoge grondwaterstand; met name met een nitraathoudende meststof).
- Bemesting van een perceel met zowel dierlijke mest als een nitraathoudende kunstmest.

5.3 Specifieke bemestingsmaatregelen

In tabel 10 wordt een overzicht gegeven van mogelijke maatregelen die de N₂O-emissie die uit bemeste landbouwgronden kunnen beperken.. Per maatregel een overzicht gegeven van:

- globale kwantificering van de effectiviteit (potentiële vermindering van de N₂O-emissie);
- kwalitatieve indicatie kostenefficiëntie;
- controleerbaarheid (zijn er indicatoren waarop een controleur kan letten);
- handhaafbaarheid van de maatregel (zijn er mogelijkheden om overtreders aan te pakken, b.v. wetgeving);
- kwalitatieve indicatie van afwentelingsmechanismen (in de tijd, naar andere systemen, via andere verliezen (nitraat en ammoniak) en andere broeikasgasemissies: TEWI-benadering;
- draagvlak bij boeren;
- kennishiaten.

Het moet hierbij duidelijk worden opgemerkt dat de kwantificering van de effecten van de maatregelen zeer onzeker zijn, omdat naar de meeste maatregelen geen of slechts beperkt onderzoek is uitgevoerd. In het vervolg van ROB zullen de effecten van deze maatregelen nader onderzocht moeten worden.

Tabel 10. Maatregelen om de N₂O-emissie veroorzaakt door bemesting te beperken (zie tabel 11 en aanhangsel 4 voor een nadere toelichting).

Maatregel	geschatte effectiviteit, Mton CO ₂ -equivalenten t.o.v. 1990	kosten-efficiëntie	controleerbaarheid	handhaafbaarheid	risico op afwenteling	draagvlak bij boeren ¹	kennis-hiaten
25% minder N via kunstmest en 25% via dierlijke mest ²	1,37	groot	goed via MINAS	via MINAS	kunstmest: klein dierlijke mest; wel	redelijk	beperkt
25% minder N via kunstmest ²	0,82	groot	goed via MINAS	via MINAS	klein	groot	beperk
25% minder N via dierlijke mest ²	0,43	neutraal	goed via MINAS	via MINAS	aanwezig	redelijk	beperkt
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
efficiëntere toedieningstechnieken	0,29	neutraal-klein	goed	redelijk	klein	redelijk	groot
geen toediening kunstmest en dierlijke mest op zelfde perceel	0,07	klein	moeilijk	moeilijk	klein	klein	groot
geen toediening nitraat kunstmest aan natte gronden	0,23	neutraal	moeilijk	moeilijk	klein	redelijk	beperkt
wintergewassen	0,10	groot	redelijk/moeilijk	redelijk/moeilijk	klein	redelijk	groot
nitrificatieremmers bij kunstmest en mest	0,31	klein	moeilijk	moeilijk	aanwezig	klein	groot

¹ effectiviteit ten op zichte van 1990 zonder rekening te houden met mogelijke autonome ontwikkelingen. Autonome ontwikkelingen leiden naar schatting tot een emissiereductie uit bemeste landbouwgronden van 0,5-1,7 Mton CO₂-equivalenten per jaar.

² een lagere stikstofbemesting leidt tot lagere lachgasemissie. 25% is als voorbeeld genomen.

In tabel 11 staat de globale schatting van de effectiviteit van verschillende maatregelen en combinaties van maatregelen gegeven. Er moet duidelijk worden opgemerkt dat indien verschillende maatregelen worden gecombineerd, de totale reductie minder groot is dan de som van reducties van de afzonderlijke maatregelen. Er treden namelijk interacties op. In het algemeen kan worden gesteld dat de lachgasemissie uit bemeste gronden afneemt naarmate er minder wordt bemest en dat dit effect afhankelijk is van de soort meststoffen (figuur 3) én omgevingsfactoren als bodem en weer.

Tabel 11. Globale schatting van de effecten van maatregelen op de directe en indirecte N₂O-emissies uit bemeste landbouwgronden ten opzichte van 1990¹. Het effect van de maatregel op het stikstofoverschot (in kader MINAS) staat kwalitatief weergegeven.

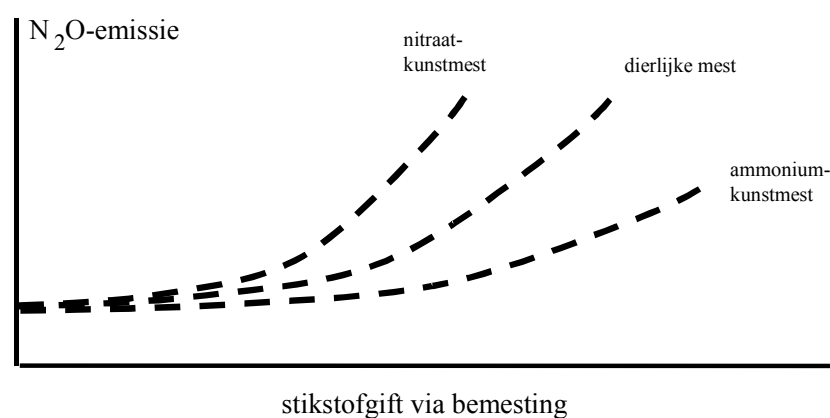
	N ₂ O-emissie, Mton CO ₂ -eq jaar ⁻¹			Effect op reductie tov 1990	op MINAS ²
	direct	indirect	Totaal		
Emissie in 1990	2,90	1,40	4,30		
Maatregel					
25% minder kunstmest-N en 25% minder dierlijke mest-N	2,37	0,56	2,92	1,37	++
25% minder N via kunstmest	2,58	0,89	3,47	0,82	++
25% minder N via dierlijke mest	2,94	0,92	3,86	0,43	++
verlagen N-gehalte dierlijke mest dmv rantsoen	3,11	1,14	4,24	0,05	+
deling van N-giften bij akkerbouwgewassen	3,01	1,24	4,25	0,05	+
efficiëntere bemestingstechnieken + 'nieuwe meststoffen'	2,82	1,19	4,01	0,29	++
geen toediening kunstmest en dierlijke mest op zelfde perceel	2,96	1,26	4,20	0,07	0
geen toediening nitraathoudende kunstmest onder natte omstandigheden	2,81	1,26	4,10	0,23	0
Wintergewassen	2,99	1,21	4,20	0,10	++
nitrificatieremmers bij kunstmest en dierlijke mest	2,72	1,26	4,00	0,31	+
behandeling van mest/andere mestopslag bv. Stalmest	sterk afhankelijk van methode; effectiviteit meestal gering				

¹ berekening met aangepaste methode; verloop van lachgasemissie tussen 1990 en 1998 is verrekend (tabel 6) geen correctie voor autonome ontwikkelingen in de toekomst

² N₂O-emissies door bemesting en indirecte emissies uit landbouw:

-: N-overschot neemt toe,

o: geen effect op N-overschot, +: N-overschot neemt af, ++ N-overschot neemt sterk af



Figuur 3. Schematische weergave van de relatie tussen de stikstofbemesting en lachgasemissie bij verschillende stikstofmeststoffen.

Op basis van tabellen 10 en 11 en aanhangsel 4 worden de volgende (combinaties) van maatregelen als perspectiefvol gezien:

- lagere bemesting met dierlijke mest en kunstmest door opvolgen bemestingsadviezen, verder verfijnen bemestingsadviezen, deling van de stikstofgiften, efficiëntere timing (geen najaarstoediening dierlijke mest) en toedieningstechnieken en een betere voorspelling van de stikstofmineralisatie uit de bodem, gewasresten, organische meststoffen en wintergewassen;

- toedienen van ammoniummeststoffen in plaats van nitraathoudende meststoffen onder natte omstandigheden of het uitstellen van bemesting van grasland onder natter omstandigheden;
- telen wintergewassen; met name bij maïs;
- verlagen stikstofgehalte van mest door aanpassing van rantsoen.

De perspectieven voor het verminderen van de lachgasemissie uit bemeste gronden melkveehouderijen is groot is: een reductie van **0,1 tot 1,5 Mton CO₂-equivalenten** ten op zichte van 1990 lijkt mogelijk met een pakket van bemestingsmaatregelen. Een deel van de voorgesteld 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. Daarnaast heeft bemesting ook een effect op lachgasemissies uit gewasresten en beweide grasland, zodat de totale vermindering groter is.

6 Kennishiaten en vervolgonderzoek

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste kennishiaten en noodzakelijk en gewenst vervolgonderzoek. De aandacht wordt hierbij gericht op maatregelen die naar verwachting het meest perspectiefvol zijn. De belangrijkste kennishiaten zijn (aanhangsel 4):

Kwantificering van lachgasemissie

- relatie tussen de stikstofgift via verschillende kunstmest en dierlijke mesten bij verschillende gewassen en vochtgehalten;
- de relatie tussen mestsamenstelling en lachgasemissie voor verschillende mesten;
- lachgasemissie uit verschillende behandelde mesten, zowel tijdens de behandeling, in de opslag als na toediening;
- lachgasemissie uit stalmest in de stal en na toediening aan de bodem.
- lachgasemissie uit grasland en bouwland waaraan zowel dierlijke mest als nitraathoudende kunstmest wordt toegediend;
- effect van nitrificatieremmers op lachgasemissie uit kunstmest en dierlijke mest;
- lachgasemissie bij verschillende ‘nieuwe’ meststoffen en bemestingsstrategieën.
- effect van het tijdstip en methode van onderwerken van wintergewassen op de lachgasemissie tijdens de winter en in het groeiseizoen.

Teelt- en nutriëntenmanagement

- voorspellen van de stikstoflevering (stikstofmineralisatie) door de bodem, dierlijke mest en organische producten (gewasresten, organische meststoffen, wintergewassen)
- bemestende waarde (stikstofwerking) van de behandelde mesten;
- kwantificering van de relaties tussen soorten rantsoen en de mestsamenstelling

Afwentelingsmechanismen

- integrale aspecten: lachgasemissie, methaanemissie, ammoniakemissie, nitraatuitspoeling, CO₂-productie bij verschillende behandelde mesten;
- neveneffecten van nitrificatieremmers: uitspoeling, toxiciteit, vermindering nitraatuitspoeling etc.

Literatuur

Alem, van G.A.A en A.T.J. van Scheppingen (1993) The development of a farm budgeting program for dairy farms.

Bondt N., J van Geffen, G. Kolkman en L. Westerlaken. IKC veehouderij (1990) KWIN 1990-1991.

Bouwman, A.F. (1996) Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46, 53-70.

Breitenbech, G.A. & J.M. Bremner (1986) Effects of rate and depth of fertilizer application on emissions of nitrous oxide from soil fertilized with anhydrous ammonia. *Biology and Fertility of Soils* 2, 201-204.

CBWB (1989). Adviesbasis voor bemesting van grasland en voedergewassen. Consulentenschap voor Bodem, Water- en Bemestingszaken in de Veehouderij. 72 pp.

Chadwick, D.R., B.F. Pain & S.K.E. Brookman (2000) Nitrous oxide and methane emissions following application of animal manures to grassland. *Journal of Environmental Quality* 29, 277-287.

Chalk, T.J. & C.J. Smith (1983) Chemodenitrification. In: *Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems. Developments in plant and soils sciences* 9, 65-89.

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

Corré, W.J. & K.B. Zwart (1995) Effects of DCD addition to slurry on nitrate leaching in sandy soils. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 43, 195-204.

Delgado, J.A. & A.R. Mosier (1996) Mitigation alternatives to decrease nitrous oxides emissions and urea-nitrogen loss and their effect on methane flux. *Journal of Environmental Quality* 25, 1105-1111.

Egginton, G.M. & K.A. Smith (1986) Nitrous oxide emission from a grassland soil fertilized with slurry and calcium nitrate. *Journal of Soil Science* 37, 59-67.

Eichner, J.E. (1990) Nitrous oxide emissions from fertilized soils: summary of available data. *Journal of Environmental Quality* 19, 272-280.

Ferm, M., A. Kasimir-Klemedtsson, P. Weslien & L. Klemedtsson (1999) Emission of NH_3 and N_2O after spreading of pig slurry by broadcasting or band spreading. *Soil Use and Management* 15, 27-33.

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

Flessa, H., P. Dörsch & F. Beese (1995) Seasonal variation of N₂O and CH₄ fluxes in differently managed arable soils in southern Germany. *Journal of Geophysical Research* 100, 23,115-23, 124.

Haan, de M.H.A. (1999) Tabellenboek DELAR 2000+ boekjaar 1997/98.

Hansen, S. & L.R. Bakken (1993) N₂O, CO₂ and O₂ concentrations in soil air influenced by organic and inorganic fertilizers and soil compaction. *Norwegian Journal of Agricultural Science* 7, 1-10.

Hassink, J. (1996). Voorspellen van het stikstofleverend vermogen van graslandgronden. In: Loonen, J.W.G.M. & W.E.M. Bach-de-Wit (red.) stikstof in beeld, naar een nieuw bemestingsadvies op grasland, pp. 15-35.

Huijsmans, J.F.M., Hendriks, J.G.L. and Vermeulen G.D. (1998) - Draught Requirement of Trailing-foot and Shallow Injection Equipment for Applying Slurry to Grassland. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 71, 347-356.

Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G. and Bussink, B.W. (1997). Reduction of Ammonia Emission by New Slurry Application Techniques on Grassland. In: Jarvis, S.C. and Pain, B.F. (eds) *Gaseous Nitrogen Emissions from Grasslands*. CAB International, Wallingford, pp 281-285.

IKC (1993) Handboek voor de rundveehouderij, publicatie nr. 35.

LEI (1999). Land en tuinbouwcijfers. Landbouw Economisch Instituut.

Mandersloot, F. (1992) Bedrijfseconomische gevolgen beperking stikstofverliezen op melkveebedrijven (PR-rapport nr. 138).

Mandersloot, F., J.M.A. Nijssen en A.T.J. van Scheppingen (1991) Modellen Rundveehouderij: Overzicht en onderlinge samenhang modellen voor simulatie van melkveebedrijven (PR-publicatie nr. 72).

McCarty, G.W. (1999) Modes of action of nitrification inhibitors. *Biology and Fertility of Soils* 29, 1-9.

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

Misselbrook, T.H., D.R. Chadwick, B.F. Pain & D.M. Headon (1998) Dietary manipulation as a means of decreasing N losses and methane emissions and improving herbage N uptake following application of pig slurry to grassland. *Journal of Agricultural Science* 130, 183-191.

- NMI (1995) Handboek Meststoffen. Misset, Doetinchem en NMI, Wageningen, 480 p.
- NMI (1995). Handboek meststoffen. Nutrienten Management Instituut. 480 pp.
- Oenema, O., Velthof, G.L., Yamulki, S., & S.C. Jarvis (1997) Nitrous oxide emissions from grazed grassland. *Soil Use and Management* 13, 288-295.
- PR (1998). Adviesbasis bemesting grasland en voedergewassen. Themaboek. 53 pp. Praktijkonderzoek Rundvee, Paarden en Schapen, Lelystad 1997, Handboek Melkveehouderij.
- Schöder, J.J., H.L. ten Holte, H. van Keulen, J.H.A.M Steenvoorden (1993) Effects of nitrification inhibitors and time and rate of slurry and fertilizer N application on silage maize yield and losses to the environment. *Fertilizer Research* 34, 267-277.
- Schreuder, R., J. Aalenhuis, F. Mandersloot en J. van Middelkoop (1995) Mineralenstroom: milieumodule in BBPR (PR-publicatie nr. 99).
- Smith, K.A., I.P. McTaggart & H. Tsuruta (1997) Emissions of N₂O and NO associated with nitrogen fertilization in intensive agriculture, and the potential for mitigation. *Soil Use and Management* 13, 296 – 304.
- Thornton, F.C., Bock, B.R. & D.D. Tyler (1996) Soil emissions of nitric oxide and nitrous oxide from injected anhydrous ammonium and urea. *Journal of Environmental Quality* 25, 1378-1384.
- Van der Weerden, T.J., T.H. Misselbrook & B.F. Pain (1994) Ammonia emission and denitrification following surface spreading and injection of cattle slurry to grassland. pp. 471- 474 In: *Grassland and Society* (L. 't Mannetje & J. Frame, eds.), Wageningen Pers.
- Van Dijk J.P.M., B.E. Douma en A.L.J. van Vliet (1997a) Bedrijfsuitkomsten in de landbouw 1992/93 t/m 1995/96.
- Van Dijk J.P.M., B.E. Douma en A.L.J. van Vliet (1997b) De financiële positie van de landbouw 1995/96 en vergelijkingen met voorgaande jaren.
- Vellinga (1998) Verfijning bemestingsadvies 1998. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden. Rapport 173, 39 pp.
- Velthof, G.L. & O. Oenema (1993) Nitrous oxide flux from nitric-acid treated cattle slurry applied to grassland under semi-controlled conditions. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 41, 81-93.
- 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.

Wadman, W.P., J.J. Neeteson & G.J. Wijnen (1993) Field experiments with slurry and dicyandiamide: response of potatoes and effects on soil mineral nitrogen. Netherlands Journal of Agricultural Science 41, 95-109.

Werkgroep Normen voor de Voedervoorziening (1991) Normen voor de Voedervoorziening (PR-publicatie nr. 70).

Weslien, P., L. Klemetsson, L. Svensson, B. Galle, A. Kasimir-Klemetsson & A. Gustafsson (1998) Nitrogen losses following application of pig slurry to arable land. Soil Use and Management 14, 200-208.

Aanhangsel 1. Stikstofadviezen en –overschotten bij akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten

Gemiddelde stikstofadviezen voor akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten¹, gemiddeld stikstofafvoer via het oogstproduct en het gemiddeld stikstofoverschot bij het stikstofadvies.

	N-adviezen kg N ha ⁻¹	Gemiddelde N-afvoer kg N ha ⁻¹	Gemiddeld N-overschot kg N ha ⁻¹
Aardappelen	250	141	109
Aardbeien	120	24	96
Asperge	50	21	29
Blauwmaanzaad	80	52	28
Bloemkool	250	59	191
Dop-erwten	25	38	-13
Gerst	140	92	48
Groene bonen	25	29	-4
Groene erwten	25	35	-10
Groene tuinbonen	25	19	6
Groenten, overig	100	98	2
Haver	110	80	30
Karwij, venkel	80	47	33
Koolsoorten	280	103	177
Koolzaad	80	114	-34
Korrelmaïs	180	139	41
Lijnzaad	80	39	41
Peen	50	124	-74
Prei	220	97	123
Rogge	110	59	51
Sla	120	94	26
Spinazie	170	124	46
Suikerbieten	125	124	1
Tarwe	160	153	7
Tuinbonen	25	132	-107
Uien	150	85	65
Veldbonen	25	160	-135
Vlas, hennep	80	29	51

¹opmerkingen bij N-adviezen:

- er wordt uitgegaan van een Nmin-voorraad in het voorjaar van 10 kg N ha⁻¹ in de 0-30 cm laag, 10 kg N ha⁻¹ in de 30-60 cm laag en 20 kg N ha⁻¹ in de 60-100 cm laag.
- bij sommige gewassen gelden verschillende adviezen, afhankelijk van grondsoort, soort gewas (bv. consumptie-, fabrieks- en pootaardappelen) of teeltperiode (bv. zomer en herfstteelten). Bij deze gewassen is een schatting gemaakt van een gemiddeld stikstofadvies.

Aanhangsel 2. Literatuurstudie naar N₂O-emissie uit bemeste landbouwgronden

In de literatuur zijn een groot aantal studies beschreven waarin het effect van bemesting op de N₂O-emissie is gekwantificeerd. In Nederland zijn slechts weinig studies uitgevoerd.

Er zijn grote verschillen in N₂O-emissies tussen de studies, waarbij factoren als klimaat, bodemtype, meststoftype, meststofgift, gewas en waterhuishouding een belangrijke rol spelen. Eichner (1990) en Bouwman (1994) hebben een samenvatting gegeven van de N₂O-emissie uit bemeste gronden (Tabel A2.1). De spreiding is groot en op basis van deze tabel komt Bouwman tot de conclusies dat er voor schattingen van de gemiddelde N₂O-emissie geen onderscheid kan worden gemaakt tussen meststoftypen. Bouwman komt op basis van de studies op minerale gronden waarin de N₂O-emissie minimaal gedurende één jaar is gemeten tot de volgende schatting van de gemiddelde N₂O-emissie uit meststoffen:

$$\text{N}_2\text{O-emissie (kg N ha}^{-1}\text{ jaar}^{-1}) = 1 + 0,0125 \times \text{N-gift (kg N ha}^{-1})$$

De N₂O-emissiefactor van 1,25 procent is overgenomen door de IPCC en wordt als defaultwaarde in de IPCC-methode gebruikt. Ook de IPCC maakt geen onderscheid naar meststoftypen.

Tabel A2.1. Samenvatting van N₂O-emissie uit vijf meststoffen (Eichner, 1990; Bouwman, 1994).

Meststoftype	Eichner (1990)			Bouwman (1994)		
	n	N ₂ O-emissie % van meststof-N		n	N ₂ O-emissie % van meststof-N	
		gem.**	sd.**		gem.**	sd.**
Vloeibare ammoniak	12	2,3	2,0	23	1,6	1,6
Ammonium nitraat	8	0,3	0,3	10	0,3	0,3
Ammonium meststof	17	0,1	0,1	20	0,1	0,1
Ureum	7	0,1	0,0	14	0,3	0,6
Nitraat	15	0,2	0,5	16	0,2	0,4
Organische meststoffen				5	1,5	0,5

**gem. = gemiddeld en sd.= standaarddeviatie

Tabel A2.1 is gemaakt aan de hand van studies in verschillende landen, bodemtypen, gewassen, klimaat en nutriëntenmanagement. Deze factoren zijn de belangrijkste oorzaak voor de grote spreiding in N₂O-emissie. Er zijn in de literatuur aanwijzingen dat er wel verschillen in N₂O-emissie bestaan tussen meststoffen; deze verschillen zijn sterk afhankelijk van de omgevingsfactoren, met name vochtgehalte. Uit het onderzoek van Velthof et al. (1997) blijkt dat onder natte omstandigheden de N₂O-emissie uit grasland na toediening van nitraathoudende meststoffen veel hoger is dan die na toediening van meststoffen die alleen ammonium bevatten, inclusief dunne rundermest (tabel A 2.2). Deze resultaten duiden er op dat denitrificatie een grote N₂O-bron is onder natte omstandigheden en een kleine bron onder droge omstandigheden. Nitrificatie of nitrificatie gevolgd door denitrificatie is een relatief

kleine bron van N₂O onder natte omstandigheden. Ook in een studie op grasland in Schotland werden hogere N₂O-emissies gevonden uit nitraathoudende meststoffen dan uit meststoffen die alleen ammonium bevatten onder natte omstandigheden (Clayton et al., 1997; Smith et al., 1997). Onder droge omstandigheden was de N₂O-emissie uit ureum veel hoger dan die uit nitraathoudende meststoffen. Hierbij speelt waarschijnlijk het mechanisme een rol dat tijdens de hydrolyse van ureum nitriet wordt gevormd door toxiciteit van ammoniak op nitrificeerders (Chalk and Smith, 1983; Oenema et al., 1997). Nitriet kan waarschijnlijk leiden tot een toename in N₂O-emissie.

Deze grote verschillen in N₂O-emissie tussen meststoftypen in afhankelijk van vochtgehalte van de bodem biedt duidelijke perspectieven voor het opstellen van maatregelen om de N₂O-emissie te beperken.

Tabel A 2.2 Emissie van N₂O uit grasland (in % van toegediende N) uit verschillende meststoffen in drie proeven van ieder ongeveer drie weken (Velthof et al., 1997).

Meststof	kleigrond, 13 mm regen; 6,0 °C	zandgrond 42 mm regen; 8,2 °C	zandgrond 68 mm regen; 16,0 °C
Kalkammonsalpeter (ammonium nitraat)	< 0,1	5,2	8,3
Kalksalpeter (nitraat)	< 0,1	5,2	12,0
Zwavelzure ammoniak (ammonium)	< 0,1	0,2	1,0
Zwavelzure ammoniak + nitrificatieremmer DCD	-	<0,1	0,1
Ureum	< 0,1	< 0,1	0,7
Dunne rundermest; oppervlakkig	-	< 0,1	< 0,1
Dunne rundermest; geïnjecteerd	-	0,1	< 0,1

Uit tabel A 2.2 blijkt dat de N₂O-emissie uit dunne rundermest veel lager was dan die van KAS onder natte omstandigheden; de grootte van de N₂O-emissie was minder dan 0,1 procent van de toegediende stikstof. Deze resultaten geven aan dat op grasland onder natte omstandigheden denitrificatie verreweg de belangrijkste bron van lachgas is en dat onder deze omstandigheden de N₂O-emissie uit dierlijke mesten (die geen nitraat bevatten) veel lager is dan uit nitraathoudende meststoffen, zoals KAS. In dit onderzoek was er geen verschil tussen de N₂O-emissie uit oppervlakkige en geïnjecteerde dunne rundermest. In een studie van Velthof & Oenema (1993) met gras onder gecontroleerde omstandigheden kwam de N₂O-emissie uit dunne rundermest overeen met 0,1 procent van de toegediende stikstof; de N₂O-emissie uit KAS was veel hoger (1,2 procent van de toegediende N. In een veldstudie op grasland van Egginton & Smith (1986.) werden veel lagere N₂O-emissies gevonden uit dierlijke mest (<0,5% van de toegediende N) dan uit een nitraathoudende meststof (0,3 - 1,1% van de toegediende N). Hansen & Bakken (1993) vonden dat toediening van ammoniumnitraat leidde tot een sterke verhoging van de lachgasconcentratie in de bodem, terwijl dunne rundermest geen effect had. In een studie van Van der Weerden et al. (1994) op grasland waren de denitrificatieverliezen uit dunne rundermest laag (lager dan 0,7-2,8 procent van de toegediende ammonium)

en had de toedieningstechniek (oppervlakkig versus zodebemesting) geen effect op de total denitrificatie. Resultaten van Chadwick et al. (2000) naar de lachgasemissie uit grasland na toediening van verschillende mesten op verschillende toedienings-tijdstippen staan weergegeven in tabel A2.3. De emissiefactor van de mesten varieert van 0,05 tot 0,97 procent van de toegediende N.

Tabel A2.3. N₂O-emissie van verschillende dierlijke mesten, toegediend op verschillende tijdstippen (Chadwick et al., 2000).

Toedienings-tijdstip	Mestsoort	totale N-gift kg N ha ⁻¹	N ₂ O-emissie, % van toegediende N
April	dunne rundermest	125	0,97
	dunne varkensmest	97	0,44
Juli	dunne rundermest	110	0,12
	dunne varkensmest	295	0,12
October	dunne varkensmest	50	0,24
	afvalwater van melkvee-stal	50	0,38
	vaste varkensmest	50	0,05
	vaste vleesstierenmest	50	0,20
	vaste leghennen mest	20	0,05

In een studie van Clayton et al. (1997) was de lachgasemissie uit grasland waaraan in hetzelfde jaar zowel dunne rundermest als ammoniumnitraat werd toegediend hoger (2,2% van de totale N-gift) dan uit grasland waaraan alleen ammoniumnitraat werd toegediend (1,2% van de N-gift). Deze interactie wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de gemakkelijk afbreekbare organische stof in de mest leidt tot een verhoogde denitrificatie (en N₂O-emissie) uit de ammonium nitraat. In een studies van Ferm et al. (1999) en Weslien et al. (1998) varieerde de N₂O-emissies uit bouwland waaraan varkensmest was toegediend van 0,27 tot 1,14 procent (meestal lager dan 1%) van de toegediende stikstof. Er waren geen statistisch significante verschillen tussen de toedieningstechnieken (oppervlakkig, sleufkouteren, sleep-voet, zode-bemesting, sleep-voet + direct inwerken). De lachgasemissie uit dunne varkensmest bedroeg 0,5-0,6 procent van de toegediende ammonium-N in een studie op grasland van Misselbrook et al. (1998).

De toedieningstechniek van de stikstofkunstmest heeft naar verwachting een invloed op de N₂O-emissie. Er zijn in de literatuur weinig studies gevonden naar de effecten van toedieningstechnieken van kunstmest op de N₂O-emissie. In studies van Thornton et al. (1996) en Breitenbeck & Bremner (1986) leidde injecteren en plaatsen van ammoniak en ureun tot een duidelijke toename van de N₂O-emissie. Er zijn geen studies in de literatuur gevonden naar de effecten van toedieningstechnieken van ammoniumhoudende en nitraathoudende meststoffen. De toedieningstechniek van meststoffen kan op verschillende wijzen een effect hebben op de N₂O-emissie:

- Plaatsen van de meststof in een diepere laag, die meestal vochtiger (en gunstiger voor N₂O-emissie) is dan de bovenste bodemlaag.
- De diffusieweg van de N₂O naar de atmosfeer is langer uit geïnjecteerde of geplaatste meststoffen dan uit oppervlakkig toegediende meststoffen. Tijdens de diffusie door de bodem kan N₂O worden gereduceerd tot N₂.

- Plaatsing van meststoffen in de buurt van de wortels (bijvoorbeeld door rijenbemesting) leidt vaak tot een betere benutting en snellere opname van de toegediende stikstof door het gewas en daardoor is het risico op N-verliezen (inclusief N_2O -emissie) lager.

Bij plaatsing van meststoffen wordt de lokale stikstofconcentraties in de bodem hoger dan bij breedwerpig toediening. De hoge nitraat-, ammonium- of ureumconcentraties kunnen leiden tot remming van de nitrificatie en/of denitrificatie. Bij een sterke remming zal de N_2O -productie ook geremd kunnen worden, maar een gedeeltelijke remming van de nitrificatie en denitrificatie zou tot een forse toename in de N_2O -emissie kunnen leiden. Het relatieve aandeel van N_2O in de totale ($\text{N}_2\text{O} + \text{N}_2$)-productie tijdens denitrificatie neemt toe bij een toenemend nitraatgehalte (Firestone et al., 1980).

Een nitrificatieremmer is een chemische verbinding die aan de bodem (of meststof) wordt toegediend en die leidt tot een remming van de nitrificatie: de microbiologische omzetting van ammonium tot nitraat. Bij een gecombineerde toediening van een ammoniummeststof en nitrificatieremmer kan de N_2O -emissie worden beperkt omdat i) de N_2O -productie tijdens de nitrificatie is geremd en ii) er geen nitraat wordt gevormd en hierdoor ook de denitrificatie is geremd. In veel studies is aangetoond dat een nitrificatieremmer inderdaad kan leiden tot sterke remming van de N_2O -emissie (50-80%) van ammoniummeststoffen in grasland en bouwland (tabel 2; Delgado & Mosier, 1996; McTaggart et al., 1997; Smith et al., 1997). Toediening van DCD leidde in een niet gepubliceerde studie tot een vermindering van de N_2O -emissie uit dunne rundermest met 60 procent.

De gangbare stikstofkunstmesten in Nederland, zoals KAS, ZA, ureum, NP-meststoffen, zijn snel oplosbaar en de stikstof uit deze meststoffen is binnen enkele dagen volledig opgelost en in de bodem aanwezig. Langzaamwerkende stikstofmeststoffen zijn meststoffen die door een bepaalde coating of chemische samenstelling langzaam (enkele weken tot maanden) stikstof afgeven aan de bodem en het gewas. De snelheid waarmee de stikstof vrijkomt, is meestal afhankelijk van de temperatuur en vochtgehalte. Er zijn een groot aantal langzaamwerkende meststoffen beschreven en in de literatuur worden allerlei 'nieuwe' langzaamwerkende meststoffen beschreven. Er kan hierbij een onderscheid worden gemaakt tussen 'slow-release' meststoffen, meststoffen waarbij de stikstof langzaam vrijkomt, of controlled-release meststoffen, meststoffen waarbij het vrijkomen van de stikstof in de tijd een bepaald patroon volgt (vaak gerelateerd aan het verloop van de opname van de plant in de tijd). In de literatuur is weinig aandacht besteed aan het effect van langzaamwerkende stikstofmeststoffen op lachgasemissie. Enkele (vaak Japanse) studies geven aan dat de N_2O -emissie uit een langzaamwerkende stikstofmeststof lager is dan die uit gangbare meststoffen (tot meer dan 50 procent); soms is er echter geen effect (Smith et al., 1997).

Aanhangsel 3. Lachgasemissie uit drie typen melkveehouderijen

Er zijn voor drie voorbeeld bedrijven berekeningen uitgevoerd met BBPR van het Praktijkonderzoek Rundvee, Paarden en Schapen in Lelystad. De uitgangspunten zijn gebaseerd op verschillende literatuurbronnen (Bondt et al., 1990; de Haan (1999); PR (1997); Van Dijk et al., 1997a en b; Alem en van Scheppingen, 1993; IKC, 1993; Mandersloot, 1992; Mandersloot et al., 1991; Schreuder et al., 1995).

Situatie 1998

In tabel A3.1 zijn drie bedrijfstypen weergegeven die representatief zijn voor grotere sterk gespecialiseerde melkveebedrijven in Nederland ten tijde van **1998**. Bedrijf **A** is een sterk gespecialiseerd intensief melkveebedrijf op kleigrond, analoog aan de Flevolandse situatie (intensief bedrijf op kleigrond); **B** is een sterk gespecialiseerd melkveebedrijf in het Westelijk veenweidegebied (extensief bedrijf op veengrond) en **C** is het grotere sterk gespecialiseerde melkveebedrijf op zandgrond (bedrijf op zandgrond met gemiddelde intensiteit). De gemiddelde melkprijs ligt bij de bedrijven rond de 78 cent per kg.

Tabel A3.1 Drie representatieve bedrijfstypen in Nederland ten tijde van 1998

	A (intensief bedrijf op kleigrond)	B (extensief bedrijf op veengrond)	C (zandgrond met gemiddelde intensiteit)
Melkquotum (kg)	731000	400000	417450
Quotum per ha (kg)	17000	10000	12650
Bedrijfsoppervlakte (ha)	43	40	33
- waarvan grasland (ha)	37	40	25
- waarvan maïsland (ha)	6	-	8
Aantal melkkoeien	90	55	55
Melkproductie per koe	8122	7273	7590
N-Kunstmestgift / ha grasland (kg N/ha)	300	250	300
Jongvee / 10 melkkoeien	8,5	7,8	9,2
Grondsoort	Kleigrond	Veengrond	Zandgrond
Beweidingstelsel	Overdag weiden	Dag en nacht weiden	Overdag weiden
Bijvoeding in de zomer (kg ds maïs)	4,5	-	4,5
Bemesting maïsland (kg N/ha)	150	-	150
Dierlijke mest op maïsland (m ³ /ha)	50	-	40

In tabel A3.2 zijn de economische situatie en milieukengetallen (inclusief lachgasemissie) te zien van de drie bedrijven, met enkele relevante milieukengetallen. Het beleidsvoorstel is om in 2003 al de strengste verliesnormen laten gelden, evenals een systeem voor plaatsingsruimte van mest. Voor mest die dan niet op het eigen bedrijf te plaatsen is, moet een mestafzetcontract worden gesloten. De ingeschatte omvang hiervan is ook in tabel A3.2 weergegeven. Mestafvoer vindt op deze bedrijven in 1998 overigens nog niet plaats. Verder is ook een inschatting gemaakt van de MINAS-heffing als de overschotten van stikstof en fosfaat ten tijde van de eindnormen (voorstel: 2003) nog dezelfde hoogte hebben.

Tabel A.3.2 Economische- en milieukenngetallen voor drie verschillende bedrijfstypes in 1998

Uitgangssituaties 1998	Intensieve Flevolandse bedrijven op kleigrond		Extensieve westelijke veenweidebedrijven		Zandbedrijven met gemiddelde intensiteit	
	totaal	per kg melk	totaal	per kg melk	totaal	per kg melk
A. OPBRENGSTEN	642570	0.88	367263	0.92	374696	0.90
B. TOEGEREKENDE KOSTEN	154571	0.21	81465	0.20	88902	0.21
- waarvan voerkosten	83466	0.11	35435	0.09	38538	0.09
C. SALDO (A-B)	487999	0.67	285798	0.71	285794	0.68
D. NIET TOEGEREKENDE KOSTEN	449573	0.62	350425	0.88	345939	0.83
Waarvan:						
- loonwerk	59834	0.08	32694	0.08	41014	0.10
- machines, werktuigen, inventaris, etc.	83769	0.11	74608	0.19	72163	0.17
- grond en gebouwen	172176	0.24	128657	0.32	107489	0.26
- Voorspelde Minas-heffing bij eindnormen	15874	0.02	3024	0.01	13776	0.03
ARBEIDSOPBRENGST	125671	0.17	22618	0.06	27100	0.06
voorgestelde Minas-eindnorm (kg N/ha)	169		180		121	
Minas N-overschot (kg N/ha)	241		200		204	
veebezetting (gve/ha)	2.74		1.73		2.16	
omvang mestafzetcontract vanaf 2003 (ton)	963		0		268	
ammoniakemissie (kg NH ₃ /ha)	72.8		57.9		54	
nitraatconcentratie grondwater (mg NO ₃ /l)	22.2		0.9		82.3	
lachgasemissie (kg N/ha)	9.07		24.14		8.21	

Situatie 1990

Het referentiejaar voor lachgasemissie is 1990. Een aantal aspecten van de bedrijfsvoering op het melkveebedrijf is veranderd in de loop van de negentiger jaren. De prijzen voor melk en vlees waren in 1990 hoger dan in 1998. Uitgegaan is van circa f 600,- hogere prijs per koe en f 200,- hogere verkoopprijs per kalf. De melkprijs lag circa 7 cent per kg hoger dan in 1998. De bedrijven kregen in 1990 geen maïspremie. De prijzen van kunstmest en krachtvoer waren in 1990 ongeveer 15 procent hoger. Verder heeft inflatie een rol gespeeld in de loop der jaren, zodat de meeste prijzen en tarieven hoger zijn geworden. De vervangingswaarden van gebouwen, installaties en werktuigen waren daardoor in 1990 een stuk lager. De gemiddelde rente was hoger in 1990 dan in 1998. Er is uitgegaan van een gemiddelde rente in 1998 van 5 procent en in 1990 van 7,5 %.

Op het gebied van bemesting zijn de niveaus van stikstof en fosfaat over het algemeen verlaagd. Ook aanvoer van organische mest naar de melkveebedrijven is in de loop der jaren steeds minder geworden. Verder is na 1990 de uitrijdperiode van organische mest steeds korter geworden en is de benutting van nutriënten verhoogd. De kosten voor mestopslag zijn gestegen. In de loop van de negentiger jaren is de toedieningstechniek van organische mest gewijzigd. In 1990 kon nog bovengronds mest toegediend worden, maar in 1998 is alleen emissiearm toedienen nog toegestaan. De bemesting van organische mest op maïsland is verlaagd in de loop van de negentiger jaren. In het begin van de jaren 90 is nog veel minder bewust omgegaan met benutting van mineralen bij de voeding dan momenteel het geval is. In de zomer zijn toen meer dieren dag en nacht geweid dan aan momenteel het geval is. Ook bijvoeding van maïs in de zomerperiode was geen algemeen gebruik. Aan het eind van de jaren 90 is het ureumgehalte in de melk als managementstool in gebruik

genomen. Hiermee kunnen veehouders gericht sturen naar een optimale stikstofbenutting en eiwitvoorziening van hun veestapel. In tabel A3.3 is aangegeven hoe de drie bedrijven er in 1990 ten opzichte van 1998 uitzagen.

Tabel A3.3 Ruwe inschatting van situaties in 1990, met de veranderingen in 1998

Uitgangssituaties 1990	Intensieve Flevolandse bedrijven op kleigrond		Extensieve westelijke veenweidebedrijven		Zandbedrijven met gemiddelde intensiteit	
	1990	situatie 1998 - situatie 1990	1990	situatie 1998 - situatie 1990	1990	situatie 1998 - situatie 1990
A. OPBRENGSTEN	577000	+65500	369000	-1500	369000	+6000
B. TOEGEREKENDE KOSTEN	152000	+2000	85000	-3000	85000	+4000
- waarvan voerkosten	86000	+2500	38000	-3000	38000	+500
C. SALDO (A-B)	425000	+63500	284000	+1500	284000	+1500
D. NIET TOEGEREKENDE KOSTEN	373000	+76500	293000	+57500	293000	+53000
Waarvan:						
- loonwerk	40000	+20000	30000	+2500	30000	+11000
- machines, werktuigen, inventaris, etc.	81000	+2500	70000	+4500	70000	+2000
- grond en gebouwen	159000	+13500	105000	+23500	105000	+2500
ARBEIDSOPBRENGST	117000	+25000	1000	+25000	56000	-15000
voorgestelde Minas-eindnorm (kg N/ha)	168	+1	180	+0	122	-1
Minas N-overschot (kg N/ha)	334	-93	281	-81	297	-94
veebezetting (gve/ha)	3.0	-0.4	1.9	-0.2	2.4	-0.2
omvang mestafzetcontract vanaf 2003 (ton)	1100	+100	0	+0	400	-100
ammoniakemissie (kg NH ₃ /ha)	170	-94	100	-41	130	-75
nitraatconcentratie grondwater (mg NO ₃ /l)	22	-1	1	-0	100	-17
luchgasemissie (kg N/ha)	11	-1	25	-1	10	-2

Toekomstige ontwikkeling

Minas en mestbeleid

Het is momenteel niet precies duidelijk hoe MINAS er vanaf 2003 uit zal zien. De normen die oorspronkelijk voor 2008 waren vastgesteld, gelden al vanaf 2003. Dit betekent dat de verliesnorm voor grasland 180 kg N/ha en voor maïsland 100 kg N/ha wordt. Voor uitspoelingsgevoelige gronden (droge zandgronden en wellicht löss) gelden strengere normen van respectievelijk 140 kg N/ha voor grasland en 60 kg N/ha voor maïsland. Hoe het beleid ten aanzien van fosfaat eruit gaat zien is onduidelijk. Wel is helder dat de overschothefingen stijgen naar f 5,- per kg N en maximaal f 20,- per kg fosfaat boven de verliesnorm. De regeringsvoorstellen beogen tevens het aan banden leggen van de aanwending van drijfmest. Dit gebeurt met een stelsel waarbij mestaanwending via een maximaal aantal dieren (mesteenheden) per ha wordt gelimiteerd. In de praktijk zal per bedrijf voor het teveel aan geproduceerde mest een mestafzetcontract moeten worden afgesloten. Als alternatief voor zo'n contract kan door grondaankoop het aantal dieren en de oppervlakte in, een door de wetgever gewenst, evenwicht worden gebracht.

Prijseffecten

Als gevolg van agenda 2000 en de WTO-onderhandelingen zullen waarschijnlijk de prijzen voor melk en vlees dalen. Hier staan wel enige vormen van compensatie tegenover. Exacte effecten zijn uiteraard nog niet bekend. Uitgaande van ruim 78

cent per kg melk, 15 % daling van de melkprijs en een bepaalde compensatie per kg melk, komt een melkprijs van circa 70 cent per kg in beeld. Lagere vleesprijzen lijken ook reëel, maar koe-compensaties zullen dit waarschijnlijk voor een deel tegemoet komen. Ook een daling van de krachtvoerkosten is voorzien. Verder lijkt de akkerbouwsteun (maïspremie) ruim f 200,- per ha te stijgen, maar het onderscheid tussen zand en kleigronden komt te vervallen. Er is voor de toekomstige situatie gerekend met een melkprijs van f 70,- per 100 kg, een vleesprijs die 5 % lager is dan de huidige, 10 % lagere krachtvoerkosten en maïspremie die f 200,- / ha hoger ligt.

Natuurontwikkeling

In het Nederlandse beeld van veehouderij past in de nabije toekomst ook de nodige aandacht voor natuur- en landschapsontwikkeling. Enkele voorbeelden hiervan zijn perceelsrandenbeheer, slootkantenbeheer, slootwaterpeilverhoging en beheersovereenkomsten op grasland. Voor de extensieve situatie op veengrond (situatie B) is in de autonome ontwikkeling gerekend met 5 ha grasland met een beheersovereenkomst, waarbij 15 juni de eerste maaidatum is.

Wijziging bedrijven

In tabel A3.4 zijn de maatregelen voor de drie verschillende bedrijfstypen weergegeven die getroffen zijn om aan de MINAS-normen te voldoen. Uitgangspunt bij de berekeningen was een stap-voor-stap benadering: de eerste maatregel is een melkproductieverhoging van 500 kg per koe, vervolgens minder jongvee aanhouden (5% lager vervangingspercentage), daarna een verlaging van de stikstofjaargift tot minimaal 250 kg N/ha. Pas als met deze maatregelen de MINAS-normen nog niet worden gehaald vindt mestafvoer plaats. Dit tot een hoeveelheid waarbij precies aan de MINAS-normen wordt voldaan. Bij het extensieve bedrijf op veengrond is ook uitgegaan van 5 ha grasland met een beheersovereenkomst, waarbij maaien voor 15 juni niet is toegestaan en de beheersvergoeding f 730,- per hectare bedraagt.

Tabel A3.4. Maatregelen om aan de Minas-normen te voldoen

Bedrijfstype	Maatregelen
A: intensief bedrijf op kleigrond	+ 500 kg melk/koe 5% lager vervangingspercentage stikstofjaargift verlagen tot 327 kg N/ha
B: extensief bedrijf op veengrond	5 ha in beheersregime ¹ stikstof bemesten volgens advies
C: bedrijf op zandgrond met gemiddelde intensiteit	+ 500 kg /koe 5% lager vervangingspercentage stikstofjaargift verlagen tot 250 kg N/ha 100 m ³ mestafvoer

¹ Deze maatregel is niet van belang om het MINAS-overschot te verlagen, maar geeft wel de autonome ontwikkeling weer

In tabel A3.5 is de autonome situatie (verwachte toekomstige ontwikkeling) weergegeven die we als basis gebruiken bij het doorrekenen van de verschillende maatregelen voor lachgasreductie.

Tabel A3.5 Toekomstige ontwikkeling verschillende bedrijfstypen na prijseffecten en effecten mestbeleid

Ontwikkeling van de bedrijven	Intensieve Flevolandse bedrijven op kleigrond		Extensieve westelijke veenweidebedrijven		Zandbedrijven met gemiddelde intensiteit	
	toekomstige ontwikkeling	verschil met 1998	toekomstige ontwikkeling	verschil met 1998	toekomstige ontwikkeling	verschil met 1998
OPBRENGSTEN	538638	-103932	329398	-37865	330683	-44013
TOEGEREKENDE KOSTEN	132265	-22306	76818	-4647	77633	-11269
SALDO	406373	-81626	252580	-33218	253050	-32744
NIET TOEGEREKENDE KOSTEN	424653	-24920	346124	-4301	329604	-16335
ARBEIDSOPBRENGST	68965	-56706	-6299	-28917	10691	-16409
voorgestelde Minas-eindnorm 2003 (kg N/ha)	169	+0	180	+0	121	+0
Minas N-overschot	168	-73	149	-51	121	-83
veebezetting (gve/ha)	2.48	-0.3	1.73	+0.0	1.95	-0.2
mestafzetcontract 2003 (m³)	620	-343	0	+0	46	-222
ammoniakemissie (kg NH3/ha)	65	-8.2	55	-3.0	47	-7.4
nitraatconcentratie grondwater (mg NO3/l)	17	-5.3	1	-0.3	46	-36.7
lachgasemissie (kg N/ha)	7.39	-1.68	21.00	-3.14	6.12	-2.09

Specifiek bemestingsmaatregelen

In tabellen A3.6 tot en met A3.11 zijn de gevolgen van maatregelen op lachgasemissie uit de drie bedrijven weergegeven ten opzichte van de ingeschatte toekomstige (autonome) ontwikkeling.

Tabel A 3.6 Effecten van bemestingsmaatregelen op het intensieve kleibedrijf in Flevoland. De verschillen zijn weergegeven ten opzichte van de toekomstige (autonome) ontwikkeling.

Bemesting op intensieve kleibedrijven in Flevoland	toekomstige ontwikkeling	mest injecteren	minder mest op maïs	minder stikstof	na 15 juni geen mest
toegerekende kosten (f)	132265	-280	+131	+5869	-363
saldo (f)	406373	+280	-131	-5869	+363
niet toegerekende kosten (f)	424653	+789	+135	-2968	+2286
- ww: MINAS heffing (f)	0	+0	+22	+0	+0
arbeidsopbrengst (f)	68965	-509	-266	-2901	-1923
Minas eindnorm stikstof (kg N/ha)	169	+0	+0	+0	+0
Minas-stikstofoverschot (kg N/ha)	168	-5.8	+0.1	-36.1	-7.6
veebezetting (fosfaat gve / ha)	2.48	+0	+0	+0	+0
inschatting extra ha grasland nodig	11.2	+0	+0	+0	+0
lachgasemissie (kg N/ha)	7.39	-0.10	+0.00	-0.90	-0.10

Tabel A3.7 Gevolgen van bemestingsmaatregelen op het extensieve veenweidebedrijf. De verschillen zijn weergegeven ten opzichte van de toekomstige (autonome) ontwikkeling.

Bemesting op extensieve veenweidebedrijven	toekomstige ontwikkeling	mest verregenen	minder stikstof	na 15 juni geen mest
toegerekende kosten (f)	76818	-138	-1687	-136
saldo (f)	252580	+138	-759	+136
niet toegerekende kosten (f)	346124	+0	+153	+332
- ww: MINAS heffing (f)	0	+0	+0	+0
arbeidsopbrengst (f)	-6299	+138	-912	-196
verliesnorm stikstof (kg / ha)	180	+0	+0	+0
Minas eindnorm stikstof (kg N/ha)	149	-3.1	-26.1	-3.1
Minas-stikstofoverschot (kg N/ha)	1.73	+0	+0	+0
inschatting extra ha grasland nodig	0.0	+0	+0	+0
lachgasemissie (kg N/ha)	21	-0.10	-1.58	-0.09

Tabel A3.8 Effecten van bemestingsmaatregelen op zandbedrijven met gemiddelde intensiteit. De gevolgen zijn weergegeven ten opzichte van de toekomstige (autonome) ontwikkeling.

Bemesting op zandbedrijven met gemiddelde intensiteit	toekomstige ontwikkeling	mestinjectie + inregenen	minder mest op maïs	na 15 juni geen mest
toegerekende kosten (f)	77633	+61	-318	-163
saldo (f)	253050	-61	+318	+163
niet toegerekende kosten (f)	329604	+1478	+413	+702
- vv: MINAS heffing (f)	0	+278	+114	+0
arbeidsopbrengst (f)	10691	-1539	-95	-539
Minas eindnorm stikstof (kg N/ha)	121	+0	+0	+0
Minas-stikstofoverschot (kg N/ha)	121	+1.7	+0.7	-4.2
veebezetting (fosfaat gve / ha)	1.95	+0	+0	+0
inschatting extra ha grasland nodig	0.8	+0	+0	+0
lachgasemissie (kg N/ha)	6.12	+0.03	+0.01	-0.07

Tabel A3.9. Emissie van lachgas bij de verschillende maatregelen voor het intensieve bedrijf op kleigrond.

		Reductie van lachgas-emissie in kg N per ha ten opzichte van		
	Emissie	1990	1998	autonome ontwikkeling
1990	10.5			
1998	9.07			
autonome ontwikkeling	7.39			
Maatregel				
minder jongvee aanhouden	7.22	-3.28	-1.85	-0.17
melkproductie/koe +500 kg	7.31	-3.19	-1.76	-0.08
mestinjectie toepassen	7.29	-3.21	-1.78	-0.10
minder mest op bouwland	7.39	-3.11	-1.68	+0.00
minder stikstof strooien	7.31	-3.19	-1.76	-0.08
na 15 juni niet bemesten	7.29	-3.21	-1.78	-0.10
vanggewas na maïs	7.36	-3.14	-1.71	-0.03
meer maïs telen	7.31	-3.19	-1.76	-0.08

Tabel A3.10. Emissie van lachgas bij de verschillende maatregelen voor het extensieve bedrijf op veengrond.

		Reductie van lachgas-emissie in kg N per ha tov		
	Emissie	1990	1998	toekomstige ontwikkeling
1990	25.39			
1998	24.14			
toekomstige ontwikkeling	21			
Maatregel				
minder jongvee aanhouden	20.76	-4.63	-3.38	-0.24
melkproductie/koe +500 kg	20.73	-4.66	-3.41	-0.27
verregenen van mest	20.91	-4.48	-3.23	-0.09
minder stikstof strooien	19.42	-5.97	-4.72	-1.58
na 15 juni niet bemesten	20.91	-4.48	-3.23	-0.09

Tabel A3.11. Emissie van lachgas bij de verschillende maatregelen voor het bedrijf met gemiddelde intensiteit op zandgrond.

	Emissie	Reductie van lachgas-emissie in kg N per ha tov		
		1990	1998	toekomstige ontwikkeling
1990	10.3			
1998	8.21			
toekomstige ontwikkeling	6.12			
Maatregel				
minder jongvee aanhouden	5.94	-4.36	-2.27	-0.18
melkproductie/koe +500 kg	6.03	-4.27	-2.18	-0.09
mestinjectie en inregenen mest	6.15	-4.15	-2.06	+0.03
minder mest op bouwland	6.13	-4.17	-2.08	+0.01
na 15 juni niet bemesten	6.05	-4.25	-2.16	-0.07
vanggewas na maïs	6.06	-4.24	-2.15	-0.06
meer maïs telen	5.88	-4.42	-2.33	-0.24

Aanhangsel 4. Maatregelen om de lachgasemissie te verminderen

In dit aanhangsel 4 worden de volgende maatregelen beschreven die de lachgasemissie kunnen verminderen:

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

Maatregel 1a. Verlaging van de stikstofbemesting

Korte beschrijving

In de landbouwpraktijk worden gewassen vaak hoger bemest dan het volgens hwt bemestingsadvies. Dit wordt deels veroorzaakt doordat de stikstofgift niet wordt gecorrigeerd voor de werkzame stikstof die met dierlijke mest wordt toegediend en deels doordat zowel kunstmest als dierlijke mest goedkoop zijn (er wordt ruim met stikstof bemest als een soort verzekeringspremie om de opbrengst veilig te stellen). Tussen de gewassen kunnen grote verschillen bestaan. Gewassen als suikerbieten en fabrieksaardappelen worden meestal niet te ruim met stikstof bemest, omdat er dan mogelijk problemen ontstaan met de kwaliteit van het oogstproduct (respectievelijk het suikergehalte en het onderwatergewicht). Andere gewassen, zoals snijmaïs, veel vollegrondsgroenten en consumptieaardappelen worden vaak wel ruim met stikstof bemest. Grasland wordt ook vaak ruim bemest, maar de opname van grasland is hoog en bij giften tot 400 kg N per ha zijn de verliezen relatief gering. De adviezen van grasland zijn de laatste tien jaar verfijnd en houden rekening met de stikstoflevering van de bodem.

De lachgasemissie neem toe naarmate de stikstofgift toeneemt, omdat i) de N_2O/N_2 -verhouding van de denitrificatie producten toeneemt bij een hogere nitraatconcentratie, ii) de tijd van verhoogde minerale N gehalten in de bodem toeneemt naarmate de gift hoger is en iii) de hoeveelheid minerale N die in de herft en winter in de bodem achterblijven (= de minerale N die niet door het gewas is opgenomen) hoger is naarmate er ruimer is bemest.

Bij veel gewassen zal het bemesten volgens advies, het verrekenen van de stikstofwerking van dierlijke mest en het rekening houden met de stikstofmineralisatie uit gewasresten leiden tot een aanzienlijke besparing van de stikstofgift, zonder een sterke opbrengstderving.

In de afgelopen jaren zijn er voor grasland en veel ander gewassen milieukundige criteria opgesteld voor een verantwoorde stikstofbemesting. De milieukundige criteria zijn bijvoorbeeld het stikstofoverschot, de hoeveelheid anorganische bodemstikstof in het najaar of het nitraatgehalte in het bovenste grondwater. De daarbij geadviseerde stikstofgiften zijn lager dan de standaardadviezen.

Effectiviteit

De effectiviteit is hoog, omdat bemestingsmaatregelen direct een effect hebben op de minerale stikstof in de bodem; dit is een van belangrijkste sturende factoren voor de N₂O-emissie uit landbouwbodems. Daarnaast leidt een lagere stikstofbemesting ook tot een lagere indirecte lachgasemissie uit ammoniakvervluchtiging en nitraatuitspoeling. Daarbij geldt dat in de gangbare landbouwpraktijk ruim wordt bemest met stikstof en er dus duidelijke perspectieven zijn voor het verlagen van de stikstofgift. Indien wordt uitgegaan dat de totale stikstofgift in Nederland via zowel kunstmest als dierlijke mest met 25 procent omlaag gaat en de emissiefactor is gelijk aan die van Velthof en Oenema (1997; zie tabel 5) dan neemt de totale lachgasemissie in Nederland af met 1,37 Mton CO₂-equivalenten per jaar ten opzichte van 1990. Bij vermindering van alleen de totale kunstmestgift in Nederland met 25 procent neemt de lachgasemissie af met 0,82 Mton CO₂-equivalenten per jaar en bij vermindering van alleen de totale dierlijke mestgift in Nederland met 25 procent neemt de lachgasemissie af met 0,43 Mton CO₂-equivalenten per jaar ten opzichte van 1990. Daarnaast zal de N₂O-emissie uit gewasresten ook sterk afnemen (zie R.O.B-project 1.3). Er zijn dus duidelijke perspectieven om de lachgasemissie uit landbouwgronden te verminderen door een lagere stikstofbemesting. De vermindering van 25 procent van de totale stikstofgift in Nederland lijkt hoog, maar is waarschijnlijk noodzakelijk om aan de eindnormen van MINAS te kunnen voldoen

Kostenefficiëntie

De efficiëntie is relatief hoog, omdat de boer minder stikstofmeststoffen hoeft aan te kopen, zonder een opbrengstderving. Hierbij moet worden opgemerkt dat het risico op een slechtere oogst toeneemt (bijvoorbeeld in een nat jaar).

Controleerbaarheid

Op bedrijfsniveau kan door de verplichte MINAS-aangifte die de boeren moeten invullen inzicht worden gekregen over hoeveel kunstmest en dierlijke mest de boer heeft aangevoerd en toegediend. Deze informatie geeft een goede indruk van de gemiddelde stikstofgift van het bedrijf, maar geeft geen informatie over de specifieke bemesting per perceel.

Handhaafbaarheid

Via MINAS (meststoffenwet) kan inzicht worden gekregen in de aanvoer en afvoervan meststoffen naar een bedrijf..

Afwenteling en TEWI

In het algemeen zijn er bij het verlagen van de kunstmestgift geen duidelijke afwentelingsmechanismen. Een positief effect van verlagen van de stikstofgift is dat ook de nitraatuitspoeling zal afnemen. Indien het verminderen van de gift aan

dierlijke mest leidt tot langere opslagtijd van de mest, nemen de ammoniak- en methaanemissie toe.

Draagvlak bij boeren

Het draagvlak van boeren zal in eerste instantie laag zijn, omdat verlaging van de bemesting mogelijk zou kunnen leiden tot opbrengstderving. Deze maatregel is echter zeer positief (en meestal noodzakelijk) voor MINAS, waardoor het draagvlak de komende jaren zal toenemen.

Kennishiaten

- kwantificering van de relatie tussen de grootte van de kunstmestgift en lachgasemissie bij verschillende gewassen;
- kwantificering van de relatie tussen de grootte van de dierlijke mest gift en lachgasemissie bij verschillende gewassen;
- voorspellen van de mineralisatie van de bodem, dierlijke mest en organische producten (gewasresten, organische meststoffen) in verband met het verfijnen van de stikstofbemestingsadviezen.

Maatregel 1b. Verlaging van stikstofgehalte in dierlijke mesten

Korte beschrijving

De stikstof uit dierlijke mest wordt in het algemeen slecht benut omdat een deel via ammoniakvervluchtiging verloren gaat en een groot deel van de organische stikstof vrijkomt in een periode waarin het gewas geen stikstof opneemt (bijvoorbeeld in de winter). De exacte werking is niet bekend en daardoor wordt er vaak ruim bemest met dierlijke mest en wordt een ruime aanvullende gift kunstmest ('verzekeringspremie') gegeven. De werking van kunstmest is veel beter bekend en de benutting van de stikstof uit kunstmest is (bij bemesting volgens advies) hoger dan uit dierlijke mest.

Door middel van veevoeding kan de stikstofuitscheiding van landbouwdieren worden gemanipuleerd, waarbij zowel de hoeveelheid als de soort stikstofverbindingen kunnen worden veranderd (gemakkelijk en moeilijk afbreekbare organische stikstof). Door middel van het aanpassen van het rantsoen kan dus de samenstelling van de mest worden veranderd en mogelijk ook de benutting.

Effectiviteit

Er wordt een grote hoeveelheid dierlijke mest op landbouwgronden gebracht, zodat een mogelijke verbetering van de stikstofbenutting en het verminderen van de lachgasemissie uit dierlijke mest een groot effect kan hebben op de totale lachgasemissie in Nederland. Indien wordt aangenomen dat door aanpassing van het rantsoen het stikstofgehalte in dierlijke mest in Nederland gemiddeld met 10 procent daalt, dan neemt de totale lachgasemissie in Nederland af met 0,05 Mton CO₂-equivalenten per jaar ten opzichte van 1990. Deze globale schatting moet nader worden onderbouwd met experimenteel onderzoek.

Kostenefficiëntie

De kostenefficiëntie is moeilijk in te schatten; dit is sterk afhankelijk van het soort rantsoen. Het mag niet worden uitgesloten dat een verfijning van de veevoeding leidt tot hogere kosten.

Controleerbaarheid

De controleerbaarheid is moeilijk; hiertoe zou het rantsoen en de mest nauwkeurig moeten worden geanalyseerd. In het kader van MINAS wordt informatie verzameld over aankoop van voer en de samenstelling van afgezette mest; mogelijk is deze informatie bruikbaar om te controleren of de maatregel wordt uitgevoerd.

Handhaafbaarheid

De handhaafbaarheid is moeilijk; mogelijk kunnen de gegevens over mest-samenstelling uit de MINAS-aangifte worden gebruikt.

Afwenteling en TEWI

Het risico op afwenteling en TEWI is gering, behalve indien aanpassen van rantsoen leidt tot een verhoging van de methaan- en ammoniakemissie. Dit is niet waarschijnlijk. Een verlaging van het stikstofgehalte in mest zal meestal ook leiden tot een lagere ammoniakemissie en nitraatuitspoeling.

Draagvlak bij boeren

Het draagvlak bij boeren is beperkt, maar kan sterk toenemen indien duidelijk wordt gemaakt dat deze maatregel ook positief is in het kader van MINAS.

Kennishiaten

- Kwantificering van de relatie tussen mestsamenstelling en lachgasemissie voor verschillende mesten;
- kwantificering van de relaties tussen soorten rantsoen en de mestsamenstelling;
- methode om de stikstofwerking van dierlijke mest beter te voorspellen.

Maatregel 2. Deling van stikstofgiften

Korte beschrijving

Uit onderzoek van Velthof et al. (1997) blijkt dat de emissiefactor voor lachgasemissie toeneemt naarmate de stikstofgift toeneemt. Dit betekent dat de lachgasemissie hoger is bij een grote stikstofgift dan bij de dezelfde stikstofgift die is opgesplitst in meerdere delen.

In de gangbare landbouw in Nederland wordt op grasland de totale jaarlijkse stikstofgift opgesplitst in 5-7 giften, die worden toegediend nadat er gemaaid is (elke snede wordt bemest). Een verdere opsplitsing is met name mogelijk bij de eerste snede, omdat i) bij deze snede de grootste hoeveelheid stikstof wordt toegediend en ii) deze snede enkele weken duurt. Ook bij bepaalde akkerbouwgewassen, zoals

aardappelen en wintertarwe wordt de benodigde stikstofgift in verschillende delen (meestal 2-3) toegediend.

Het delen van de stikstofgift en het aanpassen van de stikstofgift aan de behoefte van het gewas, kunnen leiden tot een hogere stikstofbenutting. Dit leidt tot een mindere benodigde hoeveelheid.

Effectiviteit

Uitgaande dat i) deling van de stikstofgiften bij akkerbouwgewassen leidt tot een vermindering van de hoeveelheid kunstmest bij akkerbouwgewassen met 10 procent en dat ii) deling van de eerste kunstmeststikstofgift op grasland in twee giften leidt tot afname van de emissiefactor voor kunstmest met gemiddeld 5 procent, kan een vermindering worden gerealiseerd van de lachgasemissie met 0,05 Mton CO₂-equivalenten per jaar ten opzichte van 1990. Deze globale schatting moet nader worden onderbouwd met experimenteel onderzoek.

Kostenefficiëntie

De hoeveelheid kunstmest zal afnemen, maar de boer (of loonwerker) moet vaker kunstmest gaan toedienen. De kosten zullen (iets) toenemen.

Controleerbaarheid

De controleerbaarheid is moeilijk (het niet zichtbaar of een boer de bemesting deelt en hoeveel hij steeds toedient).

Handhaafbaarheid

De handhaafbaarheid is moeilijk.

Afwenteling en TEWI

De risico's op afwenteling zijn gering.

Draagvlak bij boeren

Het draagvlak is beperkt, omdat deze maatregel meer arbeid vraagt. Het draagvlak kan worden verhoogd indien deze maatregel leidt tot lagere stikstofgiften (is positief in het kader van MINAS).

Kennishiaten

- Kwantificering van de relatie tussen de grootte van de stikstofgift en lachgasemissie onder verschillende omstandigheden en bij verschillende gewassen.

Maatregel 3. Mestbehandeling, –bewerking en –opslag (inclusief stalmest)

Korte beschrijving

Er worden in Nederland allerlei technieken ontwikkeld waarbij mest wordt behandeld (bijvoorbeeld scheiden van mest, drogen van mest, vergisting, compostering, menging, verbranding etc.). De behandelde mest wordt vaak als meststof of bodemverbeteraar toegediend aan de bodem. Daarnaast is er een toename van de biologische landbouw, waardoor meer stalmest wordt verzameld en gebruikt. Deze verandering in het mest gebruik kunnen een effect hebben op de lachgasemissie. Als een bepaalde behandeling leidt tot een afname van de lachgasemissie kan deze behandeling mogelijk worden gebruikt als maatregel om de lachgasemissie te beperken.

Effectiviteit

Er zijn een groot aantal methoden van mestbehandeling, zodat het moeilijk is om een algemene effectiviteit aan te geven. Het moet hierbij worden opgemerkt dat in de gangbare landbouw vooral dunne mest wordt verzameld en dat deze mest een verwaarloosbare lachgasemissie heeft in de opslag (de mest is anaëroob, zodat er geen nitrificatie kan optreden en er dus geen nitraat aanwezig is). Verder zijn er aanwijzingen dat de lachgasemissie na toediening van dunne mest aan landbouwgronden (en met name op grasland) vaak beperkt is.

De lachgasemissie uit stalmestsystemen is relatief hoog is en hoger dan uit de opslag van dunne mest. De stro in de stalmest kan na toediening van de mest aan de grond leiden tot een tijdelijke immobilisatie van bodemstikstof, waardoor de lachgasemissie mogelijk lager is dan die uit dunne mest. Het is echter de vraag of deze lagere emissie na toediening de hogere lachgasemissie uit de stal compenseert. Onderzoek van Flessa et al. (1995) laat zien dat ook na toediening van stalmest aan landbouwgronden een aanzienlijke lachgasemissie kan optreden.

Mestbehandelingstechnieken hebben waarschijnlijk alleen een effect op de lachgasemissie indien ze leiden tot stabiele organische stikstofverbindingen in de mest. Deze behandelde mest is dan echter minder geschikt als meststof (de werking is beperkt). Daarnaast kunnen mestbehandelingstechnieken tot minder lachgasemissie leiden indien ze de hoeveelheid stikstof in de mest verlaagt.

De effectiviteit van de mestbehandelingsmaatregelen is niet duidelijk, maar lijkt op dit moment beperkt.

Kostenefficiëntie

De meeste mestbehandelingstechnieken zijn relatief duur. Anderzijds kan met bepaalde technieken energie worden gewonnen. Belangrijk is ook dat mestbehandeling een mogelijke oplossing is voor boeren om aan de MINAS-normen te voldoen. Het niet (kunnen) voldoen aan MINAS gaat gepaard met (hoge) boetes.

Controleerbaarheid

De controleerbaarheid is sterk afhankelijk van de soort behandelingsmethode. Er kan wel worden gecontroleerd of een boer een bepaalde behandelingsmethode op zijn bedrijf heeft, maar moeilijker is te controleren of alle mest inderdaad wordt behandeld. Indien de mestbehandeling buiten het bedrijf plaats vindt, kan via de transporteur en mestverwerker inzicht worden verkregen in de hoeveelheid mest die een bepaalde boer laat behandelen.

Handhaafbaarheid

De handhaafbaarheid is moeilijk, behalve als één duidelijk omschreven behandelingsmethode wordt ontwikkeld.

Afwenteling

Enerzijds kunnen mestbehandelingstechnieken leiden tot minder methaanemissie, ammoniakemissie, nitraatuitspoeling en minder energiegebruik (indien de mest als energiebron wordt gebruikt), maar anderzijds kan de lachgasemissie tijdens de behandeling of opslag (bijvoorbeeld bij stalmest) toenemen. Mestbehandelings-technieken zullen vaak leiden tot een slechtere beschikbaarheid van de stikstof voor de plant, waardoor behandelde mest minder geschikt als meststof als de niet behandelde mest. Er bestaat dan een risico dat de boer extra kunstmest gaat toedienen om de opbrengst en kwaliteit van het gewas te waarborgen.

Draagvlak bij boeren

Het draagvlak is beperkt, behalve indien de mestbehandeling positief is in het kader van MINAS. Bij varkensboeren lijkt momenteel een duidelijk draagvlak te ontstaan voor het behandelen van mest; voor deze boeren is het waarschijnlijk de enige methode om hun bedrijf voort te kunnen zetten bij de eindnormen van MINAS.

Kennishiaten

- Kwantificering van de lachgasemissie uit verschillende mesten en verschillende behandelde mesten, zowel tijdens de behandeling, in de opslag als na toediening;
- bemestende waarde van de behandelde mesten;
- integrale aspecten: lachgasemissie, methaanemissie, ammoniakemissie, nitraatuitspoeling, CO₂-productie bij verschillende behandelde mesten;
- kwantificering van de lachgasemissie uit stalmest in de stal en na toediening aan de bodem.

Maatregel 4. Geen toediening van zowel dierlijke mest als een nitraathoudende kunstmest binnen een bepaalde tijd

Korte beschrijving

Denitrificatie is het belangrijkste proces waarbij lachgas wordt gevormd. Belangrijke sturende factoren zijn een laag zuurstofgehalte (natte omstandigheden), aanwezigheid van nitraat en de aanwezigheid van gemakkelijk afbreekbare organische stof. Toediening van gemakkelijk afbreekbare organische stof met dierlijke mest kan leiden

tot een verhoging van de denitrificatiecapaciteit van de bodem. Het bemesten van een bodem waaraan recent dierlijke mest is toegediend met nitraat kan leiden tot een hogere denitrificatie en lachgasemissie in vergelijking tot een bodem waaraan geen dierlijke mest is toegediend (Clayton et al., 1997). Het niet toedienen van dierlijke mest en nitraathoudende kunstmest aan een bepaald graslandperceel binnen een bepaalde periode kan een maatregel zijn om de lachgasemissie te beperken.

Effectiviteit

Op de meeste graslanden in Nederland wordt zowel dierlijke mest als nitraathoudende kunstmest gebruikt. Indien wordt aangenomen dat door aanpassing van de bemestingsstrategie de lachgasemissie uit kunstmest uit grasland met 10 procent kan worden gereduceerd, kan een vermindering van de lachgasemissie in Nederland met 0,07 Mton CO₂-equivalenten per jaar worden gerealiseerd ten opzichte van 1990. Deze globale schatting moet nader worden onderbouwd met experimenteel onderzoek.

Kostenefficiëntie

Neutraal. Door een uitgekende bemestingsstrategie zijn de kosten gering.

Controleerbaarheid

De controleerbaarheid is moeilijk; het is na verloop van tijd niet meer zichtbaar of een bepaald perceel met dierlijke mest is bemest.

Handhaafbaarheid

De handhaafbaarheid is moeilijk.

Afwenteling en TEWI

Het risico is beperkt. Er is alleen een risico op afwenteling indien de boeren de dierlijke mest gift gaan uitstellen, waardoor de mest langer wordt opgeslagen en de ammoniak- en methaanemissie toenemen.

Draagvlak bij boeren

Het draagvlak zal in eerste instantie beperkt zijn. Deze maatregel heeft een beperkte invloed op MINAS. De maatregel is niet ingrijpend (de timing van bemesting moet worden verfijnd), zodat er mogelijk een draagvlak kan worden gecreëerd door goede richtlijnen en voorlichting.

Kennishiaten

- Kwantificering van de lachgasemissie uit grasland en bouwland waaraan zowel dierlijke mest als nitraathoudende kunstmest wordt toegediend;
- wat is het effect van de lengte van de periode tussen de toediening van dierlijke mest en kunstmest op de lachgasemissie;
- effect van toedieningstechniek van dierlijke mest op de lachgasemissie uit kunstmest die later wordt toegediend.

Maatregel 5. Aanpassing van bemesting tijdens natte perioden

Korte beschrijving

De lachgasemissie is het hoogst onder natte omstandigheden. Dit geldt met name voor nitraathoudende meststoffen. De lachgasemissie uit grasland vertoont in het algemeen een piek enkele dagen na bemesting en deze de grootte van deze piek is sterk afhankelijk van het vochtgehalte. Het uitstellen van bemesting tot een drogere periode (mbv. de weersverwachting) of het gebruiken van een ammoniummeststof in plaats van een nitraathoudende meststof tijdens de natte omstandigheden zijn mogelijke maatregelen die de lachgasemissie kunnen verminderen (Velthof et al., 1997). Een mogelijke maatregel voor grasland zou kunnen zijn dat de bemesting van de eerste snede in het (vaak natte) voorjaar met een ammoniummeststof gebeurt in plaats van een nitraathoudende meststof. Dit zou met name op veengronden (die in het vroege voorjaar nat zijn) tot een sterke vermindering van de lachgasemissie kunnen leiden.

Effectiviteit

De meest gebruikte kunstmest in Nederland op grasland is KAS. Gezien het grote areaal grasland, het gebruik van KAS en de relatieve hoge stikstofgiften in het vroege voorjaar zijn er duidelijke perspectieven om de lachgasemissie uit grasland te verminderen onder natte omstandigheden. Uitgaande dat een aanpassing van de bemestingsstrategie tijdens natte omstandigheden kan leiden tot een vermindering van de lachgasemissie uit kunstmest op grasland met 15 procent, kan een vermindering van de lachgasemissie in Nederland met 0,23 Mton CO₂-equivalenten per jaar worden gerealiseerd ten opzichte van 1990. Deze globale schatting moet nader worden onderbouwd met experimenteel onderzoek.

Kostenefficiëntie

De kosten voor ammoniummeststoffen zijn vergelijkbaar met die van nitraathoudende meststoffen. Mogelijk dat de door ammoniummeststoffen veroorzaakte verzuring tot een extra behoefte aan kalk leidt. Bij gebruik van bepaalde ammoniummeststoffen (zwavelzure ammoniak) op kalkrijke gronden zal de ammoniakemissie toenemen.

Controleerbaarheid

Moeilijk. Verschillen in soorten kunstmest zijn tijdens of vlak na toediening meestal goed zichtbaar, maar binnen enkele dagen zijn er geen verschillen zichtbaar.

Handhaafbaarheid

De handhaafbaarheid is moeilijk

Afwenteling en TEWI

Geen duidelijke afwentelingsmechanismen; mogelijk leidt gebruik van ammoniummeststoffen tot een toename van het gebruik van kalk.

Draagvlak bij boeren

Het draagvlak zal in eerste instantie beperkt zijn. Deze maatregel heeft een beperkte invloed op MINAS. De maatregel is niet ingrijpend, zodat er mogelijk een draagvlak kan worden gecreëerd door goede richtlijnen en voorlichting.

Kennishiaten

- Kwantificering van de lachgasemissie uit nitraat- en ammoniummeststoffen bij verschillende vochtgehalten; bij welk vochtgehalte is er een omslagpunt (i.e. is de lachgasemissie uit nitraat hoger dan uit ammonium);
- kwantificering van de lachgasemissie uit nitraat- en ammoniummeststoffen op grasland en bouwland.

Maatregel 6. Gebruik van nitrificatieremmers

Korte beschrijving

Nitrificatieremmers zijn verbindingen die de microbiële omzetting van ammonium naar nitraat (nitrificatie) remmen. Nitrificatieremmers kunnen hierdoor de lachgasemissie uit ammoniummeststoffen (inclusief dierlijke mest) remmen, zoals is aangetoond door Delgado en Mosier (1996), McTaggart et al. (1997) en Smith et al. (1997).

Er zijn een groot aantal chemische verbindingen die een nitrificatieremmende werking hebben (McCarty, 1999). Een deel van deze chemische verbindingen is echter toxisch en het is in Nederland verboden om deze verbindingen aan landbouwgronden toe te dienen. Een bekend voorbeeld is Nitrapyrin (N-serve). De bekendste nitrificatieremmer die in Nederland mag worden toegediend is DCD (dicyaandiamide; soms ook Didin of Ensan genoemd). DCD is een bestanddeel van de meststoffen Basammon Stabiël en Alzon 25 (NMI, 1995). Onderzoek eind jaren '80 (in kader van beperking van de nitraatuitspoeling) heeft aangetoond dat de DCD een remmende werking heeft op de nitrificatie van stikstof uit dierlijke mest en het nitraattransport in de bodem, maar dat de werking van DCD sterk afhankelijk is van weersomstandigheden (Corré & Zwart, 1995; Schöder et al., 1993; Wadman et al., 1993). DCD wordt bij temperaturen hoger dan 5-10 °C snel in de bodem afgebroken en verliest dan zijn remmende werking. Daarnaast is DCD goed oplosbaar in water en spoelt tijdens natte omstandigheden uit naar diepere bodemlaag. Ammonium is minder mobiel in de bodem dan DCD, zodat er tijdens natte omstandigheden een scheiding tussen DCD en ammonium in de bodem wordt gekregen en de remmende werking beperkt is. In bepaalde studies is DCD zelf uitgespoeld tot in het grondwater (Corré & Zwart, 1995). Onder de sterk variërende weersomstandigheden in Nederland heeft DCD een slecht voorspelbare werking. In landen met een kouder klimaat in het voorjaar (bepaalde delen van Duitsland) zijn de resultaten met DCD positiever.

Effectiviteit

Indien wordt aangenomen dat gebruik van nitrificatieremmers leiden tot een vermindering van de directe lachgasemissie uit kunstmest en dierlijke mest met 10

procent, dan is de totale vermindering van de lachgasemissie in Nederland gelijk aan met 0,31 Mton CO₂-equivalenten per jaar ten op zichte van 1990. Deze globale schatting moet nader worden onderbouwd met experimenteel onderzoek.

Kostenefficiëntie

De kosten zijn hoog; er moeten veel nitrificatieremmers worden gekocht en deze moeten goed worden gemengd met de mest en kunstmest.

Controleerbaarheid

De controleerbaarheid is moeilijk, omdat het niet zichtbaar is dat er een nitrificatieremmer aan de mest of meststof is toegediend.

Handhaafbaarheid

De handhaafbaarheid is moeilijk.

Afwenteling

Het risico op afwenteling is gering, maar er kunnen vraagtekens worden gezet of het wenselijk is om chemicaliën (die kunnen uitspoelen) aan de bodem toe te dienen om broeikasgasemissies te verminderen.

Draagvlak bij boeren

Het draagvlak bij boeren is gering omdat enerzijds de kosten hoger zijn en anderzijds er chemicaliën aan mest moeten worden toegediend. De maatregel kan een positief effect hebben op MINAS.

Kennishiaten

- Kwantificering van het effect van nitrificatieremmers op de lachgasemissie uit kunstmest en dierlijke mest; hierbij moet niet alleen DCD maar ook andere remmers worden onderzocht;
- neveneffecten van nitrificatieremmers: uitspoeling, toxiciteit, vermindering nitraatuitspoeling etc..

Maatregel 7. Nieuwe meststoffen en bemestingstechnieken

Korte beschrijving

Er worden allerlei 'nieuwe' meststoffen en bemestingsstrategieën ontwikkeld met als doel het verhogen van de benutting door het gewas en vermindering van de verliezen naar het milieu. Voorbeelden hiervan zijn rijenbemesting, fertigatie (meststoffen opgelost in irrigatiewater, toegediend via druppelaars), precisiebemesting (plaatsspecifieke bemesting), langzaamwerkende meststoffen (meststoffen waarbij de nutriënten geleidelijk gedurende een periode van weken tot maanden vrijkomen en de Cultan-methode of depotbemesting (Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition: plaatsing van ammonium in de bodem, waarbij de nitrificatie door de hoge ammoniumconcentraties wordt geremd). Deze meststoffen en bemestingsstrategieën leiden mogelijk ook tot een vermindering van de lachgasemissie.

Effectiviteit

De maatregel leidt tot zowel tot een vermindering van de directe lachgasemissie als de indirecte lachgasemissie, omdat de nitraatuitspoeling wordt verminderd. Uitgaande van een emissiereductie uit kunstmest van 10 procent en vermindering van de kunstmestgift met 5 procent zou de totale lachgasemissie in Nederland afnemen met 0,29 Mton CO₂-equivalenten per jaar ten op zichte van 1990. Deze globale schatting moet nader worden onderbouwd met experimenteel onderzoek.

Kostenefficiëntie

De meeste meststoffen en bemestingsstrategieën zijn duur.

Controleerbaarheid

De handhaafbaarheid is meestal moeilijk, want het is meestal niet duidelijk dat er een bepaalde bemestingstechniek is gebruikt.

Handhaafbaarheid

De handhaafbaarheid is moeilijk.

Afwenteling

Het risico op afwenteling is in het algemeen klein.

Draagvlak bij boeren

Het draagvlak is klein, omdat de kosten hoog zijn en er meer arbeid wordt gevraagd. Een deel van de maatregelen leiden tot een hogere stikstofbenutting en zijn dus positief effect in het kader van MINAS.

Kennishiaten

- Kwantificering van de lachgasemissie bij verschillende ‘nieuwe’ meststoffen en bemestingsstrategieën.

Maatregel 8. Wintergewassen**Korte beschrijving**

Wintergewassen (raaigras, rogge, 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. Het gaat hierbij om wintergewassen die niet worden bemest. Indien wintergewassen worden geteeld voor aanvoer van organischestof, wordt geadviseerd op stikstof via kunstmest of dierlijke mest toe te dienen. Een groot deel van deze stikstof wordt niet opgenomen door het wintergewas en gaat via uitspoeling en denitrificatie (inclusief N₂O) verloren. In dit rapport wordt uitgegaan van een onbemest wintergewas.

Indien het wintergewas in het voorjaar wordt ondergewerkt, komt een deel van de opgenomen stikstof vrij en kan door het volggewas worden opgenomen. Dit leidt tot besparing in kunstmest. Voor een goede groei, moet het wintergewas in augustus-

september worden gezaaid. Daardoor kunnen wintergewassen meestal alleen worden geteeld na granen en maïs (gewassen met relatief weinig stikstofrijke gewasresten) en niet na suikerbieten en aardappelen.

Effectiviteit

Wintergewassen kunnen goed na granen en maïs kunnen worden geteeld. Granen nemen efficiënt stikstof op en er blijft weinig stikstof over in de bodem; het telen van wintergewassen na granen zal de efficiëntie niet sterk vergroten. Na de teelt van maïs dat ruim met dierlijke mest is bemest blijft wel veel stikstof over en een wintergewas kan een deel van deze stikstof behoeven voor verlies tijdens de winter.

Indien wordt uitgegaan dat doot het telen in Nederland 5% minder kunstmest hoeft worden toegediend en dat de nitraatuitspoeling met 5% vermindert, dan kan een reductie van de lachgasemissie 0,10 Mton CO₂-equivalenten worden gerealiseerd ten opzichte van 1990. Deze globale schatting moet nader worden onderbouwd met experimenteel onderzoek. Daarnaast kunnen wintergewassen tot een lagere lachgasemissie uit gewasresten van maïs en granen leiden (zie ROB- project 1.3 over gewasresten); naar schatting van 0,01 Mton CO₂-equivalenten.

Kostenefficiëntie

Er zijn kosten voor zaaizaad en extra tijd voor grondbewerking en zaaien nodig. Anderzijds wordt minder kunstmest worden gebruikt. Netto zijn er kosten verbonden aan het gebruik van wintergewassen.

Controleerbaarheid effectiviteit

Het al dan niet telen van een wintergewas is duidelijk zichtbaar en controleerbaar. Het is echter meestal niet meer zichtbaar in de winter welk gewas op een perceel heeft gestaan; dit is van belang indien het telen van een wintergewas wordt gekoppeld aan een gewas (bijvoorbeeld maïs).

Handhaafbaarheid

Afhankelijk welk systeem ('voorgewas') er wordt gekozen, is de handhaafbaarheid redelijk tot moeilijk.

Afwenteling en TEWI

De teelt van vlinderbloemige wintergewassen kan tot een extra stikstofinput leiden en daardoor op een verhoogde N₂O-emissie: dit is sterk afhankelijk van het tijdstip van onderwerken.

Draagvlak bij boeren

Het draagvlak bij boeren is goed indien duidelijk wordt aangegeven dat het telen van wintergewassen ook een positief effect heeft op de MINAS-boekhouding en dat wintergewassen een extra bron van organische stof zijn, waardoor het organischestof gehalte van de bodem op peil kan worden gehouden (of verhoogd).

Kennishiaten

- Kwantificering van de effecten van soorten wintergewassen op de N₂O-emissie tijdens de winter en in het groeiseizoen;

- effect van het tijdstip en methode van onderwerken van wintergewassen op de N_2O -emissie;
- zijn er mogelijkheden om wintergewassen te telen na aardappelen en suikerbieten;
- stikstofnalevering uit wintergewassen.