

Beperking van lachgasemissie uit gewasresten

Een systeemanalyse

G.L. Velthof & P.J. Kuikman



Alterra-rapport 114.3, ROB-gewasresten

Beperking van lachgasemissie uit gewasresten

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 gewasresten

Een systeemanalyse

G.L. Velthof

P.J. Kuikman

Alterra-rapport 114-3

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

REFERAAT

Velthof, G.L. en P.J. Kuikman, 2000. *Beperking van lachgasemissie uit gewasresten; een systeemanalyse*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 114-3. 82.. blz. 6 fig.; 6 tab.; 57 ref.; 11 aanh.

In het kader van het Reductie Plan Overige Broeikasgassen project 1.3, getiteld 'Richtlijnen voor beheer en behandeling van gewasresten om de emissie van lachgas uit de bodem te verminderen', worden de mogelijkheden bestudeerd voor het verminderen van de lachgasemissie uit gewasresten die na de oogst in de bodem achterblijven. In deze deskstudie wordt een overzicht gegeven van arealen en hoeveelheden gewasresten van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen, wordt de lachgasemissie uit gewasresten gekwantificeerd en worden de meest perspectievolle reductiemaatregelen aangegeven. De lachgasemissie uit bouwland na de oogst wordt sterk bepaald door de samenstelling van de gewasresten, bodem- en klimaatsfactoren en management. De meest perspectievolle (combinaties van) maatregelen zijn het verlagen van de hoeveelheid stikstof in gewasresten door optimalisatie van de stikstofbemesting, het afvoeren van stikstofrijke gewasresten (suikerbieten en koolsoorten), gevolgd door compostering of ander gebruik, het mengen van stikstofrijke gewasresten met stikstofarme gewasresten en aanpassingen in grondbewerking. Een globale schatting geeft aan dat een reductie met 0,05-0,25 Mton CO₂-equivalenten per jaar in Nederland moet kunnen worden gerealiseerd met een pakket maatregelen op het gebied van gewasresten. De maatregelen leiden daarnaast ook tot een (sterke) vermindering van de lachgasemissie uit andere bronnen (met name bemesting).

Trefwoorden: broeikasgas, bodem, gewasresten, lachgas, stikstof.

ISSN 1566-7197

Opdrachtnummer NOVEM: 374299/0030

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 114-3. 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 en opbrengsten in Nederland	13
2.2 Kwantificering van de hoeveelheid stikstof in gewasresten	14
2.3 Gebruik van gewasresten	15
2.4 Stikstofstromen en –voorraden	15
2.4.1 Stikstofstromen in bouwland	15
2.4.2 Bemesting	16
2.4.3 Minerale stikstof in de bodem na oogst	17
2.4.4 Mineralisatie van gewasresten	18
3 Kwantificering van lachgasemissie uit bouwland en gewasresten	19
3.1 Literatuurstudie naar N ₂ O-emissie uit gewasresten	19
3.2 Schatting van N ₂ O-emissie uit gewasresten	20
3.2.1 IPCC-methode	20
3.2.2 Methode van Nederland	20
3.2.3 Aangepaste methode voor Nederland	20
3.3 Schatting van N ₂ O-emissie uit gewasresten in Nederland	21
4 Sturende factoren	25
4.1 Chemische, fysische en biologische factoren	25
4.2 Sociaal –economische factoren	25
5 Mogelijke maatregelen om emissie te beperken	29
5.1 Kritische teelten, tijdstippen en handelingen	29
5.2 Mogelijke maatregelen, kennishiaten en gewenst vervolgonderzoek	30
6 Kennishiaten en vervolgonderzoek	33
6.1 Kwantificering van N ₂ O-emissie	33
6.2 Teelt- en nutriëntenmanagement	33
6.3 Afwentelingsmechanismen	34
Literatuur	35

Aanhangsels

1 Arealen van akkerbouwgewassen, vollegronds-groenten en snijmaïs in Nederland	41
2 Arealen van gewassen in Nederland in 1990 en 1999 volgens FAO en volgens het CBS (CBS, 1990 en 1999) in ha	43
3 Opbrengsten van de oogstproducten (FAO)	45
4 Hoeveelheden stikstof in oogstproduct en gewasrest	47
5 Stikstofadviezen en –overschotten	49
6 Literatuurstudie naar N ₂ O-emissie uit gewasresten	51

7	Berekening van de N ₂ O-emissie	57
8	Directe N ₂ O-emissie uit gewasresten in NL in 1990 volgens IPCC-methode en de aangepaste methode	63
9	Hoeveelheid stikstof in gewasresten volgens de IPCC-methode en volgens de literatuur	65
10	Effect van grondbewerking op de N ₂ O-emissie uit gewasresten: een hypothese	67
11	Maatregelen om N ₂ O-emissie uit gewasresten te verminderen	69

Samenvatting en conclusies

Bij de teelt van akkerbouw- en tuinbouwgewassen blijven na de oogst gewasresten op het land achter. Gewasresten bevatten relatief veel stikstof in gemakkelijk afbreekbare verbindingen en kunnen daardoor een belangrijke bron van lachgas (N_2O) vormen.

In het kader van het Reductieplan Overige Broeikasgassen (ROB-Landbouw), Cluster 1 (Lachgasreductie door Ontwikkeling van Best Management Practices) wordt beoogd een reductie van de lachgasemissie uit verschillende bronnen te realiseren door middel van het ontwikkelen en toetsen van gerichte maatregelen. In het kader van ROB project 1.3 (Richtlijnen voor beheer en behandeling van gewasresten om de emissie van lachgas uit de bodem te verminderen) worden de mogelijkheden voor het verminderen van de lachgasemissie uit gewasresten bestudeerd.

In dit rapport worden de resultaten van de eerste fase van het project weergegeven: de systeemanalyse.

De systeemanalyse heeft de volgende doelstellingen:

1. het beschrijven van arealen, opbrengsten, bemesting en hoeveelheid gewasresten van akkerbouw en vollegrondsgroentegewassen;
2. het kwantificeren van de lachgasemissie uit gewasresten op basis van literatuurgegevens;
3. het beschrijven van de sturende factoren van lachgasemissie uit gewasresten;
4. het identificeren en beschrijven van de meest perspectievolle maatregelen.

De belangrijkste resultaten uit de systeemanalyse zijn:

- De geschatte grootte van de directe en indirecte lachgasemissie in Nederland uit gewasresten is 0,5 Mton CO_2 equivalenten; deze schatting is onzeker.
- Er zijn weinig studies in de literatuur (en in Nederland) waarin het effect van gewasresten op de lachgasemissie uit gewasrest en bodem direct is gemeten. Daarom gebruikt het Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) in haar methodiek voor schatting van de lachgasemissie de voor kunstmest afgeleide emissiefactor¹ (0,0125 kg N_2O -N per kg N) ook voor gewasresten.
- Het grootste oppervlak binnen akkerbouw in Nederland (ruim 80%) wordt samen ingenomen door snijmaïs, aardappelen, granen en suikerbieten.
- De hoeveelheid stikstof die in gewasresten achterblijft na de oogst verschilt sterk tussen gewassen. Na de teelt van doperwten, koolsoorten en suikerbieten blijft veel stikstof achter in de gewasresten met risico's op aanzienlijke emissies van

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.

lachgas; na de teelt van snijmaïs, uien en aardappelen blijft weinig stikstof over in de gewasresten en is het risico op emissie van lachgas dan ook kleiner.

- In de gangbare landbouwpraktijk en in de biologische landbouw worden bij de meeste gewassen de gewasresten op het land achtergelaten en in het najaar (op zand-, dal- en kleigronden) of voorjaar (alleen op zandgrond) ondergeploegd.
- Met de stikstoflevering uit gewasresten wordt tot nu toe bij de bemesting van het volgende gewas niet of in beperkte mate rekening gehouden. Om in de nabije toekomst aan de normen van MINAS (Mineralen Aangifte Systeem) te kunnen voldoen, zal in toenemende mate de stikstof uit gewasresten beter moeten worden benut en de bemesting hierop worden aangepast. Dit geldt in sterkere mate voor de biologische landbouw, omdat in dit systeem geen kunstmest mag worden gebruikt.
- De door Nederland gehanteerd methode om de totale lachgasemissie te berekenen (in het kader van rapportages aan IPCC) houdt niet direct rekening met de lachgasemissie uit gewasresten. Dit zou wel moeten gebeuren indien Nederland maatregelen gaat toepassen om de lachgasemissie uit gewasresten te beperken en deze wil meetellen in haar rapportage aan IPCC.
- In onderstaande tabel I wordt een overzicht en evaluatie gegeven van maatregelen op het gebied van gewasresten. Bij de effectiviteit gaat het alleen om de effectiviteit voor het reduceren van lachgasemissie uit gewasresten; een deel van de maatregelen leidt (ook) tot een lagere lachgasemissie uit andere bronnen (bijvoorbeeld bemesting). De schatting van de effectiviteit is onzeker en moet nader met experimenteel onderzoek worden onderbouwd.

Tabel I Maatregelen om de N₂O-emissie uit gewasresten te beperken

Maatregel	Globale schattingen van de effectiviteit, Mton CO ₂ -equivalenten ¹	Kosten-efficiëntie ²	Controleerbaarheid	Handhaafbaarheid	Risico op afwenteling/TEWI	Draagvlak bij boeren	Kennis-hiaten
Afvoeren en composteren	0,21	klein	goed	moeilijk	groot	klein	groot
Aanpassen van grondbewerking	0,17	zand: zeer groot klei: klein	goed	moeilijk: klei redelijk: zand	gering	zand: redelijk klei: zeer klein	groot
Mengen van gewasresten	0,13	klein	moeilijk	moeilijk	gering	redelijk	groot
Verlagen van stikstofbemesting	0,11	zeer groot	moeilijk	via MINAS	gering	redelijk	beperkt
Geen najaarstoediening dierlijk mest	0,05	zeer groot	goed	via uitrijregels Meststoffenwet	groot	zand: redelijk klei: klein	beperkt
Afvoeren en ander gebruik	0,02 – stro 0,22 – blad biet en kool	klein gemiddeld	moeilijk	moeilijk redelijk	groot	(zeer) klein	groot
Telen van wintergewassen	0,01	klein	goed	redelijk	klein	redelijk	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 gewasresten van 0,05-0,12 Mton CO₂-equivalenten per jaar.

² indicatie voor kosten voor vermindering van N₂O-emissie in guldens per ton CO₂-equivalenten per jaar.:

klein > fl. 100; gemiddeld fl. 50-100; groot fl. 0-50; zeer groot < fl. 0.

De kostenefficiëntie is bij de meeste maatregelen groter, omdat ook de N₂O-emissie uit bronnen wordt verminderd (met name stikstofbemesting).

- Het draagvlak bij boeren wordt versterkt indien de maatregel ook leidt tot een verlaging van het stikstofoverschot (in kader MINAS) en het voor boeren gemakkelijker wordt om aan MINAS te voldoen. Veel van de maatregelen uit de tabel zijn gunstig uit MINAS-oogpunt. Het is duidelijk dat de prikkel om maatregelen te accepteren minder groot zal worden indien het financieel gewin klein is of indien de maatregel slecht een beperkte invloed heeft op het MINAS-overschot.
- De meest perspectiefvolle (combinaties) van maatregelen zijn:
 - Verlagen van N in gewasresten door optimalisatie van N-bemesting met kunstmest en dierlijke mest;
 - afvoeren van stikstofrijke gewasresten zoals suikerbietenblad en blad van koolsoorten gevolgd door compostering en eventueel ander gebruik (als veevoer) of mengen van tarwe stro met suikerbietenblad
 - uitstellen van grondbewerking tot het voorjaar en geen najaarstoediening van dierlijke mest aan gronden met gewasresten;

De belangrijkste kennishiaten zijn:

- relatie tussen het stikstofgehalte in gewasresten en omvang van lachgasemissie;
- vaststellen effecten van voorjaars- en najaarstoediening van dierlijke mest en van aard en tijdstip van grondbewerking op land met gewasresten;
- vaststellen van effect van maatregelen om verliezen gedurende de winter te beperken (zoals combineren van stro met stikstofrijke gewasresten, teelt van wintergewassen, composteren en inventariseren van andere gebruiksmogelijkheden van gewasresten)
- kwantificering van de gasvormige stikstofverliezen (N_2O , N_2 , NH_3 en NO_x) uit mestopslag en tijdens compostering.

Een globale schatting geeft aan dat een reductie met **0,05-0,25 Mton CO_2 -equivalenten per jaar** moet kunnen worden gerealiseerd met een pakket maatregelen op het gebied van gewasresten. Een deel van de maatregelen leidt ook tot een (grote) vermindering in lachgasemissie van andere bronnen (met name bemesting). Deze (neven)effecten zijn niet in deze schatting verdisconteerd.

1 Inleiding

Bij de teelt van akkerbouw- en tuinbouwgewassen blijven na de oogst gewasresten op het land achter. Naar verwachting vormen gewasresten een belangrijke bron van lachgas (N_2O) en met name de gemakkelijk afbreekbare gewasresten die veel stikstof bevatten.

De hoeveelheid en het gehalte aan stikstof van de gewasresten zijn sterk afhankelijk van gewassoort, bemesting, oogsttijdstip, grondbewerking en weersomstandigheden. Het Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) heeft gewasresten als een afzonderlijke lachgasbron opgenomen in haar berekeningsmethodiek van de nationale emissies. In deze IPCC-methodiek zitten grote onzekerheden omdat er in de wetenschappelijke literatuur weinig gegevens zijn over lachgasemissie uit gewasresten. Nederland heeft een eigen methode voor de schatting van de lachgasemissie uit de landbouw (Kroeze, 1994) en in deze methode zijn gewasresten niet als afzonderlijke lachgasbron opgenomen.

In het kader van het Reductieplan Overige Broeikasgassen (ROB-landbouw) in Cluster 1 (Best Management Practices) 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 dit ROB-project 1.3 – *Richtlijnen voor beheer en behandeling van gewasresten om de emissie van lachgas uit de bodem te verminderen* worden de mogelijkheden voor het verminderen van de lachgasemissie uit gewasresten bestudeerd. Dit project is gericht op de gewasresten van akkerbouwgewassen, vollegrondsgroenten en voedergewassen (snijmaïs, luzerne, triticale, voederbieten). Gewasresten andere teelten (bollenteelt, glastuinbouw, boomkwekerij, grasland en andere) worden in dit project niet beschouwd.

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 worden in Nederland geteeld, wat zijn de opbrengsten en arealen, hoeveel gewasresten blijven achter na de oogst, wat is de samenstelling van de gewasresten en welke stikstofstromen in het systeem zijn belangrijk voor de lachgasemissie.
- Het kwantificeren van de lachgasemissie. De lachgasemissie uit gewasresten 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 gewasresten, waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen chemische, fysische en biologische factoren en sociaal-economische factoren.
- Het identificeren van mogelijke maatregelen, waarbij elke maatregel op de volgende aspecten wordt geëvalueerd: i) effectiviteit (potentiële reductie van N_2O -emissie), ii) kostenefficiëntie, iii) controleerbaarheid, 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.

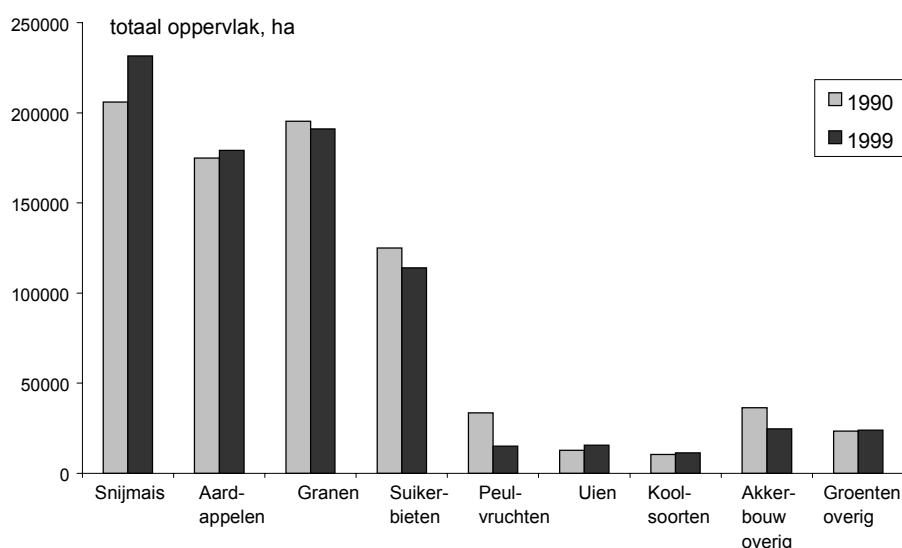
- Het aangeven van kennishiaten. Welke kennis en vervolgonderzoek is nodig om maatregelen op efficiënte wijze in de praktijk te kunnen implementeren.

2 Beschrijving van het systeem

In dit hoofdstuk wordt een korte beschrijving gegeven van de arealen en opbrengsten van akkerbouwgewassen, vollegrondsgroenten en maïs in Nederland, een kwantificering van de hoeveelheid gewasresten, het gebruik van gewasresten en stikstromen in bouwland. De gegevens uit dit hoofdstuk worden in de andere hoofdstukken gebruikt voor het aangeven van de sturende factoren, het berekenen van lachgasemissies en het opstellen van maatregelen die leiden tot een vermindering van lachgasemissie uit gewasresten.

2.1 Arealen en opbrengsten in Nederland

In aanhangsel 1 staan de arealen van akkerbouwgewassen, vollegrondsgroenten en maïsland weergegeven voor de periode 1990 (het referentiejaar in het kader van het Kyoto-protocol) tot en met 1999 volgens de FAO-statistieken. Het grootste oppervlak wordt in Nederland ingenomen door snijmaïs, aardappelen, granen en suikerbieten (figuur 1). Het totale oppervlak bij granen bestaat voor 72 procent uit tarwe, 21 procent uit gerst en 7 procent uit rogge, haver en triticale. Bij aardappelen wordt 48 procent ingenomen door consumptieaardappelen (vooral kleigrond), 30 procent door zetmeelaardappelen (vooral zandgrond) en 22 procent door pootaardappelen. Het areaal snijmaïs is in de periode 1990-1999 met 25000 ha toegenomen. Bij de andere 'grote' gewassen zijn er relatief kleine verschillen in oppervlakte tussen 1990 en 1999. Bij de 'kleinere gewassen' zijn er soms wel duidelijke verschillen, bijvoorbeeld bij peulvruchten.



Figuur 1. Oppervlakte van de belangrijkste akkerbouwgewassen, vollegrondsgroenten en snijmaïs in Nederland in 1990 en 1999 (Bron: FAO; zie aanhangsel 1).

Een andere bron voor statistieken over oppervlakten van landbouwgewassen in Nederland is het Centraal Bureau van Statistiek (CBS). In aanhangsel 2 zijn de schattingen van het FAO en die van het CBS met elkaar vergeleken. In het algemeen komen de gegevens van FAO en CBS goed overeen, maar er zijn gewassen (bijvoorbeeld de koolsoorten) waarbij opmerkelijke verschillen bestaan tussen de schattingen van FAO en CBS. Het is in deze studie niet verder onderzocht waardoor deze verschillen worden veroorzaakt. De verschillen geven aan dat bij de rapportage aan IPCC duidelijk moet worden aangegeven welke cijfers er worden gebruikt.

In aanhangsel 3 worden de opbrengsten gegeven van de belangrijkste akkerbouwgewassen, vollegrondsgroenten en snijmaïs in de periode 1990-1999 volgens FAO. In tabel 1 staan de gemiddelde opbrengsten van enkele belangrijke gewassen in Nederland weergegeven die gebaseerd zijn op de gegevens van FAO, CBS en praktijkonderzoek voor Akkerbouw en Vollegrondsgroenten (PAV). Deze tabel geeft opmerkelijke verschillen weer. Bijvoorbeeld, volgens CBS en FAO was de opbrengst van suikerbieten in 1990 69 ton per ha, terwijl die volgens PAV 53 ton per ha was. De gewassen in tabel 1 omvatten een groot areaal in Nederland en de verschillen in opbrengst kunnen daardoor een groot effect hebben op de berekende N₂O-emissie uit gewasresten voor heel Nederland. Uit landbouwkundig oogpunt gezien, zijn er geen ontwikkelingen geweest in de akkerbouw waardoor een structureel lagere (of hogere) opbrengst in 1999 ten opzichte van 1990 mag worden verwacht. Verschillen in opbrengst tussen jaren worden meestal verklaard door weersinvloeden (neerslag, licht, temperatuur).

Tabel 1. Schatting van gemiddelde opbrengsten van verschillende gewassen in 1990 met behulp van gegevens van het FAO (FAO, 2000), CBS (1990, 1999) en PAV (1990, 1999).

Gewas	1990			1999		
	FAO	CBS	PAV ¹	FAO	CBS	PAV ¹
Tarwe	7700	7700	7000	7300	8300	8400
Aardappelen	40000	40000	43000	43000	45800	45000
Suikerbieten	69000	69000	53000	51000	61100	58000
Snijmaïs ²	46000	36000	34000	40000	37000	39000

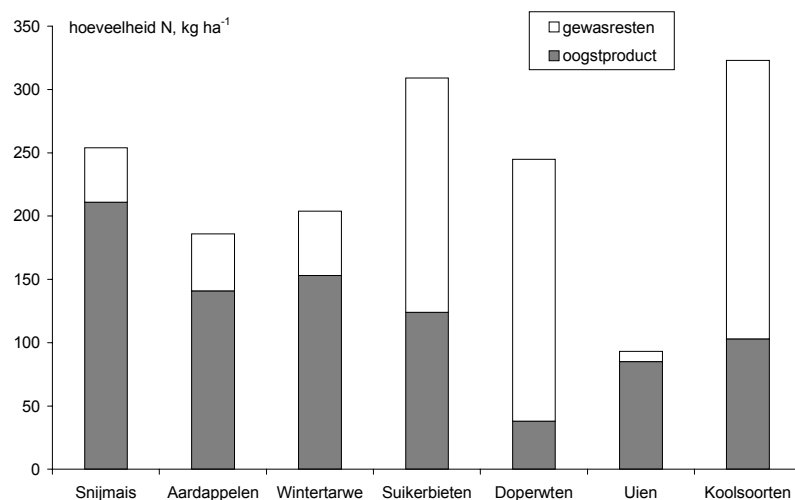
¹ gemiddelde van alle regio's

² drogestofgehalte 32 procent

2.2 Kwantificering van de hoeveelheid stikstof in gewasresten

Aan de hand van de literatuur is een schatting gemaakt van de hoeveelheid stikstof die aanwezig is in de gewasresten afkomstig van de bovengrondse en ondergrondse delen (aanhangsel 4). De gegevens gaan er van uit dat er geen uitval is; bij sommige gewassen (zoals uien en koolsoorten) wordt soms een deel van het gewas niet geoogst omdat de kwaliteit ervan niet voldoende is door ziekte of beschadiging. Bij een grote uitval kan een grote hoeveelheid stikstof in de gewasresten achterblijven. De stikstofindex is de verhouding tussen de hoeveelheid stikstof in het oogstproduct en die in de gewasresten. Naarmate de stikstofindex lager is, neemt het aandeel stikstof in de gewasresten toe. In figuur 2 worden voor enkele belangrijke gewassen uit Nederland de hoeveelheid stikstof in het oogstproduct en de gewasresten weergegeven. Na de teelt van doperwten, koolsoorten en suikerbieten blijft veel

stikstof achter in de gewasresten en na de teelt van snijmaïs, uien en aardappelen blijft weinig stikstof over in de gewasresten. De stikstofindex varieert van 0,18 voor doperwten tot 10,89 voor uien.



Figuur 2. Hoeveelheid stikstof in het oogstproduct en in de gewasresten voor enkele gewassen.

2.3 Gebruik van gewasresten

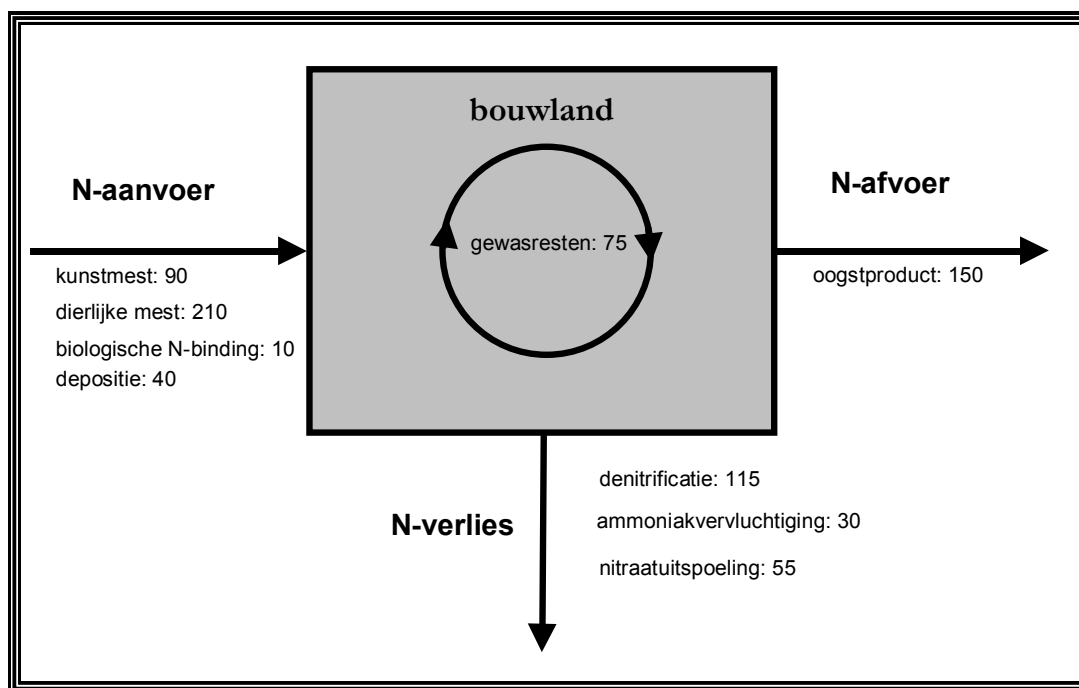
In de gangbare landbouwpraktijk en in de biologische landbouw in Nederland worden bij de meeste gewassen de gewasresten op het land achtergelaten en in het najaar (op zand- en kleigronden) of voorjaar (alleen op zandgrond) ondergeploegd. Alleen bij sommige graangewassen en peulvruchten wordt een deel van het stro verkocht als bedekkingsmateriaal (voor bijvoorbeeld stallen) of een andere bestemming. Dit is echter een zeer beperkt deel van de gewasresten. Vroeger was dit aandeel veel groter, omdat het stro toen werd gebruikt voor het maken van karton.

2.4 Stikstofstromen en –voorraden

2.4.1 Stikstofstromen in bouwland

In figuur 3 wordt een schematisch overzicht gegeven van de stikstofstromen op een akkerbouwbedrijf. De belangrijkste aanvoerposten van stikstof zijn: kunstmest, dierlijke mest, atmosferische depositie en, in mindere mate, biologische stikstofbinding. De belangrijkste afvoerpost van stikstof is de afvoer via oogstproducten. De belangrijkste verliesposten zijn denitrificatie, nitraatuitspoeling en indien dierlijke mest wordt gebruikt ook ammoniakvervluchtiging. Akkerbouw- en vollegronds-groentebedrijven bestaan uit meerdere percelen waarop verschillende gewassen worden geteeld. Deze gewassen roteren over de percelen (bouwplan). Gemiddeld op bedrijfsniveau (bouwplanniveau) zijn de stikstofstromen in akkerbouwbedrijven en vollegronds-groentebedrijven en maïsland dezelfde als die in

figuur 3. In het huidige project wordt het bouwlandsysteem op perceelsniveau beschouwd.



Figuur 3. Belangrijke stikstofstromen in bouwland. De getallen zijn indicatieve waarden in kg N per ha per jaar voor het gemiddelde bouwland met akkerbouwgewassen, snijmaïs en vollegrondsgroenten in Nederland. De balansen kunnen sterk verschillen tussen de verschillende grondsoorten. Er wordt aangenomen dat er geen netto mineralisatie of immobilisatie van bodem-N optreedt.

2.4.2 Bemesting

Voor de belangrijkste akkerbouwgewassen, vollegrondsgroenten en snijmaïs 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 het bodemtype (Anon., 1999a). 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 uit gewasresten wordt in beperkte mate rekening gehouden. Alleen bij bietenblad (nalevering 20-30 kg N ha⁻¹), gescheurd grasland (nalevering 30-100 kg N ha⁻¹) en groenbemesters (nalevering 5-60 kg N ha⁻¹) wordt met een bepaalde stikstoflevering rekening gehouden. Met de stikstoflevering uit gewasresten wordt bij de bemesting van het volgende gewas niet of in beperkte mate rekening gehouden. Om in de nabije toekomst aan de normen van MINAS (Mineralen Aangifte Systeem) te kunnen voldoen, zal in toenemende mate de stikstof uit gewasresten beter moeten worden benut en de bemesting hierop aangepast. Dit geldt in sterkere mate voor de biologische landbouw, omdat in dit systeem geen kunstmest mag worden gebruikt.

In aanhangsel 5 zijn de stikstofadviezen voor de belangrijkste gewassen en het stikstofoverschot (=aanvoer via meststoffen minus de afvoer via oogstproducten) weergegeven. De stikstofadviezen variëren tussen 0 en 300 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 praktijk wordt kunstmest volgens het stikstofadvies (of hoger) toegediend en wordt daarnaast dierlijke mest gebruikt. De stikstofwerking van de dierlijke mest wordt vaak niet verrekend met de kunstmestgift en met name niet indien de dierlijke mest in het najaar wordt toegediend. Hierdoor zijn de stikstofgiften aan akkerbouwgewassen, vollegrondsgroenten en maïs vaak beduidend hoger dan de geadviseerde stikstofgiften (Postma & Van Erp, 1998; Schröder et al., 1996; tabel 2).

Tabel 2. Gemiddelde jaarlijkse N-gift per ha en voor geheel Nederland in 1993 via kunstmest en dierlijke mest aan grasland, maïsland en overige landbouwgronden (Boers et al., 1997; W. de Vries, pers. mededeling)

	Kunstmest		Dierlijke mest ¹		Totaal	
	Gemiddeld kg N ha ⁻¹	totaal Gg N	gemiddeld kg N ha ⁻¹	totaal Gg N	gemiddeld kg N ha ⁻¹	totaal Gg N
Grasland	291	348	328	368	619	716
Maïsland	62	10	489	90	551	100
Overig bouwland	110	84	136	58	246	142
Totaal	172	441	293	515	465	956

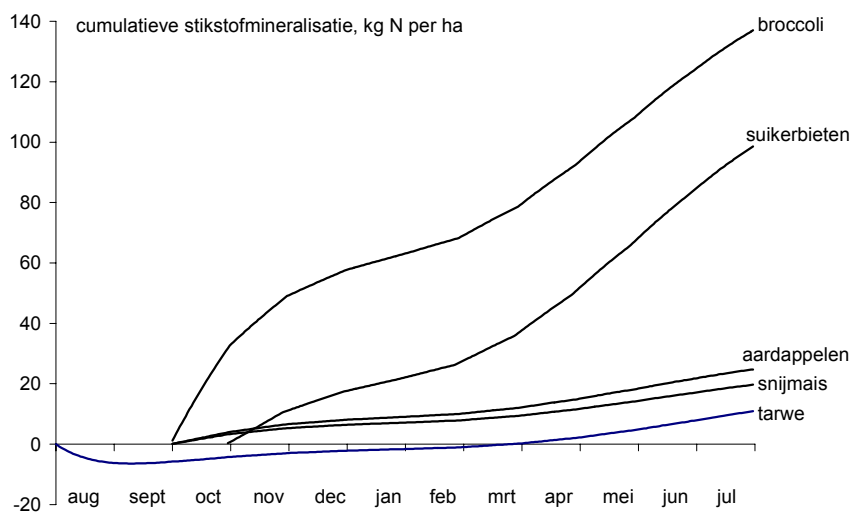
¹ gecorrigeerd voor ammoniakvervluchtiging in stal en mestopslag, maar niet gecorrigeerd voor ammoniakvervluchtiging na aanwending

2.4.3 Minerale stikstof in de bodem na oogst

In het algemeen kan worden gesteld dat het grootste deel van de minerale N die na de oogst in de bodem achterblijft, verloren gaat tijdens de winter via nitraattuitspoeling en denitrificatie (inclusief lachgasemissie). De hoeveelheid minerale stikstof die direct na de oogst nog in de bodem aanwezig is, wordt sterk bepaald door de omvang van de bemesting en door de opname-efficiëntie van het gewas. De opname-efficiëntie verschilt sterk tussen gewassen. Gewassen die stikstof efficiënt opnemen en die bij bemesting volgens advies na de oogst weinig minerale stikstof (minder dan 50 kg N ha⁻¹) in de bodem achterlaten zijn granen, snijmaïs en suikerbieten (Corré, 1994; Neeteson, 1990; Prins et al., 1988). Inefficiënte gewassen zijn aardappelen (50-100 kg N ha⁻¹ minerale N na de oogst) en vollegrondsgroenten die vaak meer dan 100 kg N ha⁻¹ achterlaten (Corré, 1994; Neeteson, 1990; Prins et al., 1988). In de praktijk wordt vaak naast kunstmest ook dierlijke mest toegepast, waardoor de stikstofgiften hoger zijn dan het advies. De hoeveelheden minerale N die na de oogst in de bodem aanwezig zijn, zijn dan ook vaak hoger dan hierboven aangegeven. Dit geldt met name voor snijmaïs waarbij de hoeveelheid minerale stikstof na de oogst vaak hoger is dan 100 kg N per ha (Schröder, 1998). Na de oogst kan door mineralisatie van gewasresten de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem verder toenemen (zie volgende paragraaf).

2.4.4 Mineralisatie van gewasresten

De stikstof in gewasresten is meestal aanwezig in de organische vorm. Na het onderwerken (of afsterven) van gewasresten komt de organische stikstof in de bodem waar het wordt afgebroken door micro-organismen. De hoeveelheid en snelheid waarmee de stikstof uit gewasresten vrijkomt is sterk afhankelijk van de hoeveelheid van de gewasresten, de chemische samenstelling (afbreekbaarheid en C) en de omgevingsfactoren (temperaturen, vochtgehalte, grondsoort). In figuur 4 staat de stikstofmineralisatie weergegeven voor verschillende gewasresten. De stikstofmineralisatie uit stikstofrijke gewasresten is duidelijk hoger dan die van stikstofarme gewasresten. Vlak na het onderwerken van tarwe treedt stikstofmobilisatie op. Tarwe stro heeft een hoge C/N-verhouding en bij de afbraak van organisch materiaal met een hoge C/N-verhouding nemen de micro-organismen tijdelijk een deel van de minerale stikstof uit de bodem op: stikstofmobilisatie. Uit de figuur volgt dat een groot deel van de mineralisatie in de herfst, de winter en het begin van de lente plaats vindt (op een moment dat er meestal nog geen gewas aanwezig is). Met name deze stikstof zal gevoelig zijn voor verliezen via N_2O -emissie, denitrificatie en nitraatuitspoeling. De stikstof die tijdens het groeiseizoen (vanaf april) door mineralisatie vrijkomt, kan door het gewas worden opgenomen en is minder gevoelig voor verliezen via lachgasemissie.



Figuur 4. Stikstofmineralisatie na het onderploegen van gewasresten. Berekeningen met het model MINIP (Janssen, 1984; 1986). Bij de berekeningen is uitgegaan van een gemiddelde samenstelling van de gewasresten en gemiddelde temperatuur in Nederland en dat de gewasresten homogeen door de bodem zijn gemengd.

3 Kwantificering van lachgasemissie uit bouwland en gewasresten

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van een literatuurstudie naar de lachgasemissie uit gewasresten. De resultaten van deze literatuurstudie moeten een inzicht geven in de processen die de lachgasemissie uit gewasresten bepalen. Daarnaast moet deze literatuurstudie aangeven hoe nauwkeurig de lachgasemissie uit gewasresten kan worden geschat. Drie methodieken voor het schatten van de lachgasemissie uit gewasresten worden beschreven en de totale lachgasemissie in Nederland uit gewasresten in 1990 (referentiejaar in kader Klimaatverdrag) en 1998 wordt gekwantificeerd met behulp van deze methodieken.

3.1 Literatuurstudie naar N₂O-emissie uit gewasresten

De belangrijkste conclusies uit de literatuurstudie zijn (aanhangsel 6):

- Er zijn weinig studies waarin het effect van gewasresten op de N₂O-emissie direct is gemeten (dit geldt zowel voor incubatie- als veldexperimenten).
- De gerapporteerde emissiefactoren voor gewasresten in de literatuur variëren van minder dan 0,5 procent tot 2 procent en zijn hoger bij stikstofrijke gewasresten (luzerne, groenbemester) dan bij stikstofarme gewasresten (stro).
- De denitrificatie uit gewasresten met een hoge C/N-verhouding (hoger dan 30; zoals het stro van granen en wortelresten) is lager dan die uit gewasresten met een lage C/N-verhouding (lager dan 30; zoals bladresten en vlinderbloemigen).
- De N₂O-emissie in de winterperiode is lager bij granen (hoge C/N-verhouding) dan bij aardappelen, suikerbieten, koolzaad en luzerne (lage C/N-verhouding).
- De N₂O-emissie uit gewasresten neemt sterk toe naarmate het vochtgehalte van de bodem toeneemt. Bij 60 procent water-gevulde poriën is de N₂O-emissie meestal laag en bij een watergevulde poriënvolume van meer dan 90 procent is de N₂O-emissie (en de denitrificatie) meestal hoog.
- In verschillende studies is de N₂O-emissie duidelijk hoger bij geen grondbewerking dan bij een beperkte of volledige grondbewerking. Dit wordt toegeschreven aan een hoger vochtgehalte en een lagere gasdiffusie in de onbewerkte grond, waardoor de zuurstofconcentratie lager en de N₂O-productie hoger is dan die in de bewerkte grond.
- In studies in Canada, Verenigde Staten en Duitsland worden zeer hoge N₂O-emissies gemeten tijdens dooi; meer dan de helft van de totale jaarlijkse N₂O-emissie is soms afkomstig uit de winterperiode. Mogelijke verklaringen hiervoor zijn i) het tijdens de dooi vrijkomen van N₂O dat in de ondergrond is geaccumuleerd en ii) het beschikbaar komen van gemakkelijk afbreekbare organische stof door het uit elkaar vallen van organisch materiaal (inclusief gewasresten) en bodemaggregaten en het afsterven van micro-organismen.
- Er zijn geen veldstudies in Nederland uitgevoerd naar N₂O-emissie uit bouwland en het effect van gewasresten. Een goede kwantificering van de N₂O-emissies uit

gewasresten in bouwland in de winterperiode door middel van veldmetingen is in Nederland dan ook gewenst.

3.2 Schatting van N₂O-emissie uit gewasresten

3.2.1 IPCC-methode

In aanhangsel 7 wordt een beschrijving gegeven van de IPCC-methode om de N₂O-emissie uit gewasresten en de indirecte N₂O-emissies te schatten. De IPCC-methode bevat richtlijnen om de N₂O-emissie te schatten voor biologisch gebonden stikstof, gewasresten, stikstofuitspoeling, en dierlijke productie systemen. Naast de directe N₂O-emissie van landbouwgronden en dierlijke productiesystemen wordt in de IPCC-methode ook de indirecte N₂O-emissie geschat. De indirecte N₂O-emissie uit de landbouw is de emissie van N₂O dat wordt gevormd uit i) nitraat dat is gespoeld naar grond en oppervlakte water en ii) ammoniak en NO_x dat naar de atmosfeer is geëmitteerd en via depositie in de bodem terechtkomt. De indirecte emissie via nitraat is in het kader van deze studie naar gewasresten belangrijk, omdat deze stikstof grotendeels tijdens de winter kan uitspoelen naar grondwater en oppervlaktewater (Corré, 1994; Neeteson, 1990; Prins et al., 1988). In de IPCC-methode wordt de indirecte N₂O-emissie door uitspoeling echter alleen uit de bemesting berekend; er wordt geen rekening gehouden met de hoeveelheid gewasresten.

3.2.2 Methode van Nederland

In Nederland wordt een andere methode dan de hierboven beschreven IPCC-methode gebruikt om de N₂O-emissie uit de landbouw te schatten. De in Nederland gebruikte methode wordt in detail beschreven door Kroeze (1994). Een verschil met de IPCC-methode is dat in de methode van Nederland de achtergrond-N₂O-emissie uit landbouwgronden wordt berekend (dit is de N₂O-emissie uit onbemeste gronden). De N₂O-emissie uit gewasresten is gedeeltelijk verrekend in de achtergrond N₂O-emissies (aanhangsel 7). Om effecten van maatregelen betreffende N₂O-emissie uit gewasresten te kunnen berekenen (en rapporteren) moet een rekenmethode worden gebruikt waarin de N₂O-emissie uit gewasresten expliciet wordt gekwantificeerd.

3.2.3 Aangepaste methode voor Nederland

De IPCC-methode vormt de basis voor een verfijnde methode voor Nederland (vanaf nu ‘aangepaste methode’ genoemd; aanhangsel 7). In de aangepaste methode worden de stikstofhoeveelheden in de gewasresten van de belangrijkste gewassen in Nederland geschat met behulp van de literatuur (zie aanhangsel 4). Daarnaast wordt er bij deze methode van uitgegaan dat de N₂O-emissiefactor van gewasresten toeneemt naarmate de afbreekbaarheid toeneemt en de C/N-verhouding afneemt.

De aanname volgt uit de literatuur, maar de grootte van de emissiefactoren kunnen niet met literatuurgegevens worden onderbouwd. Een goede kwantificering van de N₂O-emissie uit gewasresten door middel van incubatiestudies en veldmetingen is hiervoor noodzakelijk.

De volgende groepen van gewasresten worden onderscheiden (aanhangel 8 en 9):

1. Gewasresten met een hoog C/N-gehalte (C/N groter dan 30), zoals stro van granen en resten van maïs. Geschatte gemiddelde emissiefactor: 0,5 procent.
2. Gemakkelijk afbreekbare gewasresten met een laag C/N-gehalte (C/N lager dan 15), zoals de gewasresten van suikerbieten, koolsoorten en bladgroenten. Geschatte gemiddelde emissiefactor: 2 procent.
3. Alle overige gewasresten, zoals aardappelloof. Geschatte gemiddelde emissiefactor: 1,25 procent.

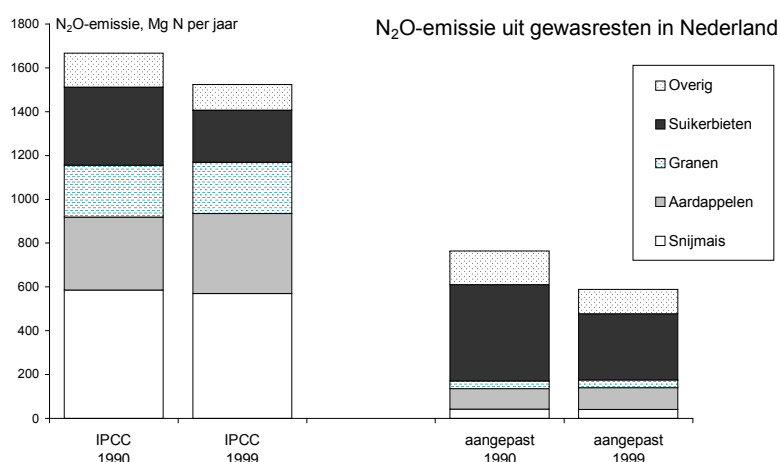
Tenslotte wordt in de aangepaste methode een schatting gemaakt van de nitraatuitspoeling uit gewasresten en de daaruit volgende indirecte N₂O-emissie (aanhangel 7). In de IPCC-methode wordt de nitraatuitspoeling uit gewasresten niet expliciet geschat en deze methode kan dus niet worden gebruikt om effecten van maatregelen op de indirecte N₂O-emissie uit gewasresten te schatten.

3.3 Schatting van N₂O-emissie uit gewasresten in Nederland

Er bestaan grote verschillen tussen de directe N₂O-emissie uit gewasresten berekend met de IPCC-methode en die berekend met de aangepaste methode (figuur 5). Dit grote verschil wordt voornamelijk veroorzaakt doordat de 'ruwe' schattingsmethode van de IPCC leidt tot grotere hoeveelheden stikstof in gewasresten van de belangrijkste gewassen in Nederland dan de op de literatuur gebaseerde 'aangepaste methode' (aanhangel 9). In mindere mate speelt het verschil in emissiefactor een rol. Aangezien de aangepaste methode beter is onderbouwd voor Nederlandse omstandigheden dan de IPCC-methode, mag worden verondersteld dat de schatting met de aangepaste methode betrouwbaarder is dan die van de IPCC. Beide methoden geven aan dat de N₂O-emissie in 1999 lager was dan die in 1990. Dit verschil wordt volledig verklaard door de veel hogere suikerbietopbrengst (en hoeveelheid gewasresten) volgens FAO in 1990 dan in 1999 (tabel 1).

Met behulp van Monte Carlo simulaties is met het softwareprogramma @RISK (Palisade, 1996) een schatting gemaakt van de spreiding rond de geschatte gemiddelde N₂O-emissie uit gewasresten. Hiertoe is voor elke factor in de emissieberekeningen een standaardafwijking (dit is een maat voor de spreiding rond het gemiddelde) geschat².

² Relatievestandaardafwijking: in berekeningen: het oppervlak in Nederland 10 procent, de hoeveelheid stikstof in de gewasresten 20 procent, fractie van gewasresten die wordt afgevoerd 10 procent) en de emissiefactor (standaardafwijking 100 procent).



Figuur 5. Directe N₂O-emissie uit gewasresten in Nederland in 1990 en 1999 volgens de IPCC-methode en de aangepaste methode.

De simulatieberekeningen geven een aanzienlijke spreiding voor de met de aangepaste methode berekende directe N₂O-emissie uit gewasresten in Nederland in 1990: gemiddeld 764 Mg N₂O-N per jaar met een standaard afwijking van 533 Mg N₂O-N per jaar (een relatieve standaardafwijking (variatiecoëfficiënt) van 64 procent). Deze spreiding geeft duidelijk aan dat er grote onzekerheden en variaties bestaan in N₂O-emissies en dat hiermee altijd bij interpretaties van schattingen (zoals bijvoorbeeld in figuur 5) en scenarioberekeningen rekening moet worden gehouden.

Met behulp van de Monte Carlo simulaties is ook een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd: welke factor heeft het grootste effect op de geschatte totale directe N₂O-emissie uit gewasresten in Nederland. Uit de gevoeligheidsanalyse blijken de volgende factoren het grootste effect te hebben op de geschatte N₂O-emissie uit gewasresten in Nederland (in afnemende grootte):

- de emissiefactor voor suikerbieten;
- de emissiefactor voor snijmaïs;
- de totale hoeveelheid stikstof in de gewasresten van suikerbieten;
- de emissiefactor voor aardappelen;
- de oppervlakte aan suikerbieten;

Om een nauwkeuriger kwantificering van de N₂O-emissie uit gewasresten in Nederland te verkrijgen, zou dus de aandacht op deze factoren gelegd moeten worden (en met name op de emissiefactor voor suikerbieten). De gevoeligheidsanalyse geeft ook aan dat emissiebeperkende maatregelen bij suikerbieten, snijmaïs en aardappelen het grootste effect zullen hebben op de totale N₂O-emissie uit gewasresten in Nederland. Dit geldt dus als de maatregelen op het geheel areaal van deze gewassen wordt toegepast. Maatregelen bij gewassen met een kleiner areaal, maar met een hoge emissie per hectare (bijvoorbeeld koolsoorten), is mogelijk eenvoudiger realiseerbaar.

In aanhangsel 7 wordt een schatting gemaakt van de grootte van de indirecte N₂O-emissies afkomstig van nitraatuitspoeling uit gewasresten. Deze bedroegen in 1990 254 Gg N₂O-N voor geheel Nederland. De totale directe N₂O-emissie uit gewasresten was in 1990 764 Mg N₂O-N, zodat de totale (directe + indirecte) N₂O-emissie uit gewasresten in Nederland in 1990 volgens de aangepaste methode 1018 Mg N₂O-N bedroeg. Deze resultaten geven aan dat de indirecte N₂O-emissie uit gewasresten een aanzienlijk deel (25 procent) van de totale N₂O-emissie uit gewasresten uitmaken. Bij het opstellen van maatregelen en het schatten van de effectiviteit van maatregelen moet hiermee rekening worden gehouden.

4 Sturende factoren

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste sturende factoren van N₂O-emissie uit gewasresten, opgesplitst naar chemische, fysische en biologische factoren (klimaat, bodem, gewassen en bodembeheer) en sociaal-economische factoren (wetgeving, economische aspecten, maatschappelijk aspecten en (bio)technologische aspecten).

4.1 Chemische, fysische en biologische factoren

In tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste sturende factoren van N₂O-emissie uit gewasresten, opgesplitst naar factoren op het gebied van klimaat, bodem, gewassen, grondsoort en bodembeheer. De belangrijkste factoren die de N₂O-emissie uit gewasresten bepalen, zijn de hoeveelheid en de chemische samenstelling van gewasresten, het vochtgehalte van de bodem, de temperatuur, de hoeveelheid minerale N in de bodem en de bodemstructuur (beïnvloed door grondbewerking). De structuur kan een groot effect hebben op de N₂O-emissie, maar er is geen duidelijk algemeen geldend effect aan te geven. Het onderploegen kan zowel leiden tot een verhoging als tot een verlaging van de N₂O-emissie (zie aanhangsel 10).

4.2 Sociaal –economische factoren

In tabel 4 wordt een overzicht gegeven van belangrijke sturende factoren in de landbouw die op directe of indirecte wijze een effect hebben op de N₂O-emissie uit gewasresten. Resultaten van het CBS, LEI en FAO laten zien dat tussen 1990 en 2000 geen grote veranderingen zijn opgetreden in arealen, opbrengsten en stikstofgebruik op bouwland. Het aantal akkerbouwbedrijven en het arbeidsinkomen van de akkerbouwers zijn in deze periode wel afgenomen. Er is dus geen sprake van een bepaalde trend die geëxtrapoleerd kan worden naar de toekomst. Belangrijke oorzaak hiervan is dat er geen wettelijke, economische en maatschappelijke ontwikkelingen zijn geweest die een directe invloed hebben gehad op het teelt en stikstofgebruik op bouwland (bijvoorbeeld MINAS geldt pas vanaf 2001 voor de akkerbouw). In de nabije toekomst worden wel ontwikkelingen verwacht die een grote invloed kunnen hebben, zijnde:

- invoeren van MINAS en een gebruiksnorm voor dierlijke mest (EG-nitraatrichtlijn);
- het aanscherpen van het beleid over gewasbeschermingsmiddelen (vervolg Meerjarenplan Gewasbescherming);
- economische ontwikkelingen: Agenda 2000 en WTO, waardoor de landbouwsubsidies waarschijnlijk zullen afnemen;

- het toetreden van Oost Europese landen tot de EG, waardoor een grotere concurrentie ontstaat;
- toenemende vraag naar schone productiewijzen (o.a. biologische landbouw); 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.

Deze ontwikkelingen zullen er gezamenlijk toe leiden dat i) het areaal landbouwgrond in Nederland afneemt, ii) de gemiddelde opbrengst zal afnemen en daardoor ook de hoeveelheid gewasresten, iii) er mogelijk een verschuiving optreedt van traditionele akkerbouwgewassen (granen, aardappelen, suikerbieten) naar gespecialiseerde teelten (groenten, glastuinbouw, bloemen) en iv) de stikstofaanvoer zal afnemen, resulterend in minder stikstof in de bodem na de oogst en minder stikstof in gewasresten. Naar verwachting zal de N_2O -emissie door deze ontwikkelingen dalen, met name die uit bemesting. Een kwantificering van de vermindering van de N_2O -emissie uit gewasresten is zeer complex door de vele interacties die kunnen optreden tussen biologische, chemische, fysische en sociaal-economische factoren. Wij schatten dat de N_2O -emissie uit gewasresten in de periode 2000-2010 met 10-25 procent zal afnemen onder invloed van sociaal-economische sturende factoren. Dit is een ruwe en voorlopige schatting die nader onderbouwd zal moeten worden.

Tabel 3. Sturende factoren voor de N₂O-emissie uit gewasresten: 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 6).

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
	vorst-dooi	neemt sterk toe door vorst-dooi-perioden
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	toediening van gewasresten die gemakkelijk afbreekbare koolstof bevatten verhogen de denitrificatie en de N ₂ O-emissie van de minerale stikstof in de bodem
	structuur/ compactie	de structuur van de bodem heeft een groot effect op het vochtgehalte en het zuurstofgehalte en daardoor op de microbiële activiteit. Een algemeen effect van structuur op de N ₂ O-emissie kan niet worden gegeven. Enerzijds leidt een losse structuur tot een snelle afbraak van de gewasresten, mogelijk leidend tot een verhoogde N ₂ O-emissie. Anderzijds leidt een dichte structuur tot een verhoogde denitrificatie-activiteit.
	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
Gewassen	stikstofindex	naarmate de stikstofindex van een gewas hoger is, wordt meer stikstof met het oogstproduct afgevoerd en is minder stikstof aanwezig in de gewasresten. De N ₂ O-emissie neemt toe naarmate de stikstofindex afneemt
	opbrengst	een hoge opbrengst leidt tot meer gewasresten dan een lage opbrengst en dus ook tot een hogere N ₂ O-emissie. Dit geldt <u>niet</u> voor een mislukte oogst van een normaal bemest gewas (de niet opgenomen minerale stikstof in de bodem kan tot een hoge N ₂ O-emissie leiden)
	afbreekbaarheid	neemt toe naarmate gewasresten gemakkelijker afbreekbaar zijn
	C/N-verhouding	neemt toe naarmate C/N-verhouding van gewasresten afneemt
	stikstofefficiëntie	neemt toe naarmate de stikstofefficiëntie van het gewas afneemt, en er meer stikstof in de bodem en gewasresten achterblijven na de oogst
	groeiperiode/ bouwplan	N ₂ O-emissie is het hoogst uit gewasresten die in de herfst in de bodem terechtkomen en indien in april/mei weer een gewas wordt geteeld. Het telen van een wintergewas die een deel van stikstof opneemt, leidt tot een lagere N ₂ O-emissie
Bodem-beheer	bemesting	het stikstofgehalte in de gewasresten en de stikstofindex nemen toe naarmate de stikstofgift toeneemt. Bemesting van een bodem waarin gewasresten aanwezig zijn, leidt tot een verhoogde N ₂ O-emissie. Dit geldt zowel voor kunstmest als dierlijke mest (najaarstoediening)
	grondbewerking	grondbewerking kan zowel tot een verhoogde emissie als tot een verlaagde emissie leiden (zie bodemstructuur en aanhangsel 10)
	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.

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

Factor	Omschrijving en effect ¹
Milieuwetgeving	
nutriënten	In het kader van de EG-nitraatrichtlijn en MINAS wordt een sterke afname van de stikstofaanvoer naar landbouwgronden verwacht (met name via dierlijke mest). Veel akkerbouwbedrijven zullen in staat zijn om aan de normen te voldoen; de druk om dierlijke mest uit de veehouderij te gebruiken zal sterk toenemen. De N ₂ O-emissie zal verminderen, met name die uit bemesting.
gewas-beschermings-middelen	Er worden steeds strengere eisen aan het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen gesteld. Indien het beleid strikt wordt doorgevoerd, kunnen de gevolgen voor bepaalde teelten groot zijn (vb. maïs, uien, aardappelen) en dit zou kunnen resulteren in een kleiner areaal van bepaalde gewassen, een ruimer bouwplan en lagere opbrengsten. De N ₂ O-emissie uit gewasresten zal hierdoor afnemen.
Economisch	
wereldmarkt/EG-subsidies	Naar verwachting zullen de EG-subsidies op landbouwproducten afnemen (o.a. 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. Kan zowel leiden tot een toename als afname van de N ₂ O-emissie.
kosten	De kosten voor landbouw en het kunnen voldoen aan de gestelde maatschappelijke en wettelijke eisen nemen toe. Het gebruik van dierlijke mest uit de veehouderij levert mogelijk geld op voor de akkerbouwer. Kan zowel leiden tot een toename als afname van de N ₂ O-emissie.
Maatschappelijk	
kwaliteit	Er worden steeds hogere eisen gesteld aan productiemethoden en producten. Een deel van deze eisen worden ook gesteld in de wettelijke maatregelen. Leidt mogelijk tot afname van 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 opzichte van de gangbare landbouw. De opbrengsten van de biologische landbouw zijn lager dan die van de gangbare landbouw en daardoor ook de N ₂ O-emissie uit de gewasresten.
multifunctionele landbouw	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. Leidt mogelijk tot afname van N ₂ O-emissie.
(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 uit gewasresten: 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 gerichte maatregelen die kunnen worden overwogen om de lachgasemissie uit gewasresten te verminderen. In deze paragraaf wordt 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)
- afwentelingsmechanismen (in de tijd, naar andere systemen, via andere verliezen (nitraat en ammoniak) en andere broeikasgasemissies: TEWI-benadering)
- draagvlak bij boeren
- kennishiaten.

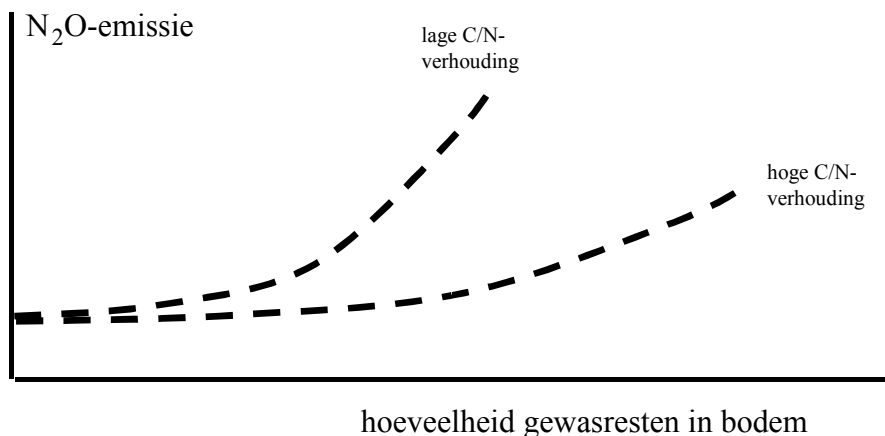
5.1 Kritische teelten, tijdstippen en handelingen

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

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

5.2 Mogelijke maatregelen, kennishiaten en gewenst vervolgonderzoek

In tabel 5 wordt een overzicht gegeven van mogelijke maatregelen die de N_2O -emissie uit gewasresten kunnen beperken. In het algemeen geldt dat maatregelen die er toe leiden dat er minder stikstof van gewasresten (en andere stikstofbronnen) in de bodem terechtkomt, zullen leiden tot minder lachgasemissie (figuur 6).



Figuur 6. Schematische weergave van de relatie tussen de hoeveelheid gewasresten die in de bodem terechtkomen en de lachgasemissie bij gewasresten met een lage en een hoge C/N-verhouding.

In aanhangsel 11 worden de maatregelen in detail besproken en wordt een globale schatting van de effectiviteit gegeven. Ook wordt in aanhangsel 11 een schatting gegeven van de kostenefficiëntie van de maatregelen. In tabel 6 staat een samenvatting van aanhangsel 11 gegeven. Er moet duidelijk worden opgemerkt dat indien verschillende maatregelen worden gecombineerd, de totale reductie van de lachgasemissie (effectiviteit) minder groot is dan de som van reducties van de afzonderlijke maatregelen. Er treden namelijk interacties op (bijvoorbeeld het effect van een wintergewas is groter indien er veel stikstof achterblijft na de oogst. Het effect is dus groter bij een ruime dan bij een lage stikstofbemesting).

De waarden in tabel 6 zijn indicatieve waarden en moeten onderbouwd worden met proefgegevens. De doelstelling van het ROB-project was het ontwikkelen en toetsen van maatregelen om de N_2O -emissie uit gewasresten te beperken. De schatting uit tabel 6 laten zien dat een reductie met 0,05-0,25 Mton CO_2 -equivalenten per jaar moet kunnen worden gerealiseerd met een pakket maatregelen op het gebied van gewasresten. Hierbij moet worden opgemerkt dat een deel van de maatregelen ook leiden tot een (grote) reductie in N_2O -emissie van andere bronnen (bemesting, nitraatuitspoeling).

In aanhangsel 11 worden in detail de risico's op afwenteling naar andere broeikasgassen en andere N-verbindingen (ammoniak, nitraat) besproken. Bij de meeste maatregelen is dit risico gering. Een mogelijke afwenteling kan optreden bij voorjaarstoediening van dierlijke mest in plaats van najaarstoediening (ammoniak- en methaanemissie uit stal en mestopslag versus nitraatuitspoeling en lachgasemissie uit

de bodem), gebruik van vlinderbloemige groenbemesters (extra input van N), composteren (verluchting en uitspoeling van verbindingen tijdens de compostering) en afvoeren van gewasresten (afvoer van organische stof; kan leiden tot een lagere bodemvruchtbaarheid).

Op basis van tabellen 5 en 6 en aanhangsel 14 worden de volgende (combinaties) van maatregelen als perspectiefvol gezien:

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

De effecten (impact) op de bedrijfsvoering zijn het grootst bij het afvoeren en composteren van gewasresten en het mengen van stro met andere gewasresten. De impact van het niet meer mogen toedienen van dierlijke mest in het najaar kan voor bedrijven op kleigronden groot zijn. De impact van alle overige maatregelen op de bedrijfsvoering zijn in het algemeen beperkt.

Tabel 5. Maatregelen om de N₂O-emissie uit gewasresten te beperken. (zie tabel 6 en aanhangsel 11 voor nadere toelichting).

Maatregel	Globale schattingen van de effectiviteit, Mton CO ₂ -equivalenten ¹	Kosten-efficiëntie ²	Controleerbaarheid	Handhaafbaarheid	Risico op afwenteling/TEWI	Draagvlak bij boeren	Kennis-hiaten
Afvoeren en composteren	0,21	klein	goed	moeilijk	groot	klein	groot
Aanpassen van grondbewerking	0,17	zand: zeer groot klei: klein	goed	moeilijk: klei redelijk: zand	gering	zand: redelijk klei: zeer klein	groot
Mengen van gewasresten	0,13	klein	moeilijk	moeilijk	gering	redelijk	groot
Verlagen van stikstofbemesting	0,11	zeer groot	moeilijk	via MINAS	gering	redelijk	beperkt
Geen najaarstoediening dierlijk mest	0,05	zeer groot	goed	via uitrijregels Meststoffenwet	groot	zand: redelijk klei: klein	beperkt
Afvoeren en ander gebruik	0,02 – stro 0,22 – blad biet en kool	klein gemiddeld	moeilijk	moeilijk redelijk	groot	(zeer) klein	groot
Telen van wintergewassen	0,01	klein	goed	redelijk	klein	redelijk	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 gewasresten van 0,05-0,12 Mton CO₂-equivalenten jaar.

² indicatie voor kosten voor vermindering van N₂O-emissie in guldens per ton CO₂-equivalenten per jaar.: klein > fl. 100; gemiddeld fl. 50-100; groot fl. 0-50; zeer groot < fl. 0.

De kostenefficiëntie is bij de meeste maatregelen groter, omdat ook de N₂O-emissie uit bronnen wordt verminderd (met name stikstofbemesting).

Tabel 6. Globale schatting van de effecten van maatregelen op de directe en indirecte N₂O-emissies uit gewasresten ten opzichte van 1990¹

	N ₂ O-emissie, Mton CO ₂ -eq jaar ⁻¹			reductie tov 1990	Effect op overige N ₂ O- emissies
	direct	indirect	totaal		
Emissie in 1990	0,37	0,11	0,49		
Maatregel					
verlaging bemesting en composteren op eigen bedrijf	0,23	0,02	0,25	0,24	++
afvoer suikerbietenblad + loof kool	0,19	0,08	0,27	0,22	-
afvoeren en composteren op eigen bedrijf	0,26	0,02	0,28	0,21	++
afvoeren en elders composteren	0,26	0,02	0,28	0,21	o
uitstellen grondbewerking tot voorjaar	0,23	0,09	0,32	0,17	o
verlaging bemesting en geen najaarstoediening	0,25	0,11	0,36	0,13	++
mengen tarwestro en suikerbieten blad	0,26	0,10	0,36	0,13	+
verlaging bemesting	0,27	0,11	0,38	0,11	++
geen najaarstoediening	0,33	0,11	0,44	0,05	++
afvoer van stro van granen	0,36	0,10	0,46	0,02	o
wintergewassen na mais en granen	0,25	0,22	0,47	0,01	+

¹ berekening met aangepaste methode (aanhangel 7); geen correctie voor mogelijke veranderingen in arealen van de gewassen en opbrengsten (autonome ontwikkelingen)

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

-: emissie neemt toe,

o: geen effect,

+: kleiner verlaging van emissie,

++ grote verlaging van emissie

6 Kennishiaten en vervolgonderzoek

In aanhangsel 11 wordt bij elke maatregel in detail aangegeven wat de kennishiaten zijn. Hieronder wordt een overzicht gegeven van de kennishiaten gegroepeerd naar N₂O-emissie, teelt en nutriëntenmanagement en afwentelingsmechanismen. Het vervolgonderzoek zal voornamelijk gericht moeten zijn op deze kennishiaten en kan bestaan uit experimentele metingen, modelberekeningen en literatuurstudie.

6.1 Kwantificering van N₂O-emissie

- relatie tussen stikstofgehalte en -hoeveelheid in gewasresten en de N₂O-emissie;
- kwantificering van de N₂O-emissie uit gewasresten bij voorjaars- en najaars-toediening van dierlijke mest;
- inzicht in de effecten van verschillende soorten grondbewerking in voorjaar en najaar bij verschillende gewassen en bodemomstandigheden op de N₂O-emissie;
- kwantificering van effecten van combineren van stro en stikstofrijke gewasresten op directe en indirecte N₂O-emissie;
- inzicht in de effecten van soorten en onderwerktijdstip van wintergewassen op de N₂O-emissie tijdens de winter en in het groeiseizoen;
- kwantificering van de N₂O-emissie tijdens compostering van gewasresten en na toediening van compost aan de bodem.

6.2 Teelt- en nutriëntenmanagement

- effecten van stikstofbemesting op de hoeveelheid stikstof in gewasresten en op de opbrengst van het oogstproduct;
- kwantificeren van de stikstoflevering uit dierlijke mest, gewasresten en bodem-organischestof;
- nagaan of er mogelijkheden zijn om wintergewassen te telen na aardappelen, suikerbieten en vollegrondsgroentegewassen;
- welke methoden voor composteren van gewasresten op het eigen bedrijf zijn er beschikbaar; welke gewasresten zijn wel/niet geschikt voor het maken van compost;
- inventariseren van de gebruiksmogelijkheden van gewasresten: welke gewasresten zijn geschikt als veevoer, waar kan stro voor gebruikt worden, zijn er mogelijkheden tot vergisting etc. Zijn er 'nieuwe' gebruiksmogelijkheden?

6.3 Afwentelingsmechanismen

- kwantificering van de ammoniakemissie en methaanemissie uit mestopslag tijdens mestopslag in winter (in kader van niet meer toedienen van dierlijke mest in najaar);
- kwantificering van de gasvormige stikstofverliezen (N_2O , N_2 , NH_3 en NO_x) en de spoelingsverliezen tijdens compostering; hoe kunnen deze worden beperkt?
- wat zijn de consequenties (milieukundig, financieel etc.) van het verbranden van gewasresten in vuilverbrandingsinstallaties.

Samenvattend, de belangrijkste kennisvragen zijn:

- relatie tussen het stikstofgehalte in gewasresten en omvang van lachgasemissie;
- vaststellen effecten van voorjaars- en najaarstoediening van dierlijke mest en van aard en tijdstip van grondbewerking op land met gewasresten;
- vaststellen van effect van maatregelen om verliezen gedurende de winter te beperken (zoals combineren van stro met stikstofrijke gewasresten, teelt van wintergewassen, composteren en inventariseren van andere gebruiksmogelijkheden van gewasresten);
- kwantificering van de gasvormige stikstofverliezen (N_2O , N_2 , NH_3 en NO_x) uit mestopslag en tijdens compostering.

Literatuur

Aendekerk Th, Himste van R, Hopman M, Janssen J, Kodde J, Paasse van J, de Ridder D, Schoorlemmer H, Snoek B & Valstar M (1995) Kengetallen Mineralenmanagement Akker- en Tuinbouw. Agrarisch Telematica Centrum (ATC), Wageningen, 82 pp.

Anon. (1999a) Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. Praktijkonderzoek voor de akkerbouw en de vollegrondsgroenteteelt. Publicatie nr. 95, Lelystad, 59 p.

Anon. (1999b) Adviesbasis bemesting grasland en voedergewassen. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden (PR), Themaboek November 1998, 53 p.

Aulakh, M.S., J.W. Doran & A.R. Mosier (1992). Soil denitrification-significance, measurement, and effects of management. *Advances in Soil Science* 18: 1-57.

Aulakh, M.S., J.W. Doran, D.T. Walters, A.R. Mosier, & D.D. Francis (1991) Influence of crop residue type and placement on denitrification and mineralization of N and C. *Soil Science Society of America Journal* 55: 1020-1025.

Aulakh, M.S., D.A. Rennie & E.A. Paul (1984) The influence of plant residues on denitrification rates in conventional and zero tilled soils. *Soil Science Society of America Journal* 48: 790-794.

Aulakh, M.S. & D.A. Rennie (1987) Effect of wheat straw incorporation on denitrification of N under anaerobic and aerobic conditions. *Canadian Journal of Soil Science* 67, 825-834.

Aulakh, M.S. & D.A. Rennie (1989) Nitrogen transformations with special reference to gaseous N losses from zero-tilled soils of Saskatchewan, Canada. *Soil & Tillage Research* 7: 157-171.

Ball, B.C. & R.M. Ritchie (1999) Soil and residue management effects on arable cropping conditions and nitrous oxide fluxes under controlled traffic in Scotland. 1. Soil and crop responses. *Soil & Tillage Research* 52, 177-189.

Ball, B.C., J.P. Parker & A. Scott (1999a) Soil and residue management effects on arable cropping conditions and nitrous oxide fluxes under controlled traffic in Scotland. 2. Nitrous oxide, soil N status and wheather. *Soil & Tillage Research* 52, 191-201.

Ball, B.C., A. Scott & J.P. Parker (1999b) Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. *Soil & Tillage Research* 53, 29-39.

Beauchamp, E.G., J.T. Trevors & J.W. Paul (1989) Carbon sources for bacterial denitrification. *Advances in Soil Science* 10: 113-142.

Boers, P.C.M., H.L. Boogaard, J. Hoogeveen, J.G. Kroes, I.G.A.M. Noij, C.W.J. Roest, E.F.W. Ruijgh & J.A.P.H. Vermulst (1997) Huidige en toekomstige belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfaat vanuit de landbouw. Watersysteemverkenningen 1996. RIZA-rapport 97.013, SC-DLO rapport 532.

Boon R, De Venter J & Geypens M (1980) Verslag over de opzoeken in het jaar 1980 deel II. Stikstofproefvelden op suikerbieten op leem en zandleem in 1980 ter verbetering van het stikstofadvies door bepaling van de minerale stikstof in de bodem tot 90 cm diepte. Comité voor toegepaste bodemkunde, Bodemkundige dienst van België, Leuven, 190 p.

Bosch, H & de Jonge, P. (1989) Handboek voor de akkerbouw en de groenteteelt in de vollegrond, Publikatie Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, nr. 47, PAGV, Lelystad : 251 p.

Bremner, J.M. & A.M. Blackmer (1981) Terrestrial nitrification as a source of atmospheric nitrous oxide. pp. 151-170. In C.C. Delwiche (ed.) Denitrification, nitrification and atmospheric N₂O. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.

CBS (1990) Landbouwtelling 1990, CBS, Den Haag.

CBS (1999) Landbouwtelling 1999, Elsevier bedrijfsinformatie b.v., Doetinchem.

CBS (2000) Kerncijfers <http://www.cbs.nl/nl/cijfers/kerncijfers/lmi0038a.htm>

CAD (1980) Organische stof in de akkerbouw. Vlagschrift nr. 317 Ministerie van Landbouw en Visserij, Consulentenschap in algemene dienst voor bodemaangelegenheden in de landbouw, Wageningen, 12 p.

Corré, W.J. (1994) Bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem in het najaar als instrument voor het te voeren stikstofbeleid. Akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten, Rapport 21, AB-DLO, Haren, 39 pp.

Darwinkel, A.. (1995) Aanbod en opname van stikstof bij hoge produktieniveaus van wintertarwe op klei- en zavelgrond. Verslag Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond (PAV), No. 205, 42 pp.

DeCatanzaro, J.B. & E.G. Beauchamp (1985) The effect of some carbon substrates on denitrification rates and carbon utilization in soil. *Biology and Fertility of Soils* 1: 183-187.

Everaarts, A.P., C.P. Moel & P. de Willigen (1996a) Stikstofbemesting en nutriëntenopname van broccoli. Verslag Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond (PAV) No. 216.

Everaarts, A.P., C.P. de Moel, & M. van Noordwijk (1996b) The effect of nitrogen and the method of application on nitrogen uptake of cauliflower and on nitrogen in crop residues and soil at harvest. *Netherlands Journal of Agricultural-Science* 44, 43-55.

Fan, M.X. & A.F. MacKenzie, M. Abbott & F. Cadrin (1997) Denitrification estimates in monoculture and rotation corn as influenced by tillage and nitrogen fertilizers. *Canadian Journal of Soil Science* 77: 389-396.

FAO (2000) Agricultural data. <http://www.fao.org/> (januari 2000)

Flessa, H. & Beese, F. (1995) Effects of sugarbeet residues on soil redox potential and nitrous oxide emission. *Soil Science Society of America Journal* 59: 1044-1051.

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.

Goodroad, L.L., D.R. Keeney & L.A. Peterson (1984) Nitrous oxide emissions from agricultural soils in Wisconsin. *Journal of Environmental Quality* 13, 557-561.

Granli, T. & O.C. Bockman (1994) Nitrous oxide from agriculture. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences. Supplement* 12, 128 p.

Harris, P.M. (1992) *The potato crop: the scientific basis for improvement*. 2nd ed. London [etc.] : Chapman & Hall, London (etc.), 909 p.

Hellebrand, H.J. (1998) Emission of nitrous oxide and other trace gases during composting of grass and green waste. *Journal of Agricultural Engineering Research* 69: 365-375.

Henriksen, T.M. & T.A. Breland (1999) Evaluation of criteria for describing crop residue degradability in a model of carbon and nitrogen turnover in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 31, 1135-1149.

Janssen, B.H. (1984) A simple method for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic matter. *Plant and Soil* 76, 297-304.

Janssen, B.H. (1996) Nitrogen mineralisation in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. *Plant and Soil* 181, 39-45.

- Jorritsma J.(1985) De teelt van suikerbieten. Groene reeks, Uitgeverij terra Zutphen, 286 p.
- Kaiser, E.A., K. Kohrs, M. Kücke, E. Schnug, O. Heinemeyer & J.C. Munch (1998) Nitrous oxide release from arable soil: importance of N-fertilization, crops and temporal variation. *Soil Biology and Biochemistry* 30, 1553-1563.
- Kroeze, C. (1994) Nitrous oxide (N₂O) emission inventory and options for control in the Netherlands. RIVM (report 773001004), 163 p.
- Kroeze, C. (1998) Potential for mitigation of emissions of nitrous oxide (N₂O) from the Netherlands (1980-2015). *Ambio* 27, 118-122.
- Larsson, L., M. Ferm, A. Kasimir-Klemedtsson & L. Klemedtsson (1998) Ammonia and nitrous oxide emissions from grass and alfalfa mulches. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51, 41-46.
- Linn, D.M. & J.W. Doran (1984) Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Science Society of America Journal* 48: 1267-1272.
- McKenney, D.J., S.W. Wang, C.F. Drury & W.I. Findlay (1993) Denitrification and mineralization in soil amended with legume, grass, and corn residues. *Soil Science Society of America Journal* 57: 1013-1020.
- MacKenzie, A.F., M.X. Fan & F. Cadrin (1997) Nitrous oxide emission as affected by tillage, corn-soybean-alfalfa rotations and nitrogen fertilization. *Canadian Journal of Soil Science* 77: 145-152.
- Mosier, A., C. Kroeze, C. Nevison, O. Oenema, S. Seitzinger & O. van Cleemput (1998) Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 52, 225-248.
- Neeteson JJ (1990) Waarom bij het ene gewas wel bij het andere geen risico van nitraatuitspoeling bij stikstofbemesting volgens het huidige advies. *Meststoffen* 1-2 1990, 8-13.
- Neeteson JJ (1989) Assessment of fertilizer nitrogen requirement of potatoes and sugar beet. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen, Wageningen, 141 pp.
- PAV (1998) Kwantitatieve informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt 1997/1998. IKC, PAV, DLV, Lelystad. PAV publicatie nr. 85 (In Dutch).
- Postma R. & P.J. Van Erp (1998) Nutriëntenmanagement op praktijkbedrijven in de akkerbouw en de vollegrondsgroenteteelt. *Meststoffen* 1997/1998, 13-20.

- Prins WH, Dilz K & Neeteson JJ (1988) Current recommendations for nitrogen fertilisation within the E.E.C. in relation to nitrate leaching. Proceedings Fertiliser Society, Proceedings No. 276, 27 pp.
- Schenk, M.K., S. Appel, D. Daum & R.U. Ruber (1997) N₂O emissions during composting of organic waste. *Acta Horticulturae* 450: 253-261.
- Schröder, J.J., P. van Asperen, G.J.M. van Dongen & F.G. Wijnands (1996) Nutrient surpluses on integrated arable farms. *European Journal of Agronomy* 5, 181-191.
- Schröder, J.J. (1998) Towards improved nitrogen management in silage maize production on sandy soils. PhD thesis Wageningen Agricultural University, 223 p.
- Smit, A.L. & A. van der Werf (1992) Fysiologie van stikstofopname en –benutting: gewas- en bewortelingskarakteristieken, 51-70 In: H.G. van der Meer & J.H.J. Spiertz (ed.) *Stikstofstromen in agro-ecosystemen*. Agrobiologische Thema's 6, CABO, Wageningen.
- Smith, K.A., I.P. McTaggart, K.E. Dobbie & F. Conen (1998) Emissions of N₂O from Scottish agricultural soils, as a function of fertilizer N. *Nutrient Cycling of Agroecosystems* 52, 123-130.
- Van Cleemput, O., R.M. Malkanti, Y. d'Ydewalle & L. Baert (1990) Denitrification influenced by incorporated harvest residues. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 60: 177-182.
- Velthof, G.L., P.J. van Erp PJ & Steevens JCA (1998) Stikstoflevering door groenbemesters en gewasresten Noodzaak tot verfijning stikstofadvisering. *Meststoffen* 1998, 20-28.

Aanhangsel 1 Arealen van akkerbouwgewassen, vollegrondsgroenten en snijmaïs in Nederland

Arealen van akkerbouwgewassen, vollegrondsgroenten en snijmaïs in Nederland in ha in 1990-1999 (FAO, 2000)

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Aardappelen	175000	179259	185844	166000	171000	179000	185000	179900	179200	179200
Aardbeien	2000	1800	1900	1900	2100	1900	1700	1900	1900	1900
Asperge	2300	2000	2800	2600	2400	2300	2300	2200	2200	2200
Blauwmaanzaad	264	366	100	1000	2700	1400	300	600	600	600
Bloemkool	2800	3619	3346	3338	3300	2600	2200	2100	2100	2100
Bonen	1000	1000	1000	1000	2000	2000	3000	2000	2000	2000
Erwten	12000	7000	5300	3200	2300	1000	2000	1200	1200	1200
Gerst	40388	41876	34068	40400	43700	35600	35500	42000	42000	38000
Groen tuinbonen	1200	1200	1100	900	1000	900	1000	1300	1300	1300
Groene bonen	4700	5400	6038	4598	5200	6000	6000	5200	5200	5200
Groene erwten	7700	8000	8000	7000	7000	7000	6200	4400	4400	4400
Groenten, overig	10250	10250	9600	9600	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Haver	3401	3303	3652	5200	5500	2900	1900	2000	2000	2000
Karwij, venkel	342	144	141	100	300	1200	600	200	200	200
Koolsoorten	7600	8558	9513	9490	9100	7900	10500	9300	9300	9300
Koolzaad	8000	7077	4234	2400	1000	1000	1000	1000	2000	2000
Korrelmaïs	300	300	7800	10400	11100	9000	10900	8000	7000	7000
Lijnzaad	7000	8000	2030	5000	5000	4000	4000	4300	4000	4000
Luzerne	5960	5686	6075	6566	6425	5836	5675	5675	5675	5675
Peen	6300	7452	6619	7700	7800	8400	8300	6700	6700	6700
Prei	2900	3800	4683	4496	4900	4300	4100	4200	4200	4200
Rogge	8604	7008	6197	7400	5600	8200	6900	5000	5000	5000
Sla	2200	2437	2656	2737	2300	1800	2300	1800	1800	1800
Snijmaïs	206000	207684	217712	228700	228500	219000	223000	231500	231500	231500
Spinazie	1700	1600	1393	1600	1600	1500	1600	1800	1800	1800
Suikerbieten	125000	123319	120843	117000	115000	116000	117000	114100	112000	114000
Tarwe	140603	123243	126854	118000	121600	134700	141600	136900	141000	137000
Triticale	2000	2974	2367	1900	1600	2600	3300	2900	3000	2000
Tuinbonen	7000	6000	4000	4000	3000	1000	1000	1000	1000	1000
Uien	12800	9951	14200	13600	15500	16100	16700	15600	15600	15600
Vlas, hennep	5535	4500	2593	3800	4700	4300	3900	4200	4200	4200
Voederbieten	3000	2821	2574	2000	2000	2000	1400	1200	1200	1200
Totaal	817837	799618	807224	795618	807219	803431	822871	812172	813273	806274

Aanhangsel 2 Arealen van gewassen in Nederland in 1990 en 1999 volgens FAO en volgens het CBS (CBS, 1990 en 1999) in ha

Gewas	1990			1999		
	FAO	CBS	FAO/CBS *100	FAO	CBS	FAO/CBS *100
Aardappelen	175000	175319	100	179200	179805	100
Aardbeien	2000	1867	107	1900	1863	102
Asperge	2300	2663	86	2200	2219	99
Blauwmaanzaad	264	264	100	600	1452	41
Bloemkool	2800	2368	118	2100	2287	92
Bonen	13900	8077	172	9500	3364	282
Erwten	19700	11703	168	5600	7585	74
Gerst	40388	40388	100	38000	58293	65
Graszaad	*	26314	*	*	21299	*
Groenbemesters	*	7282	*	*	2932	*
Groenten, overig	10250	15379	67	10000	16999	59
Haver	3401	3401	100	2000	2518	79
Karwij, venkel	342	342	100	200	113	177
Koolsoorten	7600	2578	295	9300	3811	244
Koolzaad	8000	8415	95	2000	1319	152
Korrelmaïs	300	3995	8	7000	16036	44
Lijnzaad	7000	*	*	4000	*	*
Luzerne	5960	5960	100	5675	6408	89
Peen	6300	5980	105	6700	8913	75
Prei	2900	2873	101	4200	3724	113
Rogge	8604	8604	100	5000	2652	189
Sla	2200	955	230	1800	1060	170
Snijmaïs	206000	201811	102	231500	230746	100
Spinazie	1700	1159	147	1800	1331	135
Suikerbieten	125000	124995	100	114000	119748	95
Tarwe	140603	140603	100	137000	102780	133
Triticale	2000	0	*	2000	1835	109
Uien	12800	12827	100	15600	19682	79
Vlas, hennep	5535	5535	100	4200	4903	86
Voederbieten	3000	3023	99	1200	991	121
Totaal	815847	824680	99	804275	826668	97

Aanhangsel 3 Opbrengsten van de oogstproducten (FAO)

Opbrengsten van de oogstproducten in kg per ha van akkerbouwgewassen, vollegrondsgroenten en snijmaïs in Nederland in ha in 1990-1999 (FAO, 2000)

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Aardappelen	40206	38766	40869	46377	41450	41006	43681	44319	42991	42991
Aardbeien	16000	13833	12368	15316	14429	17895	17647	15790	15790	15790
Asperge	6000	5900	5964	7692	5583	6174	6435	6636	6636	6636
Blauwmaanzaad	1515	1459	1450	1700	1444	1429	1667	1500	1500	1500
Bloemkool	20500	15971	19606	18095	17909	25077	25864	26000	26000	26000
Bonen	4000	2000	4000	5000	2500	2500	2667	2900	2900	2900
Erwten	5083	4286	4189	4344	4565	5000	4000	4167	4167	4167
Gerst	5422	5682	5989	6262	5208	5688	6614	6424	6262	6316
Groen tuinbonen	8583	9000	7818	14556	13000	13889	13500	13769	13769	13769
Groene bonen	13234	15019	15734	16311	14481	12133	14150	14250	14250	14250
Groene erwten	15870	15000	15625	15000	14286	10000	13387	13409	13409	13409
Groenten, overig	39024	39220	42083	41667	40000	40000	40000	40000	40000	40000
Haver	4705	5434	5131	5962	5073	5345	5632	5050	5500	5000
Karwij, venkel	1462	1090	1546	2000	1667	1167	1667	1500	1500	1500
Koolsoorten	34342	28979	37107	34152	33275	38418	31314	33785	33785	33785
Koolzaad	3250	2967	3260	3250	4000	5000	3000	4000	2000	2000
Korrelmaïs	10000	10000	8026	9096	7487	7044	8000	8000	11000	8286
Lijnzaad	1143	1125	2186	1200	1400	1500	1425	1186	1275	1275
Luzerne	37752	32536	39506	36552	34241	40267	39648	39648	39648	39648
Peen	61937	57971	71975	54571	45641	43917	42169	52239	52239	52239
Prei	32414	26053	24343	23577	20959	27093	23659	22619	22619	22619
Rogge	4184	4782	5550	5568	4732	5183	5536	5540	5400	5000
Sla	47182	43619	34262	33613	36652	68833	47826	58333	58333	58333
Snijmaïs	45898	45004	47700	51017	39799	38429	40278	39741	39741	39741
Spinazie	35471	36750	33022	35000	25063	33667	31563	30500	30500	30500
Suikerbieten	68984	58298	68280	63923	53470	55595	54838	57897	51786	50877
Tarwe	7653	7661	8015	8771	8067	8664	8961	7202	7376	7299
Triticale	5500	5285	5539	5947	5438	5385	5939	5414	5333	6000
Tuinbonen	3143	3167	4000	3500	2667	2000	3000	6000	6000	6000
Uien	38859	46476	40042	44250	39419	27242	30539	41667	41667	41667
Vlas, hennep	7227	7778	7765	7026	7319	7907	7436	7262	7262	7262
Voederbieten	97333	84651	95652	105500	89000	66000	81643	83417	83417	83417

Aanhangsel 4 Hoeveelheden stikstof in oogstproduct en gewasrest

Oogstopbrengsten in 1990, N in oogstproduct en gewasrest en stikstof-index.

Gewas	Oogstproduct			gewasrest			N-index	bron ²
	Opbrengst	N-gehalte	totaal N	boven-	onder-	totaal		
	Vers ¹ kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹ vers	kg N ha ⁻¹	gronds kg N ha ⁻¹	gronds			
Aardappelen ³	40206	3,5	141	26	19	45	3,13	2, 9
Aardbeien	16000	1,5	24	23	6	28	0,85	4, 9
Asperge	6000	3,5	21	24	6	30	0,70	3, 9
Blauwmaanzaad	1515	34	52	20	21	41	1,25	8, 9
Bloemkool	20500	2,9	59	89	14	103	0,57	3, 9
Dop-erwten	5083	7,5	38	194	13	207	0,18	3, 9
Gerst	5422	17	92	19	20	39	2,37	8, 9
Groene bonen	13234	2,2	29	61	13	75	0,39	4, 9
Groene erwten	15870	2,2	35	74	13	87	0,40	8, 9
Groene tuinbonen	8583	2,2	19	40	13	53	0,35	4, 9
Groenten, overig	39024	2,5	98	78	6	84	1,16	8, 9
Haver	4705	17	80	19	20	39	2,08	8, 9
Karwij, venkel	1462	32	47	37	21	59	0,79	8, 9
Koolsoorten	34342	3	103	206	14	220	0,47	3, 9
Koolzaad	3250	35	114	42	21	64	1,79	8, 9
Korrelmaïs	10000	13,9	139	70	21	91	1,53	3, 9
Lijnzaad	1143	34	39	15	21	36	1,07	8, 9
Luzerne	37752	5,8	219	23	67	90	2,43	8, 9
Peen	61937	2	124	99	0	99	1,25	3, 9
Prei	32414	3	97	62	4	66	1,47	3, 9
Rogge	4184	14	59	16	17	33	1,79	8, 9
Sla	47182	2	94	25	6	31	3,06	3, 9
Snijmaïs	45898	4,6	211	22	21	43	4,91	7, 9
Spinazie	35471	3,5	124	62	6	68	1,83	3, 9
Suikerbieten	68984	1,8	124	174	11	185	0,67	4, 6, 9
Tarwe	7653	20	153	28	23	51	3,02	1, 9
Triticale	5500	15	83	24	17	41	2,02	8, 9
Tuinbonen	3143	42	132	13	13	27	4,97	8, 9
Uien	38859	2,2	85	4	4	8	10,89	3, 9
Veldbonen	4000	40	160	16	13	29	5,45	8, 9
Vlas, hennep	7227	4	29	23	3	26	1,11	8, 9
Voederbieten	97333	1,9	185	92	11	104	1,78	8, 9

¹ FAO (2000)

² 1: Aendekerk et al., 1995; 2: Neeteson, 1989; 3: [Bosch & de Jonge](#) 1989; 4: Boon et al., 1980; 5: Smit & Van der Werf, 1992; 6: Jorritsma, 1985; 7: Schröder, 1998; 8: schatting op basis van gegevens van andere gewassen; 9: schatting ondergrondse gewasresten op basis van gegevens van CAD (1980) en aannames voor het C-gehalte (50% van organische stof) en C/N-gehalte (15 voor vlinderbloemigen en 35 voor niet-vlinderbloemigen) van de ondergrondse gewasresten

³ gemiddelde van consumptieaardappelen, zetmeelaardappelen en pootaardappelen. De opbrengsten van consumptieaardappelen (45-50 ton ha⁻¹) zijn hoger dan die van zetmeelaardappelen (± 40 ton ha⁻¹) en pootaardappelen (30-35 ton ha⁻¹)

Aanhangsel 5 Stikstofadviezen en –overschotten

Gemiddelde stikstofadviezen (anon., 1999a & b) voor akkerbouwgewassen, vollegrondsgroenten en maïsland¹, gemiddelde 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
Luzerne	0	219	-219
Peen	50	124	-74
Prei	220	97	123
Rogge	110	59	51
Sla	120	94	26
Snijmaïs	195	211	-16
Spinazie	170	124	46
Suikerbieten	125	124	1
Tarwe	160	153	7
Triticale	160	83	78
Tuinbonen	25	132	-107
Uien	150	85	65
Veldbonen	25	160	-135
Vlas, hennep	80	29	51
Voederbieten	150	185	-35

¹opmerkingen bij N-adviezen:

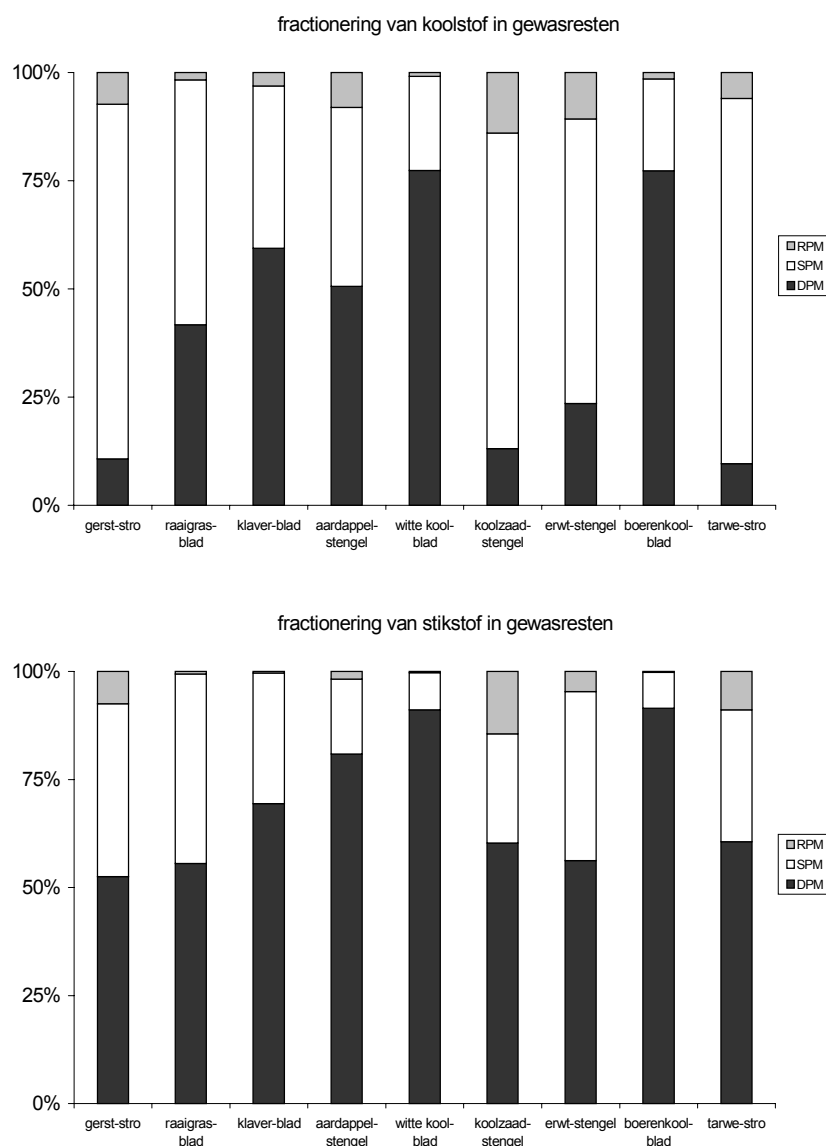
- er wordt uitgegaan van een Nmin-voorraad in het voorjaar van 10 kg N ha⁻¹ in de 0-30 cm laag, 10 kg N ha⁻¹ in de 30-60 cm laag en 20 kg N ha⁻¹ in de 60-100 cm laag.
- bij sommige gewassen gelden verschillende adviezen, afhankelijk van grondsoort, soort gewas (bv. consumptie-, fabrieks- en pootaardappelen)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

Aanhangsel 6 Literatuurstudie naar N₂O-emissie uit gewasresten

Er is een literatuurstudie uitgevoerd naar resultaten van (recent) onderzoek naar de N₂O-emissie en denitrificatie uit bouwland en maïsland met de nadruk op de emissies uit gewasresten en emissies tijdens de winter. De literatuur naar het effect van grondbewerking is hierbij ook bestudeerd. Studies die sterk zijn gericht op de emissies tijdens het groeiseizoen en op de effecten van bemesting worden besproken in het rapport van ROB-project 1.2 over bemesting.

In een incubatiestudie van Flessa & Beese (1995) onder gecontroleerde omstandigheden was de N₂O-emissie uit gewasresten van suikerbieten gelijk aan ongeveer 1 procent van de met de gewasresten toegediende N. De N₂O-emissie nam toe naarmate het vochtgehalte van de bodem toenam.

Voor de groei van denitrificerende bacteriën is gemakkelijk beschikbare organische C nodig. Toediening van gemakkelijk C met gewasresten kan daarom leiden tot een verhoging van de denitrificatiecapaciteit en N₂O-emissie. Organische C in gewasresten kan ruwweg worden opgedeeld in vijf fracties (Beauchamp et al., 1989): cellulose, hemicellulose, lignine, wateroplosbaar C (suikers, aminozuren, eiwitten) en C oplosbaar in alcohol (oliën, vetten, wasachtige verbindingen en harsen). Cellulose (15-60 procent van drooggewicht van plant), hemicellulose (10-30 procent) en lignine (5-30 procent) zijn de belangrijkste verbindingen. De fracties van de verschillende C-verbindingen in het gewasrest bepaald in sterke mate de afbreekbaarheid van het gewasrest en de beschikbaarheid van de C als substraat voor denitrificeerders en andere micro-organismen. In het algemeen neemt de afbreesnelheid van C-verbindingen af in de volgorde: water-oplosbaar > alcohol oplosbaar > cellulose > hemicellulose > lignine. Tijdens de afbraak van de organische verbindingen kunnen nieuwe organische verbindingen (bijvoorbeeld organische zuren) ontstaan, die gemakkelijker afbreekbaar zijn en beschikbaar voor denitrificeerders. In figuur A7.1. wordt een fractionering van koolstof en stikstof in gewasresten weergegeven. Voor de denitrificatieactiviteit is de gemakkelijke beschikbare koolstoffractie belangrijk. Deze is hoog bij de bladeren van witte kool, boerenkool en klaver en van de stengels van aardappelen. Ook de gemakkelijk afbreekbare stikstoffractie is bij deze gewasresten hoog.



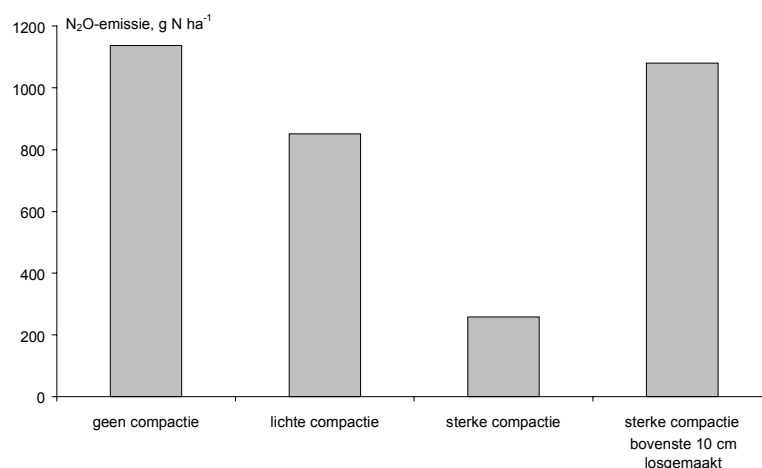
Figuur A7.1. Fractionering van koolstof en stikstof in gewasresten in een gemakkelijk afbreekbare fractie (DPM: oplosbaar in een neutraal oplosmiddel), cellulose + hemicellulose-fractie (SPM) en een resistente fractie (RPM), voornamelijk bestaande uit lignine (Henriksen & Breland, 1999).

De N in gewasresten is meestal aanwezig in organische vorm, maar soms kunnen er ook relatief kleine hoeveelheden ammonium en nitraat aanwezig zijn. De C/N-verhouding van de organische stof is een belangrijke factor die de grootte van de N-mineralisatie bepaalt. De micro-organismen die de organische stof afbreken, gebruiken een deel van de C en N als bouwstenen of voor reproductie. Bij afbraak van producten met een hoge C/N-verhouding (hoger dan 30) is het mogelijk dat micro-organismen N uit de bodem onttrekken en vastleggen in celmateriaal: stikstofimmobilisatie. Bij de afbraak van producten met een lage C/N-verhouding komt de N direct vrij: stikstofmineralisatie. In veel studies is aangetoond dat de

denitrificatie uit gewasresten met een hoge C/N-verhouding, zoals het stro van granen en wortelresten, lager is dan die uit gewasresten met een lage C/N-verhouding, zoals bladresten en vlinderbloemigen (Aulakh et al., 1984; 1991; 1992; de Catanzaro & Beauchamp, 1985; McKenney et al., 1993; Van Cleemput et al., 1990).

De aanwezigheid van gewasresten van koolzaad leidde tot een verhoging van de N₂O-emissie met een factor 5-10 gedurende de eerste dagen na de oogst in zowel veldmetingen als een incubatiestudie van Ball et al. (1999a). Ook de CO₂-productie werd door de aanwezigheid van gewasresten sterk (met een factor 3-15) verhoogd. In deze studie was de N₂O-emissie na de oogst van wintergerst laag: 0,8 – 2,0 g N₂O-N ha⁻¹ dag⁻¹. Compactie had een groot effect op de bulkdichtheid en gasdiffusie (Ball & Ritchie, 1999a) en leidde tot een verhoging van de N₂O-emissie na bemesting van wintergerst (Ball et al., 1999a&b). Bij koolzaad leidde compactie tot een vermindering van de N₂O-emissie na de oogst (figuur A7.2), mogelijk omdat de diffusie van N₂O uit de bodem naar de atmosfeer werd geremd en daardoor meer N₂O in N₂ werd omgezet. Het losmaken van de bovenste 10 cm van de bodem na de sterke compactie, leidde tot een sterke toename van de N₂O-emissie (figuur A7.2).

In de studie van Ball et al. (1999b) had grondbewerking een groot effect op de N₂O-emissie uit wintergerst. Er werden 3 typen grondbewerking onderzocht: geen grondbewerking, ploegen tot 20 cm en ploegen tot 30 cm diepte. De N₂O-emissie nam sterk toe in de volgorde ploegen tot 30 cm < ploegen tot 20 cm < geen grondbewerking. In de grond zonder grondbewerking was het vochtgehalte hoger, de gasdiffusie lager en de N₂O-concentratie hoger dan die in de geploegde grond. De verhoogde N₂O-emissie uit de onbewerkte bodem werd dus waarschijnlijk veroorzaakt door een slechtere aëratie van de bodem, waardoor de denitrificatie werd verhoogd. Detailmetingen lieten zien dat drie weken na zaaien de N₂O-emissie een factor twee hoger was in de zaaij dan tussen de zaaijen. Dit werd waarschijnlijk veroorzaakt door een grotere gasdiffusie in de verstoorde bodem in de zaaij.



Figuur A7.2. Totale N₂O-emissie gedurende zes dagen uit een zavelgrond na de oogst van winterkoolzaad (5-10 september 1997) bij geen compactie, lichte compactie, sterke compactie en sterke compactie gevolgd door het losmaken van de bovenste 10 cm van de bodem met een cultivator. De compactie-behandelingen waren 1 jaar eerder (27 augustus 1996) uitgevoerd (Ball & Ritchie, 1999; Ball et al., 1999a).

Uit Amerikaans en Canadees onderzoek blijkt dat de denitrificatieactiviteit en N₂O-emissie uit bouwland meestal hoger is bij geen of beperkte grondbewerking dan bij normale grondbewerking (Aulakh et al., 1984; Aulakh & Rennie, 1989; Fan et al., 1997; Linn & Doran, 1984; MacKenzie et al., 1997). De belangrijkste verklaringen die hiervoor worden gegeven zijn (Aulakh et al., 1992):

- de bulkdichtheid van de bodem is bij geen grondbewerking hoger, waardoor minder zuurstof in de bodem kan diffunderen en denitrificatieactiviteit wordt verhoogd;
- de bodemaggregaten zijn groter in een onbewerkte bodem, waardoor er meer anaërobe plaatsen met een verhoogde denitrificatieactiviteit in de bodem kunnen voorkomen;
- het vochtgehalte in een onbewerkte bodem is hoger door de hogere bulkdichtheid en de op het oppervlak liggende gewasresten.

Uit een studie van Aulakh et al. (1991) blijkt dat onder natte omstandigheden de N₂O-emissie (en denitrificatie) gedurende de eerste 8-10 dagen na het onderwerken van gewasresten (veel) hoger was dan die van gewasresten die op het oppervlak lagen (geen grondbewerking). De N₂O-emissie van de ondergewerkte gewasresten was daarna lager dan die van niet ondergewerkte gewasresten. In tabel A7.1 staan de totale N₂O-emissie en de denitrificatie na 35 dagen weergegeven. De totale N₂O-emissie en denitrificatie van de ingewerkte gewasresten waren hoger dan die van de oppervlakkig toegediende gewasresten. Alle gewasresten leidden tot hogere denitrificatieverliezen, waarschijnlijk door toediening van afbreekbare C en een verhoogde zuurstofconsumptie in de bodem. De N₂O-emissies van de oppervlakkig toegediende gewasresten waren, uitgezonderd wikke, lager dan die van de controle (geen gewasresten): de N₂O/denitrificatie-verhouding waren bij deze objecten lager dan bij de controle. Mogelijk werd de diffusie van N₂O naar de atmosfeer geremd door de op het oppervlak liggende gewasresten, waardoor er meer N₂O in N₂ werd omgezet in de bodem. Bij de ingewerkte gewasresten was alleen de N₂O-emissie bij wintertarwe lager. De verhouding tussen N₂O-emissie en denitrificatie varieerde tussen de gewasresten. Bij een vochtgehalte overeenkomend met 60 procent waterge vulde poriën waren de N₂O-emissie en de denitrificatie verwaarloosbaar.

Tabel A7.1. N₂O-emissie en denitrificatie (in mg N per kg) onder natte omstandigheden (90 procent watergevulde poriën in een zavelgrond) bij verschillende gewasresten en toedieningstechnieken (Aulakh et al., 1991). Aan de grond was 50 mg NO₃-N per kg toegediend.

	C/N-verhouding	ingewerkt			oppervlakkig		
		N ₂ O	deni	N ₂ O/deni	N ₂ O	deni	N ₂ O/deni
geen	-	4,3	52	0,083	4,3	52	0,083
tarwestro	82	2,0	70	0,028	3,6	66	0,054
maïs-blad	39	5,0	86	0,058	3,2	61	0,052
sojaboon	43	16,7	98	0,170	3,5	89	0,039
wikke	8	6,5	102	0,064	6,1	96	0,063

In een studie van Larsson et al. (1998) werd de N₂O-emissie bepaald uit een mulchlaag van gras met een laag N-gehalte (1,15% N in de drogestof), een mulchlaag van gras met een hoog N-gehalte (2,12% N) en een mulchlaag van luzerne met een hoog N-gehalte (4,33% N). De mulchlaag was 7-9 cm en de hoeveelheid verse

biomassa die op het bodemoppervlak werd gelegd kwam overeen met 158 ton per ha. De N₂O-emissie was 0,4 kg N per ha voor gras met een laag N-gehalte (0,1% van de toegediende N), 6 kg N per ha voor gras met een hoog N-gehalte (1% van de toegediende N) en 13 kg N per ha voor luzerne (1% van de toegediende N).

In een veldstudie van Goodroad et al. (1984) werd de N₂O-emissie uit verschillende gewasresten bepaald: luzerne (4 ton per ha; 165 kg N per ha), rogge als groenbemester en stro (4 ton per ha). De N₂O-emissie was bij luzerne 3,2 kg N per ha, bij rogge-groenbemester 1,6 kg N per ha en bij stro 2,2 kg N per ha. De N₂O-emissie van de luzerne kwam overeen met 1,9% van de toegediende luzerne. Van de overige gewasresten zijn geen N-gehalten bekend.

In een incubatiestudie met een aërobe grond van Bremner & Blackmer (1981) werden de volgende resultaten verkregen:

gewasrest	C/N-verhouding	N ₂ O-emissie	
		µg N kg ⁻¹ grond	% van N input
geen	-	4	-
maïs	34,4	106	0,04
luzerne	10,1	4519	0,46
rogge-groenbemester	6,1	9510	0,66

In een studie van Aulakh & Rennie (1987) is in detail het effect van toediening van tarwestro op de N₂O-emissie en denitrificatie onderzocht. Het onderwerken van het stro leidde tot een sterk verhoogde denitrificatie en N₂O-emissie gedurende 4 tot 8 dagen, gevolgd door een periode met een verwaarloosbare emissie en denitrificatie. De denitrificatie nam toe bij een toenemende hoeveelheid stro en bij een toenemend vochtgehalte. De N₂O-fractie van de denitrificatieproducten nam af van gemiddeld 0,80 bij 60 procent watergevulde poriën, 0,21 bij 90 procent watergevulde poriën en 0,07 bij 120 procent watergevulde poriën. De N₂O-fractie nam ook af bij een toenemende stro-gift, waarschijnlijk veroorzaakt door een grote zuurstofconsumptie. De korte duur van de denitrificatie werd waarschijnlijk veroorzaakt door de snelle immobilisatie van minerale N uit de bodem door het toegediende stro.

In een studie van Smith et al. (1998) is de N₂O-emissie van wintertarwe, zomergerst en aardappelen gekwantificeerd. De totale N₂O-emissie van de granen varieerde van 0,3 tot 0,8 kg N per ha en die van aardappelen was in hetzelfde jaar 1,2 kg N per ha. Zowel bij de granen als bij aardappelen was ongeveer de helft van de jaarlijkse N₂O-emissie afkomstig van de periode na de oogst. In ander jaar was de totale N₂O-emissie voor de oogst van de aardappelen ongeveer 1,10 kg N per ha en na de oogstperiode 2,0 kg N per ha. Uit deze studie kan niet de N₂O-emissie uit de gewasresten worden geschat, maar het is duidelijk dat een groot deel van jaarlijkse N₂O-emissie bij de teelt van aardappelen plaats vindt in de herfst en winter.

Kaiser et al. (1996) onderzochten de N₂O-emissie gedurende 33 maanden in veld-experimenten met vier verschillende akkerbouwgewassen op een lössgrond (tabel A7.3). Bemesting had een relatief gering effect op de N₂O-emissie en in de meeste jaren ook op de opbrengsten. De N-levering van de bodem was dus hoog. De N₂O-

emissie was hoger bij suikerbieten dan bij de granen. Ongeveer 50 procent van de N_2O -emissie was afkomstig uit de periode oktober tot en met februari en werd voor een groot deel toegeschreven aan vries-dooi-perioden. De hoeveelheid gemakkelijk afbreekbare C uitgewasresten zou hierbij een rol spelen. Er bleek een statistisch significant verband te bestaan tussen de drogestof/N-verhouding van het gewasrest en de N_2O -emissie tijdens de winter: de hoogste N_2O -emissie in de winter werden gevonden bij suikerbieten (1 tot 2,7 kg N_2O -N ha⁻¹) en de laagste bij de granen (0,3 tot 2,0 kg N ha⁻¹).

Tabel A7.3. N_2O -emissie in kg N per ha per jaar bij vier akkerbouwgewassen en 3 N-giften (tussen haakjes staat de N_2O -emissie in % van de toegediende meststof- N) (Kaiser et al., 1996).

N-gift ¹	wintertarwe		wintergerst		suikerbieten		winterkoolzaad
0	2,17	-	1,83	-	2,20		2,2
							3
½ advies	1,93	(-0,3%)	1,90	(0,1%)	2,40	(0,4%)	1,8 (-0,5%)
							7
advies	2,50	(0,2%)	2,50	(0,5%)	2,87	(0,6%)	2,9 (0,5%)
							3

¹ emiddelde advies N-gift winter tarwe 174 kg N ha⁻¹, wintergerst 135 kg N ha⁻¹, suikerbieten 107 kg N ha⁻¹ en winterkoolzaad 152 kg N ha⁻¹.

In een studie van Flessa et al. (1995) werd de N_2O -emissie gekwantificeerd voor twee akkerbouwsystemen:

- een extensief systeem met vlinderbloemige groenbemester en zonnebloemen als hoofdgewas en bemest met 12 ton per ha stalmest op zowel een zand als kleigrond, en
- een intensief systeem met mosterd als groenbemester en zomertarwe als hoofdgewas en bemest met 190 kg N per ha via kunstmest (30 kg N per ha kalkammonsalpeter en 160 kg N per ha als urean) op zavelachtige gronden.

De N_2O -emissie van het extensieve systeem was voor de zandgrond 9,4 en voor de kleigrond 12,9 kg N_2O -N ha⁻¹ jaar⁻¹. De N_2O -emissie van het intensieve systeem was 9,6 en 16,8 kg N_2O -N ha⁻¹ jaar⁻¹. De N_2O -emissie in de periode december-januari kwam overeen met 11 tot 46 procent van de totale jaarlijkse emissie en de hoge emissies in deze periode werden veroorzaakt door vries-dooi-perioden.

De N_2O -emissie was met name hoog in de extensieve akkerbouwsystemen, mogelijk omdat de stalmest in augustus was toegediend en er een vlinderbloemige groenbemester werd geteeld. Toediening van urean leidde tot hoge fluxen uit wintertarwe: binnen 8 weken ging 2-3 procent van de toegediende urean-N verloren als N_2O .

Aanhangsel 7 Berekening van de N₂O-emissie

Methode van IPCC

In de richtlijnen van de IPCC wordt de volgende methode voorgesteld om de N₂O-emissie te schatten uit gewasresten (Mosier et al., 1998):

$$\text{N}_2\text{O-gewasresten} = \text{FCR} * \text{EF1},$$

waarin

- FCR = de totale hoeveelheid N in gewasresten die naar de bodem teruggaat in het betreffende land in kg N jaar⁻¹.
EF1 = de emissiefactor = 0,0125 kg N₂O-N kg⁻¹ N ha⁻¹ met een spreiding van 0,0025 tot 0,0225 kg N₂O-N kg⁻¹ N ha⁻¹.

Er zijn bijna geen gegevens over de emissiefactoren uit gewasresten en daardoor is de emissiefactor EF1 gelijk gesteld aan de emissiefactor die uit de literatuur is afgeleid voor stikstofmeststoffen (defaultwaarde).

FCR wordt met behulp van de rekenregel geschat:

$$\text{FCR} = 2 * (\text{CROP0} * \text{FRACNCR0} + \text{CROPBF} * \text{FRACNCRBF}) * \\ * (1 - \text{FRACR}) * (1 - \text{FRACBURN})$$

waarin

- 2 = ruwe schatting om de totale opbrengst van het gewas (=oogstproduct + gewasresten) te schatten uit de oogstopbrengst (in de FAO-statistieken worden alleen de opbrengsten van het oogstproduct vermeld);
CROP0 = totale opbrengst van alle niet-vlinderbloemige gewassen (met gewasresten) in het betreffende land in kg droge stof jaar⁻¹. De verse opbrengsten en arealen van de belangrijkste gewassen worden in de FAO-statistieken gegeven³.
FRACNCR0 = N-fractie in niet-vlinderbloemigen in kg N kg⁻¹ droge stof. De defaultwaarde is 0,015 kg N kg⁻¹ droge stof;
CROPBF = totale zaadopbrengst van vlinderbloemigen (peulvruchten en sojabonen) in het betreffende land in kg droge stof jaar⁻¹. De verse opbrengsten en arealen van de belangrijkste gewassen worden in de FAO-statistieken gegeven.
FRACNCRBF = N-fractie in vlinderbloemigen in kg N kg⁻¹ droge stof. De defaultwaarde is 0,03 kg N kg⁻¹ droge stof;

³ In de IPCC-methode wordt uitgegaan dat de FAO-statistieken de drogestofopbrengst van het oogstproduct vermelden. Dit is niet correct, want de FAO statistieken vermelden de verse opbrengsten van het oogstproduct (FAO, 2000). Bij toepassing van de IPCC-methode en de FAO-statistieken moet de gebruiker dus zelf een drogestofgehalte van het oogstproduct schatten (zie bijvoorbeeld aanhangsel 8). Hiervoor worden in de IPCC-methode geen richtlijnen gegeven.

- FRACR = N-fractie van het gewas dat van het land wordt afgevoerd als oogstproduct in kg N kg⁻¹ gewas-N. De defaultwaarde is 0,45 kg N kg⁻¹ gewas-N.
- FRACBURN = fractie van het gewasrest dat wordt verbrand in plaats dat het op het land blijft in kg N kg⁻¹ gewas-N. De defaultwaarde is 0 voor ontwikkelde landen.

Naast de directe N₂O-emissie van landbouwgronden en dierlijke productiesystemen wordt in de IPCC-methode ook de indirecte N₂O-emissie geschat. De indirecte N₂O-emissie is de emissie van N₂O dat wordt gevormd uit i) nitraat dat is gespoeld naar grond en oppervlakte water, ii) ammoniak en NO_x dat naar de atmosfeer is geëmitteerd en via depositie in de bodem terechtkomt en iii) N₂O die in rioolwater(zuivering) wordt gevormd. De indirecte emissie via nitraat is het kader van deze studie naar gewasresten belangrijk, omdat het bekend is dat een deel van de N uit gewasresten en minerale uit de bodem gedurende de winter uitspoelt naar grondwater en oppervlaktewater. In de IPCC-methode wordt uitgegaan dat 2,5 procent van de stikstof die uitspoelt resulteert in N₂O-emissie uit grondwater, oppervlaktewater, rivieren en kustgebieden. Bij ammoniakvervluchtiging wordt uitgegaan dat 1 procent van de vervluchtigde stikstof wordt omgezet in N₂O. Er bestaan grote onzekerheden in de emissiefactoren van indirecte emissies. De IPCC geeft ook richtlijnen voor het schatten van de ammoniakemissie en nitraatuitspoeling. Bij ammoniakvervluchtiging wordt verondersteld dat 10 procent van de aan de bodem toegediende kunstmest en 20 procent van de door landbouwdieren uitgescheiden stikstof in mest en urine verloren gaat als ammoniak. Bij nitraatuitspoeling wordt verondersteld dat 30 procent van de aan de bodem toegediende kunstmest en dierlijke mest uitspoelt naar grond- en oppervlaktewater. Dit betekent dus dat de IPCC niet expliciet rekening houdt met de nitraatuitspoeling uit gewasresten en de daaruit volgende N₂O-emissie.

Betrouwbaarheid van IPCC-emissiefactoren

Allereerst moet duidelijk worden gesteld dat de methode van de IPCC wereldwijd moet kunnen worden toegepast en met name ook in landen waar weinig gegevens bekend zijn. Daarom is het belangrijk dat de IPCC-methode eenvoudig is. In dit rapport zal de betrouwbaarheid van de IPCC-methode voor gewasresten in Nederland worden geëvalueerd, waarbij ook wordt aangegeven in hoeverre de defaultwaarden voor Nederland gelden. Eerst zal iets worden gezegd over de voor- en nadelen van de IPCC-methode met emissiefactoren voor verschillende bronnen.

In de IPCC-methode wordt de N₂O-emissie van de volgende landbouwkundige bronnen berekend:

- kunstmest
- dierlijke mest en urine (zowel stal/opslag als na toediening aan de bodem)
- gewasresten
- biologische stikstofbinding
- veengronden
- ammoniakvervluchtiging

- nitraatuitspoeling
- rioolwaterzuivering

Voor alle bronnen wordt een emissiefactor op basis van N-input gebruikt: kg $\text{N}_2\text{O-N}$ per kg input. Alleen bij veengronden wordt een emissiefactor op hectare-basis gebruikt (kg $\text{N}_2\text{O-N}$ per ha). Een voordeel van het gebruik van een emissiefactor die aan de N-input is gekoppeld, is dat op basis van de hoeveelheden stikstof van de verschillende bronnen een schatting van N_2O -emissie kan worden gegeven. Dit is gebaseerd op het feit dat stikstof een belangrijke sturende factor is voor N_2O -emissie. Een nadeel van het gebruik van emissiefactoren op basis van stikstofinput is dat er geen rekening wordt gehouden met andere sturende factoren, zoals hydrologie (neerslag, waterbeheer), gemakkelijk afbreekbaar organisch C (toediening van gemakkelijk afbreekbare C via mest of gewasresten verhoogt de potentiële denitrificatieactiviteit) en bodemstructuur (grondbewerking, compactie, gasdiffusie). Ook wordt er geen rekening gehouden met interacties tussen verschillende factoren (bijvoorbeeld toediening van gemakkelijk afbreekbare C via suikerbietresten kan leiden tot een sterke verhoging van de N_2O -emissie uit bodem-N die afkomstig is van bemesting). Daarnaast is een onderscheid tussen de verschillende aanvoerposten van stikstof vaak moeilijk te maken. Bijvoorbeeld, stikstof die in oktober in de bodem van een geploegd aardappelperceel aanwezig is, kan zowel afkomstig zijn van kunstmest, dierlijke mest als gewasresten. Er bestaat hierbij een gevaar op dubbeltellingen.

Maatregelen die worden ontwikkeld om de N_2O -emissie uit landbouwgronden te verminderen, zullen deels gericht zijn op de vermindering van stikstofinput en deels op de sturende factoren (zorgen dat de omstandigheden voor N_2O -productie niet optimaal zijn). Een belangrijke vraag die hierbij gesteld kan worden, is hoe de effecten van maatregelen die in een invloed hebben op sturende factoren moeten worden berekend en gerapporteerd aan de IPCC. Deze kunnen deels worden verrekend door de emissiefactor aan te passen (een bepaalde maatregel leidt tot een lagere emissiefactor), maar voor sommige maatregelen is dit moeilijk. Bijvoorbeeld, hoe moeten maatregelen met betrekking tot grondbewerking en waterbeheer worden verrekend? Dit vraagt mogelijk tot een nieuwe of aanvullende rekenmethode om de N_2O -emissie te schatten, bijvoorbeeld op basis van teeltsystemen en nutriëntenmanagement. In het kader van de ROB-projecten zal geen nieuwe rekenmethode worden ontwikkeld, maar zal worden gewerkt met de IPCC-methode met emissiefactoren. Effecten van maatregelen zullen worden verrekend door aanpassingen van ofwel emissiefactoren of de stikstofinput ofwel beide.

Methode van Nederland

Nederland gebruikt een andere methode dan de hierboven beschreven IPCC-methode gebruikt om de N_2O -emissie uit de landbouw te schatten (Kroeze, 1994). In deze methode wordt niet op directe wijze rekening gehouden met de N_2O -emissie uit gewasresten. Een verschil met de IPCC-methode is dat in de methode van Nederland de achtergrond- N_2O -emissie uit landbouwgronden wordt berekend (dit is de N_2O -emissie uit onbemeste gronden). De achtergrond- N_2O -emissie wordt voornamelijk veroorzaakt uit atmosferische N-depositie en mineralisatie van organische stikstof in

de bodem, afkomstig van gewasresten, organische meststoffen (nauwkeuring van mineralisatie van de resistentere organische stikstof uit dierlijke mesten) en de oudere organische stof in de bodem (ouder dan 20 jaar). De N_2O -emissie voortvloeit uit atmosferische depositie en de minerale N en snel mineraliseerbare N in dierlijke mest worden expliciet in de Nederlandse methode meegenomen. Dit betekent dat de achtergrond-emissies voornamelijk bestaan uit mineralisatie van de oude organische stof, resistente organische stof uit mest en gewasresten. Voor bouwland wordt uitgegaan van een achtergrond- N_2O -emissie van gemiddeld $1 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ (spreiding $0,5\text{-}5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$). Berekeningen van Kroeze (1994) geven een totale achtergrond N_2O -emissie van 900 (500-4600) Mg N jaar^{-1} voor Nederland in 1990. Volgens de IPCC methode was de N_2O -emissie uit gewasresten in 1990 in Nederland 1667 Mg N jaar^{-1} (aanhangsel 8) en volgens een voor Nederland verfijnde methode (zie volgende paragraaf voor nadere beschrijving) was deze 764 Mg N jaar^{-1} (aanhangsel 8). Deze waarden geven een indicatie dat de N_2O -emissie uit gewasresten slechts gedeeltelijk zijn verrekend in de achtergrond- N_2O -emissies. Om effecten van maatregelen betreffende N_2O -emissie uit gewasresten te kunnen berekenen (en rapporteren) moet een rekenmethode worden gebruikt waarin de N_2O -emissie uit gewasresten expliciet wordt gekwantificeerd.

Aangepaste methode voor Nederland

De IPCC-methode vormt de basis voor een verfijnde methode voor Nederland (vanaf nu 'aangepaste methode' genoemd). De waarden die door IPCC worden gebruikt zullen aan de hand van de literatuur voor de Nederlandse omstandigheden zo nauwkeurig worden geschat. De belangrijkste variabelen hierbij zijn de hoeveelheid stikstof die met gewasresten achterblijven, de emissiefactoren en de nitraatuitspoeling uit gewasresten.

Hoeveelheid stikstof in gewasresten

De omrekening van de opbrengsten van het oogstproduct naar de totale opbrengst (inclusief gewasresten) die door IPCC wordt beschreven, is een zeer ruwe schatting die voor veel gewassen niet geldt. Zo wordt bijvoorbeeld in mais niet 50 maar 70 procent van de opgenomen stikstof met het oogstproduct afgevoerd. Ook het stikstofgehalte in het gewas en de stikstoffractie die met het oogstproduct wordt afgevoerd kunnen sterk verschillen tussen gewassen. In de aangepaste methode wordt de N-hoeveelheden in de gewasresten van de belangrijkste gewassen in Nederland geschat met behulp van de literatuur (zie aanhangsel 4).

Emissiefactor

De emissiefactor EF1 van 1,25 procent die door IPCC wordt gebruikt, is de emissiefactor die voor kunstmest is afgeleid. Rond de emissiefactor van 1,25 procent voor kunstmest ligt een behoorlijke spreiding, maar er zijn een groot aantal monitoringstudies die aangeven dat deze waarde een redelijk gemiddelde is voor kunstmest. Er zijn nauwelijks studies in de literatuur beschreven waaruit een emissiefactor voor gewasresten kan worden afgeleid (zie literatuurstudie uit aanhangsel 7). Uit de literatuur volgt wel dat in het algemeen geldt dat de N_2O -emissie uit gewasresten toeneemt naarmate de gewasresten rijker zijn aan stikstof (en een lager C/N-gehalte heeft) (Aulakh et al., 1984; 1991; 1992; de Catanzaro &

Beauchamp, 1985; McKenney et al., 1993; Van Cleemput et al., 1990). Het is daarom zeer waarschijnlijk dat de emissiefactor voor N₂O-emissie uit gewasresten sterk verschilt tussen verschillende gewasresten. Daarom worden in de aangepaste methode drie groepen van gewasresten onderscheiden met elk een gemiddelde emissiefactor. De aannames volgen uit de literatuur, maar de grootte van de emissiefactoren kunnen niet met literatuurgegevens worden onderbouwd. Een goede kwantificering van de N₂O-emissie uit gewasresten door middel van incubatiestudies en veldmetingen is hiervoor noodzakelijk. De volgende groepen worden onderscheiden:

1. gewasresten met een hoog C/N-gehalte (C/N groter dan 30), zoals stro van granen en resten van maïs. Geschatte gemiddelde emissiefactor: 0,5%
2. gemakkelijk afbreekbare gewasresten met een laag C/N-gehalte (C/N lager dan 15), zoals de gewasresten van suikerbieten, koolsoorten en bladgroenten. Geschatte gemiddelde emissiefactor: 2%.
3. alle overige gewasresten, zoals aardappelloof. Geschatte gemiddelde emissiefactor 1,25%.

Nitraatuitspoeling uit gewasresten en indirecte N₂O-emissie

In de IPCC-methode wordt de nitraatuitspoeling geschat uit de aanvoer van kunstmest en dierlijke mest (30 procent van deze stikstofaanvoer spoelt uit). Er wordt dus niet expliciet rekening gehouden met de nitraatuitspoeling uit gewasresten en er kan dus ook geen schatting worden gemaakt van de indirecte N₂O-emissie afkomstig van nitraatuitspoeling uit gewasresten. In de aangepaste methode wordt een schatting gemaakt van deze indirecte N₂O-emissie, waarbij de volgende methode wordt gebruikt (zie tabel 7.1):

1. berekening van de totale hoeveelheid stikstof die met kunstmest en dierlijke mest aan bouwland wordt toegediend (tabel 2 van hoofdstuk 2);
2. berekening van de totale stikstofopname door akkerbouwgewassen, maïs en vollegrondsgroentegewassen (berekend uit gegevens van aanhangsel 4);
3. het verschil tussen 1 en 2 is het 'bemestingsoverschot'; er wordt aangenomen dat 30 procent van dit overschot uitspoelt als nitraat (IPCC, 1998; De Vries et al., in prep.) en dat de indirecte N₂O-emissie 2,5 procent (IPCC, 1998) van dit overschot bedraagt;
4. er wordt aangenomen dat gemiddeld 75 procent van de stikstof in gewasresten in Nederland in het eerste jaar na toediening wordt gemineraliseerd;
5. van de gemineraliseerde N in gewasresten wordt 25 procent opgenomen door het volggewas;
6. van de resterende N uit gewasresten spoelt 30 procent als nitraat uit en hiervan wordt 2,5 procent omgezet in N₂O.

Tabel 7.1 Schatting van de indirecte N₂O-emissie uit nitraatuitspoeling uit gewasresten in Nederland in 1990.

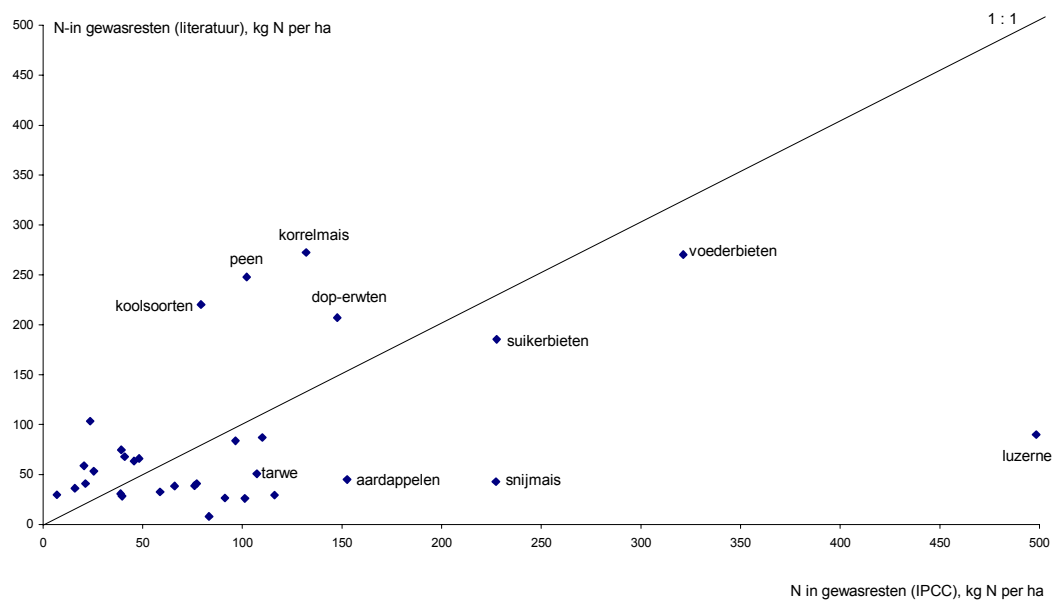
	Totaal in NL, Gg N
1. totale stikstofaanvoer naar bouwland	242
2. totale stikstofopname	180
3a. bemestingsoverschot	62
3b. nitraatuitspoeling bemesting	19
3c. indirecte N ₂ O-emissie nitraatuitspoeling bemesting	0,47
4a. stikstof in gewasresten	60
4b. gemineraliseerde stikstof in gewasresten	45
5. niet opgenomen stikstof	34
6a. nitraatuitspoeling gewasresten	10
6b. indirecte N ₂ O-emissie nitraatuitspoeling gewasresten	0,25

Aanhangsel 8 Directe N₂O-emissie uit gewasresten in NL in 1990 volgens IPCC-methode en de aangepaste methode

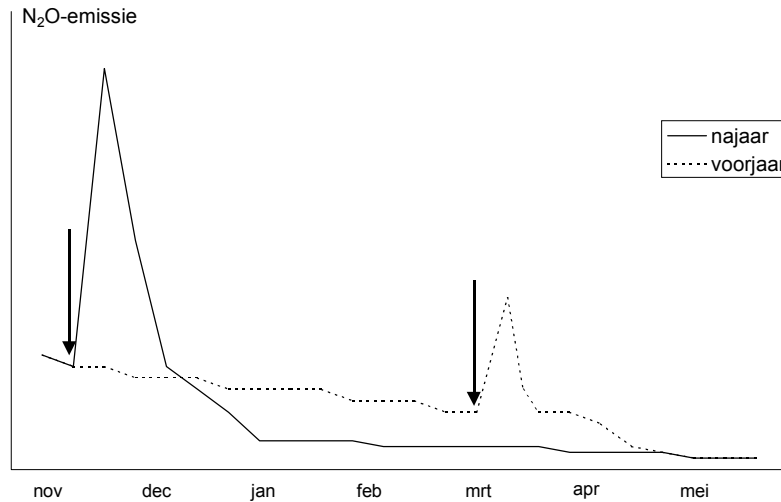
	IPCC-methode								aangepaste methode			
	DS	DRY	CROP0 CROPBF	FRACNCR0 FRACNCRBF	FRACR	FCR	EF1	N ₂ O- emissie	NRES	afvoer	EF1A	N ₂ O- emissie
Tarwe	85	6505	914606	0.015	0.45	15091	0.0125	189	51	0.25	0.0050	27
Gerst	85	4609	186150	0.015	0.45	3071	0.0125	38	39	0.25	0.0050	6
Korrelmaïs	80	8000	2400	0.015	0.45	40	0.0125	0	91	0.25	0.0050	0
Rogge	85	3556	30600	0.015	0.45	505	0.0125	6	33	0.25	0.0050	1
Haver	85	3999	13600	0.015	0.45	224	0.0125	3	39	0.25	0.0050	0
Triticale	85	4675	9350	0.015	0.45	154	0.0125	2	41	0.05	0.0050	0
Aardappelen	23	9247	1618279	0.015	0.45	26702	0.0125	334	45	0.05	0.0125	94
Suikerbieten	20	13797	1724600	0.015	0.45	28456	0.0125	356	185	0.05	0.0200	440
Veldbonen	88	3520	3520	0.030	0.45	116	0.0125	1	29	0.05	0.0125	0
Tuinbonen	88	2766	19360	0.030	0.45	639	0.0125	8	27	0.05	0.0125	2
Dop-erwten	88	4473	53680	0.030	0.45	1771	0.0125	22	207	0.05	0.0125	30
Koolzaad	85	2763	22100	0.015	0.45	365	0.0125	5	64	0.05	0.0125	6
Blauwmaanzaad	85	1288	340	0.015	0.45	6	0.0125	0	41	0.05	0.0125	0
Lijnzaad	85	971	6800	0.015	0.45	112	0.0125	1	36	0.05	0.0125	3
Koolsoorten	14	4808	36540	0.015	0.45	603	0.0125	8	220	0.05	0.0200	32
Asperge	7	420	966	0.015	0.45	16	0.0125	0	30	0.05	0.0125	1
Sla	5	2359	5190	0.015	0.45	86	0.0125	1	31	0.05	0.0200	1
Spinazie	7	2483	4221	0.015	0.45	70	0.0125	1	68	0.05	0.0200	2
Bloemkool	7	1435	4018	0.015	0.45	66	0.0125	1	103	0.05	0.0200	6
Uien	13	5052	64662	0.015	0.45	1067	0.0125	13	8	0.05	0.0125	1
Prei	9	2917	8460	0.015	0.45	140	0.0125	2	66	0.05	0.0200	4
Groene bonen	9	1191	5598	0.030	0.45	185	0.0125	2	75	0.05	0.0125	4
Groene erwten	21	3333	25662	0.030	0.45	847	0.0125	11	87	0.05	0.0125	8
Groene tuinbonen	9	772	927	0.030	0.45	31	0.0125	0	53	0.05	0.0125	1
Peen	10	6194	39020	0.015	0.45	644	0.0125	8	99	0.05	0.0125	7
Groenten, overig	15	5854	60000	0.015	0.45	990	0.0125	12	84	0.05	0.0125	10
Aardbeien	15	2400	4800	0.015	0.45	79	0.0125	1	28	0.05	0.0125	1
Snijmaïs	30	13769	2836496	0.015	0.45	46802	0.0125	585	43	0.05	0.0050	47
Luzerne	40	15101	90000	0.030	0.45	2970	0.0125	37	90	0.05	0.0125	6
Voederbieten	20	19467	58400	0.015	0.45	964	0.0125	12	104	0.05	0.0200	6
Karwij, venkel	85	1243	425	0.015	0.45	7	0.0125	0	59	0.05	0.0125	0
Vlas, hennep	85	6143	34000	0.015	0.45	561	0.0125	7	26	0.05	0.0125	2
Totaal Nederland								1667				764

DS = drogestofgehalte (%), DRY =drogestofopbrengst (DS * versopbrengst; zie aanhangsel 4; in kg ha⁻¹), CROP0/CROPBF = totale drogestofopbrengst in NL (Mg), FRACNCR0/FRACNCRBF = N-fractie in drogestof (kg N kg⁻¹), FRACR = N-fractie van totale opbrengst dat als oogstproduct wordt afgevoerd (kg N kg⁻¹ N), FCR= totale hoeveelheid gewasresten in NL (Mg N), EF1 = IPCC-emissiefactor (kg N₂O-N kg⁻¹ gewasrest-N), N₂O-emissie = totale N₂O-emissie uit gewasresten in NL (Mg N), NRES = beste schatting van hoeveelheid N in gewasresten (kg N ha⁻¹), afvoer = fractie van gewasrest-N dat wordt afgevoerd (kg N kg⁻¹ N), EF1A = emissiefactor van aangepaste methode (kg N₂O-N kg⁻¹ gewasrest-N).

Aanhangsel 9 Hoeveelheid stikstof in gewasresten volgens de IPCC-methode en volgens de literatuur



Aanhangsel 10 Effect van grondbewerking op de N₂O-emissie uit gewasresten: een hypothese



Hypothetisch verloop van de N₂O-emissie uit gewasresten bij onderploegen/grondbewerking in het najaar en voorjaar.

Volgens de hypothese leidt onderploegen tot een tijdelijke toename van de N₂O-emissie, omdat het organische materiaal (gewasrest) door de grond wordt gemengd en beter beschikbaar is voor afbraak door micro-organismen (dit geldt met name voor gewassen met grote gewasresten, zoals de stronken van koolsoorten of suikerbietenblad). Deze N₂O-piek is groter bij ploegen in het najaar dan bij ploegen in het voorjaar, omdat het onderploegde organische materiaal in het najaar veel minder sterk is afgebroken dan in het voorjaar. Daarbij is de periode zonder gewas groter bij het onderploegen in het najaar dan bij het onderploegen in het voorjaar. Tijdens de winter is de N₂O-emissie hoger bij grondbewerking in het voorjaar, omdat de zuurstofvoorziening van de bodem gedurende de winter slechter is dan die bij grondbewerking in het najaar en omdat een deel van de stikstof uit de in het najaar onderploegde gewasresten al verloren is gegaan via denitrificatie en nitraatuitspoeling. De slechtere zuurstofvoorziening leidt tot een verhoogde denitrificatie en N₂O-emissie. De totale N₂O-emissie hangt sterk van de weersomstandigheden af (met name het vochtgehalte) en met name die vlak na het onderploegen in het najaar en voorjaar. Het effect van tijdstip van onderploegen op de N₂O-emissie is daarom niet eenduidig aan te geven.

Aanhangsel 11 Maatregelen om N₂O-emissie uit gewasresten te verminderen

1. Verlaging van de stikstofbemesting

Korte beschrijving

De stikstofbemesting heeft zowel een effect op de hoeveelheid minerale stikstof die na de oogst in de bodem achterblijft als op de hoeveelheid stikstof in de gewasresten. De hoeveelheid minerale stikstof die na de oogst in de bodem achterblijft, neemt toe naarmate de stikstofgift toeneemt. Ook de hoeveelheid stikstof die in de gewasresten achterblijft, neemt toe bij een toenemende stikstofgift. De hogere hoeveelheid stikstof in de gewasresten wordt deels veroorzaakt doordat er meer gewasresten zijn en deels door het stikstofgehalte in het gewasrest hoger is. Bij gewassen als aardappelen, suikerbieten, broccoli en koolsoorten is sprake van een afname van de stikstofindex ($= (\text{N in oogstproduct}) / (\text{N in gewasrest})$) bij een toenemende stikstofgift (Boon et al., 1980; Everaarts et al., 1996a&b; Harris, 1992). Bij gewassen als granen en maïs is het effect van de stikstofgift op de stikstofindex kleiner (Darwinkel, 1998).

In de landbouwpraktijk worden de gewassen vaak hoger bemest dan het 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 fabriksaardappelen 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.

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 ROB-project 1.2 wordt dieper ingegaan op de maatregelen op het gebied van bemesting. In het huidige rapport wordt alleen ingegaan op de effecten op gewasresten.

Effectiviteit

De effectiviteit is hoog, omdat bemestingsmaatregelen direct een effect hebben op de hoeveelheid stikstof in de gewasresten en minerale stikstof in de bodem; dit zijn belangrijke (zo niet de belangrijkste) sturende factoren voor de N₂O-emissie uit gewasresten. 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 bij bemesting volgens het advies in

Nederland, de hoeveelheid stikstof in gewasresten gemiddeld met 5 procent afneemt (ten opzichte van 1990) en de emissiefactoren van de gewasresten gemiddeld lager worden (0,4 procent voor gewasrestengroep 1; 1,5 procent voor groep 2; 1 procent voor groep 3), dan wordt een emissiereductie van 0,11 Mton CO₂-equivalenten gekregen in Nederland (tabel 5 in hoofdtekst). Deze globale schatting moet nader worden onderbouwd met experimenteel onderzoek. Daarnaast zal de N₂O-emissie door bemesting en indirecte N₂O-emissies lager worden.

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). Uitgaande van een reductie met 0,11 Mton CO₂-equivalenten en gemiddelde besparing van de N-bemesting met 25 kg N per ha, zouden de kosten van deze maatregel ongeveer –250 gulden per ton CO₂-equivalenten per jaar bedragen (uitgaande van 1,30 gulden per kg kunstmeststikstof). Dit is een voorlopige en zeer ruwe indicatie van de kostenefficiëntie. De totale kostenefficiëntie is groter, omdat ook de directe N₂O-emissie uit stikstofbemesting wordt verlaagd (deze is niet verdisconteerd in de schatting van de effectiviteit).

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. De maatregelen om de N₂O-emissie te beperken door middel van bemesting, zijn sterk gericht op gewassen en dus perceelsgericht.

Handhaafbaarheid

Er zijn mogelijkheden om de bedrijfsgemiddelde bemesting te reguleren via MINAS-registratie (waarin moet worden aangegeven hoeveel meststoffen er worden gekocht).en het MINAS-boetestelsel.

Afwenteling en TEWI

Er zijn geen duidelijke afwentelingsmechanismen.

Draagvlak bij boeren

Het draagvlak van boeren zal in eerste instantie laag zijn, omdat verlaging van de bemesting mogelijk zou kunnen leiden tot opbrengstderving. Door een goede voorlichting en demonstratieproeven waarin wordt aangetoond dat de bemesting omlaag kan zonder duidelijke opbrengstderving zal het draagvlak bij boeren vergroten. Hierbij moet ook worden aangegeven dat deze maatregel gunstig is in het kader van MINAS, hetgeen het draagvlak zal vergroten.

Kennishiaten

- relatie tussen hoeveelheid en stikstofgehalte van gewasresten en de N₂O-emissie;
- effecten van stikstofbemesting op de stikstofindex van gewassen;

- hoe ver kunnen de stikstofadviezen voor gewassen worden verlaagd zonder duidelijke opbrengstderving;
- hoe kan de stikstoflevering uit dierlijke mest, gewasresten en bodem organische stof worden geschat.

2. Najaarstoediening van dierlijke mest

Korte beschrijving

De stikstof die in het najaar via dierlijke mest wordt toegediend, is zeer gevoelig voor uitspoeling, denitrificatie en lachgasemissie, omdat er gedurende een langere (en natte) periode geen gewas aanwezig is die stikstof kan opnemen. Indien er gewasresten aanwezig zijn, kunnen deze leiden tot een verhoogde N₂O-emissie uit de met de dierlijke mest toegediende stikstof (meer gemakkelijk afbreekbare organische stof). Het niet meer toedienen van dierlijke mest in het najaar maar alleen in het voorjaar zal daarom leiden tot een vermindering van de N₂O-emissie die door gewasresten wordt veroorzaakt. Daarnaast zal bij voorjaarstoediening meer stikstof voor het gewas beschikbaar zijn dan bij najaarstoediening. Dit leidt er toe dat minder kunstmest hoeft worden toegediend en dus mindere N₂O-emissie optreedt. Hierop wordt in ROB-project 1.2 dieper ingegaan.

Effectiviteit

De effectiviteit is hoog. Indien wordt uitgegaan dat de emissiefactoren van gewasresten iets omlaag gaan door het niet meer toedienen van dierlijke mest in het najaar (0,4 procent voor groep 1, 1,75 procent voor groep 2 en 1,15 procent voor groep 3) dan wordt een emissiereductie van 0,05 Mton CO₂-equivalenten bereikt. Deze globale schatting moet nader worden onderbouwd met experimenteel onderzoek. Daarnaast zal de N₂O-emissie door bemesting en indirecte N₂O-emissies lager worden.

Kostenefficiëntie

Voor de akkerbouwer is kostenefficiëntie neutraal of positief, omdat de boer minder stikstofmeststoffen hoeft aan te kopen, zonder een opbrengstderving. De veehouder zal extra mestopslag voor de winter nodig hebben; dit vraagt een forse investering en zou er toe kunnen leiden dat de prijs van de mest toeneemt (dit is niet waarschijnlijk in kader van MINAS) of dat de akkerbouwer die mest in het najaar gebruikt een vergoeding krijgt van de veehouder (op dit moment krijgen akkerbouwers vaak geld toe indien ze mest afnemen: dit is een deel van hun inkomsten). De spanning op de mestmarkt zal verder toenemen bij het niet meer toedienen van dierlijke mest in het najaar. Uitgaande van een reductie met 0,05 Mton CO₂-equivalenten en gemiddelde besparing van de N-bemesting met 50 kg N per ha, zouden de kosten van deze maatregel ongeveer –400 gulden per ton CO₂-equivalenten per jaar bedragen (uitgaande van 1,30 gulden per kg kunstmeststikstof en een areaal van ongeveer 250000 ha). Dit is een voorlopige en zeer ruwe indicatie van de kostenefficiëntie. Er wordt uitgegaan dat deze maatregel niet tot extra mestopslagcapaciteit leidt. De totale kostenefficiëntie is groter, omdat ook de directe N₂O-emissie uit stikstofbemesting wordt verlaagd (deze is niet verdisconteerd in de schatting van de effectiviteit).

Controleerbaarheid

De politie en AID kunnen controleren of er mest wordt uitgereden in het najaar.

Handhaafbaarheid

De uitrijregels in de meststoffenwet (Besluit Gebruik (Dierlijke) Meststoffen) kunnen worden uitgebreid met regels voor najaarstoediening van mest op kleigrond.

Afwenteling en TEWI

Er bestaat een duidelijk gevaar op afwenteling naar andere emissies, omdat de mest langer moet worden opgeslagen en de hoeveelheden methaan en ammoniak die tijdens de mestopslag ontstaan sterk zullen toenemen. Anderzijds neemt de nitraatuitspoeling en de hieraan gekoppelde indirecte N_2O -emissie sterk af bij het aanwenden van dierlijke mest in het voorjaar in plaats van het najaar. Verder wordt de stikstof in dierlijke mest bij voorjaarstoediening beter benut dan bij najaarstoediening, zodat minder kunstmest nodig is en minder N_2O uit kunstmest wordt gevormd. Er moet een afweging worden gemaakt tussen N_2O -emissie en nitraatuitspoeling enerzijds en methaan- en ammoniakemissie anderzijds.

Draagvlak bij boeren

Deze maatregel zal een relatief klein draagvlak bij de boeren hebben, omdat veel akkerbouwers op kleigrond geen of een beperkte hoeveelheid dierlijke mest in het vroege voorjaar willen toedienen (in verband met mogelijke structuurschade van de bodem) waardoor i) zij een andere bron voor fosfaat-, kalium-, en organische stof moeten gebruiken en ii) het mestoverschot in Nederland sterk zal toenemen. De veehouders moeten sterk investeren in uitbreiding van de mestopslag. De spanning op de mestmarkt zal sterk toenemen indien deze maatregel zal worden doorgevoerd.

Kennishiaten

- goede kwantificering van de N_2O -emissie uit gewasresten bij voorjaars- en najaarstoediening van dierlijke mest;
- kwantificering van de ammoniakemissie en methaanemissie uit mestopslag;
- effect van de maatregel op het nationale mestoverschot.

3. Aanpassen groundbewerking

Korte beschrijving

Uit de literatuur blijkt dat wel of geen groundbewerking in de winter een groot effect kan hebben op de N_2O -emissie. De N_2O -emissie kan hierbij zowel toenemen als afnemen (zie ook hypothese uit aanhangsel 10). Probleem hierbij is ook welk deel van de N_2O -emissie afkomstig is van de gewasresten en welke van de stikstof in de bodem (deze is afkomstig van bemesting). Er wordt verondersteld dat het uitstellen van groundbewerking bij 'grote' gewasresten zoals suikerbieten en koolsoorten leidt tot een mindere N_2O -emissie.

Effectiviteit

Indien wordt aangenomen dat uitstellen van grondbewerking leidt i) tot een lagere (25 procent) N-mineralisatie uit gewasresten, ii) een lagere emissiefactor (0,4 procent, 1,5 procent en 1 procent voor respectievelijk groepen 1, 2 en 3), iii) een iets hogere stikstofopname van de gewasrestenstikstof door het volggewas (5 procent lager) en iv) een iets lagere nitraatuitspoeling (5 procent lager) dan bedraagt de vermindering in N₂O-emissie 0,17 Mton CO₂-equivalenten jaar⁻¹. Deze globale schatting moet nader worden onderbouwd met experimenteel onderzoek.

Kostenefficiëntie

De benodigde tijd (en kosten) voor grondbewerking in voorjaar en najaar zal vergelijkbaar zijn. Grondbewerking in het voorjaar op kleigronden is echter vaak moeilijk en kan leiden tot structuurschade van de bodem en daardoor ook tot (financiële) opbrengstderving. Waarschijnlijk zal meer stikstof voor het volggewas beschikbaar zijn bij grondbewerking in het voorjaar dan in het najaar en op deze wijze kan bespaard worden op kunstmest. Uitgaande van een reductie met 0,17 Mton CO₂-equivalenten en gemiddelde besparing van de N-bemesting met 10 kg N per ha, zouden de kosten van deze maatregel ongeveer –20 gulden per ton CO₂-equivalenten per jaar bedragen (uitgaande van 1,30 gulden per kg kunstmeststikstof en een areaal van ongeveer 250000 ha). Dit is een voorlopige en zeer ruwe indicatie van de kostenefficiëntie. De totale kostenefficiëntie is groter, omdat ook de directe N₂O-emissie uit stikstofbemesting wordt verlaagd (deze is niet verdisconteerd in de schatting van de effectiviteit).

Controleerbaarheid effectiviteit

Bij de meeste gewassen is het goed zichtbaar of er grondbewerking is toegepast en de controleerbaarheid is dus goed.

Handhaafbaarheid

Op dit moment zijn er geen instrumenten om de handhaafbaarheid van deze maatregel te waarborgen. De handhaafbaarheid op kleigronden is twijfelachtig, gezien de grote effecten die de maatregel op de bedrijfsvoering kan hebben.

Afwenteling en TEWI

De risico's op afwenteling zijn gering.

Draagvlak bij boeren

Bij boeren op kleigronden (en met name zware kleigronden) zal het draagvlak klein zijn, omdat in het (vroeg) voorjaar vaak geen grondbewerking kan worden toegepast zonder structuurschade van de bodem. Boeren op andere grondsoorten zullen minder bezwaar hebben (of passen al grondbewerking in het voorjaar toe).

Kennishiaten

- Inzicht in de effecten van verschillende soorten grondbewerking in voorjaar en najaar bij verschillende gewassen en bodemomstandigheden op de N₂O-emissie.

4. Telen van 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 N_2O) 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. Op het telen van wintergewassen zal nader worden ingegaan in het ROB-project 1.2 (bemesting)

Effectiviteit

Aangezien wintergewassen alleen goed na granen en maïs kunnen worden geteeld en dit gewassen zijn met weinig stikstofrijke gewasresten, is de effectiviteit om de N_2O -emissie uit de gewasresten te verminderen gering. Indien wordt uitgegaan dat het volggewas 10 procent meer stikstof opneemt van gewasresten van tarwe en maïs, minder (5 procent) stikstof uitspoelt en de emissiefactor voor gewasresten van tarwe en maïs lager wordt (0,25 procent), zal een reductie van de emissie van gewasresten van granen en maïs van 0,01 Mton CO_2 -equivalenten kunnen worden gerealiseerd. Deze globale schatting moet nader worden onderbouwd met experimenteel onderzoek. Bij maïsland waaraan relatief veel dierlijke mest wordt toegediend, kunnen wintergewassen een deel van de minerale stikstof na de oogst opnemen en op deze wijze de N_2O -emissie verminderen; dit effect wordt aan bemesting toegerekend (zie ROB-project 1.2).

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. Uitgaande van een reductie met 0,01 Mton CO_2 -equivalenten en gemiddelde besparing van de N-bemesting met 35 kg N per ha, zouden de kosten van deze maatregel meer dan 1000 gulden per ton CO_2 -equivalenten per jaar bedragen (uitgaande van 1,30 gulden per kg kunstmeststikstof en een areaal van ongeveer 400000 ha). Dit is een voorlopige en zeer ruwe indicatie van de kostenefficiëntie. De totale kostenefficiëntie is groter, omdat ook de directe N_2O -emissie uit stikstofbemesting wordt verlaagd (deze is niet verdisconteerd in de schatting van de effectiviteit).

Controleerbaarheid

Het al dan niet telen van een wintergewas is duidelijk zichtbaar. Het is in de winter vaak niet zichtbaar welk gewas er op een perceel heeft gestaan (indien het telen van wintergewassen aan bepaalde gewassen wordt gekoppeld).

Handhaafbaarheid

Op dit moment zijn er geen instrumenten om de handhaafbaarheid van deze maatregel te waarborgen.

Afwenteling en TEWI

De teelt van vlinderbloemige wintergewassen kan tot een extra stikstofinput leiden en daardoor op een verhoogde N_2O -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 organischestofgehalte van de bodem op peil kan worden gehouden (of verhoogd).

Kennishiaten

- inzicht in de effecten van soorten wintergewassen op de N_2O -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.

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

Korte beschrijving

Indien de gewasresten in de herfst worden afgevoerd en gecomposteerd zullen de stikstofverliezen via uitspoeling, denitrificatie, N_2O -emissie en andere vluchtige stikstofverbindingen (ammoniak) afnemen. De compostering kan op het eigen bedrijf gebeuren, waarna de compost (met de daarin aanwezige nutriënten en organische stof) op het land wordt teruggebracht. De compostering kan in gespecialiseerde composteringsbedrijven gebeuren; de boer kan dan eventueel compost aankopen voor het op peil houden van het organische stofgehalte en bodemvruchtbaarheid van de bodem.

Effectiviteit

De N_2O -emissie van gewasresten die op het land blijven en het stimulerend effect van gewasresten op N_2O -emissie uit minerale stikstof in bodem zullen sterk afnemen door het afvoeren van de gewasresten. Echter, er wordt tijdens de compostering van de gewasresten ook N_2O gevormd (zowel bij compostering op het eigen bedrijf als

elders) en deze moet in beschouwing worden genomen. Er zijn weinig studies uitgevoerd naar de N₂O-emissie tijdens composteren van gewasresten. Uit een studie van Hellebrand (1998) blijkt dat de N₂O-emissie uit grasmaaisel ongeveer 0,5 procent van de initiële hoeveelheid N bedraagt. De studie gaf aan dat de N₂O-emissie tijdens composteren niet kan worden voorkomen, maar wel kan worden beperkt door een goede beluchting tijdens het composteren. In een studie van Schenk et al. (1997) was de N₂O-emissie bij composteren van organisch afval tot GFT-compost 42 mg N₂O-N per kg gecomposteerde droge stof. Dit komt overeen met ongeveer 0,3 procent van de N. De studies van Hellebrand (1998) en Schenk (1997) geven dus een indicatie dat er wel N₂O-emissie optreedt tijdens composteren, maar dat deze lager is dan die uit gewasresten uit het veld.

Indien wordt aangenomen dat 80 procent van de gewasresten wordt afgevoerd en gecomposteerd en dat tijdens de compostering een N₂O-emissie optreedt ter grootte van 0,75 procent van stikstof uit de gewasresten (de overige 20 procent blijft op het land en heeft een onveranderende emissiefactor) dan kan een N₂O-emissie reductie uit gewasresten van 0,21 Mton CO₂-equivalenten per jaar worden gerealiseerd. Deze globale schatting moet nader worden onderbouwd met experimenteel onderzoek. Er zal ook bespaard kunnen worden op kunstmest.

Kostenefficiëntie

De volgende kosten zijn verbonden aan deze maatregel:

- verzamelen en afvoeren van de gewasresten
- investering/tijd voor het composteren op het bedrijf zelf;
- eventueel: afvoeren van de gewasresten naar een composteringsbedrijf;
- het weer terugbrengen van de compost naar het land;
- aankoop van compost of andere bron van organische stof.

Uitgaande van een reductie met 0,21 Mton CO₂-equivalenten, een gemiddelde besparing van de N-bemesting met –10 tot 30 kg N per ha (afhankelijk of gewasresten weer naar het land terug worden gebracht) en extra arbeid (150-300 gulden per ha), zouden de kosten van deze maatregel ongeveer 100-150 gulden per ton CO₂-equivalenten per jaar bedragen (uitgaande van 1,30 gulden per kg kunstmeststikstof en een areaal van ongeveer 130000 ha). Dit is een voorlopige en zeer ruwe indicatie van de kostenefficiëntie. De totale kostenefficiëntie is groter, omdat ook de directe N₂O-emissie uit stikstofbemesting wordt verlaagd (deze is niet verdisconteerd in de schatting van de effectiviteit).

Controleerbaarheid

Het is zichtbaar indien er wel of geen gewasresten op het land aanwezig zijn. Ook de aanwezigheid van een composthoop op het eigen bedrijf is controleerbaar. Met composteringsbedrijven kunnen afspraken worden gemaakt dat de aanvoer van gewasresten wordt geregistreerd. De methode van composteren (met zo weinig mogelijk verliezen) is moeilijker controleerbaar.

Handhaafbaarheid

Op dit moment zijn er geen instrumenten om de handhaafbaarheid van deze maatregel te waarborgen. De handhaafbaarheid tot het verplichten tot composteren is mogelijk moeilijk.

Afwenteling en TEWI

Gewasresten bevatten gemakkelijk afbreekbare organische stof. Deze wordt door denitrificerende bacteriën als substraat gebruikt, waarbij nitraat wordt omgezet in luchtstikstof (N_2) en N_2O . Het afvoeren van gewasresten kan er toe leiden dat de denitrificatiecapaciteit van de bodem afneemt en er meer stikstof als nitraat uitspoelt. Verder bestaat er een risico dat er tijdens de compostering ongewenste gasvormige verbindingen ontstaan: N_2O , NH_3 , CH_4 , NO_x . Ook bestaat er een risico dat via het lekwater van de composthoop nutriënten (stikstof, fosfaat, kalium) verloren gaan en wegspoelen in de bodem of oppervlakte water. De methode en plaats van composteren (bijvoorbeeld wel of niet overdekt) is hierbij belangrijk.

Draagvlak bij boeren

Deze maatregel vraagt een behoorlijke inspanning van de boeren, zowel uit financieel oogpunt als uit de benodigde arbeid. Het draagvlak kan mogelijk vergroot worden indien wordt aangegeven dat deze maatregel leidt tot minder nitraatuitspoeling.

Kennishiaten

- kwantificering van de gasvormige stikstofverliezen (N_2O , N_2 , NH_3 en NO_x) en uitspoelingsverliezen tijdens compostering; hoe kunnen deze worden beperkt?
- kwantificering van de N_2O -emissie na toediening van compost aan de bodem;
- methodieken voor composteren van gewasresten op het eigen bedrijf; welke gewasresten zijn wel/niet geschikt.

6. Verwijderen van gewasresten

Korte beschrijving

Het volledig afvoeren van gewasresten en het op een andere wijze gebruiken of verwerken, zal leiden tot een sterke vermindering van de N_2O -emissie. Hierbij zou gedacht kunnen worden aan gebruik als veevoer, vul- en bedekkingsmateriaal, vergisting, verbranding of nieuwe gebruiksmogelijkheden.

Effectiviteit

De effectiviteit is hoog indien gewasresten worden gebruikt die een hoge N_2O -emissie hebben zoals suikerbietenblad en koolsoorten. Het afvoeren van de gewasresten van suikerbieten en koolsoorten leiden tot een reductie van 0,22 Mton CO_2 -equivalenten, indien 80 procent van deze gewasresten worden afgevoerd en niet op een andere wijze tot N_2O -emissie leiden. De afvoer van 80 procent van de gewasresten van granen leidt tot een emissiereductie van 0,02 Mton CO_2 -equivalenten. Deze globale schatting moet nader worden onderbouwd met experimenteel onderzoek.

Kostenefficiëntie

Er zijn kosten verbonden aan het verzamelen en afvoeren, maar mogelijk kunnen deze worden vergoed indien het ander gebruik van de gewasresten geld oplevert (in de nabije toekomst is dit niet reëel). Uitgaande van een reductie met 0,22 Mton CO₂-equivalenten bij afvoer suikerbietenblad en koolsoorten, extra N-bemesting met 15 kg N per ha en kosten voor afvoer van 100 gulden per ha, zouden de kosten van deze maatregel ongeveer 70 gulden per ton CO₂-equivalenten per jaar bedragen (uitgaande van 1,30 gulden per kg kunstmeststikstof en een areaal van ongeveer 130000 ha). De kostenefficiëntie voor de afvoer van gewasresten van granen bedraagt meer dan 1000 gulden per ton CO₂-equivalenten per jaar. Dit is een voorlopige en zeer ruwe indicatie van de kostenefficiëntie. De totale kostenefficiëntie is groter, omdat ook de directe N₂O-emissie uit stikstofbemesting wordt verlaagd (deze is niet verdisconteerd in de schatting van de effectiviteit).

Controleerbaarheid

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

Handhaafbaarheid

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

Afwenteling en TEWI

Er bestaat een risico op afwenteling, maar dat is sterk afhankelijk van het gebruik. Bij gebruik als veevoer is het risico op afwenteling beperkt, terwijl bij het verbranden wel een duidelijk risico bestaat op afwenteling (komt N₂O of andere gasen vrij? Wat gebeurt er met de verbrandingsgassen? etc.).

Gewasresten bevatten gemakkelijk afbreekbare organische stof. Deze wordt door denitrificerende bacteriën als substraat gebruikt, waarbij nitraat wordt omgezet in luchtstikstof (N₂) en N₂O. Het afvoeren van gewasresten kan er toe leiden dat de denitrificatiecapaciteit van de bodem afneemt en er meer stikstof als nitraat uitspoelt.

Draagvlak bij boeren

Deze maatregel vraagt een behoorlijke inspanning van de boeren, zowel uit financieel oogpunt als uit de benodigde arbeid. Het draagvlak kan mogelijk vergroot worden indien wordt aangegeven dat deze maatregel leidt tot minder nitraatuitspoeling. De wijze van gebruik zal ook deels het draagvlak bepalen. Het draagvlak zal groter zijn indien de gewasresten als veevoer worden gebruikt dan indien ze verbrand worden in een vuilverbrandingsinstallatie.

Kennishiaten

- inventariseren van de gebruiksmogelijkheden van gewasresten: welke gewasresten zijn geschikt als veevoer, waar kan stro voor gebruikt worden, zijn er mogelijkheden tot vergisting etc. Zijn er 'nieuwe' gebruiksmogelijkheden?

- wat zijn de consequenties (milieukundig, financieel etc.) van het verbranden van gewasresten in vuilverbrandingsinstallaties.

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

Korte beschrijving

Het stro van granen heeft een hoge C/N-verhouding en bij de afbraak van deze organische stof zullen bacteriën stikstof uit de bodem onttrekken en (tijdelijk) immobiliseren (figuur 4 uit hoofdstuk 4). Het mengen van stikstofrijke gewasresten (zoals suikerbietenblad) met het stro zal er toe leiden dat een deel van stikstof die door mineralisatie vrijkomt uit het suikerbietenblad wordt geïmmobiliseerd door het stro. Op deze wijze kan waarschijnlijk de N_2O -emissie worden verminderd. Op de meeste akkerbouwbedrijven worden zowel granen als suikerbieten verbouwd, zodat er duidelijke perspectieven bestaan voor het mengen van deze gewasresten. Een andere optie is het onderwerken van tarwe. Een nadeel is hierbij dat de granen enkele maanden eerder worden geoogst dan de suikerbieten (en aardappelen) zodat het stro tijdelijk van het land moet worden gehaald en ergens opgeslagen.

Effectiviteit

Er kan een emissiereductie van 0,13 Mton CO_2 -equivalenten worden gerealiseerd, indien wordt aangenomen dat de emissiefactor voor granen 0,25 procent en voor suikerbieten 1 procent wordt, de stikstofmineralisatie van suikerbietenblad tijdens de winter 10 procent lager wordt en de stikstofopname van het volggewas van suikerbieten 10 procent hoger wordt. Deze globale schatting moet nader worden onderbouwd met experimenteel onderzoek.

Kostenefficiëntie

Er zijn additionele kosten voor het verzamelen, opslaan en toedienen van het stro. Er kan mogelijk op kunstmest worden bespaard. Uitgaande van een reductie met 0,13 Mton CO_2 -equivalenten, een gemiddelde besparing van de N-bemesting met 15 kg N per ha en extra kosten voor de afvoer van stro en het mengen met suikerbietenblad (150 gulden per ha) bedragen de kosten van deze maatregel ongeveer 128 gulden per ton CO_2 -equivalenten per jaar bedragen (uitgaande van 1,30 gulden per kg kunstmeststikstof en een areaal van ongeveer 125000 ha). Dit is een voorlopige en zeer ruwe indicatie van de kostenefficiëntie. De totale kostenefficiëntie is groter, omdat ook de directe N_2O -emissie uit stikstofbemesting wordt verlaagd (deze is niet verdisconteerd in de schatting van de effectiviteit).

Controleerbaarheid

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

Handhaafbaarheid

Gezien de beperkte controleerbaarheid, lijkt de handhaafbaarheid moeilijk.

Afwenteling en TEWI

De risico's op afwenteling zijn klein.

Draagvlak bij boeren

Deze maatregel vraagt extra arbeid en financiële inspanning van de boeren en het draagvlak zal in eerste instantie beperkt zijn. Indien door voorlichting kan worden aangetoond dat deze maatregel duidelijke perspectieven heeft en ook leidt tot een lagere nitraatuitspoeling, zal het draagvlak sterk toenemen.

Kennishiaten

- kwantificering van de N₂O-emissie uit mengsel van gewasresten;
- effecten van verschillende verhoudingen stro en stikstofrijke gewasresten op stikstofimmobilisatie, N₂O-emissie en nitraatuitspoeling.

