

Lachgasemissie bij graslandvernieuwing in voor- of najaar

Lachgasemissie bij graslandvernieuwing in voor- of najaar

Resultaten van een éénjarige meetcampagne

J. Dolfing¹

W.J.M. de Groot¹

I.E. Hoving²

P.J. Kuikman¹

¹ Alterra, Wageningen UR

² Praktijkonderzoek, Animal Sciences Group, Wageningen UR

Alterra-rapport 896

Alterra, Wageningen, 2004

REFERAAT

Dolfing, J., W.J.M. de Groot, I.E. Hoving & P.J. Kuikman, 2004. *Lachgasemissie bij graslandvernieuwing in voor- of najaar; Resultaten van een éénjarige meetcampagne*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 896. 52 blz.; 9 fig.; 9 tab.; 14 ref.

Jaarlijks wordt in Nederland ongeveer 10% van alle grasland gescheurd en opnieuw ingezaaid met gras of met andere gewassen. Als gevolg hiervan komen relatief grote hoeveelheden stikstof vrij waarvan een deel uitspoelt als nitraat of denitrificeert en verloren gaat. Dit verlies is afhankelijk van het tijdstip van scheuren en van het volggewas. Het is onduidelijk hoeveel van de stikstof die verloren gaat wordt omgezet in lachgas. In het voorliggende rapport worden de resultaten gepresenteerd van metingen die gedurende een volledig jaar zijn uitgevoerd binnen een veldexperiment naar graslandvernieuwing. Het experiment is uitgevoerd op een drietal locaties: Nij Bosma Zathe (zeeklei), Aver Heino (natte zandgrond; beekerd) en Cranendonck (droge zandgrond; veldpodzol). Het doel van de meetcampagne was om de lachgasemissie te bepalen die het gevolg is van verschillende manieren van graslandvernieuwing bij verschillende bemestingsniveaus en grondsoorten. Het tijdstip waarop de graslandvernieuwing werd uitgevoerd beïnvloedt de emissie, maar het effect was niet consistent in de verschillende gronden. Het advies om tot scheuren in het voorjaar over te gaan om de vrijkomende stikstof zo veel mogelijk te benutten voor het volggewas blijkt niet a-priori gunstig voor de emissie van N₂O en behoeft nuancering. De gegevens worden in de *herinzaaiwijzer* ingebouwd en op deze manier bij ondernemers onder de aandacht gebracht in termen van advies in het kader van goede landbouw praktijk. (<http://www.pv.wur.nl/index.asp?producten/software/websoftware/herinzaaiwijzer/index.asp>)

Trefwoorden: broeikasgassen; denitrificatie; grasland; graslandvernieuwing; herinzaai; herinzaaiwijzer, klimaat; Lachgas;

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 24,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 896. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2004 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

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

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

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

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
2 Proefopzet	15
2.1 Proefperiode en locaties	15
2.2 Experimentele opzet	15
2.3 Grondbewerking en inzaaien	16
2.4 Bemesting	16
2.5 Luchtmetingen	17
2.5.1 Frequentie	17
2.5.2 Gewasopbrengsten en bodemanalyses	17
3 Hypothesen	19
4 Resultaten	21
4.1 Klei (Nij Bosma Zathe)	21
4.1.1 Algemene patronen in emissies	21
4.1.2 Invloed van het bemestingsniveau	23
4.2 Natte zandgrond (Aver Heino)	24
4.2.1 Algemene patronen	24
4.2.2 Invloed van het bemestingsniveau	25
4.3 Droge zandgrond (Cranendonck)	27
4.3.1 Algemene patronen	27
4.3.2 Invloed van het bemestingsniveau	29
5 Waarnemingen per grondsoort	31
5.1 Klei (Nij Bosma Zathe)	31
5.2 Natte zandgrond (Aver Heino)	34
5.3 Droge zandgrond (Cranendonck)	35
6 Discussie	37
6.1 Generalisering	37
6.2 Statistiek	38
7 Toetsing en analyse van de hypothesen	39
7.1 Discussie over hypothesen	39
7.2 Vergelijking met de inschattingen uit de systeemanalyse	40
8 Conclusies	41
Literatuur	43

Bijlagen

- | | |
|---|----|
| 1 Een vergelijking van het verloop van de emissie in de tijd per
hoofd – en nevenbehandeling | 45 |
| 2 Statistische beschrijving van de resultaten | 51 |

Woord vooraf

Jaarlijks wordt in Nederland ongeveer 10% van alle grasland gescheurd en ingezaaid met gras of andere gewassen. Als gevolg hiervan komen relatief grote hoeveelheden stikstof vrij waar potentieel een deel van verloren gaat, afhankelijk van het tijdstip van scheuren en het volggewas. Het is onduidelijk hoeveel van de stikstof die verloren gaat wordt omgezet in lachgas. Vanuit milieutechnisch oogpunt is het gewenst dit kennishiaat op te vullen. Ook landbouwkundig en bedrijfseconomisch zijn er vragen ten aanzien van de voor- en nadelen van graslandvernieuwing. Om deze vragen te kunnen beantwoorden wordt er door Praktijkonderzoek Veehouderij (PV) een veldexperiment graslandvernieuwing uitgevoerd, waarin o.a. aandacht geschonken wordt aan de landbouwkundige en milieukundige effecten van het tijdstip van herinzaai en de noodzaak om extra stikstof toe te dienen. Voor wat betreft de milieukundige aspecten ligt de nadruk op de uitspoeling van stikstof. In opdracht van de NOVEM worden binnen dit veldexperiment additionele metingen uitgevoerd ter onderbouwing van een strategie om te komen tot een vermindering van directe en indirecte lachgasemissie door aanpassing van management rond graslandvernieuwing. Om een volledige meetreeks over een vol jaar te verkrijgen is aanvullende financiering verschaft door LNV programma 398. Het uiteindelijke doel van het voorliggende onderzoek is om inzicht te krijgen in de lachgasemissie bij het scheuren van grasland en om het resultaat te vertalen in een praktisch advies ten behoeve van de 'Herinzaaiwijzer' die door het Praktijkonderzoek-ASG ontwikkeld is. Dit programma is te vinden op de internetsite van het Praktijkonderzoek (<http://www.pv.wur.nl/index.asp?producten/software/websoftware/herinzaaiwijzer/index.asp>) en is rechtstreeks en gratis te raadplegen. In het adviesprogramma wordt een integrale afweging gemaakt van de voor- en nadelen van verschillende graslandvernieuwingsmethodes.

Eduard Hummelink, Henk Gunnink, en Theo van Hattum worden hartelijk bedankt voor het verrichten van de metingen, ook in de winter als het koud en nat was. Gerard Velthof heeft als programmaleider van DWK programma 398-II de benodigde additionele financiering beschikbaar gesteld na overleg met LNV.

Samenvatting

Jaarlijks wordt in Nederland ongeveer 10% van alle grasland gescheurd en opnieuw ingezaaid met gras of met andere gewassen. Als gevolg hiervan komen relatief grote hoeveelheden stikstof vrij waarvan maar een deel wordt opgenomen door het gewas en een deel verloren gaat via de-nitrificatie naar lucht of via uitspoeling naar water. Het is onduidelijk hoeveel van de stikstof die verloren gaat wordt omgezet in lachgas. Vanuit milieutechnisch oogpunt is het gewenst dit kennishiaat op te vullen. Ook landbouwkundig en bedrijfseconomisch zijn er vragen ten aanzien van de voor- en nadelen van graslandvernieuwing. Om deze vragen te kunnen beantwoorden wordt door Praktijkonderzoek-ASG een veldexperiment graslandvernieuwing uitgevoerd, waarin o.a. aandacht geschonken wordt aan de landbouwkundige en milieukundige effecten van het tijdstip van herinzaai en de noodzaak om extra stikstof toe te dienen.

Tabel 1. Code en omschrijving behandelingen veldexperiment

Code	Behandeling
<i>Hoofdbehandelingen</i>	
S0	Geen herinzaai (=controle)
S2 ¹	Scheuren voorjaar en inzaai voorjaar
S3	Scheuren nazomer en inzaai nazomer
S4	Scheuren nazomer en inzaai voorjaar
S5	Doodspuiten nazomer en doorzaaien nazomer
S6 ¹	Scheuren voorjaar en inzaai voorjaar
<i>Nevenbehandelingen</i>	
N1	0 kg N ha ⁻¹
N2	150 kg N ha ⁻¹
N3	300 kg N ha ⁻¹

Het voorliggende rapport bevat een overzicht van de meetresultaten van een meetcampagne die erop gericht was te bepalen wat de gevolgen zijn voor de lachgasemissie van verschillende manieren van graslandvernieuwing (management) bij verschillende bemestingsniveaus en grondsoorten, dit ter onderbouwing van een strategie om te komen tot een vermindering van directe en indirecte lachgasemissie door aanpassing van het management rond graslandvernieuwing. Daartoe zijn vijf hoofdbehandelingen vergeleken, namelijk: 1) geen herinzaai (=controle); 2) scheuren voorjaar en inzaai voorjaar; 3) scheuren nazomer en inzaai nazomer; 4) scheuren nazomer en inzaai voorjaar, en 5) doodspuiten nazomer en doorzaai nazomer. Over de hoofdbehandelingen heen zijn vijf stikstofbemestingsniveaus aangelegd, waarvan er binnen dit project drie gemonitord zijn. De meststoffen P en K zijn in principe volgens advies gestrooid. In tabel 2 zijn de behandelingen samengevat. Tot het moment van scheuren en inzaaien werd geen onderscheid gemaakt in subveldjes (N-behandelingen) en werden de veldjes bemest met 300 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹. De proef is

¹ S6 was gelijk aan S2 met dien verstande dat de behandeling in S2 in het voorjaar van 2002 werd uitgevoerd en in S6 in het voorjaar van 2003; scheuren en herinzaai vond bij S2 dus plaats ruim voordat begonnen werd met het meten van de emissie van lachgas.

aangelegd volgens een split-plot opzet, waarbij per locatie een perceel wordt ingezet. Op elk perceel zijn twee blokken, bestaande uit 6 velden aangelegd (inclusief een reserve plot). Per veld zijn 3 subveldjes aangelegd. De proefpercelen lagen op een zeeklei, een natte zandgrond, en een droge zandgrond (Tabel 2).

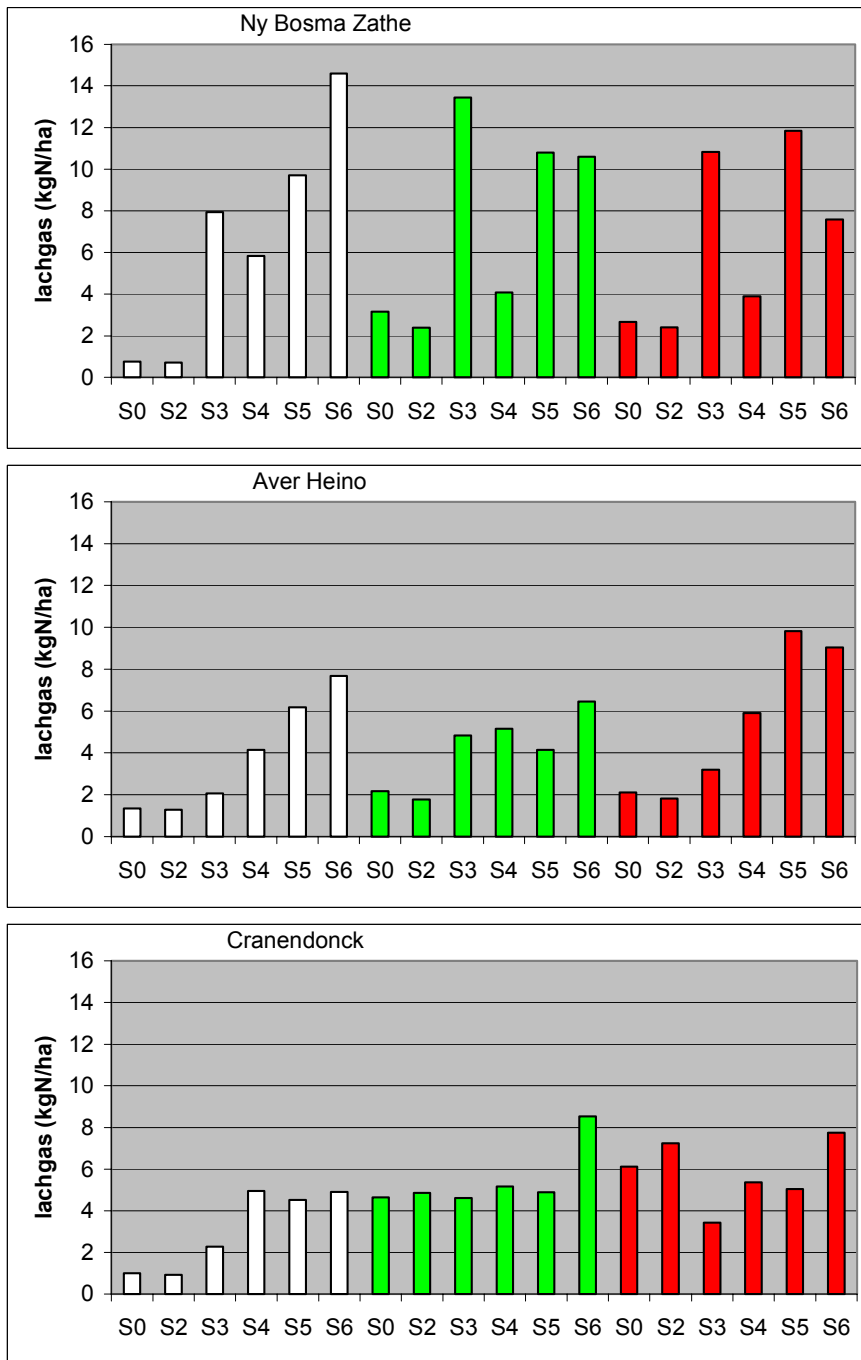
Tabel 2. Grondsoort, ligging en zodeleeftijd van de proefpercelen

Grondsoort	Locatie	Leeftijd van de zode (jaren)
Zeeklei	Nij Bosma Zathe	8
Natte zandgrond (beekerd)	Aver Heino	10
Droge zandgrond (veldpodzol)	Cranendonck	6

De graslandvernieuwingsproef is gestart in het voorjaar van 2002, terwijl de lachgasmetingen zijn uitgevoerd in de periode september 2002- september 2003. Er zijn dientengevolge geen meetresultaten over de emissie van lachgas onmiddellijk na scheuren in het voorjaar van 2002. Bij het uitvoeren van de lachgasmetingen lag de nadruk op het groeiseizoen (maart tot en met oktober). Buiten het groeiseizoen was de frequentie van meten ongeveer eens per maand. Tijdens het groeiseizoen werd minstens 1 maal per week gemeten, soms vaker als daar op grond van behandelingen (bemesting scheuren, doodspuiten) en recente hoge emissies reden toe was. In totaal werd er per veldje 25 à 30 maal gemeten over een periode van 13 aaneengesloten maanden in 2002 en 2003. De resultaten van de verschillende behandelingen worden vergeleken op basis van de berekende totale emissievracht.

De resultaten van de metingen op de verschillende locaties verschillen van elkaar in omvang en in patroon van emissies in de tijd (Figuur 1). Het is niet mogelijk altijd algemene voor alle gronden en bemestingsniveaus geldende conclusies te trekken uit de gepresenteerde waarnemingen.

Het scheuren van grasland leidt tot een emissie van lachgas die altijd hoger is dan bij achterwege laten van scheuren. De vorming van lachgas is een belangrijke indicator dat ook de-nitrificatie plaatsvindt en zo stikstof verloren gaat als N_2 naar de atmosfeer. Het advies om tot scheuren in het voorjaar over te gaan om zo de vrijkomende stikstof zo veel mogelijk te benutten voor het volggewas blijkt niet zonder meer te leiden tot een vermindering van de emissie van N_2O . Op zandgrond worden bij scheuren en inzaaien in het voorjaar (S6) aanmerkelijk hogere emissies gemeten dan bij scheuren en inzaaien in het najaar (S3). Het verlies van N als lachgas bij scheuren in het najaar (S3) was relatief beperkt ten opzichte van niet scheuren (S1). Op kleigrond werden zowel in het voorjaar als in het najaar hoge emissies van lachgas gemeten. Op Nij Bosma Zathe (zeeklei) werd de laagste emissie van lachgas gegenereerd door te scheuren in de nazomer gevolgd door herinzaai in het volgend voorjaar (S4). Echter, hoe gunstig ogenschijnlijk ook, dit voordeel moet worden afgewogen het nadeel van de te verwachten hogere N-uitspoeling in najaar en winter.



N1 wit links
 N2 groen midden
 N3 rood rechts

Figuur 1. Emissie van lachgas na graslandvernieuwing op (A) Klei, (B) natte zandgrond, en (C) droge zandgrond bij verschillende graslandvernieuwingsmethodes en bemestingsniveaus. Hoofdbehandelingen: S0, geen herinzaai (=controle); S2, scheuren en herinzaai in het voorjaar van 2002; S3, scheuren en herinzaai in de nazomer van 2002; S4, scheuren nazomer 2002 en herinzaai voorjaar 2003; S5, doodspuiten en doorzaaien nazomer 2002; S6 scheuren en herinzaai voorjaar 2003. Nevenbehandelingen: N1, 0 kg N ha⁻¹; N2, 150 kg N ha⁻¹; N3, 300 kg N ha⁻¹.

Daarbij levert S4 op de beide zandgronden extra verlies ten opzichte van S3. Doorzaaien in het najaar na doodspuiten van het gras (S5) geeft op alle drie de gronden een hoger verlies dan scheuren en inzaaien in het najaar (S3). Het effect van N-bemesting op de emissie van N₂O was relatief gering.

De resultaten worden ingebouwd in de herinzaaiwijzer van ASG, die rechtstreeks en gratis op de internetsite van het praktijkonderzoek te raadplegen is (<http://www.pv.wur.nl/index.asp?producten/software/websoftware/herinzaaiwijzer/index.asp>). Wij vinden het van groot belang om bij deze conclusies aan te tekenen dat ze zijn gebaseerd op telkens één locatie en op één weerjaar met een voor- en najaar met eigen specifieke combinatie van temperatuur, regen en bodemvochtigheid. Uit gepubliceerde gegevens en uit ervaring is bekend dat de emissies van jaar tot jaar sterke variaties vertonen in reactie op patronen van weer en neerslag, bodemvocht en bemesting.

De conclusies die worden aangeboden om in te bouwen in de herinzaaiwijzer zijn:

- Scheuren van grasland leidt tot emissie van lachgas in de orde van 0 – 9 kg N per ha per jaar op zand en 14 kg N per ha per jaar op klei;
- de emissie op nat zand is duidelijk hoger dan de emissie op droog zand;
- Het is mogelijk om een variant te kiezen met een relatief lage emissie van lachgas;
- Afzien van scheuren is de beste optie om de emissie van lachgas te verlagen; minder frequent scheuren respectievelijk uitstellen van scheuren de op een na beste optie met dien verstande dat er door voortgaande ophoping van stikstof in de zode een groter risico op verlies kan ontstaan en de keuze van methode en tijdstip van scheuren des te belangrijker wordt
- Doorzaaien na doodspuiten van de zode leidt tot hogere verliezen dan door scheuren en herinzaai in het najaar
- Scheuren en herinzaaien van grasland in voorjaar in plaats van najaar leidt op zand tot een hogere emissie van lachgas in tegenstelling tot de verwachting; er is wel een risico op uitspoeling bij scheuren in het najaar;
- Scheuren in de nazomer (augustus) direct gevolgd door herinzaai leidt op alle percelen tot de laatste emissies van lachgas en verdient in dat opzicht de voorkeur

Aan alle emissie en verliezen kan een prijs worden gekoppeld. Deze prijs is niet altijd een reële prijs omdat er bijvoorbeeld geen koper is of geen belasting wordt geheven. Een emissie van 14 kg N in de vorm van N₂O bedraagt 22 kg N₂O en 6820 kg CO₂ equivalenten; iedere kg N levert bijna 500 kg CO₂ equivalenten. De prijs op de markt voor 1000 kg CO₂ equivalenten (die ook Nederland nu betaalt) is ongeveer € 5.00 en zal naar verwachting alleen maar (snel) oplopen. Indien er lachgas wordt gevormd is het zeer waarschijnlijk dat er ook en veel meer (20 – 100 maal) elementair stikstof (N₂O) wordt gevormd. Dit verlies is verloren stikstofleverend vermogen van de bodem en zal op termijn via bemesting weer moeten worden aangevuld.

1 Inleiding

Jaarlijks wordt binnen het Nederlandse graslandareaal van ongeveer 1 000 000 ha op ruim 100 000 ha grasland gescheurd en ingezaaid met gras of andere gewassen. Bij het scheuren (ploegen) van grasland ontstaat een sterke afbraak van organische stof uit de oude zode en komt veel stikstof vrij. Die stikstof kan niet altijd benut worden door volgende gewassen en kan aanleiding geven tot forse verliezen (nitraatuitspoeling, denitrificatie). De grootte van de verliezen is afhankelijk van de leeftijd van het gescheurde grasland, het tijdstip van het scheuren, van de teelt na het scheuren en van de bemesting bij die volgteelt.

Het scheuren van grasland is onderdeel van verschillende systemen in de landbouw: graslandverbetering, omzetting van grasland in bouwland, and grasland in rotatie. In het onderhavige onderzoeksrapport wordt alleen ingegaan op graslandverbetering – het scheuren van grasland om terstond weer in te zaaien met gras. Het gaat in dit geval om blijvend of permanent grasland. De vraag die hierbij gesteld kan worden is: *is de lachgasemissie bij graslandverbetering groter dan bij een 'onverbeterde' situatie?*

Naast herinzaai wordt ook doorzaai van bestaand grasland toegepast als een methode om grasland in conditie te houden. Grasland wordt hierbij niet gescheurd. De inschatting is dat de oppervlakte grasland die na scheuren opnieuw wordt ingezaaid varieert van ongeveer 45 000 tot 60 000 hectare per jaar, dat is ongeveer 5 tot 6% van het graslandareaal in Nederland. Afhankelijk van de weersomstandigheden in met name de winter kan de oppervlakte doorzaai sterk variëren. In 1990 en 1993 bedroeg de oppervlakte doorzaai zo'n 13 000 ha, maar in 1996, na een strenge winter, was dat 50 000 hectare (Tabel 3)

Tabel 3. Graslandvernieuwing via herinzaaien, doorzaaien of inzaaien na een ander gewas op bedrijven met rundvee (bron: CBS, 2003)

Periode	Oppervlakte grasland (landbouwtelling)	Totaal ingezaaid oppervlak	Herinzaaien	Doorzaaien	Inzaaien na ander gewas
	1000 ha	1000 ha			
1990	1004	127	61	14	52
1993	965	88	45	13	31
1996	958	153	59	50	44
1999	912	131	67	9	55
2002	929	100	48	5	46

De totale hoeveelheid stikstof onder grasland bedraagt duizenden kilogrammen. Hassink (1996) geeft voor zandgronden een traject aan van 0,1 tot 0,5% organische stikstof in de laag van 0-20 cm. Bij een dichtheid van de grond van 1,4 betekent dat een hoeveelheid van 2800 tot 14000 kilogram N per hectare. Van kleigronden is het traject 0,15 tot 0,5 %, hetgeen neerkomt op hoeveelheden van 4200 tot 14000 kg N per ha.

Op basis van literatuur en modelberekeningen is geconcludeerd dat in het eerste jaar na scheuren 100 tot meer dan 1000 kg N per ha vrijkomt. De leeftijd van het grasland (de periode dat het perceel al grasland is) heeft een duidelijke invloed op de vrijkomende hoeveelheid stikstof. Ernst en Berendonk (1991) vonden slechts een zeer beperkte toename van de nitraatuitspoeling als het gescheurde grasland opnieuw werd ingezaaid met gras in plaats van het braak te laten liggen. Dit wordt bevestigd door gegevens van Schils et al. (1997), Roberts et al. (1989) en Cuttle & James (1995).

Voor wat betreft nitraatuitspoeling nog dit: Shepherd et al. 2001 stelt dat zijn resultaten illustreren dat a) herinzaai in de nazomer/herfst geeft grote risico's op nitraatuitspoeling in de winter; b) ploegen en herinzaai in de lente leidt tot veel minder uitspoeling van N; en c) dat er in de winters daarna nauwelijks meer effecten zijn van scheuren van grasland, mits er opnieuw ingezaaid is. Er blijkt een duidelijk verband tussen grasleeftijd en N uitspoeling op een van de twee locaties, maar niet op de andere locatie. Dit zou iets te maken kunnen hebben met fysische bescherming of effecten op aeratie en drainage. Shepherd et al concluderen dat scheuren en herinzaai in het voorjaar leidt tot minder nitraatuitspoeling, maar dat dit nadelen heeft voor de boer. In GB wordt 50% van de jaarlijkse grasproductie gerealiseerd in de periode tot eind mei, en in jaren met droge zomers zelfs 70% > Vergeleken met herinzaai in het najaar leidt herinzaai in het voorjaar tot een lagere opbrengst.

Voorlopige resultaten van het betreffende graslandvernieuwingsonderzoek waar de lachgasemissie is gemeten, laten geen ophoping van N_{min} in het najaar zien bij scheuren in het voorjaar in tegenstelling tot scheuren in het najaar (Hoving, 2003)

Hoewel er in gras-gras opvolgingen weinig stikstof verloren lijkt te gaan, is er wel een duidelijke invloed van het tijdstip waarop het grasland gescheurd en opnieuw ingezaaid wordt. Uit onderzoek van Ernst en Berendonk (1991) blijkt dat herinzaai in de nazomer tot de grootste stikstofverliezen leidt (50 tot 60 kg N/ha). Het ingezaaide gras is in de herfst nog te weinig ontwikkeld om de relatief grote hoeveelheid gemineraliseerde stikstof op te nemen. Door laat in de herfst te scheuren treedt weinig mineralisatie op, de vrijkomende stikstof kan worden opgevangen door vroege inzaai in het volgend voorjaar. De potentiële effectiviteit van deze methode wordt onderschreven door Linden en Wallgren (1993). Scheuren van grasland, direct gevolgd door herinzaai, beperkt het stikstofverlies tot ongeveer 5 a 15 kg N/ha (Ernst & Berendonk, 1991; Wouters 2000). Op basis hiervan mag verwacht worden dat het stikstofverlies bij herinzaai in het voorjaar slechts eenderde tot de helft bedraagt van het stikstofverlies bij scheuren in het najaar.

In het kader van het ROB-project scheuren en herinzaai van grasland zijn de volgende maatregelen onderzocht:

- Afzien van scheuren
- Niet scheuren na 1 augustus
- Grasland vernieuwen zonder scheuren (zonder grondbewerking)
- Aanpassen van de bemesting voor of na scheuren (verlagen van de bemesting na scheuren)

2 Proefopzet

2.1 Proefperiode en locaties

Gedurende vier jaar (2002 tot en met 2004) wordt op drie locaties een veldproef uitgevoerd op grasland. De proefpercelen liggen op een zeeklei, een natte zandgrond en een droge zandgrond (Tabel 4).

Tabel 4. Grondsoort, ligging en zodeleeftijd van de proefpercelen

Grondsoort	Locatie	Leeftijd van de zode (jaren)
Zeeklei	Nij Bosma Zathe	8
Natte zandgrond (beekeerd)	Aver Heino	10
Droge zandgrond (veldpodzol)	Cranendonck	6

2.2 Experimentele opzet

In het onderzoek worden vijf hoofdbehandelingen vergeleken, namelijk 1) geen herinzaai (=controle); 2) scheuren voorjaar en inzaai voorjaar; 3) scheuren nazomer en inzaai nazomer; 4) scheuren nazomer en inzaai voorjaar, en 5) doodspuiten nazomer en doorzaaien nazomer. Over de hoofdbehandelingen heen worden vijf bemestingsniveaus aangelegd, waarvan er binnen dit project drie gemonitord zijn. De meststoffen P en K zijn in principe volgens advies gestrooid. In Tabel 5 zijn de behandelingen samengevat. Tot het moment van scheuren en inzaaien wordt geen onderscheid gemaakt in subveldjes (N-behandelingen) en worden de veldjes bemest met 300 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹.

Tabel 5. Code en omschrijving behandelingen veldexperiment

Code	Behandeling
<i>Hoofdbehandelingen</i>	
S0	Geen herinzaai (=controle)
S2 ²	Scheuren voorjaar en inzaai voorjaar
S3	Scheuren nazomer en inzaai nazomer
S4	Scheuren nazomer en inzaai voorjaar
S5	Doodspuiten nazomer en doorzaaien nazomer
S6 ²	Scheuren voorjaar en inzaai voorjaar
<i>Nevenbehandelingen</i>	
N1	0 kg N ha ⁻¹
N2	150 kg N ha ⁻¹
N3	300 kg N ha ⁻¹

De proef is aangelegd volgens een split-plot opzet, waarbij per locatie een perceel wordt ingezet. Op elk perceel zijn twee blokken, bestaande uit 6 velden aangelegd

² S6 was gelijk aan S2 met dien verstande dat de behandeling in S2 in het voorjaar van 2002 werd uitgevoerd en in S6 in het voorjaar van 2003; scheuren en herinzaai vond bij S2 dus plaats ruim voordat begonnen werd met het meten van de emissie van lachgas.

(inclusief een reserve plot). Per veld zijn 3 subveldjes aangelegd. Binnen elk blok zijn de vernieuwingsbehandelingen door loting aan de velden toegewezen en per veld zijn de N behandelingen verloot over de subveldjes. De subveldjes hebben een afmeting van 2,80 x 10 m. Tot het moment van scheuren zijn de veldjes als een geheel bemest en geoogst. Door de bemestingsbehandelingen pas na inzaaien aan te leggen wordt een verschil in voorgeschiedenis voorkomen.

2.3 Grondbewerking en inzaaien

Het gras is doodgespoten alvorens de zode is gescheurd. De subveldjes voor de bemestingstrappen zijn na het inzaaien aangelegd. Om een ploegvoor te voorkomen zijn de veldjes achtereenvolgens gefreesd en gespuit. Een bijkomend voordeel van deze aanpak was dat het organische materiaal van de oude zode homogener in de bouwvoor werd gemengd. Voor het inzaaien is een BG3 mengsel gebruikt bestaande uit 100% Engels raaigras, in een hoeveelheid van 30 kg per ha. Het restant van het zaaizaad uit 2002 is gekoeld bewaard voor de inzaai van behandeling S4 in het voorjaar van 2003.

2.4 Bemesting

De bemesting was afhankelijk van het tijdstip van scheuren en de gewenste stikstofjaargift. De N-gift was in de vorm van KAS. In tabel 6 is het bemestingsschema weergegeven. De behandelingen S3, S4, en S5 zijn tot het moment van scheuren bemest volgens N3, evenals S6.

Tabel 6. Het bemestingsschema* in kg N ha⁻¹

Behandeling	Bemesting	2002						2003					
		N jaargift	snede 1	snede 2	snede 3	snede 4	snede 5	N jaargift	snede1	snede2	snede3	snede4	snede5
S0	N1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	N2	150	60	30	30	30	0	150	60	30	30	30	0
	N3	300	100	40	65	65	30	300	100	40	65	65	30
S2	N1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	N2	150	30	60	30	30	0	150	60	30	30	30	0
	N3	300	30	100	65	65	40	300	100	40	65	65	30
S3	N1	300	100	40	65	65	30	0	0	0	0	0	0
	N2	300	100	40	65	65	30	150	60	30	30	30	0
	N3	300	100	40	65	65	30	300	100	40	65	65	30
S4	N1	300	100	40	65	65	30	0	0	0	0	0	0
	N2	300	100	40	65	65	30	150	30	60	30	30	0
	N3	300	100	40	65	65	30	300	30	100	65	65	40
S5	N1	300	100	40	65	65	30	0	0	0	0	0	0
	N2	300	100	40	65	65	30	150	60	30	30	30	0
	N3	300	100	40	65	65	30	300	100	40	65	65	30
S6	N1	300	100	40	65	65	30	0	0	0	0	0	0
	N2	300	100	40	65	65	30	150	30	60	30	30	0
	N3	300	100	40	65	65	30	300	30	100	65	65	40

*: Bij behandeling S5 is de startgift van 30 kg N ha⁻¹ niet in het najaar van 2002, maar in het voorjaar van 2003 gegeven.

De bemesting is gegeven zodra de temperatuursom bereikt en het land berijdbaar was. Twee weken na opkomst van het nieuw ingezaaide gras is een startgift van 30 kg N ha toegediend. Voor details over het bemestingsschema (inclusief de P- en K-

giften) en de overwegingen die geleid hebben tot dit schema wordt verwezen naar het rapport over de PV proef.

2.5 Lachgasmetingen

Lachgasmetingen zijn uitgevoerd met een fotoacoustische gasmonitor volgens een standaardprotocol (Velthof and Oenema, 1995): kamertjes met een doorsnee van 18,6 cm doorsnee waarin 30 minuten na sluiting van de kamer de lachgasconcentratie gemeten wordt. Op ieder veldje worden twee kamers geplaatst die beide doorgemeten worden.

2.5.1 Frequentie

De frequentie van de metingen hing af van de uitgevoerde werkzaamheden, de bemestingstijdstippen en de tijdstippen waarop veel neerslag viel. Er is minimaal 1 x per maand gemeten. Kort na scheuren en/of inzaaien en enkele dagen na elke bemesting werden metingen uitgevoerd. Was de emissie hoog dan werd er enkele dagen daarna weer gemeten. Op deze wijze is ernaar gestreefd om de emissievracht gedurende de periode met verhoogde emissies zo goed mogelijk vast te stellen.

2.5.2 Gewasopbrengsten en bodemanalyses

Voor gewasopbrengsten en analyses wordt verwezen naar het rapport van Hoving (Praktijkonderzoek -ASG, in voorbereiding). Voor grondanalyses wordt verwezen naar het rapport van Velthof et al. (Alterra, in voorbereiding) over de effecten van graslandvernieuwing in voor- en najaar op de uitspoeling van nitraat.

3 Hypotheses

De hypotheses ten aanzien van het effect van graslandvernieuwing op de emissie van lachgas luiden:

- Scheuren van grasland stimuleert de vorming en emissie van lachgas
- Uitstel van herinzaai na scheuren leidt tot verdere verhoging van de emissie van lachgas
- Scheuren en herinzaai in het voorjaar leidt tot minder emissie dan scheuren en herinzaai in het najaar
- Doodspuiten van de zode leidt tot de hoogste emissie ook als dit doodspuiten wordt gecombineerd met doorzaai.
- Toevoegen van extra kunstmest stikstof bevordert de emissie van lachgas.

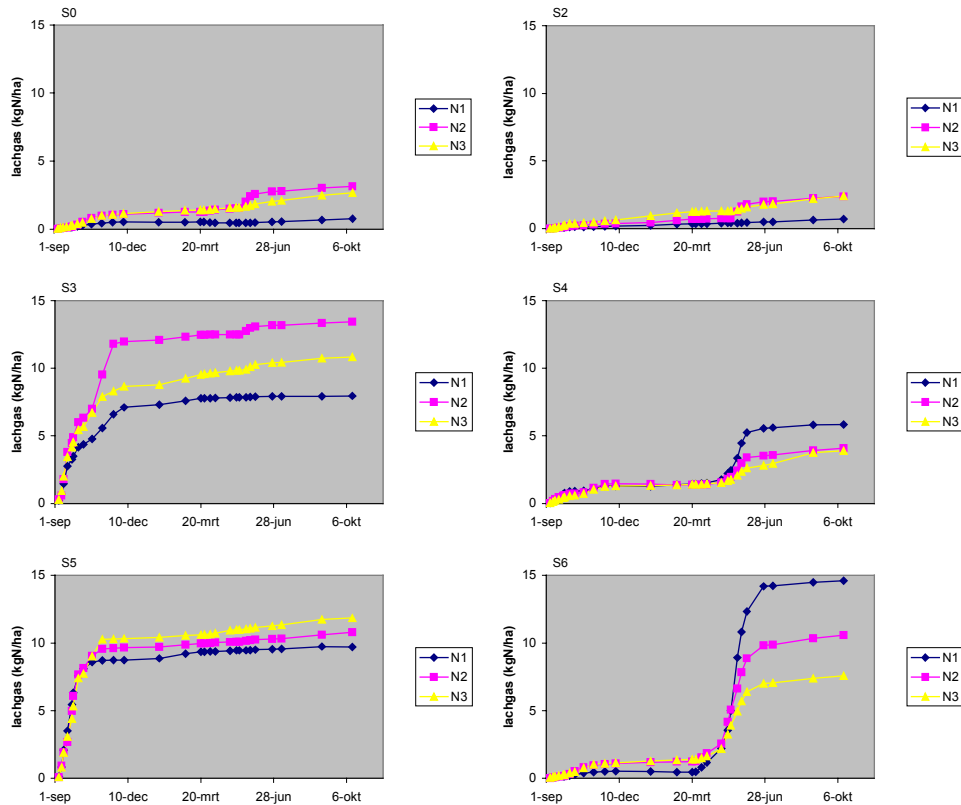
De achtergrond bij deze hypotheses is dat er bij de mineralisatie van de zode stikstof vrijkomt, en dat deze stikstof maar voor een deel opgenomen wordt door het nieuw ingezaaide gras. Met name tijdens de braakperiode, maar ook daarna zal een deel van deze stikstof door microbiële processen (nitrificatie en denitrificatie) vrijkomen als lachgas. Doodspuiten zonder scheuren leidt tot hogere concentraties goed afbreekbaar organisch materiaal in de bovengrond. Deze hoge concentraties zullen leiden tot een versnelling van omzettingsprocessen in de stikstof cyclus en derhalve de vorming en emissie van lachgas bevorderen. Ook het toevoegen van kunstmeststikstof bij herinzaai zal de vorming en emissie van lachgas verhogen.

4 Resultaten

4.1 Klei (Nij Bosma Zathe)

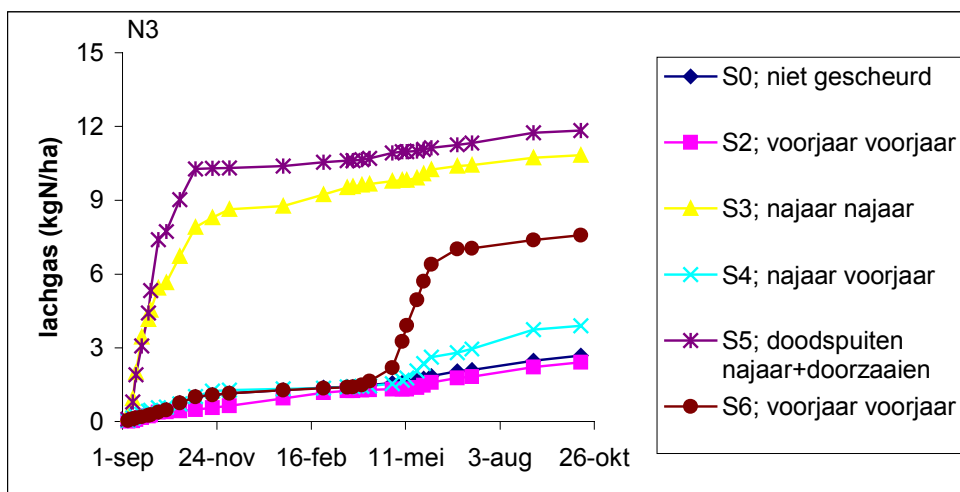
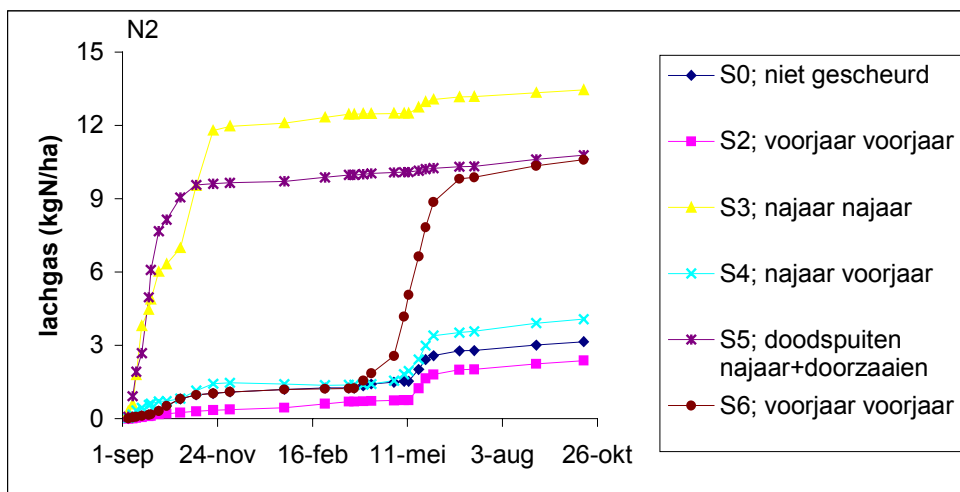
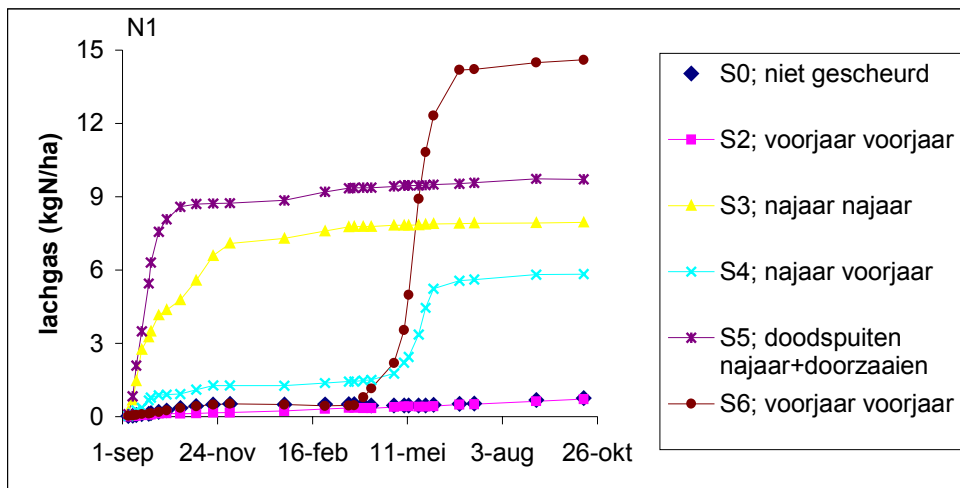
4.1.1 Algemene patronen in emissies

De metingen werden gestart in september 2002 en liepen tot oktober 2003 (Figuur 2 en Figuur 3).



Figuur 2. Cumulatieve lachgasemissie Nij Bosma Zathe (klei) geordend naar hoofdbehandeling (wijze van graslandvernieuwing).

Op veldjes waar de grasmat niet vernieuwd was (S0) varieerde de lachgasemissie tussen de 0,8 en 3,2 kg N/ha afhankelijk van het niveau van bemesting. In deze veldjes was de emissie in de nazomer en herfst laag maar constant op een niveau van 0,15-0,30 kg N/ha/maand; in de periode van december tot mei had geen of nauwelijks emissie plaats. In de onbemeste veldjes bleef de emissie ook na mei vrijwel nihil, maar in de bemeste veldjes liep de emissie na mei weer duidelijk op. In de veldjes die in het voorjaar voorafgaande aan de meetperiode gescheurd en opnieuw ingezaaid waren (S2) lag het niveau lager dan in de S0 veldjes.



Figuur 3. Cumulatieve lachgasemissie Nij Bosma Zathe (klei) geordend naar nevenbehandeling (bemesting-niveau).

Een halfjaar na scheuren en herinzaai in het voorjaar was er op deze kleigrond dus al geen stimulerend effect (meer?) waarneembaar van deze behandeling; als er al een effect was, was dat een verlaging van de emissie van lachgas.

De lachgasemissie uit de veldjes die in het najaar van 2002 omgeploegd of doodgespoten waren (S3-S5) varieerde tussen 3,9 en 13,4 kg N/ha. De hoogste emissies werden gevonden in de veldjes die in de nazomer gescheurd en opnieuw ingezaaid waren (S3). De laagste emissies traden op in de veldjes die in de nazomer doodgespoten en in het volgend voorjaar opnieuw ingezaaid waren. (S4). De lachgasemissie in de veldjes die in het voorjaar van 2003 gescheurd en opnieuw ingezaaid waren (S6) kwam enige weken na herinzaai goed op gang. De cumulatieve emissie ligt voor deze behandeling boven de waarde voor behandeling S4. De lachgasemissie in S5 liep in de eerste twee maanden na het doodspuiten en doorzaaien in het najaar snel op tot 8 à 10 kg N/ha, maar was na december vrijwel nihil, en reageerde zelfs niet op mestgiften in het volgende voorjaar. In de reeks experimenten op Nij Bosma Zathe leidde scheuren in de nazomer in combinatie met herinzaai in het volgend voorjaar (S4) tot de minste emissie van lachgas.

4.1.2 Invloed van het bemestingsniveau

In de bovenstaande paragraaf is gekeken naar de globale patronen voor de verschillende hoofdbehandelingen, waarbij geen rekening is gehouden met het bemestingsniveau. In Figuur 4 worden de effecten van de hoofdbehandeling gepresenteerd voor elk van de drie bemestingsniveaus afzonderlijk.

N1: geen bemesting

Bij behandeling N1, d.w.z. geen bemesting, werd de laagste emissie waargenomen bij behandeling S4: scheuren in de nazomer gevolgd door herinzaai in het volgend voorjaar.

N2: 150 kg N/ha

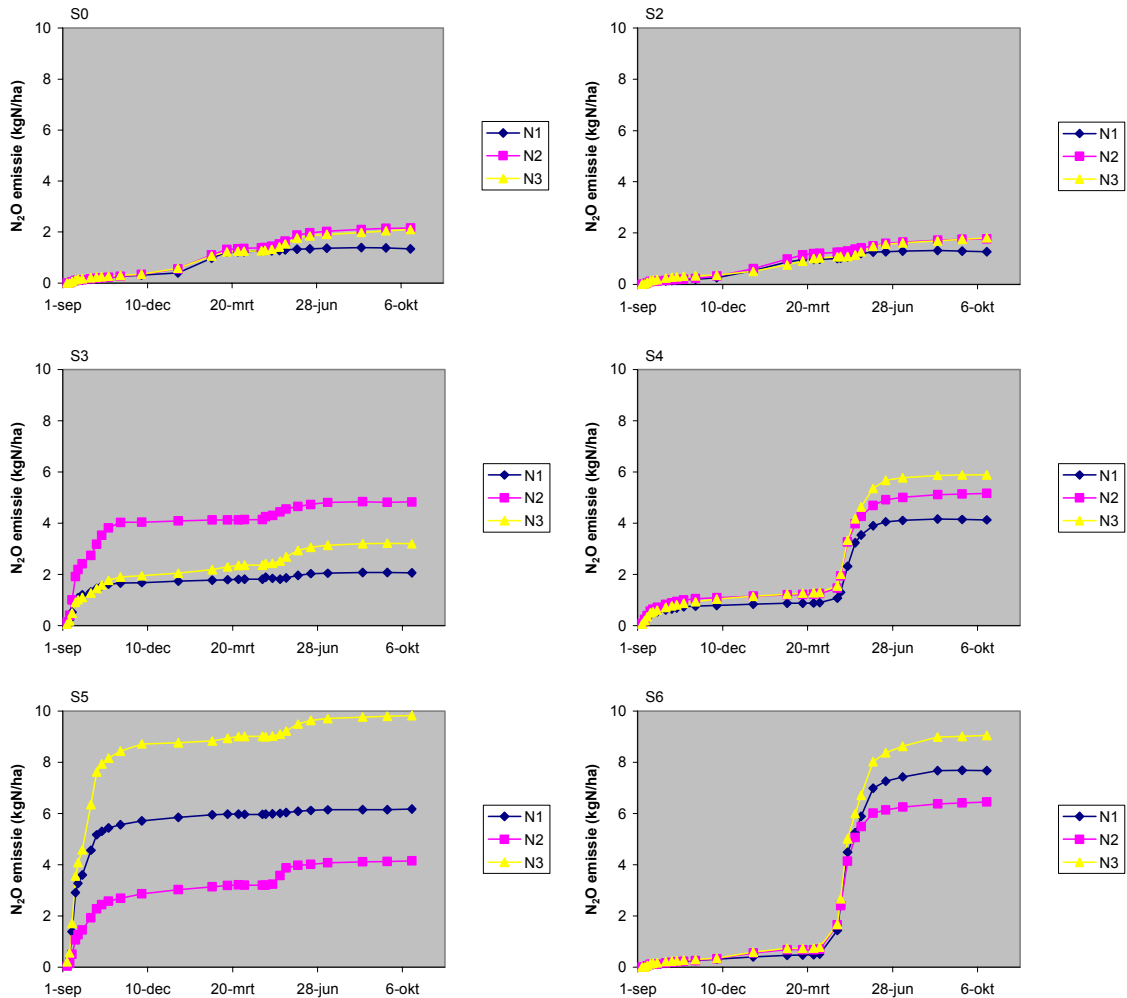
Bij behandeling N2 lag de emissie uit S4 verreweg het laagst, en zelfs maar iets boven de S0.

N3: 300 kg N/ha

Ook bij N3 lag de emissie uit S4 verreweg het laagst.

Er was geen generiek verband tussen het bemestingsniveau en de hoogte van de emissie na graslandvernieuwing. Bij twee van de zes behandelingen (S2 en S5) nam de lachgasemissie toe met de grootte van de mestgift, maar bij de andere behandelingen was dat niet het geval.

4.2 Natte zandgrond (Aver Heino)



Figuur 4. Cumulatieve lachgasemissie Aver Heino (natte zandgrond) geordend naar hoofdbehandeling (wijze van graslandvernieuwing).

4.2.1 Algemene patronen

De metingen werden gestart in september 2002 en liepen tot september 2003 (Figuur 4 en Figuur 5). Op veldjes waar de grasmat niet vernieuwd was (S0) varieerde de lachgasemissie afhankelijk van het niveau van bemesting tussen de 1,4 en 2,2 kg N/ha. Een flink deel van de emissie uit deze nulbehandeling vond plaats in de wintermaanden, met name vanuit de onbemeste veldjes. Na de winter stabiliseerde de lachgasemissie op die veldjes zich op een laag niveau, terwijl de emissie vanuit de veldjes die bemest werden na de mestgift weer opliep. Vanuit de veldjes die in het voorjaar voorafgaande aan de meetperiode gescheurd en heringezaaid waren (S2) was de lachgasemissie vrijwel gelijk aan die van de veldjes die niet gescheurd waren (S0). In het voorjaar van 2003 zijn de metingen op deze veldjes stopgezet. Op deze veldjes

was er nauwelijks effect van het toedienen van extra stikstof. Op de veldjes die in het voorjaar van 2003 gescheurd en opnieuw ingezaaid waren (S6) was de emissie van lachgas 6,5 tot 9,1 kg N/ha, aanmerkelijk hoger dus dan de emissie vanuit de S0 veldjes. Deze extra emissie begon niet onmiddellijk na het scheuren, maar had een lag-fase van een paar weken. Daarmee viel de piek in de emissie qua tijdstip vrijwel samen met de emissie uit de veldjes die in de nazomer gescheurd en in het voorjaar opnieuw ingezaaid waren (S4). De hoogtes van de emissies uit S6 waren hoger dan die uit S4. In laatstgenoemde behandeling vond in de wintermaanden geen noemenswaardige emissie plaats. Scheuren of doodspuiten in de nazomer in combinatie met herinzaai in diezelfde nazomer (S5) leidde vrijwel onmiddellijk tot een sterk verhoogde emissie van lachgas, evenals scheuren in de nazomer in combinatie met inzaaien in de nazomer (S3).

De hoogste cumulatieve emissies werden in het algemeen gevonden bij herinzaai in het voorjaar (S4 en S6). Bij deze behandelingen werd de cumulatieve lachgasemissie niet zichtbaar beïnvloed door het bemestingsniveau; de emissie bedroeg 4,1 tot 9,1 kg N/ha. Het antwoord op de vraag welke behandeling leidde tot de laagste (extra) emissie is niet zonder meer te geven. Op de niet bemeste veldjes en op de met 300 kg N/ha bemeste veldjes van behandeling S3 (scheuren en herinzaai in de nazomer) was de emissie 2 à 3 kg N/ha hetgeen duidelijk lager is dan de 6,2 en 9,8 kg N/ha die gemeten werd in de corresponderende S5 veldjes (doodspuiten en herinzaai in de nazomer), en op de veldjes die in het voorjaar opnieuw ingezaaid werden. Voor het tussenliggende bemestingsniveau (150 kg N/ha) lag de emissie voor beide behandelingen (S3 en S5) rond de 4,5 kg N/ha.

4.2.2 Invloed van het bemestingsniveau

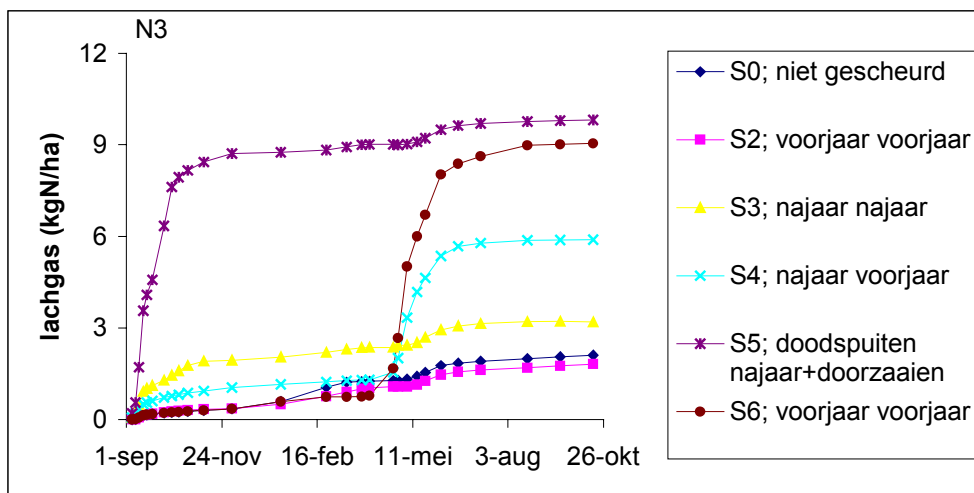
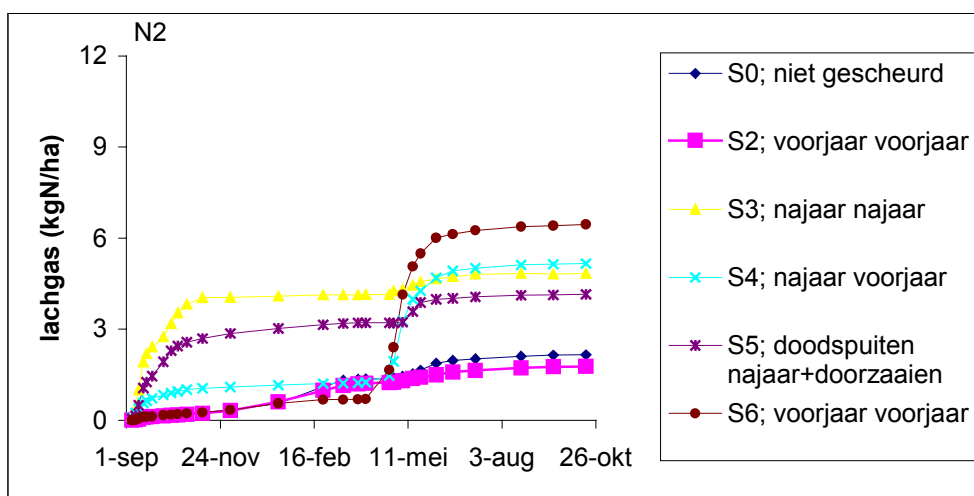
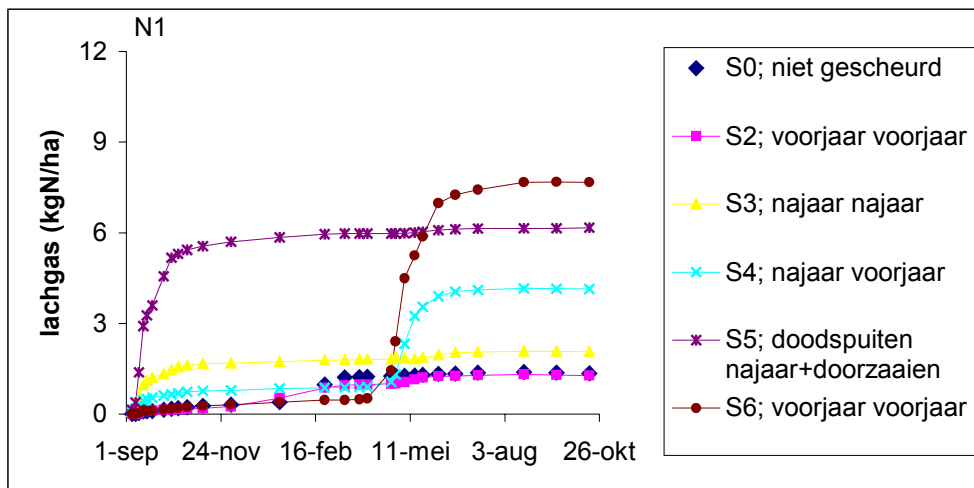
Ook bij de experimenten op Aver Heino nam de emissie vaker niet dan wel toe met toenemende mestgiften. Alleen bij behandeling S4 was dit wel het geval. Zoals in de vorige paragraaf al aangegeven is, compliceert dit de interpretatie van de resultaten.

N1: geen bemesting

Bij behandeling N1, d.w.z. geen bemesting, werd de laagste emissie waargenomen bij behandeling S3: scheuren en herinzaai in de nazomer. De hoogste emissie werd waargenomen bij behandeling S6: scheuren en herinzaai in het voorjaar.

N2: 150 kg N/ha

Bij behandeling N2 werd de laagste emissie waargenomen bij behandeling S5: doodspuiten plus doorzaaien in de nazomer. De hoogste emissie werd waargenomen bij behandeling S6: scheuren en herinzaai in het voorjaar..

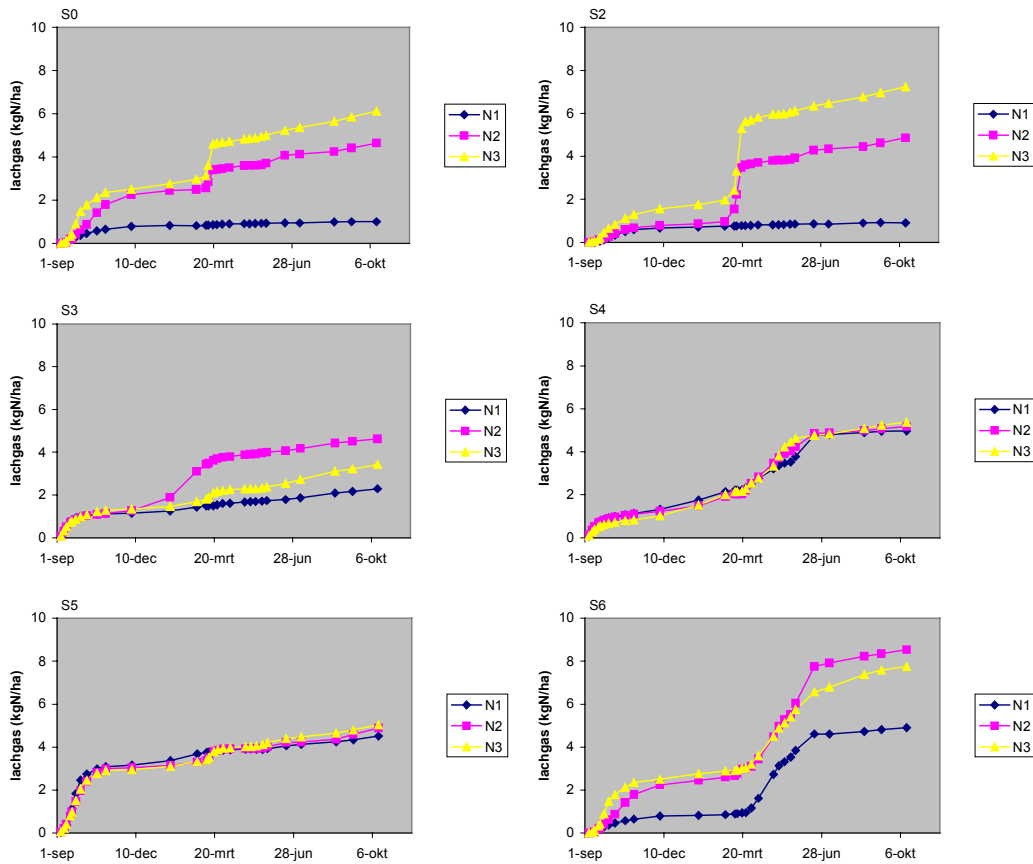


Figuur 5. Cumulatieve lachgasemissie Aver Heino (natte zandgrond) geordend naar nevenbehandeling (bemestingsniveau).

N3: 300 kg N/ha

Bij behandeling N1 werd de laagste emissie waargenomen bij behandeling S3: scheuren en herinzaai in de nazomer. De hoogste emissie werd waargenomen bij behandeling S6: scheuren en herinzaai in het voorjaar.

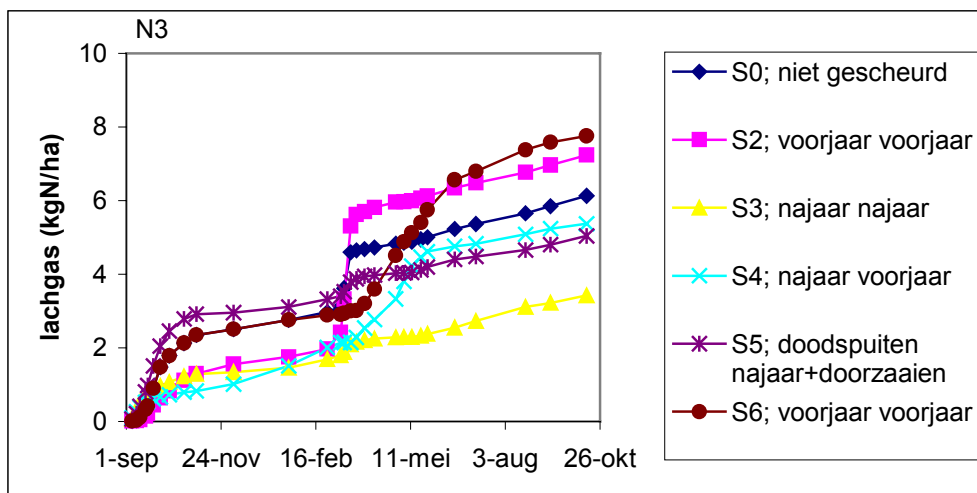
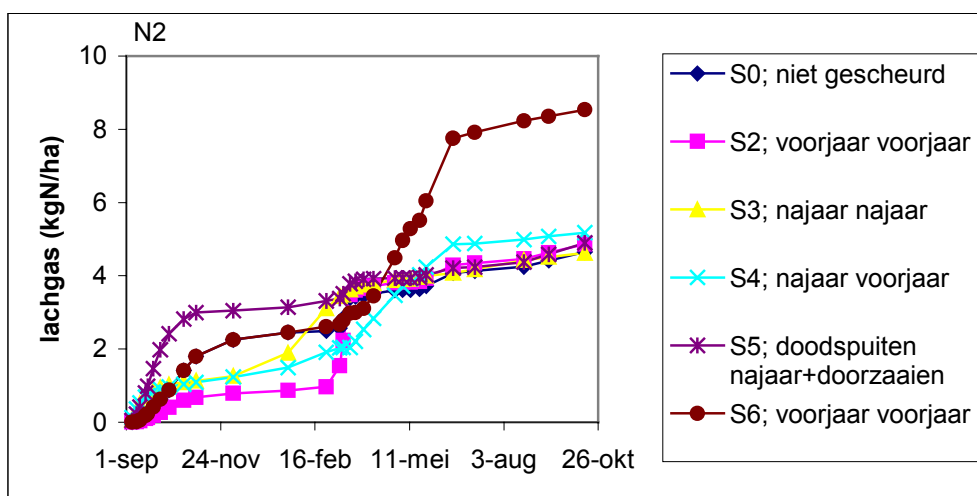
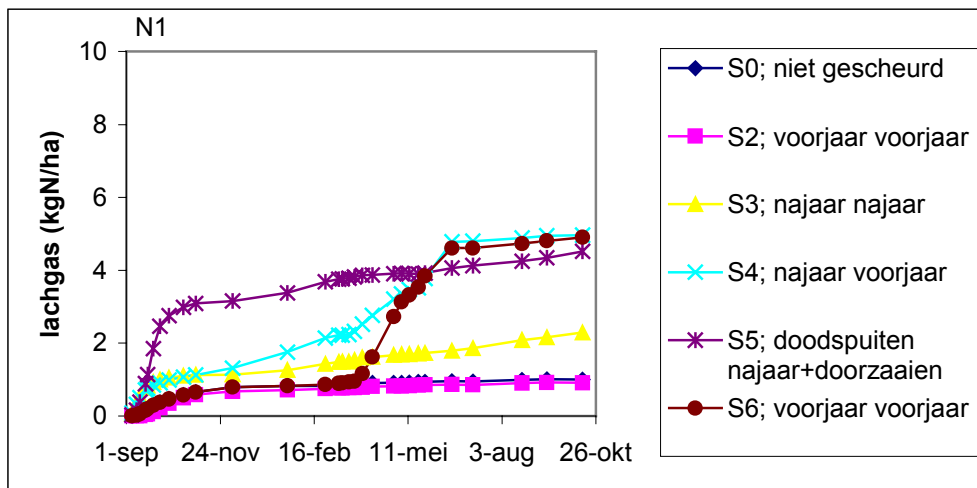
4.3 Droge zandgrond (Cranendonck)



Figuur 6. Cumulatieve lachgasemissie Cranendonck (droge zandgrond) geordend naar hoofdbehandeling (wijze van graslandvernieuwing).

4.3.1 Algemene patronen

De metingen werden gestart in september 2002 en liepen tot september 2003 (Fig. 6 en Fig. 7). Op veldjes waar de grasmat niet vernieuwd was (S0) varieerde de lachgasemissie afhankelijk van het niveau van bemesting tussen de 1 en 6 kg N/ha. Het effect van het bemestingsniveau was in S0 duidelijk waarneembaar en conform de verwachting dat de emissie toeneemt bij toenemende N-gift. De emissie lag stil in de winterperiode (december – maart). Eind maart, net na de bemesting, was er gedurende een korte periode een duidelijk verhoogde emissie. Het emissiepatroon voor de veldjes die in het voorjaar voorafgaande aan de meetperiode gescheurd en heringezaaid waren (S2) was vrijwel identiek aan dat van S0.



Figuur 7. Cumulatieve lachgasemissie Cranendonck (droge zandgrond) geordend naar nevenbehandeling (bemestingsniveau).

De emissies uit de veldjes die in het najaar van 2002 omgeploegd of doodgespoten waren (S3-S5) lagen veelal onder die van de S0. Scheuren in de nazomer in combinatie met herinzaai (S3) leidde niet tot extra emissie in het najaar, hetgeen wel het geval was bij doodspuiten in de nazomer in combinatie met doorzaaien in de nazomer (S5). In dit laatste geval was er evenals in S4 geen invloed van de grootte van de N-gift. Dat heeft tot gevolg dat deze wijze van graslandvernieuwing leidt tot een extra emissie van lachgas indien vergeleken wordt met de onbemeste controle uit S0, terwijl er geen extra emissie is in vergelijking met de bemeste controles uit S0. Voor S4 (scheuren in de nazomer in combinatie met herinzaai in het voorjaar) werd gevonden dat er in de nazomer geen of nauwelijks extra emissie plaats vindt, maar dat deze emissie wel gestaag doorloopt in de winter. De hoogste emissies worden gevonden bij scheuren in het voorjaar in combinatie met herinzaai in het voorjaar.

4.3.2 Invloed van het bemestingsniveau

N1: geen bemesting

Bij behandeling N1 zonder bemesting is de laagste emissie (na de onbehandelde controle waarin geen graslandvernieuwing plaats vond) in S3 gevonden, d.w.z. bij scheuren en herinzaai in de nazomer. De extra lachgasemissie bedroeg in dit geval 1 kg N/ha. In de andere gevallen bedroeg de extra emissie 3 tot 4 kg N/ha.

N2: 150 kg N/ha

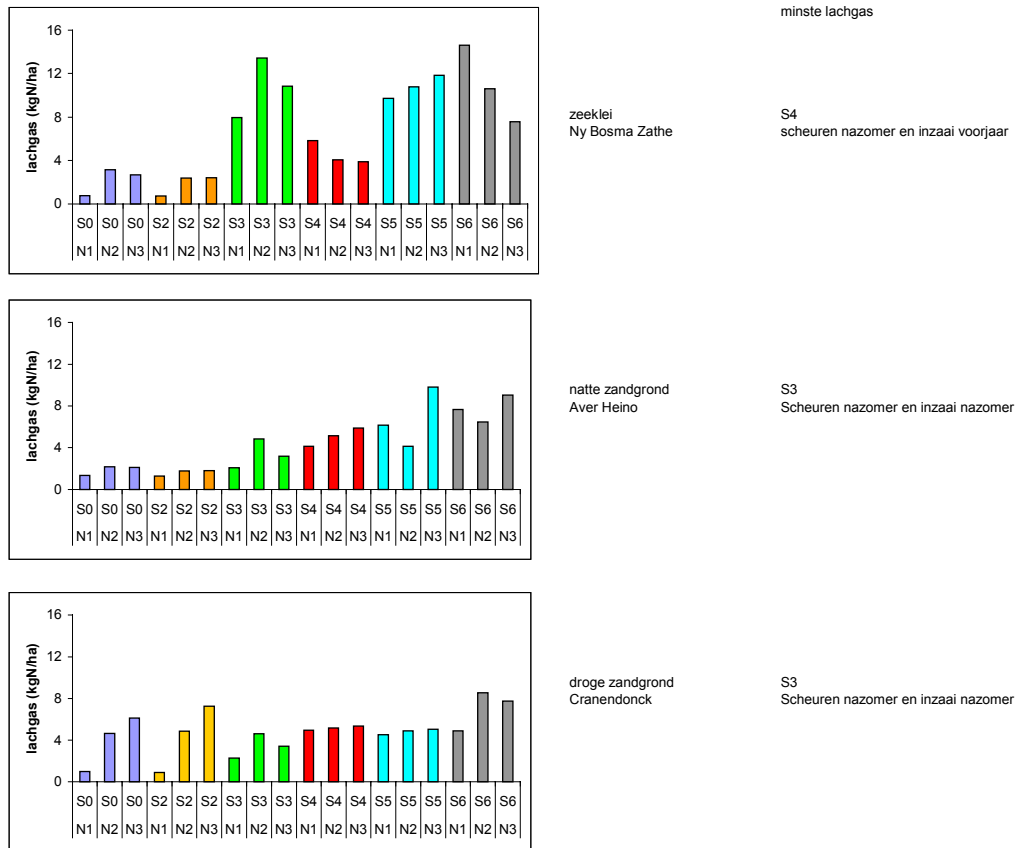
Bij behandeling N2 was de emissie vanuit S0 op 4,7 kg N/ha. Bij dit bemestingsniveau leidde alleen behandeling S6 (scheuren plus herinzaaien in het voorjaar) tot een hogere emissie (8,5 kg N/ha). De andere behandelingen leidden niet tot extra emissie, of zelfs tot een lagere emissie dan de S0.

N3: 300 kg N/ha

Hier was in veel gevallen de emissie lager dan in de niet gescheurde veldjes. Wederom was scheuren in het voorjaar de enige behandeling die extra emissie genereerde tijdens de meetperiode. Opmerkelijk is dat ook in S2 er weer een extra emissie plaats vindt in het volgend voorjaar.

5 Waarnemingen per grondsoort

In figuur 8 en 9 wordt een overzicht gegeven van de cumulatieve lachgasemissie op de verschillende locaties als functie van de wijze van graslandvernieuwing en bemestingsniveau. Tabellen 6, 7 en 8 geven de netto laagste en hoogste emissies per bemestingsniveau voor respectievelijk Nij Bosma Zathe, Aver Heino, en Cranendonck.



Figuur 8. Invloed van graslandvernieuwing op de emissie van lachgas cumulatief over een jaar geordend naar hoofdbehandeling (wijze van graslandvernieuwing) op (A) klei, (B) natte zandgrond, en (C) droge zandgrond.

5.1 Klei (Nij Bosma Zathe)

S0

- De lachgasemissie op niet gescheurd en onbemest grasland bedraagt 0,8 kg N/ha.
- Bemesting met 150 en 300 kg N/ha leidt tot een emissie van respectievelijk 3,2 en 2,7 kg N/ha. De emissie neemt dus niet toe met toenemende N-gift.
- De emissie in het niet bemeste veld ligt stil vanaf december, en komt het volgend voorjaar niet meer op gang.

- Op de bemeste veldjes neemt de emissiesnelheid in de winter af tot een constant niveau van ~0,1 kg N/ha/maand, om in het volgend voorjaar weer fors op te lopen.

S2

- De emissie vanuit de veldjes die in het voorjaar gescheurd waren ligt na september lager dan vanuit de niet gescheurde veldjes. Deze emissie loopt het volgend voorjaar niet op, ook niet na de voorjaarsmestgift, ofschoon de emissies in de niet gescheurde controles toen wel opliepen.

S3

- Scheuren en herinzaai in de nazomer leidt tot forse lachgasemissies van 8 kg N/ha in de onbemeste variant tot 11 en 13 kg N/ha in de varianten waarin respectievelijk 300 en 150 kg N/ha KAS was toegediend.
- De emissie neemt niet toe met toenemende mestgift.
- De meeste emissie heeft plaats in de nazomer, d.w.z. in de periode onmiddellijk na het scheuren. De emissie is aanzienlijk over een periode van enige maanden.

S4

- De emissie vanuit veldjes die in de nazomer gescheurd en in het volgend voorjaar opnieuw ingezaaid waren bedroeg 4 tot 6 kg N/ha.
- De emissie kwam pas op gang in het voorjaar.

S5

- De emissies vanuit veldjes die in de nazomer doodgespoten en doorgezaaid waren kwam onmiddellijk op gang, en liep binnen enige maanden op tot 9 à 11 kg N/ha.
- In het volgend voorjaar werd geen noemenswaardige emissie waargenomen, ook niet uit de veldjes die toen bemest werden.

S6

- De emissie vanuit de veldjes die in het voorjaar gescheurd en opnieuw ingezaaid werden bedroeg 8 tot 15 kg N/ha.
- Deze emissie kwam vrijwel onmiddellijk na het scheuren op gang.
- Het hoogste bemestingsniveau leidde niet tot de hoogste emissie; integendeel.

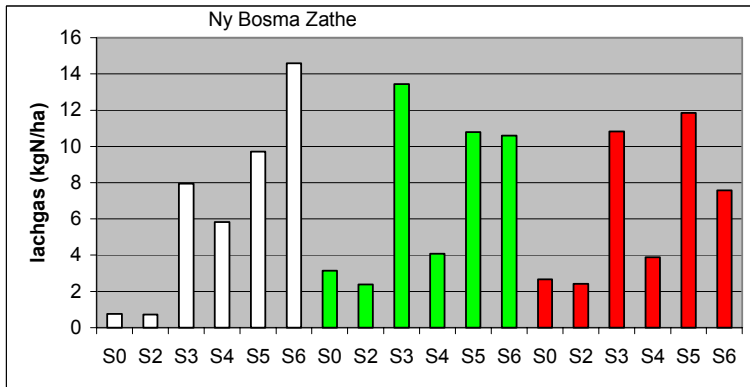
Tabel 7 Effect van graslandvernieuwing op de netto lachgasemissie vanuit klei op Nij Bosma Zathe voor de laagste en de hoogste emissie per bemestingsniveau.

		kg N/ha		
		behandeld	onbehandeld*	toename
De laagste emissie per bemestingsniveau				
N1	S4; najaar-voorjaar	5,8	0,8	4,0
N2	S4; najaar-voorjaar	4,1	3,2	0,9
N3	S4; najaar-voorjaar	3,9	2,7	1,2
De hoogste emissie per bemestingsniveau				
N1	S6; voorjaar-voorjaar	14,6	0,8	13,8
N2	S3; najaar-najaar	13,4	3,2	10,3
N3	S5; doodspuiten+doorzaaien najaar	11,8	2,7	9,2

*: S0

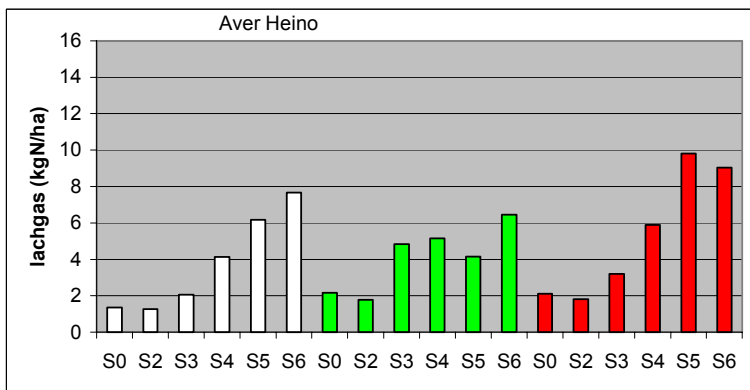
Conclusie

Op klei geeft behandeling S4 de laagste emissie. Bemesting met stikstof direct na inzaaien leidt bij deze behandeling niet tot extra uitstoot van lachgas.



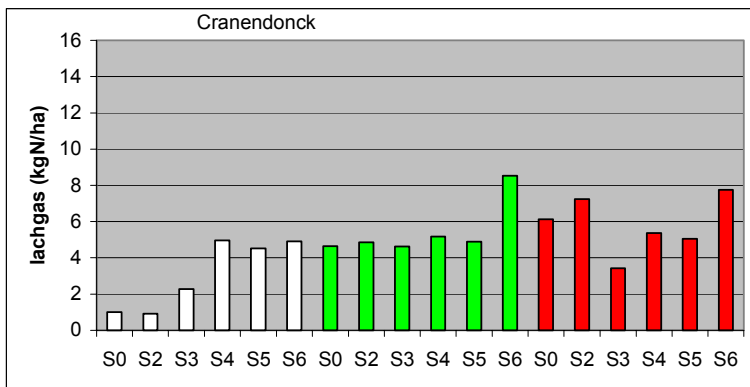
	laagste	hoogste
N1	S4	S6
N2	S4	S3
N3	S4	S5

conclusie: S4 toepassen



	laagste	hoogste
N1	S3	S6
N2	S5	S6
N3	S3	S5

conclusie: S3 toepassen



	laagste	hoogste
N1	S3	S5
N2	S3	S6
N3	S3	S6

conclusie: S3 toepassen

N1	wit	links
N2	groen	midden
N3	rood	rechts

Figuur 9. Invloed van de stikstofgift op de emissie van lachgas bij verschillende manieren van graslandvernieuwing op (A) klei, (B) natte zandgrond, en (C) droge zandgrond.

5.2 Natte zandgrond (Aver Heino)

S0

- De lachgasemissie op niet gescheurd en onbemest grasland bedraagt 1,4 kg N/ha.
- Bemesting met 150 en 300 kg N/ha leidt tot een emissie van 2,1 kg N/ha. De emissie neemt dus niet toe met toenemende N-gift.
- De emissie in het niet bemeste veld ligt niet stil vanaf december, maar gaat in de winter gewoon door. In het vroege voorjaar ligt de emissie wel vrijwel stil.
- Op de bemeste veldjes is de emissie aanvankelijk gelijk aan die van de niet bemeste veldjes, maar in het voorjaar van 2003, na de bemesting loopt de emissie sneller op dan in de niet bemeste veldjes.
- De emissie ligt bij de bemesting met 300 kg N/ha een fractie boven die bij bemesting met 150 kg N/ha.

S2

- De emissie vanuit de veldjes die in het voorjaar gescheurd waren is na september niet te onderscheiden van die van de S0 veldjes.

S3

- Scheuren en herinzaai in de nazomer leidt tot relatief geringe lachgasemissies van 2 kg N/ha in de onbemeste variant tot 3,2 en 4,8 kg N/ha in de varianten waarin respectievelijk 300 en 150 kg N/ha KAS was toegediend.
- De emissie neemt niet toe met toenemende mestgift.
- De meeste emissie heeft plaats in september en oktober, d.w.z. in de periode onmiddellijk na het scheuren.

S4

- De emissie vanuit veldjes die in de nazomer gescheurd en in het volgend voorjaar opnieuw ingezaaid waren bedroeg 4 tot 6 kg N/ha.
- De emissie kwam pas op gang in het voorjaar.
- De emissies waren aanvankelijk iets lager dan in S3, maar liepen vanaf mei 2003 snel op om op (N2) of boven het niveau van S3 uit te komen.
- Het effect van de grootte van de mestgift werd weerspiegeld in de grootte van de lachgasemissie.

S5

- De emissie vanuit veldjes die in de nazomer doodgespoten en doorgezaaid waren kwam onmiddellijk op gang, en liep binnen enige maanden op tot 4 à 10 kg N/ha.
- In het volgend voorjaar werd aanvankelijk geen noemenswaardige emissie waargenomen, maar na bemesting vond er een geringe extra emissie plaats uit de veldjes die toen bemest werden.

S6

- De emissie vanuit de veldjes die in het voorjaar gescheurd en opnieuw ingezaaid werden bedroeg 6 à 9 kg N/ha.
- Deze emissie kwam vrijwel onmiddellijk na het scheuren op gang.
- Het hoogste bemestingsniveau leidde tot de hoogste emissie, maar de emissie bij de gift van 150 kg N/ha lag onder die van het veldje dat niet bemest was.

Tabel 8. Effect van graslandvernieuwing op de netto lachgasemissie vanuit een natte zandgrond op Aver Heino voor de laagste en de hoogste emissie per bemestingsniveau.

		kg N/ha		
		behandeld	onbehandeld*	toename
De laagste emissie per bemestingsniveau				
N1	S3; najaar-najaar	2,0	1,4	0,6
N2	S5; doodspuiten+doorzaaien najaar	4,1	2,2	1,9
N3	S3; najaar-najaar	3,2	2,1	1,1
De hoogste emissie per bemestingsniveau				
N1	S6; voorjaar-voorjaar	7,7	1,4	6,3
N2	S6; voorjaar-voorjaar	6,5	2,2	4,3
N3	S5; doodspuiten+doorzaaien najaar	9,8	2,1	7,7

*: S0

Conclusie

Op natte zandgrond verdient behandeling S3 de voorkeur. Bemesting met stikstof leidt bij deze behandeling tot een geringe extra uitstoot van lachgas van 1 à 2 kg N/ha.

5.3 Droge zandgrond (Cranendonck)

S0

- De lachgasemissie op niet gescheurd en onbemest grasland bedraagt 1 kg N/ha.
- Bemesting met 150 en 300 kg N/ha leidt tot een emissie van respectievelijk 4,7 en 6,1 kg N/ha. De emissie neemt dus toe met toenemende N-gift.
- De emissie in het niet bemeste veld ligt stil vanaf december, en is ook het volgend jaar in wezen nul.
- Op de bemeste veldjes ligt de emissie voortdurend hoger dan op de onbemeste veldjes.
- De emissie ligt bij de bemesting met 300 kg N/ha een fractie boven die bij bemesting met 150 kg N/ha.

S2

- De emissie vanuit de veldjes die in het voorjaar gescheurd waren is na september nauwelijks te onderscheiden van die van de S0 veldjes.
- De niet bemeste veldjes zijn identiek. De bemeste behandelingen zijn aanvankelijk wat lager dan die van de S0 veldjes, maar komen het volgend voorjaar iets eerder op gang en eindigen uiteindelijk duidelijk hoger op respectievelijk 4,9 en 7,2 kg N/ha.

S3

- Scheuren en herinzaai in de nazomer leidt tot relatief geringe lachgasemissies van 2,3 kg N/ha in de onbemeste variant tot 3,4 en 4,6 kg N/ha in de varianten waarin respectievelijk 300 en 150 kg N/ha KAS was toegediend.
- De emissie neemt niet toe met toenemende mestgift.
- De meeste emissie heeft plaats aan het eind (N2) of na (N3) de winter, dit in afwijking van het patroon op klei en natte zandgrond.

S4

- De emissie vanuit veldjes die in de nazomer gescheurd en in het volgend voorjaar opnieuw ingezaaid waren bedroeg ~5 kg N/ha.
- De eerste kg N/ha kwam vrij snel vrij in september 2002; daarna was de snelheid steady op ongeveer 0,2 kg N/ha.maand tot begin april. Daarna nam de snelheid iets toe tot ongeveer waarbij de snelheid het hoogst was in de veldjes die de hoogste mestgift ontvangen hadden.

S5

- De emissie vanuit veldjes die in de nazomer doodgespoten en doorgezaaid waren kwam onmiddellijk op gang, en liep binnen twee maanden op tot 3 kg N/ha.
- Gedurende de winter lag de emissie vrijwel stil; na februari begon de emissie in het onbemeste veldje langzaam op te lopen. In de bemeste veldjes gebeurde dat pas na de voorjaarsmestgift.

S6

- De emissie vanuit de veldjes die in het voorjaar gescheurd en opnieuw ingezaaid werden bedroeg 5 tot 9 kg N/ha.
- De snelheden waren gelijk voor de drie bemestingsniveaus.
- Het uiteindelijke verschillen zijn geheel toe te schrijven aan het verschil in emissie voor het scheuren!

Tabel 9. Effect van graslandvernieuwing op de netto lachgasemissie vanuit een droge zandgrond op Cranendonck voor de laagste en de hoogste emissie per bemestingsniveau.

		kg N/ha		
		behandeld	onbehandeld*	toename
De laagste emissie per bemestingsniveau				
N1	S3; najaar-najaar	2,3	1,0	1,3
N2	onbeslist	4,6	4,6	0,0
N3	S3; najaar-najaar	3,4	6,1	-2,7
De hoogste emissie per bemestingsniveau				
N1	S6; voorjaar-voorjaar	4,9	1,0	3,9
N2	S6; voorjaar-voorjaar	8,5	4,6	3,9
N3	S6; voorjaar-voorjaar	7,8	6,1	1,7

*: S0

Conclusie

Op droge zandgrond verdient behandeling S3 de voorkeur. Bemesting met stikstof leidt bij deze behandeling niet tot extra uitstoot van lachgas.

6 Discussie

6.1 Generalisering

Het blijkt moeilijk algemeen geldende conclusies te trekken uit de gepresenteerde waarnemingen, d.w.z. conclusies die voor alle drie de gronden en voor alle drie de bemestingsniveaus gelden. De redenen hiervoor zijn divers. Allereerst zijn de waargenomen emissiepatronen en hun onderlinge verhoudingen verschillend voor de drie verschillende percelen (grondsoorten). Daarnaast is de respons op de stikstofgift niet altijd hetzelfde. En tenslotte zijn de effecten van graslandvernieuwing nog niet in alle gevallen uitgewerkt, d.w.z. dat de snelheid waarmee momenteel lachgas geëmitteerd wordt ligt in een aantal gevallen nog altijd hoger dan in de niet vernieuwde controles. Wat echter wel eenduidig is dat het scheuren van grasland altijd tot een extra emissie van lachgas leidt, en dat deze extra emissie alleen meetbaar is in het eerste jaar na de behandeling.

De voorlopige conclusies zijn dat op Nij Bosma Zathe (zeeklei) de minste lachgas wordt gegenereerd door (te) scheuren in de nazomer gevolgd door herinzaai in het volgend voorjaar (S4). Op Aver Heino en Cranendonck (zand) gaf scheuren en herinzaai in de nazomer in vijf van de zes gevallen de minste emissie. Deze conclusies doen vermoeden dat vanuit lachgastechisch perspectief aanbevolen zou moeten worden om op klei te scheuren in de nazomer in combinatie met herinzaai in het voorjaar, maar dat op zand het uit lachgastechisch oogpunt het beste is om scheuren in de nazomer te combineren met herinzaai in de nazomer. Op klei leidde deze combinatie met name in combinatie een N-gift van 150 tot 300 kg N/ha juist tot relatief hoge emissies.

Het is opmerkelijk dat in vier van de negen gevallen scheuren en herinzaai in het voorjaar leidde tot de hoogste emissies gevolgd door scheuren in de nazomer in combinatie met doorzaai in de nazomer (drie maal). Verder waren S2 en S3 elk een maal de hoogste: S3 op klei bij de laagst bemeste variant en S2 op droge zandgrond bij de hoogst bemeste variant. De hoogste waarde van S3 op klei bij de laagst bemeste variant spoort met de waarneming dat ook bij de beide andere bemestingsniveaus deze variant aanleiding gaf tot een relatief hoge emissie. Op klei verdient S4 dus duidelijk de voorkeur. De hoge waarde van S2 op droge zandgrond van Cranendonck is een uitbijter. De totale emissie is aanzienlijk hoger dan die van S0 en dat is de enige keer dat dit gevonden is.

De hierboven geformuleerde conclusies worden onder het nodige voorbehoud gepresenteerd, omdat alleen gekeken naar de emissie van lachgas. Er is geen rekening gehouden met de stikstofverliezen in de bodem die potentieel verloren gaan door uitspoeling. Om het risico op uitspoeling te minimaliseren is het waarschijnlijk het beste om de behandeling S6 toe te passen. Als dat zo is is er een tegenstrijdigheid in de aanbevelingen vanuit lachgasemissie perspectief en N-uitspoeling perspectief.

Voorlopige resultaten laten geen ophoping van N_{min} in het najaar zien bij scheuren in het voorjaar in tegenstelling tot scheuren in het najaar (Hoving, 2003).

Traditioneel wordt vanuit landbouwkundig oogpunt de voorkeur gegeven aan najaarsinzaai. Voor een evaluatie van het effect van de wijze van graslandvernieuwing op de emissie van lachgas zijn ook de gegevens over uitspoeling uiterst relevant omdat een deel van de uitgespoelde stikstof uiteindelijk geëmitteerd zal worden als lachgas.

De extra emissie van graslandvernieuwing zoals hier gemeten varieerde tussen de -3 en de 11 kg N/ha. Als we ervan uitgaan dat de -3 waarde een fluke was, loopt de range van 0 tot 11 kg N/ha. Wanneer erop gemikt wordt de emissie zo laag mogelijk te houden is het mogelijk grasland te vernieuwen zonder dat dit leidt tot hoge emissies: toename van de emissie zal beperkt blijven tot ongeveer 0,5 kg N/ha op klei en 0 tot 1 kg N/ha op zand. Als echter, bijvoorbeeld om landbouwkundige redenen, de variant met de hoogste emissie gekozen wordt, kunnen de emissies oplopen tot 9 kg N/ha op klei en 2 tot 7 kg N/ha op zand, waarbij de extra emissie op natte zandgrond duidelijk hoger lag dan op droge zandgrond.

Bij al deze conclusies moet aangetekend worden dat dit conclusies zijn gebaseerd op één locatie en op één jaar. Het voorjaar van 2003 was vrij nat, terwijl de zomer extreem droog was.

De waarneming dat de lachgasemissie niet consistent toeneemt met toenemende mestgift is verrassend en vooralsnog moeilijk te verklaren. Het feit dat herinzaai in de nazomer veelal leidt tot een sterke verhoging van de lachgasemissie wordt mogelijk veroorzaakt door een stimulering van de lachgasemissie door extra koolstof die zo als gevolg van de groei van het verse gras in de bodem komt en zo de lachgasemissie vanuit de bij de mineralisatie van de dode zode vrijkomende stikstof stimuleert. De nitraatstikstof die daarbij als substraat dient zou dan afkomstig moeten zijn uit de mineralisatie van de gescheurde grasmat. Dat lijkt minder waarschijnlijk dan een alternatieve verklaring waarbij de lachgasemissie in de nazomer veroorzaakt wordt door nitrificerende bacteriën die door het vrijkomen van minerale N uit het ondergeploegde gras ruimschoots de beschikking hebben over ammonium, maar die gebrek hebben aan zuurstof, zeker als er ook nog nieuw gras gaat groeien dat afbreekbaar organisch materiaal uitscheidt en zo het zuurstofgehalte verlaagt.

6.2 Statistiek

Voor de statistische verwerking wordt verwezen naar bijlage 2. In de analyse wordt zowel het effect van de hoofdbehandeling (de wijze van graslandvernieuwing) als de nevenbehandeling (niveau van N-bemesting), alsmede de interactie tussen beide geanalyseerd.

7 Toetsing en analyse van de hypothesen

Scheuren van grasland stimuleert de emissie van lachgas

Op klei en op natte zandgrond ging deze hypothese op bij alle drie de bemestingsniveaus; op droge zandgrond ging deze hypothese niet altijd op. Het is verrassend dat deze hypothese niet altijd op ging. Het blijkt mogelijk grasland te vernieuwen zonder dat dit leidt tot de emissie van extra lachgas. Deze mogelijkheid bestaat in deze serie waarnemingen in 2002 op droge zandgrond door in de nazomer te scheuren en opnieuw in te zaaien.

Uitstel van herinzaai leidt tot extra emissie (S4 hoger dan S3)

Op de zandgrond van Aver Heino en Cranendonck was de emissie van S4 inderdaad hoger dan die van S3. Op de kleigrond van Nij Bosma Zathe was de emissie in S4 lager dan die van S3. De hypothese wordt onderschreven door de waarneming op zand maar niet onderschreven door de waarneming op klei.

Scheuren en herinzaai in het voorjaar leidt tot minder emissie dan scheuren en herinzaai in het najaar (S6 lager dan S3)

Op Nij Bosma Zathe gaat de hypothese op voor de bemeste velden maar niet voor het onbemeste veld. Op de zandgronden van Cranendonck en Aver Heino gaat de hypothese niet op.

Doodspuiten van de zode leidt tot de hoogste emissie, ook als dit doodspuiten wordt gecombineerd met doorzaai. (S5 de hoogste emissie)

Deze hypothese gaat in slechts 2 van de 9 situatie op.

Toevoegen van extra kunstmest bij herinzaaien zal de lachgasemissie bevorderen

Deze hypothese werd vaker gefalsificeerd dan bevestigd:

7.1 Discussie over hypothesen

De geringe mate waarin de hypothesen standhielden roept vragen op over ons begrip van deze materie. Dat is een flinke tegenvaller omdat we meenden de processen kwalitatief goed te begrijpen. De verwachting was dat de grote leemtes liggen op kwantitatief gebied. Het is dan ook verleidelijk de verklaring van ons falen daar te zoeken: de hoeveelheid C en N die vrijkomt bij mineralisatie van de zode is gering ten opzichte van de hoeveelheid die normaal al omgezet wordt door de bodem. In het najaar sterft sowieso al een deel van de biomassa af. Ook speelt de structuur van de bodem een rol. Het is bekend dat het vochtgehalte een belangrijke stuurvariabele is voor de emissie van lachgas. Het lijkt aannemelijk dat het vochtgehalte ook in deze serie experimenten een deel van de waarnemingen kan verklaren: op klei en op de natte zandgrond leidt graslandvernieuwing wel tot extra emissie van lachgas, op de droge zandgrond niet, mogelijk omdat op droge zandgrond de zuurstofvoorziening

goed is en er dus weinig of geen denitrificatie optreedt. Op de droge zandgrond is stikstof beperkend voor de lachgasemissie. Dit is de enige van de drie gronden waar de toename in de emissie van lachgas evenredig was met de hoeveelheid stikstof die toegevoegd werd aan de ongescheurde grond.

7.2 Vergelijking met de inschattingen uit de systeemanalyse

In de systeemanalyse wordt ervan uitgegaan dat afhankelijk van het tijdstip van inzaai 100 tot 300 kg N per ha verloren gaat. Deze stikstof komt in de bodem beschikbaar als nitraat en spoelt gedeeltelijk uit. De lachgasemissie bedraagt daarbij afhankelijk van het tijdstip van herinzaai en gebruikte emissiefactoren 3 tot 11.25 kg N/ha, hetgeen correspondeert met 1500 tot 5500 kg CO₂ equivalenten per ha.

Het grootste deel van de graslandverbetering vindt plaats in het najaar. De nationale Nederlandse emissie zou dan dichterbij de 0,3 Mton CO₂ equivalenten liggen dan bij de 0,1 Mton CO₂ equivalenten.

Binnen dit project is uitsluitend gekeken naar de directe emissie van lachgas ten gevolge van het graslandverbetering. De waarnemingen komen goed overeen met de waarden die in de systeemanalyse geschat zijn. In de systeemanalyse wordt ermee gerekend dat 2/3 tot 5/6 deel van de totale emissie veroorzaakt wordt door indirecte emissies. Dit zijn emissies die optreden na en als gevolg van uitspoeling van nitraat. Het is dus zaak informatie over de invloed van de wijze van graslandvernieuwing op de uitspoeling van nitraat mee te nemen in een uiteindelijke evaluatie van het effect van de wijze van graslandvernieuwing op de emissie van lachgas (zie Velthof et al., 2004, in voorbereiding).

8 Conclusies

Jaarlijks wordt in Nederland ongeveer 10% van alle grasland gescheurd en opnieuw ingezaaid met gras of met andere gewassen. Als gevolg hiervan komen relatief grote hoeveelheden stikstof vrij waarvan maar een deel wordt opgenomen door het gewas en een deel verloren gaat via de-nitrificatie naar lucht of via uitspoeling naar water. Verliezen in de vorm van lachgas zijn vanuit milieutechnisch oogpunt ongewenst. In dit rapport worden waarnemingen gepresenteerd aan de emissies van lachgas als gevolg van graslandvernieuwing. In dezelfde proeven zijn waarnemingen verricht aan uitspoeling van nitraat (Velthof et al., 2004, in voorbereiding).

Het scheuren van grasland leidt tot een emissie van lachgas die altijd hoger is dan bij achterwege laten van scheuren. De vorming van lachgas is een belangrijke indicator dat ook de-nitrificatie plaatsvindt en zo stikstof verloren gaat als N_2 naar de atmosfeer. De beste wijze van graslandvernieuwing varieert van locatie tot locatie en grondsoort tot grondsoort.

Het advies om tot scheuren in het voorjaar over te gaan om zo de vrijkomende stikstof zo veel mogelijk te benutten voor het volggewas blijkt niet zonder meer te leiden tot een vermindering van de emissie van N_2O . Op zandgrond worden bij scheuren en inzaaien in het voorjaar 2003 aanmerkelijk hogere emissies gemeten dan bij scheuren en inzaaien in het najaar 2002. Het verlies van N als lachgas bij scheuren in het najaar was relatief beperkt ten opzichte van niet scheuren. Op kleigrond werden zowel in het voorjaar als in het najaar hoge emissies van lachgas gemeten. Op Nij Bosma Zathe (zeeklei) werd de laagste emissie van lachgas gegenereerd door te scheuren in de nazomer gevolgd door herinzaai in het volgend voorjaar. Echter, hoe gunstig ogenschijnlijk ook, dit voordeel moet worden afgewogen het nadeel van de te verwachten hogere N-uitspoeling in najaar en winter. Uitstel van inzaaien tot voorjaar op zandgronden brengt extra risico op verlies als nitraat met zich mee. Doorzaaien in het najaar na doodspuiten van het gras geeft op alle drie de gronden een hoger verlies dan scheuren en inzaaien in het najaar. Het effect van N-bemesting op de emissie van N_2O was relatief gering.

Het is van groot belang om bij deze conclusies aan te tekenen dat ze zijn gebaseerd op telkens één locatie en op één weerjaar met een voor- en najaar met eigen specifieke combinatie van temperatuur, regen en bodemvochtigheid. Uit gepubliceerde gegevens en uit ervaring is bekend dat de emissies van jaar tot jaar sterke variaties vertonen in reactie op patronen van weer en neerslag, bodemvocht en bemesting.

De resultaten worden ingebouwd in de herinzaaiwijzer van Animal Sciences Group van Wageningen UR.

(<http://www.pv.wur.nl/index.asp?producten/software/websoftware/herinzaaiwijzer/index.asp>).

Op deze wijze komen agrarische ondernemers bij keuzes over graslandmanagement en herinzaai in aanraking met goede landbouwpraktijken en emissie van broeikasgassen.

Deze conclusies zijn:

- Scheuren van grasland leidt tot emissie van lachgas in de orde van 0 – 9 kg N per ha per jaar op zand en 14 kg N per ha per jaar op klei;
- De emissie op nat zand is duidelijk hoger dan de emissie op droog zand;
- Het is mogelijk om een variant te kiezen met een relatief lage emissie van lachgas;
- Afzien van scheuren is de beste optie om de emissie van lachgas te verlagen; minder frequent scheuren respectievelijk uitstellen van scheuren de op een na beste optie met dien verstande dat er door voortgaande ophoping van stikstof in de zode een groter risico op verlies kan ontstaan en de keuze van methode en tijdstip van scheuren des te belangrijker wordt; de emissie kan zo worden teruggebracht tot 0 – 1 kg N per ha per jaar
- Doorzaaien na doodspuiten van de zode leidt tot hogere verliezen dan door scheuren en herinzaai in het najaar
- Scheuren en herinzaaien van grasland in voorjaar in plaats van najaar leidt op zand tot een hogere emissie van lachgas in tegenstelling tot de verwachting; er is wel een risico op uitspoeling bij scheuren in het najaar;
- Scheuren in de nazomer (augustus) direct gevolgd door herinzaai leidt op alle percelen tot de laatste emissies van lachgas en verdient in dat opzicht de voorkeur

Aan alle emissie en verliezen kan een prijs worden gekoppeld. Deze prijs is niet altijd een reële prijs omdat er bijvoorbeeld geen koper is of geen belasting wordt geheven. Een emissie van 14 kg N in de vorm van N_2O bedraagt 22 kg N_2O en 6820 kg CO_2 equivalenten; iedere kg N levert bijna 500 kg CO_2 equivalenten. De prijs op de markt voor 1000 kg CO_2 equivalenten (die ook Nederland nu betaalt) is ongeveer € 5.00 en zal naar verwachting alleen maar (snel) oplopen. Indien er lachgas wordt gevormd is het zeer waarschijnlijk dat er ook en veel meer (20 – 100 maal) elementair stikstof (N_2O) wordt gevormd. Dit verlies is verloren stikstofleverend vermogen van de bodem en zal op termijn via bemesting weer moeten worden aangevuld.

Literatuur

- CBS, 2003. StatLine, the central database of Statistics Netherlands at internet statline.cbs.nl. Centraal Bureau voor de Statistiek. Voorburg/Heerlen.
- Cuttle, S.P., James, A.R., 1995. Leaching of lime and fertilizers from a reseeded upland pasture on a stagnogley soil in mid-Wales. *Agricultural Water Management* 28: 95-112.
- Ernst, P. & C. Berendonk, 1990. Nitratverlagerung unter Grünland in Abhängigkeit von Düngung, Nutzungsart und Umbruch. *Gebundelde verslagen van de Nederlandse Vereniging voor Weide- en Voederbouw* 31: 102-113.
- Hassink, J., 1996. Voorspellen van het stikstofleverend vermogen van graslandgronden. In: J.W.G.M. Loonen & W.E.M. Bach-de Wit (eds.). *Stikstof in beeld. Rapport Financieringsoverleg Mest en Ammoniakonderzoek nr. 20*.
- Schils R.L.M., H.F.M. Aarts, D.W. Bussink, J.G. Conijn, W.J. Corre, A.M. van Dam, I.E. Hoving, H.G. van der Meer & G. Velthof, 2002. Grassland renovation in the Netherlands; agronomic, environmental and economic issues Conijn J.G., Velthof G. and Taube F. (Eds.) *Grassland resowing and grass-arable crop rotations*. Wageningen, 18-19 April, Plant Research International, pp. 9-24.
- Hoving, I.E., H.C. de Boer & G. Velthof, 2003. Voorjaarsinzaai pakt goed uit in 2002. *Praktijkkompas Rundvee*, oktober 2003: 24-25. Lelystad, Praktijkonderzoek-ASG
- Kasper, G.J., A. van den Pol-van Dasselaar, P.J. Kuikman & J. Dolfing, 2002. Beperking van lachgasemissie na scheuren en bij vernieuwing van grasland. *Eindrapport Reductieplan Overige Broeikasgassen Landbouw cluster 1*. Alterra-rapport 560.5
- Roberts, A.M., J.A. Hudson & G. Roberts, 1989. A comparison of nutrient losses following grassland improvement using two different techniques in an upland area of mid-Wales. *Soil Use and Management* 5: 174-179.
- Schils, R.L.M., T. Baars & P.J.M. Snijders, 1997. Witte klaver in grasland. Teelt, gebruik en bedrijfsvoering. *Themaboek Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden*, Lelystad.
- Shepherd, M.A., D.J. Hatch, S.C. Jarvis & A. Bhogal, 2001. Nitrate leaching from reseeded pasture. *Soil Use and Management* 17: 97-105

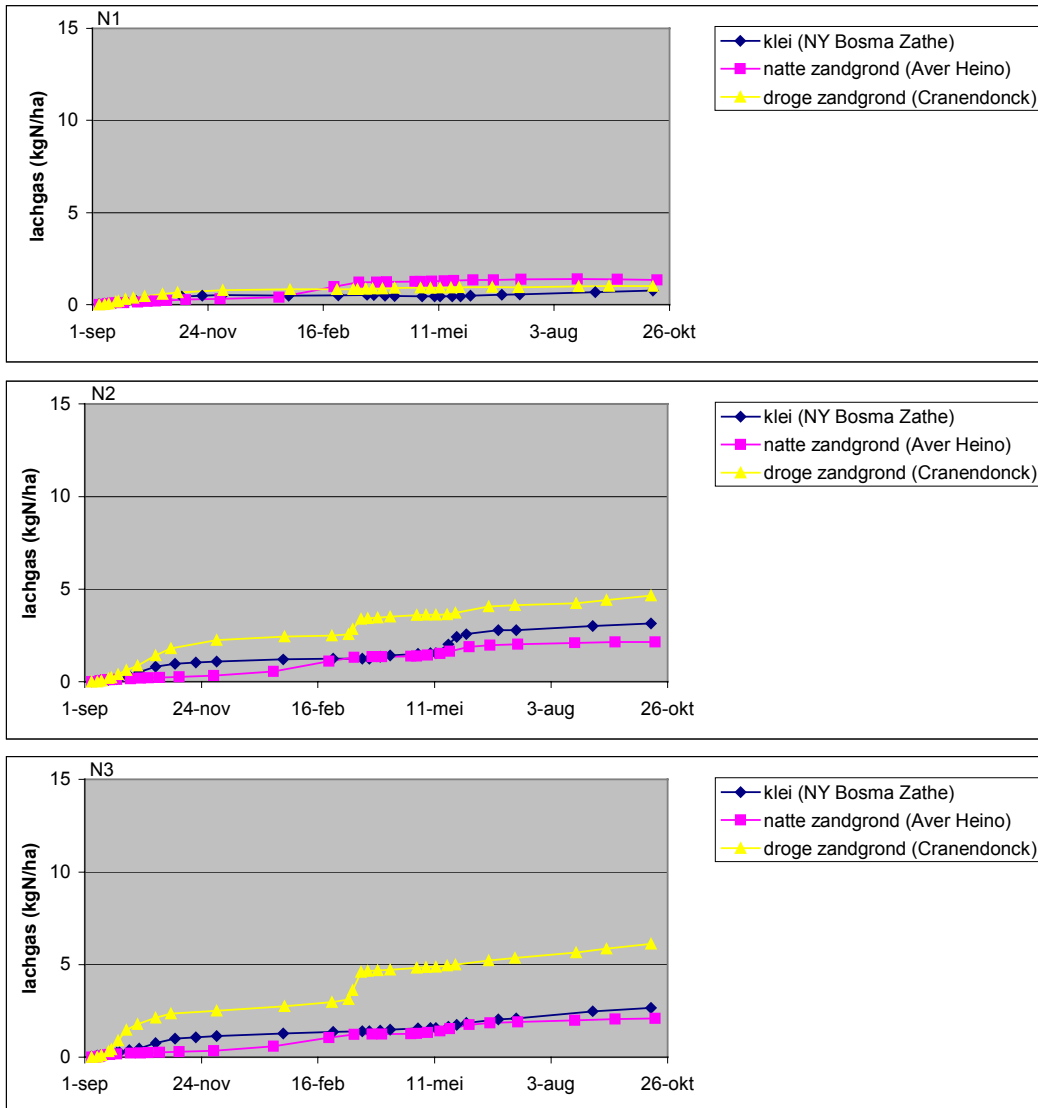
Vellinga, T.H.V., P.J. Kuikman & A. van den Pol-van Dasselaar, 2000. Beperking van lachgasemissie bij het scheuren van grasland. Een systeemanalyse. Alterra-rapport 114-5

Velthof, G.L. & O. Oenema, 1995. Nitrous oxide fluxes from grassland in the Netherlands: I. Statistical analysis of flux chamber measurements. *European Journal of Soil Science* 46: 533-540.

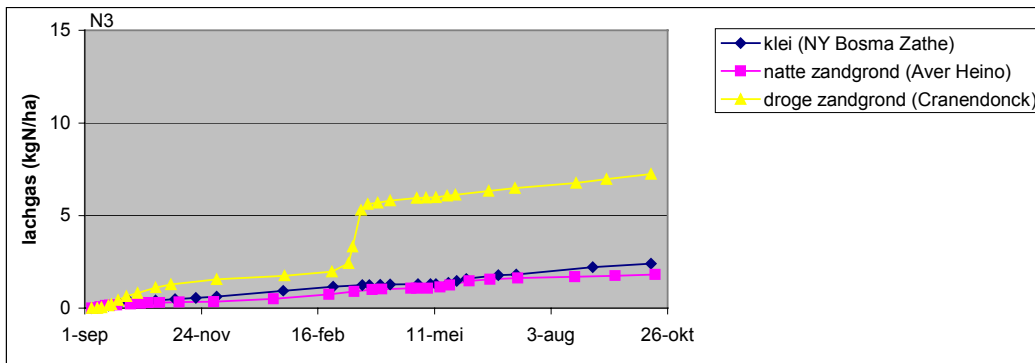
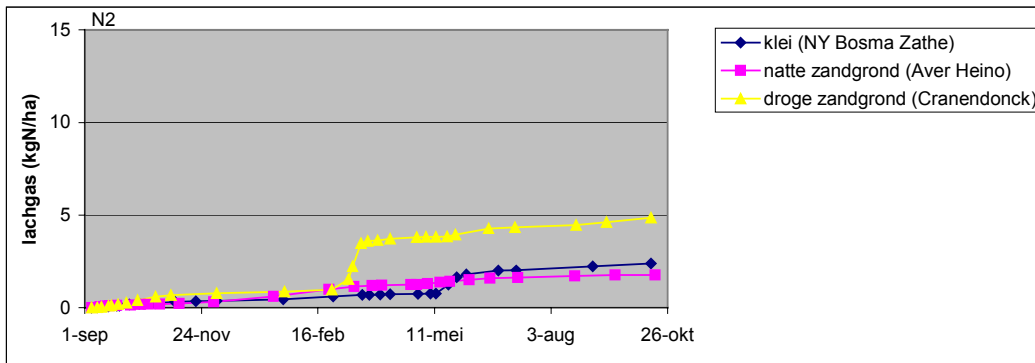
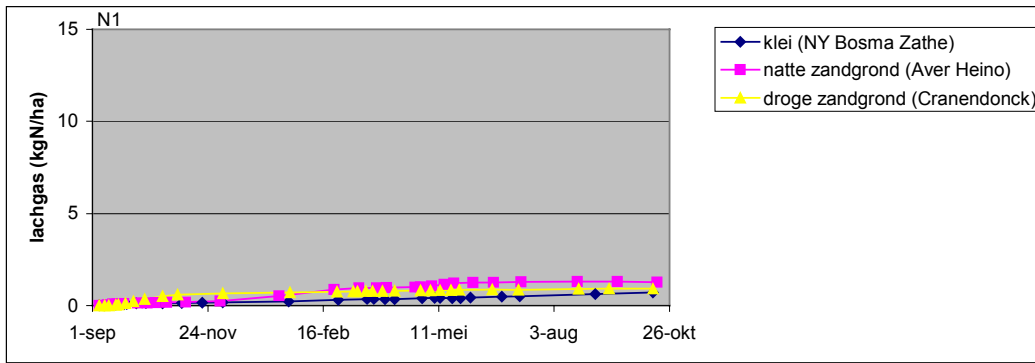
Velthof, G.L. et al., 2004. Effecten van graslandvernieuwing op nutriënten en organische stof in de bodem. Alterra rapport (in voorbereiding)

Wouters, A.P., 2000. Invloed van leeftijd en N-voorgeschiedenis op de nalevering van N van gescheurde graszodes met als volggewassen mais en gras. Rapport Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, in voorbereiding.

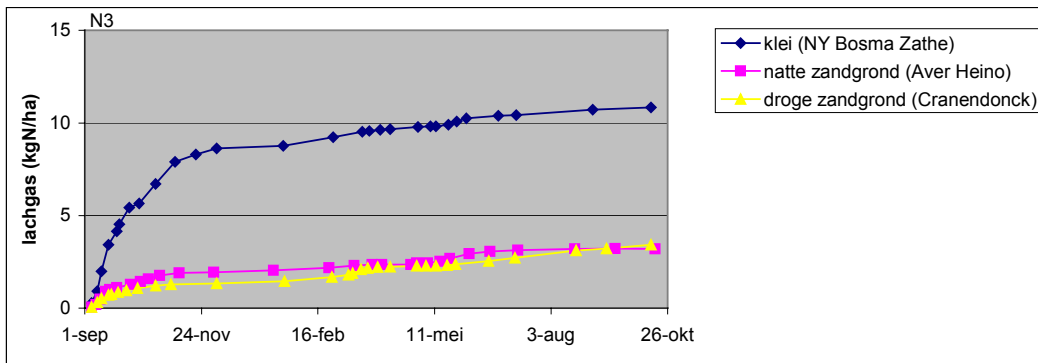
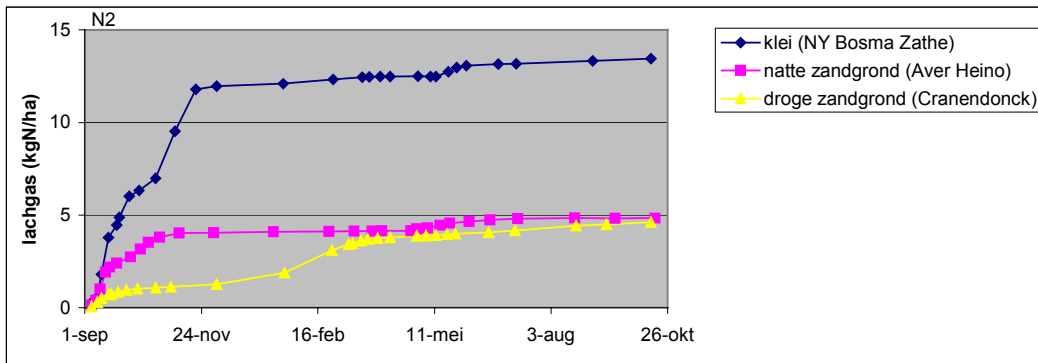
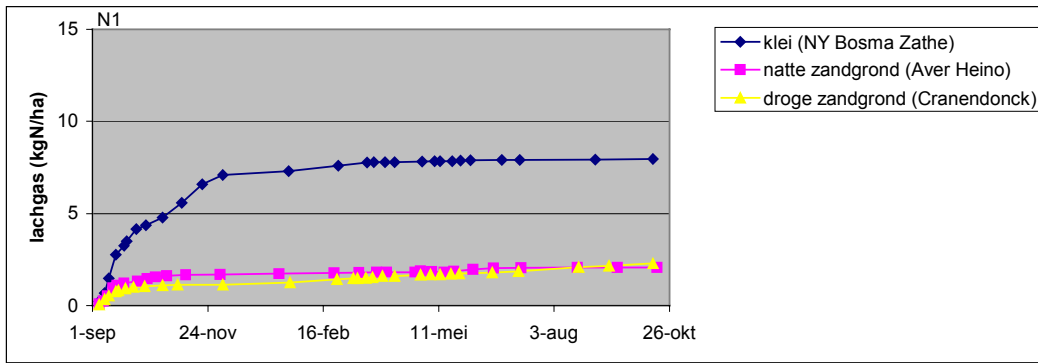
Bijlage 1 Een vergelijking van het verloop van de emissie in de tijd per hoofd – en nevenbehandeling



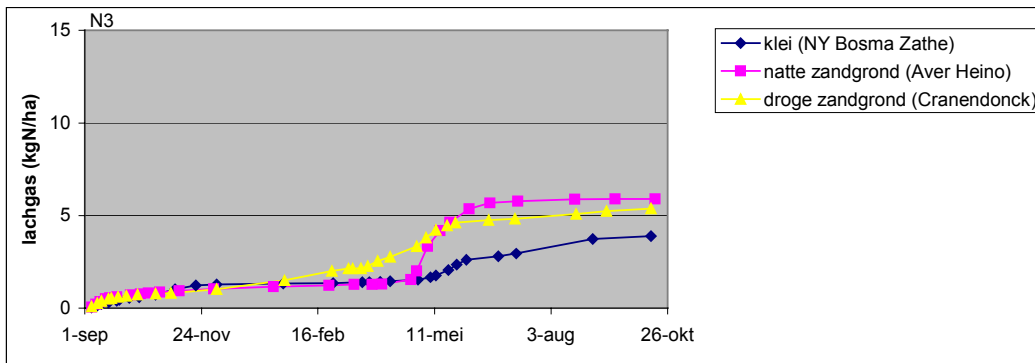
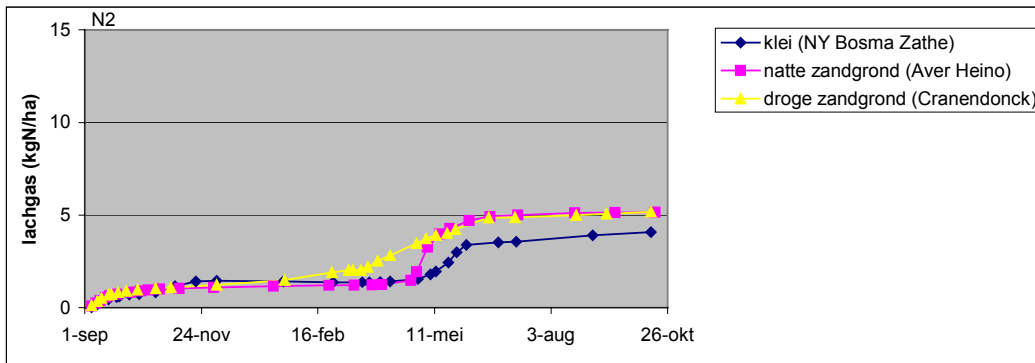
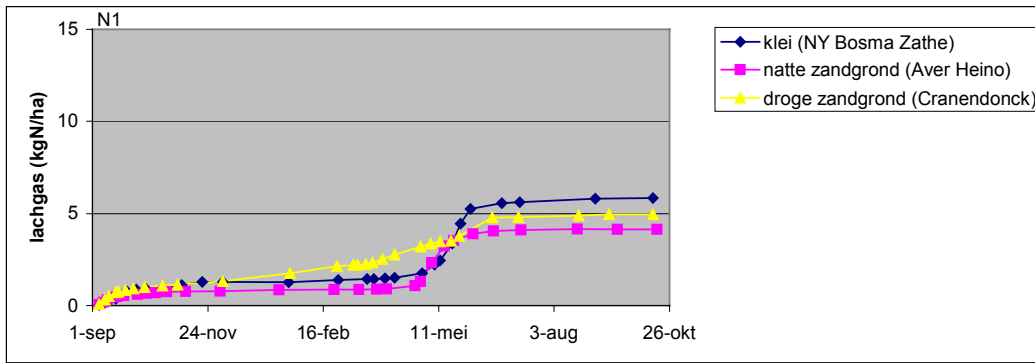
S0



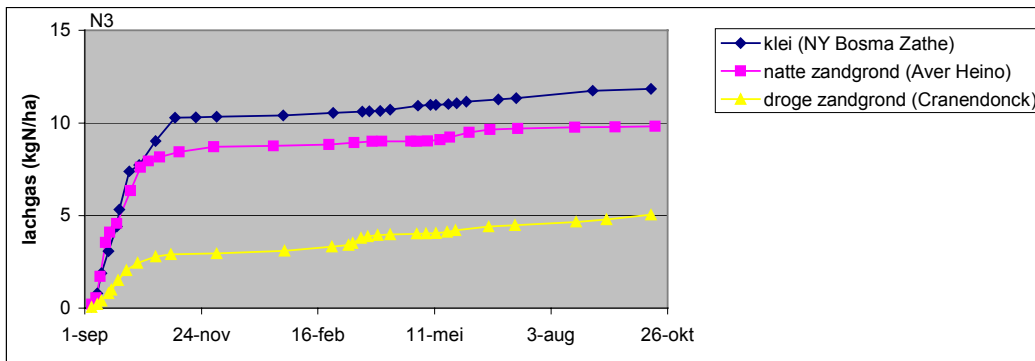
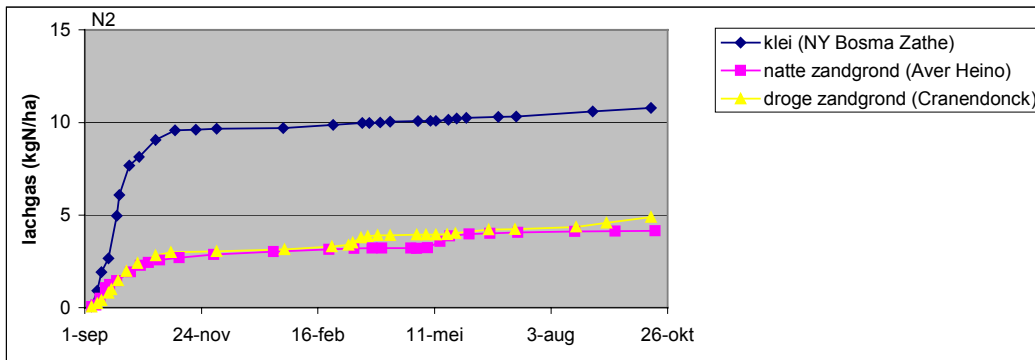
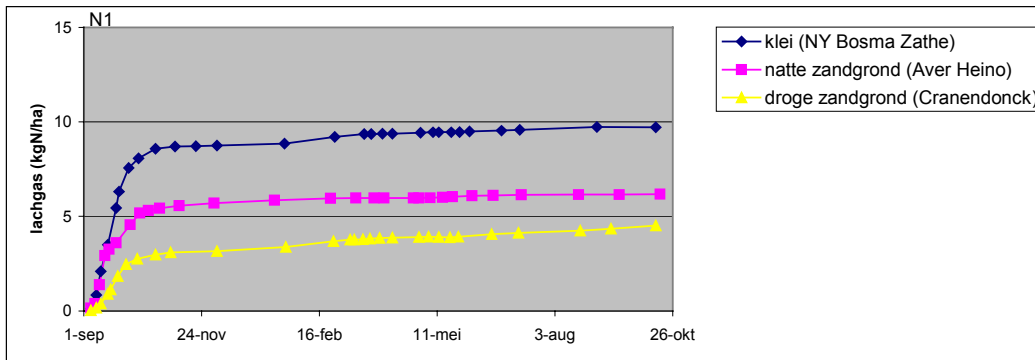
S2



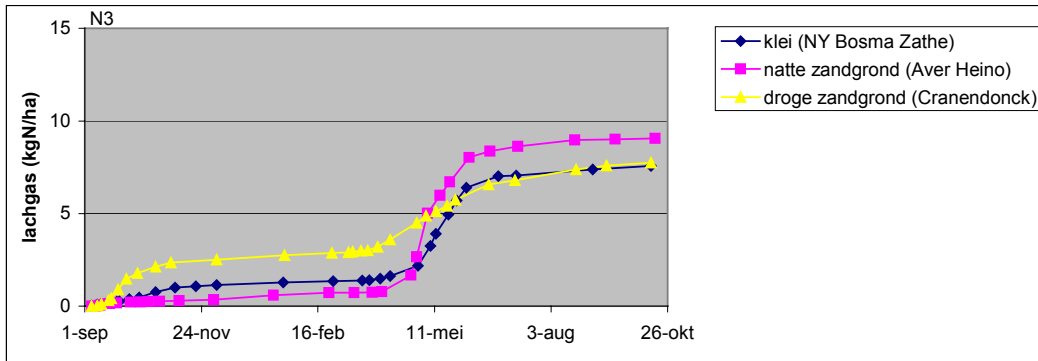
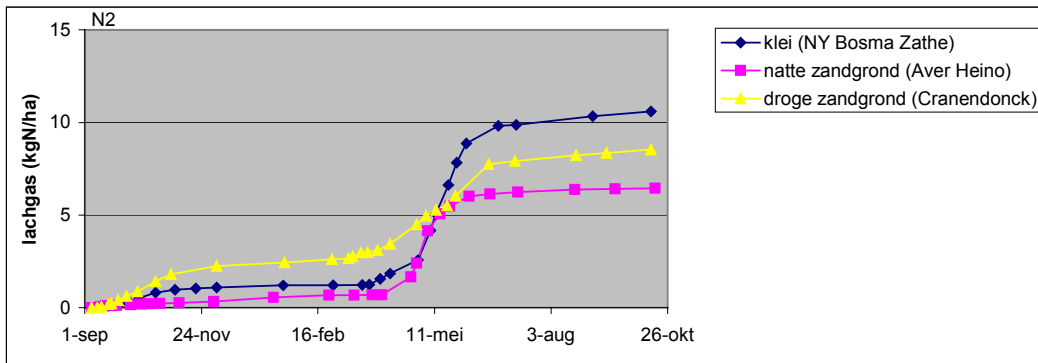
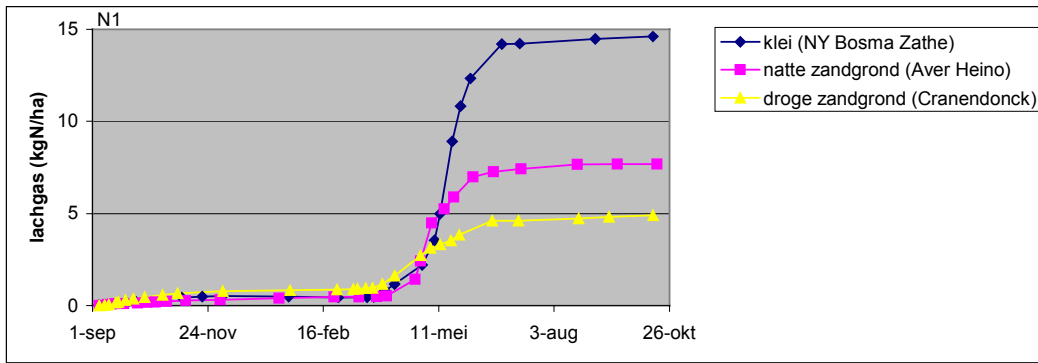
S3



S4



S5



S6

Bijlage 2 Statistische beschrijving van de resultaten

1. Klei (Nij Bosma Zathe)

Tabel 10. Lachgasemissie in kg N per ha bij de graslandvernieuwingsproef in Nieuw Bosma Zathe in 2002-2003 met verschillende graslandvernieuwingsmethoden en verschillen in N-bemestingsniveau.

hoofdbehandeling	N-bemesting			
	Totaal	N1	N2	N3
Totaal	6,85	6,60	7,40	6,54
S0	2,20	0,76	3,15	2,67
S2	1,83	0,72	2,38	2,40
S3	10,74	7,95	13,44	10,83
S4	4,60	5,83	4,08	3,89
S5	10,78	9,71	10,79	11,84
S6	10,92	14,60	10,59	7,58
	hoofdbehandeling	N-bemesting	hoofdbehandeling*N-bemesting	
Sed	1,947	1,377	3,372	
Lsd	4,11	2,91	7,12	
F-toets	10,45	0,25	0,82	
F-grenswaarde	6,38	39,4	3,38	

2. Natte zandgrond (Aver Heino)

Tabel 11. Lachgasemissie in kg N per ha bij de graslandvernieuwingsproef in Aver Heino in 2002-2003 met verschillende graslandvernieuwingsmethoden en verschillen in N-bemestingsniveau.

hoofdbehandeling	N-bemesting			
	Totaal	N1	N2	N3
Totaal	4,39	3,77	4,08	5,31
S0	1,87	1,35	2,15	2,11
S2	1,63	1,26	1,81	1,83
S3	3,32	2,03	4,78	3,16
S4	5,06	4,13	5,16	5,89
S5	6,71	6,17	4,14	9,82
S6	7,72	7,67	6,45	9,05
	hoofdbehandeling	N-bemesting	hoofdbehandeling*N-bemesting	
Sed	1,148	0,812	1,988	
Lsd	2,42	1,71	4,20	
F-toets	9,72	2,01	0,91	
F-grenswaarde	6,38	39,4	3,47	

3. Droge zandgrond (Cranendonck)

Tabel 12. Lachgasemissie in kg N per ha bij de graslandvernieuwingproef in Cranendonck in 2002-2003 met verschillende graslandvernieuwingmethoden en verschillen in N-bemestingsniveau.

hoofdbehandeling	N-bemesting			
	totaal	N1	N2	N3
Totaal	4,79	3,10	5,42	5,86
S0	3,92	1,00	4,65	6,13
S2	4,34	0,91	4,86	7,24
S3	3,44	2,29	4,62	3,42
S4	5,17	4,96	5,17	5,37
S5	4,81	4,51	4,67	5,26
S6	7,06	4,90	8,53	7,75
	hoofdbehandeling	N-bemesting	hoofdbehandeling*N-bemesting	
sed	0,688	0,487	1,192	
lsd	1,45	1,03	2,52	
F-toets	6,81	18,61	2,57	
F-grenswaarde	6,38	39,4	3,47	