



# Kwantificering van stikstofverliezen door denitrificatie in de ondergrond

A. Gorissen, E.W.J. Hummelink & O. Oenema



Nota 140



# Kwantificering van stikstofverliezen door denitrificatie in de ondergrond

A. Gorissen, E.W.J. Hummelink & O. Oenema

Plant Research International B.V., Wageningen  
december 2001

Nota 140

© 2001 Wageningen, Plant Research International B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

## **Plant Research International B.V.**

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen  
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen  
Tel. : 0317 - 47 70 00  
Fax : 0317 - 41 80 94  
E-mail : [post@plant.wag-ur.nl](mailto:post@plant.wag-ur.nl)  
Internet : <http://www.plant.wageningen-ur.nl>

# Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
Methode	1
Ploegregime	1
Diepte	1
Seizoen	1
Locatie	2
1. Inleiding	3
Materiaal en methoden	3
2. Optimaliseren meetmethoden en perceelkeuze	5
Inleiding	5
Resultaten	5
Discussie	6
3. Metingen van de potentiële denitrificatiecapaciteit op verschillende dieptes op de Lovinkhoeve gedurende een kalenderjaar	9
Materiaal en methode	9
Resultaten	10
Discussie	12
4. Metingen van de potentiële denitrificatiecapaciteit op verschillende dieptes op 6 verschillende locaties op 3 tijdstippen in het jaar	13
Materiaal en methode	13
Resultaten	13
Discussie	17
Conclusies	19
Bijlage I. Neerslaggegevens van de Lovinkhoeve in 1999 en 2000	1 p.
Bijlage II. Neerslaggegevens	3 pp.
Bijlage III. Genstat-analyse Hoofdstuk 2	4 pp.
Bijlage IV. Genstat-analyse Hoofdstuk 3	5 pp.
Bijlage V. Genstat-analyse Hoofdstuk 4	4 pp.



# Samenvatting

Voor denitrificatie zijn nitraat, substraat (organische stof) en afwezigheid van zuurstof belangrijke voorwaarden. Substraat zal vooral aanwezig zijn in de bovenste lagen van het bodemprofiel, terwijl de afwezigheid van zuurstof mogelijk vooral in de ondergrond voorkomt, afhankelijk van de grondwaterstand. Nitraat is zeer mobiel en kan in principe in het hele bodemprofiel voorkomen. Dit onderzoek heeft zich gericht op de potentiële denitrificatie in het grondprofiel tot 85 cm diepte. Het doel was om de potentiële denitrificatiecapaciteit in de ondergrond van verschillende bodemtypen vast te stellen waarbij tevens het type ploegregime werd betrokken. Bij aanvang werd eerst de meetmethode geoptimaliseerd, waarbij de incubatiemethode met ringen vergeleken werd met de traditionele methode met losse grondkolommen

## Methode

De ringenmethode lijkt een betere methode om de potentiële denitrificatiecapaciteit te bepalen dan de traditionele methode. De grondkolommetjes blijven intact, in tegenstelling tot de traditionele methode. Drie ringen in een incubatiepot blijken betere resultaten te geven dan één ring, omdat de variatie in de metingen wordt gedempt.

## Ploegregime

Vergeleken met de ecoploeg en het minimale ploegen, zorgt het gangbare 'diep'-ploegen voor een geringere potentiële denitrificatiecapaciteit in de bovenste laag rond 5 cm diepte en een grotere op 20 cm diepte. Een andere verdeling van organische stof over de bovenste 20 cm bij het 'diep'-ploegen is hiervan waarschijnlijk de oorzaak.

## Diepte

In de laag tussen 2 en 7 cm is de potentiële denitrificatiecapaciteit in augustus gemiddeld  $4200 \text{ g N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$  per kolom van 5 cm. In de laag tussen 42 en 87 cm is de potentiële denitrificatiecapaciteit in augustus gemiddeld  $590 \text{ g N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$  per kolom van 5 cm. Over de volledige 45 cm is dit  $5300 \text{ g N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ . De denitrificatiecapaciteit van de lagen beneden 45 cm is dus niet verwaarloosbaar klein te noemen.

## Seizoen

De metingen op de Lovinkhoeve gaven de hoogste potentiële denitrificatiecapaciteit te zien in juni en juli en de laagste in januari, met september, november en april daar tussen in. Dit is waarschijnlijk sterk gekoppeld aan de hoogte van de temperatuur. Ook de metingen in 2000 op de 6 verschillende locaties waren gecorreleerd aan de temperatuur met de laagste waarden in februari en de hoogste in augustus. Ook de substraatvoorziening (koolstof) is een factor die waarschijnlijk een belangrijke invloed op de hoogte van de metingen heeft gehad, aangezien deze het hoogst zijn midden in het groeiseizoen.

## Locatie

Het bodemtype (zand of zware zavel) heeft geen duidelijke invloed, hetgeen onverwacht is omdat in zware zavel gemakkelijker microsites voor kunnen komen waar na regenval denitrificatie optreedt. Wel is er verschil tussen locaties waarbij hoge waarden voor de potentiële denitrificatiecapaciteit worden gevonden op de Waiboerhoeve in april en augustus en de hoge es van Aver Heino in augustus hetgeen verklaard zou kunnen worden uit de toevoer van afbreekbaar organisch materiaal. Verschillen in de grondwatertrap tussen de locaties hebben in deze studie geen effect gehad op de potentiële denitrificatiecapaciteit.

# 1. Inleiding

Bij denitrificatie worden nitraat ( $\text{NO}_3^-$ ) en nitriet ( $\text{NO}_2^-$ ) omgezet in de gassen  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  en  $\text{N}_2$ . Afhankelijk van de omstandigheden verandert de relatieve bijdrage van deze gassen in de totale stikstofemissie. Voor denitrificatie zijn nitraat, substraat (organische stof) en afwezigheid van zuurstof belangrijke voorwaarden. Bemesting, type gewas, grondbewerking, organische stof en vochttoestand zijn dus belangrijke factoren voor de denitrificatie.

Het onderhavige project richtte zich op de potentiële denitrificatie in het grondprofiel tot 85 cm diepte. Het doel was om de potentiële denitrificatiecapaciteit van de ondergrond van verschillende bodemtypen vast te stellen. In 1999 en 2000 werden de volgende experimenten uitgevoerd:

- 1) op de Lovinkhoeve:
  - vergelijken en optimaliseren van meetmethoden en vaststellen van de meest zinvolle percelen voor het maken van een meetreeks gedurende het seizoen
  - maken van een meetreeks waarbij het profiel over een diepte tot 85 cm zou worden bemonsterd gedurende een kalenderjaar
- 2) op 6 verschillende locaties (De Marke, Lovinkhoeve, Waiboerhoeve, Aver Heino lage podzol, Aver Heino hoge es, Cranendonck, Droevendaal) met als doel het maken van een meetreeks waarbij het profiel over een diepte tot 85 cm zou worden bemonsterd gedurende een kalenderjaar.

Het rapport bestaat uit drie onderdelen: 1) optimalisering van de meetmethoden en perceelkeuze (Hoofdstuk 2), 2) metingen op de Lovinkhoeve op verschillende dieptes bij drie typen grondbewerking (Hoofdstuk 3), en 3) metingen op 6 verschillende locaties op vijf dieptes in verschillende grondsoorten (Hoofdstuk 4).

## Materiaal en methoden

De omzetting van  $\text{N}_2\text{O}$  in  $\text{N}_2$  wordt bij aanwezigheid van acetyleen geblokkeerd. Dit vormt de basis voor de Acetyleen-Inhibitie-Techniek (AIT) die bij de experimenten is gebruikt. In het veld werden niet-verstoorde grondmonsters genomen door ringen met (hoogte 5 cm; inhoud 0.1 L) in de grond te duwen met een speciale boor voorzien van een snijrand. Met een vlak mes werd de uitstekende grond op de ring vlak afgesneden (zonder te 'smeren' omdat dan de ring luchtdicht wordt afgesloten), waardoor het volume van het grondmonster gelijk werd aan het volume van de ring.

Onder droge (de boor wil niet zonder wrikken de grond in, en het monster verliest zijn structuur), en onder zeer natte (grond wordt samengeperst, of blijft niet in de ring) omstandigheden was bemonsteren niet mogelijk en werd dan uitgesteld tot betere tijden. Bij het bemonsteren werd de temperatuur van de grond gemeten.

De tijd tussen bemonsteren en de start van de incubatie dient zo kort mogelijk te zijn en bleef altijd binnen enkele uren. De temperatuur van het grondmonster mag niet veel oplopen, en het vervoer gebeurde zodanig dat er geen verstoring van het monster plaatsvond.

Op het laboratorium werden de monsters inclusief ring in 0.9-L potten geplaatst. Omdat in deze experimenten niet de actuele denitrificatiecapaciteit doel van onderzoek was, maar de potentiële denitrificatiecapaciteit werden nitraat en water toegevoegd aan de monsters. Onder de ringen waren van tevoren papieren doekjes aangebracht om het toe te voegen (nitraathoudende) water goed te verdelen en te voorkomen dat de grond onder in het monster weg zou slempen. Na het toevoegen van 40 ml nitraatoplossing (onder in de potten), werd, afhankelijk van de vochtigheid van de grond, extra water onder in de potten toegevoegd tot verzadiging was bereikt en er een laagje vocht bleef staan.



Om de zuurstof uit de potten te verdrijven werd de pot ca. 1 minuut onder vacuüm gezet en daarna ca. 5 minuten doorgespoeld met N<sub>2</sub>-gas. De omzetting van N<sub>2</sub>O in N<sub>2</sub> werd stopgezet door 50 ml acetyleen in de pot te injecteren en het tijdstip van injectie genoteerd. In de klimaatkamer waar de potten werden weggezet, werd dezelfde temperatuur ingesteld als de gemeten grondtemperatuur. Als meerdere lagen met verschillende temperaturen geïncubeerd werden, dan werd de hoogst gemeten temperatuur ingesteld.

Met een foto-akoestische multigasmonitor werd na 24, 48 en eventueel 72 uur de toename van N<sub>2</sub>O gemeten. Het tijdstip van meten en de meetwaarden van N<sub>2</sub>O, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, en H<sub>2</sub>O werden in een bestand opgeslagen. De toename van N<sub>2</sub>O tussen de metingen is een maat voor de potentiële denitrificatiesnelheid. Deze werd omgerekend naar gram N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> 5 cm<sup>-1</sup> grondkolom.

## 2. Optimaliseren meetmethoden en perceelkeuze

### Inleiding

De traditionele methode om de denitrificatiecapaciteit te bepalen heeft een paar nadelen m.b.t. monsternametechniek en replicateerbaarheid. In het eerste experiment werd geprobeerd de methode op een tweetal punten te optimaliseren:

- 1) De traditionele methode met losse grondkolommen werd vergeleken met de nieuwe ringmethode. De traditionele methode heeft als nadeel voor zandige gronden of een rulle bouwvoor dat de grond na het steken met de grondboor als 'los zand' in de incubatiepot terecht kan komen. Afhankelijk van de vochtigheid van de grond, de beworteling en het kleigehalte valt de grondkolom al dan niet uit elkaar. De ringmethode heeft dit nadeel niet omdat de metalen ring waarmee het grondmonster gestoken is ook in de incubatiepot achterblijft. De grond wordt daardoor minder verstoord.
- 2) Uit onderzoek blijkt dat denitrificatie zeer heterogeen verspreid in de bodem plaatsvindt, waarbij op decimeters afstand grote verschillen op kunnen treden. Deze variatie noopt tot grote aantallen monsters om een betrouwbare uitspraak te kunnen doen over denitrificatie op hectarebasis. Om deze variatie, waarop in dit project de aandacht niet is gericht, te beperken zouden grotere grondmonsters wellicht een oplossing kunnen zijn. Hiertoe werd de potentiële denitrificatiecapaciteit in incubatiepotten met één metalen ring vergeleken met potten met drie metalen ringen. De overige omstandigheden tijdens incubatie bleven hetzelfde.

In dit experiment werden op 8 juni 1999 verschillende percelen bemonsterd die zich onderscheiden in bemestingsniveaus (OM1 (minder dan gangbaar, tot 0%), OM2 (gangbaar) en OM3 (50-100% meer dan gangbaar)) en type groundbewerking (gangbaar ploegen; 25 cm diepte, ecoploegen; 12 cm diepte en minimumploegen; 5 cm diepte).

De gewassen op de bemonsterde percelen waren zomertarwe, winterpeen en maïs voor de drie bemestingsniveaus en suikerbiet voor de drie typen groundbewerking. Voor de vergelijking tussen de methode met één ring en drie ringen per pot werden de drie OM-niveaus in het maïsperceel in drievoud bemonsterd.

De grondmonsters werden in dit experiment alleen uit de bovenste grondlaag (2-7) cm genomen en verder behandeld zoals in materiaal en methoden vermeld. Alles werd in drievoud uitgevoerd. De incubatietemperatuur was 19°C. Resultaten werden geanalyseerd met Genstat.

### Resultaten

De resultaten voor de verschillende OM-niveaus gaven bij het hoogste OM-niveau de hoogste potentiële N<sub>2</sub>O-productie ( $P < 0.001$ ; Tabel 1). Ook het gewastype bleek van grote invloed te zijn op de potentiële denitrificatiecapaciteit ( $P < 0.001$ ). Bij tarwe was deze veel hoger dan bij maïs en winterpeen. Duidelijk aanwezig was een interactie tussen OM en gewas: bij een laag OM-niveau waren de verschillen minder groot dan bij een hoog OM-niveau ( $P < 0.001$ ). Bij maïs en winterpeen bleek de potentiële denitrificatiecapaciteit niet beïnvloed door het OM-niveau.

De traditionele methode met losse grondkolommen bleek niet significant te verschillen van de methode met drie ringen (gemiddeld over de behandelingen 324 en 259 g N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>). Deze waarden gelden ook in het vervolg steeds voor een kolomhoogte van 5 cm, ook wanneer dit niet expliciet wordt gemeld.

Tabel 1. *Potentiële denitrificatiecapaciteit (g N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> per kolom van 5 cm hoogte) bij verschillende OM-niveaus en verschillende gewassen.*

OM-niveau	Gewas		
	Zomertarwe	Winterpeen	Maïs
OM1	257	56	133
OM2	465	103	182
OM3	1221	100	110

De resultaten voor de verschillende typen grondbewerking gaven aan dat de potentiële denitrificatiecapaciteit bij de gangbare ploegdiepte het laagst is in de bovenste 5 cm. Bij minimumploegen en ecoploegen lag deze een factor 3 hoger (Tabel 2;  $P < 0.01$ ).

Ook bij de verschillende typen grondbewerking bleek er geen significant verschil ( $P = 0.45$ ) tussen de traditionele methode met losse grondkolommen en de methode met drie ringen (gemiddeld over de behandelingen 439 en 367 g N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>).

Tabel 2. *Potentiële denitrificatiecapaciteit (g N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>) in de laag van 2-7 cm bij verschillende typen grondbewerking.*

Ploegen	Potentiële denitrificatiecapaciteit
Minimaal ploegen	540
Ecoploegen	508
Gangbaar ploegen	159

De vergelijking tussen 3 ringen per incubatiepot en 1 ring per incubatiepot liet zien dat deze verschillen. Bij drie ringen bleek de potentiële denitrificatiecapaciteit gemiddeld 100 g N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> en bij één ring 246.

## Discussie

De hoogst gemeten waarde voor de potentiële denitrificatiecapaciteit werd gedaan bij tarwe op OM3-percelen, met het hoogste bemestingsniveau. Denitrificatie wordt in theorie gestimuleerd door aanwezigheid van afbreekbaar substraat. Het is duidelijk dat de aangebrachte bemesting zelf hier niet (alleen) verantwoordelijk voor is, omdat bij peen en maïs geen duidelijke toename van de potentiële denitrificatiecapaciteit werd waargenomen. Mogelijk is de productie van wortel-afgeleid materiaal (exudaten, afgestorven wortels e.d.) bij peen en maïs geringer dan bij zomertarwe, wanneer we de verschillen proberen te verklaren in termen van substraat. Zomertarwe is begin juni al verder ontwikkeld en mogelijk groter dan (de laat gezaaide) maïs en peen heeft een wortelstelsel dat in de ruimte meer beperkt is.

Het is opmerkelijk dat toedienen van verschillende niveaus van organische mest in bij deze monstername geen duidelijk direct effect had op het niveau van de potentiële denitrificatiecapaciteit.

Grondbewerking lijkt in dit pilot experiment de potentiële denitrificatiecapaciteit in de bovenste laag te beïnvloeden. Waar bij gangbaar ploegen de plantenresiduen vermengd worden in een laag van 25 cm, blijven ze meer geconcentreerd aanwezig in de bovenste 5-12 cm bij ecoploegen en minimum ploegen.

Dit kan een verklaring zijn waarom bij gangbaar ploegen de waarden in de bovenste laag ongeveer 3 maal zo laag zijn als bij de andere typen grondbewerking. Het is uit deze gegevens nog niet op te maken of de totale potentiële denitrificatiecapaciteit over het gehele profiel beïnvloed wordt door het type grondbewerking. Omdat de verschillen in grondbewerking (ploegdiepte) mogelijk het grootste effect hebben op organische-stofverdeling over het profiel, worden de percelen met een verschillende grondbewerking gekozen voor verder onderzoek (Hoofdstuk 3).

Bij de vergelijking van de drie methoden blijkt de traditionele methode geen significant verschillende resultaten te geven van de methode met drie ringen. De variatie bleek echter wel groter: bij de traditionele methode bedroeg de standaard afwijking 41% van de gemiddelde waarde, terwijl deze 26% bedroeg bij de methode met drie ringen. Wanneer één ring werd gebruikt was de standaard afwijking 52% van de gemiddelde waarde. In theorie betekent dit dat verschillen tussen behandelingen of grondsoorten beter kunnen worden vastgesteld m.b.v. de drie-ringenmethode.

Het is niet duidelijk waardoor dit grote verschil in gemiddelde waarde voor de potentiële denitrificatiecapaciteit veroorzaakt kan zijn. Wellicht was bij de drie-ringenmethode de hoeveelheid acetyleen in de 'head space' van de incubatiepotten te klein of de hoeveelheid toegediend nitraathoudend water onvoldoende. In theorie zouden beide methoden voor de potentiële denitrificatiecapaciteit dezelfde gemiddelde waarde moeten geven, waarbij de variatie voor de drie-ringenmethode, zoals eerder werd aangegeven, kleiner is. Voor de vervolggexperimenten werd de drie-ringenmethode gekozen als belangrijkste methode, waarbij ook aandacht besteed zou worden aan het waargenomen verschil in potentiële denitrificatiecapaciteit tussen het gebruik van één ring en drie ringen per incubatiepot.



### 3. Metingen van de potentiële denitrificatiecapaciteit op verschillende dieptes op de Lovinkhoeve gedurende een kalenderjaar

#### Materiaal en methode

In dit experiment werden de percelen waarop verschillende typen grondbewerking werd uitgevoerd gedurende het jaar zeven keer bemonsterd om de potentiële denitrificatiecapaciteit te bepalen. Het volgende overzicht geeft aan waar de akkers gelegen zijn en wat er recent met de akkers is gebeurd.

Overzicht ligging akkers op de Lovinkhoeve

Kavel

Akker

1	Lovinkhoeve erf	perceel 4
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9	perceel 5	
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		< 100 m >
17		Gangbare grondbew. (25 cm) 12 m
18		Minimale grondbew. (7 cm) 12 m
19		
20		
21		
22		Ecoploeg (12 cm) 12 m
23		
24		
25		

Op de akkers 17, 18 en 22 wordt de grond tot op verschillende dieptes geploegd:

- Gangbare grondbewerking (akker 17): ca. 25 cm ploegen
- Minimale grondbewerking (akker 18): voormalige proefveld IB 0011, bestaat sinds 1968. De ploegdiepte is ca. 7 cm met de stopploeg, de zaaibedbereidingen zijn afhankelijk van gewas en structuur.

- Ecoploeg (akker 22): m.i.v. herfst 1994 is begonnen met de ecoploeg van Rumpstad waarmee tot ca. 12 cm wordt geploegd. Voorheen werd deze akker gangbaar geploegd.

M.i.v. 1995 is het hele bedrijf overgeschakeld op ecologische landbouw. Sindsdien is de grondbewerkingproef geminimaliseerd tot het gearceerde deel.

Alle akkers hebben sindsdien dezelfde bemesting gehad en onkruidbewerkingen ondergaan. Op de minimale akker steeds zo ondiep mogelijk.

In 1999 werden de volgende hoeveelheden minerale stikstof in de akkers gemeten:

Tabel 3. Minerale stikstof in de akkers ( $kg\ ha^{-1}$ ) en opbrengst suikerbieten.

Datum	Laag	Gangbaar	Eco	Minimaal
14 september 1999	0-30 cm	8	8	9
	30-60 cm	6	6	5
	60-90 cm	7	6	9
<hr/>				
Opbrengst suikerbieten 13-09-1999		Gangbaar	Eco	Minimaal
Netto opbrengst ( $ton\ ha^{-1}$ )		68.0	61.0	55.0
Droge stof ( $ton\ ha^{-1}$ )		15.1	13.3	11.9
% suiker		16.5	16.7	16.7

Uit de resultaten van Hoofdstuk 2 bleek dat de variatie geringer werd wanneer drie ringen gezamenlijk in één pot werden geïncubeerd vergeleken met de traditionele methode en de ringmethode met één ring. Voor nadere bestudering van de waargenomen verschillen met de één-ringmethode werd een gedeelte van de monsters ook met één ring per pot geïncubeerd. Bij alle monsternamen, behalve de laatste, werden van elk van de drie percelen drie extra potten geïncubeerd: een voor de drie-ringmethode en twee voor de één-ringmethode. De monsters voor de vergelijking van de twee methoden werden alle uit de laag 2-7 cm genomen. Om de gevonden verschillen tussen de methoden (zie Hoofdstuk 2) op te lossen werd de hoeveelheid toegediende water verhoogd.

Gedurende 1999 werden monsters genomen op de volgende tijdstippen: 14 juli (incubatietemperatuur:  $19^{\circ}C$ ), 11 augustus (incubatiemp:  $19^{\circ}C$ ), 30 september (incubatiemp:  $17^{\circ}C$ ) en 3 november (incubatiemp:  $16^{\circ}C$ ) en in 2000 op 17 januari (incubatiemp:  $7^{\circ}C$ ), 3 april (incubatiemp:  $9^{\circ}C$ ) en 21 juni (incubatiemp:  $19^{\circ}C$ ). Hierbij werden op de volgende dieptes monsters genomen met behulp van de drie-ringmethode: 2-7, 17-22, 42-47, 62-67 en 82-87 cm. Op de bemonsterde percelen stonden in 1999 suikerbieten. De bieten werden op 13 september geoogst, voor de laatste twee monsternames in 1999. In 2000 werd op het perceel zomertarwe verbouwd. Alle bemonsteringen werden in drievoud uitgevoerd en de resultaten geanalyseerd met Genstat.

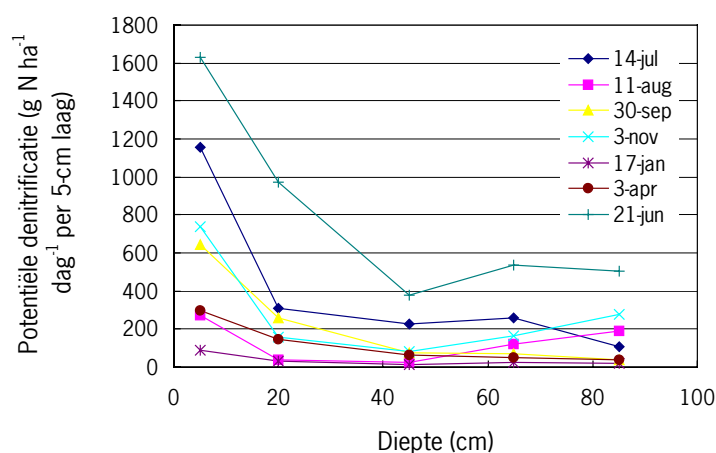
## Resultaten

De resultaten gaven aan dat de potentiële denitrificatiecapaciteit gedurende het jaar sterk kan verschillen ( $P < 0.001$ ). Voor de opeenvolgende monsternamen bedroeg de gemiddelde waarde 413 (14 juli), 130 (11 augustus), 217 (30 september), 282 (3 november), 35 (17 januari), 118 (3 april) en 804 (21 juni)

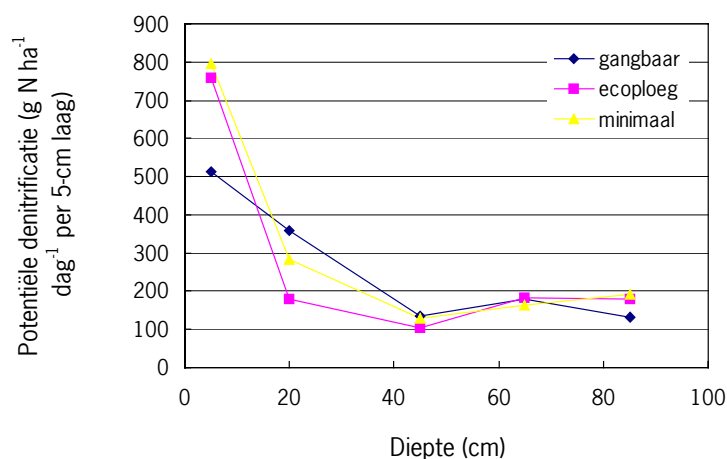
g N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>. De potentiële denitrificatiecapaciteit bleek sterk afhankelijk van de bemonsteringsdiepte met de grootste dynamiek op 5 cm diepte en de kleinste op 45 cm diepte (Figuur 1). Hoewel de potentiële denitrificatiecapaciteit op 5 cm diepte altijd het hoogst was, blijkt de potentiële denitrificatiecapaciteit in de ondergrond niet te verwaarlozen te zijn. Op een aantal monsterdata (augustus, november, juni) bleek deze zelfs weer op te lopen in het gebied tussen 45 tot 85 cm diepte.

Er was interactie aanwezig tussen de ploegdiepte en bemonsterde laag (P < 0.001). Figuur 2 laat zien dat de dynamiek van bij gangbaar ploegen geringer is dan bij ecoploegen en minimaal ploegen.

Naar aanleiding van de resultaten van het eerste experiment, waarin verschillen in potentiële denitrificatiecapaciteit tussen het aantal ringen in de incubatiepotten werden gevonden, werd ook aandacht besteed aan de denitrificatiecapaciteit bij gebruik van de één-ringmethode en de drie-ringmethode. De gemiddelde waarde over de eerste zes experimenten bleek voor de één-ringmethode 778 g N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> per kolom van 5 cm lengte te bedragen en voor de drie-ringmethode 760 g N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>. Deze waarden bleken niet significant te verschillen (P = 0.92).



Figuur 1. Potentiële denitrificatie gedurende het jaar.



Figuur 2. Potentiële denitrificatie bij verschillende ploegdieptes.



## Discussie

Gedurende het jaar bleek de potentiële denitrificatiecapaciteit sterk te variëren. Het is niet precies bekend wat de oorzaak van deze variatie is. Voor de hand ligt te veronderstellen dat de temperatuur de belangrijkste variabele is. De hoge waarden in juni 2000 en juli 1999 lijken dit te bevestigen, hoewel ook de toevoer van substraat (koolstof) door de wortels in deze maanden natuurlijk gunstig is voor denitrificatie.

Vooraf in augustus en in mindere mate in september en november neemt de potentiële denitrificatiecapaciteit sterk af tot een minimum in januari 2000. De lage waarden in augustus zijn mogelijk gerelateerd aan de geringe regenval in de tweede helft van juli. Direct voorafgaand aan de meting op 11 augustus waren er echter wel vier regendagen geweest met 8, 4, 1, en 9 mm regenval (Figuur Annex 1).

In de lagen op 65 en 85 cm diepte is de potentiële denitrificatiecapaciteit op twee monstertijdstippen hoger dan op 45 cm diepte. Een verklaring kan liggen in predispositie van de micro-organismen omdat in deze lagen vaker anaërobie optreedt t.g.v. de grondwaterspiegel. Aangezien er bij de incubatie van de monsters, alleen water en nitraat wordt toegevoegd aan de monsters en geen koolstof, is het te verwachten dat er ook daadwerkelijk denitrificatie in het veld op zal treden in deze lagen. De vocht- en nitraatvoorziening zullen gedurende het jaar op verschillende tijdstippen hiervoor waarschijnlijk niet beperkend zijn. De actuele denitrificatie in de ondergrond kan in dat geval niet worden verwaarloosd in berekeningen van stikstofverliezen in de landbouw.

De ploegdiepte lijkt geen effect te hebben op de gemiddelde denitrificatiecapaciteit (geen hoofdeffect), maar blijkt wel de capaciteit in de verschillende lagen te beïnvloeden (Figuur 2). Deze interactie laat zien dat de bovenste 20 cm van de grond door 'diep'-ploegen homogener wordt t.a.v. de potentiële denitrificatiecapaciteit dan bij ecoploegen en minimaal ploegen. Waarschijnlijk wordt de hoeveelheid substraat meer verdeeld over deze lagen. De ploegdiepte heeft alleen invloed op de bovenste grondlaag; in de diepere lagen op 45, 65 en 85 cm diepte zijn de verschillen tussen de ploegdieptes niet meer waar te nemen.

De drie-ringenmethode komt het meest in aanmerking om in de toekomst te gebruiken. Waar in het eerste experiment (Hoofdstuk 2) de één-ringmethode een hogere potentiële denitrificatiecapaciteit opleverde dan de drie-ringenmethode, bleken ze in deze experimenten geen significant verschillende waarden meer te geven. De aanpassing in het incubatieprotocol (meer vocht/nitraat) blijkt dus te leiden tot vergelijkbare resultaten bij de twee methoden. Het nadeel van de drie-ringenmethode is de extra hoeveelheid werk bij de monsternamen, maar het grote voordeel is dat de variatie in de drie-ringenmethode gedempt wordt, waardoor verschillen tussen behandelingen of locaties beter waargenomen kunnen worden.

## 4. Metingen van de potentiële denitrificatiecapaciteit op verschillende dieptes op 6 verschillende locaties op 3 tijdstippen in het jaar

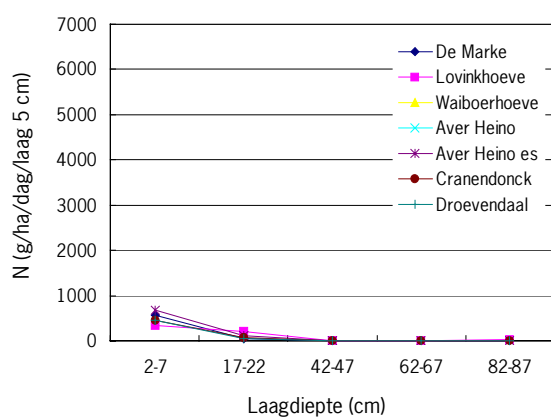
### Materiaal en methode

In 2000 werden op 6 verschillende locaties op 3 tijdstippen ringmonsters genomen op 5, 20, 45, 65, en 85 cm diepte om de potentiële denitrificatiecapaciteit te bepalen. De locaties waren Marknesse (Dr. H.J. Lovinkhoeve; perceel S-38 akker 56), Lelystad (Waiboerhoeve; perceel 4), Hengelo (Gld) (De Marke; perceel 17-2), Soerendonk (Cranendonck; perceel 25), Wageningen (Droevendaal; perceel 14-15) en Heino (Aver Heino; percelen 31-32 en hoge es). De grond in Marknesse en Lelystad bestond uit zware zavel, in Hengelo, Soerendonck en Wageningen uit zand. In Heino werden twee percelen bemonsterd, een podzolgrond en een hoge esgrond.

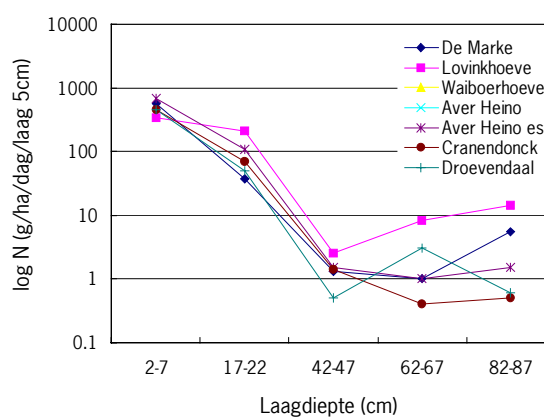
De februari (incubatietemperaatuur: 6°C), april (incubatietemperaatuur: 14°C) en augustus (incubatietemperaatuur: 20°C) 2000 werden de locaties bemonsterd. Op de Waiboerhoeve en op de podzol in Aver Heino kon in februari geen bemonstering worden uitgevoerd vanwege de te natte omstandigheden. Hetzelfde geldt voor Droevendaal in april.

### Resultaten

Tabel 4 en Figuur 3a laten zien dat de potentiële denitrificatiecapaciteit in februari op alle locaties over het hele bodemprofiel laag was: tot maximaal 680 g N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> per kolom van 5 cm. In de lagen beneden 20 cm bleek de denitrificatie te verwaarlozen. De log-grafiek van februari laat zien dat ook bij deze lage waarden op 45-65 cm diepte de laagste waarden van het profiel worden gemeten (Fig. 3b). Verschillen tussen de locaties zijn, indien al aanwezig op grotere diepte, niet van belang vanwege de zeer lage meetwaarden tot 10 g N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> (steeds per kolom van 5 cm).

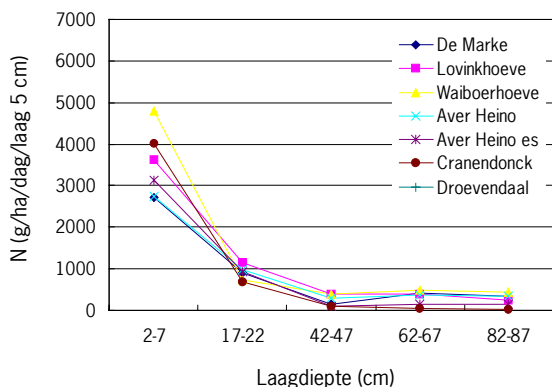


Figuur 3a. N<sub>2</sub>O-productie februari 2000.

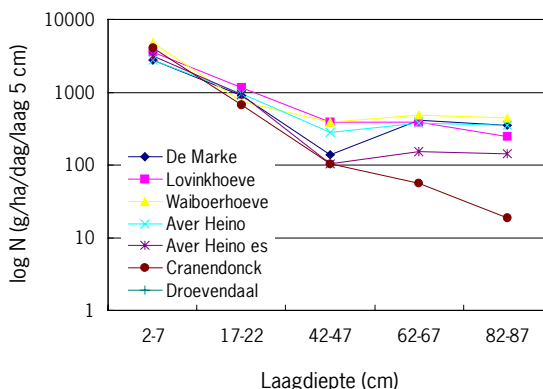


Figuur 3b. N<sub>2</sub>O-productie februari 2000.

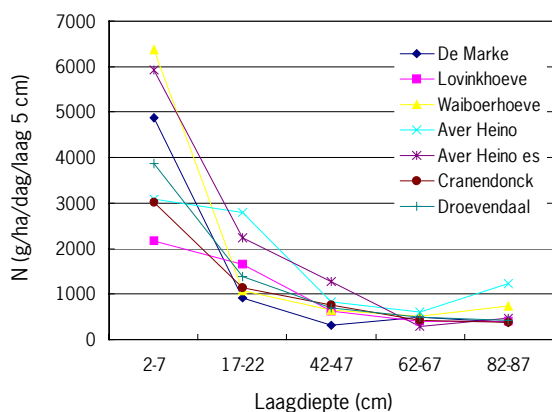
In april blijkt de N<sub>2</sub>O-productie veel hogere waarden te bereiken (Fig. 4a en 4b). In de bovenste 5 cm tussen 2700 en 4800 g N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>. Er bestaan voor deze laag grote verschillen tussen de locaties met de grootste potentiële denitrificatiecapaciteit op de Waiboerhoeve en de laagste op de Marke en in de podzol van Heino. Ook in de onderste lagen is de capaciteit een factor 10-100 hoger geworden t.o.v. februari. Deze tendensen zetten zich voort in de resultaten van augustus (Fig 5a en 5b): grote variatie tussen de locaties in de bovenste 5 cm, die in de ondergrond niet aanwezig zijn. Ook hier de hoogste capaciteit op de Waiboerhoeve, met als goede tweede de hoge es van Aver Heino, en de geringste nu op de Lovinkhoeve. In de onderste laag is de potentiële denitrificatiecapaciteit weer sterk gestegen t.o.v. april.



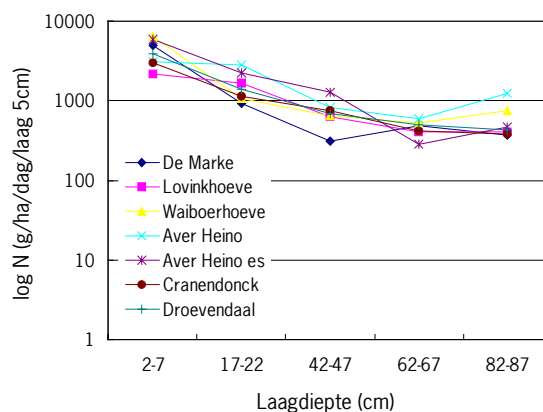
Figuur 4a. N<sub>2</sub>O-productie april 2000.



Figuur 4b. N<sub>2</sub>O-productie april 2000.



Figuur 5a. N<sub>2</sub>O-productie augustus 2000.



Figuur 5b. N<sub>2</sub>O-productie augustus 2000.

Tabel 5 geeft de organische-stofgehalten in de verschillende lagen op de 6 locaties.

In Tabel 6 staan de correlaties tussen organische stof, hoeveelheid koolzure kalk in de bodem en de N<sub>2</sub>O-productie in de maanden februari, april en augustus. De twee os-bepalingen (gloeiverlies en destructie) zijn, zoals verwacht mocht worden, zeer sterk gecorreleerd. De correlatie met de N<sub>2</sub>O-productie blijkt ook sterk te zijn. Koolzure kalk is niet gecorreleerd met N<sub>2</sub>O-productie en heeft waarschijnlijk, bij de omstandigheden zoals die op de verschillende locaties zijn, hierop geen invloed.

In Tabel 7 staan de grondwatertrappen vermeld welke variëren van 4 (Droevendaal) tot 8 (Cranendonck). De GLG is dan ook het hoogst in Droevendaal (1.20 m beneden maaiveld) en het laagst in Cranendonck (2.70 m beneden maaiveld). Op Annex 2a-1f staan de neerslaggegevens van de periode januari-augustus 2000 op de verschillende locaties. Deze laten zien dat er geen langdurige droge of natte weersomstandigheden zijn geweest

Tabel 4. *Potentiële denitrificatiecapaciteit op vijf dieptes (5 cm, 20 cm, 45 cm, 65 cm en 85 cm) op 6 locaties gemeten in de februari, april en augustus 2000 (g N / ha / dag / laag 5 cm).*

Locatie	Laag (cm diepte)				
<b>Februari</b>	<b>5</b>	<b>20</b>	<b>45</b>	<b>65</b>	<b>85</b>
De Marke	572	36.7	1.3	1.0	5.5
Lovinkhoeve	343	212.1	2.5	8.3	14.1
Waiboerhoeve	-	-	-	-	-
Aver Heino	-	-	-	-	-
Aver Heino es	680	107.6	1.5	1.0	1.5
Cranendonck	448	70.1	1.4	0.4	0.5
Droevendaal	456	50.0	0.5	3.1	0.6
<b>April</b>					
De Marke	2722	903	137	409	352
Lovinkhoeve	3624	1149	392	382	246
Waiboerhoeve	4792	743	385	479	440
Aver Heino	2732	968	282	378	347
Aver Heino es	3123	925	102	154	141
Cranendonck	4016	678	102	56	19
Droevendaal	-	-	-	-	-
<b>Augustus</b>					
De Marke	4873	925	311	488	371
Lovinkhoeve	2179	1655	629	409	400
Waiboerhoeve	6374	1065	648	525	746
Aver Heino	3093	2790	820	600	1234
Aver Heino es	5929	2241	1284	285	473
Cranendonck	3012	1150	750	417	387
Droevendaal	3866	1377	684	494	423

- : niet gemeten vanwege te natte grond

Tabel 5. *Organische stof en koolzure kalk in de verschillende lagen op de 6 locaties.*

Locatie	Laag (cm)	Organische stof		Koolzure kalk
		Gloeiverlies	Destructie	
De Marke	5	3.5	3.1	0.10
	20	2.8	2.5	0.10
	45	3.9	4.3	0.10
	65	1.4	1.0	0.10
	85	1.2	0.9	0.10
Lovinkhoeve	5	4.1	3.0	8.30
	20	3.8	2.8	8.80
	45	2.6	1.7	8.40
	65	2.9	2.0	8.70
	85	2.8	2.0	10.90
Waiboerhoeve	5	9.6	8.5	6.90
	20	6.5	4.9	9.80
	45	3.1	2.1	7.00
	65	3.9	2.7	6.90
	85	3.3	2.4	7.50
Aver Heino	5	3.6	3.0	0.10
	20	2.9	2.8	0.10
	45	2.1	1.8	0.05
	65	1.2	0.9	0.10
	85	0.8	0.5	0.10
Aver Heino es	5	6.5	6.4	0.10
	20	6.0	5.9	0.10
	45	3.4	3.3	0.10
	65	1.3	1.0	0.10
	85	0.8	0.6	0.10
Cranendonck	5	2.8	2.4	0.10
	20	2.4	2.0	0.10
	45	1.0	0.8	0.10
	65	0.7	0.5	0.10
	85	0.5	0.3	0.10
Droevendaal	5	3.6	3.5	0.10
	20	3.3	3.0	0.10
	45	2.0	1.5	0.10
	65	2.1	1.6	0.10
	85	1.8	1.5	0.05

Tabel 6. Correlaties tussen organische stof en N<sub>2</sub>O-productie.

Os_gloei	1.000					
Os_destr	<b>0.976</b>	1.000				
Kalk	0.176	-0.014	1.000			
N <sub>2</sub> O_feb	<b>0.608</b>	<b>0.575</b>	-0.043	1.000		
N <sub>2</sub> O_april	<b>0.536</b>	<b>0.472</b>	0.053	<b>0.906</b>	1.000	
N <sub>2</sub> O_aug	<b>0.686</b>	<b>0.679</b>	-0.147	<b>0.962</b>	<b>0.806</b>	1.000
	Os_gloei	os destr	Kalk	N <sub>2</sub> O_feb	N <sub>2</sub> O_april	N <sub>2</sub> O_aug

*os\_gloei is organische stof bepaald door gloeiverlies; os\_destr is organische stof bepaald met destructie.  
vet: P < 0.001*

Tabel 7. Grondwatertrappen (Gt), GHG (cm onder maaiveld) en GLG (cm onder maaiveld) op de 6 locaties.

	Gt	GHG	GLG
De Marke	5	25-40	120-180
Lovinkhoeve	6	40	180
Waiboerhoeve	6	40	180
Heino podzol	6	-	-
Cranendonck	8	170	270
Droevendaal	4	50	120

## Discussie

De potentiële denitrificatiecapaciteit blijkt sterk gecorreleerd te zijn met het organische stofgehalte. De hoge waarden van de potentiële denitrificatiecapaciteit op de Waiboerhoeve in april en augustus en de hoge es van Aver Heino in augustus zijn hiermee dus in overeenstemming. Waarschijnlijk zorgt de organische stof ofwel zelf voor een zekere continue toevoer van substraat voor de denitrificeerders, ofwel voor betere groeiomstandigheden voor het gewas waardoor gedurende het groeiseizoen een grotere toevoer uit de wortels ontstaat van gemakkelijk afbreekbaar substraat.

In het vroege voorjaar is de denitrificatie door de lage temperatuur erg laag. Later in het voorjaar, wanneer de temperatuur stijgt, neemt ook de potentiële denitrificatiecapaciteit toe. Toenemende aanvoer van extra substraat door groeiende wortels en toename van minerale N (o.a. door mineralisatie en voorjaarsbemesting) zullen hier ook een rol in spelen, hoewel deze processen sterk gekoppeld zijn aan de temperatuur. De invloed van substraat, temperatuur en minerale stikstof is hierdoor moeilijk te scheiden. Het bodemtype (zand of zware zavel) heeft geen duidelijke invloed, hetgeen onverwacht is omdat in zware zavel gemakkelijker microsites voor kunnen komen waar na regenval denitrificatie optreedt. Uit de vergelijkbare waarden van de potentiële denitrificatiecapaciteiten blijkt dat de micro-organismen in de zandgronden net zo goed voorbereid zijn (gepredisponeerd zijn) om te denitrificeren wanneer de omstandigheden hiervoor gunstig zijn als in zware zavelgrond. De actuele denitrificatie zal echter in de zavelgronden waarschijnlijk hoger zijn omdat gunstige omstandigheden daar vaker voor zullen komen. Actuele denitrificatie is in deze studie echter niet gemeten.

Hoewel er geen duidelijk onderscheid bestaat tussen potentiële denitrificatiecapaciteit op zand- en zware zavelgrond, bestaan er wel grote verschillen tussen de locaties. Op de Waiboerhoeve is deze veruit het hoogst op 5 cm diepte, hetgeen verklaard zou kunnen worden uit de organische-stofhoeveelheid. Voor Aver Heino es geldt een zelfde verklaring. Lager in het profiel wordt deze relatie met organische stof minder duidelijk. Opvallend is dat de grondwatertrap klaarblijkelijk geen effect heeft op de

potentiële denitrificatiecapaciteit. Het grootste verschil in de trappen is aanwezig tussen Cranendonck (Gt 8) en Droevendaal (Gt 4), terwijl het verschil in potentiële denitrificatiecapaciteit nihil is (Tabel 4).

Zoals in Hoofdstuk 3 werd beschreven voor de percelen op de Lovinkhoeve die een verschillend ploegregime hadden, bleek ook hier op de meeste locaties een dip in de potentiële denitrificatiecapaciteit tussen 45 en 65 cm diepte waargenomen te kunnen worden. Op 85 cm diepte nam de potentiële denitrificatiecapaciteit weer toe. Mogelijk worden de omstandigheden in de bovenste laag tot 45 cm vooral gunstig beïnvloed door de aanwezigheid van organische stof en op 85 cm diepte door een gunstig watergehalte in de bodem, waardoor micro-organismen beter voorbereid zijn om te kunnen denitrificeren wanneer de omstandigheden gunstig zijn. In de laag tussen 45 en 65 cm zijn mogelijk de substraatvoorziening en de watervoorziening beide sub-optimaal, waardoor nitrificerders minder goed gepredisponerd zijn ofwel in deze laag minder frequent aanwezig zijn.

De potentiële denitrificatiecapaciteit is in de bovenste 20 cm weliswaar het hoogst, maar blijkt in de lagen beneden 20 cm niet verwaarloosbaar klein te zijn. Vooral omdat deze op grotere diepte weer op lijkt te lopen zorgt denitrificatie in de laag van 20 tot 85 cm en mogelijk dieper waarschijnlijk voor een substantiële in de  $N_2O$ -productie.

## Conclusies

### Methode

De ringenmethode lijkt een betere methode om de potentiële denitrificatiecapaciteit te bepalen dan de traditionele methode. De grondkolommetjes blijven intact, in tegenstelling tot de traditionele methode. Drie ringen in een incubatiepot blijken betere resultaten te geven dan één ring, omdat de variatie in de metingen wordt gedempt (Hoofdstuk 2). Als er wordt gezorgd voor er een voldoende hoeveelheid nitraathoudend water, geven de één-ringmethode en de drie-ringenmethode vergelijkbare resultaten (Hoofdstuk 3).

### Ploegeregime

Het gangbare ploegeregime waarbij tot 25 cm diepte wordt geploegd blijkt ervoor te zorgen dat de potentiële denitrificatiecapaciteit minder dynamiek vertoont over de bovenste 25 cm van het grondprofiel. Vergeleken met de ecoploeg en het minimale ploegen, zorgt het gangbare 'diep'-ploegen voor een geringere potentiële denitrificatiecapaciteit in de bovenste laag rond 5 cm diepte en een grotere op 20 cm diepte. De verhouding tussen de potentiële denitrificatiecapaciteit op 5 cm t.o.v. 20 cm diepte is 1.4, 2.8 en 4.3 bij respectievelijk gangbaar ploegen, ecoploegen en minimaal ploegen. Een andere verdeling van organische stof over de bovenste 20 cm bij het 'diep'-ploegen is hiervan waarschijnlijk de oorzaak.

### Diepte

In de laag tussen 2 en 7 cm is de potentiële denitrificatiecapaciteit in augustus gemiddeld  $4200 \text{ g N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$  per kolom van 5 cm.

In de laag tussen 42 en 87 cm is de potentiële denitrificatiecapaciteit in augustus gemiddeld  $590 \text{ g N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$  per kolom van 5 cm. Over de volledige 45 cm is dit  $5300 \text{ g N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ , wat dus een hogere waarde oplevert als de potentiële denitrificatiecapaciteit in de bovenste 5 cm. Aangezien de meetwaarden in de onderste laag op 85 cm diepte nog op lijken te lopen, is de denitrificatiecapaciteit van de lagen beneden 45 cm niet verwaarloosbaar klein te noemen.

### Seizoen

De metingen op de Lovinkhoeve gaven de hoogste potentiële denitrificatiecapaciteit te zien in juni en juli en de laagste in januari, met september, november en april daar tussen in. Dit is waarschijnlijk sterk gekoppeld aan de hoogte van de temperatuur. De lage waarden in augustus kunnen hier echter niet door verklaard worden. Mogelijk dat de droge tweede helft van juli hiervoor verantwoordelijk is. In de periode 15 juli t/m 6 augustus 1999 viel slechts 16 mm regen, daarna in 4 dagen 22 mm vlak voor de bemonstering. Ook de metingen in 2000 op de 6 verschillende locaties waren gecorreleerd aan de temperatuur met de laagste waarden in februari en de hoogste in augustus. Toch moeten ook andere factoren invloed hebben op de potentiële denitrificatiecapaciteit omdat deze anders op één monsterdatum in alle lagen dezelfde waarde zou moeten geven omdat de incubatieomstandigheden m.b.t. temperatuur, nitraat en vocht voor alle monsters eender zijn. De substraatvoorziening (koolstof) is een factor die waarschijnlijk een belangrijke invloed op de hoogte van de metingen heeft, aangezien deze het hoogst zijn midden in het groeiseizoen, wanneer er een hoge input van substraat is (geweest) door de wortels.



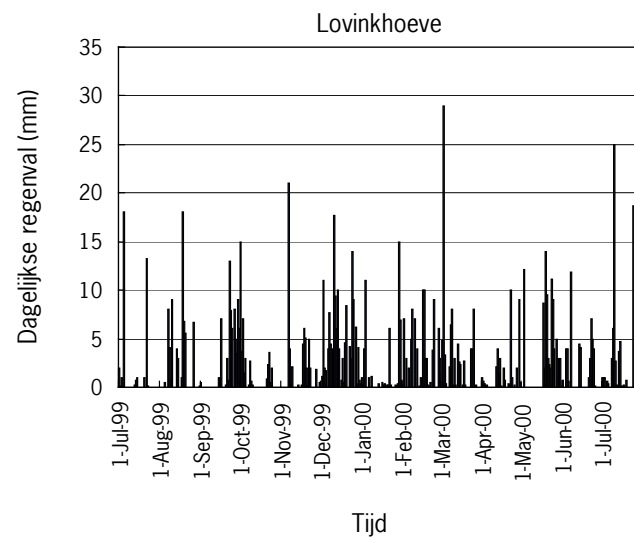
Toch moet hierbij een kanttekening worden geplaatst: de microbiële populatie in de verschillende lagen kan verschillend gepredisponeerd zijn. Doordat bijv de temperatuur en het vochtgehalte in de ondergrond gedurende het seizoen anders zijn dan in de bovengrond, is de populatie mogelijk niet in staat om op dezelfde wijze te reageren op de gunstige omstandigheden die plotseling bij de incubatie worden gecreëerd. De populatie is hierdoor misschien minder actief of minder groot.

## Locatie

Het bodemtype (zand of zware zavel) heeft geen duidelijke invloed, hetgeen onverwacht is omdat in zware zavel gemakkelijker microsites voor kunnen komen waar na regenval denitrificatie optreedt. Uit de vergelijkbare waarden van de potentiële denitrificatiecapaciteiten blijkt dat de micro-organismen in de zandgronden net zo goed voorbereid zijn om te denitrificeren wanneer de omstandigheden hiervoor gunstig zijn als in zware zavelgrond. Wel is er verschil tussen locaties waarbij hoge waarden voor de potentiële denitrificatiecapaciteit worden gevonden op de Waiboerhoeve in april en augustus en de hoge es van Aver Heino in augustus hetgeen verklaard zou kunnen worden uit de toevoer van afbreekbaar organisch materiaal dat als substraat wordt gebruikt. Verschillen in de grondwatertrap tussen de locaties hebben in deze studie geen effect gehad op de potentiële denitrificatiecapaciteit.

## Bijlage I.

### Neerslaggegevens van de Lovinkhoeve in 1999 en 2000

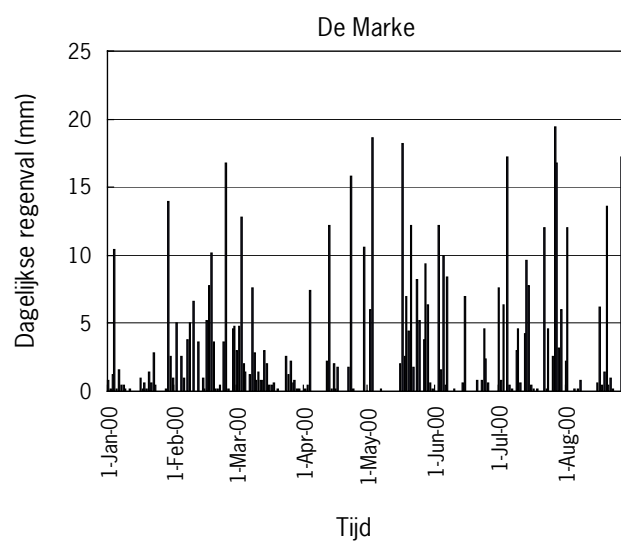




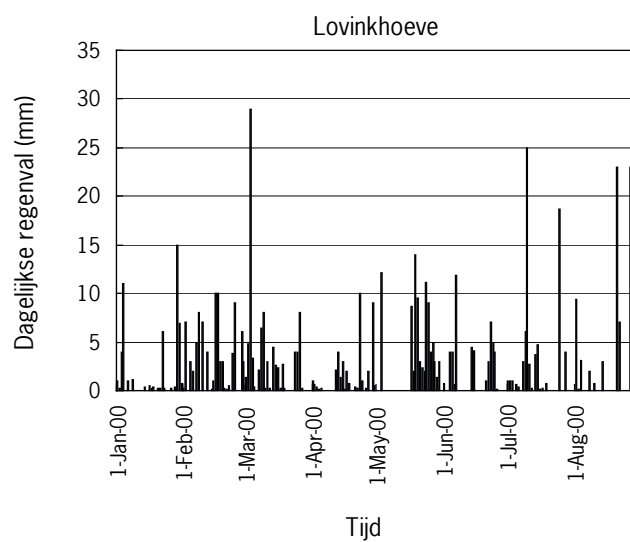
## Bijlage II.

### Neerslaggegevens

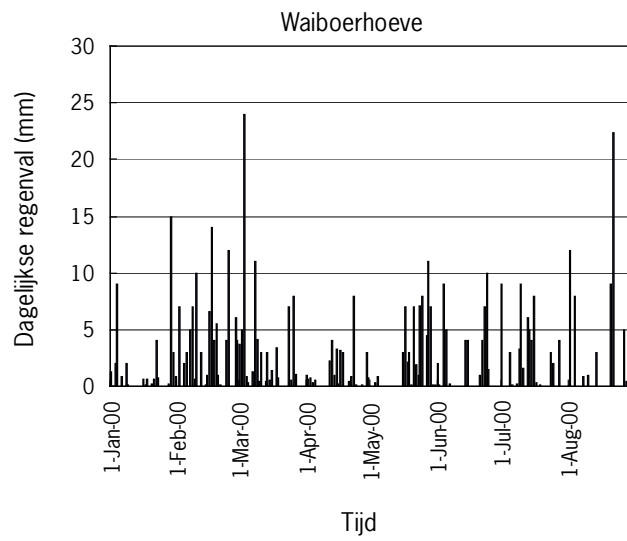
#### 2a. Neerslaggegevens van De Marke



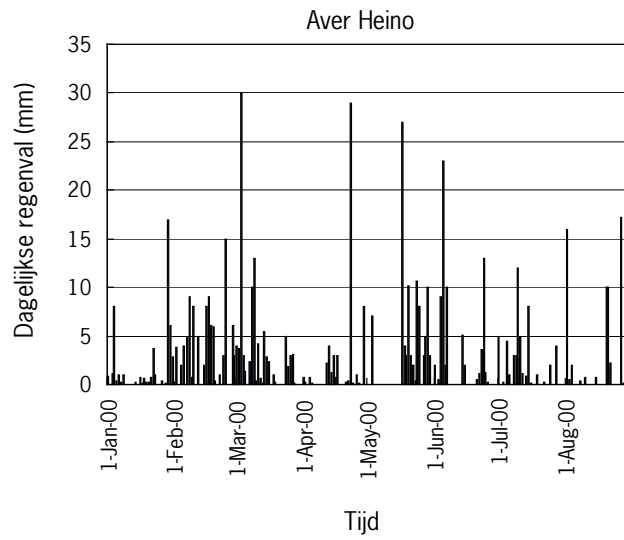
#### 2b. Neerslaggegevens van de Lovinkhoeve



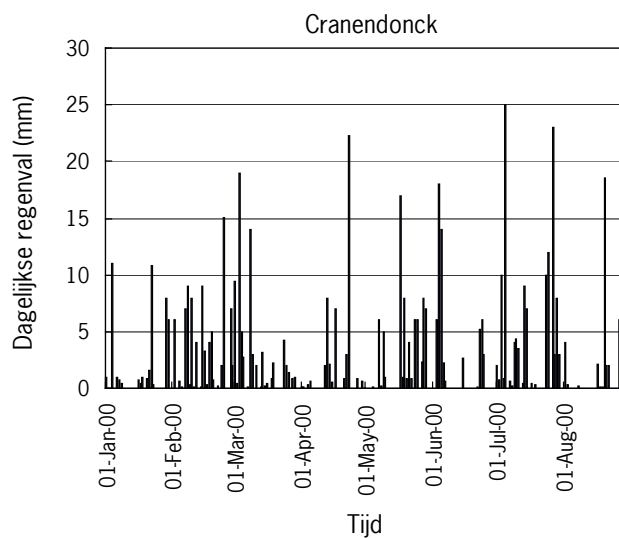
### 2c. Neerslaggegevens van de Waiboerhoeve



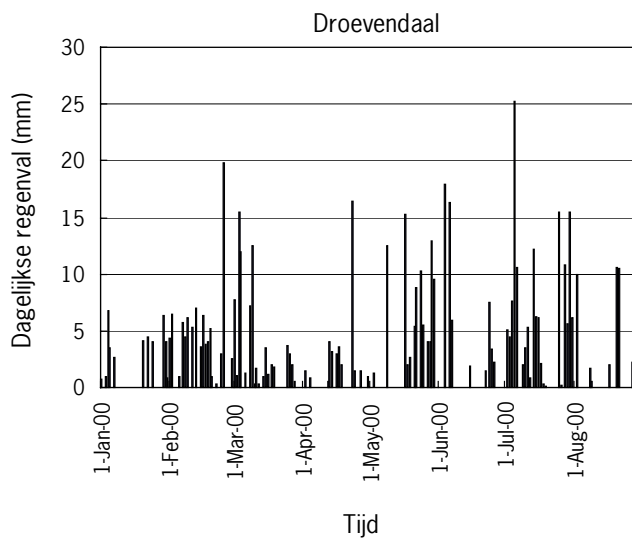
### 2d. Neerslaggegevens van Aver Heino



**2e. Neerslaggegevens van Cranendonck**



**2f. Neerslaggegevens van Droevendaal**





## Bijlage III.

### Genstat-analyse Hoofdstuk 2

```

Genstat 5 Release 3.2 (PC/Windows 95)
Copyright 1995, Lawes Agricultural Trust (Rothamsted Experimental Station)

73
74 set [outprint=dots]
75 unit [nvalues=81]
76
77 factor [labels=!t(OM1,OM2,OM3,gangbaar,minimaal,ecoploeg)] OM
78 factor [labels=!t(zomertarwe,winterpeen,suikerbiet,mais)] gewas
79 factor [labels=!t(traditio,drie_ring_pot,een_ring_pot)] methode
80 "traditio is zonder ring, ring is met 3 ringen in een pot, eenringpot is 1
ring per pot"
81
82 open 'Methode.txt'; channel=2; width=132
83 skip [channel=2] 1
84 read [channel=2] potnr,perceel,akker,OM,gewas,methode,lachgas;\
85     frep=3(*),3(label),*
86 close 'Methode.txt'; channel=2

87 "analyse van effecten organische stofniveau, gewas en methode (traditioneel
en 3 ringen) op N2O-productie"
88
89 treatment OM*gewas*methode
90 restrict potnr,perceel,akker,OM,gewas,methode,lachgas,OM,gewas,methode;\
91     cond=gewas.ne.3.and.methode.ne.3
92     anova [fprob=yes; factorial=3] lachgas

92.....

***** Analysis of variance *****

Variate: lachgas

Source of variation      d.f.      s.s.      m.s.      v.r.      F pr.
OM                        2      1017147.    508574.    13.25    <.001
gewas                    2      3439767.   1719884.   44.82    <.001
methode                  1       57168.     57168.     1.49    0.230
OM.gewas                 4      2094334.   523584.    13.64    <.001
OM.methode               2       19681.     9841.      0.26    0.775
gewas.methode            2       10675.     5338.      0.14    0.871
OM.gewas.methode        4       31988.     7997.      0.21    0.932
Residual                 36     1381465.   38374.
Total                    53     8052227.

* MESSAGE: the following units have large residuals.

*units* 13           -475.   s.e. 160.
*units* 14           -651.   s.e. 160.
*units* 15            494.   s.e. 160.
*units* 16            587.   s.e. 160.

***** Tables of means *****

Variate: lachgas

Grand mean  292.

      OM      OM1      OM2      OM3 gangbaar minimaal ecoploeg

```



		149.	250.	477.	
	gewas	zomertarwe	winterpeen	suikerbiet	mais
		647.	87.		142.
methode		traditio	drie_ring_pot	een_ring_pot	
		324.	259.		
OM	gewas	zomertarwe	winterpeen	suikerbiet	mais
OM1		257.	56.		133.
OM2		465.	103.		182.
OM3		1221.	100.		110.
OM	methode	traditio	drie_ring_pot	een_ring_pot	
OM1		155.	143.		
OM2		291.	209.		
OM3		527.	427.		
gewas	methode	traditio	drie_ring_pot	een_ring_pot	
zomertarwe		691.	604.		
winterpeen		99.	74.		
mais		184.	100.		
OM	gewas	methode	traditio	drie_ring_pot	een_ring_pot
OM1	zomertarwe		239.	275.	
	winterpeen		53.	60.	
	mais		173.	93.	
OM2	zomertarwe		510.	419.	
	winterpeen		117.	89.	
	mais		246.	118.	
OM3	zomertarwe		1323.	1119.	
	winterpeen		127.	73.	
	mais		132.	89.	

\*\*\* Standard errors of differences of means \*\*\*

Table	OM	gewas	methode	OM gewas
rep.	18	18	27	6
d.f.	36	36	36	36
s.e.d.	65.3	65.3	53.3	113.1

Table	OM methode	gewas methode	OM gewas methode
rep.	9	9	3
d.f.	36	36	36
s.e.d.	92.3	92.3	159.9

```

93 restrict potnr,perceel,akker,OM,gewas,methode,lachgas,OM,gewas,methode
94
95 "analyse van effecten grondbewerking en methode (traditioneel en 3 ringen)
op N20-productie"
96
97 treatment OM*methode
98 restrict potnr,perceel,akker,OM,gewas,methode,lachgas,OM,gewas,methode;\
99 cond=gewas.eq.3
100 anova [fprob=yes] lachgas

```

100.....

\*\*\*\*\* Analysis of variance \*\*\*\*\*

Variate: lachgas

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
OM	2	535972.	267986.	7.12	0.009
methode	1	23472.	23472.	0.62	0.445
OM.methode	2	21712.	10856.	0.29	0.755
Residual	12	451703.	37642.		
Total	17	1032860.			

\* MESSAGE: the following units have large residuals.

\*units\* 11                    393.    s.e. 158.

\*\*\*\*\* Tables of means \*\*\*\*\*

Variate: lachgas

Grand mean 403.

OM	OM1	OM2	OM3	gangbaar	minimaal	ecoploeg
				159.	540.	508.
methode	traditio	drie_ring_pot	een_ring_pot			
	439.	367.				
OM	methode	traditio	drie_ring_pot	een_ring_pot		
gangbaar		157.	161.			
minimaal		569.	512.			
ecoploeg		590.	426.			

\*\*\* Standard errors of differences of means \*\*\*

Table	OM	methode	OM
rep.	6	9	3
d.f.	12	12	12
s.e.d.	112.0	91.5	158.4

101 restrict potnr,perceel,akker,OM,gewas,methode,lachgas,OM,gewas,methode  
 102 "analyse of incubatie van 1 ring of 3 ringen invloed heeft op N2)-  
 productie"

103 treatment methode  
 104 restrict potnr,perceel,akker,OM,gewas,methode,lachgas,OM,gewas,methode;\n  
 105 cond=gewas.eq.4.and.methode.ne.1  
 106 anova [fprob=yes] lachgas

106.....

\*\*\*\*\* Analysis of variance \*\*\*\*\*

Variate: lachgas

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
methode	1	96361.	96361.	11.37	0.004
Residual	16	135598.	8475.		
Total	17	231959.			

\* MESSAGE: the following units have large residuals.

\*units\* 10                    242.    s.e. 87.

\*\*\*\*\* Tables of means \*\*\*\*\*

### III - 4

Variate: lachgas

Grand mean 173.

methode	tradio	drie_ring_pot	een_ring_pot
		100.	246.

\*\*\* Standard errors of differences of means \*\*\*

Table	methode
rep.	9
d.f.	16
s.e.d.	43.4

restrict potnr,perceel,akker,OM,gewas,methode,lachgas,OM,gewas,methode

\*\*\*\*\* End of analyse denitrificatie experiment.  
Maximum of 2601 data units used at line 72 (86643 left)

## Bijlage IV.

### Genstat-analyse Hoofdstuk 3

Genstat 5 Release 3.2 (PC/Windows 95)

```

219
220 set [outprint=dots]
221 unit [nvalues=378]
222
223 factor [labels=!t(gangbaar,ecoploeg,minimaal); values=3(1,3,2)42] ploeg
224 factor [labels=!t(L2_7,L17_22,L42_47,L62_67,L82_87)] laag
225 factor [labels=!t(een_ring_pot,drie_ring_pot)] methode
226 factor [labels=!t(behandeling,methode); values=(45(1),9(2))7] analyse
227 factor
[labels=!t(juli99,aug99,sept99,nov99,jan00,april00,juni00);values=54(1,2,3,4,5,6,
7)] tijdstip
228
229 open 'Ploegen.dat'; channel=2; width=132
230 skip [channel=2] 3
231 read [channel=2] meting,pot,akker,laag,OM,methode,lachgas;\
232     freq=3(*),3(label),*
233 close 'Ploegen.dat'; channel=2
234
235 "analyse van effecten ploegeregime en laag op N2O-productie"
236
237 treatment tijdstip*ploeg*laag
238 restrict tijdstip,pot,akker,ploeg,laag,methode,lachgas; cond=analyse.eq.1
239 anova [fprob=yes] lachgas

```

239.....

\*\*\*\*\* Analysis of variance \*\*\*\*\*

Variate: lachgas

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
tijdstip	6	18220203.	3036701.	67.56	<.001
ploeg	2	130437.	65218.	1.45	0.237
laag	4	13586219.	3396555.	75.57	<.001
tijdstip.ploeg	12	248994.	20749.	0.46	0.935
tijdstip.laag	24	7961890.	331745.	7.38	<.001
ploeg.laag	8	1255958.	156995.	3.49	<.001
tijdstip.ploeg.laag	48	2317333.	48278.	1.07	0.358
Residual	210	9438896.	44947.		
Total	314	53159931.			

\* MESSAGE: the following units have large residuals.

```

*units* 19          503.   s.e. 173.
*units* 36          541.   s.e. 173.
*units* 39         -702.   s.e. 173.
*units* 40        -1224.   s.e. 173.
*units* 41          551.   s.e. 173.
*units* 42          673.   s.e. 173.
*units* 43         -932.   s.e. 173.
*units* 45          831.   s.e. 173.
*units* 90          640.   s.e. 173.
*units* 180         593.   s.e. 173.
*units* 300         529.   s.e. 173.

```

\*\*\*\*\* Tables of means \*\*\*\*\*

## IV-2

Variate: lachgas

Grand mean 286.

tijdstip	juli99	aug99	sept99	nov99	jan00	april00	juni00
	413.	130.	217.	282.	35.	118.	804.

	ploeg gangbaar	ecoploeg	minimaal
	264.	313.	281.

laag	L2_7	L17_22	L42_47	L62_67	L82_87
	689.	273.	123.	175.	168.

tijdstip	ploeg gangbaar	ecoploeg	minimaal
juli99		349.	440.
aug99		100.	188.
sept99		187.	231.
nov99		292.	339.
jan00		24.	27.
april00		122.	107.
juni00		771.	856.

tijdstip	laag	L2_7	L17_22	L42_47	L62_67	L82_87
juli99		1153.	312.	228.	262.	109.
aug99		273.	41.	24.	123.	189.
sept99		645.	257.	75.	68.	41.
nov99		738.	156.	78.	163.	275.
jan00		87.	30.	15.	24.	19.
april00		298.	144.	62.	49.	39.
juni00		1631.	973.	376.	539.	503.

ploeg	laag	L2_7	L17_22	L42_47	L62_67	L82_87
gangbaar		514.	358.	135.	178.	132.
ecoploeg		795.	284.	129.	164.	192.
minimaal		759.	178.	104.	184.	180.

tijdstip	ploeg	laag	L2_7	L17_22	L42_47	L62_67	L82_87
juli99	gangbaar		821.	428.	337.	98.	62.
	ecoploeg		1243.	385.	146.	248.	179.
	minimaal		1395.	123.	201.	440.	87.
aug99	gangbaar		40.	45.	14.	217.	186.
	ecoploeg		587.	52.	46.	53.	205.
	minimaal		193.	26.	11.	100.	175.
sept99	gangbaar		573.	231.	30.	81.	21.
	ecoploeg		530.	322.	179.	76.	46.
	minimaal		831.	217.	14.	46.	57.
nov99	gangbaar		751.	198.	58.	260.	191.
	ecoploeg		968.	166.	141.	184.	236.
	minimaal		494.	105.	36.	43.	397.
jan00	gangbaar		11.	56.	17.	22.	14.
	ecoploeg		53.	22.	15.	25.	20.
	minimaal		198.	12.	14.	23.	23.
april00	gangbaar		182.	241.	96.	54.	36.
	ecoploeg		263.	113.	71.	51.	37.
	minimaal		448.	79.	20.	41.	46.
juni00	gangbaar		1221.	1310.	395.	515.	413.
	ecoploeg		1919.	927.	304.	510.	621.
	minimaal		1752.	682.	428.	591.	475.

\*\*\* Standard errors of differences of means \*\*\*

Table	tijdstip	ploeg	laag	tijdstip ploeg
rep.	45	105	63	15
d.f.	210	210	210	210
s.e.d.	44.7	29.3	37.8	77.4

Table	tijdstip laag	ploeg laag	tijdstip ploeg laag
rep.	9	21	3
d.f.	210	210	210
s.e.d.	99.9	65.4	173.1

```

240 restrict tijdstip,pot,akker,ploeg,laag,methode,lachgas
241
242 "analyse van effecten ploegeregime en methode (1 ring en 3 ringen) op N2O-
productie"
243
244 treatment tijdstip*ploeg*methode
245 restrict pot,akker,ploeg,methode,lachgas;
cond=analyse.eq.2.and.tijdstip.ne.7
246 anova [fprob=yes] lachgas

```

246.....

\*\*\*\*\* Analysis of variance \*\*\*\*\*

Variate: lachgas

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
tijdstip	5	8581843.	1716369.	4.56	0.007
ploeg	2	3590126.	1795063.	4.76	0.022
methode	1	3799.	3799.	0.01	0.921
tijdstip.ploeg	10	3007806.	300781.	0.80	0.632
tijdstip.methode	5	1985093.	397019.	1.05	0.417
ploeg.methode	2	101741.	50871.	0.14	0.875
tijdstip.ploeg.methode	10	412193.	41219.	0.11	0.999
Residual	18	6781533.	376752.		
Total	53	24464133.			

\* MESSAGE: the following units have large residuals.

```

*units* 5          1350.  s.e. 354.
*units* 6          -1350.  s.e. 354.

```

\*\*\*\*\* Tables of means \*\*\*\*\*

Variate: lachgas

Grand mean 772.

tijdstip	juli99	aug99	sept99	nov99	jan00	april00	juni00
	1297.	497.	843.	1199.	138.	657.	

ploeg	gangbaar	ecoploeg	minimaal
	568.	612.	1135.

methode	een_ring_pot	drie_ring_pot
	778.	760.

rep.	36	18
------	----	----

tijdstip	ploeg	gangbaar	ecoploeg	minimaal
juli99		985.	901.	2004.
aug99		174.	343.	974.
sept99		485.	460.	1584.
nov99		1393.	1140.	1063.
jan00		35.	67.	312.
april00		336.	758.	877.

IV - 4

tijdstip	methode	een_ring_pot	drie_ring_pot
juli99		1038.	1814.
	rep.	6	3
aug99		435.	621.
	rep.	6	3
sept99		947.	635.
	rep.	6	3
nov99		1264.	1069.
	rep.	6	3
jan00		172.	70.
	rep.	6	3
april00		810.	350.
	rep.	6	3

ploeg	methode	een_ring_pot	drie_ring_pot
gangbaar		533.	638.
	rep.	12	6
ecoploeg		625.	584.
	rep.	12	6
minimaal		1175.	1057.
	rep.	12	6

tijdstip	ploeg	methode	een_ring_pot	drie_ring_pot
juli99	gangbaar		631.	1694.
		rep.	2	1
	ecoploeg		767.	1168.
		rep.	2	1
	minimaal		1715.	2580.
		rep.	2	1
aug99	gangbaar		171.	181.
		rep.	2	1
	ecoploeg		309.	412.
		rep.	2	1
	minimaal		826.	1270.
		rep.	2	1
sept99	gangbaar		572.	312.
		rep.	2	1
	ecoploeg		487.	406.
		rep.	2	1
	minimaal		1782.	1186.
		rep.	2	1
nov99	gangbaar		1387.	1406.
		rep.	2	1
	ecoploeg		1191.	1039.
		rep.	2	1
	minimaal		1214.	762.
		rep.	2	1
jan00	gangbaar		32.	41.
		rep.	2	1
	ecoploeg		56.	90.
		rep.	2	1
	minimaal		428.	78.
		rep.	2	1
april00	gangbaar		407.	193.
		rep.	2	1
	ecoploeg		942.	391.
		rep.	2	1
	minimaal		1082.	468.
		rep.	2	1

\*\*\* Standard errors of differences of means \*\*\*

Table	tijdstip	ploeg	methode	tijdstip ploeg
rep.	9	18	unequal	3
d.f.	18	18	18	18
s.e.d.	289.3	204.6	177.2	501.2

Table	tijdstip methode	ploeg methode	tijdstip ploeg methode	
rep.	unequal	unequal	unequal	
d.f.	18	18	18	
s.e.d.	501.2	354.4	868.0	min.rep
	434.0	306.9	751.7	max-min
	354.4	250.6	613.8	max.rep

247 restrict pot,akker,ploeg,methode,lachgas

248

249 stop

\*\*\*\*\* End of analyse denitrificatie experimenten op Lovinkhoeve; 1999 en 2000.  
Maximum of 9377 data units used at line 245 (79867 left)  
Genstat 5 Release 3.2 (PC/Windows 95)





## Bijlage V.

# Genstat-analyse Hoofdstuk 4

Genstat 5 Release 3.2 (PC/Windows 95)

```

6 set [outprint=dots]
7 unit [nvalues=315]
8
9 factor [labels=!t(feb,april,aug)] tijdstip
factor [labels=!t(Marke, L_hoeve, W_hoeve, AverH_l, AverH_h,C_donck,D_daal)]
  locatie
11 factor [labels=!t(L2_7,L17_22,L42_47,L62_67,L82_87)] laag
12
13 open 'Locaties.dat'; channel=2; width=132
14 skip [channel=2] 3
15 read [channel=2] tijdstip,locatie,laag,pot,lachgas;\
16   freq=3(label),*
17 close 'Locaties.dat'; channel=2
18
19 "analyse van effecten tijdstip, locatie en laag op potentiële N20-
productie"
20 for x=1...3
21 restrict tijdstip,locatie,laag,pot,lachgas; condition=tijdstip.eq.x
22   treatment locatie*laag
23   anova [fprob=yes] lachgas
24 restrict tijdstip,locatie,laag,pot,lachgas
25 endfor

```

25.....

\*\*\*\*\* Analysis of variance \*\*\*\*\*

Variate: lachgas

Source of variation	d.f. (m.v.)	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
locatie	4 (2)	30940.	7735.	4.39	0.004
laag	4	3933395.	983349.	557.52	<.001
locatie.laag	16 (8)	230196.	14387.	8.16	<.001
Residual	50 (20)	88190.	1764.		
Total	74 (30)	3139766.			

\* MESSAGE: the following units have large residuals.

*units* 13	-82.9	s.e. 29.0
*units* 15	101.0	s.e. 29.0
*units* 88	-133.0	s.e. 29.0
*units* 90	197.4	s.e. 29.0

\*\*\*\*\* Tables of means \*\*\*\*\*

Variate: lachgas

Grand mean 120.7

locatie	Marke	L_hoeve	W_hoeve	AverH_l	AverH_h	C_donck	D_daal
	123.2	115.9	120.7	120.7	158.3	104.2	102.1
laag	L2_7	L17_22	L42_47	L62_67	L82_87		
	501.1	95.2	1.0	2.3	4.1		
locatie	laag	L2_7	L17_22	L42_47	L62_67	L82_87	

Marke	571.7	36.7	1.3	1.0	5.5
L_hoeve	342.6	212.1	2.5	8.3	14.1
W_hoeve	504.3	95.0	0.0	1.3	3.1
AverH_l	504.3	95.0	0.0	1.3	3.1
AverH_h	680.1	107.6	1.5	1.0	1.5
C_donck	448.4	70.1	1.4	0.4	0.5
D_daal	456.4	50.0	0.5	3.1	0.6

\*\*\* Standard errors of differences of means \*\*\*

Table	locatie	laag	locatie laag
rep.	15	21	3
d.f.	50	50	50
s.e.d.	15.34	12.96	34.29

(Not adjusted for missing values)

\*\*\*\*\* Missing values \*\*\*\*\*

Variate: lachgas

Unit	estimate
31	3.1
32	3.1
33	3.1
34	1.3
35	1.3
36	1.3
37	0.0
38	0.0
39	0.0
40	95.0
41	95.0
42	95.0
43	504.3
44	504.3
45	504.3
46	3.1
47	3.1
48	3.1
49	1.3
50	1.3
51	1.3
52	0.0
53	0.0
54	0.0
55	95.0
56	95.0
57	95.0
58	504.3
59	504.3
60	504.3

Max. no. iterations 2

25.....

\*\*\*\*\* Analysis of variance \*\*\*\*\*

Variate: lachgas

Source of variation	d.f. (m.v.)	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
locatie	5(1)	2.648E+06	5.297E+05	3.48	0.008
laag	4	1.774E+08	4.436E+07	291.36	<.001

locatie.laag	20(4)	9.958E+06	4.979E+05	3.27	<.001
Residual	60(10)	9.136E+06	1.523E+05		
Total	89(15)	1.623E+08			

\* MESSAGE: the following units have large residuals.

*units* 28	-858.	s.e. 295.
*units* 30	877.	s.e. 295.
*units* 44	-772.	s.e. 295.
*units* 73	-796.	s.e. 295.
*units* 88	-1620.	s.e. 295.
*units* 89	1382.	s.e. 295.

\*\*\*\*\* Tables of means \*\*\*\*\*

Variate: lachgas

Grand mean 1039.

locatie	Marke	L_hoeve	W_hoeve	AverH_l	AverH_h	C_donck	D_daal
	905.	1158.	1368.	942.	889.	974.	1039.
laag	L2_7	L17_22	L42_47	L62_67	L82_87		
	3589.	889.	205.	284.	229.		
locatie	laag	L2_7	L17_22	L42_47	L62_67	L82_87	
Marke		2722.	903.	137.	409.	352.	
L_hoeve		3624.	1149.	392.	382.	246.	
W_hoeve		4792.	743.	385.	479.	440.	
AverH_l		2732.	968.	282.	378.	347.	
AverH_h		3123.	925.	102.	154.	141.	
C_donck		4016.	678.	102.	56.	19.	
D_daal		4117.	858.	32.	127.	62.	

\*\*\* Standard errors of differences of means \*\*\*

Table	locatie	laag	locatie laag
rep.	15	21	3
d.f.	60	60	60
s.e.d.	142.5	120.4	318.6

(Not adjusted for missing values)

\*\*\*\*\* Missing values \*\*\*\*\*

Variate: lachgas

Unit	estimate
196	62.
197	62.
198	62.
199	127.
200	127.
201	127.
202	32.
203	32.
204	32.
205	858.
206	858.
207	858.
208	4117.
209	4117.
210	4117.

Max. no. iterations 1

25.....

\*\*\*\*\* Analysis of variance \*\*\*\*\*

Variate: lachgas

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
locatie	6	1.243E+07	2.071E+06	8.54	<.001
laag	4	2.051E+08	5.128E+07	211.39	<.001
locatie.laag	24	4.458E+07	1.857E+06	7.66	<.001
Residual	70	1.698E+07	2.426E+05		
Total	104	2.791E+08			

\* MESSAGE: the following units have large residuals.

*units* 46	1220.	s.e. 402.
*units* 59	-1311.	s.e. 402.
*units* 60	1613.	s.e. 402.
*units* 71	-1060.	s.e. 402.

\*\*\*\*\* Tables of means \*\*\*\*\*

Variate: lachgas

Grand mean 1512.

locatie	Marke	L_hoeve	W_hoeve	AverH_l	AverH_h	C_donck	D_daal
	1394.	1055.	1871.	1707.	2042.	1143.	1369.
laag	L2_7	L17_22	L42_47	L62_67	L82_87		
	4190.	1600.	732.	460.	576.		
locatie	laag	L2_7	L17_22	L42_47	L62_67	L82_87	
Marke		4873.	925.	311.	488.	371.	
L_hoeve		2179.	1655.	629.	409.	400.	
W_hoeve		6374.	1065.	648.	525.	746.	
AverH_l		3093.	2790.	820.	600.	1234.	
AverH_h		5929.	2241.	1284.	285.	473.	
C_donck		3012.	1150.	750.	417.	387.	
D_daal		3866.	1377.	684.	494.	423.	

\*\*\* Standard errors of differences of means \*\*\*

Table	locatie	laag	locatie laag
rep.	15	21	3
d.f.	70	70	70
s.e.d.	179.9	152.0	402.2

26  
27 stop

\*\*\*\*\* End of analyse denitrificatie 6 locaties 2000. Maximum of 6370 data units used at line 25 (82874 left)  
Genstat 5 Release 3.2 (PC/Windows 95)  
Copyright 1995, Lawes Agricultural Trust (Rothamsted Experimental Station)