

A  
2  
K  
80

Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente  
Vestiging Naaldwijk  
Kruisbroekweg 5, Postbus 8, 2670 AA Naaldwijk  
Tel. 0174-636700, fax 0174-636835

## **DENITRICATIE IN KASGROND**

*Theoretische berekeningen voor vijf chrysantenbedrijven*

Project 6208

P.H.J. Korsten

Naaldwijk, augustus 1996

Intern verslag 59

220 44184

# INHOUD

<b>VOORWOORD</b> .....	4
<b>SAMENVATTING</b> .....	5
<b>1. INLEIDING</b> .....	7
<b>2. DENITRIFICATIE ONDER TEELTOMSTANDIGHEDEN</b> .....	8
<b>2.1 Inleiding</b> .....	8
<b>2.2 Berekening van de minimale denitrificatie</b> .....	9
<b>2.3 Berekende denitrificatie aan de hand van de relatie van Postma</b> .....	9
<b>2.3.1 Berekening van het vochtgehalte aan de hand van pF-curven volgens Rijtema</b> .....	10
<b>2.3.2 Berekening denitrificatie aan de hand van de berekende vochtgehalten</b> .....	11
<b>3 DENITRIFICATIE DOOR STOMEN</b> .....	13
<b>4 DENITRIFICATIE AAN DE HAND VAN BICARBONAATGEHALTES IN DE DRAINAGE</b> .....	14
<b>5 BEREKENING STIKSTOFVERLIEZEN PERCOLATIEWATER</b> .....	16
<b>6 KWANTIFICERING DENITRIFICATIE</b> .....	18
<b>6.1 Inleiding</b> .....	18
<b>6.2 Berekeningen</b> .....	18
<b>6.3 Betrouwbaarheid berekeningen</b> .....	19
<b>6.4 N-verliezen door denitrificatie op bedrijfsniveau</b> .....	20
<b>LITERATUURLIJST</b> .....	24
<b>BIJLAGE 1</b> .....	25
<b>BIJLAGE 2</b> .....	26
<b>BIJLAGE 3</b> .....	27
<b>BIJLAGE 4</b> .....	28

## VOORWOORD

In dit discussiestuk is een poging gewaagd de stikstofverliezen door denitrificatie te kwantificeren. De schrijver realiseert zich de betrekkelijkheid van deze berekeningen, alhoewel zijns inziens deze berekeningen een duidelijk beeld scheppen van de omvang van de problematiek van denitrificatie in kasgronden. Het zal eenieder duidelijk zijn dat de kennis, opgedaan uit het denitrificatie-onderzoek bij vijf chrysantenbedrijven in kasgrond (NMI, 1996) en het mineralenbalansonderzoek op deze bedrijven door het PBG (1996), niet voldoende is om een compleet beeld te scheppen. Hiervoor is een zekere intensivering van dit onderzoek onontkoombaar. Het onderzoek is niet alleen in het belang van de teler, die veel toegediende stikstof verloren ziet gaan voor de teelt. Ook levert het veel gegevens op voor het milieukundige onderzoek naar de belasting van stikstof naar het milieu, zowel door uitspoeling als vervluchtiging. Daarnaast is het belang van dit onderzoek voor het mineralenbalansonderzoek in het algemeen, niet uit te vlakken.

## SAMENVATTING

Om in de stikstofbalans bij grondteeltbedrijven een goede inschatting te kunnen maken van de stikstofverliezen door denitrificatie heeft het NMI in 1994 en 1995 op zes chrysantenbedrijven metingen gedaan naar deze verliezen. Naar aanleiding van deze metingen zijn binnen project 6208: "Mineralenbalansen grondteelten", berekeningen uitgevoerd om tot een inschatting te komen van de totale stikstofverliezen als gevolg van denitrificatie op vijf chrysantenbedrijven. Het doel van deze berekeningen was het inschatten van het aandeel van de denitrificatie in het balansverschil en het vinden van handvaten om deze stikstofverliezen ook op andere grondteeltbedrijven binnen het onderzoek te kunnen inschatten.

In eerste instantie zijn berekeningen uitgevoerd aan de hand van de actuele denitrificatiemetingen, zoals die door het NMI zijn uitgevoerd. Hierbij werden de gegevens van de bovenste 40 cm van de grond geïnterpreteerd voor de onderlaag, om zodoende een minimale hoeveelheid gedenertrificeerde N vast te stellen. Deze minimale hoeveelheid bedroeg 16 tot 90 kg N.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup>, afhankelijk van het bedrijf. Naast deze berekeningen, is er aan de hand van de inschatting van het vochtgehalte van de grond met behulp van een tweetal relaties een hoeveelheid stikstof berekend. Deze bedroeg, afhankelijk van de gebruikte relatie en het bedrijf tussen de 400 en 6700 kg N.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup>. De stikstofverliezen tijdens het stomen zijn op twee bedrijven gemeten en ingeschat voor de overige drie bedrijven.

Naast deze berekeningen zijn er berekeningen uitgevoerd aan de hand van andere gegevens uit het mineralenbalansonderzoek. Hiervoor zijn twee metingen genomen. Enerzijds de meting van de hoeveelheid bicarbonaat in het drainagewater, anderzijds de stikstofverliezen tussen de teeltlaag en de drainage. Aangezien bij de denitrificatie HCO<sub>3</sub> vrijkomt, zou deze mogelijk gemeten kunnen zijn in het drainagewater. Deze gehalten waren in de drainage dermate hoog dat de veronderstelling heerste dat dit voor een groot gedeelte inderdaad door denitrificatie veroorzaakt moest zijn. De hoeveelheden stikstof die hiermee gemoeid zouden zijn, zijn berekend aan de hand van de totale hoeveelheid bicarbonaat in de drainage, alsook na correctie voor het mogelijk in oplossing gaan van koolzure kalk. Naar aanleiding van de eerste berekeningen zou het stikstofverlies als gevolg van denitrificatie tussen de 290 en 980 kg N.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup> bedragen. Gecorrigeerd voor de koolzure kalk zou dit tussen de 300 en 600 kg N.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup> zijn. Door een onderscheid te maken in de stikstofverliezen in de bouwvoor en tussen de bouwvoor en de drainage, is voor de diepere lagen het stikstofverlies vastgesteld. Deze verliezen lagen tussen de 40 en 360 kg N.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup>.

Aan de hand van een inschatting van de betrouwbaarheid van de berekeningen zijn een aantal berekeningen gecombineerd om de stikstofverliezen door denitrificatie per bedrijf te kwantificeren. Voor de verschillende bodemlagen zijn verschillende berekeningen genomen.

- 0-20 cm: berekende minimale denitrificatie aan de hand van de actuele meting;
- 20-40 cm: berekende minimale denitrificatie aan de hand van de actuele meting;
- 40-60 cm: berekende denitrificatie m.b.v. vochtgehalte Rijtema en relatie Rolston;
- 60-80 cm: berekende denitrificatie m.b.v. vochtgehalte Rijtema en relatie Rolston;

grondwater: niet berekend;  
stomen: berekende denitrificatie aan de hand van de meting op twee bedrijven.

De resultaten van de betreffende inschatting varieerden tussen de 270 en 3840 kg N.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup>.

Aangezien deze verliezen soms ruim boven de balansverschillen uitkomen zijn er blijkbaar factoren die voorkomen dat denitrificatie optreedt. Hier zijn verschillende oorzaken voor te noemen. Ten eerste kan de bacteriepopulatie te gering zijn om alle nitraat om te zetten. Verder is het mogelijk dat er pleksgewijs nitraatgebrek optreedt, waardoor de aanwezige organische stof niet geheel omgezet kan worden. Ten derde kan ook de ontwateringssnelheid van de percelen te groot zijn, waardoor de bacteriepopulatie niet de tijd heeft om alle nitraat om te zetten. Maar ook een te lage inschatting van het balansverschil kan een oorzaak zijn van het verschil tussen het berekende N-verlies door denitrificatie en het balansverschil. Om niet tot veel te hoge inschattingen te komen is de maximale hoeveelheid stikstof die denitrificeert begrenst op de hoeveelheid stikstof die verklaard kan worden uit de bicarbonaatgehalten in de drainage. Hierdoor variëren de stikstofverliezen tussen de 270 en 860 kg N.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup>. Deze verliezen overtreffen in enkele gevallen de balansverschillen, maar de verklaring hiervan zal liggen in het ontbreken van de mineralisatie in de balansberekeningen.

Er lijkt een verband te bestaan tussen de denitrificatiebepaling aan de hand van de bicarbonaatgehalten in de drainage en de potentiële denitrificatie op de betreffende bedrijven. Ook de hoeveelheden die aan de hand van de bicarbonaatgehalten worden berekend lijken aannemelijk. Voor de inschatting van de denitrificatie op de andere bedrijven binnen het mineralenbalansonderzoek lijkt de bepaling aan de hand van de bicarbonaatgehalten het meest voor de hand te liggen.

## 1. INLEIDING

Om in de stikstofbalans van grondteeltbedrijven een goede inschatting te kunnen maken van de stikstofverliezen door denitrificatie heeft het NMI in 1994 en 1995 op zes chrysantenbedrijven metingen gedaan naar deze verliezen. Tijdens dit onderzoek is er onderscheid gemaakt tussen de potentiële denitrificatie in de laag 0-80 cm, de actuele denitrificatie in de laag 0-40 cm en de denitrificatie als gevolg van stomen van de grond. Deze verschillende metingen kunnen gebruikt worden om een schatting te maken van de totale denitrificatie in kasgrond van de zes onderzochte bedrijven. De resultaten van dit onderzoek zijn weergegeven in verslag C 95.230, Stikstofverliezen door denitrificatie op praktijkbedrijven met jaar-rondchrysanten, ir. R. Postma, 1996.

Naar aanleiding van deze metingen zijn binnen project 6208: "Mineralenbalansen grondteelten", berekeningen uitgevoerd om tot een inschatting te komen van de totale stikstofverliezen als gevolg van denitrificatie op vijf chrysantenbedrijven. Het doel van deze berekeningen was het inschatten van het aandeel van denitrificatie in het balansverschil en het vinden van handvaten om deze ook op andere grondteeltbedrijven binnen het onderzoek in te kunnen schatten.

Bij de schattingen naar aanleiding van de metingen is onderscheid gemaakt in twee verschillende onderdelen, namelijk de denitrificatie onder teeltomstandigheden (hoofdstuk 2) en de denitrificatie als gevolg van stomen (hoofdstuk 3). Daarnaast is gekeken naar mogelijkheden om aan de hand van het bicarbonaatgehalte in het drainagewater een inschatting te maken van de denitrificatie (hoofdstuk 4). Verder is gekeken naar het verloop van de stikstofverliezen in het percolerende water (hoofdstuk 5). In hoofdstuk 6 zijn de verschillende berekeningen naast elkaar gezet en gewaardeerd. Het laatste hoofdstuk geeft een overzicht van de conclusies.

## 2. DENITRIFICATIE ONDER TEELTOMSTANDIGHEDEN

### 2.1 INLEIDING

De methode van meten van de potentiële denitrificatie staat beschreven in het verslag van Postma, 1996.

De resultaten van de metingen van de potentiële denitrificatie en de actuele denitrificatie op de vijf chrysantenbedrijven staan in tabel 1.

*Tabel 1 - Actuele denitrificatiesnelheid (ADS) en potentiële denitrificatiesnelheid in kg N.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup> voor de vijf chrysantenbedrijven (Postma, 1996)*

Diepte, cm	bedrijf				
	1	2	3	4	5
<b>ADS:</b>					
0-20			8.7		5.6
20-40			13.4		17.6
<b>PDS:</b>					
0-20	940	1343	1042	1269	988
20-40	404	971	923	1134	1708
40-60	49	999	530	1296	1606
60-80	291	1367	442	4120	1245
<b>0-80</b>	<b>1684</b>	<b>4679</b>	<b>2938</b>	<b>7820</b>	<b>5547</b>

Uit het onderzoek bleek dat bij de actuele denitrificatie de verschillen tussen de laag 0-20 cm en de laag 20-40 cm significant verschillen. De verschillen tussen de bedrijven waren niet significant. Onder de aanname dat de denitrificatie op de andere bedrijven ook niet significant zou verschillen zou het volgende gesteld kunnen worden:

- de gemiddelde denitrificatie op chrysantenbedrijven is:
  - in de laag 0-20 cm  $(8.7 + 5.6)/2 = 7.2 \text{ kg N. ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$
  - in de laag 20-40 cm  $(13.4 + 17.6)/2 = 15.5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ .

Dit zou betekenen dat er per ha 22.7 kg N per jaar zou denitrificeren in de betreffende lagen.

Als de potentiële denitrificatiemetingen erbij betrokken worden kan er een schatting gemaakt worden van de denitrificatie over een grotere diepte, namelijk van 0-80 cm.

Er is een onderscheid gemaakt in twee methoden van berekenen:

- globale berekening van de minimale denitrificatie aan de hand van de gemeten actuele denitrificatie (2.1);
- berekening denitrificatie aan de hand van de beschreven relatie van Postma (2.2).

## 2.2 BEREKENING VAN DE MINIMALE DENITRIFICATIE

De berekening van de minimale denitrificatie aan de hand van de resultaten van de actuele denitrificatiemetingen is gedaan onder aanname van een drietal veronderstellingen. Ten eerste wordt er van uitgegaan dat de metingen op de twee bedrijven representatief zijn voor alle vijf de bedrijven. Daarnaast wordt verondersteld dat de metingen van de actuele denitrificatie voor alle bedrijven in gelijke mate afhankelijk zijn van de gemeten potentiële denitrificatiesnelheid op de betreffende bedrijven, waardoor de actuele denitrificatie omgerekend kan worden naar een percentage van de potentiële denitrificatie. Verder wordt aangenomen dat het berekende percentage denitrificatie in de laag 20-40 cm hanteerbaar is voor de laag 40-80 cm. Dit wordt gedaan in de veronderstelling dat het O<sub>2</sub>-gehalte in de diepere laag lager zal zijn (Postma, 1996) en daardoor waarschijnlijk een hogere denitrificatie tot gevolg zal hebben dan berekend (vandaar minimale denitrificatie).

In tabel 2 staat de gemiddelde hoeveelheid N weergegeven volgens de berekening aan de hand van de actuele denitrificatie. In de laag 0-20 cm is een percentage denitrificatie van 0.70% (resp. Honselersdijk 0.83% en Maasland 0.57% van PDS) berekend en voor de lagen 20-80 cm 1.24% (resp. Honselersdijk 1.45% en Maasland 1.03% van PDS).

*Tabel 2 - Berekende minimale denitrificatie aan de hand van de ADS en PDS in kg N.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup> voor de vijf chrysantenbedrijven*

Diepte, cm	bedrijf				
	1	2	3	4	5
0-20	6.6	9.4	8.7	8.9	5.6
20-40	5.0	12.0	13.4	14.1	17.6
40-60	0.6	12.4	7.7	16.1	16.5
60-80	3.6	17.0	6.4	51.1	12.8
<b>0-80</b>	<b>15.8</b>	<b>50.8</b>	<b>36.2</b>	<b>90.1</b>	<b>52.5</b>

## 2.3 BEREKENDE DENITRIFICATIE AAN DE HAND VAN DE RELATIE VAN POSTMA

Postma heeft aan de hand van de beschreven correctiefactoren O<sub>2</sub>-gehalte, NO<sub>3</sub>-gehalte en temperatuur een relatie opgesteld voor de bepaling van de actuele denitrificatie aan de hand van de potentiële denitrificatiesnelheid. De volgende relatie geldt:

$$ADS = PDS \cdot f_{\text{vocht}} \cdot f_{\text{NO}_3} \cdot f_{\text{temp}} \quad (1)$$

waarbij:

ADS: actuele denitrificatiesnelheid (kg N ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>)

PDS: potentiële denitrificatiesnelheid (kg N ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>)

f<sub>vocht</sub>: factor, bepaald aan de hand van het watergevuuld poriënvolume

f<sub>NO<sub>3</sub></sub>: factor, bepaald aan de hand van NO<sub>3</sub>-gehalte in het bodemvocht. Deze is 1 indien NO<sub>3</sub>-gehalte > 2.9 mmol/l, wat in kasgrond vrijwel altijd het geval is.

f<sub>temp</sub>: factor, bepaald aan de hand van het temperatuurverschil tussen de ADS-bepalingen en de PDS-bepalingen. Deze temperatuur was in beide gevallen ± 20°C, waardoor f<sub>temp</sub> gelijk is aan 1.



Uit deze relatie kan daardoor afgeleid worden dat de relatie bij chryasant herschreven kan worden tot:

$$ADS = PDS \cdot f_{\text{vocht}} \quad (2)$$

Om aan de hand van de gemeten PDS de ADS te kunnen bepalen is het noodzakelijk om met behulp van een nauwkeurige bepaling het vochtgehalte vast te stellen, omdat in het traject tussen de 80 en 100% watergevulde poriënvolume de denitrificatie enorm toeneemt (Postma, 1996).

Omdat de vochtgehaltenes van de verschillende lagen niet bepaald zijn, zijn deze ingeschat voor de vijf bedrijven. Voor deze schattingen is gebruik gemaakt van de vochtgehaltenes in verschillende gronden volgens Rijtema (1969).

### 2.3.1 Berekening van het vochtgehalte aan de hand van pF-curven volgens Rijtema

Uit de gegevens van Rijtema is in het kader van deze berekeningen onderscheid gemaakt tussen klei en zavel. Deze keuze is gemaakt aangezien er weinig gegevens van de bedrijven zijn over de samenstelling van de bodemlagen tot 80 cm diepte. Voor de berekening van de kleigronden (drie van de vijf bedrijven) is een gemiddelde waarde berekend over 4 kleigronden uit de gegevens van Rijtema (clay loam, light clay, silty clay, basin clay, zie bijlage 1) en voor de zavelgronden een gemiddelde waarde uit twee grondsoorten (sandy clay loam, silty clay loam). Hierdoor blijft de afwijking tussen de uitersten van deze gronden beneden de 10% watergevuld poriënvolume voor de kleigronden en beneden de 2% watergevuld poriënvolume voor de zavelgronden. De berekende vochtgehaltenes op verschillende diepten zijn weergegeven in tabel 3.

Tabel 3 - Berekende vochtgehaltenes (vg) en fracties watergevuld poriënvolume (wfp) voor klei- en zavelgronden, bij verschillende drukhoogten ( naar Rijtema, 1969)

Drukhoogte (cm)	0		-10		-31		-100	
Grondsoort	vg	wfp	vg	wfp	vg	wfp	vg	wfp
klei	48.6	1.00	47.2	0.97	45.9	0.94	43.8	0.90
zavel	45.4	1.00	42.3	0.93	39.3	0.87	35.5	0.78

Om een globale schatting te maken van het watergevuld poriënvolume op verschillende hoogtes boven het grondwater is het verloop tussen pF 1.49 en pF 2.00 (drukhoogte 31 tot 100 cm) lineair verondersteld (deze veronderstelling is niet juist, maar de afwijking in dit traject is maximaal  $\pm 1\%$ ), waardoor bij een gemiddelde diepte (en dus grondwaterdiepte) van 80 cm het vochtgehalte op 30 cm en 10 cm diepte te berekenen is. Voor de schatting van het watergevuld poriënvolume in de grondlagen 0-20, 20-40, 40-60 en 60-80 cm zijn respectievelijk de drukhoogten 70, 50, 31, 10 cm genomen. De waarden voor het watergevuld poriënvolume zijn weergegeven in tabel 4.

**Tabel 4 - Berekende fracties watergevuuld poriënvolume voor de betreffende bodemlagen bij klei en zavelgronden**

Bodemlaag (cm)	0-20	20-40	40-60	60-80
grondsoort	wfp	wfp	wfp	wfp
klei	0.92	0.93	0.94	0.97
zavel	0.82	0.84	0.87	0.93

Uit deze berekeningen blijkt dat de vochtgehalten in de bovengrond erg hoog zijn. Dit wordt veroorzaakt doordat een pF-curve het hoogst mogelijke vochtgehalte weergeeft bij een bepaalde drukhoogte in evenwicht. Er zijn een aantal versturende factoren. Ten eerste kan hysteresis (verbreken van het capillaire contact) een rol spelen. Daarnaast beïnvloedt de verdamping van het gewas en de grond het vochtgehalte, waardoor het transport van water naar de bovengrond niet voldoende is. Hierdoor zijn deze berekeningen zeer afhankelijk van de irrigatie van de percelen. De drukhoogte zal in de bovenste lagen dus groter zijn dan - 70 cm. Uit onderzoek van Van den Ende (ongepubliceerd) bleek dat veldvochtige kasgrond ongeveer een pF-waarde heeft van 1.8 (drukhoogte ongeveer 80 cm). Hieruit blijkt dat de gehalten in tabel 4 te hoog zijn ingeschat voor de laag 0-20 cm en waarschijnlijk ook voor de laag 20-40 cm, maar dat de afwijking niet erg groot is (verschil tussen drukhoogte -70 cm en -80 cm geeft voor deze gronden een verschil in watergevuuld poriënvolume van ongeveer 1%, voor andere gronden kan dit een verschil opleveren tot 7% wfp).

### 2.3.2 Berekening denitrificatie aan de hand van de berekende vochtgehalten

Uit de verkregen cijfers is een schatting gemaakt voor de actuele denitrificatie, berekend uit de potentiële denitrificatie. De berekeningen zijn gebaseerd op de relaties tussen watergevuuld poriënvolume en relatieve denitrificatiesnelheid volgens de relaties van Linn and Doran (1984) en Rolston et al. (1984), zie bijlage 2. De actuele denitrificatie is berekend door de relatieve denitrificatiesnelheid te vermenigvuldigen met de potentiële denitrificatie.

In tabel 5 zijn de resultaten weergegeven van de berekeningen. Bij de berekeningen is onderscheid gemaakt tussen de verschillende grondlagen.

**Tabel 5 - Berekende actuele denitrificatie op de vijf chrysantenbedrijven in kg N.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup> bij de berekende watergevuulde poriënvolumes voor de verschillende grondlagen. Berekend volgens de relaties van Linn and Doran, 1984 (L) en Rolston et al., 1984 (R).**

Bedrijf	1		2		3		4		5	
	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
0-20	714	338	618	54	479	42	964	457	751	366
20-40	319	178	505	78	480	74	896	499	1349	752
40-60	40	25	609	140	323	74	1063	674	1317	835
60-80	265	221	1080	601	349	194	3749	3131	1133	946
<b>0-80</b>	<b>1339</b>	<b>763</b>	<b>2812</b>	<b>873</b>	<b>1632</b>	<b>384</b>	<b>6672</b>	<b>4761</b>	<b>4550</b>	<b>2889</b>

Zoals blijkt uit de resultaten van deze berekeningen zijn de verschillen tussen de beide relaties groot. In het traject waarin het vochtgehalte van deze gronden zich bevindt, is het zeer belangrijk om nauwkeurig het watergevuuld poriënvolume van de grondlagen te weten. Dit heeft namelijk veel invloed op de relatieve denitrificatiesnelheid en daarmee op de berekende actuele denitrificatie. Toch kan gesteld worden dat de globale berekeningen voor het doel waarvoor ze binnen dit verslag gebruikt worden, voldoende informatie verschaffen over de orde van grootte van denitrificatie waaraan gedacht moet worden. Zoals uit tabel 5 blijkt overschrijden de hoeveelheden stikstof die dit betreft volgens de twee relaties beide de hoeveelheid stikstof die uit het balansverschil blijkt. Tussen de twee relaties blijken grote verschillen op te treden, met de relatie van Linn en Doran worden hoeveelheden berekend die 2-4 keer de waarde hebben van de berekeningen met de relatie van Rolston et al.

### 3 DENITRIFICATIE DOOR STOMEN

Naast stikstofverliezen door denitrificatie tijdens 'normale' omstandigheden kunnen aanzienlijke hoeveelheden stikstof verloren gaan tijdens en vlak na het stomen van de kasgrond. Deze stikstofverliezen kunnen gedeeltelijk worden toegeschreven aan denitrificatie, maar worden ook veroorzaakt door uitspoeling van stikstof.

De exacte grootte van het verlies door denitrificatie is niet bekend, maar de totale verlies aan stikstof lag in het onderzoek van het NMI op één bedrijf in de bovenste 60 cm op  $86 \text{ kg N.ha}^{-1}$  en op het andere bedrijf op  $20 \text{ kg N.ha}^{-1}$  in de bovenste 20 cm.

Uit laboratoriummetingen bleek de  $\text{N}_2\text{O}$ -emissie voor ongeveer 30% bij te dragen aan het totale  $\text{NO}_3$ -verlies. De  $\text{N}_2\text{O}$ -emissie was het hoogst in gronden met de laagste vochtgehaltes voor het stomen. Daarnaast werd de emissie gestimuleerd door een toenemende stoomduur en hogere temperatuur.

Uitgaande van het gemeten verlies van 86 en  $20 \text{ kg N}$  en het aandeel van ongeveer 30% door de denitrificatie zou dat betekenen dat er over de laag 0-60 cm  $25,8 \text{ kg N.ha}^{-1}$  per keer bij stomen met onderdruk verloren gaat. Voor het stomen zonder onderdruk is gemeten in de laag 0-20 cm, waarbij  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$  verloren is gegaan, waarvan  $6 \text{ kg N.ha}^{-1}$  door denitrificatie.

Op 50 cm diepte is de temperatuur in de ondergrond van het bedrijf dat gestoomd heeft zonder onderdruk  $23^\circ\text{C}$ . Daardoor zal de denitrificatie door stomen niet veel hoger zijn dan de gemeten  $6 \text{ kg}$ .

Voor de interpretatie van de gegevens voor kwantificering van de denitrificatie is het noodzakelijk meer gegevens te hebben over de wijze en de duur van het stomen. Dit betreft met name informatie over de vochtgehaltes in de grond en over het temperatuurverloop. Toch kan gesteld worden dat met de meting op deze twee bedrijven twee uitersten genomen zijn, waardoor de genoemde waarden ook uitersten zullen zijn (stoomduur van 10 uur met onderdruk en stoomduur van 4 uur zonder onderdruk). De hoeveelheid stikstof die per hectare door middel van denitrificatie verloren gaat zal tussen de  $6$  en  $26 \text{ kg}$  bedragen. Voor de berekening in de mineralenbalans wordt hiervoor een gemiddelde genomen van  $16 \text{ kg N.ha}^{-1}$  per keer stomen.

## 4 DENITRIFICATIE AAN DE HAND VAN BICARBONAATGEHALTES IN DE DRAINAGE

Als denitrificatie optreedt vindt de volgende omzetting plaats :



Hieruit blijkt dat er bij de omzetting van nitraat bicarbonaat gevormd wordt. Tijdens het onderzoek mineralenbalans grondteelten bleek het drainagewater vaak behoorlijke gehalten aan  $\text{HCO}_3$  te bevatten. Deze bicarbonaat zou in principe van denitrificatie afkomstig kunnen zijn. In de grond kan echter ook bicarbonaat gevormd worden door het oplossen van koolzure kalk en daardoor een verhoging van bicarbonaat in het drainagewater veroorzaken. Er kan dus niet zonder meer gesteld worden dat de bicarbonaat in drainagewater afkomstig is van denitrificatie. Bij de omzetting van koolzure kalk zou, naast bicarbonaat, ook calcium vrij komen. Deze calcium werd tijdens het onderzoek ook gemeten. In deze situatie zou er een tekort op de calciumbalans moeten zijn (het verschil in hoeveelheid koolzure kalk is namelijk niet meegenomen in de balans). Dit verschil is gelijk aan de hoeveelheid calcium dat extra opgelost is in de bodem, en daarmee ook de hoeveelheid bicarbonaat die daarbij vrijgekomen kan zijn. Om de berekening compleet te maken moeten ook de overige invloeden op de calciumbalans meegenomen worden. Hierbij moet gedacht worden aan neerslagen van calcium met sulfaat en fosfaat en de uitwisseling van calcium aan het adsorptiecomplex met kalium, magnesium, natrium en eventueel ammonium.

De volgende berekening is uitgevoerd per bedrijf:

Als uitgangspunt is het verschil op de calciumbalans (zie bijlage 3) genomen. Er blijkt op de vijf bedrijven een tekort te zijn op de calciumbalans, er is dus meer afgevoerd door de verschillende afvoerposten dan aangevoerd via water, bemesting en dergelijke. Dit balansverschil kan mogelijk verklaard worden door uitwisseling aan het kationencomplex. Hierbij zijn de balansverschillen van de magnesium- en kaliumbalans afgewogen tegen het verschil in de calciumbalans, aangezien uitwisseling met deze elementen plaats heeft kunnen vinden. Natrium en ammonium zijn buiten beschouwing gelaten. Natrium vanwege de invloed van de concentraties van het inzijgende water in de balans (de concentraties van het inzijgende water zijn niet exact bekend). Ammonium speelt in de balans geen rol van betekenis. De rest van het balansverschil is vergeleken met neerslag van sulfaat met het calcium, of het oplossen daarvan. Fosfor is bij deze neerslagen buiten beschouwing gelaten, omdat hierbij waarschijnlijk de reacties met ijzer en aluminium een grotere rol spelen. Het overgebleven verschil is, indien dit negatief is, verklaard door de hoeveelheden  $\text{HCO}_3$  in het drainagewater.

De hoeveelheid bicarbonaat in het drainagewater, eventueel verminderd met het calciumtekort, is toegeschreven aan denitrificatie. Uit relatie (3) blijkt dat voor elke mol  $\text{HCO}_3$  die door denitrificatie wordt gevormd, ook 1 mol  $\text{N-NO}_3$  nodig is. Deze hoeveelheid N is uitgedrukt in  $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$  voor de verschillende bedrijven. De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in bijlage 3. In tabel 6 zijn de hoeveelheden stikstof weergegeven die na de verschillende berekeningen. Deze hoeveelheden zijn telkens uitgedrukt in  $\text{kg N}$  verlies, die mogelijk opgetreden zijn als gevolg van denitrificatie. Daarnaast zijn voor de bedrijven de balanstekorten op de N-balans weergegeven.

**Tabel 6 -** Berekende hoeveelheid N in  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$  die in het drainagewater maximaal vervangen kan zijn door bicarbonaat op de vijf chrysantenbedrijven.  
a: berekening aan de hand van de balansoverschotten en tekorten ( $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ )  
b: berekende hoeveelheid N die gedenitrificeerd kan zijn aan de hand van de  $\text{HCO}_3^-$ -gehaltenes in de drainage ( $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ )

Bedrijf	1		2		3		4		5	
	jaar 1	jaar 2	jaar 1	jaar 2	jaar 1	jaar 2	jaar 1	jaar 2	jaar 1	jaar 2
N- hoeve. kg/ha										
a	186	-214	122	-215	-415	-213	-171	-140		
b	420	507	287	698	979	747	479	627		
a + b	607	293	409	483	564	534	308	487		
balansverschil	496	510	434	219	407	319	-23	400		

Uit tabel 6 blijkt dat op de meeste bedrijven een gedeelte van de tekorten op de calciumbalans veroorzaakt kan zijn door het in oplossing gaan van koolzure kalk (a). Dit zou tot gevolg hebben gehad dat er ook bicarbonaat vrijgekomen is. Het effect zou zijn dat er theoretisch een negatieve denitrificatie opgetreden zou zijn, uitgaande van het  $\text{HCO}_3^-$ . Gekeken naar de hoeveelheid bicarbonaat in het drainagewater, is berekend in hoeverre dit bijgedragen heeft aan denitrificatie van stikstof (b). De netto denitrificatie is daaruit berekenend. Geconcludeerd kan worden dat in de meeste situaties het bicarbonaat niet geheel aan denitrificatie toe te rekenen is. Als echter de balansverschillen voor calcium verrekend zijn met de hoeveelheid bicarbonaat, blijkt het verschil in 6 van de 8 situaties het balansverschil voor stikstof toch nog te overtreffen. Naar deze berekeningen zou gesteld kunnen worden dat de hoeveelheid N die denitrificeert voor de chrysantenbedrijven tussen de 250 en 600 kg N per hectare per jaar bedraagt. Wel dient bij deze berekeningen opgemerkt te worden dat bij bedrijf 1 waarschijnlijk kaliumfixatie is opgetreden, waardoor de berekende hoeveelheden N die kunnen denitrificeren hoger uitkomen.

Bij de berekeningen is in z'n geheel geen rekening gehouden met de invloed van de organische stof. Het is onbekend of uit de organische stof netto mineralisatie of immobilisatie van stikstof optreedt. Bij chrysantenbedrijven wordt relatief veel organisch materiaal aangevoerd, aangezien de perspotjes die gebruikt worden bij de productie van het plantmateriaal veelal onder gewerkt worden. Dit materiaal bevat voornamelijk veen.

## 5 BEREKENING STIKSTOFVERLIEZEN PERCOLATIEWATER

De concentratie in het bodemvocht is op twee manieren berekend. Ten eerste aan de hand van de metingen van de concentratie N in het grondmonsters (1:2 volume-extractie). Daarnaast aan de hand van de toegediende hoeveelheid stikstof verminderd met de opname. Vergelijking van de uitkomsten lieten verschillen zien in de gerealiseerde concentraties in de grond en de te verwachten concentraties in de grond voor N. Er zijn verscheidene redenen aan te geven, die deze verschillen kunnen verklaren, onder andere een foute inschatting van de verdamping. Toch is het interessant om dit verschil in het kader van de denitrificatie te vermelden omdat dit ook een stikstofverlies is dat nog niet nader verklaard is.

Of er enige relatie met de denitrificatie is niet duidelijk.

De berekening die is uitgevoerd is als volgt (zie bijlage 4):

$$N_{\text{verf}(1)} = ((N_{\text{aanv}} - N_{\text{opn}}) / (\text{giet} - \text{verd.}) * (1000/14) - [N_{\text{bod}}]) * (\text{giet} - \text{verd.}) * 0.014 \quad (4)$$

waarin:

$N_{\text{verf}(1)}$ : hoeveelheid N die niet wordt teruggevonden in de grond na toediening (kg.ha<sup>-1</sup>)

$N_{\text{aanv}}$ : hoeveelheid N die wordt aangevoerd d.m.v. gietwater en meststoffen (kg.ha<sup>-1</sup>)

$N_{\text{opn}}$ : hoeveelheid N die wordt opgenomen door het geteelde gewas (kg.ha<sup>-1</sup>)

giet : hoeveelheid gietwater (m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>)

verd. : hoeveelheid verdampt water (m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>)

$[N_{\text{bod}}]$ : concentratie N in het bodemvocht, berekend aan de hand van de berekeningsmethode van Sonneveld et al (1989) (mmol.l<sup>-1</sup>)

Uit de berekeningen volgt dat in vier van de vijf situaties de verwachte concentratie in het bodemvocht niet wordt bereikt, terwijl op 1 bedrijf in beide jaren de verwachte concentratie wordt overschreden. In tabel 7 staan de hoeveelheden stikstof vermeld die wel zijn aangevoerd, maar die niet tot verhoging van het gehalte in het bodemvocht hebben geleid bij de vijf chrysantenbedrijven. De berekende hoeveelheden hebben geen relatie met de gevonden balansverschillen.

Dezelfde berekening is uitgevoerd, waarbij de concentratie in het bodemvocht vervangen is door de berekende concentratie in het drainagewater. Dit houdt in dat de concentratie van N in het drainagewater gecorrigeerd is voor de inzijging. De volgende berekening is uitgevoerd (zie bijlage 4).

$$N_{\text{verf}(2)} = ((N_{\text{aanv}} - N_{\text{opn}}) / (\text{giet} - \text{verd.}) * (1000/14) - [N_{\text{ber.dr}}]) * (\text{giet} - \text{verd.}) * 0.014 \quad (5)$$

waarbij:

$N_{\text{verf}(2)}$ : hoeveelheid N die niet wordt teruggevonden in de drainage na toediening (kg.ha<sup>-1</sup>)

$[N_{\text{ber.dr}}]$ : berekende drainageconcentratie, gecorrigeerd voor inzijging (mmol.l<sup>-1</sup>)

Uit deze berekening blijkt de concentratie in het drainagewater lager uit te vallen dan te verwachten was aan de hand van de toegediende hoeveelheid N (balansverschil). In alle gevallen blijkt de berekende drainageconcentratie meer af te wijken van de verwachte concentratie, dan het voedingsniveau in de grond afwijkt van de verwachte waarde, dus  $N_{\text{verf}(2)}$  is in alle gevallen hoger dan  $N_{\text{verf}(1)}$ . Dit betekent dat er onder de bouwvoor nog stikstof verloren moet gaan. Deze hoeveelheid varieert tussen de totale  $N_{\text{verf}(2)}$  en het verschil tussen  $N_{\text{verf}(2)}$  en  $N_{\text{verf}(1)}$ . De verklaring voor dit laatste verschil kan liggen in de denitrificatie, verandering in vastlegging in biomassa in de grond en wegzijging tussen de drainage door. Het meest waarschijnlijk is denitrificatie, omdat voor vastlegging in de biomassa grote hoeveelheden orga-

nisch materiaal nodig zijn, die niet continu in de kas gebracht zijn. Wegzijing tussen de drainage door heeft op bedrijf 2 en 3 plaatsgevonden, maar daar niet tot verlaging van de drainageconcentraties geleid, omdat het drainagewater op deze bedrijven niet vermengd is met inzijgend water. Op bedrijf 4 en 5 is dit wel een mogelijkheid, omdat deze bedrijven last hebben van inzijging, maar in een gebied liggen waar netto wegzijing kan plaatsvinden door onttrekking van grondwater in het betreffende gebied door bronnen. In tabel 7 staan de resultaten van bovengenoemde berekening weergegeven. Daarnaast is in deze tabel het verschil weergegeven tussen  $N_{\text{verl}(2)}$  en  $N_{\text{verl}(1)}$ .

**Tabel 7 -** Berekende hoeveelheid N in  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$  die niet verklaard wordt uit de gehalten in de grond en in de drainage van de vijf chrysantenbedrijven

$N_{\text{verlies}}$ $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$	bedrijf				
	1	2	3	4	5
<b><math>N_{\text{verl}(1)}</math></b>					
jaar 1	338	168	-190	79	173
jaar 2			-25	219	219
gemiddeld	338	168	-108	149	196
<b><math>N_{\text{verl}(2)}</math></b>					
jaar 1	414	498	346	428	81
jaar 2			375	374	392
gemiddeld	414	498	361	401	237
<b><math>N_{\text{verl}(2)} - N_{\text{verl}(1)}</math></b>	76	330	361*	252	39

\* het negatieve verschil in de bouwvoor wordt niet doorberekend

In deze berekeningen lijkt geen relatie te bestaan tussen de berekende verliezen aan N en de potentiële denitrificatie. Het valt wel op dat de bedrijven op lichtere gronden de hoogste stikstofverliezen hebben tussen teeltlaag en de drainage. Bij bedrijf 3 blijkt het negatieve verlies in de bouwvoor verklaard te worden door het verlies in de ondergrond, want het totale verschil zou het balansverschil overstijgen. Hier is bij de berekening van het totale stikstofverlies de  $N_{\text{verl}(2)}$  als maximum genomen. Het negatieve verlies zou een gevolg kunnen zijn van mineralisatie van organische stof.



## 6 KWANTIFICERING DENITRIFICATIE

### 6.1 INLEIDING

Naar aanleiding van de metingen van het NMI naar de denitrificatie in kasgronden bij de chrysantenteelt, kan een marge aangegeven worden waarbinnen de werkelijke denitrificatie te kwantificeren is.

Bij deze inschatting worden verschillende aspecten meegewogen.

Ten eerste wordt hierin de meting van het NMI van de actuele denitrificatie op twee chrysantenbedrijven meegenomen (1), alsook de meting van de potentiële denitrificatie (2). De inschatting van de actuele denitrificatie aan de hand van de metingen van de potentiële denitrificatie zijn op twee manieren meegenomen (4,5). Daarnaast wordt de meting van de extra denitrificatie door stomen verrekend (6). Naast de voorgenoemde aspecten wordt ook de berekening van de maximale denitrificatie aan de hand van de bicarbonaatgehalten, voor (7) en na correctie voor de balansverschillen met de overige mineralen (8), meegewogen. Verder wordt gekeken naar de stikstofverliezen, zoals deze berekend zijn uit de verschillen tussen de berekende bodemvochtgehalten, het berekende percolatiewater en het gemeten drainagewater bij de vijf bedrijven (9). Als laatste worden de gegevens vergeleken met de balansverschillen (10). Om tot een goede inschatting op de praktijkbedrijven te komen is de betrouwbaarheid van de berekeningen ingeschat en zijn een aantal berekeningen gecombineerd.

### 6.2 BEREKENINGEN

De gemeten waarde voor de actuele denitrificatie in de laag 0-40 cm bedraagt op twee bedrijven respectievelijk 22.1 en 23.2  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ .

Aan de hand van de bepaling van de minimale denitrificatie met behulp van de bovenstaande metingen, kan gesteld worden dat deze onder normale omstandigheden tussen de 16 en 90  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$  bedraagt in de bovenste 80 cm van de grond, afhankelijk van de bedrijfsomstandigheden.

De berekende actuele denitrificatie aan de hand van de relatie van Postma zou, met behulp van de vochtgehalten volgens Rijtema (1969), tussen de 400 en 6700  $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$  bedragen, afhankelijk van de gebruikte relatie en afhankelijk van het bedrijf.

Van de berekeningen aan de hand van de bicarbonaatgehalten in het drainagewater zijn twee verschillende benaderingen opgenomen. Enerzijds de berekening aan de totale hoeveelheid bicarbonaat, anderzijds de berekeningen met inachtneming van de koolzure kalk. In de eerste situatie varieert de denitrificatie tussen de 240 en 920  $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ , rekening houdend met de omzetting van koolzure kalk zou dit 250-600  $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$  zijn.

Als gevolg van stomen liggen de verliezen door denitrificatie tussen de 6 en 26  $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ .

Naast de verliezen door denitrificatie is ook het verschil weergegeven van het verlies van stikstof tussen de bouwvoor en de drainage. Deze verliespost varieert tussen de 39 en 361  $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ . Naast deze oorzaak van stikstofverlies, wordt niet ingegaan op de extra aanvoer van stikstof door middel van mineralisatie, omdat hiervan nog geen gegevens beschikbaar zijn. De balansverschillen lagen op de betreffende bedrijven tussen de - 23 en 510  $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$ . In tabel 8 staan de verschillende berekeningen per bedrijf vermeld (eventueel gemiddeld over twee jaar).

Tabel 8 - Berekende stikstofverliezen in  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$  en balansverschillen op de vijf chrysantenbedrijven

N- hoeve., $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jr}^{-1}$	bedrijf				
	1	2	3	4	5
1. actueel (gem.)	22.7	22.7	22.1	22.7	23.2
2. potentieel	1684	4679	2938	7820	5547
3. minimaal (ber.)	15.8	50.8	36.2	90.1	52.5
4. ber. actueel (Linn)	1339	2812	1632	6672	4550
5. ber. actueel (Rolston)	763	873	384	4761	2889
6. stomen (ber.)	16	16	26	16	6
7. bicarbonaat (- $\text{CaCO}_3$ )	420	507	493	863	553
8. bicarbonaat (+ $\text{CaCO}_3$ )	607	244	446	549	398
9. percolatie	76	330	361	252	39
10. balansverschillen	496	510	327	363	189

### 6.3 BETROUWBAARHEID BEREKENINGEN

Uit tabel 8 blijkt een grote variatie in mogelijk stikstofverlies door denitrificatie, afhankelijk van de gebruikte methode van berekenen. Om een inschatting te maken van de werkelijke denitrificatie is het nodig de betrouwbaarheid van de verschillende methoden te weten.

De actuele meting is vrij betrouwbaar voor de laag 0-40 cm, alhoewel deze meting slechts op twee van de vijf bedrijven uitgevoerd is en deze gegevens bij gebruik geëxtrapoleerd moeten worden naar de andere bedrijven.

De meting van de potentiële denitrificatie is nauwkeurig, doch moeilijk te interpreteren naar de werkelijke denitrificatie. Deze gegevens zijn wel goed te gebruiken om het verschil tussen bedrijven duidelijk te kunnen maken.

De berekening van de minimale denitrificatie is aan de lage kant. Het is duidelijk dat deze hoeveelheden daardoor bruikbaar zouden kunnen zijn voor de lagen 0-20 cm en eventueel voor de laag 20-40 cm. Dit zijn de lagen in de grond die het moeilijkst in te schatten zijn aan de hand van andere berekeningen.

De actuele denitrificatieberekening aan de hand van de pF-curves van Rijtema geven een goed inzicht in de mogelijke denitrificatie in de ondergrond voor de bedrijven. De berekening gaat echter voorbij aan de goede doorluchting van de bovenlaag in kasgronden. Bovendien heeft deze berekening het probleem dat er geen rekening kan worden gehouden met de activiteit van de aanwezige bacteriepopulatie en nitraatconcentratie, waardoor een overschatting van de denitrificatie plaats kan vinden. Het grootste probleem van deze berekening is echter dat de vaststelling van het vochtgehalte waarmee gerekend wordt dermate nauwkeurig plaats moet vinden dat dit met de betreffende tabellen niet goed mogelijk is. Deze methode van berekenen maakt wel duidelijk dat in de ondergrond van de betreffende bedrijven de vochtigheid ruimschoots voldoende is voor een hoge denitrificatiesnelheid.

De berekening aan de hand van de bicarbonaatgehalten geeft een veel duidelijker beeld van de maximale denitrificatie die plaats kan vinden. Verschillende invloeden spelen een belangrijke rol, maar zullen er waarschijnlijk niet voor zorgen dat de denitrificatie hoger is dan aangegeven met deze methode. Door rekening te houden met de omzetting van koolzure kalk is misschien een nauwkeurigere inschatting te maken. Er lijkt echter een beter verband te bestaan tussen de bicarbonaathoeveelheden in de drainage en de potentiële denitrificatie, dan tussen de aangepaste bicarbonaathoeveelheden en de potentiële denitrificatie.

De berekening aan de hand van het percolatiewater maakt duidelijk waar de stikstofverliezen in de grond optreden. Waarschijnlijk zal een groot gedeelte van dit verlies in de ondergrond te wijten zijn aan denitrificatie. Er treedt echter ook vaak een behoorlijk verlies van stikstof op in de teeltlaag. Dit stikstofverlies zal maar voor een gedeelte te verklaren zijn door denitrificatie.

De meting van het stomen is door de verschillende manieren van stomen erg bedrijfsafhankelijk, maar waarschijnlijk wordt er geen grote fout gemaakt door een gemiddelde hoeveelheid N te berekenen voor verlies als gevolg van denitrificatie. De balansverschillen kunnen een indicatie geven van de afwijkingen van de berekeningen. Toch lijkt er geen relatie te zijn tussen de balansverschillen en de potentiële denitrificatie. Dit kan veroorzaakt zijn door mineralisatie of immobilisatie van stikstof.

De berekening van de balansverschillen grenst de denitrificatie af, alhoewel een gedeelte van de aanvoer (de mineralisatie) een rol kan spelen bij het vergroten van het balansverschil.

Een verschil tussen de berekeningen aan de hand van de metingen en de overige berekeningen is dat bij de berekeningen met behulp van de balans en de bicarbonaatgehalten in de drainage rekening wordt gehouden met eventuele denitrificatie in de bovenste laag van het grondwater. Bij de metingen is dit niet meegenomen.

#### **6.4 N-VERLIEZEN DOOR DENITRIFICATIE OP BEDRIJFSNIVEAU**

Met behulp van de gegevens over de betrouwbaarheid van de verschillende berekeningen is het mogelijk om een combinatie van verschillende methoden te gebruiken voor het vaststellen van de hoeveelheid stikstof die denitrificeert op de specifieke bedrijven.

Hierbij is een keuze gemaakt voor het gebruik van de berekende denitrificatie op basis van de metingen die zijn uitgevoerd. Voor de laag 0-40 cm is de berekening van de minimale denitrificatie gebruikt, voor de laag 40-80 cm de berekening van de denitrificatie met het vochtgehalte van Rijtema en de relatie van Rolston et al. Hiervoor is gekozen om een eventuele overschatting van de denitrificatie te beperken. Naast deze berekeningen is rekening gehouden met het stomen. De mogelijke denitrificatie in het bovenste grondwater is verwaarloosd, omdat hiervoor niet voldoende gegevens beschikbaar zijn. Bij het interpreteren van de gegevens zal hier echter wel rekening mee gehouden worden. De volgende optelling wordt verricht:

0-20 cm:	berekende minimale denitrificatie aan de hand van de actuele meting;
20-40 cm:	berekende minimale denitrificatie aan de hand van de actuele meting;
40-60 cm:	berekende denitrificatie m.b.v. vochtgehalte Rijtema en relatie Rolston;
60-80 cm:	berekende denitrificatie m.b.v. vochtgehalte Rijtema en relatie Rolston;
grondwater:	niet berekend;
stomen:	berekende denitrificatie aan de hand van de meting op twee bedrijven.

In tabel 9 staan de hoeveelheden N weergegeven, per laag van 20 cm kasgrond, die volgens de gebruikte berekening denitrificeren.

**Tabel 9 - Berekening van de hoeveelheid N die verloren gaat door denitrificatie op de vijf chrysantenbedrijven**

Diepte, cm	bedrijf				
	1	2	3	4	5
0-20	6.6	9.4	8.7	8.9	5.6
20-40	5.0	12.0	13.4	14.1	17.6
40-60	25	140	74	674	835
60-80	221	601	194	3131	946
stomen	16	16	25.8	16	6
<b>totaal</b>	<b>274</b>	<b>778</b>	<b>316</b>	<b>3844</b>	<b>1810</b>

Uit deze berekeningen blijken grote hoeveelheden stikstof verloren te gaan door denitrificatie. Aangezien deze verliezen soms ruim boven de balansverschillen uitkomen zijn er blijkbaar factoren die voorkomen dat denitrificatie optreedt. Hier zijn verschillende redenen voor te noemen. Ten eerste kan de bacteriepopulatie te gering zijn om alle nitraat om te zetten. Verder is het mogelijk dat er pleksgewijs nitraatgebrek optreedt, waardoor de aanwezige organische stof niet geheel omgezet kan worden. Ten derde kan ook de ontwateringssnelheid van de percelen te groot zijn, waardoor de bacteriepopulatie niet de tijd heeft om alle nitraat om te zetten. Mogelijk is dit een belangrijke oorzaak, aangezien er nog relatief veel nitraat in het drainagewater wordt teruggevonden. Maar ook een te lage inschatting van het balansverschil kan een oorzaak zijn van het verschil tussen het berekende N-verlies door denitrificatie en het balansverschil. Zeker op de bedrijven waar een hoge potentiële denitrificatie op kan treden als gevolg van de aanwezigheid van veel organisch materiaal, is dit waarschijnlijk. Op deze bedrijven is ook veel organisch materiaal aanwezig dat kan mineraliseren. Deze post in de balans, die nog onbekend is, zou dus voor een deel van de ontbrekende nitraat voor denitrificatie kunnen zorgen.

In tabel 10 zijn de berekende waarden voor het stikstofverlies als gevolg van denitrificatie (tabel 9) binnen mogelijke grenzen geplaatst. Als ondergrens voor het minimale stikstofverlies is de berekende waarde genomen van het stikstofverlies in het percolerende water tussen de bouwvoor en de drainage. Voor de maximale grens is de bepaling van de denitrificatie aan de hand van het bicarbonaatgehalte genomen. Indien de berekende waarde buiten de grenzen valt is deze grens vastgesteld als denitrificatiehoeveelheid.

Uit tabel 10 blijkt in twee van de vijf situaties het balansverschil negatief te worden. Dit tekort zou verklaard kunnen worden door de mineralisatie die nog niet is ingeschat.

**Tabel 10 - Vaststelling van de afvoerpost als gevolg van denitrificatie in de balans op de vijf chrysantenbedrijven (kg N.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup>)**

Bedrijf	minimaal	berekend	maximaal	denitrificatie	balansverschil
1	76	274	420	274	496
2	329	778	507	507	510
3	361	316	493	316	327
4	252	3844	863	863	363
5	39	1810	553	553	189

## 7. CONCLUSIE EN DISCUSSIE

Uit de voorgaande hoofdstukken blijkt dat er veel wegen te bewandelen zijn om tot een mogelijke inschatting te komen van de hoeveelheid stikstof die verdwijnt door denitrificatie.

Duidelijk zijn de hoeveelheden stikstof die daarmee gemoeid zijn in de bovenste 40 cm. Deze hoeveelheden zijn groter dan in eerste instantie bij het onderzoek mineralenbalansen waren ingeschat, maar verklaren slechts voor een klein deel de balansverschillen van de stikstofbalans. Een heel ander beeld geven de metingen van de potentiële denitrificatie. Duidelijk is dat deze metingen veel hoger uitvallen dan de werkelijke denitrificatie. Ook de interpretatie aan de hand van de geschatte vochtgehalten en aan de hand van de relaties van Linn en Doran (1984) en Rolston et al. (1984) geven veelal (te) hoge waarden voor de denitrificatie.

De betrouwbaarheid van de berekeningen met behulp van de bicarbonaatgehalten of de uitspoeling van stikstof is nogal discutabel.

Toch lijkt er een verband te bestaan tussen de bicarbonaatgehalten en de metingen van de potentiële denitrificatie.

De aanname dat de overschotten op de N-balans niet in z'n geheel veroorzaakt zouden kunnen zijn door denitrificatie lijken echter tegengesproken te kunnen worden. Hoeveelheden van 300 tot 800 kg N.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup> die verloren gaan door denitrificatie lijken zeer aannemelijk.

Er blijven nog een groot aantal vraagtekens overeind met betrekking tot de denitrificatie in kasgronden, maar ook andere problemen duiken op met betrekking tot de benutting van meststoffen.

Er bestaat een reële mogelijkheid om meer duidelijkheid te krijgen over de denitrificatie onder de teeltlaag en in het bovenste grondwater door het maken van een bicarbonaatprofiel aan de hand van bodemvocht- en grondwatermonsters. Deze metingen zouden ook meer inzicht verschaffen over mogelijke afbraak van koolzure kalk en het effect daarvan op het bicarbonaatgehalte in het drainagewater.

Verder lijkt het zeer zinvol om de N-verliezen tijdens het stomen in kaart te brengen. Dit is zowel van belang voor het denitrificatie-onderzoek, als voor de advisering van de bemesting na het stomen. Het is nog onduidelijk wel aandeel van de verliezen denitrificeert en welk deel uitspoelt.

Denitrificatie kan een milieuprobleem zijn, indien de N<sub>2</sub>O niet verder omgezet wordt naar N<sub>2</sub>. In hoeverre dit gebeurt is nog onbekend. Maar als inderdaad een groot deel van de denitrificatie in de ondergrond plaatsvindt is de kans groot dat de omzetting naar N<sub>2</sub> gebeurt zal zijn voordat de stikstof door de grondlaag gedrongen is en aan de buitenlucht wordt blootgesteld. Een hoge denitrificatiesnelheid zou dan gunstig zijn doordat de uitspoeling vermindert. Het blijft echter nog onduidelijk waarom niet alle nitraat in de ondergrond denitrificeert (nitraatgehalten in de drainage vaak rond de 8 mmol.l<sup>-1</sup>), ondanks de optimale omstandigheden.

Gebleken is dat de stikstofverliezen op de betreffende bedrijven reeds voor een aanzienlijk deel in de teeltlaag plaatsvinden, die voor een groot deel niet aan de denitrificatie toegewezen kunnen worden. Uit metingen blijkt dat de te verwachten gehalten aan N in de bouwvoor, als gevolg van de toegediende hoeveelheid mest, niet worden gerealiseerd. Dit zorgt ervoor dat het inschatten van de benodigde hoeveelheid mineralen voor een teelt niet goed mogelijk is, waarvan minder optimale omstandigheden voor de plant het gevolg kunnen zijn. Deze situatie kan

leiden tot opbrengstderving door gebrek of overmaat van mineralen. Het is nodig om goed inzicht te hebben in de oorzaken van deze afwijkingen. Een onderzoek naar de invloeden van de methode van bemesting op het resultaat zou hier meer informatie over kunnen verschaffen. Hierbij kan gedacht worden aan de wijze van toediening, de voorbereiding van de grond, grondsoort, structuur van de grond en de watervoorziening.

Het mineralenbalansonderzoek dat plaats heeft gevonden op de chrysantenbedrijven is ook op andere grondteeltbedrijven uitgevoerd. Om op deze bedrijven ook een inschatting te kunnen geven van de stikstofverliezen als gevolg van denitrificatie lijkt de methode met het bicarbonaatgehalte in het drainagewater het meest geschikt. Deze gehalten zijn binnen dat onderzoek bekend en kunnen eventueel gecorrigeerd worden voor het in oplossing gaan van koolzure kalk.

## LITERATUURLIJST

Ende, J. van den, 1963, Grondonderzoek op basis van het verzadigingsextract. II. Volumegewicht en vochtgehalten bij pF 0.4 en 1.8. Intern verslag, Naaldwijk.

Korsten, P., 1996. Mineralenbalans grondteelten. Verslag van vijf chrysantenbedrijven. Rapport 59, Naaldwijk.

Postma, R., 1996. Stikstofverliezen door denitrificatie op praktijkbedrijven met jaarrondchrysan. Verslag C 95.230.

Rijtema, P.E., 1969, Soil moisture forecasting, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Nota, Wageningen.

Sonneveld et al., C., 1989. Estimating the chemical compositions of soil solutions by obtaining saturation extracts or specific 1:2 by volume extracts. Plant and soil 122, pp. 169-175.

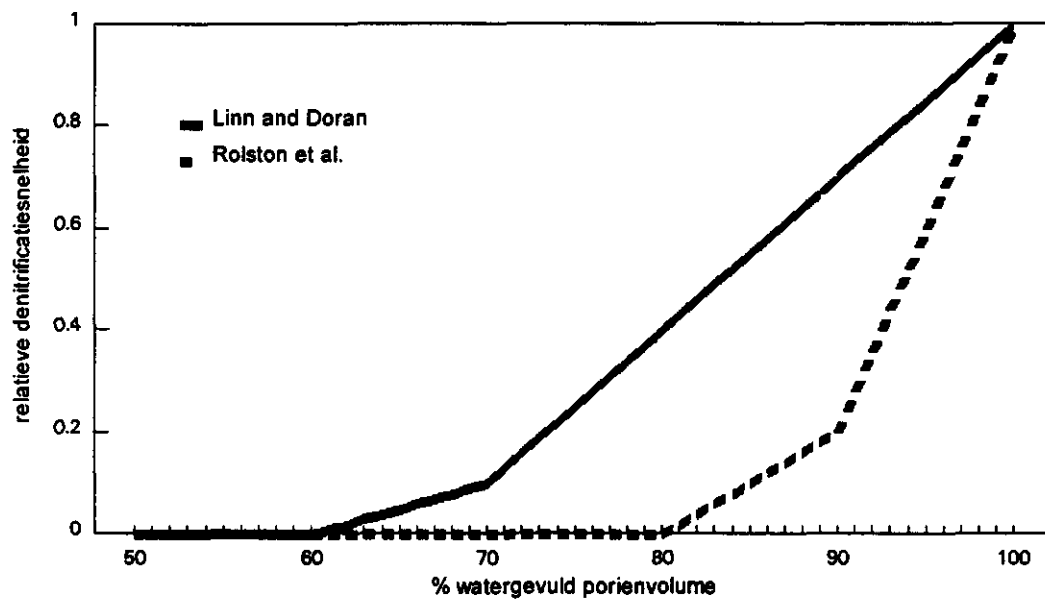
## BIJLAGE 1

### Bodemvochtgehaltes ( naar Rijtema,1969)

grondsoort	drukhoogte (cm)		(wfp: fractie watergevuld porienvolume)				schatting		schatting		schatting		
	0 cm	10 cm	wfp	31 cm	wfp	100 cm	wfp	50 cm	wfp	70 cm	wfp	80 cm	wfp
Coarse sand	39.5	21.5	0.54	10.7	0.27	3.2	0.08	8.6	0.22	6.5	0.16	5.4	0.14
Medium coarse sand	36.5	33.1	0.91	27.4	0.75	9.5	0.26	22.5	0.62	17.3	0.47	14.7	0.40
Medium fine sand	35.0	32.5	0.93	30.5	0.87	15.5	0.44	26.4	0.75	22.0	0.63	19.8	0.57
Fine sand	36.4	35.2	0.97	32.8	0.90	19.6	0.54	29.2	0.80	25.3	0.70	23.4	0.64
Hurrous loamy medium coarse sand	47.0	46.0	0.98	44.0	0.94	40.5	0.86	43.0	0.92	42.0	0.89	41.5	0.88
Light loamy medium coarse sand	39.4	37.4	0.95	35.3	0.90	28.0	0.71	33.3	0.84	31.2	0.79	30.1	0.76
Loamy medium coarse sand	30.1	28.2	0.94	26.5	0.88	20.9	0.69	25.0	0.83	23.3	0.78	22.5	0.75
Loamy fine sand	43.9	39.9	0.91	30.7	0.70	17.9	0.41	27.2	0.62	23.5	0.53	21.6	0.49
Sandy loam	46.5	44.2	0.95	41.9	0.90	28.0	0.56	37.5	0.81	32.9	0.71	30.6	0.66
Loess loam	45.5	43.6	0.96	38.5	0.85	34.0	0.75	37.3	0.82	36.0	0.79	35.3	0.78
Fine sandy loam	50.4	48.8	0.97	48.2	0.96	42.3	0.84	46.6	0.92	44.9	0.89	44.0	0.87
Silt Loam	50.9	49.7	0.98	48.4	0.95	46.1	0.91	47.8	0.94	47.1	0.93	46.8	0.92
Loam	50.3	48.6	0.97	48.0	0.95	42.0	0.83	46.3	0.92	44.6	0.89	43.7	0.87
sandy clay loam	43.2	40.7	0.94	37.6	0.87	33.8	0.78	36.6	0.85	35.5	0.82	34.9	0.81
silty clay loam	47.5	43.8	0.92	41.0	0.86	37.2	0.78	40.0	0.84	38.9	0.82	38.3	0.81
clay loam	44.5	42.9	0.96	42.1	0.95	41.1	0.92	41.8	0.94	41.5	0.93	41.4	0.93
light clay	45.3	43.5	0.96	40.5	0.89	36.0	0.79	39.3	0.87	38.0	0.84	37.3	0.82
silty clay	50.7	49.2	0.97	48.2	0.95	46.3	0.91	47.7	0.94	47.1	0.93	46.9	0.92
basin clay	54.0	53.3	0.99	52.7	0.98	51.9	0.96	52.5	0.97	52.2	0.97	52.1	0.97
veen	85.3	83.2	0.96	81.6	0.95	76.3	0.88	80.1	0.93	78.6	0.91	77.8	0.90
klei	48.6	47.2	0.97	45.9	0.94	43.8	0.90	45.3	0.93	44.7	0.92	44.4	0.91
zavel	45.4	42.3	0.93	39.3	0.87	35.5	0.78	38.3	0.84	37.2	0.82	36.6	0.81



## BIJLAGE 2



Figuur: Relatie tussen het percentage watergevuld porienvolume en de relatieve denitrificatie-activiteit.  
(bronnen: Linn and Doran, 1984 en Rolston et al., 1984)

## BIJLAGE 3

### Berekeningen denitrificatie aan de hand van bicarbonaat

#### Balansverschillen bedrijf (kg.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup>)

bedrijf	jaar	N	K	Na	Cl	Ca	Mg	S
1	1	496	868	177	324	-897	330	3
2	1	510	100	-29	-44	-776	198	213
3	1	434	170	67	0	-16	141	33
	2	219	-117	-66	-57	-595	-29	-117
4	1	407	488	-252	-423	-1548	-22	84
	2	319	9	-178	-204	-686	0	-54
5	1	-23	203	-1	-63	-861	28	-94
	2	400	275	-132	-103	-941	7	-197
gemiddeld		345	250	-52	-71	-790	82	-16

#### Balansverschillen per bedrijf (mol.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup>)

bedrijf	jaar	N	K	Na	Cl	Ca	Mg	S
1	1	35429	22199	7696	23143	-22369	13580	93
2	1	36429	2558	-1261	-3143	-19352	8148	6636
3	1	31000	4348	2913	0	-399	5802	1028
	2	15643	-2992	-2870	-4071	-14838	-1193	-3645
4	1	29071	12481	-10957	-30214	-38603	-905	2617
	2	22786	230	-7739	-14571	-17107	0	-1682
5	1	-1643	5192	-43	-4500	-21471	1152	-2928
	2	28571	7033	-5739	-7357	-23466	288	-6137
gemiddeld		24661	6381	-2250	-5089	-19701	3359	-502

#### Overige berekeningen

bedrijf	jaar	mol.ha <sup>-1</sup> .jr <sup>-1</sup>			denitrificatie a.d.h.v.		kg.ha <sup>-1</sup> .jr <sup>-1</sup>	
		HCO <sub>3</sub> drain	adsorptie	neerslag	verschil balansen	HCO <sub>3</sub> in drain	verschil bal-drain	verschil N-balans
1	1	30014	13411	13317	186	420	607	496
2	1	36236	-8646	-15281	-214	507	293	510
3	1	20480	9751	8723	122	287	409	434
	2	49873	-19024	-15379	-215	698	483	219
4	1	69913	-27028	-29645	-415	979	564	407
	2	53355	-16877	-15195	-213	747	534	319
5	1	34179	-15127	-12199	-171	479	308	-23
	2	44795	-16145	-10008	-140	627	487	400
gemiddeld		42355	-9961	-9458	-132	593	461	345

drain: gemeten hoeveelheden in het drainagewater  
 adsorptie: verschil Ca-balans + verschil Mg-balans + verschil K-balans (mol.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup>)  
 neerslag: adsorptie - verschil S-balans (mol.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup>)  
 verschil balansen: neerslag (kg N.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup>)  
 bal - drain: verschil balansen - drain (kg N.ha<sup>-1</sup>.jr<sup>-1</sup>)

## BIJLAGE 4

### Berekeningen percolatiewater

bedrijf	jaar	$\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$		$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$			$\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$		$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jr}^{-1}$		
		wgift	verd	$N_{\text{water}}$	$N_{\text{mest}}$	$N_{\text{aanv}}$	$N_{\text{pon}}$	$[\text{N}]_{\text{bod}}$	$[\text{N}]_{\text{ber.dr.}}$	$N_{\text{verl}(1)}$	$N_{\text{verl}(2)}$
1	1	9620	7268	109	1187	1296	494	14.1	11.8	338	414
2	1	14149	7268	236	1585	1821	507	11.9	8.5	168	498
3	1	12405	7268	817	675	1492	409	17.7	10.2	-190	346
	2	16554	7494	935	890	1825	429	11.2	8.1	-25	375
4	1	11500	7268	317	1091	1408	553	13.1	7.2	79	428
	2	11112	7494	373	1010	1383	612	10.9	7.8	219	374
5	1	8745	7268	227	680	907	490	11.8	16.2	173	81
	2	10354	7494	381	939	1320	528	14.3	10.0	219	392
gemiddeld		11805	7353	424	1007	1432	503	13.1	10.0	123	363