32/446 (268) 2e ex

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

Resultaten van onderzoek naar de vermindering van nitraatuitspoeling bij landbouwgronden

Eindverslag van het FOMA-project 'Vermindering van nitraatuitspoeling bij landbouwgronden', periode 1988-1991

J.G. Kroes

Rapport 268

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS
0000 0581 8949

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1993

29 JUNI 1994

ISN 595989

REFERAAT

Kroes, J.G., 1993. *Resultaten van onderzoek naar de vermindering van nitraatuitspoeling bij landbouwgronden. Eindverslag van het FOMA-project 'Vermindering van nitraatuitspoeling bij landbouwgronden, periode 1988-1991.* Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 268. 70 blz.; 19 fig.; 23 tab.; 25 ref.

De mogelijkheden om nitraatuitspoeling te verminderen zijn onderzocht met veldmetingen en modelanalyses. Met veldmetingen van de nitraatuitspoeling is de invloed van de toepassing van nitrificatieremmers bij drijfmestinjectie onderzocht gedurende de periode 1985 t/m 1990. Eveneens met veldmetingen is de nitraatuitspoeling onderzocht bij de toepassing van winterbodembedekkers in het najaar op bouwland gedurende de periode 1987 t/m 1991. Om proefveldgegevens over nitraatuitspoeling algemener toepasbaar te maken is het reeds beschikbare simulatiemodel ANIMO (Agricultural NItrogen MOdel) getest in verschillende situaties.

Trefwoorden: nitraat, uitspoeling, nitrificatieremmer, bodembedekker, mest, simulatie

ISSN 0927-4499

©1993 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.
Tel.: 08370-74200; telefax: 08370-24812.

DLO-Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu (IOB), de Afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw 'De Dorschkamp' (LB), en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

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

Project 155.11 Rap268.WIO-HM/05.1994

Inhoud

blz.

Woord vooraf 9

Samenvatting 11

1 Inleiding 13

2 Invloed nitrificatieremmers 15
2.1 Algemeen 15
2.2 Bouwland (Droevendaal) 16
2.2.1 Proefopzet 16
2.2.2 Bodemgesteldheid 17
2.2.3 Uitvoering metingen 18
2.2.4 Waterbalansen 19
2.2.5 Nitraatconcentraties en -afvoer 21
2.2.6 Conclusies en discussie 26
2.3 Grasland (Droevendaal) 27
2.3.1 Proefopzet 27
2.3.2 Bodemgesteldheid 28
2.3.3 Uitvoering metingen 29
2.3.4 Grondwaterstanden 29
2.3.5 Nitraatconcentraties 29
2.3.6 Conclusies en discussie 30

3 Invloed winterbodembedekkers en gewasresten 33
3.1 Algemeen 33
3.2 Akkerbouw op zandgrond (Heino) 33
3.2.1 Proefopzet 34
3.2.2 Bodemgesteldheid 34
3.2.3 Uitvoering metingen 35
3.2.4 Waterbalans 35
3.2.5 Nitraatconcentraties en -afvoer 37
3.2.6 Conclusies en discussie 39
3.3 Akkerbouw op kleigrond (De Kandelaar en Van Bemmelenhoeve) 39
3.3.1 Proefopzet 40
3.3.2 Bodemgesteldheid 42
3.3.3 Uitvoering metingen 44
3.3.4 Waterhuishouding 44
3.3.5 Stikstofhuishouding 47
3.3.6 Conclusies en discussie 52

4 Ontwikkeling en toetsing animo 55
4.1 Algemeen 55
4.2 Modelbeschrijving 55
4.3 Modeltoetsing 58
4.3.1 Grasland op zandgrond (Ruurlo) 59
4.3.2 Wintertarwe op klei (Nagele en Lelystad) 59

4.3.3 Internationale datasets 61
4.4 Conclusie en discussie 63

5 Conclusies 65

Literatuur 67

Tabellen

1 Tijdstippen waarop de dierlijke mest is geïnjecteerd of de kunstmest is gestrooid 16
2 Geselecteerde objecten voor onderzoek naar nitraatuitspoeling onder bouwland 17
3 Profielopbouw proefveld akkerbouw op Droevendaal 17
4 Waterbalansen van vijf periodes in de jaren 1985-1989; bouwland (Droevendaal) 20
5 Nitraatuitspoeling op een diepte van 1 m-mv bij drie tijdstippen van bemesting 23
6 Veldnummers en bemestingsgegevens van objecten waar gedurende twee periodes onderzoek naar nitraatuitspoeling onder grasland is verricht 28
7 Analyse van grondmonsters op graslandperceel in maart 1987; grasland op Droevendaal 28
8 Gemeten nitraatconcentraties in het bodemvocht onder grasland op een diepte van 1 m-mv 31
9 Per object de jaarlijkse mestgiften van kunstmest, dierlijke mest, de totaal mestgift en de gemiddelde mestgift over de periode 1988-1990 34
10 Waterbalansen voor de drie uitspoelingsperiodes in de jaren 1988-1991; snijmaïs op zandgrond (Heino) 36
11 Nitraatuitspoeling op een diepte van 1 m-mv per uitspoelingsperiodes en als gewogen gemiddelde in de jaren 1988-1991; snijmaïs op zandgrond (Heino) 38
12 Samenstelling en hoeveelheden dierlijke mest, zoals toegediend op de Van Bemmelenhoeve en De Kandelaar 41
13 De kunstmestgiften zoals toegediend op de Van Bemmelenhoeve en De Kandelaar 41
14 Combinaties van drijfmestgiften, kunstmesttrappen en groenbemestingsvarianten, welke bestudeerd werden in het onderzoek naar nitraatuitspoeling 42
15 Een profielbeschrijving van het proefveld van de Prof. van Bemmelenhoeve 43
16 Enkele eigenschappen van horizonten die onderscheiden worden in het bodemprofiel op het proefveld van De Kandelaar 43
17 Gemiddelde N-totaalgehalten verdeeld over de verschillende lagen en bemestingsniveaus voor de Prof. van Bemmelenhoeve 48
18 Gemiddelde N-totaalgehalten verdeeld over de verschillende lagen en bemestingsniveaus voor De Kandelaar 48
19 N-mineraalgehalten in het bodemprofiel 0 - 100 cm van de verschillende veldjes op de Van Bemmelenhoeve op verschillende tijdstippen 48
20 N-mineraalgehalten in het bodemprofiel 0 - 115 cm van de verschillende veldjes op De Kandelaar op de verschillende tijdstippen 49

21 Nitraatgehalten gemeten in het bodemvocht op 1 m-mv onder verschillende veldjes van de Van Bemmelenhoeve 50
22 Nitraatgehalten gemeten in het bodemvocht op 1 m-mv onder verschillende veldjes op De Kandelaar 51
23 Algemene karakteristieken van 6 datasets uit 4 Europese landen 62

Figuren

1 Boven- en dwarsaanzicht van de installatie voor bodembemonstering 18
2 Gemeten grondwaterstanden onder bouwlandpercelen van Droevendaal 19
3 Cumulatieve grondwatervoeding op bouwlandpercelen gedurende de periode najaar 1985 tot najaar 1989 21
4 Gemeten nitraatconcentraties in het bodemvocht bij het object met een najaarsgift van dierlijke mest, zonder toepassing van nitrificatieremmer 22
5 De cumulatieve nitraatafvoer over de periode 1 okt. 1985 tot 1 okt. 1989; invloed nitrificatieremmer 24
6 De cumulatieve nitraatafvoer over de periode 1 okt. 1985 tot 1 okt. 1989; invloed bemestingstijdstip 26
7 Gemeten grondwaterstanden onder het grasland-perceel van Droevendaal 30
8 Verloop van de grondwaterstand in de onderzoeksjaren 1988/89, 1989/90 en 1990/91; Aver-Heino 37
9 Nitraatuitspoeling op 1 m-mv gedurende het winterhalfjaar van de jaren 1988 - 1991 uitgezet tegen de totale mestgift; Aver-Heino 38
10 Neerslag en grondwaterstand op de Van Bemmelenhoeve gedurende de winter van 1989/1990 45
11 Neerslag, grondwaterstand en drainwaterafvoer op De Kandelaar gedurende de winter van 1989/1990 47
12 Nitraatafvoer via de drain op De Kandelaar gedurende de winter van 1989/1990. 52
13 Schematische weergave van de stikstofcyclus in de bodem 57
14 Schematische weergave van de koolstofcyclus in de bodem 57
15 Gesimuleerde en gemeten gewasopname (Ruurlo) 59
16 Gesimuleerde en gemeten nitraatuitspoeling (Ruurlo) 60
17 Gesimuleerde en gemeten vochtinhouden voor de lagen 0 - 40 cm-mv en 0 - 100 cm-mv (Eest) 60
18 Gesimuleerde en gemeten cumulatieve gewasopname (Eest) 61
19 Gesimuleerde en gemeten nitraatuitspoeling voor datasets uit vier Europese landen 62

Woord vooraf

Dit rapport vormt het eindverslag van het door de FOMA (Financierings-Overleg Mest- en Ammoniakonderzoek) mede gefinancierde project 'Vermindering van nitraatuitspoeling bij landbouwgronden en modellering van het gedrag van stikstof in de bodem'.

Gedurende de periode 1988 tot 1991 is dit onderzoeksproject uitgevoerd in nauwe samenwerking met het DLO-Centrum voor Agro-Biologisch Onderzoek en het Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond. Het veldwerk is uitgevoerd op een aantal Regionale Onderzoekscentra en op de Proefboerderij De Droevendaal in Wageningen.

Bij de uitvoering van het project hebben de volgende DLO-Staring Centrum medewerkers een belangrijk aandeel geleverd:
W. de Boer (winterbodembedekkers);
A. Breeuwsma (internationale datasets);
H. Fonck (nitrificatieremmers);
W.J.M. de Groot (winterbodembedekkers);
E.J. Jansen (projectleider van 1990 tot einde project);
J.G. Kroes (modelontwikkeling);
J. Pankow (nitrificatieremmers);
J.H.A.M. Steenvoorden (projectleider van start project tot 1990);
A. van den Toorn (nitrificatieremmers).

Samenvatting

Voor het door de FOMA (Financierings-Overleg Mest- en Ammoniakonderzoek) mede gefinancierde project 'Vermindering van nitraatuitspoeling bij landbouwgronden en modellering van het gedrag van stikstof in de bodem' is veldonderzoek uitgevoerd. De invloed van de toepassing van nitrificatieremmers bij drijfmestinjectie is onderzocht gedurende de periode 1985 tot 1989 en de toepassing van winterbodembedekkers in het najaar op bouwland is onderzocht gedurende de periode 1987 tot 1991. Om proefveldgegevens over nitraatuitspoeling algemener toepasbaar te maken is het reeds beschikbare model ANIMO (Agricultural NItrogen Model) getest in verschillende situaties.

Om het inzicht op de werking van nitrificatieremmers te vergroten is gedurende vier jaren onderzoek verricht op grasland- en bouwlandpercelen. Het onderzoek is opgezet en uitgevoerd in samenwerking met het CABO-DLO (Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek). Het tijdstip van bemesting heeft een grotere invloed op de nitraatuitspoeling over het vlak van 1 m-mv dan het al dan niet toepassen van een nitrificatieremmer. Toediening van dierlijke mest in het voorjaar resulteerde in een aanzienlijke verlaging van de nitraatuitspoeling ten opzichte van najaarsbemesting. Halvering van het bemestingsniveau én verschuiving van het tijdstip van bemesting van najaar naar voorjaar kan de uitspoeling met meer dan 50% doen afnemen.
Toepassing van een nitrificatieremmer bij mestuitrijden in de winter (december) resulteerde in een daling van de uitspoeling van 25% vergeleken met mestuitrijden zonder remmer in dezelfde periode. Toepassing van een nitrificatieremmer bij mestuitrijden in najaar of voorjaar heeft geen kwantificeerbare invloed op de uitspoeling. Bij de huidige mestregelgeving (geen mesttoediening in winter) bieden gebruik van remmers geen perspectief uit oogpunt van nitraatuitspoeling.

Om het effect van de teelt van wintergewassen op de nitraatuitspoeling na te gaan is vanaf 1988 onderzoek verricht op drie locaties. De invloed van wintergewassen bij gewasrotatie op klei is op twee locaties onderzocht: lichte klei in de Wieringermeerpolder (ROC prof. Van Bemmelenhoeve) en zware klei in Oostelijk Flevoland (ROC De Kandelaar).
Op de derde locatie is de invloed van wintergewassen bij de teelt van snijmaïs op zandgrond onderzocht op het ROC (Regionaal Onderzoeks Centrum) Aver Heino. Bij een laag bemestingsniveau (kunstmestgift van 20 $kg.ha^{-1}.jr^{-1}$ N) is een nitraatuitspoeling gemeten die bij braakliggende objecten ruim 8 keer zo hoog was als bij objecten met wintergewassen. Bij hogere bemestingsniveaus (> 200 $kg.ha^{-1}.jr^{-1}$ totaal-N) is de nitraatuitspoeling bij braakliggende objecten bijna 3 keer zo hoog als bij niet-braakliggende objecten. Gedurende de onderzoeksperiode waren de winters relatief warm. Mogelijk is dit er mede oorzaak van dat de teelt van wintergewassen een zo grote reductie van de uitspoeling tot gevolg heeft gehad. Om vast te stellen of het effect in koude winters ook zo groot is, wordt aanbevolen om een deel van het onderzoek met wintergewassen voort te zetten.

Gedurende de onderzoeksperiode zijn bijdragen geleverd aan de ontwikkeling en

toetsing van het model ANIMO. Het model ANIMO (Agricultural NItrogen MOdel) is een nutriëntenmodel dat bij DLO-Staring Centrum is ontwikkeld voor de kwantitatieve analyse van de stikstof- en koolstofhuishouding van plant-bodem-water systemen. Het model ANIMO is voor dit project op perceels-schaal getoetst voor combinaties van grondgebruik, grondsoort en bemestingsniveau. In internationaal (EEG) verband zijn er standaard-datasets ontwikkeld, getoetst en toegepast. Uit internationale vergelijkingen van nitraatuitspoelingsmodellen is gebleken dat de uitkomsten van het model ANIMO gunstig afsteken tegen die van andere uitspoelings-modellen.

1 Inleiding

Als gevolg van een te hoge stikstofbelasting neemt de eutrofiëring van het oppervlaktewater toe en daalt de kwaliteit van het grondwater als bron voor de drinkwaterbereiding. Dit vormt de aanleiding om onderzoek te verrichten naar mogelijkheden om de nitraatuitspoeling te verminderen, wat moet resulteren in nadere kennis over de kwantitatieve bijdrage van specifieke maatregelen en ingrepen die de nitraatuitspoeling beïnvloeden.

Voor het door de FOMA (Financierings-Overleg Mest- en Ammoniakonderzoek) mede gefinancierde project 'Vermindering van nitraatuitspoeling bij landbouwgronden en modellering van het gedrag van stikstof in de bodem' is veldonderzoek uitgevoerd. De invloed van de toepassing van nitrificatieremmers bij drijfmestinjectie is onderzocht gedurende de periode 1985 tot 1989. Het effect van de toepassing van winterbodembedekkers in het najaar op bouwland is in het veld vastgesteld gedurende de periode 1987 tot 1991. Voor beide onderdelen is aangesloten bij lopend veldonderzoek van andere landbouwkundige onderzoeksinstellingen, waardoor een vollediger beeld van de stikstofhuishouding is verkregen.

Om proefveldgegevens over nitraatuitspoeling algemener toepasbaar te maken is het reeds beschikbare model ANIMO (Agricultural NItrogen Model) getest in verschillende situaties.

Het veldonderzoek naar de invloed van nitrificatieremmers is in samenwerking met CABO-DLO uitgevoerd op het proefbedrijf De Droevendaal en wordt beschreven in hoofdstuk 2. Het veldonderzoek naar de invloed van wintergewassen is op meer locaties uitgevoerd in samenwerking met PAGV en wordt beschreven in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 wordt een beknopte beschrijving gegeven van de ontwikkeling en toetsing van het model ANIMO zoals dat heeft plaatsgevonden voor dit project.

2 Invloed nitrificatieremmers

Het toepassen van nitrificatieremmers tijdens bemesting vormt één van de mogelijkheden om de nitraatuitspoeling te verminderen. Om het inzicht op de werking van deze remmers te vergroten is gedurende de periode 1985 tot 1989 veldonderzoek verricht op grasland- en bouwlandpercelen. Het onderzoek is opgezet en uitgevoerd in samenwerking met het CABO-DLO (Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek). Het aandeel van het CABO-DLO in het onderzoek betrof de stikstofstromen in wortelzone en bovengrond, het aandeel van het SC-DLO had vooral betrekking op de uitspoeling van stikstof beneden de wortelzone. Van het SC-DLO-onderzoek zal in dit hoofdstuk verslag worden gedaan.

2.1 Algemeen

Door het injecteren van drijfmest neemt de vervluchtiging van stikstof in de vorm van NH_3 af, en wordt de beschikbaarheid van stikstof voor gewasopname verhoogd. Hierdoor neemt de behoefte aan kunstmest-N af. Indien de dierlijke mest in het najaar wordt toegepast, is er een verhoogde kans op nitraatuitspoeling. Door de toepassing van nitrificatieremstoffen kan de omzetting van ammonium in nitraat tijdelijk worden voorkomen. Doordat ammonium in de bodem veel minder mobiel is dan nitraat, wordt stikstof in de bodem geconserveerd ook wanneer bijvoorbeeld dierlijk mest in najaar of winter wordt toegediend. De hoeveelheid nitraat die potentieel kan uitspoelen wordt hierdoor verlaagd ten opzichte van bemesting zonder remstoffen.

Er zijn diverse stoffen met nitrificatieremmende werking beschikbaar, maar in het algemeen wordt dicyaandiamide (DCD) als het meest bruikbare gekarakteriseerd (Van Enckevort, 1988). De stof wordt voor het uitrijden toegevoegd aan de dierlijke mest en oefent zijn werking dan gedurende een aantal maanden uit in de bodem. In de loop van de tijd verliest de stof zijn remmende werking, doordat het uiteindelijk volledig wordt omgezet in CO_2 en NH_3 (Van Enckevort et al., 1990, Amberger, 1986; opgave fabrikant). De omzettingssnelheid wordt voornamelijk bepaald door de temperatuur, de vochtigheid en de textuur van de bodem. Doordat DCD vrij mobiel is, kan het middel bij een groot neerslagoverschot uit de bovenste bodemlagen (wortelzone) verdwijnen, waardoor de effectieve werking als nitrificatieremmer wordt verkleind.

Om het effect van de toepassing van nitrificatieremstoffen op de nitraatuitspoeling na te gaan zijn veldproeven uitgevoerd op bouwland- en graslandpercelen. In beide gevallen is de dierlijke mest toegediend via mestinjectie. De proeven zijn uitgevoerd op het proefterrein Droevendaal van het CABO-DLO.

2.2 Bouwland (Droevendaal)

2.2.1 Proefopzet

Op het proefterrein Droevendaal zijn veldjes aangelegd waarop vanaf najaar van 1985 tot najaar van 1989 onderzoek is verricht naar de invloed van nitrificatieremmers op de nitraatuitspoeling bij snijmaïspercelen op zandgrond (Schröder en Ten Holte, 1993). Het uitspoelingsonderzoek is verricht door het DLO-Staring Centrum (Pankov en Van den Toorn, 1987-1989).

De verschillen tussen de veldjes betreffen: 1) de toegediende mesthoeveelheid, 2) de mestsoort, 3) het tijdstip van mesttoediening en 4) de aanwezigheid van een nitrificatieremmer. De hoeveelheid dierlijke mest bedroeg 50 of 100 ton drijfmest per ha, overeenkomend met circa 250 of 500 kg N-totaal per ha. De dierlijke mest is toegediend in de vorm van runderdrijfmest, die in alle gevallen is geïnjecteerd via zodebemesting met een sleepvoet als één gift in najaar, winter of voorjaar (tabel 1).

DCD is als nitrificatieremmer toegevoegd aan de dierlijke mest in een hoeveelheid van 25 kg per ha bij mesttoedieningen in najaar en winter. Bij de voorjaarstoediening van dierlijke mest is 15 kg DCD per ha toegevoegd.

Tabel 1 Tijdstippen waarop de dierlijke mest is geïnjecteerd of de kunstmest is gestrooid

Code	1985/1986	1986/1987	1987/1988	1988/1989
T1 (najaar)	**15-10-'85**	**29-10-'86**	**21-10-'87**	**03-11-'88**
T2 (winter)	**16-12-'85**	**02-12-'86**	**08-12-'87**	**14-12-'88**
T3 (voorjaar)	**17-03-'86**	**03-04-'87**	**26-02-'88**	**10-03-'89**

Bovendien zijn veldjes aangelegd waarop alleen kunstmest-N is gegeven. De kunstmest is gegeven in de vorm van één gift van 160 kg N (kalkammonsalpeter) per ha, welke evenals de dierlijke mest op verschillende veldjes als najaar-, winter-, of voorjaar-gift is toegediend (tabel 1).

Bovengenoemde verschillen resulteerden in 21 verschillende objecten. Elk object is in drievoud uitgevoerd, zodat 63 verschillende veldjes zijn aangelegd. Voor het onderzoek naar de nitraatuitspoeling was dit een te groot aantal en er is een selectie gemaakt die in tabel 2 is gegeven.

Om meer inzicht te krijgen in de mogelijke spreiding van de resultaten binnen één object is het uitspoelingsonderzoek van het object met een najaarsgift van 500 kg.ha^{-1} N dierlijke mest en zonder toepassing van nitrificatieremmer (object T1D2R1) in drievoud uitgevoerd.

Tabel 2 Geselecteerde objecten voor onderzoek naar nitraatuitspoeling onder bouwland

Object	Veld-nummer(s)	Mesttype	Hoeveelheid (kg.ha^{-1} N)	Toedienings tijdstip	Nitr.rem-mer (kg.ha^{-1})
T1D2R1$_{gem}$	15,31,48	dierlijke	500	najaar	0
T1D2R2	35	"	"	"	25
T2D2R1	13	"	"	winter	0
T2D2R2	11	"	"	"	25
T3D2R1	53	"	"	voorjaar	0
T3D2R2	54	"	"	"	15
T1D1R1	29	"	250	najaar	0
T1D1R2	32	"	"	"	25
T2D1R1	9	"	"	winter	0
T2D1R2	8	"	"	"	25
T3D1R1	52	"	"	voorjaar	0
T3D1R2	50	"	"	"	15
T3N1	51	kunstmest	160	voorjaar	0

Drie tijdstippen van bemesting (T1=najaar, T2=winter, T3=voorjaar);
Twee bemestingsniveaus (D1 = 250 kg.ha^{-1}.jr^{-1} N, D2 = 500 kg.ha^{-1}.jr^{-1} N);
Geen, resp. wel gebruik van nitrificatie-remmer (R1, R2).
Gebruik van kunstmest i.p.v. dierlijke mest (N1).

2.2.2 Bodemgesteldheid

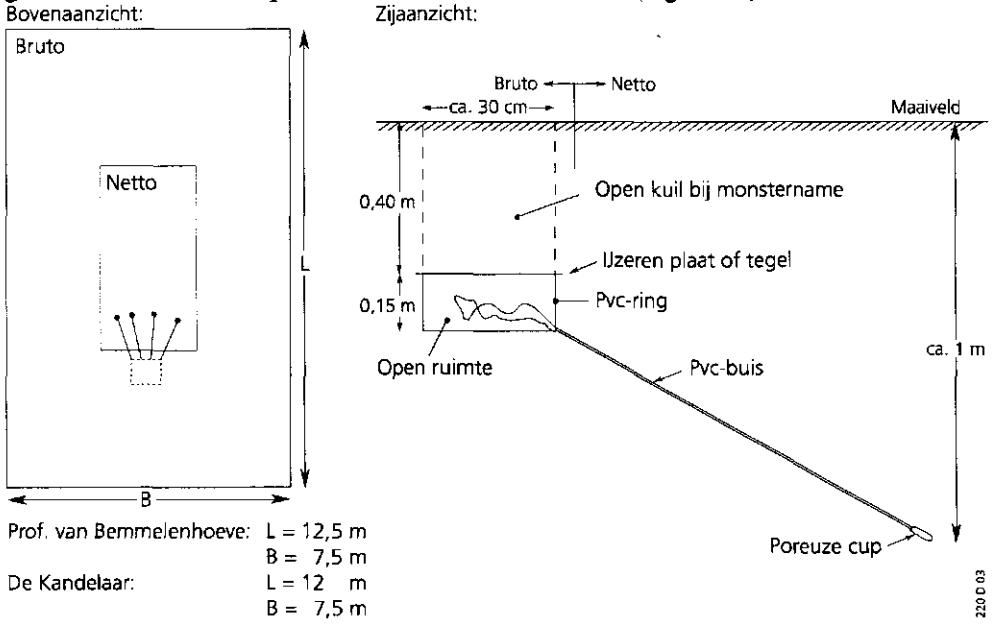
De bodem op het proefbedrijf Droevendaal bestaat vornamelijk uit zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand. De gemiddelde profielopbouw van de bodem in het proefveld is gegeven in tabel 3.

Tabel 3 Profielopbouw proefveld akkerbouw op Droevendaal

Bodemlaag (cm-mv)	Omschrijving
0- 25	licht humeus, zwak lemige bouwvoor
25- 35	harde ploegzool
35-100	grote variatie: zwarte grond gemengd met geel zand en/of roestplekken

2.2.3 Uitvoering metingen

Om de invloed van de behandeling van de verschillende veldjes op de kwaliteit van het grondwater na te gaan zijn op de geselecteerde velden (tabel 2) keramische tensiometerpotjes geplaatst (Pankov en Van den Toorn, 1987-1989). De potjes zijn in de grond aangebracht op ± 90 cm beneden maaiveld. Om de proefopzet van de veldjes niet te hinderen zijn de metingen uitgevoerd door de tensiometers vanuit een aangrenzende strook te plaatsen en te bemonsteren (figuur 1).



Prof. van Bemmelenhoeve: L = 12,5 m
B = 7,5 m
De Kandelaar: L = 12 m
B = 7,5 m

Fig. 1 Boven- en dwarsaanzicht van de installatie voor bodembemonstering (L = 12,5 m en B = 7,5 m)

Hiervoor werd in het najaar van 1985 per veldje in de aangrenzende strook een kuil gegraven en zijn schuin onder het veldje tensiometerpotjes aangebracht. De potjes zijn op een dusdanige afstand geplaatst dat er per te bemonsteren veldje 2 potjes onder de injectiesleuf, en twee potjes tussen de injectiesleuven zijn geplaatst.

Het bodemvocht is bemonsterd door de tensiometerpotjes aan te sluiten op een fles met onderdruk. Als richtlijn voor de bemonsteringsfrequentie is aangehouden dat er wordt bemonsterd telkens als het cumulatieve neerslagoverschot met 80 mm is toegenomen. Per veldje werd een mengmonster samengesteld van het bodemvocht uit de vier tensiometerpotjes. Dit resulteerde in ongeveer 3/4 l bodemvocht per onderzocht veldje per bemonsteringsronde. De mengmonsters zijn geanalyseerd op nitraatstikstof, chloride, ammoniumstikstof, sulfaat, pH en elektrisch geleidingsvermogen.

2.2.4 Waterbalansen

Op de dagen dat het bodemvocht is bemonsterd, is tevens de diepte van de grondwaterstand gemeten (figuur 2).

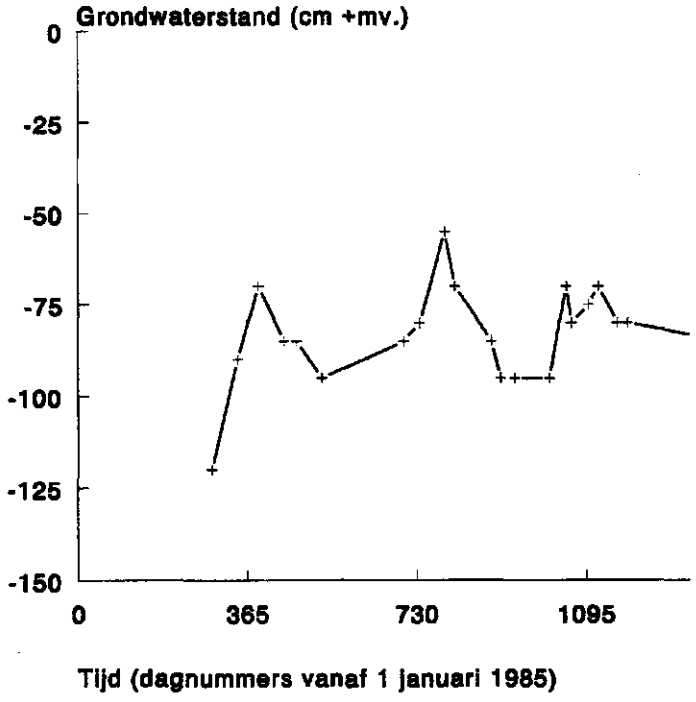


Fig. 2 Gemeten grondwaterstanden onder bouwlandpercelen van Droevendaal (periode 1 oktober 1985 tot 1 oktober 1989)

Het gemiddelde van de gemeten grondwaterstanden bedroeg 84 cm-mv. De hoogste grondwaterstand van 55 cm-mv werd gemeten op 23 maart 1987, de laagste grondwaterstand van 120 cm-mv werd in 11 december 1985 gemeten.

De uitspoeling van water vanuit de onverzadigde zone naar de verzadigde zone wordt wel de grondwatervoeding genoemd. De grondwatervoeding is gekwantificeerd door de resultante te bepalen van gemeten en berekende waterbalanstermen (Pankow en Van den Toorn, 1987-1989) (tabel 4).

De gemeten waterbalanstermen zijn neerslag en verdamping. De neerslaggegevens zijn op het proefcomplex gemeten. De open water verdamping (E_o) is berekend volgens de methode Penman uit de metingen van het weerstation Wageningen. De actuele verdamping is berekend voor periodes met en zonder gewas. De verdamping voor kale grond is gesteld op $0,3*E_o$; de gewasverdamping voor maïs is van eind juli tot half oktober gesteld op $0,8*E_o$ (Rijtema en Ryhiner, 1968).
De bergingsveranderingen in het profiel zijn berekend door gebruik te maken van de gemeten grondwaterstanden en de evenwichtsvochtgehalten van de bodem. Voor de bepaling van de evenwichtsvochtgehalten is gebruik gemaakt van de standaard vochtkarakteristieken uit de Staringreeks (Wösten et al., 1986).

Tabel 4 Waterbalansen (in mm per periode) van vijf periodes in de jaren 1985-1989; bouwland (Droevendaal)

Balansterm	Periode				Totaal
	15/10/'85-11/6/'86 (240 dagen)	11/6/'86-30/7/'87 (413 dagen)	30/7/'87-30/3/'88 (243 dagen)	30/3/'88-17/5/'89 (414 dagen)	5/10/'85-17/5/'89
neerslag	487,5	887,5	646,1	652,0	2673,1
open waterverd.	288,6	693,4	180,5	651,7	1814,2
actuele verdamping	86,7	456,0	112,9	329,0	984,6
bergings-verandering	69,5	0,0	24,0	-38,0	55,5
grondwater-voeding	331,2	431,5	509,2	361,0	1632,9

De waarden in tabel 4 zijn verkregen door per gemeten periode de waterbalanstermen te sommeren. Doordat een neerslagoverschot van 80 mm uitgangspunt is geweest voor de bemonsteringsfrequentie, zijn variabele balansperiodes ontstaan.

De gemiddelde grondwatervoeding over de gehele meetperiode bedraagt 1,25 mm/dag. De periode van 30/7/'87- 30/3/'88 is met een grondwatervoeding van 2,1 mm/d duidelijk de natste periode.

Indien de grondwatervoeding van alle meetperiodes cumulatief wordt uitgezet tegen de tijd (figuur 3) blijkt dat vooral de zomer van 1987 nat is geweest. De neerslag gedurende het zomerhalfjaar (april-oktober) van 1987 bedroeg 540 mm, terwijl 370 mm een gemiddelde waarde is.

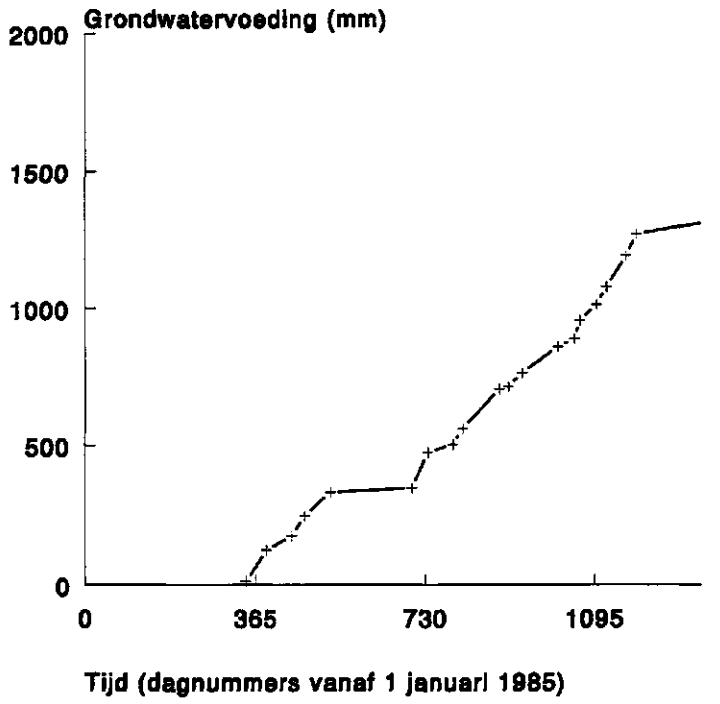


Fig. 3 Cumulatieve grondwatervoeding op bouwlandpercelen gedurende de periode najaar 1985 tot najaar 1989 (dagnummer 274 = 1 okt. 1985)

2.2.5 Nitraatconcentraties en -afvoer

Bij alle objecten zijn lage ammoniumconcentraties (maximaal 1 $mg.l^{-1}$ NH_4-N) in het bodemvocht aangetroffen. De uitspoeling van ammonium is dus zeer gering en zal verder buiten beschouwing blijven.

De metingen van nitraatconcentraties van het object met een najaarsgift van 500 $kg.ha^{-1}$ N dierlijke mest en zonder toepassing van nitrificatieremmer (object T1D2R1) zijn in drievoud uitgevoerd (figuur 4). Het gemiddelde van alle waarnemingen bedroeg 50 mg NO_3-N per l bodemvocht. De variatiecoefficiënt bedroeg 0.3, hetgeen betekent dat de standaardafwijking voor het gemiddelde van de metingen 15 mg NO_3-N per l bodemvocht.

Door de berekende grondwatervoeding (par. 2.2.2) te vermenigvuldigen met de gemeten concentraties kan de nitraatuitspoeling per periode worden gekwantificeerd (tabel 5). De gesommeerde nitraatuitspoeling over de hele meetperiode geeft duidelijk aan dat de hoogste uitspoelingen optreden indien hoge mestgiften in het najaar worden toegediend. De laagste nitraatafvoeren worden aangetroffen bij voorjaarstoedieningen zonder nitrificatieremmer.

Indien uitsluitend gelet wordt op het tijdstip van bemesting (figuur 5 A), dan blijkt de winterbemesting tot de hoogste nitraatuitspoeling te leiden. Winterbemesting levert bij deze metingen een 18% hogere uitspoeling op dan najaarsbemesting. Voorjaar-

bemesting resulteert in een daling van de uitspoeling met 49% ten opzichte van de najaarsbemesting. Indien wordt gelet op de invloed van het bemestingstijdstip bij toepassing van een nitrificatieremmer, dan blijkt de nitraatuitspoeling te dalen bij winter- en voorjaars-bemesting met respectievelijk 9% en 42% ten opzichte van de najaarsbemesting met remmer (figuur 5 B).

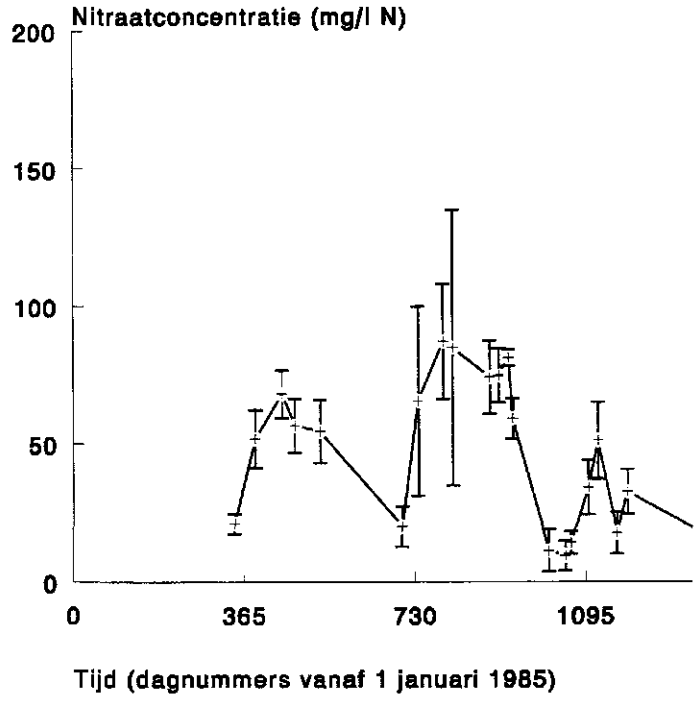
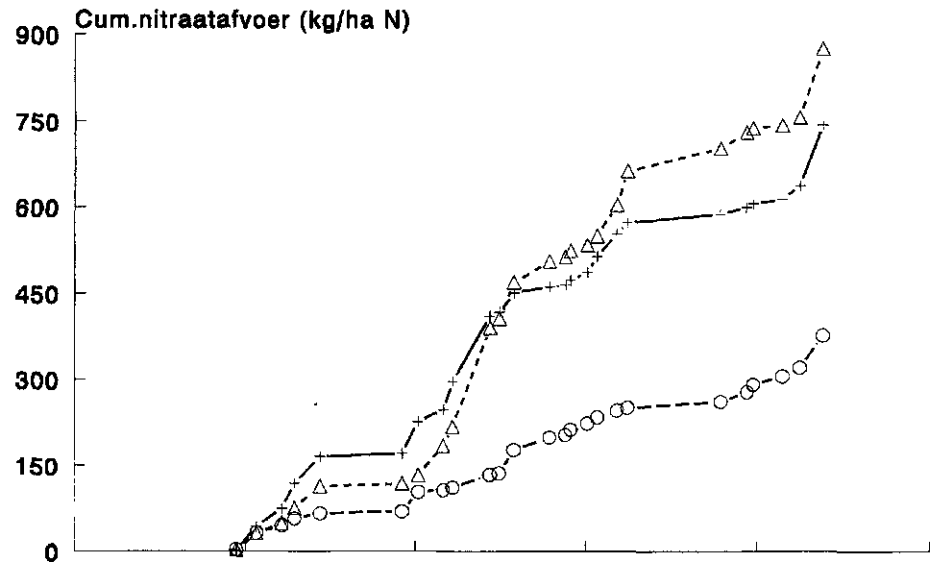


*Fig. 4 **Gemeten nitraatconcentraties in het bodemvocht van oktober 1985 tot juni 1989 op een diepte van 90 cm-mv bij het object met een najaarsgift van 500 kg.ha^{-1} N dierlijke mest, zonder toepassing van nitrificatieremmer (object T1D2R1). De getrokken lijn loopt door het gemiddelde van drie waarnemingen; de verticale staaf geeft per set van drie waarnemingen de standaardafwijking ten opzichte van het gemiddelde aan***

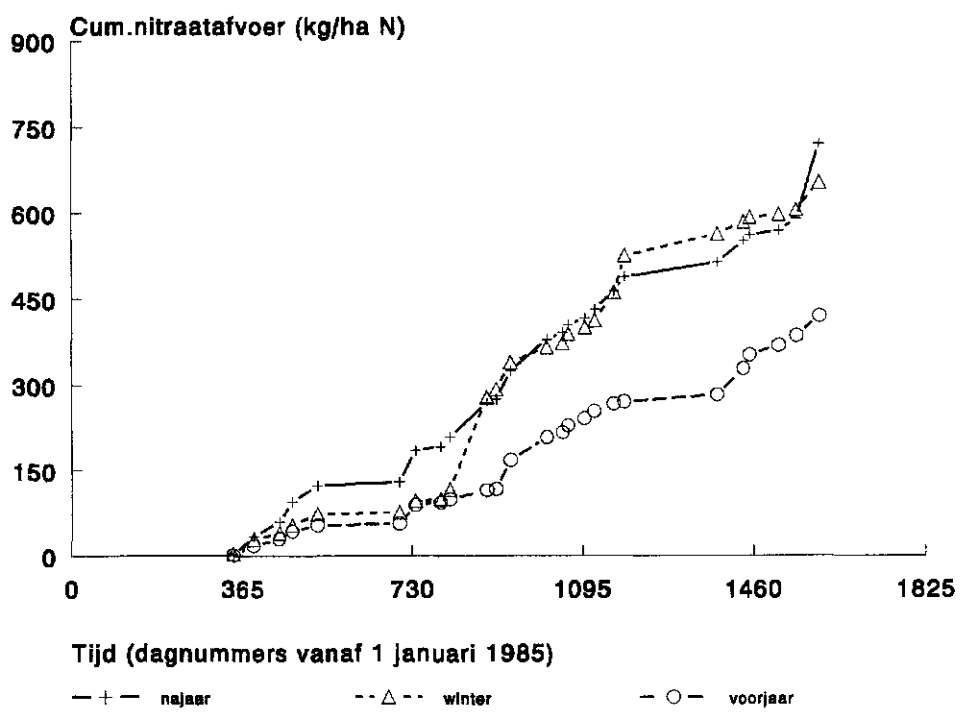
Tabel 5 Nitraatuitspoeling (kg.ha^{-1} N) van oktober 1985 tot juni 1989 op een diepte van 1 m-mv.

Object	Periode				Totaal
	15/10/'85-11/6/'86	11/6/'86-30/7/'87	30/7/'87-30/3/'88	30/3/'88-17/5/'89	15/10/'85-17/5/'89
T1D2R1$_a$	157,0	330,5	123,1	207,9	818,5
T1D2R1$_b$	157,9	291,0	116,9	161,5	727,3
T1D2R1$_c$	181,2	234,7	127,3	141,5	684,7
T1D2R1$_{gem}$	165,4	285,4	122,4	170,3	743,5
T1D2R2	123,1	202,5	162,7	232,7	721,0
T2D2R1	113,2	356,2	193,5	213,1	876,0
T2D2R2	73,0	266,5	185,2	128,3	653,0
T3D2R1	65,7	111,1	73,6	126,9	377,3
T3D2R2	53,6	114,7	102,7	149,1	420,1
T1D1R1	107,4	153,9	149,2	157,1	567,6
T1D1R2	93,8	172,3	121,0	138,0	525,0
T2D1R1	77,8	193,8	114,5	118,2	504,3
T2D1R2	50,7	128,0	82,4	75,3	336,4
T3D1R1	78,9	75,3	42,5	66,8	263,4
T3D1R2	76,1	74,4	129,3	77,5	357,3
N1 kunstmest	75,0	103,2	32,7	72,9	283,8

Drie tijdstippen van bemesting: T1=najaar, T2=winter, T3=voorjaar;
Twee bemestingsniveaus: D1 = 250 kg.ha^{-1}.jr^{-1} N, D2 = 500 kg.ha^{-1}.jr^{-1} N;
Geen, resp. wel gebruik van nitrificatie-remmer: R1, R2;
Gebruik van kunstmest i.p.v. dierlijke mest: N1;
T1D2R1$_{gem}$ is het gemiddelde van T1D2R1$_a$, T1D2R1$_b$, T1D2R1$_c$.



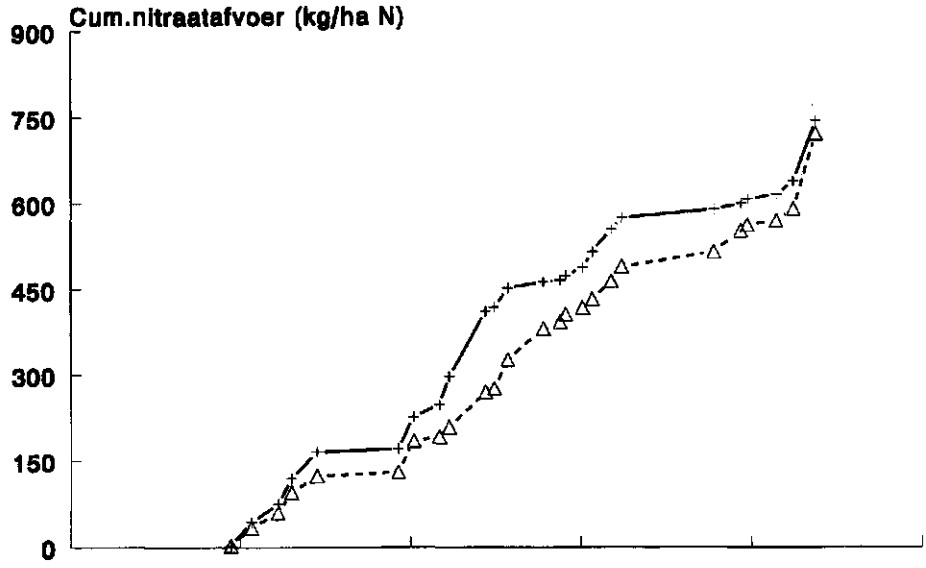
A



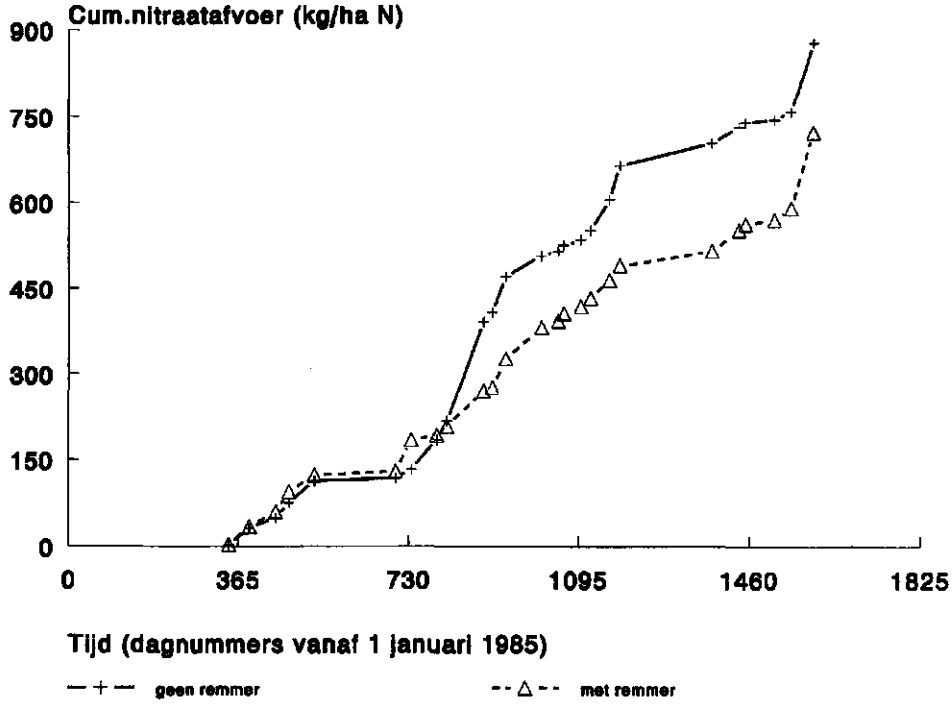
B

Fig. 5 De cumulatieve nitraatafvoer (kg.ha^{-1} N) over de periode 1 okt. 1985 tot 1 okt. 1989. Een bemestingsniveau van 500 kg.ha^{-1} N is toegediend in najaar, winter en voorjaar, zonder (A) en met (B) toepassing van de nitrificatieremmer DCD

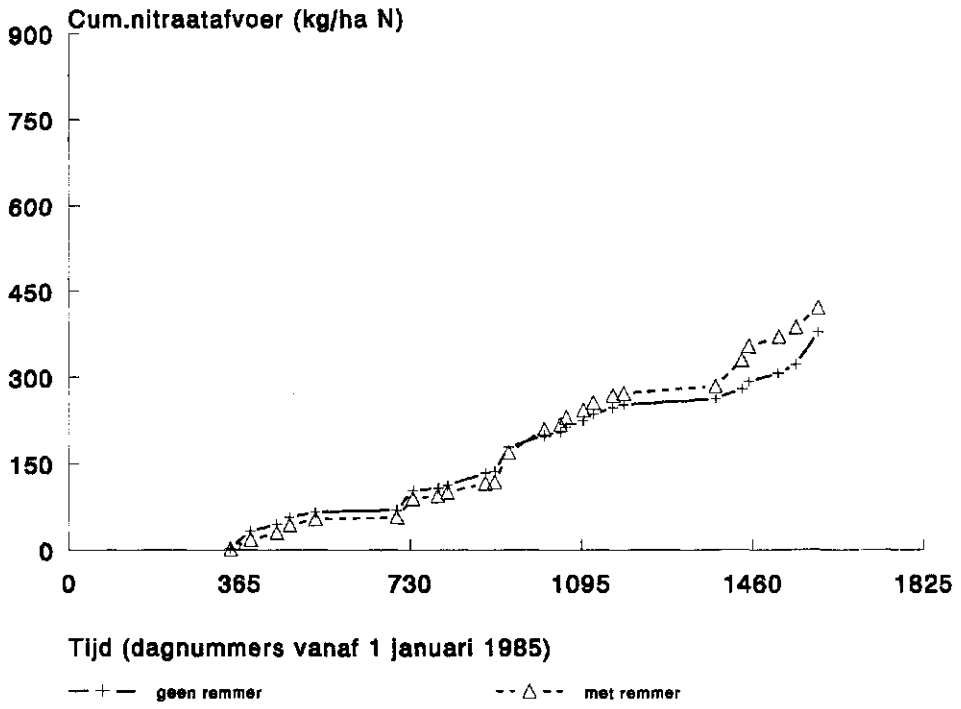
De werking van de nitrificatieremmer bij een bemestingsniveau van 500 kg.ha^{-1} N lijkt niet duidelijk beïnvloed te worden door het tijdstip van bemesting (figuren 6 A, B en C). De nitraatuitspoeling daalt slecht met 3%, indien de nitrificatieremmer DCD bij najaars-bemesting wordt toegevoegd. Indien de remmer bij winter-bemesting wordt gebruikt, daalt de nitraatuitspoeling met 25%. Een toepassing van de remmer bij voorjaarsbemesting resulteert in een verhoging van de uitspoeling met 11%.



A



B



C

Fig. 6 De cumulatieve nitraatafvoer (kg.ha^{-1} N) over de periode 1 okt. 1985 tot 1 okt. 1989. De nitrificatieremmer DCD is toegepast bij een bemestingsniveau van 500 kg.ha^{-1} N. Bemesting is toegepast in najaar (A), winter (B) en voorjaar (C)

2.2.6 Conclusies en discussie

Bij metingen van nitraatconcentraties, op 1 m-mv binnen één veldje, is een spreiding van 30% rondom het gemiddelde van 50 mg NO_3-N aangetroffen als gevolg van verschillen in heterogeniteit van de bodem, bemesting, gewasopname, monstername en laboratoriumanalyse.

Uit de veldproeven is niet gebleken dat toepassing van een nitrificatieremmer leidt tot een hogere uitspoeling van ammoniumstikstof.

Het tijdstip van bemesting heeft een veel grotere invloed op de nitraatuitspoeling dan het al dan niet toepassen van een nitrificatieremmer. Toediening van dierlijke mest in het voorjaar leidt tot een aanzienlijke verlaging van de nitraatuitspoeling ten opzichte van najaars- en winterbemesting. Door verschuiving van het tijdstip van bemesting van najaar naar voorjaar neemt de uitspoeling met ongeveer 50% af.

Toepassing van een nitrificatieremmer bij mestuitrijden in de winter (december) resulteert in een daling van de uitspoeling van ongeveer 25% vergeleken met mestuitrijden zonder remmer in dezelfde periode.

Toepassing van een nitrificatieremmer bij mestuitrijden in najaar heeft een gering effect (minder 10%) op de uitspoeling. Bij toepassing in het voorjaar neemt de uitspoeling toe met 10 - 35%.

De grote invloed van het tijdstip van bemesting op de uitspoeling wordt waarschijnlijk voornamelijk veroorzaakt door een betere benutting van de toegediende mest bij voorjaarsbemesting vergeleken met najaarsbemesting. Dit geldt voor het goed opneembare minerale deel van de dierlijke mest, maar zeker ook voor het organische deel van de dierlijke mest dat tijdens de warme zomermaanden sneller mineraliseert en gedurende het groeiseizoen door het gewas kan worden opgenomen, en bovendien ten gevolge van het verdampingsoverschot in deze periode in de wortelzone beschikbaar blijft.

De berekende nitraatuitspoeling wordt sterk bepaald door de berekende grondwatervoeding (par. 2.2.2). De berekeningswijze resulteert in een schatting van de grondwatervoeding, waarbij met name de dynamiek onvoldoende tot uiting komt. Zo resulteren de berekeningen voor het jaar 1987 in een permanente grondwatervoeding, die niet door het grondwaterstandsverloop (figuur 2) wordt ondersteund.

Overschatting van de grondwatervoeding resulteert direct in een overschatting van de nitraatuitspoeling. Aangezien dezelfde berekeningswijze gehanteerd is voor alle velden, zal de mogelijke fout ook dezelfde zijn. Het verdient daarom aanbeveling de resultaten vooral vergelijkenderwijs (resultaten onderling) te interpreteren.

2.3 Grasland (Droevendaal)

2.3.1 Proefopzet

Op het proefterrein Droevendaal van het CABO-DLO zijn veldjes aangelegd waarop vanaf najaar van 1986 tot de zomer van 1990 onderzoek is verricht naar de invloed van nitrificatieremmers op de nitraatuitspoeling bij grasland op zandgrond (Schröder en Ten Holte, 1993). Het uitspoelingsonderzoek is verricht door het DLO-Staring Centrum. Van het eerste onderzoeksjaar heeft Fonck (1988) verslag gedaan.

De verschillen tussen de veldjes zijn, evenals bij de bouwlandproef (par. 2.2), aangebracht in: 1) toegediende mesthoeveelheid, 2) de mestsoort, 3) het tijdstip van dierlijke mesttoediening en 4) de aanwezigheid van een nitrificatieremmer. De hoeveelheid dierlijke mest bedroeg 60 ton per ha, ofwel 300 kg N-totaal per ha. De dierlijke mest is toegediend in de vorm van runderdrijfmest, die is geïnjecteerd als één gift in najaar of winter. Er zijn verschillende niveaus van kunstmest-dosering aangelegd waarbij de kunstmest is verdeeld over de sneden. De kunstmestniveaus varieerden van 0 - 600 $kg.ha^{-1}$ N.

In totaal zijn 150 proefveldjes aangelegd door het CABO-DLO. Het SC-DLO heeft in de winter van 1987/1988 een eerste uitspoelingsonderzoek verricht (Fonck, 1988).

In de winter van 1989/1990 is een tweede bemonsteringsronde geweest. Tabel 6 geeft een overzicht van de onderzoeksobjecten die in beide periodes zijn bemonsterd.

Tabel 6 Veldnummers en bemestingsgegevens van objecten waar gedurende twee periodes onderzoek naar nitraatuitspoeling onder grasland is verricht. Twee tijdstippen van bemesting (T1=najaar, T2=winter). Twee kunstmestniveaus (N7 = 400 kg.ha^{-1}.jr^{-1} N, N6 = 200 kg.ha^{-1}.jr^{-1} N). Geen, resp. wel gebruik van nitrificatie-remmer (R1, R2)

Object	Veld-nummers	Kunstmest (kg.ha^{-1} N)	Drijfmest toediening	Toepassing nitr.remmer
T1R1N7	138,96	400	najaar	nee
T1R2N7	143,97	"	"	ja
T2R1N6	140,90	200	winter	nee
T2R2N6	128,91	"	"	ja

2.3.2 Bodemgesteldheid

De gemiddelde profielopbouw van het grasland bestaat uit een vochthoudende lichtlemige zandgrond, waarvan de bovenste 20 cm humusrijk zijn.

Het perceel is ongeveer 30 jaar geleden gediepploegd tot 80 cm diepte. Als gevolg daarvan is het bodemprofiel hier en daar nogal heterogeen van samenstelling. Het oorspronkelijke veen is her en der verspreid door het gehele profiel heen als grote brokken of als schuin liggende banen aangetroffen. Het perceel met deze proefveldjes lijkt een wat hoger humusgehalte te hebben dan aangrenzende percelen (Fonck, 1988). Enkele analyse-resultaten van een grondbemonstering zijn gegeven in tabel 7.

Tabel 7 Analyse van grondmonsters onder een graslandperceel op Droevendaal in maart 1987

Laagdiepte (cm-mv)	Org.stof (vol.%)	Droog volume gewicht (kg/dm^3)	Poriënvolume (vol.%)
0 - 10	6,98	1,28	48,75
10 - 20	8,26	1,32	46,86
20 - 35	1,89	1,54	40,99
35 - 50	2,02	1,58	39,42
50 - 70	0,92	1,53	41,86
70 - 100	0,66	1,78	32,55

2.3.3 Uitvoering metingen

Elke proefveldje heeft een bruto- en een netto-oppervlakte van 15 m^2 (1,5x10m). Op de proefveldjes zijn, analoog aan de opstelling bij het bouwland-onderzoek (fig. 1) vanuit het bruto veld vier keramische tensiometerpotjes per veldje schuin de grond ingeboord tot op een diepte van 90-100 cm-mv. Het bodemvocht bij de bemonstering werd door het aanleggen van onderdruk aangezogen en verzameld. Van het verzamelde bodemvocht is per proefveldje een mengmonster samengesteld, dat is geanalyseerd op nitraatstikstof, chloride en ammoniumstikstof.
Naast de bemonstering en analyse van het bodemvocht zijn grondwaterstanden gemeten.

2.3.4 Grondwaterstanden

Onder het perceel met de proefveldjes bevinden zich drains op een diepte van 70-80 cm-mv en een onderlinge afstand van 10 meter.
De grondwaterstand is gemeten in drie peilbuizen, waarvan er twee midden tussen de drains zijn geplaatst. Eén peilbuis is in de drainsleuf geplaatst om enig inzicht te geven in de mate van opbolling.

Gedurende de periodes dat het bodemvocht is bemonsterd, is tevens de diepte van de grondwaterstand gemeten (figuur 7).
Het gemiddelde van de gemeten grondwaterstanden onder het graslandperceel bedroeg 67 cm-mv. De hoogste grondwaterstand van 30 cm-mv werd gemeten op 17 maart 1989 en de laagste grondwaterstand van 90 cm-mv op 7 juli 1987.

2.3.5 Nitraatconcentraties

Tijdens twee periodes (winters van 1986/1987 en 1989/1990) zijn nitraatconcentraties gemeten in het bodemvocht op een diepte van 1 m-mv (tabel 8).

Zeer lage nitraatconcentraties zijn gemeten bij de objecten met dierlijke mest in de winter (tabel 8). Het effect van de toediening van een nitrificatie-remmer is bij deze objecten niet meetbaar in de nitraatconcentraties op 90-100 cm diepte.
Bij de objecten waar de dierlijke mest is toegediend in het najaar zijn tijdens de beide meetperiodes nitraatconcentraties gemeten die variëren van 3-32 $mg.l^{-1}$ NO_3-N. De objecten met winter- en die met najaarstoediening verschillen wat betreft het tijdstip van toediening en wat betreft de hoeveelheid kunstmest. Aan de objecten met najaarstoediening is in het groeiseizoen 200 $kg.ha^{-1}$ kunstmest-N meer gegeven dan aan objecten met winterbemesting.

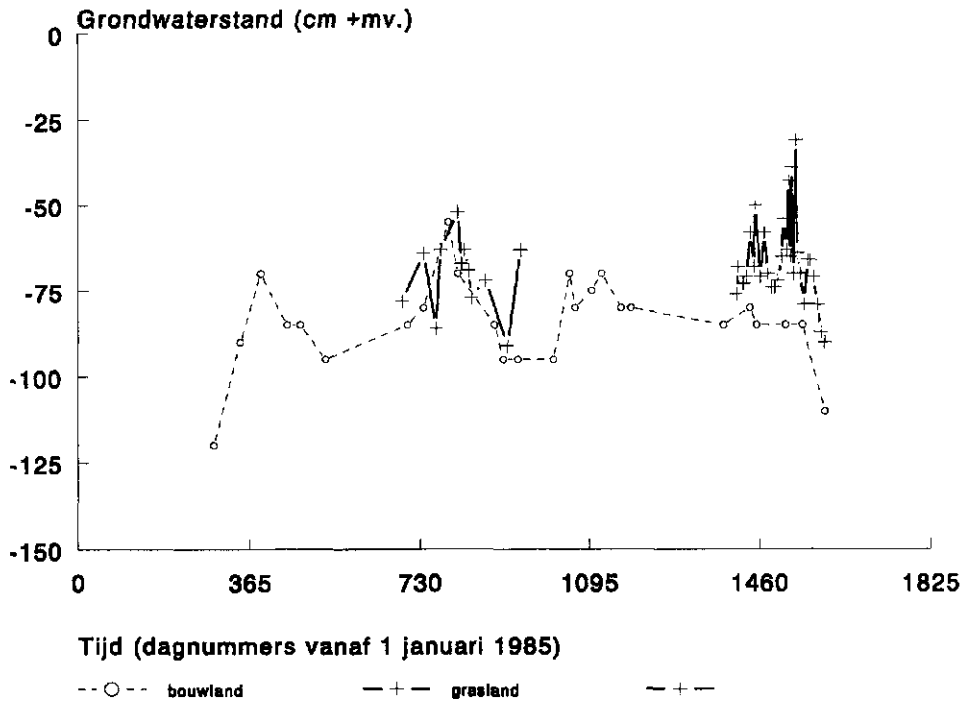


Fig. 7 Gemeten grondwaterstanden onder het graslandperceel van Droevendaal (dagnummer 274 = 1 okt. 1985); de onderbroken lijn gaat door de gemeten grondwaterstanden onder de bouwlandperceel

2.3.6 Conclusies en discussie

De gemeten nitraatconcentraties van de objecten met wintertoediening waren dermate laag dat hieruit geen conclusies omtrent de invloed van de nitrificatieremmer kan worden getrokken. De gemeten nitraatconcentraties onder de objecten met najaarsbemesting waren hoger bij gebruik van een nitrificatieremmer dan zonder nitrificatieremmer. De resultaten waren echter dermate afwijkend van wat in buitenlandse onderzoeken is aangetoond en op de bouwlandpercelen grotendeels is bevestigd dat aan de grasland-proeven geen conclusies te ontlenen zijn over de invloed van nitrificatieremmers op de nitraatuitspoeling.

De verschillen tussen metingen onder grasland en bouwland worden voornamelijk veroorzaakt door verschillen in vochthuishouding en heterogeniteit van de bodem. Het gemiddelde van de gemeten grondwaterstanden ligt bij grasland op 67 cm-mv en bij bouwland op 84 cm-mv. Weliswaar is niet op dezelfde data gemeten, maar het grasland lijkt toch duidelijk natter dan het bouwland (zie figuur 7). Verder blijken de graslandpercelen 30 jaar geleden gediepploegd te zijn, wat heeft geresulteerd in een heterogene samenstelling van de bodem en het verspreid voorkomen van veenresten in de bodemlaag 0-80 cm-mv (Fonck, 1988).

De zeer lage nitraatconcentraties zullen mede veroorzaakt zijn door een verhoogde denitrificatie in de bodemlagen tot 90 cm-mv onder invloed van de nattere condities

en de verspreid-voorkomende veenresten.
De hogere nitraatconcentraties bij het object met nitrificatieremmer (T1R2N7 t.o.v. T1R1N7) moeten worden toegeschreven aan de sterke heterogeniteit van de bodem, die in deze gevallen de concentraties op onvoorspelbare wijze heeft beïnvloed.

Tabel 8 ***Gemeten nitraatconcentraties (mg.l^{-1} NO_3-N) in het bodemvocht onder grasland op een diepte van 1 m-mv. Twee tijdstippen met bemesting van 60 ton dierlijke mest per ha, of 300 kg N-totaal per ha (T1=najaar, T2=winter). Twee kunstmestniveaus (N7 = 400 kg.ha^{-1}.jr^{-1} N, N6 = 200 kg.ha^{-1}.jr^{-1} N). Geen, resp. wel gebruik van nitrificatie-remmer (R1, R2)***

Datum	Objecten T1R1N7	T1R2N7	T2R1N6	T2R2N6
08-01-'87	5	6	0	0,3
13-02-'87	6	4	0	0
23-03-'87	13	6	0	0
16-04-'87	14	5	1	1
22-05-'87	4	3	2	1
22-12-'89	3,5	5,3	0	0
12-01-'90	3,5	9,2	0	0
29-01-'90	2,4	17,2	0	1,3
20-02-'90	4,1	26,2	0,1	5,1
07-03-'90	13,5	27,3	0	1,9
22-03-'90	9,6	28,5	0	0
06-04-'90	12,8	32,0	0	1,4

3 Invloed winterbodembedekkers en gewasresten

3.1 Algemeen

De teelt van wintergewassen wordt van oudsher toegepast om het organische-stofgehalte in de bodem te verhogen en de bodemstructuur te verbeteren. Tegenwoordig worden wintergewassen eveneens geteeld vanwege hun reducerende invloed op de uitspoeling van nutriënten. Wanneer bouwland gedurende het najaar, de winter en het vroege voorjaar, wordt bebouwd wordt de kans op uitspoeling om twee redenen geringer:

- Als gevolg van de gewasverdamping tijdens de groei van het wintergewas wordt het neerslagoverschot verkleind en zal het neerwaartse watertransport afnemen;
- Het wintergewas kan minerale stikstof opnemen die door het hoofdgewas is achtergelaten in het profiel of buiten het groeiseizoen van het hoofdgewas beschikbaar komt door mineralisatie van organische stof.

Dit laatste kan vooral van belang zijn bij toedieningen van dierlijke mest, die een langzaam afbrekend organische deel bevatten dat ook buiten het groeiseizoen kan mineraliseren.

Voor een effectieve werking van de wintergewassen is het nodig dat ze tijdig worden ingezaaid: tijdens de groei van het hoofdgewas of zo snel mogelijk na het verwijderen van het hoofdgewas. Indien te laat wordt ingezaaid is de kans groot dat het wintergewas onvoldoende tijd heeft om zich goed te kunnen ontwikkelen, voldoende stikstof vast te leggen en de stikstofuitspoeling te verminderen. Om de vastgelegde stikstof zo volledig mogelijk ten goede te laten komen van het volgende hoofdgewas dient het wintergewas in het voorjaar te worden ondergeploegd kort voor de opkomst van het hoofgewas.

Om het effect van de teelt van wintergewassen op de nitraatuitspoeling na te gaan is vanaf 1988 onderzoek verricht. Voor de teelt van snijmaïs op zandgrond is dit onderzocht op het ROC (Regionaal Onderzoeks Centrum) Aver Heino. De invloed van wintergewassen bij gewasrotatie op klei is op twee locaties onderzocht: lichte klei in de Wieringermeerpolder (ROC prof. Van Bemmelenhoeve) en zware klei in Oostelijk Flevoland (ROC De Kandelaar).

3.2 Akkerbouw (snijmaïs) op zandgrond (Heino)

Vanaf 1988 is een veldproef uitgevoerd op het ROC Aver Heino, waarin het PAGV, het CABO-DLO en het SC-DLO gezamenlijk onderzoek hebben gedaan naar de effecten van wintergewassen op de uitspoeling en benutting van stikstof bij de teelt van snijmaïs.
Het SC-DLO-onderzoek heeft zich gericht op de stikstof-uitspoeling. Een verslag hiervan is opgenomen in een tussentijdse rapportage (Schröder et al., 1992), waarvan in deze paragraaf een samenvatting wordt gepresenteerd van het onderzoek over de periode 1988-1990.

3.2.1 Proefopzet

De proef is opgezet met varianten van winterbehandeling in de vorm van braak, stoppelvrucht en ondervrucht. Binnen iedere winterbehandeling is gedurende het zomerhalfjaar snijmaïs geteeld bij 5 verschillende bemestingsniveaus. De laagste mestgift bedroeg een kunstmestgift van 20 kg.ha^{-1} N, de hoogste gift bedroeg 360 kg totaal-N, waarvan 140 kg.ha^{-1} als kunstmest-N en 225 kg.ha^{-1} totaal-N via dierlijke mest (tabel 9). De kunstmest is in de vorm van kalkammonsalpeter breedwerpig toegediend. Dierlijke mest is in de vorm van runderdrijfmest rond 20 april vóór het ploegen geïnjecteerd.

Tabel 9 Per object de jaarlijkse mestgiften van kunstmest, dierlijke mest, de totaal mestgift en de gemiddelde mestgift over de periode 1988-1990 (kg.ha^{-1} totaal-N)

Object	Kunst-mest	Dierlijke mest			Totale mestgift			Gemiddeld
		1988	1989	1990	1988	1989	1990	88-90
N1	20	-	-	-	20	20	20	20
N2	20	220	230	180	240	250	200	230
N3	60	220	230	180	280	290	240	270
N4	100	220	230	180	320	330	280	310
N5	140	220	230	180	360	370	320	350

Als wintergewassen zijn ondervruchten en stoppelvruchten gebruikt. Ondervruchten zijn wintergewassen die tijdens de groei van het hoofdgewas worden ingezaaid. Stoppelvruchten zijn wintergewassen die worden ingezaaid nadat het hoofdgewas is geoogst. Het voordeel van een ondervrucht ten opzichte van een stoppelvrucht is dat de groei en de N-opname al op gang zijn gekomen bij de maïsoogst. Als ondervrucht is een mengsel van grassen met een hoog aandeel Italiaans raaigras gebruikt. Als stoppelvrucht is de keuze gevallen op winterroge vanwege de geringe koudegevoeligheid van deze soort.
Besloten is tot een meerjarige proef omdat verwacht werd dat een aantal aspecten (mineralisatie, invloed meteorologische omstandigheden) van de stikstofkringloop pas na enkele jaren zichtbaar zouden worden.

3.2.2 Bodemgesteldheid

Om een profielbeschrijving te kunnen maken zijn op twee plaatsen in het proefveld profielkuilen bemonsterd. Daarnaast zijn op diverse plaatsen controle-boringen verricht om een beeld te krijgen van de ruimtelijke variabiliteit van bodem-eigenschappen.

Het proefveld van het ROC Aver Heino wordt gekenschetst als een veldpodzolgrond. De textuur van de bovengrond is leemarm, matig fijn zand. Het organische-stofgehalte

bedraagt ongeveer 3% in de bouwvoor (0-25 cm-mv) en in de ondergrond (> 60 cm-mv) ongeveer 0,5%.

Tijdens de ontginning in de jaren dertig is het proefveld tot 50 à 60 cm diep gespit. Het voor veldpodzolgronden zo kenmerkende A-B-C profiel is bij deze bewerking verstoord. Gedeelten van de verschillende horizonten zijn in de bouwvoor opgenomen. Sinds de ontginning is door jaarlijks ploegen een homogene Aap horizont van ongeveer 25 cm dikte ontstaan. De onderliggende laag tot 60 cm is nog steeds heterogeen van samenstelling. Dit uit zich met name in een grote ruimtelijke variabiliteit van het organische-stofgehalte in deze laag.
Het proefveld ligt op de overgang van een strook hoger gelegen stuifzand naar een lager gelegen beekdal. De waterscheiding ligt in het stuifzandgebied en het proefveld watert af naar het genoemde beekdal. Het verschil in maaiveldshoogte tussen proefveld en beekdal bedraagt 0,70 m (van 4,6 naar 3,9 m +NAP). De afstand tot de beek is 250 m.

3.2.3 Uitvoering metingen

Voor het kwantificeren van de waterhuishouding zijn grondwaterstanden, bodemvochtgehaltes op 1 m -mv en de neerslag gemeten. Verder zijn er profielkuilen gegraven waarin van elke onderscheiden bodemhorizont ringmonsters zijn gestoken. Met deze ringmonsters zijn voor elke bodemhorizont waterretentiekarakteristieken bepaald.

Voor het kwantificeren van de nitraatuitspoeling zijn concentraties gemeten in het bodemvocht op 1 m-mv. Het bodemvocht is bemonsterd door, vanuit aangrenzende grond, schuin omhoog via onderdruk vocht aan te zuigen (figuur 1).

Per veldje werden steeds 4 monsters genomen, gemengd en vervolgens op het laboratorium de nitraat- en chloride-gehaltes bepaald. Gedurende het winterseizoen is telkens een bemonstering uitgevoerd na een periode met circa 50 mm neerslag.

3.2.4 Waterbalansen

Voor de berekening van de nitraatuitspoeling dient in de eerste plaats de grondwatervoeding te worden vastgesteld. Hiervoor is een eenvoudige waterbalans opgesteld:

$$G = N - V - B$$

met: G = grondwatervoeding
N = neerslag
V = verdamping
B = bergingsverandering in het bodemprofiel tot de grondwaterstand

Om deze waterbalans op te kunnen stellen zijn metingen van het verloop van de grondwaterstand en drukhoogten van het bodemvocht nodig om de bergingsverandering te kunnen bepalen. De waterretentiekarakteristieken worden gebruikt om bij elke grondwaterstand, uitgaand van een evenwichtssituatie (geen verticale stroming), de vochtinhoud van het bodemprofiel te berekenen. Door de verschillen in vochtinhoud te bepalen kan de bergingsverandering worden vastgesteld over een bepaalde uitspoelingsperiode.

De neerslag is op het proefbedrijf gemeten, de verdamping is berekend op basis van weergegevens van de KNMI-stations Eibergen en Twente.

De gemeten grondwaterstanden zijn de basis voor de berekening van eventuele bergingsverschillen in het bodemprofiel. De grondwaterstanden zijn gemiddeld een keer per week gemeten (figuur 8). Het grondwater fluctueerde tussen 50 en 160 cm-mv, waarmee het grondwaterregime geclassificeerd kan worden als grondwatertrap VI.
In het jaar 1990 is 1 november voor alle winterbehandelingen als start van het uitspoelingsseizoen aangehouden. Dit is de datum waarop geen verticaal neerwaarts transport plaatsvond, wat is vastgesteld aan de hand van metingen van de drukhoogte van het bodemvocht op meerdere dieptes. In de jaren 1988 en 1989 is steeds de eerste bemonsteringdatum in het najaar als start van de uitspoelingsperiode aangenomen. De resultaten van de hydrologische balansberekeningen staan vermeld in tabel 10.

Tabel 10 Waterbalansen (in mm per periode) voor de drie uitspoelingsperiodes in de jaren 1988-1991; snijmaïs op zandgrond (Heino)

Balansterm	Winter-behandeling	Periode		
		8/10/'88-17/4/'89 (191 dagen)	19/10/'89-17/4/'90 (173 dagen)	1/11/'90-27/3/'91 (146 dagen)
neerslag	braak, rogge en gras	370	294	255
verdamping	braak	44	45	25
	rogge	93	97	60
	gras	90	90	61
berging	braak, rogge en gras	+9	-76	0
grondwater-voeding	braak	335	173	218
	rogge	286	121	183
	gras	289	119	182

De berekende grondwatervoeding was in het winterhalfjaar '88/'89 voor de veldjes zonder winterbedekker ('braak') bijna twee maal zo groot als in het winterhalfjaar '89/'90. De veldjes met winterbedekker hadden in dit jaar zelfs een grondwatervoeding die ruim twee maal zo groot was als in '89/'90. De verschillen tussen wel of geen bodembedekker in de winter wordt geheel veroorzaakt door verschillen in

verdamping. De verschillen tussen de winterhalfjaren onderling worden veroorzaakt door de neerslag en de daarmee gepaard gaande bergingsverandering. In alle drie onderzocht winterhalfjaren was de gewasverdamping hoog door de relatief zachte winters. De temperatuurssom (>3 °C) bedroeg van 1 oktober tot 1 april voor '88/'89, '89/'90 en '90/'91 respectievelijk 673, 731 en 605, tegen een normale waarde van 380 °C.

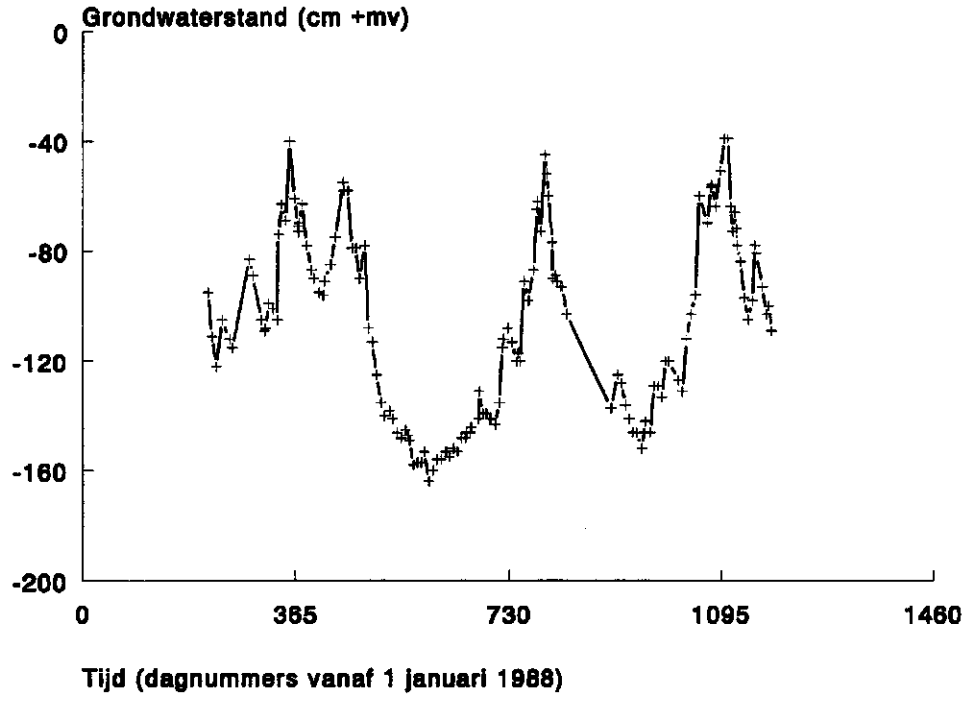


Fig. 8 Gemeten grondwaterstanden onder akkerbouwpercelen van Aver-Heino in de onderzoeksjaren 1988 - 1991

3.2.5 Nitraatconcentraties en -afvoer

De nitraatuitspoeling is per uitspoelingsperiode bepaald door de gemeten nitraatconcentraties te vermenigvuldigen met de berekende grondwatervoeding. De resultaten zijn samengevat in tabel 11.

Hogere bemesting resulteerde in een hogere nitraatuitspoeling. Naast de bemesting bleek ook het type winterbehandeling van invloed op de nitraatgehaltes. Onder de braakliggende veldjes is vrijwel altijd de hoogste nitraatuitspoeling bepaald.
Indien de totale bemesting wordt vergeleken met de nitraatuitspoeling (figuur 9) dan is bij lage bemestingsniveaus de nitraatuitspoeling bij braakligging in de winter groter dan de mestgift. Om de langdurige effecten van de bemesting zichtbaar te maken is gebruik gemaakt van de totale bemesting, waarmee geen rekening is gehouden met de 'effectiviteit' van de dierlijke mestgift. Bij toepassing van de stoppelvrucht winterrogge blijkt een daling van de uitspoeling op te treden bij hoge mestgiften. Deze daling wordt veroorzaakt door de lage nitraatconcentraties die in het winterseizoen '89/'90 zijn gemeten. De oorzaak hiervan is vooralsnog niet duidelijk.

Tabel 11 Nitraatuitspoeling (kg.ha^{-1} NO_3-N) op een diepte van 1 m-mv per uitspoelingsperiodes en als gewogen gemiddelde in de jaren 1988-1991; snijmaïs op zandgrond (Heino)

Winter-behandeling	N-object	Periode			
		8/10/'88-17/4/'89 (191 dagen)	19/10/'89-17/4/'90 (173 dagen)	1/11/'90-27/3/'91 (146 dagen)	gemiddeld 8/10/'88-27/3/'91
braak	N1	80	50	43	59
	N2	135	77	104	106
	N4	289	166	109	196
	N5	321	163	372	282
rogge	N1	26	2	17	15
	N2	109	3	79	64
	N4	135	16	214	117
	N5	164	9	163	111
gras	N1	15	2	1	7
	N2	66	15	22	36
	N4	109	52	58	75
	N5	137	60	105	102

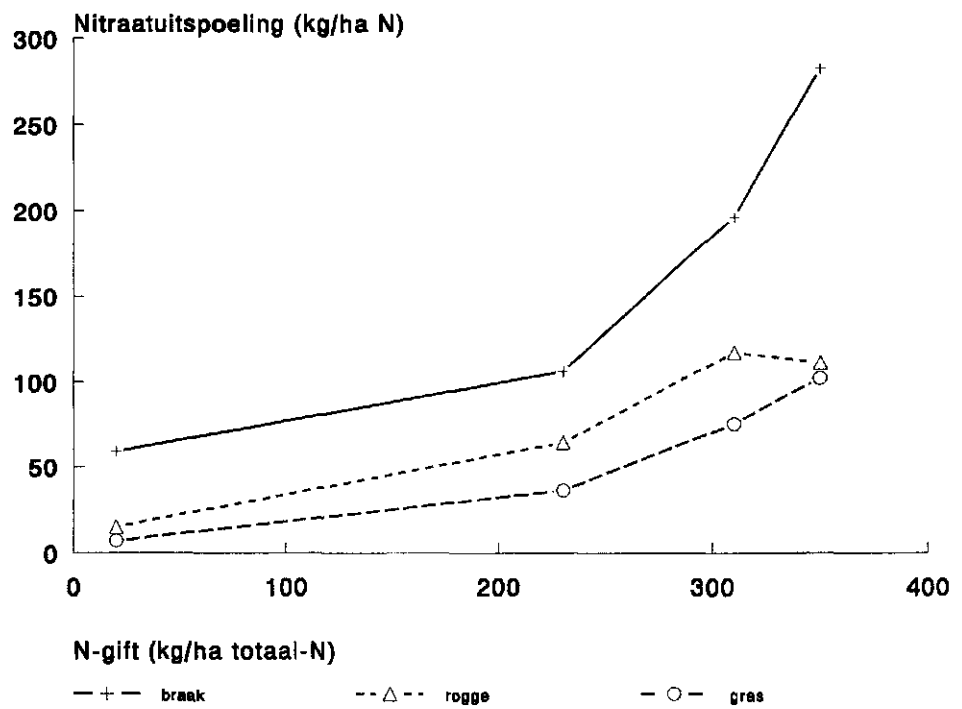


Fig. 9 Nitraatuitspoeling (kg.ha^{-1} NO_3-N) op 1 m-mv gedurende het winterhalfjaar van de jaren 1988-1991 uitgezet tegen de totale mestgift (som van kunstmest-N en totaal-N in dierlijke mest)

3.2.6 Conclusies en discussie

Met metingen en eenvoudige balansberekeningen is de invloed van wintergewassen op de nitraatuitspoeling aangetoond. Bij een zeer laag bemestingsniveau (kunstmestgift van 20 kg.ha^{-1}.jr^{-1} N) is de nitraatuitspoeling bij het 's winters braak liggende perceel beduidend hoger dan de bemesting zelf. Bovendien is de nitraatuitspoeling vier tot acht keer zo hoog als bij objecten met wintergewassen. Bij hogere bemestingsniveaus (> 200 kg totaal-N.ha^{-1}.jr^{-1}) is de nitraatuitspoeling bij 'braak' nog bijna drie keer zo hoog als bij de teelt van wintergewassen. De relatief hoge nitraatuitspoeling bij 'braak' met een laag bemestingsniveau wordt veroorzaakt door het beschikbaar komen van stikstof via mineralisatie van organische stof. Bij de teelt van wintergewassen wordt deze stikstof vastgelegd. Bij hogere mestgiften is dit ook het geval maar wordt dit effect sterk beïnvloed door de grootte van de mestgift. Bij hogere stikstofgiften wordt daarbij méér stikstof vastgelegd in het wintergewas. Gras lijkt effectiever te zijn dan rogge.

Indien wordt gelet op de verschillen tussen de teelt van een winterbodembedekker en 'braak' laten liggen van de grond, leidt de teelt van een wintergewas bij hogere mestgiften tot een grotere reductie van de nitraatuitspoeling dan dezelfde teelt bij lage mestgiften. Bij hoge mestgiften daalt de nitraatuitspoeling met 180 kg.ha^{-1} N en bij lage mestgiften met 50 kg.ha^{-1} N.

Het is niet duidelijk in welke mate de hoge uitspoeling onder met name de braakliggende percelen is veroorzaakt door de relatief warme winters gedurende de proef-periode. Waarschijnlijk wordt het grote waargenomen effect van winterbodembedekkers sterk beïnvloed door de temperatuur. Gedurende de onderzoeksperiode was deze relatief hoog. Verwacht mag worden dat hierdoor de mineralisatie groter is dan gemiddeld, terwijl ook de stikstofopname door het wintergewas hier sterk door wordt beïnvloed. Of bij koudere winters de verschillen vergelijkbaar zijn en of ook dan gras als wintergewas betere resultaten geeft dan rogge zal proefondervindelijk moeten worden vastgesteld.

De grondwatervoeding bepaalt in belangrijke mate de berekende nitraatuitspoeling, en kan de verschillen tussen de jaren onderling sterk beïnvloeden. Voor de onderlinge vergelijking van de behandelingen heeft dit waarschijnlijk geen effect.

3.3 Akkerbouw op kleigrond (De Kandelaar en Van Bemmelenhoeve)

Op twee Regionale Onderzoeks-Centra (ROC's) 'De Kandelaar' in Oostelijk Flevoland en de 'Prof. van Bemmelenhoeve' in de Wieringermeerpolder heeft het DLO-Staring Centrum onderzoek uitgevoerd naar stikstofverliezen naar grond- en oppervlaktewater. De proeven op beide ROC's waren onderdeel van het PAGV-onderzoek dat gedurende de periode 1986-1991 op zes ROC's is uitgevoerd (de zgn. DOM-proeven). Het PAGV-onderzoek was met name gericht op het effect van najaarstoepassingen van dierlijke mest op het gewas.

De grondsoorten van de ROC's De Kandelaar en Van Bemmelenhoeve zijn respectievelijk zware en een lichte kleigrond. Voor het ondeerzoek is gekozen voor kleigronden enerzijds omdat het merendeel van het akkerbouwareaal (uitgezonderd snijmaïs) op kleigronden te vinden is en anderzijds omdat er nog weinig onderzoek was verricht naar stikstofverliezen door uitspoeling uit kleigronden. De proefopzet was voor beide ROC's vrijwel identiek. Het veldwerk is uitgevoerd in nauwe samenwerking met het PAGV en de vakgroep Bodemkunde en Geologie van de Landbouwuniversiteit. De belangrijkste aandachtspunten in het veldonderzoek waren:
- bemesting, gewas en minerale bodemstikstof (PAGV);
- vochthuishouding, waterstroming en ruimtelijke variabiliteit (LUW);
- stikstofverliezen naar grond- en oppervlaktewater (SC-DLO).

Een verslag van het PAGV-onderzoek op de ROC's De Kandelaar en Van Bemmelenhoeve is opgenomen in een PAGV-publikatie (Hengsdijk 1992).
Van het veldwerk dat het SC-DLO op beide ROC's heeft uitgevoerd, wordt hierna een samenvattend verslag gegeven; een uitgebreid verslag van het veldwerk wordt elders gegeven (De Boer & Kockelkoren, 1994). Een beperkte samenvatting is al eerder verschenen (De Boer et al., 1991).

3.3.1 Proefopzet

Op de ROC's De Van Bemmelenhoeve en De Kandelaar, waar het onderzoek is uitgevoerd, zijn een groot aantal proefveldjes (objecten) met verschillende behandelingen aangelegd. Er is daarbij onderscheid gemaakt in niveaus van drijfmestgiften en kunstmest-N giften (N-trappen). Bovendien is er onderscheid gemaakt tussen wel of geen stro achterlaten en wel of geen groenbemester zaaien. Een uitgebreide beschrijving van de proefopzet wordt gegeven door Hengsdijk (1992).

De vierjarige vruchtwisseling op de beide proefvelden liep gedurende de onderzoeksperiode parallel. Achtereenvolgens werden de volgende gewassen geteeld: wintertarwe (1987), suikerbieten (1988), gerst (1989), aardappelen (1990) en weer wintertarwe (1991). Op een aantal veldjes is de groenbemester gele mosterd verbouwd. Voor de oogst van het hoofdgewas werd de gele mosterd als ondervrucht ingezaaid en in de winter ondergeploegd.

Op beide proefboerderijen werd dierlijke mest in de vorm van kippedrijfmest (KDM) toegediend. Kippedrijfmest bevat relatief veel voedingsstoffen en organische stof per ton mest en wordt als de waardevolste drijfmestsoort gezien. In de proeven werd de mest eens in de twee jaar, in het najaar voorafgaand aan aardappelen en suikerbieten, uitgereden over de stoppel van het graangewas. Najaarstoediening werd noodzakelijk geacht in verband met het voorkómen van schade aan de structuur van de bodem.

In de proeven werden drie niveaus van drijfmestgiften onderscheiden: 0, 125 en 250 $kg.ha^{-1}$ P_2O_5. Deze P-gift is benaderd door 0, 15 en 30 ton KDM toe te dienen. Op het object zonder drijfmest werd kunstmest-P gegeven volgens het bemestingsadvies. De kunstmest-N gift lag niet vooraf vast. Ieder jaar werd met bodemonderzoek in

het voorjaar een bemestingsadvies opgesteld, op basis waarvan de N-trappen werden vastgesteld.

De samenstelling van de kippedrijfmest (KDM) en de hoeveelheden die op de beide proefbedrijven zijn toegediend staan weergegeven in tabel 12.

Tabel 12 Samenstelling en hoeveelheden dierlijke mest, zoals toegediend op de Van Bemmelenhoeve en De Kandelaar. (naar: Hengsdijk, 1992)

Toedienings-stijdstip	Hoeveelheid KDM (ton KDM.ha^{-1})	Samenstelling (kg.ha^{-1})			
		Bemmelenhoeve		Kandelaar	
		N_{tot}	P_2O_5	N_{tot}	P_2O_5
najaar 1987	15	157	83	157	83
„	30	320	169	320	169
najaar 1989	15	146	104	146	104
„	30	291	210	291	208

Door de sterk wisselende samenstelling van de kippedrijfmest wijken de opgebrachte P_2O_5-hoeveelheden af van de verwachte P_2O_5-niveaus van 0, 125 en 250 kg P_2O_5.ha^{-1}.

De toedieningstijdstippen en de hoeveelheden van de kunstmest-N giften staan vermeld in tabel 13.

In tabel 14 tenslotte worden de verschillende combinaties van drijfmestgiften, kunstmest-trappen en groenbemestingsvarianten gegeven die betrokken werden in het uitspoelingonderzoek van het SC-DLO.

Tabel 13 De kunstmestgiften zoals toegediend op de Van Bemmelenhoeve en De Kandelaar (naar: Hengsdijk, 1992)

Toedienings-tijdstip	Kunstmestgiften (kg.ha^{-1} N), of N-trappen N0, N1, N2, N3	
	Van Bemmelenhoeve	De Kandelaar
22-03-1988	0, 100, 150, 150	
15-04-1988		0, 75, 150, 225
01-06-1988	0, 0, 50, 150	
29-03-1989	35, 35, 35, 35	
31-03-1989		70, 70, 70, 70
13-03-1990	0, 75, 150, 225	
05-04-1990		0, 75, 150, 225

Tabel 14 Combinaties van drijfmestgiften, kunstmesttrappen en groenbemestings-varianten, welke bestudeerd werden in het onderzoek naar nitraatuitspoeling

KDM ton.ha^{-1}	Kunstmest N-trap	Bewerking	Veldnr. Van Bemm.	Veldnr. Kandelaar
0	N0	ggb	186	72
	N1	ggb	192	71
	N2	ggb	82	65
15	N2	ggb	183	64
	N2	stpl	143	-
	N2	gb	101	76
30	N0	ggb	83	68
	N1	ggb	187	67
	N2	ggb	188	61
	N3	ggb	84, 128, 181	10, 62
	N3	stpl	140	-
	N3	gb	103	73

(stpl = stoppelploegen, ggb = grasgroenbemester, gb = groenbemester, stpl = stoppelploegen, N0 = bemesting 0 kg.ha^{-1} N, N1 = N-adviesbemesting - 50%, N2 = N-adviesbemesting, N3 = N-adviesbemesting + 50%)

3.3.2 Bodemgesteldheid

De Van Bemmelenhoeve ligt in de Wieringermeerpolder. Sinds de drooglegging in 1930 heeft nog vrijwel geen bodemvorming plaatsgevonden. Het profiel is sterk gelaagd; de textuur varieert van zand tot lemige klei. De aard van deze gelaagdheid verschilt van plaats tot plaats en met de diepte, en varieert van een paar dunne (1 mm - 1 cm) kleiige laagjes in een zandige matrix tot een paar zandige laagjes in een kleiige matrix. In de zandige matrix worden hier en daar brokjes veen aangetroffen. Een profielindeling is gegeven in tabel 15. De meeste gegevens zijn afkomstig van Finke (1992), alleen de in tabel 15 vermelde hoeveelheden organische stof zijn door het PAGV aan het begin van de proefperiode bepaald.

Tabel 15 Een profielbeschrijving van het proefveld van de Prof. van Bemmelenhoeve (Finke, 1992 en PAGV, Lelystad)

Diepte (cm -mv)	Horizont	Beschrijving	Textuur indien gemengd	Organische stof (%)	Bulkdichtheid ($kg.dm^{-3}$)
0 - 35	Ap	bouwvoor	leem tot kleiig leem	2,2	1,44
35 - 60	C1	zandige leemlaag met klei-leem lenzen	zandig leem tot leem	1,5	1,29
60 - 90	C2	siltige klei-leem-laag met zand-leem lenzen	siltige klei-leem	1,0	1,09

ROC De Kandelaar ligt in de polder Oostelijk Flevoland. In de bodemprofielen van De Kandelaar zijn verschillende horizonten duidelijk te onderscheiden. Enkele karakteristieken van de horizonten zijn weergegeven in tabel 16. De textuur in het profiel varieert sterk met de diepte: van zware klei in de bouwvoor tot zand beneden 1 meter. De bouwvoor heeft een middelgrote blokkige structuur en de beide horizonten daaronder hebben een sterk ruwe prismatische structuur. In de horizonten tot ≈100 cm diepte zijn scheuren te vinden, die deels gedurende het gehele jaar open zijn (Booltink & Bouma, 1991). Deze scheuren zorgen voor een variatie in de bulkdichtheid met het seizoen. De in tabel 16 vermelde waarden zijn dan ook gemiddelde waarden.

Het organische-stofgehalte verschilt sterk van laag tot laag; zo wordt het hoogste organische-stofgehalte gevonden in de laag van 70-100 cm-mv (zgn. Almere-afzetting). Het onderliggende pleistocene zand is zeer arm aan organische stof. De door het PAGV aan het begin van de proefperiode bepaalde gehaltes bedroegen voor de lagen 0-30, 60-90 en 90-120 cm-mv respectievelijk: 3,6, 4,7 en 12,8 % organische stof.

Tabel 16 Enkele eigenschappen van horizonten die onderscheiden worden in het bodemprofiel op het proefveld van De Kandelaar (naar: Booltink & Bouma, 1991)

Diepte (cm-mv)	Horizont	Textuur	Lutum (%)	Bulkdichtheid ($kg.dm^{-3}$)
0 - 30	Ap	klei	42	1,4
30 - 70	IIC	kleiig leem	40	1,3
70 - 100	IIIC	siltige kleileem	30	1,0
> 100	IVBCb	klei-arm zand	<5	1,7

3.3.3 Uitvoering metingen

Tijdens de proefperiode is op beide ROC's de hoogte van de grondwaterstand wekelijks gemeten tijdens het neerslagoverschotseizoen (oktober-april). Daarnaast zijn metingen in het zomerseizoen verricht om een indruk te krijgen van de diepste grondwaterstand.

Op beide ROC's zijn de percelen voorzien van buizendrainage, waarbij de drains zich onder meerder proefveldjes bevinden. De drainafstand bedraagt op de Van Bemmelenhoeve 22 m en op De Kandelaar 48 m. De uitmonding van de drains in de sloten ligt bij de Van Bemmelenhoeve op 1,4 m-mv en op De Kandelaar op 1,1 m-mv.

Om de afvoer via drains en om een mogelijke opbolling van de grondwaterspiegel tussen de drains vast te kunnen stellen, is op beide ROC's een raai van een 5-tal buizen dwars op de drains geplaatst. Om informatie te krijgen over afvoer naar de sloten zijn voorts nog 2 grondwaterstandsbuizen geplaatst evenwijdig aan de drainbuizen. Daarnaast zijn 2 diepe grondwaterstandsbuizen (filter op 5-6 m-mv) geïnstalleerd om kwel/wegzijging naar de diepere ondergrond te kunnen vaststellen.

Op het proefperceel van De Kandelaar werd continu het draindebiet bepaald en werden debiet-proportioneel watermonsters genomen, na elke 0,51 mm (3,44 m^3) waterafvoer (Booltink, 1991). In de watermonsters is NO_3-N en Cl^- bepaald.

Op beide ROC's is de bodem enkele malen per jaar bemonsterd op N-mineraal in de laag van 0 tot 110 cm-mv. Bij de analyse is rekening gehouden met de variaties in bulkdichtheid. Daarnaast is begin 1989 de hoeveelheid N-totaal bepaald in zes lagen in de eerste meter van het bodemprofiel.

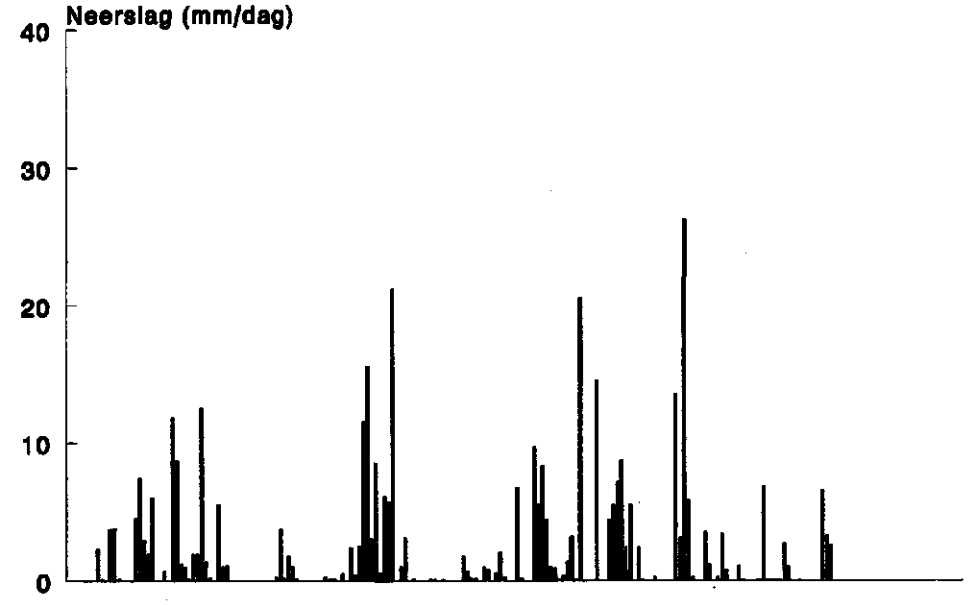
Op beide ROC's is bodemvocht onttrokken met poreuze keramische tensiometercups volgens figuur 1 en geanalyseerd op NO_3-N, NH_4-N, en Cl^-.

3.3.4 Waterhuishouding

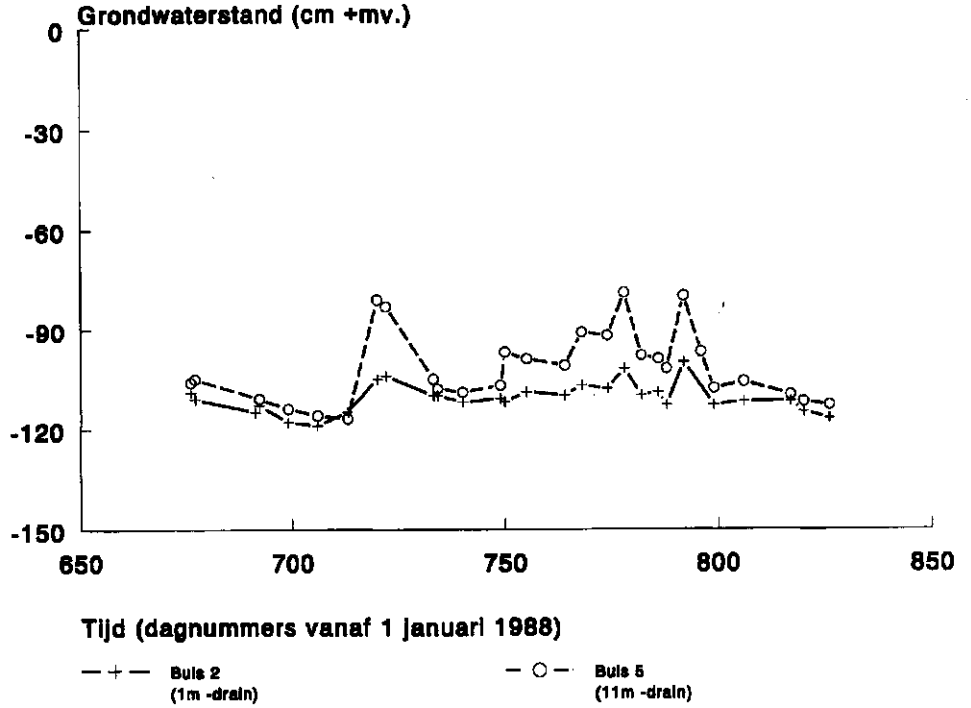
De gemeten neerslag en het gemeten grondwaterstandsverloop op de Van Bemmelenhoeve gedurende de uitspoelingsperiode 1989/1990 zijn weergegeven in figuur 10. De gemiddelde grondwaterstand bevindt zich op 1 m-mv. Naarmate de afstand tot de drain toeneemt (figuur 10 B, buis 5, 11 m vanaf drain) resulteert de opbolling van de grondwaterstand in een grotere fluctuatie van het grondwaterstandsverloop.

Voor De Kandelaar zijn in figuur 11 de metingen gegeven van neerslag, grondwaterstandsverloop en drainafvoer gedurende de uitspoelingsperiode 1989/1990. De gemiddelde grondwaterstand bevindt zich op 1,2 m-mv. Uit de raai met grondwaterstandsbuizen dwars op de drain is geen opbolling gebleken (de Boer & Kockelkoren, 1994). De grondwaterstand reageert sterk op het neerslagoverschot, wat blijkt uit de

fluctuatie van de grondwaterstand boven de drain (figuur 11 B).
De drain begint af te voeren zodra de grondwaterstand stijgt boven de draindiepte van 1,1 m-mv (Booltink, 1991).

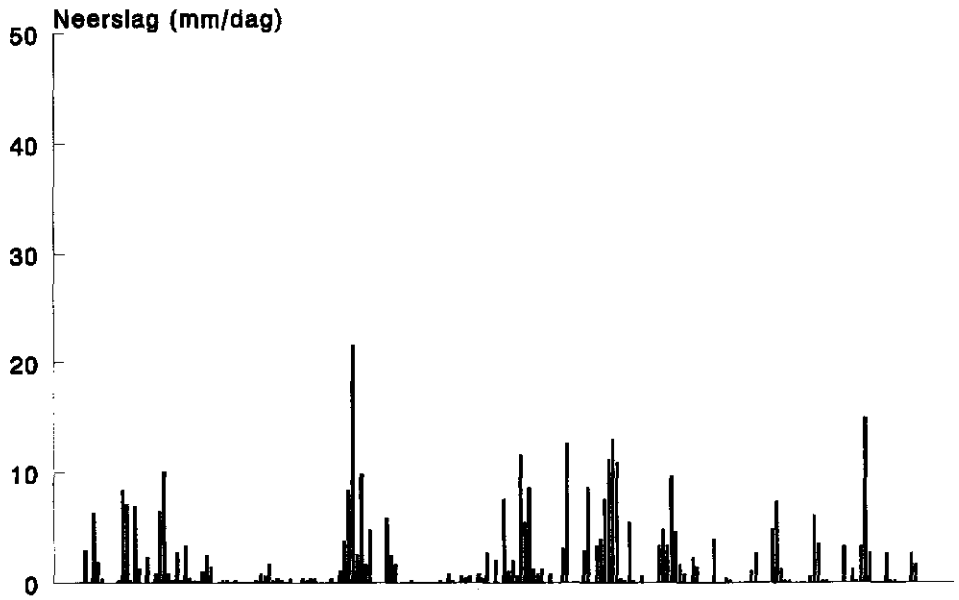


A

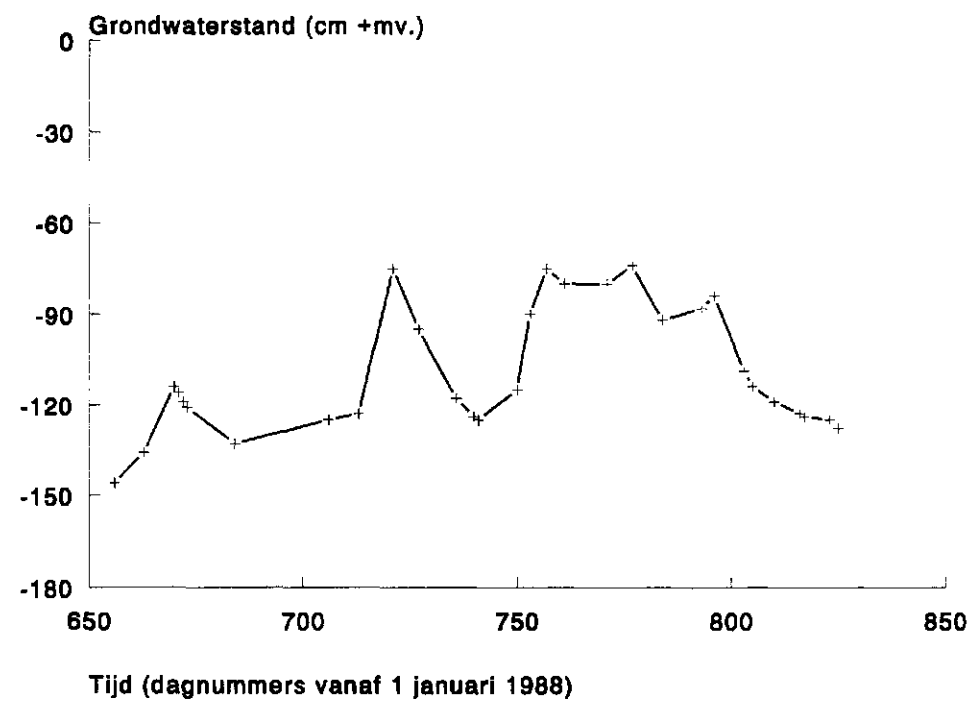


B

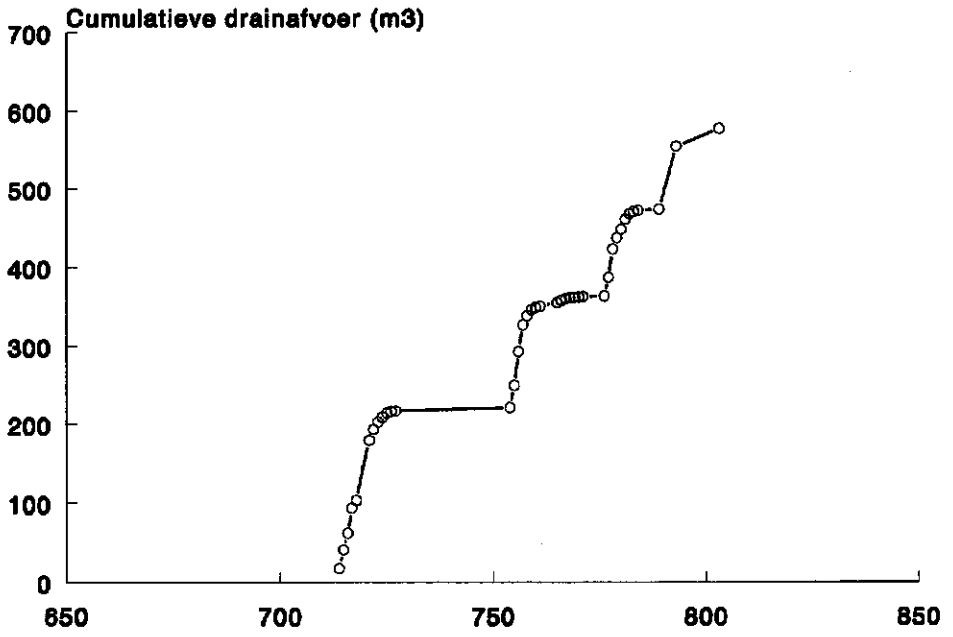
Fig. 10 ***Neerslag (A) en grondwaterstand (B) op de Van Bemmelenhoeve gedurende de winter van 1989/1990***


Neerslag (mm/dag)
50
40
30
20
10
0

A


Grondwaterstand (cm +mv.)
0
-30
-60
-90
-120
-150
-180
650
700
750
800
850
Tijd (dagnummers vanaf 1 januari 1988)

B



C

Fig. 11 ***Neerslag (A), grondwaterstand (B) en drainwaterafvoer (C) op De Kandelaar gedurende de winter van 1989/1990 (naar: Booltink, 1991)***

3.3.5 Stikstofhuishouding

Op beide ROC's zijn de stikstof-totaal gehalten bepaald in zes bodemlagen. De gemiddelde gehalten zijn voor de Van Bemmelenhoeve en De Kandelaar gegeven in tabellen 17 en 18.
Op de Van Bemmelenhoeve zijn de hoogste stikstof-totaal gehalten gemeten in de laag 0-30 cm, wat tevens de laag is met het hoogste organische-stofgehalte. De hoeveelheid organische stof bepaalt het gehalte aan stikstof-totaal.

Op De Kandelaar zijn de hoogste hoeveelheden stikstof-totaal (per eenheid van laagdikte) gemeten in de laag 70-80 cm, wat correleerde met het hoge organische-stofgehalte van deze laag.

Tabel 17 Gemiddelde N-totaalgehalten (kg.ha^{-1} N) verdeeld over de verschillende lagen en bemestingsniveaus voor de Prof. van Bemmelenhoeve op 6/2/1989

Laag (cm-mv)	N-totaal (kg.ha^{-1} N)		
	0 ton KDM.ha^{-1}	15 ton KDM.ha^{-1}	30 ton KDM.ha^{-1}
0 - 30	4690	4690	4680
30 - 45	1390	1420	1280
45 - 60	1170	1130	1200
60 - 75	1330	1290	1280
75 - 100	2100	2130	2060
0 - 100	10680	10660	10500

Tabel 18 Gemiddelde N-totaalgehalten verdeeld over de verschillende lagen en bemestingsniveaus voor De Kandelaar op 9/3/1989

Laag (cm-mv)	N-totaal (kg.ha^{-1} N)		
	0 KDM.ha^{-1}	15 KDM.ha^{-1}	30 KDM.ha^{-1}
0 - 35	8590	8510	8400
35 - 70	11250	11190	11180
70 - 80	4070	3950	4000
80 - 95	5530	5220	5720
95 - 115	1040	910	890
0 - 115	30480	29780	30190

Op de Van Bemmelenhoeve is voor de bepaling van de hoeveelheid N-mineraal in de bodem vanaf oktober 1988 zes maal een bemonsteringsronde uitgevoerd. Tabel 19 geeft de gemeten N-mineraalgehalten bij het hoogste dierlijke bemestingsniveau (30 ton KDM.ha^{-1}).

Tabel 19 N-mineraalgehalten (kg.ha^{-1} N_{min}) in het bodemprofiel 0 - 100 cm van de verschillende veldjes op de Van Bemmelenhoeve op verschillende tijdstippen. De dierlijke bemesting bedroeg 300 kg.ha^{-1} N (Kippedrijfmest)

Veld:	83	84	103	128	140	181	187	188	Gemid. N_{min}
N-trap:	N0	N3	N3	N3	N3	N3	N1	N2	
Bewerking:	ggb	ggb	gb	ggb	stpl	ggb	ggb	ggb	
okt '88	50	55	75	50	25	20	25	40	45
feb '89	40	50	85	60	50	50	30	30	50
aug '89	80	85	55	65	70	70	120	80	80
nov '89	90	80	90	75	185	85	110	85	100
apr '90	170	425	255	295	515	265	295	255	310
mrt '91	140	210	n.b.	215	n.b.	210	n.b.	n.b.	195

n.b.=niet bekend,
ggb=gras als groenbemester, gb=gele mosterd als groenbemester, stpl=stoppelploegen

Op De Kandelaar is gedurende de proefperiode 7 keer een N-mineraal bemonstering van de bodem uitgevoerd. De resultaten voor het hoogste dierlijke bemestingsniveau zijn gegeven in tabel 20.

Tabel 20 N-mineraalgehalten (kg.ha^{-1} N_{min}) in het bodemprofiel 0 - 115 cm van de verschillende veldjes op De Kandelaar op de verschillende tijdstippen. De dierlijke bemesting bedroeg 300 kg.ha^{-1} N (Kippedrijfmest)

Veld:	10	61	62	67	68	73	165	178	Gemid. N_{min}
N-trap:	N3	N2	N3	N1	N0	N3	N3	N3	
Bewerking:	ggb	ggb	ggb	ggb	ggb	gb	stro	ggb	
nov '88	55	30	30	20	30	55	40	30	35
mrt '89	95	95	95	75	65	65	125	100	90
mei '89	225	200	230	195	220	225	230	200	215
aug '89	135	105	100	85	110	110	130	125	115
nov '89	150	115	135	75	135	125	205	75	125
mrt '90	545	410	340	240	225	520	375	275	365
mrt '91	175	n.b.	165	n.b.	125	n.b.	n.b.	200	165

n.b. = niet bekend

Vanaf najaar 1988 zijn op de Van Bemmelenhoeve monsters van het bodemvocht genomen via poreuze tensiometercups op 1 m-mv. In het uitspoelingsseizoen '88/'89 zijn daarin na de teelt van suikerbieten geen meetbare nitraatconcentraties bepaald. De nitraatconcentraties in het bodemvocht stegen gedurende het uitspoelingsseizoen '89/'90 na de teelt van gerst van gemiddeld 0,6 mg.l^{-1} NO_3-N in december 1989 tot gemiddeld 6 mg.l^{-1} NO_3-N in maart 1990 (tabel 21). De bemonstering aan het eind van het uitspoelingsseizoen '90/91 na de teelt van aardappelen resulteerde in een gemiddelde uitspoelingsconcentratie van 22 mg.l^{-1} NO_3-N. De maximale concentratie bedroeg 33 mg.l^{-1} NO_3-N na de teelt van aardappelen en is in april '91 gemeten.

Tabel 21 Nitraatgehalten (mg.l^{-1} NO_3-N) gemeten in het bodemvocht op 1 m-mv onder verschillende veldjes van de Van Bemmelenhoeve. De kunstmestgiften weergegeven als N-trap (N0, N1, N2, N3)

KDM ton.ha^{-1}	Kunstmest N-trap	Bewerking	Veldnr	NO_3-N concentratie (mg.l^{-1} N) op tijdstip:				
				13/12/89	6/2/90	6/3/90	27/3/90	2/4/91
0	N0	ggb	186	0,2	1,7	3,0	1,9	5,3
	N1	ggb	192	0,1	5,5	5,2	2,3	
	N2	ggb	82		5,0	11,3	8,5	20,6
15	N2	ggb	183	0,5	1,8	3,1	1,2	
	N2	stpl	143	0,3	13,5	12,7	10,2	
	N2	gb	101		0,8	1,7	2,0	
30	N0	ggb	83	0,5	4,0	5,7	0,8	
	N1	ggb	187	0,2	4,0	4,0	5,2	
	N2	ggb	188	0,2	2,2	2,4	1,7	
	N3	ggb	84	0,2	6,0	15,0	3,2	30,3
	N3	ggb	128	0,4	0,6	1,9	1,0	
	N3	ggb	181	1,2	3,5	9,4	4,9	33,0
	N3	gb	103	3,1	13,6	29,1	12,0	
	N3	stpl	140			17,1	11,5	
0	gemidd.			0,2	4,1	6,5	4,2	12,9
15	gemidd.			0,4	5,4	5,8	4,5	
30	gemidd.			0,8	4,8	10,6	5,0	31,7
	gemiddeld			0,6	4,8	8,7	4,7	22,3

ggb=gras als groenbemester, gb=gele mosterd als groenbemester, stpl=stoppelploegen

Op De Kandelaar zijn, evenals op de Van Bemmelenhoeve, vanaf najaar 1988 monsters genomen van het bodemvocht op 1 m-mv. In het uitspoelingsseizoen '88/'89 is na de teelt van suikerbieten vrijwel geen nitraat (< 0,1 mg.l^{-1} NO_3-N) aangetroffen. Tot maart 1990 werden na de teelt van gerst lage nitraatconcentraties gemeten (< 2 mg.l^{-1} NO_3-N). In maart 1990 en maart 1991 zijn na de teelt van aardappelen enkele hogere nitraatconcentraties gemeten; gemiddelde waarden komen echter niet boven de 10 mg.l^{-1} NO_3-N (tabel 22).

Tabel 22 Nitraatgehalten (mg.l^{-1} NO_3-N) gemeten in het bodemvocht op 1 m-mv onder verschillende veldjes op De Kandelaar. De kunstmestgiften zijn weergegeven als N-trap (N0, N1, N2, N3)

KDM ton .ha^{-1}	Kunstmest N-trap	Bewerking	Veldnr	NO_3-N concentratie (mg.l^{-1}) op tijdstip:				
				9/1/90	15/2/90	13/3/90	20/3/90	12/3/91
0	N0	ggb	72					10,0
	N1	ggb	71	0,0	0,6	1,1	0,1	
	N2	ggb	65	0,0	0,1	0,1	0,0	2,7
15	N2	ggb	64			0,6	0,3	
	N2	gb	76			0,6	0,3	
30	N0	ggb	68	0,0	0,0	0,2	0,1	1,0
	N1	ggb	67	0,9	1,0	8,6	4,9	
	N2	ggb	61	0,7	0,5	5,0	3,2	
	N3	ggb	10	0,4	2,4	6,7	3,4	28,0
	N3	ggb	62	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9
	N3	gb	73	0,0	0,0	0,1	0,1	
0	gemidd.			0,0	0,4	0,6	0,1	6,5
15	gemidd.					0,6	0,3	
30	gemidd.			0,3	0,7	3,4	2,0	10,0
	gemiddeld			0,3	0,6	2,5	1,3	8,6

ggb=gras als groenbemester, gb=gele mosterd als groenbemester, stpl=stoppelploegen

Op de Van Bemmelenhoeve is geen debietproportionele bemonstering van het drainwater uitgevoerd, waardoor het niet mogelijk is de nitraatafvoer via de drains te kwantificeren.

Op De Kandelaar is de nitraatafvoer via drains in samenwerking met de LUW debietproportioneel bemonsterd. Gedurende de uitspoelingsperiode 1989/1990 resulteerde dit in een nitraatafvoer van 10 kg.ha^{-1} N (figuur 12).

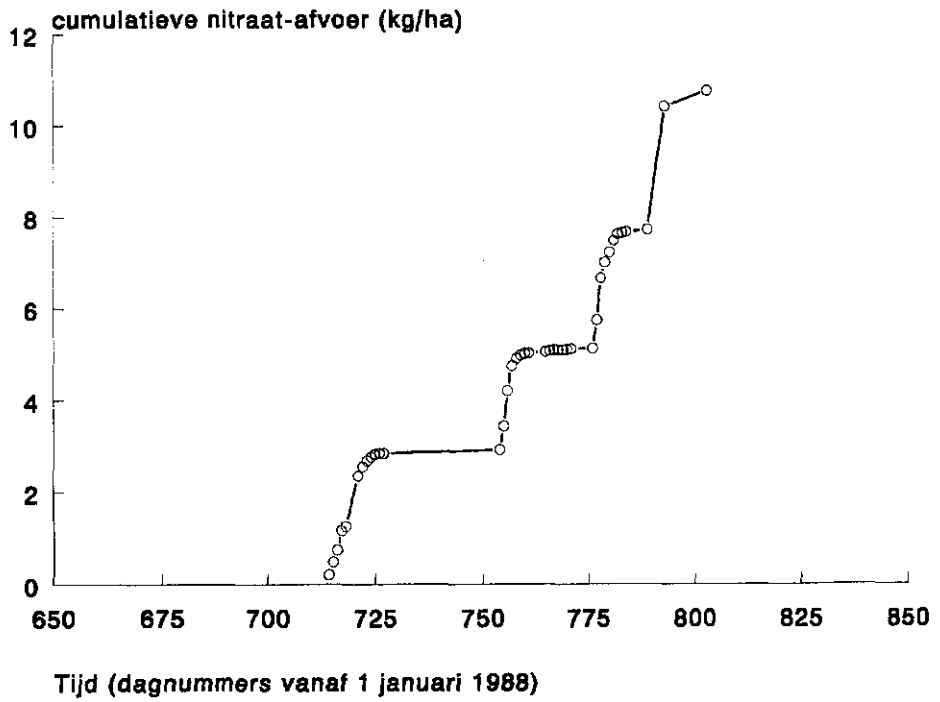


Fig. 12 ***Nitraatafvoer via de drain op De Kandelaar gedurende de winter van 1989/1990***

3.3.6 Conclusies en discussie

Zowel op de Van Bemmelenhoeve als op De Kandelaar blijkt een grote voorraad stikstof vrijwel volledig in organisch gebonden vorm (humus) aanwezig te zijn. Op de Van Bemmelenhoeve zijn in de eerste meter van het bodemprofiel stikstofvoorraden bepaald van ruim 10 000 kg.ha^{-1} N. Deze voorraad N-totaal vertoont geen relatie met het bemestingsniveau. Op De Kandelaar bedraagt deze voorraad zelfs meer dan 30 000 kg.ha^{-1} N: een voorraad die vele malen groter is dan men gemiddeld op organische-stofrijke zandgronden zal aantreffen. Ter vergelijking: op het ROC Cranendonck (Maarheze, Brabant) is in de eerste meter van de bodem een voorraad van 9000 kg N-totaal gemeten bij een enkeergrond met een eerdlaag van 60 cm op een zanddek (PAGV, 1985). De totale stikstofvoorraad op De Kandelaar is zeer hoog en wordt vooral veroorzaakt door de zgn. Almere-afzetting op 70-95 cm-mv; een afzetting die veel organische stof bevat (> 12%).

De gemeten nitraatgehaltes in het grondwater van De Kandelaar zijn over het algemeen zeer laag, beduidend lager dan de gehalten op de Van Bemmelenhoeve. Op beide ROC's zijn aan het begin van de proef lage gehaltes gemeten na de teelt van suikerbieten, een gewas waarvan bekend is dat er over het algemeen weinig residuaire minerale stikstof wordt aangetroffen (Neeteson en Wadman, 1991). Dit zal een van de redenen zijn dat er aan het begin van de proef zulke lage nitraatconcentraties zijn gemeten. Op de Van Bemmelenhoeve stijgen de

nitraatgehaltes in de daarop volgende jaren, op De Kandelaar blijven ze echter laag, voornamelijk door de zeer zachte winters van '88/'89 en '89/'90 en de in ruime mate aanwezige hoeveelheden organische stof waarmee de omstandigheden om nitraat via denitrificatie te laten verdwijnen, gunstig waren.

Op de Van Bemmelenhoeve is de drainafvoer niet debiet-proportioneel bemonsterd, waardoor het niet mogelijk is de nitraatafvoer te kwantificeren.

Op De Kandelaar is een kwantificering van de nitraatuitspoeling per bemestingsvariant niet goed mogelijk, doordat de gemeten nitraatgehaltes in het grondwater geen relatie met de bemesting vertonen en de bemonsterde drain onder veldjes met verschillende bemestingniveaus doorloopt. De gemeten nitraatafvoer via de drains bedraagt 10 $kg.ha^{-1}$ N gedurende het uitspoelingsseizoen '89/'90. Dit is vrij gering t.o.v. de gemiddelde bemesting van ruim 200 $kg.ha^{-1}$ N-totaal. Mogelijk kan een nadere analyse met een intensieve minerale bodem-stikstofbemonstering de spreiding in gehaltes verklaren. Dit dient te worden ondersteund met modelanalyses, waarbij rekening wordt gehouden met scheurvorming.

4 Ontwikkeling en toetsing ANIMO

In het kader van het onderzoeksprojekt 'Vermindering Nitraatuitspoeling Landbouwgronden' zijn gedurende de onderzoeksperiode verschillende bijdragen geleverd aan de ontwikkeling en toetsing van het model ANIMO. Voor een uitgebreid verslag van deze bijdragen wordt verwezen naar verschillende publikaties (Breeuwsma et al., 1991; Jansen, 1991b; Kragt en Jansen, 1991; Rijtema en Kroes, 1991; Reiniger et al., 1990; Vereecken et al., 1991).

In dit hoofdstuk zal een beknopte beschrijving van het model ANIMO worden gegeven en een samenvatting van de bijdragen aan de bovenvermelde publikaties.

4.1 Algemeen

Het model ANIMO (Agricultural NItrogen MOdel) is een nutriëntenmodel dat door het SC-DLO is ontwikkeld voor de kwantitatieve analyse van de stikstof- en koolstofhuishouding van plant-bodem-water systemen. In het model ANIMO is de fosforhuishouding met zijn eigen kringloop en gekoppeld aan de koolstofcyclus als optie opgenomen (Rijtema et al., 1994, Kroes, 1990). Voor de toepassing van het model ANIMO zijn hydrologische gegevens nodig die door een model worden berekend. Deze gegevens worden per tijdstap in de vorm van een sluitende waterbalans door het model ANIMO ingelezen.

4.2 Modelbeschrijving

In het model ANIMO worden de belangrijkste processen, die een rol spelen in de stikstof, de fosfor, en in de koolstofcyclus kwantitatief beschreven. De volgende processen zijn de belangrijkste:
- mineralisatie en immobilisatie van stikstof en fosfor als gevolg van processen in de koolstofcyclus;
- denitrificatie als gevolg van (partiële) anaërobie in aanwezigheid van biologisch afbreekbare organische stof;
- opname van stikstof en fosfor door het gewas;
- adsorptie van fosfor aan het bodemcomplex (vnl Al- en Fe-oxiden);
- neerslag van fosforzouten in de bodem;
- transport van stikstof en fosforverbindingen in en over het bodemsysteem onder invloed van neerslag, verdamping, afvoer naar en infiltratie vanuit verschillende open-watersystemen, oppervlakkige afvoer, kwel en wegzijging.

De stikstof-, fosfor- en koolstof-kringloop
Stikstof en fosfor kunnen in verschillende verschijningsvormen in de bodem voorkomen, waarbij de ene verschijningsvorm in de andere kan worden omgezet als gevolg van fysische en/of microbiologische processen. Schematisch is de stikstof-

cyclus weergegeven in figuur 13 en de koolstofcyclus in figuur 14. Oogstresten, afgestorven wortelmassa en dierlijke mest worden aan de toplaag van de bodem toegevoegd en door de biomassa in de bodem afgebroken en gedeeltelijk omgezet in humeus bodemmateriaal (figuur 14).
De verschillende organische materialen in de bodem bevatten zowel stikstof als fosfor en koolstof, zodat omzettingsprocessen in de koolstofcyclus corresponderen met omzettingen in de stikstof- en fosforcyclus. Het humeuze materiaal dat bij afbraak van vers organisch materiaal wordt gevormd, heeft doorgaans een belangrijk hoger N- en P-gehalte dan het verse organische materiaal waaruit het wordt gevormd.

Immobilisatie van anorganische stikstof en fosfor treedt op indien meer stikstof en fosfor bij de humusvorming worden vastgelegd, dan er uit het afgebroken verse materiaal vrijkomen. Stikstof- en fosformineralisatie treedt op als het omgekeerde het geval is. Het nitrificatie-proces verloopt onder aërobe omstandigheden doorgaans veel sneller dan het vrijkomen van ammonium door afbraak van organisch materiaal, zodat onder aërobe omstandigheden de ammoniumconcentratie in de bodem doorgaans laag is. Onder anaërobe omstandigheden kan bij aanwezigheid van biologisch afbreekbaar organisch materiaal het nitraation fungeren als zuurstofdonor, waarbij nitraat wordt gereduceerd tot N_2 en N_2O. Hierbij komen zowel ammonium als fosfor vrij door de afbraak van organisch materiaal. Het al dan niet optreden van denitrificatie in de bodem wordt bepaald door de processnelheden en de waterhuishoudkundige omstandigheden in het bodemsysteem.

Opname van stikstof en fosfor door de plantenwortels geschiedt door convectief transport en door diffusie. Hoewel de plant een voorkeur heeft om stikstof op te nemen in de vorm van NH_4^+, heeft de lage ammoniumconcentratie in het bodemvocht tot gevolg dat de opname grotendeels plaats vindt in de vorm van NO_3^-. In het model ANIMO is aangenomen, dat de stikstof-opname door het gewas evenredig is met de verdampingssnelheid en de concentratie in de wortelzone van het gewas vermenigvuldigd met een opnamefactor. De opnamefactor wordt per tijdstap bepaald aan de hand van ingevoerde optimale gewasopname en verdampingsgegevens.

De biologische omzettingsprocessen worden beïnvloed door de milieufactoren temperatuur, vochtspanning, bodemaëratie en pH. De belangrijkste temperatuur-effecten komen tot uiting in de afbraaksnelheid van de organische stof. De andere processen zijn hieraan gekoppeld, waarbij de mineralisatie van organische stof de sturende component is. Vochtspanning en bodemaëratie zijn in het bodemsysteem onderling gekoppeld. Over het algemeen zal bij een hoge vochtspanning de bodem-aëratie niet beperkend zijn, maar wordt de biologische activiteit mogelijk geremd door een vochttekort. Bij een lage vochtspanning is de bodemaëratie onvoldoende en wordt de biologische activiteit gestuurd door het zuurstof-aanbod en de aanwezigheid van nitraat. Wijzigingen in de waterhuishouding als gevolg van grondwateronttrekking en/of veranderde ontwatering, hebben via de grondwater-standsverlaging een direct effect op vochtspanning en bodemaëratie, en daardoor op de omzettingssnelheden bij de verschillende processen. Hoewel de relatie tussen processnelheid en pH een breed optimum heeft, wordt vooral bij een lage pH (zure gronden) de processnelheid gereduceerd. De invloed van deze verschillende milieufactoren op de omzettingsprocessen zijn in het model ANIMO gekwantificeerd.

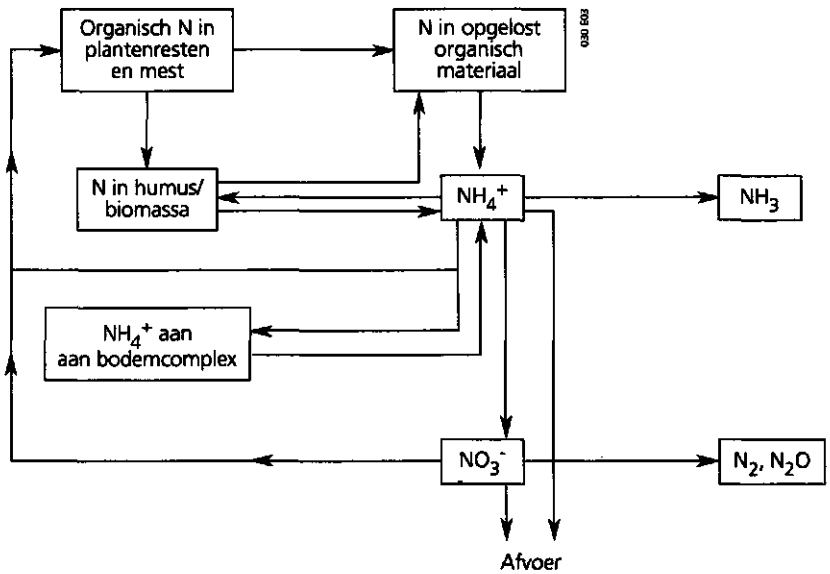


Fig. 13 Schematische weergave van de stikstofcyclus in de bodem

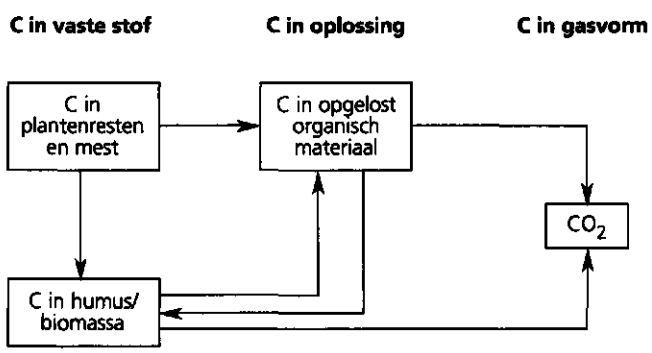


Fig. 14 Schematische weergave van de koolstofcyclus in de bodem

Transportprocesssen

In het model ANIMO wordt het transport van de verschillende opgeloste stoffen via een een-dimensionaal systeem in beschouwing genomen. De bodem wordt hierbij in een aantal lagen verdeeld, waarbij via horizontale uitstroming verdamping en afvoer naar ontwateringsmiddelen worden gesimuleerd, terwijl tevens verticaal transport van laag naar laag optreedt. Op deze manier kan ook kwel vanuit of wegzijging naar een watervoerend pakket eenvoudig in beschouwing worden genomen. Per laag wordt per tijdstap een volledige water- en stoffenbalans berekend evenals de daarbij optredende omzettingsprocessen. Bij de berekeningen wordt aangenomen dat in elke laag volledige menging optreedt. Voor het transport gecombineerd met omzetting, wordt per tijdstap en per laag een differentiaal-vergelijking analytisch opgelost. Dispersie wordt gesimuleerd door de keuze van de laagindeling en de tijdstapgrootte. Door de gedeeltelijk analytische oplossingsmethode is de invloed van de tijdstapgrootte minimaal.

De stikstofafvoer vanuit de bodem naar het oppervlaktewater wordt gesimuleerd via oppervlakkige afspoeling en via horizontale uitspoeling. Van beide termen wordt een beknopte beschrijving gegeven; voor een uitgebreidere beschrijving wordt verwezen naar Kroes et al. (1990).

Oppervlakkig toegediende meststoffen worden in het model ANIMO ook op het oppervlak toegediend. Deze meststoffen dringen dan de bodem in op basis van de neerslag in de periode(n) na de mesttoediening. Voor de concentratie van het neerslagwater, dat de bodem indringt, wordt volledige menging aangenomen in een denkbeeldig oppervlaktereservoir. Bij hoge neerslagintensiteiten of hoge grondwaterstanden kan oppervlakkige afvoer optreden. Oppervlakkige afvoer treedt in het veld voornamelijk op in de stroken vlak naast de ontwateringsmiddelen. Om deze reden wordt voor de afspoelingsconcentratie geen volledige menging met het oppervlaktereservoir aangenomen. Om de effecten van diffusie van nutriënten uit de bodem naar het oppervlakkig afstromende water ook in rekening te brengen kan een deel van de afspoeling ook via de eerste modellaag stromen.

Voor een juiste beschrijving van de stikstofuitspoeling in het, naar de ontwateringsmiddelen, afgevoerde water is het belangrijk de verblijftijdspreiding in de bodem goed in te schatten. Hiertoe bevat het model ANIMO een module waarmee op basis van gebiedsafvoer en drainafstand een verblijftijdspreiding met de diepte en met de tijd kan worden verkregen. In het model ANIMO wordt bepaald vanuit welke modellagen (tussen grondwaterstand en onderkant modelprofiel) horizontaal water wordt afgevoerd.

4.3 Modeltoetsing

Het model ANIMO is voor dit project op perceelsschaal getoetst voor de volgende combinaties van grondgebruik en grondsoort:
- grasland op zand (Jansen, 1991b);
- wintertarwe op klei (Rijtema en Kroes, 1991);
- snijmaïs op zand (Kroes, 1988);
- gerst op zand (Jansen, 1991b);

Bij vrijwel alle toetsingen waren meer bemestingsniveaus van kunstmest en dierlijke mest betrokken. Bij het object 'snijmaïs op zand' is geen kunstmest toegepast.

Tijdens het project is de koppeling tussen het model ANIMO en het model SWATRE tot stand gekomen. Met het model SWATRE (Belmans et al., 1983 en Feddes et al., 1978) wordt de waterhuishouding gesimuleerd, die in de vorm van een sluitende waterbalans door het model ANIMO wordt ingelezen. In de volgende subparagrafen zal een beknopt verslag worden gedaan van twee toetsingen, waarbij de modellen ANIMO en SWATRE zijn toegepast.

4.3.1 Grasland op zandgrond (Ruurlo)

In een veldproef gedurende de periode 1980-1984 in Ruurlo is het effect van de verspreidingswijze (bovengronds of injectie) van runderdrijfmest op de bodemvruchtbaarheid en de nitraatuitspoeling gemeten afhankelijk van de hoogte van de stikstofgift (Fonck, 1982a, 1982b, 1986a, 1986b, 1986c) en Wadmand & Sluysmans, 1992). De proefveldgegevens zijn op een standaardmethode opgeslagen en beschreven (Jansen, 1991a). Met de modellen SWATRE en ANIMO zijn simulaties uitgevoerd voor bemestingsvarianten (Jansen, 1991b).
De gemeten en gesimuleerde gewasopname en nitraatuitspoeling zijn samengevat in de figuren 15 en 16. De resultaten werden als bevredigend beschouwd.

4.3.2 Wintertarwe op klei (Nagele en Lelystad)

Naar aanleiding van het 100-jarig bestaan van het IB (Instituut voor Bodemvruchtbaarheid) is een workshop georganiseerd over stikstofmodellering. Deelnemers uit Canada en Europese landen hebben simulaties uitgevoerd met datasets die het IB had verzameld. Een uitgebreid verslag van de dataset en de simulaties van de verschillende deelnemers is in maart 1991 verschenen in een speciale uitgave (vol. 27) van het tijdschrift Fertilizer Research.

De simulaties met ANIMO en SWATRE zijn uitgevoerd voor twee locaties waar wintertarwe op een kleigrond is verbouwd (Kroes en Rijtema, 1991). Het meest uitgebreid was de dataset van de Eest (Nagele, NO-Polder). Voor deze locatie resulteerden de simulaties met het model SWATRE in een redelijke overeenkomst tussen gemeten en gesimuleerde vochtinhouden (figuur 17). Voor dezelfde locatie toonden de simulaties van de stikstofhuishouding met het model ANIMO een goede overeenkomst tussen de gesimuleerde en de gemeten hoeveelheid minerale stikstof in de wortelzone, en de gewasopname (figuur 18). Het model ANIMO bleek voor dit type gronden gevoelig te zijn voor geringe variaties in de vochtinhoud.

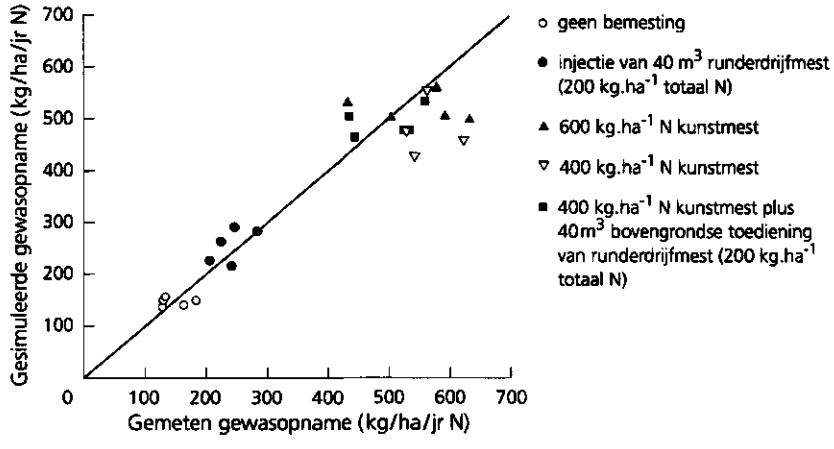


Fig. 15 Gesimuleerde en gemeten gewasopname (Ruurlo)

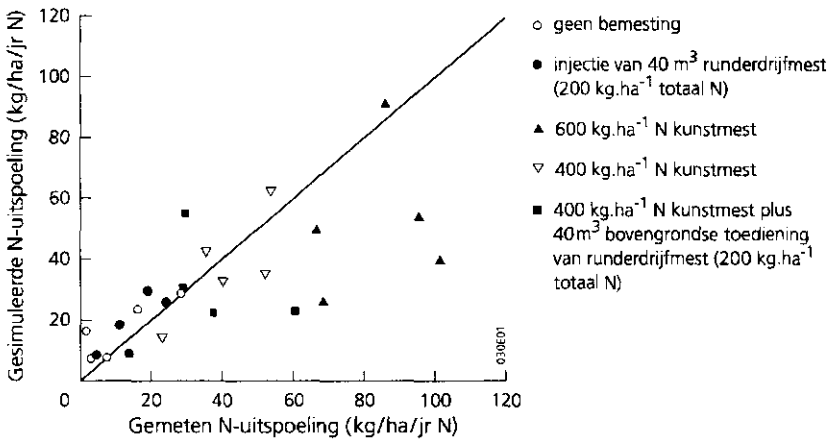


Fig. 16 Gesimuleerde en gemeten nitraatuitspoeling (Ruurlo)

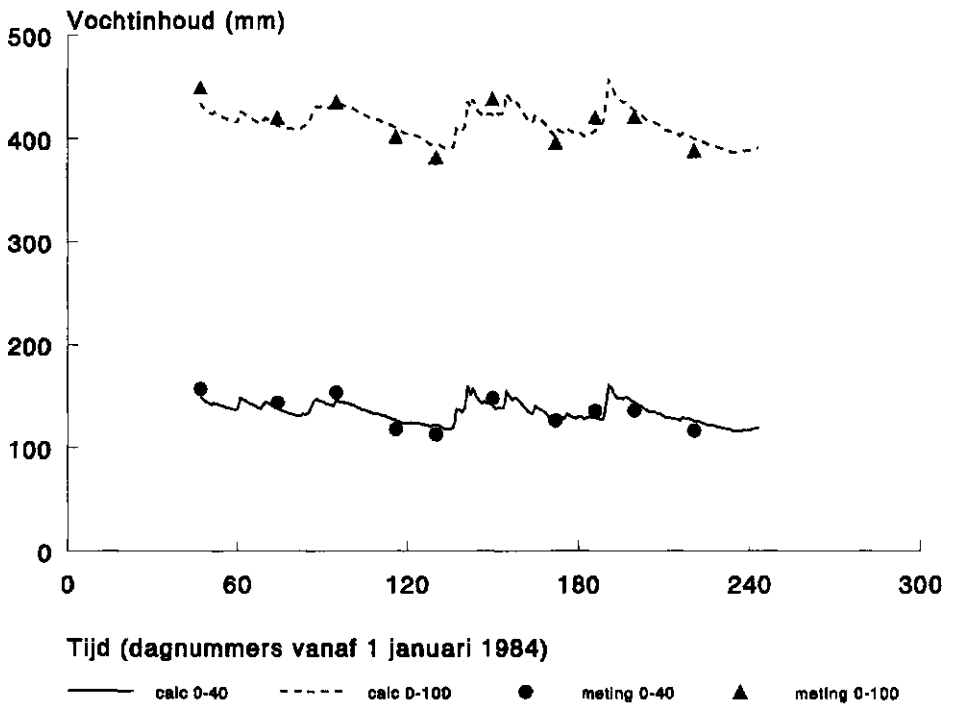


Fig. 17 Gesimuleerde en gemeten vochtinhouden voor de lagen 0 - 40 cm-mv en 0 - 100 cm-mv (Eest)

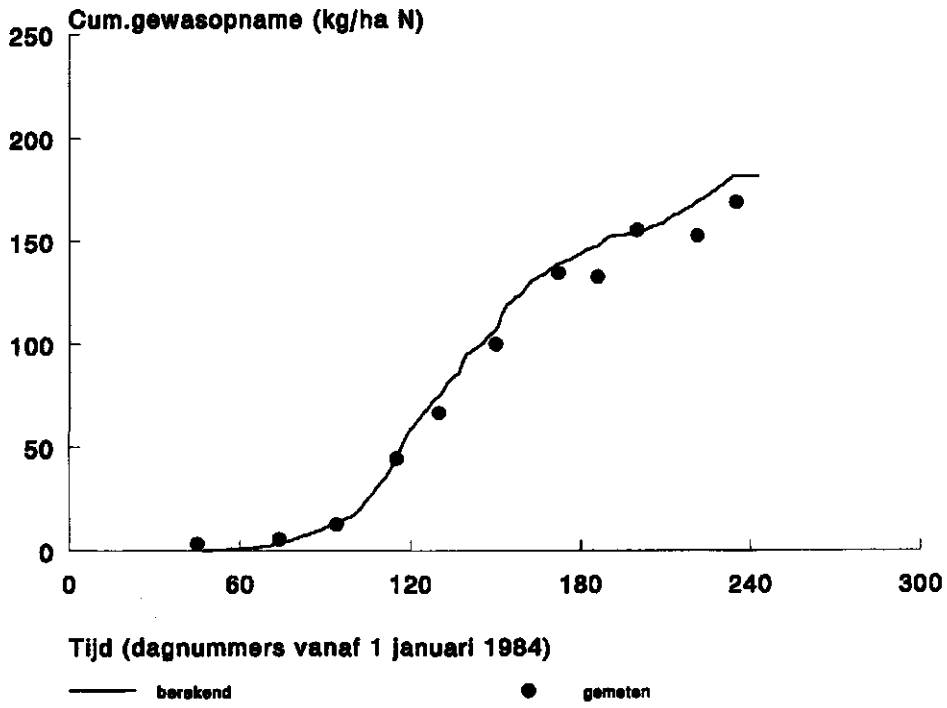


Fig. 18 Gesimuleerde en gemeten cumulatieve gewasopname (Eest)

4.3.3 Internationale datasets

Om datasets van verschillende locaties en landen met verschillende simulatiemodellen door te kunnen rekenen is een standaardisatie van data-opslag een vereiste. Voor dit project én voor het EEG-project 'Nitrate in Soils' hebben Kragt en Jansen (1991) een standaardisatie van de opslag van veldgegevens ontwikkeld, getoetst en toegepast.

Voor de ontwikkeling van deze standaardisatie is nauw samengewerkt met onderzoekers van instituten uit België, Denemarken, Duitsland, Engeland en Griekenland. Via deze samenwerking zijn 6 datasets beschikbaar gekomen uit vier verschillende landen, waarbij de data zijn opgeslagen via de gestandaardiseerde methode (Kragt en Jansen, 1991). Een overzicht van de beschikbare datasets is gegeven in tabel 23.

Tabel 23 Algemene karakteristieken van 6 datasets uit 4 Europese landen (naar: Breeuwsma, 1991)

Karakteristiek	België	Denemarken		Nederland	Groot-Brittannië	
	Pittem	Askow	Jyndevedad	Ruurlo	Gleadthorpe	Lockington
Helling (m/m)	0,0	<0,02	<0,01	0,0	0,03	0,03
Bodem-textuur	zandig leem	zandig leem	zand	lemig zand	lemig zand	zandig leem
Bodemtype (FAO-class.)	haplic livisol	orthic luvisol	humic podzol	humic gleysol	cambic arenosol	eutric cambisol
Drainage	matig-goed	matig-goed	goed	matig	goed	matig-goed
Grondwa-terstand (m-mv)	1,0-2,5	ca. 40	1,6-2,9	0,2-1,7	ca. 20	1,0-3,0
kunstmest	-	+	+	+	+	+
drijfmest	varkens-	varkens-	varkens-	runder-	-	-
veldjes	1	3	6	5	3	3
periode	'88-'89	'87-'89	'87-'89	'80-'85	'87-'88	'87-'88

Met het model ANIMO zijn simulaties uitgevoerd met deze datasets. De overeenkomst tussen de gemeten en de gesimuleerde nitraatuitspoeling (figuur 19) is als ruim voldoende beschouwd.

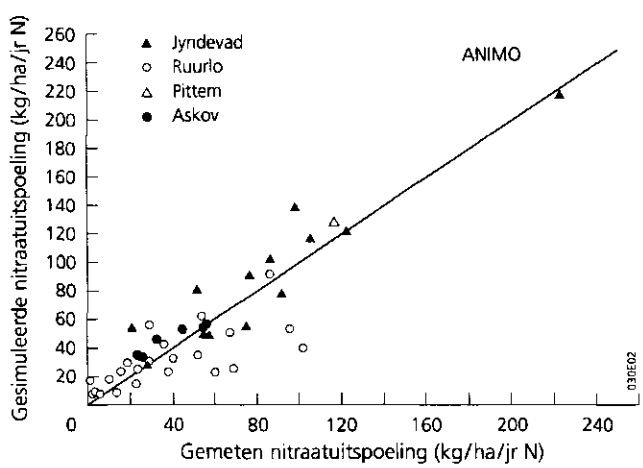


Fig. 19 Gesimuleerde en gemeten nitraatuitspoeling voor datasets uit een viertal Europese landen

4.4 Conclusie en discussie

De ontwikkeling en toetsing van het model ANIMO heeft tijdens dit project grote vorderingen gemaakt. Uit de internationale vergelijking van nitraatuitspoelingsmodellen is gebleken dat het DLO-Staring Centrum model ANIMO conceptueel één van de meest complete uitspoelingsmodellen is. In dit model worden de processen het minst vereenvoudigd beschouwd. Uit de vergelijking van de simulatieresultaten van verschillende modellen met standaard-datasets uit verschillende EEG landen is gebleken dat de uitkomsten van het model ANIMO redelijk gunstig afsteken tegen die van andere uitspoelingsmodellen (Vereecken et al., 1991).

5 Conclusies

De belangrijkste conclusies van het veldonderzoek naar de invloed van nitrificatieremmers op de nitraatuitspoeling gemeten op 1 m onder maaiveld zijn de volgende:

- De gemeten nitraatconcentraties vertonen een spreiding van 30% rondom het gemiddelde van 50 mg NO_3-N.
- De toepassing van een nitrificatieremmer leidt niet tot een hogere uitspoeling van ammoniumstikstof.
- Het tijdstip van bemesting heeft een grotere invloed op de nitraatuitspoeling dan het al dan niet toepassen van een nitrificatieremmer. Toediening van dierlijke mest in het voorjaar leidt tot een aanzienlijke verlaging van de nitraatuitspoeling ten opzichte van najaars- en winterbemesting. Door verschuiving van het tijdstip van bemesting van najaar naar voorjaar neemt de uitspoeling met ongeveer 50% af.
- Toepassing van een nitrificatieremmer bij mestuitrijden in de winter (december) resulteert in een daling van de uitspoeling van 25% vergeleken met mestuitrijden zonder remmer in dezelfde periode. Bij mestuitrijden in najaar is het effect op de uitspoeling gering (minder 10%). Bij toepassing in het voorjaar neemt de uitspoeling toe met 10 - 35%.
- Bij de huidige mestregelgeving (geen mesttoediening in winter) biedt het gebruik van remmers geen perspectief uit oogpunt van vermindering van de nitraatuitspoeling.

De belangrijkste conclusies van het veldonderzoek naar de invloed van winterbodembedekkers op de nitraatuitspoeling gemeten op 1 m onder maaiveld zijn de volgende:

- Bij een zeer laag bemestingsniveau (kunstmestgift van 20 $kg.ha^{-1}.jr^{-1}$ N) is de nitraatuitspoeling bij percelen zonder winterbodembedekker beduidend hoger dan de bemesting zelf. Bovendien is de nitraatuitspoeling vier tot acht keer zo hoog als bij objecten met wintergewassen.
- Bij hogere bemestingsniveaus (> 200 $kg.ha^{-1}.jr^{-1}$ totaal-N) leidt de teelt van winterbodembedekker tot een reductie van de nitraatuitspoeling met een factor 3.
- Gras als winterbodembedekker lijkt de reductie van de nitraatuitspoeling sterker te beïnvloeden dan winterrogge.
- In de eerste meter van de bodem onder akkerbouwpercelen op zware kleigrond zijn voorraden N-totaal aangetroffen van 10 - 30 $ton.ha^{-1}$ N.
- Nader onderzoek is nodig om de invloed van relatief warme winters op de resultaten na te gaan.

De belangrijkste conclusies van het veldonderzoek naar de invloed van winterbodembedekkers op de nitraatuitspoeling via drains zijn de volgende:

- De gemeten nitraatuitspoeling via de drains bedroeg circa 10 $kg.ha^{-1}$ N gedurende het uitspoelingsseizoen '89/'90.
- De nitraatuitspoeling via de drains kan bij de huidige proefopzet niet worden gerelateerd aan mestgiften. Bij vervolg-onderzoek dient de proefopzet zodanig te zijn dat per bemonsterde drain slechts één bemestingsvariant wordt ontwaterd.
- Voor het kwantificeren van nitraatuitspoeling via de drains is een debietproportionele bemonstering vereist.

De belangrijkste conclusies van het modelonderzoek zijn de volgende:

- De ontwikkeling en toetsing van het model ANIMO hebben goede vorderingen

gemaakt.

- Het modelconcept van ANIMO geeft een redelijk evenwichtige en gedetailleerde beschrijving van de processen van de stikstofkringloop.
- Met standaard-datasets is het mogelijk om modelresultaten te vergelijken.
- Uit de internationale vergelijking van nitraatuitspoelingsmodellen is gebleken dat de uitkomsten van het model ANIMO gunstig afsteken tegen die van andere uitspoelingsmodellen.

Literatuur

Amberger A., 1986. Potentials of nitrification inhibitors in modern N-fertilizer management. *Zeitschrift für Pflanzenährung und Bodenkunde* 149: 469-484.

Belmans, C., J.G. Wesseling and R.A. Feddes, 1983. Simulation model of the water balance of a cropped soil: SWATRE. *Journal of Hydrology* 63, 3/4: 271-286.

Boer, W.A. de, H.W.G. Booltink, E.J. Jansen & J.F. Kragt, 1991. Measurements of nitrate concentrationis in structured soils. In: *Nitrate in Soils, Soil and Groundwater Research Report II* (EUR 13501 EN) of the Commission of the European Communities, Luxembourg: 513-518.

Booltink, H.W.G., 1991. Simulating bypass flow in a structured heavy clay soil: an explanatory study. In: *Nitrate in Soils, Soil and Groundwater Research Report II* (EUR 13501 EN) of the Commission of the European Communities, Luxembourg: 128-140.

Booltink, H.W.G. & J. Bouma, 1991. Physical and morphological characterization of bypass flow in a well-structured clay soil. In: *Nitrate in Soils, Soil and Groundwater Research Report II* (EUR 13501 EN) of the Commission of the European Communities, Luxembourg: 101-115.

Breeuwsma, A., D.J. Djurhuus, E.J. Jansen, J.F. Kragt, M.C.J.J. Swerts, 1991. Data sets for validation of nitrate leaching models. In: *Nitrate in Soils, Soil and Groundwater Research Report II* (EUR 13501 EN) of the Commission of the European Communities, Luxembourg: 219-234.

Enckevort, P.L.A. van, 1988. Nitrificatieremmers en nitraatuitspoeling bij toediening van dierlijke mest. II. Werking en gedrag van nitrificatieremmers in de grond. Nota 192, IB, Haren.

Enckevort, P.L.A. van, A. Landman, H.H.H. Titulaer & E.J. Jansen, 1990. Mogelijkheden om uitspoeling van voedingsstoffen uit dierlijke mest te beperken. Uit: *Themadag 'Benutting dierlijke mest in de akkerbouw'*. Themaboekje nr. 10. PAGV, Lelystad: 53-68.

Feddes, R.A., Kowalik, P.J. and Zaradny, H., 1978. Simulation of field water use and crop yield, Simulation Monographs, PUDOC, Wageningen.

Finke, P.A., 1992. Spatial variability of soil structure and its impact and some associated land qualities. Proefschrift, Landbouwuniversiteit, Wageningen.

Hengsdijk, H., 1992. Najaarstoediening van dierlijke mest op kleigronden. Verslag nr. 149. Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, Lelystad.

Jansen, E.J., 1991a. Nitrate leaching from non-grazed grassland on a sandy soil: experimental data for testing of simulation models. Report 26, Winand Staring Centre.

Jansen, E.J., 1991b. Results of simulations with ANIMO for several field situations. In: *Nitrate in Soils, Soil and Groundwater Research Report II* (EUR 13501 EN) of the Commission of the European Communities, Luxembourg: 269-280.

Kragt, J.F. & E.J. Jansen, 1991. Standardization of datafiles for the testing of simulation models; a contribution to the EC-project 'Nitrate in soils'. Report 25. DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Kroes, J.G., C.W.J. Roest, P.E. Rijtema & L.J. Locht, 1990. De invloed van enige bemestingsscenario's op de afvoer van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater in Nederland. Rapport 55. Winand Staring Centre, Wageningen.

Neeteson, J.J en W.P. Wadman, 1991. Het verband tussen de hoogte van de stikstofbemesting, de opbrengst van akkerbouwgewassen en de hoeveelheid residuaire minerale bodemstikstof. Nota 237, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren.

PAGV, 1985. De invloed van grote giften runderdrijfmest op de groei, opbrengst en kwaliteit van snijmais en op de bodemvruchtbaarheid en waterverontreiniging; Maarheze (zandgrond) 1974-1982, Verslag nr.31, Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, Lelystad.

Reiniger, P, J. Hutson, H. Jansen, J. Kragt, H. Piehler, M. Swarts, H. Vereecken, 1990. Evaluation and testing of models describing nitrogen transport in soil: a European project. In: *Transaction of 14th ICSS,* Kyoto, Japan, August 12-18, 1990. Volume I: 56-61.

Rijtema, P.E. and Kroes, J.G. 1991. Some results of nitrogen simulations with the model ANIMO. *Fertilizer Research* 27 (1991): 189-198.

Vereecken, H., E.J. Jansen, M.J.D. Hack-ten Broecke, M. Swerts, R. Engelke, S. Fabrewitz & S. Hansen, 1991. Comparison of simulation results of five nitrogen models using different datasets. In: *Nitrate in Soils, Soil and Groundwater Research Report II* (EUR 13501 EN) of the Commission of the European Communities, Luxembourg: 321-338.

Wadman, W.P. en C.M.J. Sluysmans, 1992. Mestinjectie op grasland. De betekenis voor de bodemvruchtbaarheid en risico's voor de nitraatuitspoeling; Ruurlo 1980-1984. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren.

Schröder, J., L. Ten Holte, W. Van Dijk, W.J.M. de Groot, W.A. de Boer, E.J. Jansen, 1992. Effecten van wintergewassen op de uitspoeling van stikstof bij de teelt van snijmaïs. Verslag nr. 148. Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, Lelystad.

Schröder, J. en Ten Holte, 1993. De invloed van nitrificatieremmers, toedieningstijdstip en dosering van organische en minerale stikstof op de opbrengst van snijmaïs en verliezen naar het milieu. Resultaten van veldonderzoek op Droevendaal tussen 1982 en 1990. Verslag nr. 179. Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek, Wageningen.

Wösten, J.H.M., M.H. Bannink and J. Beuving, 1987. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. rapport 18, ICW (thans: DLO-Staring Centrum), Wageningen.

Niet-gepubliceerde bronnen

Boer, W.A. de, en R.P.J. Kockelkoren, 1994. Stikstofuitspoeling bij toepassing van dierlijke mest in de akkerbouw op kleigronden; veldonderzoek Van Bemmelenhoeve en Kandelaar in de periode 1988-1991. Rapport 295 in voorbereiding. DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Fonck, H. 1982a. Stikstofconcentraties in bodemvocht en grondwater onder grasland op zandgrond in afhankelijkheid van runderdrijfmest- en kunstmeststikstofdosering (1e onderzoeksjaar 1980/1981). Nota 1337. ICW, Wageningen.

Fonck, H. 1982b. Stikstofconcentraties in bodemvocht en grondwater onder grasland op zandgrond in afhankelijkheid van runderdrijfmest- en kunstmestdosering (2e onderzoeksjaar 1981/1982). Nota 1407. ICW, Wageningen.

Fonck, H. 1986a. Stikstofconcentraties in bodemvocht en grondwater onder grasland op zandgrond in afhankelijkheid van runderdrijfmest- en kunstmestdosering (3e onderzoeksjaar 1982/1983). Nota 1707. ICW, Wageningen.

Fonck, H. 1986b. Stikstofconcentraties in bodemvocht en grondwater onder grasland op zandgrond in afhankelijkheid van runderdrijfmest- en kunstmestdosering (4e onderzoeksjaar 1983/1984). Nota 1685. ICW, Wageningen.

Fonck, H. 1986c. Stikstofconcentraties in bodemvocht en grondwater onder grasland op zandgrond in afhankelijkheid van runderdrijfmest- en kunstmestdosering (5e onderzoeksjaar 1984/1985). Nota 1690. ICW, Wageningen.

Fonck, H., 1988. Invloed van een nitrificatieremmer op de nitraatuitspoeling uit runderdrijfmest onder zandgrasland (Droevendaal 1986/1987). Nota 1891, ICW (thans: DLO-Staring Centrum), Wageningen.

Kroes, J.G., 1988. ANIMO version 2, User's guide, ICW-Nota 1848, DLO-Staring Centrum, Wageningen, november 1988.

Kroes, J.G., 1990. ANIMO version 3.0, User's guide, Interne Mededeling 102, DLO-Staring Centrum, Wageningen, november 1990.

Pankow, J., en A. van den Toorn, 1988. Invloed van nitrificatieremmers bij bouwland op zandgrond op de kwaliteit van het grondwater. Droevendaal, 1986/'87. Nota 1844, ICW, Wageningen.

Pankow, J., en A. van den Toorn, 1989. Invloed van nitrificatieremmers bij bouwland op zandgrond op de kwaliteit van het grondwater. Droevendaal, 1988/'89. Interne Mededeling 29, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Rijtema, P.E., C.W.J. Roest & J.G. Kroes, 1994. Formulation of the nitrogen and phosphate behaviour in agricultural soils, the ANIMO model. Report 30. The Winand Staring Centre, Wageningen, in prep.

Rijtema P.E. en A.H. Ryhiner, 1968. Lysimeteronderzoek in Nederland III, ICW-nota, ICW, Wageningen.

Toorn, A. van den, en J. Pankow, 1987. Invloed van nitrificatieremmers bij bouwland op zandgrond op de kwaliteit van het grondwater. Droevendaal, 1985/'86. Nota 1765, ICW, Wageningen.

Toorn, A. van den, en J. Pankow, 1989. Invloed van nitrificatieremmers bij bouwland op zandgrond op de kwaliteit van het grondwater. Droevendaal, 1987/'88. Nota 1955, ICW, Wageningen.