32/446(594)2 ex

STARINGGEBOUW
BIBLIOTHEEK

Uitspoeling van stikstof bij voorjaars- en najaarstoediening van dierlijke mest in een kleigrond in akkerbouw

R.F.A. Hendriks
K. Oostindie
W. Hamminga

Rapport 594

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1997

29 JAN. 1998

Ongedigd

REFERAAT

R.F.A. Hendriks, K. Oostindie en W. Hamming, 1997. *Uitspoeling van stikstof bij voorjaars- en najaarstoediening van dierlijke mest in een kleigrond in akkerbouw.* Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 594. 70 blz.; 3 fig.; 5 tab.; 6 ref.; 11 aanh.

Op een lichte tot matig zware klei in akkerbouw is de stikstofuitspoeling bij voorjaars- en najaarstoediening van dierlijke mest onderzocht. Hydrologische grootheden, de neerslag, en concentraties van stiksofcomponenten en een tracer in bodemvocht, grondwater en drainafvoer zijn gemeten. Bemesting had een twee keer zo grote stikstofuitspoeling tot gevolg als bij een onbemest veld. Bij bemesting in combinatie met een groenbemester was de stikstofuitspoeling slechts weinig groter dan bij een onbemest veld. Bij voorjaarstoediening was de stikstofuitspoeling groter dan bij najaarstoediening. Het is onduidelijk in hoeverre deze resultaten mogen worden geëxtrapoleerd naar andere meteorologische jaren, andere kleigronden en andere toedieningstijdstippen.

Trefwoorden: bemesting, bodem, kleigrond, stikstofuitspoeling

ISSN 0927-4499

©1997 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

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

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.

Project 7350 [rap594.rh/12-97]

Inhoud

	blz.
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Materialen en methoden	13
2.1 De proeflocatie	13
2.1.1 Keuze van de locatie	13
2.1.2 Bodemtype en landgebruik	13
2.1.3 Hydrologische situatie	14
2.1.4 Indeling van de locatie	15
2.2 Uitgevoerde metingen	17
2.2.1 Hydrologische grootheden	18
2.2.2 Neerslag	18
2.2.3 Concentraties van stikstofcomponenten en een tracer	19
2.2.4 Bodemfysische karakteristieken	19
2.3 Modelmatige analyse	20
3 Resultaten en discussie	23
3.1 Stikstofconcentraties in grond- en drainwater	23
3.2 Stikstofuitspoeling	27
4 Conclusies	31
Literatuur	33

Aanhangsels

1 Grondwaterstanden	37
2 Nitraatconcentraties in het grondwater	39
3 Ammoniumconcentraties in het grondwater	41
4 Bromideconcentraties in het grondwater	43
5 Nitraat-, ammonium- en bromideconcentraties in het drainwater	45
6 Nitraatgehalten in de grondkolommen	47
7 Ammoniumgehalten in de grondkolommen	51
8 Bromidegehalten in de grondkolommen	55
9 Vochtgehalten in de grondkolommen	59
10 Volumieke massa's in de grondkolommen	63
11 Resultaten van de kalibratie van FLOCR	67

Woord vooraf

Dit rapport bevat een beschrijving van onderzoek naar de stikstofuitspoeling bij voorjaars- en najaarstoediening van dierlijke mest in een kleigrond in akkerbouw dat DLO-Staring Centrum (SC-DLO) heeft uitgevoerd in de periode eind 1993 tot zomer 1995. Dit onderzoek maakte deel uit van een gezamenlijk onderzoek van het DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO), het Proefstation voor Akkerbouw en Groenteteelt in de Vollegrond (PAGV) en SC-DLO naar de aard en de beperking van stikstofverliezen bij gebruik van dierlijke mest op kleigrond. Het onderzoek is verricht in opdracht van het FinancieringsOverleg Mest- en Ammoniakonderzoek (FOMA).

In januari 1996 is het gezamenlijke onderzoek gepresenteerd aan de FOMA in de vorm van een interimrapport. Omdat nog niet alle gewasanalyses beschikbaar waren en bovendien het onderzoek van PAGV nog tot eind 1996 zou doorlopen, zijn de deelnemende onderzoeksinstellingen toendertijd overeengekomen het totale onderzoek in 1997 op een meer formele wijze gezamenlijk te rapporteren. Om onduidelijke redenen is dit niet gebeurd, zodat de uitvoerende onderzoekers van SC-DLO besloten hebben het SC-DLO-onderzoek vast te leggen in een DLO-Staring-Centrum-rapport.

Samenvatting

SC-DLO heeft van oktober 1993 tot september 1995 onderzoek gedaan naar de uitspoeling van stikstof bij voorjaars- en najaarstoediening van dierlijke mest in een kleigrond in akkerbouw. Dit onderzoek had tot doel het kwantificeren van de uitspoeling van stikstof uit dierlijke mest bij akkerbouw op kleigrond afhankelijk van tijdstip van bemesting en het gebruik van een groenbemester.

Het onderzoek is verricht op proefbedrijf 'de Bouwing' te Randwijk. Deze locatie betreft een poldervaaggrond in rivierklei. De bodem bestaat uit kalkarme lichte tot matig zware klei op lichte tot matig lichte zavel. Op een diepte van 1,5 à 2 m gaat de zavel over in matig grof rivierzand. Als toetsgewas werd gedurende twee jaar mais op de proeflocatie verbouwd.

De proeflocatie was onderverdeeld in vier velden die elk een verschillende behandeling ondergingen:

A groenbemesting:	mest in najaar + zaaien groenbemester (winterrogge) in najaar, grondbewerking voorjaar (onderploegen rogge);
B najaarstoediening:	mest in najaar, grondbewerking najaar;
C voorjaarstoediening:	mest in voorjaar, grondbewerking najaar;
D nulobject:	géén mest, grondbewerking najaar.

Van half oktober 1993 tot mei 1995 zijn diverse metingen uitgevoerd. Deze bestonden uit hydrologische metingen, continue registratie van de neerslag, bepaling van concentraties van stiksofcomponenten en een tracer in bodemvocht, grondwater en drainafvoer, en bepaling van bodemfysische karakteristieken. Via analyse met een hydrologisch model zijn de resultaten van de meetperiode geïnterpreteerd tot uitgespoelde stikstofvrachten.

Uit het onderzoek blijkt dat de stikstofuitspoeling het geringst is wanneer de proeflocatie niet wordt bemest. Bemesting heeft ten opzichte van een onbemeste situatie een grotere extra uitspoeling dan extra gewasopname tot gevolg. Bij bemesting zonder toepassing van een groenbemester is de stikstofuitspoeling circa twee keer zo groot als bij een onbemest veld. Wordt in de bemeste situatie tevens een koolstofrijke/ stikstofarme groenbemester (winterrogge) toegepast, dan is de stikstofuitspoeling slechts weinig groter dan die vanuit een onbemest veld, althans op de korte termijn. Het is niet geheel duidelijk of dit reducerende effect van de groenbemester het gevolg is van de met de teelt gepaard gaande grondbewerking (verslemping) of van de vastlegging van stikstof in de organischestofvoorraad van de bodem. Bij voorjaarstoediening is de stikstofuitspoeling groter dan bij najaarstoediening als gevolg van de grotere denitrificatie en geringere snelle uitspoeling via krimpscheuren bij de najaarstoediening. Bij najaarstoediening vindt de uitspoeling vooral plaats in de hydrologische winterperiode, bij voorjaarstoediening in de hydrologische zomerperiode. Voor het oppervlaktewater is uitspoeling in de zomer ongunstiger, omdat de AMK-norm gericht is op de zomerconcentraties in het oppervlaktewater.

Voor deze resultaten geldt dat ze strikt gelden voor de betreffende onderzoeksperiode en voor de proeflocatie met de typische hydrologische situatie. Hoewel de resultaten een aanwijzing vormen dat voorjaarstoediening op kleigrond tot meer stikstofuitspoeling leidt dan najaarstoediening, is het de vraag of deze conclusie ook mag worden geëxtrapoleerd naar andere meteorologische jaren, andere kleigronden en andere toedieningstijdstippen. Om een goed beeld te krijgen van het algemene verschil tussen stikstofuitspoeling bij voorjaars- en najaarstoediening is het nodig de omstandigheden van voorjaars- en najaarstoediening goed te definiëren en deze situaties met computermodellen voor de berekening van de waterstroming en de uitspoeling van stikstof door te rekenen.

1 Inleiding

Voor het handhaven van de bodemvruchtbaarheid is het noodzakelijk dat een afname van de bodemnutriënten door gewasopname en uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater wordt aangevuld door bemesting. Het heeft voor de akkerbouwer voordelen om naast kunstmest ook dierlijke mest toe te dienen. Buiten de voordelen, zoals lagere bemestingskosten, verhoging van de organische stof, verhoogde opbrengstprijzen, enz., die deze vorm van bemesting biedt, zijn er ook nadelen aan dierlijke mest verbonden. Enkele hiervan zijn structuurschade, verhoogde onkruiddruk, heffingen op nutriëntenoverschotten en een lagere benutbaarheid van de nutriënten in de mest. De afzet van dierlijke mest naar akkerbouwers kan echter een bijdrage leveren aan de reducering van de overproductie van mest in de veehouderijsector. De aard van de meststof en de wijze van toediening zijn van het grootste belang voor een goede benutting van de in de mest aanwezige mineralen. Factoren die een belangrijke rol kunnen spelen bij de beperking van stikstofverliezen zijn onder andere het tijdstip van mesttoediening (voor- of najaar) en het gebruik van groenbemesters.

In een gezamelijk onderzoek van DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO), het Proefstation voor Akkerbouw en Groenteteelt in de Vollegrond (PAGV) en DLO-Staring Centrum (SC-DLO) is gekeken naar de landbouwkundige en milieukundige effecten van voorjaars- en najaarstoediening van dierlijke mest in een lichte tot matig zware kleigrond in akkerbouw. Hiervoor is van oktober 1993 tot september 1995 door SC-DLO, onderzoek gedaan bij proefbedrijf 'de Bouwing' te Randwijk. Dit deel van het onderzoek had tot doel het kwantificeren van de uitspoeling van stikstof uit dierlijke mest bij akkerbouw op kleigrond afhankelijk van het tijdstip van bemesting en het gebruik van een groenbemester. Als toetsgewas werd gedurende twee jaar mais op de proeflocatie verbouwd en op een deelveld een groenbemester (winterrogge). In de periode half oktober 1993 tot mei 1995 zijn diverse metingen verricht op het proefveld. Via modelmatige analyse zijn de resultaten van de meetperiode geïnterpreteerd tot uitgespoelde stikstofvrachten.

In hoofdstuk 2 van dit rapport worden het proefveld en de metingen beschreven. De resultaten van de metingen worden besproken en bediscussieerd in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4, tenslotte, geeft de conclusies van het onderzoek.

2 Materialen en methoden

2.1 De proeflocatie

2.1.1 Keuze van de locatie

In eerste instantie zou de proef worden uitgevoerd bij het PAGV te Lelystad. Door niet nader te noemen omstandigheden kon deze locatie uiteindelijk niet worden gebruikt. Op zeer korte termijn moest een alternatieve locatie worden gevonden. Dit werd proefbedrijf 'de Bouwing' in Randwijk, omdat hier door AB-DLO vergelijkbare proeven werden gedaan naar gewasopname en stikstofuitspoeling.

Nadeel van deze locatie was dat geen drainagesysteem met drainbuizen aanwezig was, zodat het drainagewater niet kon worden bemonsterd. Daarom zijn speciaal voor het onderzoek drainbuizen aangebracht op een diepte van ongeveer 1 m. Direct na deze werkzaamheden werd de proeflocatie ingericht en vond mesttoediening plaats.

2.1.2 Bodemtype en landgebruik

De proeflocatie is gelegen in een gebied bestaande uit geulafzettingen bedekt met komafzettingen. De bodem is een poldervaaggrond in rivierklei. De bovengrond bestaat uit kalkarme lichte tot matig zware klei (0 tot 1 à 1,4 m - mv). Tussen 0,25 en 0,35 m diepte bevindt zich een ploegzool, een verdichte laag, in het profiel. Vanaf 1 à 1,4 m diepte bestaat het profiel uit zeer lichte tot matig lichte zavel, veelvuldig met schelpresten. Op een diepte van 1,5 à 2 m gaat de zavel over in matig grof rivierzand. In de proeflocatie zijn twee representatieve profielen onderscheiden die voornamelijk verschillen in de samenstelling van de ondergrond (tabel 1). Profiel I komt vooral voor in het zuidelijk en middendeel van de proeflocatie; profiel II vooral in het noord-(oost)elijke deel. Door de hoeveelheid lutum van 31-45% in de bovengrond krimpt de bodem bij uitdroging van het bodemprofiel waardoor krimpscheuren ontstaan.

Tabel 1 Beschrijving van de twee representatieve bodemprofielen op de proeflocatie

Profiel I				Profiel II			
Diepte (m - mv)	Code	Omschrijving	Lutum (gew.-%)	Diepte (m - mv)	Code	Omschrijving	Lutum (gew.-%)
0,00-0,25	1Apg	lichte klei	31	0,00-0,25	1Apg	lichte klei	31
0,25-0,35	1C1g	lichte klei, ploegz.	31	0,25-0,35	1C1g	lichte klei, ploegz.	31
0,35-0,80	1C1g	matig zware klei	43-45	0,35-1,00	1C2g	matig zware klei	46
0,80-1,15	1C2g	lichte klei	35	1,00-1,40	2C1g	lichte klei	35
1,15-1,50	2C1g	matig lichte zavel	15	1,40-1,80	2C2g	matig lichte zavel	16
1,50-2,00[1)]	2C2g	zeer lichte zavel	12	1,80-2,00[1)]	2Cr	zeer lichte zavel	12
>2,00[1)]	-	matig grof zand	-	>2,00[1)]	-	matig grof zand	-

[1)] diepte zandlaag varieert tussen 1,70 en 2,40 m

Het land is in gebruik voor gewasexperimenten ten behoeve van het akkerbouwkundig onderzoek.

2.1.3 Hydrologische situatie

De proeflocatie was oorspronkelijk niet gedraineerd. De hydrologische situatie is dusdanig dat buizendrainage niet noodzakelijk is. Het neerslagoverschot kan over het algemeen voldoende snel door het relatief dunne klei/zavelpakket worden afgevoerd naar de grof-zandige rivierafzettingen op 1,5 à 2 m diepte. Dit zandpakket maakt deel uit van een regionaal systeem dat in direct contact staat met het oppervlaktewatersysteem dat afwatert op de rivier de Linge. Het gebied ligt in een polder die via een zijkanaal van de Linge wordt bemalen. Door bemaling van het oppervlaktewater van de polder wordt het zandpakket gedraineerd, en daarmee ook het bovenliggende klei/zavelpakket.

Bij neerslagoverschot vindt wegzijging van neerslagwater plaats vanuit het klei/zavelpakket naar het zandpakket. Dat in de natte perioden steeds een wegzijginssituatie bestaat, illustreert figuur 1. Hierin is voor het midden van de proeflocatie (veld C) het verschil tussen de gemeten freatische grondwaterstand en de stijghoogte in het zandpakket voor het jaar 1994 uitgezet. Dit verschil is voor de natte periode consequent positief: de grondwaterstand is hoger dan de stijghoogte waardoor een neerwaartse stroming van water optreedt (wegzijging). In het zandpakket wordt het water horizontaal afgevoerd naar het oppervlaktewaterstelsel: sloten en waterlopen die in verbinding staan met de Linge, en de Linge zelf. De mate van wegzijging wordt bepaald door het verschil tussen de freatische grondwaterstand in het klei/zavelpakket en de stijghoogte van het water in het zandpakket. De laatste wordt in sterke mate bepaald door het oppervlaktewaterpeil en dus door het bemalingsregime. Het water dat vanuit het klei/zavelpakket uitspoelt naar het zandpakket komt vrij snel in het oppervlaktewatersysteem van de polder terecht. Uitspoeling vanuit de proeflocatie naar het zandpakket kan daarom worden beschouwd als uitspoeling naar het oppervlaktewater.

Voor het onderzoek is de proeflocatie gedraineerd met drainbuizen die afwateren op de aangrenzende sloot (zie fig. 2). Het doel hiervan was de hoeveelheid drainwater en de concentraties stikstofcomponenten hierin te meten. Met deze gegevens kunnen de naar het oppervlaktewater uitspoelende stikstofvrachten worden bepaald. Echter, ook na drainage met drainbuizen blijkt uitspoeling naar het zandpakket de belangrijkste drainagevorm te zijn. Op jaarbasis bleek volgens berekeningen met een hydrologisch model (zie 2.3) circa twee keer zo veel water via wegzijging het klei/zavelpakket te verlaten als via drainage. De consequentie van deze typische hydrologische situatie is dat bemeten van de drainbuizen niet voldoende is om de uitspoeling van stikstof vast te stellen. De wegzijgingscomponent moet eveneens worden bepaald.

Een andere, meer practische consequentie van de typische hydrologische situatie van de proeflocatie was dat bij neerslag van enige betekenis de metingen aan de drainbuizen ernstig werden verstoord. Het slootpeil steeg dan vrij snel boven drain-

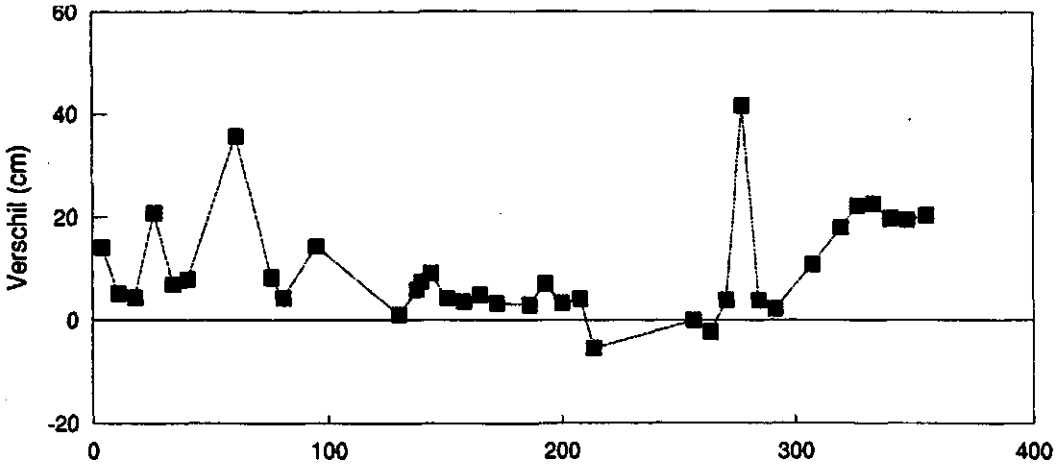

Fig. 1 Verloop in de tijd van het verschil tussen de freatische grondwaterstand en de stijghoogte in het zandpakket (als grondwaterstand minus stijghoogte) in 1994 voor het midden van de proeflocatie

niveau, waardoor deze metingen niet meer konden worden uitgevoerd. Oorzaak hiervan was de regionale component in de vorm van de stijghoogte van het water in het zandpakket. Door het directe contact tussen dit pakket en het oppervlaktewatersysteem van de polder heeft stijging van het peil in dit oppervlaktwatersysteem in neerslagrijke perioden vrijwel direct een vergroting van de stijghoogte in het zandpakket tot gevolg. Doordat de bodem van de sloot langs de proeflocatie op enkele plaatsen tot in het zandpakket reikt, reageert het slootpeil direct op de vergroting van de stijghoogte. Afdammen en leegpompen van de sloot had daardoor geen verbetering tot gevolg (zie ook 2.2.1).

2.1.4 Indeling van de locatie

De proeflocatie was onderverdeeld in vier velden van 90 bij 12 m (fig. 2). Elk veld bevatte in het midden een drainbuis in de lengterichting van het veld op een diepte van ongeveer 1 m. De velden werden van elkaar gescheiden door scheidingsdrains. De afstand tussen alle drains bedroeg 12 m. De effectieve breedte van elk van de vier velden was daarmee 12 m: 6 m aan weerszijde van elke proefvelddrain.

Elk veld onderging een verschillende behandeling (tabel 2):
- veld A; groenbemesting: mest in najaar + zaaien groenbemester (winterrogge) in najaar, grondbewerking voorjaar (onderploegen rogge);
- veld B; najaarstoediening: mest in najaar, grondbewerking najaar;
- veld C; voorjaarstoediening: mest in voorjaar, grondbewerking najaar;
- veld D; nulobject: géén mest, grondbewerking najaar.

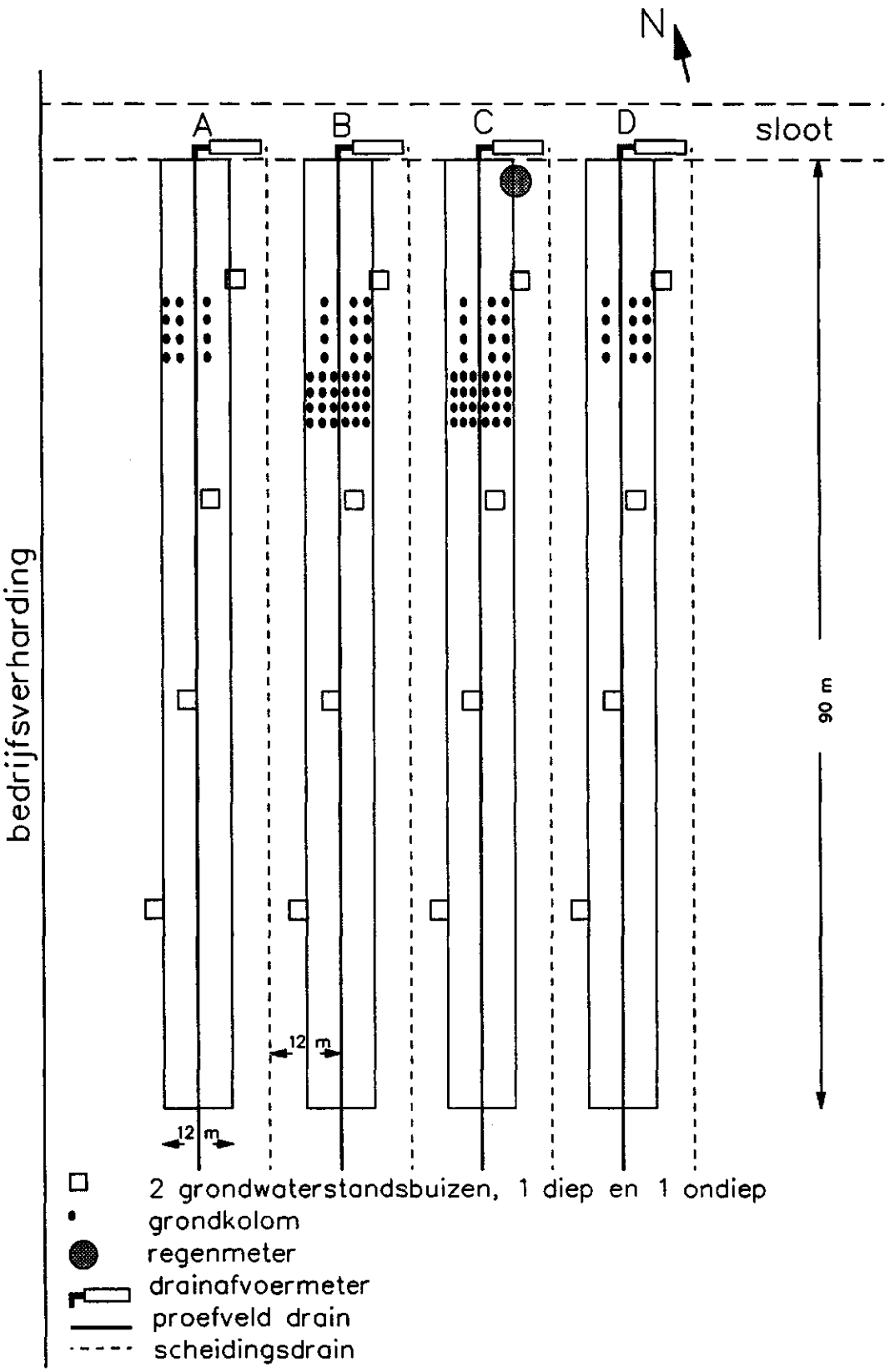

Fig. 2 Indeling van de proeflocatie

Tabel 2 Tijdstippen van werkzaamheden samenhangend met de verschillende behandelingen

Datum	Uitgevoerde werkzaamheden per veld			
	A	B	C	D
21-10-93	mestinjectie+winterrogge	mestinjectie+ploegen	ploegen	ploegen
29-04-94			mestinjectie	
02-05-94	oogst rogge +			
	inploegen (12 kg N/ha)			
04-05-94	mais	mais	mais	mais
10-05-94			spuiten tracer	spuiten tracer
20-09-94	oogst mais	oogst mais	oogst mais	oogst mais
27-09-94	mestinjectie			
28-09-94	winterrogge			
21-10-94		mestinjectie		
03-11-94	spuiten tracer	spuiten tracer		
05-11-94		ploegen	ploegen	ploegen
02-05-95	oogst rogge		mestinjectie	
03-05-95	inploegen (18 kg N/ha)			
04-05-95	mais	mais	mais	mais
02-10-95	oogst mais	oogst mais	oogst mais	oogst mais

Zaaien: met zaaicombinatie rotorkopeg en zaaimachine
Ploegdiepte: tussen 25-28 cm
Hoeveelheid geinjecteerde mest: 60 m^3/ha

Tabel 2 geeft de tijdstippen waarop diverse werkzaamheden die samenhangen met de verschillende behandelingen zijn uitgevoerd. Dit zijn mestinjectie, ploegen, en zaaien en oogsten van gewassen. Daarnaast is nog het spuiten van een tracer vermeld (zie 2.2.3).

2.2 Uitgevoerde metingen

De uitgevoerde metingen bestonden uit metingen van hydrologische grootheden (2.2.1), continue registratie van de neerslag (2.2.2), bepaling van concentraties van stiksofcomponenten en een tracer (2.2.3) en bepaling van bodemfysische karakteristieken (2.2.4). De metingen zijn uitgevoerd van half oktober 1993 tot mei 1995.

2.2.1 Hydrologische grootheden

De volgende hydrologische grootheden zijn gemeten:
- freatische grondwaterstand in het klei/zavelpakket;
- de stijghoogte van het water in het zandpakket;
- het vochtgehalte op verschillende diepten in de onverzadigde zone;
- draindebieten.

Freatische grondwaterstand en stijghoogte in het zandpakket
Voor het meten van de freatische grondwaterstand en de stijghoogte in het zandpakket zijn op elk van de vier velden diagonaal vier paar grondwaterstandsbuizen geplaatst (zie fig. 2). Elk paar bevatte een ondiepe buis (filter 1,2-1,4 m - mv) voor het meten van de freatische grondwaterstand en een diepe buis (filter 2,3-2,5 m - mv) voor het meten van de stijghoogte in het zandpakket. De 32 buizen werden tot zes weken na de mesttoediening twee keer per week en daarna wekelijks opgemeten.

Vochtgehalte
Het vochtgehalte is bepaald in de monsters uit de onverzadigde zone, gestoken met de grondkolomcylinder (zie verder 2.2.3).

Draindebieten
Aan het einde van de proefvelddrain van elk van de vier velden is een automatische drainbemonsteraar geïnstalleerd voor registratie van de hoeveelheid drainafvoer en het bemonsteren van het drainwater (zie fig. 2). Al spoedig bleek dat bij veel neerslag het slootpeil meestal snel tot boven drainniveau steeg, waardoor debietmetingen en monstername dan niet meer mogelijk waren. In de zomer van 1994 is daarom het deel van de sloot dat grenst aan de proefvelden afgedamd. Met een speciaal ontworpen automatische pomp werd getracht het slootpeil onder drainniveau te houden. Het was door de typische hydrologische situatie niet mogelijk met deze opstelling tijdens regenrijke perioden het slootpeil voldoende laag te houden (zie ook 2.1.3). Tijdens droge perioden zakte het grondwater meestal snel onder drainniveau als gevolg van wegzijging naar het zandpakket.
Automatische registratie van de draindebieten en drainbemonstering heeft daarom slechts sporadisch kunnen plaatsvinden. Om die reden zijn bij elk veldbezoek waarbij drainafvoer werd geconstateerd, handmatig draindebieten bepaald en aanvullende monsters van het drainwater genomen.

2.2.2 Neerslag

Op proefveld C is een automatische regenmeter geplaatst waarmee gedurende de meetperiode de neerslag continu werd geregistreerd (zie fig. 2). Hiaten in deze continue neerslaggegevens als gevolg van technische storingen, zijn aangevuld met gegevens van de proefboerderij.

2.2.3 Concentraties van stikstofcomponenten en een tracer

Voor het bepalen van de stikstofuitspoeling zijn vocht- en watermonsters genomen waarin ammonium- en nitraatstikstof zijn bepaald. Organisch stikstof in oplossing (Kjeldahl-N) is niet bepaald, omdat dit een zeer tijdrovende en daardoor dure bepaling is, waarvoor het budget niet toereikend was. Dit werd niet als een beperking van het onderzoek gezien, omdat uit ervaring van eerder onderzoek van SC-DLO is gebleken dat uitspoeling van organisch-N op minerale gronden slechts van zeer gering belang is.

Voor het bestuderen van de transportprocessen is na de eerste of tweede mestinjectie op de velden A, B en C een bromidetracer (KBr) toegediend via spuiten met een landbouwspuit (zie tabel 2 voor het tijdstip van tracer toediening). Op veld D, waar geen mest is toegediend, is de tracer gespoten op hetzelfde moment als op veld C. In de genomen vocht- en watermonsters is de bromideconcentratie bepaald.

De volgende monsters zijn genomen:
- van het grondwater in de ondiepe en diepe grondwaterstandsbuizen. De 32 grondwaterstandsbuizen werden tot zes weken na de mesttoediening twee keer per week bemonsterd. Daarna vond wekelijkse bemonstering plaats;
- van het drainwater. In elk betrouwbaar drainwatermonster zijn de concentraties bepaald. Monsters die met de automatische drainbemonsteraar waren genomen, waren niet altijd betrouwbaar. Monsters die waren genomen vlak voordat en nadat het slootpeil tot boven drainniveau was gestegen, bevatten naast drainwater ook slootwater. Dit gold voor de meeste automatisch genomen drainwatermonsters. Deze monsters zijn verder genegeerd. Handmatig genomen monsters waren wel betrouwbaar. De meeste betrouwbare drainwatermonsters zijn verkregen in de periode november 1993 tot november 1994;
- van het bodemvocht in de onverzadigde zone. De bemonstering van de onverzadigde zone van alle vier de velden vond plaats in elk voorjaar en najaar met grondkolomcilinders (Hendrickx et al., 1991; Hamminga et al., 1995). Per veld zijn grondkolommen genomen tot een maximale diepte van 1 m (zie fig. 2). Elke grondkolom werd opgedeeld in monsters van 0,1 m lengte waarvan dichtheid, vochtgehalte en de concentratie ammoniumstikstof, nitraatstikstof en bromide in het bodemvocht werden bepaald. De velden B en C zijn intensiever bemonsterd en wel bij een cumulatieve neerslag van 30, 60 en 90 mm na de mesttoediening. In tabel 3 staat wanneer en hoeveel kolommen zijn genomen.

2.2.4 Bodemfysische karakteristieken

In het midden van de proeflocatie zijn in duplo grondmonsters gestoken voor de bepaling van de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken (NNI, 1994) en het vaststellen van het lutumgehalte en het organischestofgehalte. Deze gegevens zijn van belang voor de modelmatige analyse van de meetresultaten. Hiervoor zijn zes lagen bemonsterd op een diepte van 0,02-0,10, 0,25-0,33, 0,48-0,56, 0,60-0,68, 0,65-0,73 en 0,87-0,95 m - mv.

Tabel 3 Overzicht van de grondkolombemonsteringen

Datum	Kolombemonsteringen per veld				Aantal monsters	Opmerking
	A	B	C	D		
13-10-93	3	3	3	3	120	Najaarstoestand
28-04-94	3	3	3	3	120	Voorjaarstoestand
10-05-94			6		12	Bouwvoor na mest en bromide toediening
24-05-94			6		60	Na ± 30 mm neerslag
29-06-94			6		60	Na ± 60 mm neerslag
09-09-94			6		60	Na ± 90 mm neerslag
26-09-94	3	3	3	3	120	Najaarstoestand
03-11-94		16			32	Bouwvoor na mest en bromide toediening
08-11-94		16			160	Na ploegen
02-12-94		16			160	Na ± 30 mm neerslag
16-12-94		16			160	Na ± 60 mm neerslag
13-01-95		16			160	Na ± 90 mm neerslag
26-04-95	3	16	3	3	250	Voorjaarstoestand
Totaal	12	105	36	12	1474	

2.3 Modelmatige analyse

Door de typische hydrologische omstandigheden van de proeflocatie was het niet mogelijk de stikstofuitspoeling direct te meten (zie 2.1.3). In de eerste plaats kon de drainuitspoeling niet volledig worden gemeten, omdat de drainafvoer tijdens perioden met een slootpeil boven drainniveau niet kon worden vastgesteld. In de tweede plaats is het onmogelijk de belangrijkste uitspoelingscomponent, de uitspoeling naar het zandpakket, direct te meten.

De stikstofconcentraties van beide uitspoelingscomponenten waren wel (in grote lijnen) bekend. Voor de drainuitspoeling waren dat de concentraties in de drainwatermonsters; voor de wegzijgingscomponent de concentraties in het ondiepe grondwater, zoals gemeten in de ondiepe buizen. De bijbehorende waterfluxen konden echter niet of slechts gedeeltelijk worden gemeten. Daarom zijn deze fluxen verkregen door de meetgegevens te analyseren met een hydrologisch computermodel dat op basis van gemeten toestandsvariabelen zoals bijvoorbeeld de grondwaterstand een zo goed mogelijke schatting kan doen van de uitspoeling van water via de verschillende uitspoelingsroutes.

Hiervoor is een verbeterde versie (versie 3.0; Hendriks en Oostindie, i.v.) van het model FLOCR (Oostindie en Bronswijk, 1992) gebruikt. FLOCR is een eendimensionaal waterhuishoudingmodel voor het dynamisch simuleren van de stroming van water door een onverzadigde zone en voor het simuleren van de waterbalans onder invloed van neerslag, verdamping, kwel en wegzijging, en drainage naar en

infiltratie vanuit ontwateringsmiddelen zoals drainbuizen. Het model houdt rekening met zwellen en krimpen van de bodem, en de scheuren die daarbij ontstaan. Neerslagwater dat in de krimpscheuren terechtkomt, kan versneld uitspoelen naar drains, diepere bodemlagen en het grondwater.

Deze laatse processen zijn van belang voor het correct simuleren van de waterhuishouding van en de uitspoeling vanuit zwellende en krimpende kleigronden zoals de kleigrond in dit onderzoek. Hevige neerslag met een hoge intensiteit volgend na een droge periode waarin de bodem is uitgedroogd en krimpscheuren aanwezig zijn, kan versnelde uitspoeling van water en meststoffen via de krimpscheuren naar drains en het grondwater tot gevolg hebben. Voor de vraagstelling van dit onderzoek zijn deze processen van wezenlijk belang, omdat mesttoediening in een periode waarin krimpscheuren aanwezig zijn, de uitspoeling van deze meststoffen kan versnellen.

Op basis van de hydrologische meetgegevens grondwaterstanden, vochtgehalten en draindebieten, is FLOCR gekalibreerd. De belangrijkste modelparameters die in het kalibratieproces zijn bijgesteld, zijn de drainageweerstand en de weerstand voor verticale stroming in het verzadigde deel van het klei/zavelpakket. De eerste weerstand bepaalt in hoge mate de uitspoeling via de drainbuizen, de tweede de wegzijging naar het zandpakket. De absolute waarde van deze weerstanden bepaalt de grootte van de uitspoeling. De verhouding tussen beide weerstanden bepaalt de verhouding tussen de drainuitspoeling en de wegzijging. Het goed vaststellen van de waarde van deze weerstanden is van cruciaal belang voor de resultaten, omdat aan beide uitspoelingsfluxen andere stikstofconcentraties worden gekoppeld.

In het kalibratieproces is daarom voor alle vier de velden de optimale combinatie van beide weerstanden bepaald. Dit is gedaan door het model te laten rekenen met een groot aantal combinaties van waarden voor beide weerstanden. De optimale combinatie was de combinatie waarbij het verschil tussen berekende en gemeten grondwaterstanden het geringst was (minimale som van de kwadraten van de verschillen).

Met de geoptimaliseerde weerstanden zijn per veld de uitspoelingsfluxen op dagbasis berekend voor de periode 18 november 1993 tot 18 november 1994. Van deze periode van een jaar waren de meest betrouwbare metingen van concentraties in het drainwater beschikbaar (zie ook 2.2.3). Voor de stikstofconcentraties zijn waarden op dagbasis verkregen door lineaire interpolatie tussen de gemeten waarden. Bij de concentraties in het ondiepe grondwater vormden de medianen van de meetwaarden van de vier buizen de basis voor interpolatie (op basis van lognormale verdeling). De ammonium- en nitraatconcentratie zijn bij elkaar opgeteld. Om de uitspoelende stikstofvrachten te verkrijgen, zijn op dagbasis de drainfluxen vermenigvuldigd met de stikstofconcentraties in het drainwater en de wegzijgingsfluxen met de stikstofconcentraties in het ondiepe grondwater. Beide vrachten zijn gesommeerd om de totale uitspoelende stikstofvracht naar het oppervlaktewater te verkrijgen. Dit is gedaan voor het gehele jaar (18-11-1993 tot 18-11-1994), de hydrologische zomer (1-4-1994 tot 1-9-1994) en de hydrologische winter (18-11-1993 tot 1-4-1994 en 1-9-1994 tot 18-11-1994).

Om de gevoeligheid van de berekende stikstofvrachten voor fouten in de berekende uitspoelingsfluxen af te tasten, is voor alle velden een beperkte onzekerheidsanalyse uitgevoerd. Hierbij is een onzekerheidsinterval rond de berekende uitspoelende stikstofvrachten verkregen. Er is van uitgegaan dat maximaal een fout van plus of min 50% in de drainageweerstand en de weerstand voor verticale stroming kan zijn opgetreden. Met waarden voor deze beide parameters van 50% en 150% van de geoptimaliseerde waarden zijn de vier mogelijke combinaties doorgerekend. Voor deze vier combinaties zijn de uitspoelende stikstofvrachten berekend. De minimale stikstofvracht is beschouwd als de ondergrens en de maximale als de bovengrens van het onzekerheidsinterval rond de berekende uitgespoelde stikstofvracht.

3 Resultaten en discussie

In dit hoofdstuk worden de voor de vraagstelling belangrijkste resultaten gegeven en besproken. Allereerst wordt ingegaan op de gemeten stikstofconcentraties in het grond- en drainwater (3.1), waarna de berekende stikstofuitspoeling wordt behandeld (3.2). Van de voor dit onderzoek belangrijkste metingen worden de resultaten gegeven in verschillende aanhangsels:

- Aanhangsel 1: grondwaterstanden;
- Aanhangsel 2: NO_3-N-concentraties in het grondwater;
- Aanhangsel 3: NH_4-N-concentraties in het grondwater;
- Aanhangsel 4: Br-concentraties in het grondwater;
- Aanhangsel 5: NO_3-N-, NH_4-N- en Br-concentraties in het drainwater;
- Aanhangsel 6: NO_3-N-gehalten in de grondkolommen;
- Aanhangsel 7: NH_4-N-gehalten in de grondkolommen;
- Aanhangsel 8: Br-gehalten in de grondkolommen;
- Aanhangsel 9: vochtgehalten in de grondkolommen;
- Aanhangsel 10: volumieke massa's in de grondkolommen.

3.1 Stikstofconcentraties in grond- en drainwater

De gemeten NH_4-N-concentraties waren in vergelijking met de NO_3-N-concentraties meestal verwaarloosbaar laag met concentraties beneden de detectiegrens. Alleen direct na mesttoediening in het najaar (velden A en B), en dan vooral in het ondiepe grondwater, zijn NH_4-N-concentraties van enige betekenis waargenomen (max. 7 $mg.l^{-1}$). Voor kwantificering van de stikstofuitspoeling is deze verbinding van gering belang. De stikstofuitspoeling bestaat nagenoeg geheel uit nitraat. Oorzaak hiervan is dat in de relatief dikke onverzadigde zone van het profiel waar aërobe omstandigheden heersen ammonium vrijwel geheel en snel wordt genitrificeerd tot nitraat. Bij mesttoediening in het najaar, als de grondwaterstand hoger is en de onverzadigde zone dunner, is dit proces minder effectief.

Bij aanvang van het onderzoek is aangenomen dat uitspoeling van organische stikstof in oplossing bij minerale gronden geen rol van betekenis speelt (zie 2.2.3). Uit mest afkomstige opgeloste organische stikstofverbindingen zijn makkelijk afbreekbaar en worden daarom in de onverzadigde zone snel gemineraliseerd tot ammonium. Bij mesttoediening in het najaar onder natte omstandigheden is het echter heel goed mogelijk dat organisch-N wel uitspoelt. De mineralisatie is dan net als de nitrificatie niet volledig door een geremde zuurstofvoorziening in de kleinere en nattere onverzadigde zone. De aanwezigheid van ammonium in de monsters kan betekenen dat deze monsters tevens organisch-N bevatten. De aanname dat organisch-N niet uitspoelt is dus waarschijnlijk niet geheel terecht.

De uitspoelingsroute is hierbij ook van belang. In de winter zijn krimpscheuren van minder belang en zullen stikstofverbindingen vooral uitspoelen via de bodemmatrix.

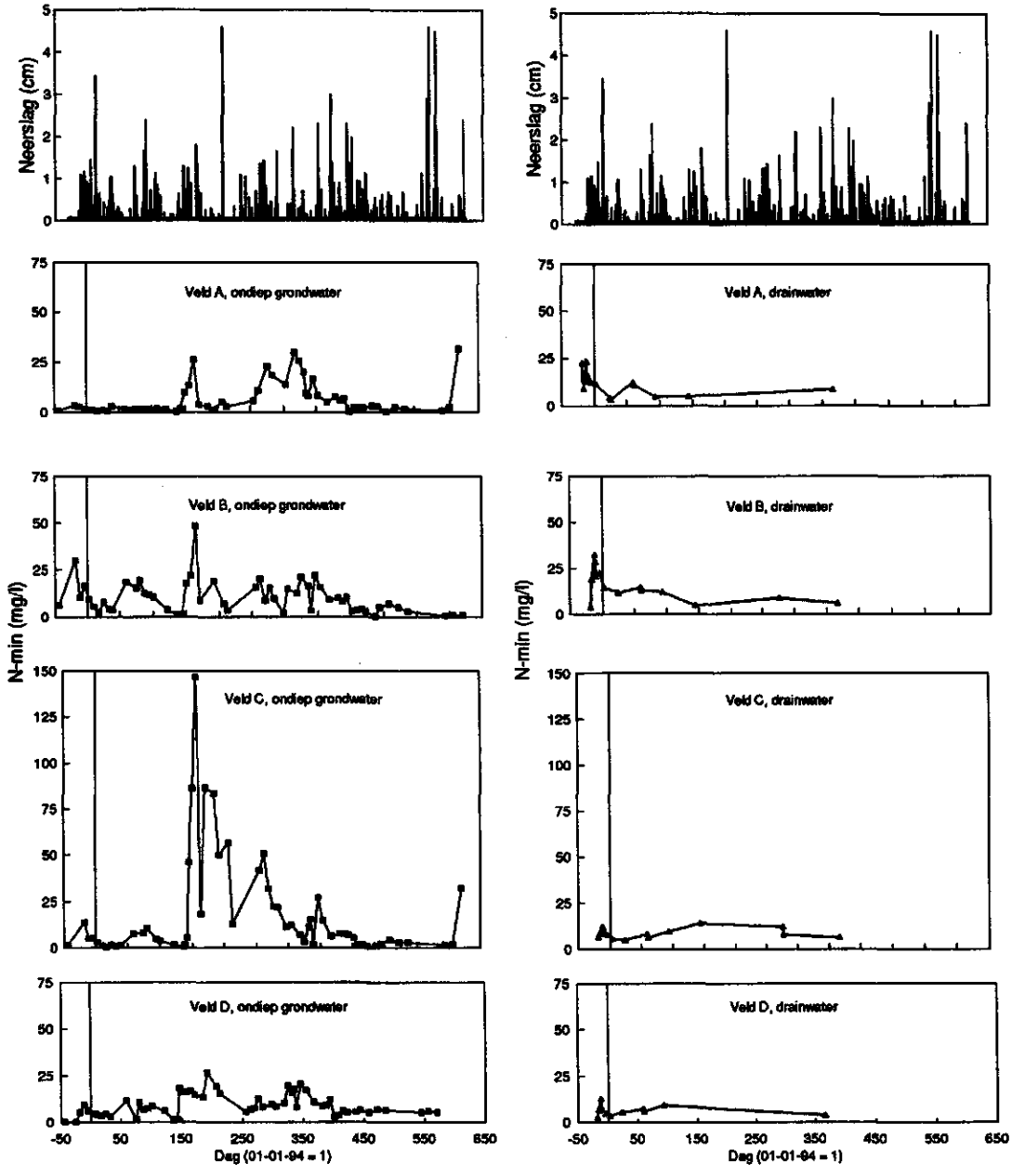

Fig. 3 Neerslag op de proeflocatie, en mineraal-N-concentraties in het ondiepe grondwater en het drainwater van de vier velden op de verschillende bemonsteringstijdstippen.
De concentraties in het ondiepe grondwater zijn de medianen (lognormaal) van de vier waarnemingen per veld.

Deze uitspoeling verloopt relatief langzaam. De verblijftijd in de bodem zal voldoende groot zijn om een groot deel van de organische verbindingen te mineraliseren via denitrificatie waarbij het mee uitspoelende nitraat als zuurstofdonor fungeert. Nitraat is altijd gemeten in de monsters en dus blijkbaar voldoende aanwezig. Het is daarom moeilijk aan te geven hoe groot de afwijking in de stikstofuitspoeling is door het verwaarlozen van de organisch-N-uitspoeling. De verwachting is dat deze afwijking, door het optreden van denitrificatie, relatief gering is. Alleen bij de velden met najaarstoediening (A en B) zal deze fout tijdens de snelle uitspoeling naar de drains direct na mesttoediening, wanneer ook ammonium in de monsters is gevonden, van belang kunnen zijn. Het is wel zeker dat denitrificatie, waarbij nitraatstikstof wordt omgezet in gasvormige stikstofverbindingen die naar de lucht uitstromen, veel belangrijker is bij mesttoediening aan het begin van een langdurige natte periode dan bij toediening vlak voor een droge periode.

In de volgende presentatie en bespreking van de resultaten betreffende de stikstofconcentraties wordt steeds de som van de nitraat- en ammoniumconcentraties, genaamd de mineraal-N-concentraties, beschouwd. In figuur 3 staan voor de periode 18-11-1993 tot eind december 1994 de mineraal-N-concentraties in het ondiepe grondwater en het drainwater van de vier velden op de verschillende bemonsteringstijdstippen weergegeven. De concentraties in het ondiepe grondwater zijn de medianen (lognormaal) van de vier waarnemingen per veld.

In de mineraal-N-concentraties in het ondiepe grondwater zijn verschillende pieken te zien die alle samenhangen met perioden met grote neerslaghoeveelheden. Bij alle vier de velden valt de hoogste piek rond dag 150 (30 mei) in 1994, na een vrij droge periode van ca. 50 dagen waarin de grondwaterstand relatief laag is (tussen 1 en 1,5 m - mv) en krimpscheuren prominent aanwezig zijn in de dikke en droge onverzadigde zone. De absoluut hoogste piek is gevonden voor veld C. Op dag 119 (29 april) 1994 heeft hier mestinjectie plaatsgevonden. In de droge bodem wordt de organische mest snel gemineraliseerd en genitrificeerd tot nitraat, dat bij de daaropvolgende regenrijke periode snel uitspoelt naar het het grondwater via krimpscheuren. De opname door het gewas is in deze periode nog vrij gering, omdat het gewas nog niet volledig tot ontwikkeling is gekomen (zaaidatum 4 mei 1994). Ook na de piek rond dag 150 blijft de mineraal-N-concentratie in het grondwater van veld C hoog als gevolg van uitspoeling van stikstofmeststoffen via de bodemmatrix en incidenteel snellere uitspoeling via de (kleinere) krimpscheuren.

Bij veld B, waar de mestinjectie heeft plaatsgevonden op 21 oktober 1993, is de piek in de mineraal-N-concentratie in het ondiepe grondwater rond dag 150 slechts 30% van die van veld C. Bij veld B spoelen vanaf het moment van mesttoediening in het najaar van 1993 meer stikstofmeststoffen uit naar het grondwater, waardoor de stikstofvoorraad in de bodem rond dag 150 veel geringer is dan bij veld C. Deze uitspoeling is geleidelijker dan bij veld C direct na mesttoediening en vindt voornamelijk plaats via de bodemmatrix, omdat in deze natte periode veel minder krimpscheuren aanwezig zijn. Na een piek in de eerste periode met hevige neerslag na de mesttoediening in het najaar blijft de concentratie in het grondwater van veld B op een in vergelijking met de overige velden hoog niveau, wat duidt op deze geleidelijke uitspoeling. Een andere oorzaak van de lagere concentraties in het

ondiepe grondwater in de periode na mesttoediening bij veld B in vergelijking met veld C zal de grotere denitrificatie op veld B zijn. Onder de nattere, anaërobere omstandigheden in de winter zal op veld B een groter deel van de stikstofmeststoffen door denitrificatie worden omgezet in gasvormige stikstofverbindingen dan op veld C in de zomerperiode.

In het ondiepe grondwater van veld A zijn ook na de mesttoediening in najaar 1993 de mineraal-N-concentraties zeer laag in vergelijking met de andere velden. Een oorzaak hiervan is de opname van stikstof door de direct na de mesttoediening gezaaide winterrogge. Deze opname is echter met 12 $kg.ha^{-1}$ in de winter 1993/'94 (zie tabel 2) slechts zeer gering en kan waarschijnlijk maar voor een heel klein deel het verschil in concentraties tussen de beide velden met najaarsbemesting, A en B, in deze periode verklaren.

De belangrijkste oorzaak voor het verschil is waarschijnlijk het verschil in grondbewerking tussen veld A en veld B: veld B is wél geploegd na de mestinjectie in najaar 1993 en veld A niet. Verder heeft de teelt van winterrogge op veld A verslemping van de bovengrond veroorzaakt (pers. med. Schröder, 1996). Bij veld B waren de omstandigheden voor mineralisatie en nitrificatie in de beter doorluchte, geploegde bovengrond daardoor gunstiger, waardoor een veel groter deel van de organische stikstof van de geïnjecteerde mest zal zijn omgezet in minerale stikstof dan bij veld A. In het laatste veld waren de omstandigheden voor denitrificatie gunstiger, als gevolg van de dichtere, verslempte bovengrond waardoor hier meer stikstof uit de geïnjecteerde mest uit de bodem is verdwenen dan bij veld B. Een grotere denitrificatie is waarschijnlijk eveneens de oorzaak voor het verschil in mineraal-N-concentraties tussen veld A enerzijds en de velden C en D anderzijds. De laatste velden zijn eveneens geploegd in het najaar. Daarnaast bevatten deze velden geen verse organische stof in de vorm van organische mest, die de denitrificatie bevordert. Voor de afbraak van deze verse organische stof wordt onder de natte omstandigheden in de winterperiode nitraat aangewend.

Na de eerste hevige regens na het onderploegen van de winterrogge op dag 122 (2 mei 1994) stijgt de mineraal-N-concentraties in het grondwater van veld A. Echter, tot dag 250 zijn deze concentraties bij veld A geringer dan bij veld D, waar geen mest is toegediend. Oorzaak hiervan is mogelijk dat onderploegen van de koolstofrijke winterrogge op veld A vastlegging van stikstof in de biomassa (immobilisatie) tot gevolg heeft waardoor in deze periode minder stikstof uitspoelt. In het najaar komt deze geïmmobiliseerde stikstof pas weer vrij door mineralisatie (priming effect). Er spoelt op veld A dan meer stikstof uit naar het grondwater dan op de velden B en D. Resultaten van het gewasgerichte onderzoek van AB-DLO, uitgevoerd op aanliggende proefvelden, lijken deze oorzaak echter uit te sluiten (pers. med. Schröder, 1996).

Een andere mogelijke oorzaak voor het verschil tussen A en D in de periode dag 122 tot dag 250 zou kunnen zijn dat onder natte omstandigheden in deze periode de denitrificatie op veld A groter was dan op veld B als gevolg van de grotere hoeveelheid verse organische stof in de bodem in de vorm van de ondergeploegde rogge. Het voorjaar van 1994 was vrij nat en de grondwaterstanden waren relatief hoog.

In het drainwater zijn alleen bij de eerste hevige neerslag rond dag -15 (16-12-1993) pieken in de mineraal-N-concentraties waargenomen. Dit geldt vooral voor de in het najaar van 1993 bemeste velden A en B. Mogelijk hebben deze pieken te maken met de net daarvoor aangebrachte drainage. De bodem is ter plekke van de drains nog los in het najaar van 1993, waardoor water en meststoffen preferent kunnen uitspoelen naar de drains. Er is een duidelijk verband tussen het tijdstip van bemesting en de mineraal-N-concentraties in het drainwater. Op de velden met de najaarsbemesting, A en B, zijn de concentraties in het drainwater het hoogst in de winter 1993/'94, waarbij de concentraties op het niet begroeide B-veld hoger zijn. Op veld C zijn de concentraties in het drainwater hoger na de mesttoediening op dag 119. De concentraties bij het niet bemeste veld D zijn over het algemeen het laagst. In de perioden dag 100 tot einde 1994 vindt slechts incidenteel drainafvoer plaats, omdat de grondwaterstand bijna continu lager is dan drainniveau.

3.2 Stikstofuitspoeling

In tabel 4 zijn voor de vier velden de berekende uitgespoelde minerale-stikstofvrachten voor de geoptimaliseerde berekeningen van de waterfluxen gegeven voor de winter, de zomer en het gehele jaar (18-11-1993 tot 18-11-1994). Tevens bevat deze tabel de onder- en bovengrenzen van de onzekerheidsintervallen voor de jaarvrachten. Bij veld A zijn voor de concentraties in het grondwater de waarden van de periode 18-11-1994 t/m 31-12-1994 genomen in plaats van de waarden uit dezelfde periode in 1993. De waarden van 1994 zijn waarschijnlijk realistischer voor een situatie waarin al meerdere jaren een groenbemester wordt toegepast dan die van 1993. In de waarden van najaar 1994 werkt mogelijk een priming effect door; in die van 1993 nog niet. Voor de concentraties in het drainwater was dit niet mogelijk, omdat voor het najaar van 1994 niet voldoende meetgegevens beschikbar waren. De resultaten van de kalibratie van FLOCR, waarop de berekeningen van de vrachten van tabel 4 zijn gebaseerd, zijn gegeven in aanhangsel 11 als berekende versus gemeten grondwaterstanden.

Tabel 4 Berekende minerale stikstofuitspoeling naar het oppervlaktewater als vrachten ($kg.ha^{-1}.j^{-1}$) voor winter[1)], zomer[1)] en het gehele jaar[1)], en onder- en bovengrens van het onzekerheidsinterval voor de jaarvracht, voor de vier velden

Veld	Winter	Zomer	Jaar		
			optimum	ondergrens	bovengrens
A	36,0	15,3	51,3	48,0	53,8
B	55,2	29,1	84,3	81,0	87,8
C	27,2	69,6	96,8	92,3	100,6
D	23,3	24,2	47,5	45,9	49,5

[1)] winter = 18-11-1993 tot 1-4-1994 en 1-9-194 tot 18-11-1994;
zomer = 1-4-1994 tot 1-9-1994;
jaar = 18-11-1993 tot 18-11-1994.

De grootste uitgespoelde stikstofvracht is berekend voor veld C, het veld met de mesttoediening in het voorjaar. De stikstofuitspoeling van veld B, met mesttoediening in het najaar, ligt in dezelfde orde van grootte als die van C, maar is significant lager dan die van C: de bovengrens van B is lager dan de ondergrens van C. De uitspoeling van veld A (najaarstoediening en groenbemester) en die van veld D (geen bemesting) liggen in dezelfde orde van grootte en bedragen slechts de helft van de uitspoeling van B en C. De uitspoeling van A is iets groter dan die van D. De verschillen zijn echter gering en niet significant, omdat de onzekerheidsintervallen elkaar overlappen.

Bij de velden A en B (najaarstoediening) vindt de uitspoeling voor ca. 70% plaats in de hydrologische winter; bij veld C (voorjaarstoediening) voor 70% in de hydrologische zomer. Uitspoeling van stikstof naar het oppervlaktewater in de zomer is ongunstiger dan uitspoeling in de winter, omdat de AMK-norm voor oppervlaktewaterkwaliteit geldt voor het zomerhalfjaar. Bij veld D is de uitspoeling in winter en zomer nagenoeg gelijk.

Voor een beter begrip van de stikstofuitspoelingen van tabel 4 zijn in tabel 5 de stikstofbalanstermen opgenomen, die voor de vier velden bekend waren. Dit zijn aan de aanvoerkant de bemesting en de atmosferische depositie (nat en droog). Aan de afvoerkant zijn dat de met het gewas afgevoerde stikstofhoeveelheden en de berekende uitspoeling. Niet bekend waren denitrificatie (afvoer), ammoniak-vervluchtiging (afvoer) en veranderingen in de berging van stikskstof in het bodem-profiel. De laatste term kan worden onderverdeeld in veranderingen in de berging in de organischestofvoorraad (mineralisatie (aanvoer) en immobilisatie (afvoer)), in het bodemvocht (aan-/afvoer) en aan het bodemcomplex (aan-/afvoer). Deze termen zijn besloten in de restpost. De aanvoer is groter bij de velden met najaarstoediening (A en B) dan bij veld C met voorjaarstoediening, omdat de in het najaar van 1993 gebruikte mest meer stikstof bevatte.

De restpost van de velden A en B is positief: de aanvoer is groter dan de afvoer. Voor C en D geldt het omgekeerde. Bij B bestaat de restpost waarschijnlijk voor het grootste deel uit denitrificatie in de winterperiode (zie 3.1). Ondanks de grotere aanvoer zijn bij B zowel de gewasopname als de uitspoeling geringer dan bij C, als gevolg van verdwijnen van stikstof uit het profiel door denitrificatie. Bij C groeit het gewas vrij direct na de mestgift en kan daardoor beter profiteren van deze gift, temeer omdat een groter deel van de meststikstof in de drogere zomerperiode kan worden omgezet in de door het gewas opneembare minerale vorm. Denitrificatie zal ook bij veld C plaatsvinden, maar in veel geringere mate omdat de mest in de droge periode is toegediend. De negatieve restpost bij C duidt op een interen op de stikstofvoorraad in de bodem.

Bij A is naast denitrificatie, die groter is dan bij veld B door de meer verdichte bovengrond en de grotere hoeveelheid makkelijk afbreekbare verse organische stof in de bodem afkomstig van de (ondergeploegde) groenbemester, wellicht ook vastlegging van stikstof in de C-rijke organische stof van de ingeploegde winterrogge van belang. Bij langer toepassen van een groenbemester zal een steeds grotere voorraad stikstofrijke organische stof worden opgebouwd. Op een gegeven moment zal een evenwicht ontstaan waardoor de stikstofuitspoeling weer zal toenemen naar het niveau

Tabel 5 Termen van de stikstofbalans (kg.ha^{-1}.j^{-1}) van de vier velden voor de periode 18-11-1993 tot 18-1-1994

Veld	Aanvoer			Afvoer			Restpost
	bemesting	depositie	totaal	gewas	uitspoeling	totaal	
A	323	45	368	159	51	210	158
B	323	45	368	198	84	282	86
C	231	45	276	213	97	310	-34
D	0	45	45	176	48	224	-179

van de velden B en C. Aanpassen van de bemesting aan de stikstofvoorraad in de bodem kan dit voorkomen.

De relatief grote negatieve restpost bij veld D is het gevolg van sterk interen op de stikstofvoorraad van de bodem. De aanvoer is op dit veld zeer gering door het ontbreken van bemesting, maar de afvoer in de vorm van afvoer via het gewas en uitspoeling is relatief nog vrij groot.

Om het effect van mesttoediening op de stikstofopname door het gewas en de stikstofuitspoeling zichtbaar te maken, moeten deze beide posten worden vergeleken met het veld zonder bemesting (veld D). Bij de velden B en C heeft bemesting in de beschouwde periode een extra gewasopname van resp. 22 en 37 kg.ha^{-1}.j^{-1} N ten opzichte van de onbemeste situatie tot gevolg. Dit is 7 respectievelijk 11% van de toegediende bemesting. De gewasopname bij veld A is minder dan in de onbemeste situatie. De extra uitspoeling bij A, B en C ten opzichte van D bedraagt respectievelijk 3, 36, en 49 kg.ha^{-1}.j^{-1} N of respectievelijk 1, 11 en 21% van de bemesting. Bemesting heeft dus ten opzichte van een onbemeste situatie een grotere extra uitspoeling dan extra gewasopname tot gevolg.

Het grootste deel van de bemesting komt ten goede aan het instandhouden of zelfs vergroten (veld A) van de stikstofvoorraad in de bodem. In de onbemeste situatie is minimaal 179 kg.ha^{-1}.j^{-1} N van de gewasopname en uitspoeling afkomstig van de stikstofvoorraad in de bodem; het overige deel wordt geleverd door de depositie. Minimaal, omdat ook op het onbemeste veld wel enige stikstof afkomstig van depositie verloren zal gaan door denitrificatie waardoor de totale afvoer uit het profiel groter is dan 224 kg.ha^{-1}.j^{-1} N. Bij de overige velden wordt deze vermindering van de stikstofvoorraad (gedeeltelijk) gecompenseerd door de bemesting. Deze minimale compensatie bedraagt voor de velden A, B en C respectievelijk 55, 55 en 77% van de bemesting.

Met de extra gewasopname, de extra uitspoeling en de compensatie van de vermindering van de stikstofvoorraad in de bodem door gewasopname en uitspoeling op het niveau van veld D, is voor de velden A, B en C respectievelijk 56, 73 en 110% van de bemesting verklaard. De percentages lager dan 100% bij A en B geven aan dat meststikstof op deze velden nog voor andere balansposten wordt benut. Dit zijn vooral de verliesposten denitrificatie en ammoniakvervluchtiging. Bij A is daarnaast waarschijnlijk ook nog opslag in de organischestofvoorraad in de bodem van

belang. Het percentage groter dan 100 bij veld C duidt op een interen op de stikstofvoorraad in de bodem. De vermindering van deze voorraad zal meer dan 10% van de bemesting zijn, omdat ook op veld C verliesposten als denitrificatie en ammoniakvervluchtiging een rol zullen spelen.

4 Conclusies

Uit de resultaten van het onderzoek kunnen voor de proeflocatie en voor de beschouwde periode van 18-11-1993 tot 18-11-1994 de volgende conclusies ten aanzien van de stikstofuitspoeling worden getrokken:

- de stikstofuitspoeling is het geringst wanneer de proeflocatie niet wordt bemest;
- bemesting heeft ten opzichte van een onbemeste situatie een grotere extra uitspoeling dan extra gewasopname tot gevolg;
- bemesting zonder toepassing van een groenbemester heeft een stikstofuitspoeling tot gevolg die circa twee keer zo groot als de uitspoeling van een onbemest veld;
- bemesting in combinatie met het toepassen van een koolstofrijke/stikstofarme groenbemester als winterrogge, geeft een stikstofuitspoeling die slechts weinig groter is dan die vanuit een onbemest veld, althans op de korte termijn. Het is niet geheel duidelijk of dit reducerende effect van de groenbemester het gevolg is van de met de teelt gepaard gaande grondbewerking (verslemping) of van de vastlegging van stikstof in de organischestofvoorraad van de bodem;
- bij najaarstoediening vindt de uitspoeling vooral plaats in de hydrologische winterperiode, bij voorjaarstoediening in de hydrologische zomerperiode. Voor het oppervlaktewater is uitspoeling in de zomer ongunstiger, omdat de AMK-norm gericht is op de zomerconcentraties in het oppervlaktewater;
- bij voorjaarstoediening is de stikstofuitspoeling groter dan bij najaarstoediening als gevolg van de grotere denitrificatie en geringere snelle uitspoeling via krimpscheuren bij de najaarstoediening.

Deze conclusies behoeven enige nuancering. Voor alle conclusies geldt dat ze strikt gelden voor de betreffende onderzoeksperiode en voor de proeflocatie met de typische hydrologische situatie. De tendens van de eerste vijf conclusies mag hoogst waarschijnlijk worden geëxtrapoleerd naar andere kleigronden en andere jaren. De gegeven verhoudingen mogen dat niet.

Hoewel de laatste conclusie een aanwijzing vormt dat voorjaarstoediening op kleigrond tot meer stikstofuitspoeling leidt dan najaarstoediening, is het de vraag of deze conclusie ook mag worden geëxtrapoleerd naar andere meteorologische jaren, andere kleigronden en andere toedieningstijdstippen. Het belang van denitrificatie en snelle uitspoeling via krimpscheuren is sterk afhankelijk van de meteorologische en daarmee hydrologische condities van een wat langere periode na de mesttoediening. Zowel de najaars- als voorjaarstoediening van mest hebben vrij laat in het seizoen plaatsgevonden. Vindt mesttoediening vroeg in een najaar plaats dat lange droge perioden afgewisseld met hevige neerslagbuien kent, dan zal de uitspoeling naar verwachting meer lijken op de uitspoeling bij voorjaarstoediening in dit onderzoek. Voor voorjaarstoediening geldt het omgekeerde in een voorjaar dat lang nat is met een vrij constante neerslag. Om een goed beeld te krijgen van het algemene verschil tussen stikstofuitspoeling bij voorjaars- en najaarstoediening is het nodig de omstandigheden van voorjaars- en najaarstoediening goed te definiëren en deze situaties met computermodellen voor de berekening van de waterstroming en de uitspoeling van stikstof door te rekenen.

Literatuur

Hamminga, W., K. Oostindie en J.J.B. Bronswijk, 1995. *Transport van water, bromide en nitraat in een zware kleigrond in grasland.* Rapport 368. DLO-Staring Centrum. Wageningen.

Hendrickx, J.M.H., C.J. Ritsema, O.H. Boersma, L.W. Dekker, W. Hamminga and J.W.H. van der Kolk, 1991. Motor-driven portable soil core sampler for volumetric sampling. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 792-1795.

NNI, 1994. *Bodem: onverzadigde zone: bepaling van de onverzadigde waterdoorlatendheidskarakteristiek en de waterretentiekarakteristiek met de verdampingsmethode volgens Wind.* Nederlandse norm, NEN 5791, NNI, Delft. 9 p.

Oostindie, K. and J.J.B. Bronswijk, 1992. *FLOCR - A simulation model for the calculation of water balance, cracking and surface subsidence of clay soils.* Report 47. DLO-Staring Centrum. Wageningen.

Niet-gepubliceerde bronnen

Hendriks, R.F.A. and K. Oostindie, i.v. *User's Guide FLOCR 3.0 / ANIMO 3.5.5 Model Combination. Technical program description and input instructions.* Technical Document 51. DLO-Staring Centrum. Wageningen.

Schröder, J.J., 1996. Persoonlijke mededeling. DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek. Wageningen.

AANHANGSELS

1 Grondwaterstanden	37
2 Nitraatconcentraties in het grondwater	39
3 Ammoniumconcentraties in het grondwater	41
4 Bromideconcentraties in het grondwater	43
5 Nitraat-, ammonium- en bromideconcentraties in het drainwater	45
6 Nitraatgehalten in de grondkolommen	47
7 Ammoniumgehalten in de grondkolommen	51
8 Bromidegehalten in de grondkolommen	55
9 Vochtgehalten in de grondkolommen	59
10 Volumieke massa's in de grondkolommen	63
11 Resultaten van de kalibratie van FLOCR	67

Aanhangsel 1 Grondwaterstanden

In dit aanhangsel zijn de gemeten grondwaterstanden (cm t.o.v. mv) weergegeven als gemiddelden van de metingen van de vier ondiepe buizen (ond.) en van de metingen van de vier diepe buizen van elk veld.

Datum\Veld	A ond.	A diep	B ond.	B diep	C ond.	C diep	D ond.	D diep
3-Nov-93		-137		-139		-137	-130	-137
10-Nov-93		-143		-144		-142		-142
18-Nov-93	-118	-122	-112	-124	-110	-118	-112	-122
25-Nov-93		-142		-145		-141		-143
30-Nov-93		-146		-149		-146		-147
7-Dec-93		-145		-148		-147	-131	-145
14-Dec-93	-80	-98	-58	-98	-60	-95	-73	-96
21-Dec-93	-72	-82	-55	-79	-50	-76	-59	-77
28-Dec-93	-83	-94	-77	-94	-81	-91	-83	-92
4-Jan-94	-67	-76	-58	-74	-53	-67	-59	-71
11-Jan-94	-101	-110	-103	-112	-102	-108	-106	-109
18-Jan-94	-111	-117	-113	-119	-111	-115	-114	-117
26-Jan-94	-83	-92	-65	-90	-65	-86	-68	-88
3-Feb-94	-108	-117	-108	-119	-108	-115	-111	-116
9-Feb-94	-121	-128	-117	-131	-118	-126		-128
16-Feb-94	-124	-127		-130		-126		-127
25-Feb-94	-125	-139		-141		-137		-138
2-Mar-94	-84	-100	-58	-99	-61	-97	-71	-98
11-Mar-94	-121	-133		-135		-131		-132
17-Mar-94	-92	-102	-87	-104	-94	-102	-96	-101
22-Mar-94	-96	-104	-95	-105	-96	-100	-99	-103
29-Mar-94	-104	-110	-105	-113		-108	-106	-110
5-Apr-94	-65	-73	-54	-72	-55	-70	-56	-71
19-Apr-94	-119	-123		-125		-122		-122
26-Apr-94	-125	-128		-130		-127		-128
3-May-94	-119	-115		-119	-109		-117	-113
10-May-94	-123	-116		-119	-112	-113		-117
18-May-94	-119	-111	-110	-112	-101	-106	-108	-111
20-May-94					-101	-108	-108	-111
24-May-94	-102	-105	-98	-101	-90	-99	-97	-103
31-May-94	-111	-107	-107	-109	-101	-105	-105	-108
7-Jun-94	-87	-95	-89	-98	-87	-90	-91	-97
14-Jun-94	-104	-102	-99	-104	-95	-99	-98	-103
21-Jun-94	-111	-107	-108	-109	-101	-105	-106	-108
28-Jun-94		-109		-111		-106		-109
5-Jul-94	-118	-113	-114	-116	-108	-111	-113	-114
12-Jul-94	-127	-129	-123	-128	-113	-120	-118	-125
19-Jul-94	-112	-108	-109	-111	-102	-105	-107	-109
27-Jul-94	-129	-127	-124	-130	-115	-119	-119	-126
2-Aug-94	-128	-116		-123	-119	-113	-119	-117
23-Aug-94		-122		-126		-120		-123
30-Aug-94		-124		-129		-123		-124
6-Sep-94		-121		-126		-119		-122
13-Sep-94	-120	-113	-117	-116	-110	-110	-118	-115
20-Sep-94	-97	-100	-94	-103	-91	-89	-89	-92
27-Sep-94	-116	-105	-117	-121	-107	-111	-111	-111
4-Oct-94	-79	-87	-56	-89	-82	-83	-66	-83
11-Oct-94	-118	-113	-116	-120	-106	-109	-110	-111
18-Oct-94	-116	-111	-115	-117	-105	-107	-109	-107
25-Oct-94	-132	-127	-130	-133		-123	-121	-124
3-Nov-94	-95	-96	-76	-99	-78	-89	-88	-93
15-Nov-94	-98	-109	-96	-115	-92	-110	-100	-110
22-Nov-94	-124	-123	-118	-124	-102	-124	-111	-119
29-Nov-94	-126	-130	-135	-131	-109	-132	-119	-127
6-Dec-94	-136	-138	-140	-144	-118	-137	-124	-135
13-Dec-94	-107	-117	-106	-121	-95	-114	-106	-112
21-Dec-94	-127	-130	-130	-135	-111	-131	-119	-127

Datum\Veld	A ond.	A diep	B ond.	B diep	C ond.	C diep	D ond.	D diep
3-Jan-95	-70	-91	-61	-89	-58	-81	-74	-76
17-Jan-95	-101	-113	-106	-112	-89	-111	-103	-109
24-Jan-95	-75	-93	-66	-93	-71	-105	-83	-96
7-Feb-95	-100	-103	-103	-108	-84	-103	-99	-99
14-Feb-95	-89	-108	-88	-113	-65	-106	-83	-106
21-Mar-95	-116	-125	-120	-130	-97	-126	-116	-122
4-Apr-95	-114	-119	-114	-124	-94	-119	-110	-115
18-Apr-95	-81	-115	-80	-119	-70	-115	-87	-109

Aanhangsel 2 Nitraatconcentraties in het grondwater

Dit aanhangsel bevat de gemeten NO_3-N-concentraties in het grondwater ($mg.l^{-1}$). De weergegeven waarden zijn de gemiddelden van de metingen van de vier ondiepe buizen (ond.) en van de metingen van de vier diepe buizen van elk veld.

Datum\Veld	A ond.	A diep	B ond.	B diep	C ond.	C diep	D ond.	D diep
25-Oct-93		0.42		1.83		0.52		0.61
3-Nov-93		0.16		0.68		0.2	0.15	1.3
10-Nov-93		0.02		0.6		0.01		1.03
18-Nov-93	0.04	0.02	0.9	0.67	0.55	0.19	0.42	1.6
25-Nov-93		0.01		0.65		0.04		1.26
30-Nov-93		0.01		0.64		0.02		1.14
7-Dec-93		0		0.59		0	0.02	1.28
14-Dec-93	1.2	0.4	26.58	3.4	12.18	1.49	5.92	6.46
21-Dec-93	0.93	0.34	14.49	12.23	6.9	3.95	7.84	6.82
28-Dec-93	0.36	0.22	15.12	3.25	4.72	1.31	5.39	6.46
4-Jan-94	0.11	0.06	9.22	2.51	3.59	1.16	4.61	5.78
11-Jan-94	0.19	0.02	6.05	2.45	1	1.41	4.24	5.06
18-Jan-94	0.03	0.11	1.96	1.85	0.15	0.62	3.03	4.52
26-Jan-94	0.25	0.17	7.02	1.99	1.5	0.94	4.56	5.23
3-Feb-94	0.28	0.22	3.97	2	1.15	0.65	3.07	
9-Feb-94	0.11	0.16	3.59	2.18	0.67	0.44		3.97
16-Feb-94		0.06		1.94		0.22		3.59
25-Feb-94		0.02		1.8		0.12		3.23
2-Mar-94	0.76	0.15	17.91	1.83	7.98	0.43	10.32	3.14
11-Mar-94	0.05	0.14		2.19		0.42		3.21
17-Mar-94	0.49	0.17	15.69	2.3	10.76	0.48	6.78	12.2
22-Mar-94	0.8	0.12	14.89	2.9	10.88	0.49	10.68	4.16
29-Mar-94	0.63	0.11	11.06	2.51		0.38	7.23	3.94
5-Apr-94	0.67	0.16	10.09	2.53	4.7	0.48	7.66	3.96
12-Apr-94	0.37	0.25	9.16	3.04	3.88	0.56	8.67	4.36
19-Apr-94	0.39	0.09		2.33		0.38		3.51
26-Apr-94	0.41	0.01		1.9		0.05		2.79
3-May-94	1.41	0.04	5.57	1.69	1.51		6.12	
10-May-94		0.11		1.41		0.67		2.58
18-May-94	0.08	0.02	0.63	0.25	2.03	0.07	1.33	0.55
20-May-94					2.71	0.02	1.33	0.54
24-May-94	1	0.02	3.76	0.29	14.34	0.05	2.67	0.96
27-May-94				0	81.13	0	20.94	0
31-May-94	29.29	0.21	28.38	1.72	91.45	0.13	16.3	4.38
3-Jun-94						0		0
7-Jun-94	43.86	0.09	28.93	1.56	124.19	9.08	18.59	4.52
10-Jun-94						0		0
14-Jun-94	38.8	0.24	43.96	1.6	49.06	21.01	18.38	3.97
17-Jun-94				0				
21-Jun-94	19.58	0.01	13.83	1.34	78.05	0.08	14.8	2.69
24-Jun-94						0		0
28-Jun-94		0.01		1.42				
1-Jul-94						0		0
5-Jul-94	9.06	0.02	0.54	1.24	87.73	0.42	17.84	2.41
8-Jul-94						0		0
12-Jul-94	1.01	0	17.47	1.26	50	0.33	26.78	3.04
15-Jul-94						0		0
19-Jul-94				0				
27-Jul-94	13.64	0.05	12.68	1.11	57	0.27	19.25	3.14
2-Aug-94		0		1.16		0.07		1.9
23-Aug-94		0.04		0.39		0.35		2.9
30-Aug-94		0.03		0.01		0.45		2.96
6-Sep-94		0		0.03		0.44		3.22
13-Sep-94	11.66	0.01	19.74	1.05	41.5	0.58	8.86	2.19
20-Sep-94				0.34		0.18		2.75
27-Sep-94	1.11	0.07	14.02	0.61	32	0.13	7.2	2.26
4-Oct-94		0		0.62		0		2.41
11-Oct-94	20.15	0	13.53	0.88	18.88	0	7.66	2.17
18-Oct-94		0		0.68		0		2.11
25-Oct-94		0		1.01		0.08		2.1

Datum\Veld	A ond.	A diep	B ond.	B diep	C ond.	C diep	D ond.	D diep
1-Nov-94		3.2		1.51		1.44		2.35
3-Nov-94				0				
15-Nov-94	23.31	1.45	12.98	1.16	9.12	0.08	11.58	2.28
22-Nov-94	22.9	0.03	18.07	1.04	17.2	0.13	19.67	2.29
25-Nov-94				0		0		
29-Nov-94		0.05		1.27				
2-Dec-94	9.02	0	16.4	2.39	15.85	0	17.65	2.48
6-Dec-94	6.5	0.08	4.56	1.39	4.24		7.92	1.8
9-Dec-94						0.21		
13-Dec-94				4.56				2.86
16-Dec-94				0		0		
21-Dec-94	8.38	0	15.99	1.75	15.24	5.24	17.28	2.35
3-Jan-95	5.62	0	8.79	7.53	7.89	3.82	10.95	5.99
17-Jan-95	8.05	1.16	9.49	7.99	8.47	3.15	9.17	5.47
24-Jan-95	7.16	0.5	8.68	5.01	8.35	4.8	9.33	5.75
30-Jan-95	7.65	0.06	9.68	8.42	8.73	2.09	12.4	6.86
7-Feb-95	2.59	0	3.15	4.29	5.32	0.12	4.78	1.31
14-Feb-95	3.11	0	4.54	2.44	3.4	2.18	3.57	1.93
21-Feb-95	3.1	0	3.45	3.38	2.03	0.6	5.99	2.65
28-Feb-95		0.44		3.6		3.23		2.96
14-Mar-95	3.84	0.24	2.52	4.86	1.56	3.3	5.57	2.02
21-Mar-95	3.05	0.05	5.4	3.69	2.51	1.27	5.06	3.83
4-Apr-95	1.16	1.6	6.63	3.57	4.87	2.43	5.31	2.29
18-Apr-95	2.89	0.11	4.77	3.06	3.35		5.4	3.62
2-May-95	1.81	0.26	3.92	2.82	3.05		4.84	3.1
29-Jun-95	0.37		0.37	0.09	1.61		5.11	
11-Jul-95				0.47				
25-Jul-95	31.42		0.7	0.6	32.22		5.11	

Aanhangsel 3 Ammoniumconcentraties in het grondwater

Dit aanhangsel bevat de gemeten NH_4-N-concentraties in het grondwater ($mg.l^{-1}$). De weergegeven waarden zijn de gemiddelden van de metingen van de vier ondiepe buizen (ond.) en van de metingen van de vier diepe buizen van elk veld.

Datum\Veld	A ond.	A diep	B ond.	B diep	C ond.	C diep	D ond.	D diep
25-Oct-93		0.08		0.52		0.14		1.38
3-Nov-93		0.51		0.13		0.19	0	0.09
10-Nov-93		0.05		0.04		0.04		0.01
18-Nov-93	1.04	0.03	4.94	0.05	0.97	0.07	0	0
25-Nov-93		0.07		0.06		0.1		0.06
30-Nov-93		0.04		0.05		0.12		0.08
7-Dec-93		0.05		0.03		0.15	0.08	0.05
14-Dec-93	1.94	0.19	3.33	0.13	0.74	0.12	0.14	0.07
21-Dec-93	1.63	0.14	1.79	0.32	0.45	0.11	0.12	0.06
28-Dec-93	0.89	0.06	1.54	0.03	0.46	0.08	0.24	0.03
4-Jan-94	0.99	0.09	1.06	0.08	0.34	0.09	0.04	0.04
11-Jan-94	0.62	0.07	0.82	0.07	0.25	0.12	0.04	4.33
18-Jan-94	0.79	0.02	1.14	0.01	0.41	0.04	1.84	0.12
26-Jan-94	0.64	0.04	0.92	0.09	0.4	0.11	0.14	0.05
3-Feb-94	0.75	0.06	0.09	0.04	0.05	0.05	0.03	0.01
9-Feb-94	2.85	0.08	0.02	0.06	0.03	0.06		0.05
16-Feb-94		0.09		0.06		0.09		0.06
25-Feb-94		0.09		0.05		0.09		0.05
2-Mar-94	0.74	0.08	0.75	0.05	0.36	0.08	0.2	0.05
11-Mar-94	0.87	0.07		0.07		0.1		0.06
17-Mar-94	0.7	0.1	0.69	0.05	0.26	0.08	0.05	0.08
22-Mar-94	0.45	0.07	0.5	0.06	0.22	0.08	0.06	0.05
29-Mar-94	0.54	0.05	0.69	0.04		0.05	0.07	0.04
5-Apr-94	0.33	0.07	0.56	0.04	0.24	0.06	0.03	0.03
12-Apr-94	0.35	0.05	0.46	0.05	0.15	0.07	0.05	0.07
19-Apr-94		0.1		0.09		0.09		0.05
26-Apr-94	0.41	0.08		0.15		0.05		0.04
3-May-94		0.05	0.16	0.05	0.04	0.01	0.04	0.04
10-May-94		0.05		0.06		0.52		0.04
18-May-94	0.25	0.07	0.5	0.04	0.21	0.14	0.04	0.07
20-May-94					0.22	0.07	0.05	0.04
24-May-94	0.92	0.07	0.57	0.04	0.29	0.07	0.05	0.04
27-May-94				0	0.26	0.04	0.03	0.07
31-May-94	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
3-Jun-94						0		0
7-Jun-94	0.79	0.05	0.74	0.03	0.26	0.04	0.05	0.04
10-Jun-94						0		0
14-Jun-94	0.69	0.05	0.53	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
17-Jun-94				0				0
21-Jun-94	0.75	0.06	0.87	0.04	0.34	0.05	0.03	0.03
24-Jun-94						0		0
28-Jun-94		0.04		0.03		0.03		0.03
1-Jul-94						0		0
5-Jul-94	0.74	0.1	0.86	0.05	0.27	0.04		0.03
8-Jul-94						0		0
12-Jul-94	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0	0.03
15-Jul-94						0		0
19-Jul-94		0		0		0		0
27-Jul-94	0.02	0.02	0.05	0.02	0.01	0.08	0.02	0.11
2-Aug-94		0		0		0		0
23-Aug-94		0.02		0.01		0.01		0.01
30-Aug-94		0.23		0.09		0.06		0.15
6-Sep-94		0.04		0.03		0.06		0.05
13-Sep-94	0.19	0.06	0.24	0.03	0.16	0.03	0.07	0.06
20-Sep-94		0		0.01		0.03		0.02
27-Sep-94	0.29	0.09	0.25	0.04	0.07	0.04	0.09	0.03
4-Oct-94		0.02		0.01		0.01		0
11-Oct-94	0.09	0.04	0.03	0.02	0.03	0.05	0.03	0.04
18-Oct-94		0		0		0.01		0.01
25-Oct-94		0.01		0		0		0.01

Datum\Veld	A ond.	A diep	B ond.	B diep	C ond.	C diep	D ond.	D diep
1-Nov-94		0.06		0		0.09		0
3-Nov-94		0		0		0		0
15-Nov-94		0		0		0		0
22-Nov-94		0		0		0		0
25-Nov-94		0		0		0.02		
29-Nov-94		0.02		0.02		0.01		0.03
2-Dec-94	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0	0.01	0.01
6-Dec-94	0	0	0	0	0	0	0	0
9-Dec-94		0		0		0		0
13-Dec-94		0		0.01		0		0
16-Dec-94		0		0		0.02		0
21-Dec-94	0.04	0.02	0.03	0.05	0.04	0.02	0.03	0.02
3-Jan-95	0.06	0.03	0.04	0.05	0.02	0.02	0.03	0.03
17-Jan-95	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01		0.2
24-Jan-95	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
30-Jan-95	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
7-Feb-95	0.01	0.01	0.18	0.01	0.02	0.02	0.12	0
14-Feb-95	0	0	0.09	0.02	0.02	0	0.04	0.01
21-Feb-95	0	0	0.02	0	0.01	0.01	0	0
28-Feb-95		0.01		0.02		0		0.01
14-Mar-95	0	0	0.01	0	0	0.02	0	0
21-Mar-95	0.01	0.04	0.01	0	0.01	0	0.02	0.01
4-Apr-95	0	0	0	0	0	0	0	0
18-Apr-95	0	0	0	0	0	0	0	0
2-May-95	0.01	0	0	0	0	0	0	0
29-Jun-95	0.48	0.06		0	0	0	0	0
11-Jul-95		0		0		0.01		0
25-Jul-95	0.04	0.01	0.01	0.01	0.05		0.02	0.01

Aanhangsel 4 Bromideconcentraties in het grondwater

Dit aanhangsel bevat de gemeten Br-concentraties in het grondwater ($mg.l^{-1}$). De weergegeven waarden zijn de gemiddelden van de metingen van de vier ondiepe buizen (ond.) en van de metingen van de vier diepe buizen van elk veld.

Datum\Veld	A ond.	A diep	B ond.	B diep	C ond.	C diep	D ond.	D diep
18-May-94					0.17	0.12	0.92	0.18
20-May-94					0.87	0	0.3	0.02
24-May-94					11.18	0.06	4.6	1.19
27-May-94					23.65	0.01	9	0.77
31-May-94						0.03	5.61	0.86
3-Jun-94					28.22	0.38	9.53	0.92
7-Jun-94					41.59	1.91	8.48	0.37
10-Jun-94					22.1	0.72	9.67	1.05
14-Jun-94					18.56	0.09	10.22	0.54
17-Jun-94					17.88	0.08	11.97	0.41
21-Jun-94					25.96	0.05	8.63	0.25
24-Jun-94					33.2	0.14	10.87	0.25
28-Jun-94						0.06		0.12
1-Jul-94					19.62	0.06	7.45	0.35
5-Jul-94					26.61	0	10.36	0.16
8-Jul-94					16.43	0.7	7.4	0.41
12-Jul-94					27.08	0	8.52	0.12
15-Jul-94						0.09		0.36
19-Jul-94						0		0
27-Jul-94					37.92	0.18	7.22	0.29
2-Aug-94					12.91	0.12	13.98	0.13
23-Aug-94						0.15		0.06
30-Aug-94						0.13		0
6-Sep-94						0.13		0.01
13-Sep-94					34.33	0.11	3.9	0
20-Sep-94					17.76	0.16	6.48	0.43
27-Sep-94					25.63	0.27	16.43	0.27
4-Oct-94					13.28	0.08	8.41	0.52
11-Oct-94					11.25	0.21	9.46	0.89
18-Oct-94					9.39	0.18	11.15	0.41
25-Oct-94						0.18	12.59	0.28
1-Nov-94						0.44		1.04
3-Nov-94		0				0		0
15-Nov-94		0				0		0
22-Nov-94	52.38	1.01	21.29	0.14		0.41		0.62
25-Nov-94	20.74	0.28	16.41	0.09		0.43		
29-Nov-94	29.07	0.17	21.66	0.05	10.69	0	13.91	0.51
2-Dec-94	30.7	0.06	15.17	0.26		0.39		0
6-Dec-94	21.79	0.04	18.82	0.02	15.44	0	10.76	0.47
9-Dec-94	37.31	0.06	18.42	0.73		0.7		0
13-Dec-94	45.18	0.02	18.23	3.56	9.28	0	11.63	0.78
16-Dec-94		0		0		0.43		0
21-Dec-94	32.69	0	18.36	0.16	6.4	0.93	9.49	0.82
3-Jan-95	14.41	0	10.16	4.57	6.59	0.82	4.39	1.5
17-Jan-95	12.6	0.21	8.17	3.13	4.88	1.25	3.48	1.36
24-Jan-95	7.71	0.41	6.38	1.07	5.57	0	2.14	1.64
30-Jan-95		0		0		1.35		0
7-Feb-95	6.13	1.17	5.17	0.97	2.38	0.84	3.98	0.5
14-Feb-95	6.68	0.81	5.36	0.94	4.93	3.09	2.58	1.59
21-Feb-95	4.69	0.92	4.73	0.8	3.34	2.67	1.71	0.79
28-Feb-95	5.33	1.35	4.7	1.17	4.43	3.8	2.67	2.48
14-Mar-95	6.37	1.96	4.74	2.37	3.44	3.79	2.91	2.33
21-Mar-95	3.27	2.84	6.42	1.09	4.01	0.08	4.6	1.52
4-Apr-95		0		0		3.54		0
18-Apr-95	6.31	2.09	6.72	1.9	3.84	0	2.82	1.76
2-May-95	6.6	2.13	6.7	2.01	0	0	3.95	1.73
29-Jun-95		0	0	0		1.59		0
11-Jul-95	0.79	0.27	12.4	1.6	7.1	2.43	2.98	0.5
25-Jul-95	0.32	0.19	11.93	1.83	4.27		2.92	1.13

Aanhangsel 5 Nitraat-, ammonium- en bromideconcentraties in het drainwater

In dit aanhangsel zijn de gemeten NO_3-N-, NH_4-N- en Br-concentraties ($mg.l^{-1}$) in het drainwater van de vier velden weergegeven.

NO_3-N

Datum\Veld	A	B	C	D
14-Dec-93	22.4	3.82	6.82	2.69
16-Dec-93	8.94	19.1	8.99	6.95
20-Dec-93	23.39	32.36	12.17	12.92
21-Dec-93	13.19	28.52	8.56	7.45
22-Dec-93	15.96	20.66	9.6	6.86
28-Dec-93	12.51	22.76	7.81	4.99
4-Jan-94	11.58	14.7	5.58	3.57
25-Jan-94	4.66	12.1	5.21	5.69
26-Jan-94	3.49	11.76	5.09	5.63
2-Mar-94	12.35	14.72	8.08	7.29
3-Mar-94	11.22	13.21	6.32	5.72
5-Apr-94	4.79	12.17	9.69	9.33
25-May-94	4.89	4.74	14.23	
4-Oct-94		8.95	12.22	
5-Oct-94			7.88	
3-Jan-95	8.71	6.24	6.35	3.82

NH_4-N

Datum\Veld	A	B	C	D
14-Dec-93	0	0	0	0
16-Dec-93	0	0	0	0
20-Dec-93	0	0	0	0
21-Dec-93	0	0	0	0
22-Dec-93	0	0	0	0.05
28-Dec-93	0	0	0	0
4-Jan-94	0	0	0	0
25-Jan-94	0	0.06	0	0
26-Jan-94	0	0	0	0.05
2-Mar-94	0.08	0.06	0.11	0.05
3-Mar-94	0.03	0.03	0.02	0.02
5-Apr-94	0.04	0.03	0.02	0.02
25-May-94	0.15	0.04	0.05	
4-Oct-94		0		
5-Oct-94			0.05	
3-Jan-95	0.02	0.01	0.02	0.01

Br

Datum\Veld	A	B	C	D
25-May-94	0	0	28.47	
31-May-94			11.52	
13-Sep-94	0		10.93	
16-Sep-94		0.02		
4-Oct-94			9.83	
5-Oct-94			8.86	
14-Nov-94	0.06			
15-Nov-94			7.94	
3-Jan-95	9.33	4.8	5.92	2.87
25-Jan-95	7.3	6.75	6.92	

Aanhangsel 6 Nitraatgehalten in de grondkolommen

In dit aanhangsel zijn de gemeten NO_3-N-gehalten ($mg.dm^{-3}$) in de grondkolommonsters per diepte (cm - mv) en voor de verschillende bemonsteringstijdstippen weergegeven. De waarden zijn gemiddelden van een aantal kolommen per veld. Dit aantal is gegeven in de kop van de tabellen. Het bovenste deel van de tabellen geeft de gehalten en het onderste de bijbehorende standaardafwijkingen.

Veld A, 3 kolommen

Diepte	13-Oct-93	28-Apr-94	26-Sep-94	26-Apr-95
5	3.88	0.90		1.39
15	4.31	0.38		0.51
25	5.06	0.75		0.90
35	2.91	1.43		1.08
45	1.68	4.02		0.16
55	1.79	3.51		0.64
65	1.11	2.66		0.51
75	0.57	2.33		2.27
85	0.80	2.05		2.86
95	0.97	1.74		3.13
5	1.71	0.62		1.97
15	0.95	0.18		0.42
25	1.50	0.16		0.64
35	0.57	0.78		0.65
45	0.15	1.55		0.15
55	0.73	1.92		0.45
65	0.17	1.09		0.32
75	0.45	0.75		1.43
85	0.15	0.44		0.90
95	0.00	0.76		1.23

Veld D, 3 kolommen

Diepte	13-Oct-93	28-Apr-94	26-Sep-94	26-Apr-95
5	4.74	0.31		2.03
15	3.23	0.62		1.45
25	3.17	0.53		2.50
35	2.94	2.17		0.50
45	2.06	3.77		0.30
55	1.11	3.91		1.26
65	0.95	4.16		3.98
75	0.59	3.92		
85	0.46	3.94		
95		2.27		
5	1.99	0.15		1.29
15	0.08	0.23		1.56
25	0.10	0.35		3.27
35	0.50	1.26		0.63
45	0.05	1.00		0.04
55	0.00	0.25		0.00
65	0.09	0.78		0.00
75	0.07	0.21		
85	0.05	1.98		
95		0.26		

Veld B, 3 kolommen

Diepte	13-Oct-93	28-Apr-94	26-Sep-94	26-Apr-95
5	6.87	0.47		1.49
15	4.34	0.43		2.79
25	2.94	0.34		0.34
35	2.21	5.68		0.59
45	1.22	6.31		2.62
55	1.05	6.64		4.65
65	0.58	6.91		2.71
75	0.58	6.20		4.05
85	0.55	5.60		4.55
95		5.17		4.06
5	3.11	0.27		1.25
15	1.11	0.24		1.53
25	1.15	0.18		0.21
35	0.25	3.50		0.44
45	0.50	4.65		1.61
55	0.21	1.46		0.76
65	0.62	2.05		1.50
75	0.58	1.96		1.14
85	0.26	0.97		0.18
95		1.47		0.45

Veld C, 3 kolommen

Diepte	13-Oct-93	28-Apr-94	26-Sep-94	26-Apr-95
5		0.32		2.03
15		0.47		0.40
25	4.51	0.52		1.96
35		1.90		0.40
45		4.56		0.33
55		4.55		0.66
65	1.03	6.49		2.00
75		5.72		5.23
85	0.69	2.88		5.23
95		3.02		3.75
5		0.13		0.48
15		0.18		0.21
25	0.00	0.27		2.49
35		0.99		0.24
45		0.58		0.23
55		0.60		0.57
65	1.17	1.25		0.70
75		0.53		0.70
85	0.00	0.29		2.56
95		1.50		0.51

Veld B, 16 kolommen

Diepte	03-Nov-94	08-Nov-94	02-Dec-94	16-Dec-94	13-Jan-95	26-Apr-95
5	11.92	2.69	3.21	3.41	0.33	2.50
15	6.46	2.90	2.81	4.03	1.16	1.65
25		3.06	3.94	2.93	0.86	0.89
35		1.23	4.90	4.22	3.12	0.69
45		1.01	2.94	3.08	3.63	1.56
55		0.79	2.25	3.21	3.48	2.98
65		1.14	2.37	3.13	3.01	3.64
75		1.48	2.26	2.61	3.07	4.15
85		1.62	2.66	2.56	2.60	4.13
95		0.64	2.33	2.68	2.91	4.00
5	4.41	2.44	2.49	2.58	0.51	1.70
15	3.84	2.48	2.53	3.40	1.43	1.54
25		5.05	7.36	2.25	1.34	0.78
35		1.17	3.76	2.98	2.86	0.47
45		1.12	3.11	3.17	3.49	1.47
55		1.07	1.64	3.80	2.69	1.75
65		1.85	0.86	2.61	2.31	1.57
75		2.22	0.99	2.30	2.60	1.86
85		2.56	1.21	1.69	1.92	1.57
95		1.09	1.27	2.29	1.87	1.33

Veld C, 6 kolommen

Diepte	10-May-94	24-May-94	29-Jun-94	09-Sep-94
5	270.44		0.32	4.89
15	53.51	3.59	0.31	8.18
25		0.63	0.20	1.21
35		1.63	0.21	2.06
45		6.20	4.97	1.74
55		5.48	4.42	1.60
65		3.82	6.52	1.89
75		2.98	8.17	1.89
85		2.79	11.73	1.97
95		3.19	20.54	2.69
5	203.74		0.16	2.89
15	42.26	0.30	0.26	3.04
25		0.73	0.18	1.24
35		1.08	0.27	1.36
45		1.83	3.23	0.41
55		3.00	1.97	0.65
65		1.17	2.46	0.97
75		0.59	3.94	1.13
85		0.61	4.13	1.47
95		1.30	11.71	2.21

Aanhangsel 7 Ammoniumgehalten in de grondkolommen

In dit aanhangsel zijn de gemeten NH_4-N-gehalten ($mg.dm^{-3}$) in de grondkolommonsters per diepte (cm - mv) en voor de verschillende bemonsteringstijdstippen weergegeven. De waarden zijn gemiddelden van een aantal kolommen per veld. Dit aantal is gegeven in de kop van de tabellen. Het bovenste deel van de tabellen geeft de gehalten en het onderste de bijbehorende standaardafwijkingen.

Veld A, 3 kolommen

Diepte	13-Oct-93	28-Apr-94	26-Sep-94	26-Apr-95
5	0.00	0.07		3.40
15	0.03	0.00		2.44
25	0.01	0.01		1.21
35	0.01	0.10		1.20
45	0.07	0.09		0.25
55	0.12	0.00		0.18
65	0.14	0.12		0.19
75	0.22	0.08		0.22
85	0.11	0.00		0.19
95	0.01	0.00		0.11
5	0.00	0.10		0.90
15	0.03	0.00		1.96
25	0.01	0.01		0.70
35	0.01	0.12		0.88
45	0.05	0.06		0.18
55	0.17	0.00		0.01
65	0.17	0.18		0.15
75	0.13	0.11		0.09
85	0.11	0.00		0.02
95	0.00	0.00		0.08

Veld D, 3 kolommen

Diepte	13-Oct-93	28-Apr-94	26-Sep-94	26-Apr-95
5	0.00	0.07		0.46
15	0.03	0.04		0.00
25	0.01	0.00		0.62
35	0.18	0.00		0.11
45	0.57	0.00		0.52
55	0.32	0.00		0.00
65	0.14	0.00		0.00
75	0.27	0.00		
85	0.18	0.00		
95		0.00		
5	0.00	0.10		
15	0.00	0.06		0.66
25	0.00	0.00		0.00
35	0.17	0.00		0.70
45	0.39	0.00		0.15
55	0.00	0.00		0.12
65	0.14	0.00		0.00
75	0.06	0.00		0.00
85	0.03	0.00		
95		0.00		

Veld B, 3 kolommen

Diepte	13-Oct-93	28-Apr-94	26-Sep-94	26-Apr-95
5	0.02	0.21		1.37
15	0.14	0.26		0.61
25	0.26	0.06		0.89
35	0.01	0.23		0.65
45	0.03	0.00		0.18
55		0.00		0.16
65	0.04	0.16		0.21
75	0.33	0.04		0.20
85	0.04	0.10		0.15
95		0.00		0.17
5	0.01	0.30		1.32
15	0.17	0.37		0.87
25	0.20	0.08		0.51
35	0.01	0.23		0.42
45	0.03	0.00		0.06
55		0.00		0.11
65	0.02	0.12		0.09
75	0.30	0.06		0.08
85	0.03	0.14		0.03
95		0.00		0.15

Veld C, 3 kolommen

Diepte	13-Oct-93	28-Apr-94	26-Sep-94	26-Apr-95
5		0.13		2.99
15		0.13		3.43
25	0.00	0.16		1.01
35		0.15		0.96
45		0.00		0.46
55		0.10		0.34
65	0.04	0.15		0.32
75		0.00		0.14
85	0.02	0.00		0.17
95		0.00		0.17
5		0.12		3.31
15		0.09		0.89
25	0.00	0.23		0.70
35		0.21		0.20
45		0.00		0.21
55		0.10		0.04
65	0.03	0.15		0.09
75		0.00		0.06
85	0.00	0.00		0.07
95		0.00		0.03

Veld B, 16 kolommen

Diepte	03-Nov-94	08-Nov-94	02-Dec-94	16-Dec-94	13-Jan-95	26-Apr-95
5	0.03	0.04	3.65	1.32	4.92	2.01
15	0.03	0.03	3.06	0.91	3.11	2.19
25		0.05	2.06	0.89	2.40	1.16
35		0.08	1.29	0.42	1.49	0.43
45		0.25	1.22	0.95	1.07	0.28
55		0.49	1.12	0.74	0.98	0.22
65		0.37	0.76	0.50	0.59	0.23
75		0.28	0.62	0.27	0.37	0.16
85		0.38	0.62	0.14	0.28	0.11
95		2.38	0.58	0.11	0.27	0.11
5	0.02	0.03	3.22	2.10	2.41	2.49
15	0.00	0.01	3.49	1.54	3.18	2.99
25		0.04	2.65	1.28	1.87	1.02
35		0.10	1.12	0.89	0.74	0.38
45		0.52	0.72	0.86	0.58	0.41
55		1.66	0.43	0.80	0.40	0.31
65		0.59	0.37	0.55	0.26	0.18
75		0.43	0.28	0.23	0.31	0.21
85		0.44	0.50	0.20	0.17	0.10
95		6.68	0.39	0.13	0.18	0.10

Veld C, 6 kolommen

Diepte	10-May-94	24-May-94	29-Jun-94	09-Sep-94
5	0.01	0.03	0.03	0.30
15	0.02	0.03	0.03	0.09
25		0.04	0.03	0.06
35		0.07	0.03	0.03
45		0.05	0.03	0.04
55		0.05	0.03	0.03
65		0.03	0.03	0.03
75		0.04	0.10	0.03
85		0.03	0.04	0.03
95		0.03	0.03	0.03
5	0.02	0.01	0.01	0.41
15	0.04	0.01	0.00	0.11
25		0.03	0.00	0.07
35		0.06	0.02	0.00
45		0.05	0.00	0.04
55		0.05	0.00	0.00
65		0.00	0.01	0.00
75		0.01	0.15	0.00
85		0.01	0.01	0.00
95		0.00	0.02	0.00

Aanhangsel 8 Bromidegehalten in de grondkolommen

In dit aanhangsel zijn de gemeten Br-gehalten ($mg.dm^{-3}$) in de grondkolommonsters per diepte (cm - mv) en voor de verschillende bemonsteringstijdstippen weergegeven. De waarden zijn gemiddelden van een aantal kolommen per veld. Dit aantal is gegeven in de kop van de tabellen. Het bovenste deel van de tabellen geeft de gehalten en het onderste de bijbehorende standaardafwijkingen.

Veld A, 3 kolommen

Diepte	13-Oct-93	28-Apr-94	26-Sep-94	26-Apr-95
5				2.03
15				3.76
25				4.75
35				3.20
45				2.94
55				3.49
65				4.21
75				3.96
85				4.93
95				4.65
5				1.05
15				0.81
25				1.39
35				0.53
45				0.39
55				0.59
65				1.32
75				3.48
85				1.90
95				1.48

Veld D, 3 kolommen

Diepte	13-Oct-93	28-Apr-94	26-Sep-94	26-Apr-95
5			0.05	0.37
15			0.30	0.27
25			0.12	0.14
35			0.16	0.28
45			0.05	0.89
55			0.00	1.67
65			0.03	1.93
75			0.05	1.67
85			0.22	1.40
95			0.08	1.18
5			0.06	0.19
15			0.33	0.22
25			0.16	0.11
35			0.22	0.31
45			0.07	0.79
55			0.00	1.19
65			0.05	1.39
75			0.07	1.53
85			0.17	1.40
95			0.11	1.18

Veld B, 3 kolommen

Diepte	13-Oct-93	28-Apr-94	26-Sep-94	26-Apr-95
5				0.00
15				1.19
25				4.97
35				8.83
45				11.82
55				13.57
65				12.30
75				9.79
85				6.84
95				5.13
5				0.00
15				0.53
25				1.57
35				0.71
45				3.32
55				6.43
65				7.05
75				5.42
85				3.82
95				2.79

Veld C, 3 kolommen

Diepte	13-Oct-93	28-Apr-94	26-Sep-94	26-Apr-95
5			0.13	2.99
15			0.13	3.43
25	0.00		0.16	1.01
35			0.15	0.96
45			0.00	0.46
55			0.10	0.34
65	0.04		0.15	0.32
75			0.00	0.14
85	0.02		0.00	0.17
95			0.00	0.17
5			0.12	3.31
15			0.09	0.89
25	0.00		0.23	0.70
35			0.21	0.20
45			0.00	0.21
55			0.10	0.04
65	0.03		0.15	0.09
75			0.00	0.06
85	0.00		0.00	0.07
95			0.00	0.03

Veld B, 16 kolommen

Diepte	03-Nov-94	08-Nov-94	02-Dec-94	16-Dec-94	13-Jan-95	26-Apr-95
5	149.65	1.31	0.34	0.26	0.65	0.14
15	2.61	46.89	13.89	12.51	2.89	0.88
25		34.18	30.56	34.41	12.28	2.81
35		5.91	17.73	24.95	18.48	4.74
45		0.30	9.32	13.34	14.10	5.91
55		4.24	3.86	6.96	7.90	6.84
65		0.30	2.59	4.23	4.92	6.84
75		0.58	2.24	3.15	4.08	5.97
85		0.30	3.46	2.13	2.48	4.64
95		0.42	2.63	2.57	2.76	3.86
5	0.10	0.88	0.53	0.43	1.06	0.09
15	0.43	48.94	13.15	11.04	2.82	0.84
25		45.67	16.68	20.63	8.14	2.63
35		19.81	17.13	15.11	7.83	3.89
45		0.32	13.75	9.90	6.64	4.41
55		12.09	6.84	7.05	4.45	4.96
65		0.47	4.26	3.60	3.14	4.74
75		0.98	4.27	2.17	2.95	3.91
85		0.28	6.20	1.45	1.08	2.99
95		0.53	5.90	2.27	1.88	2.42

Veld C, 6 kolommen

Diepte	10-May-94	24-May-94	29-Jun-94	09-Sep-94
5	104.98	87.51	16.58	3.37
15	0.06	13.51	23.00	8.11
25		5.01	17.73	3.97
35		2.75	11.62	3.51
45		1.18	8.32	2.85
55		1.65	6.05	2.59
65		1.41	3.88	2.33
75		1.11	3.96	2.23
85		1.10	5.09	3.20
95		0.13	7.75	6.26
5	15.09	24.35	5.50	1.60
15	0.09	8.14	4.23	2.77
25		5.49	7.46	2.82
35		2.86	5.54	2.47
45		1.11	4.69	2.04
55		2.19	3.26	1.86
65		2.39	1.75	1.76
75		1.77	2.21	1.72
85		1.51	2.91	2.29
95		0.05	4.34	3.44

Aanhangsel 9 Vochtgehalten in de grondkolommen

Dit aanhangsel bevat de gemeten vochtgehalten (vol.-%) van de grondkolommonsters per diepte (cm - mv) voor de verschillende bemonsteringstijdstippen. De waarden zijn gemiddelden van een aantal kolommen per veld. Dit aantal is gegeven in de kop van de tabellen. Het bovenste deel van de tabellen geeft de vochtgehalten en het onderste de bijbehorende standaardafwijkingen.

Veld A, 3 kolommen

Diepte	13-Oct-93	28-Apr-94	26-Sep-94	26-Apr-95
5	38.6	28.4	27.1	28.3
15	38.6	33.0	35.8	36.7
25	39.1	39.3	37.2	35.5
35	38.5	40.3	36.3	35.9
45	40.5	42.5	37.0	39.6
55	43.0	45.9	38.7	40.2
65	43.7	46.0	38.5	40.5
75	43.2	45.5	37.0	40.7
85	42.9	37.6	36.5	42.3
95	45.1	32.4	39.5	43.0
5	2.7	1.0	3.5	2.8
15	2.6	1.4	1.4	0.5
25	1.4	1.0	0.8	1.1
35	1.0	0.7	2.3	1.3
45	1.7	0.8	1.2	2.0
55	0.9	1.5	1.3	0.9
65	0.1	1.4	0.6	1.3
75	0.5	3.1	1.0	1.5
85	0.9	5.4	0.6	2.4
95	0.0	14.7	0.2	1.1

Veld D, 3 kolommen

Diepte	13-Oct-93	28-Apr-94	26-Sep-94	26-Apr-95
5	38.7	24.0	28.8	25.9
15	35.5	38.3	33.4	36.6
25	37.6	41.7	33.7	40.5
35	38.6	34.6	36.6	40.0
45	40.0	43.3	37.9	42.5
55	43.7	44.2	40.4	47.1
65	45.8	43.6	43.5	46.8
75	46.4	48.0	42.4	44.0
85	45.0	47.1	43.1	47.0
95		47.1	41.8	45.3
5	1.3	2.6	1.6	8.6
15	0.7	0.8	1.0	6.8
25	1.3	0.7	0.1	1.9
35	0.2	1.8	0.8	2.3
45	0.4	3.5	1.2	2.2
55	0.2	1.4	1.4	0.4
65	0.4	2.9	1.7	0.6
75	0.2	0.2	1.0	2.0
85	0.3	1.1	0.9	0.6
95		1.9	1.2	2.2

Veld B, 3 kolommen

Diepte	13-Oct-93	28-Apr-94	26-Sep-94	26-Apr-95
5	37.8	23.6	27.7	24.8
15	38.1	37.3	33.4	39.2
25	39.0	32.7	35.7	39.4
35	38.3	38.8	36.8	36.9
45	41.3	37.0	39.8	39.6
55	42.9	41.8	41.5	42.9
65	44.0	45.9	41.0	43.7
75	43.6	45.4	40.7	43.7
85	43.6	43.4	41.1	43.1
95		43.7	40.9	41.9
5	2.2	2.8	1.8	1.4
15	2.0	1.8	1.2	2.5
25	2.1	6.3	0.4	2.1
35	1.5	2.4	1.1	1.0
45	1.5	4.7	0.9	0.7
55	0.8	4.1	1.7	1.0
65	1.4	0.1	2.1	0.5
75	1.2	0.3	1.6	0.4
85	0.7	0.2	0.4	0.5
95		0.8	0.8	2.5

Veld C, 3 kolommen

Diepte	13-Oct-93	28-Apr-94	26-Sep-94	26-Apr-95
5		18.1	28.1	27.2
15		33.2	34.2	36.1
25	38.8	41.0	35.9	39.7
35		38.4	34.8	37.3
45		40.7	38.0	40.6
55		43.9	41.5	44.4
65	46.3	46.0	43.2	45.4
75		48.9	39.9	44.1
85	44.7	46.0	40.3	43.7
95		44.6	40.5	43.5
5		2.1	2.5	1.1
15		1.4	1.2	3.2
25	0.0	1.1	1.1	2.3
35		4.3	1.6	1.6
45		1.3	0.9	2.5
55		0.1	2.2	1.0
65	0.4	0.8	0.6	1.9
75		0.4	1.0	1.5
85	0.0	1.4	0.7	0.6
95		3.4	1.4	4.3

Veld B, 16 kolommen

Diepte	03-Nov-94	08-Nov-94	02-Dec-94	16-Dec-94	13-Jan-95	26-Apr-95
5	43.0	34.9	36.0	37.0	34.8	27.7
15	43.5	37.6	39.6	42.1	40.3	40.3
25		39.1	39.9	41.3	41.6	40.2
35		39.6	39.5	40.4	40.1	39.8
45		40.0	40.8	41.5	41.2	41.8
55		41.5	41.3	43.0	42.8	42.4
65		42.8	42.1	43.4	43.1	43.2
75		41.8	42.2	43.8	43.9	43.1
85		41.0	41.6	44.2	43.1	43.3
95		42.0	42.3	44.0	43.4	43.9
5	3.8	2.9	2.8	3.1	3.3	3.0
15	2.0	2.7	2.4	2.2	2.4	1.7
25		1.6	2.5	1.9	1.4	2.0
35		1.7	1.9	2.2	1.5	2.0
45		2.5	2.1	2.3	1.9	1.7
55		1.5	1.8	2.4	2.7	1.8
65		3.1	2.8	3.2	3.5	1.7
75		3.6	3.8	3.1	3.3	1.5
85		3.3	2.9	2.4	2.6	1.7
95		2.4	2.7	3.0	2.7	2.6

Veld C, 6 kolommen

Diepte	10-May-94	24-May-94	29-Jun-94	09-Sep-94
5	28.8	29.9	23.7	32.2
15	39.0	39.0	34.2	33.5
25		41.4	41.1	31.1
35		40.2	36.4	31.2
45		38.2	38.9	31.6
55		42.4	41.7	35.1
65		45.5	44.9	38.4
75		46.1	44.8	37.8
85		43.7	43.7	37.7
95		43.4	44.8	38.8
5	4.4	3.9	2.1	1.9
15	5.8	2.1	4.8	1.8
25		1.6	1.6	1.9
35		3.5	2.9	2.3
45		1.6	1.5	2.7
55		0.9	3.7	1.4
65		0.7	2.3	2.6
75		1.1	0.6	1.5
85		1.1	1.5	0.9
95		1.3	1.8	0.7

Aanhangsel 10 Volumieke massa's in de grondkolommen

Dit aanhangsel geeft de gemeten volumieke massa's ($kg.dm^{-3}$) van de grondkolommonsters per diepte (cm - mv) voor de verschillende bemonsteringstijdstippen. De waarden zijn gemiddelden van een aantal kolommen per veld. Dit aantal is gegeven in de kop van de tabellen. Het bovenste deel van de tabellen geeft de volumieke massa's en het onderste de bijbehorende standaardafwijkingen.

Veld A, 3 kolommen

Diepte	13-Oct-93	28-Apr-94	26-Sep-94	26-Apr-95
5	1.40	1.51	1.38	1.31
15	1.59	1.67	1.60	1.53
25	1.65	1.65	1.65	1.56
35	1.62	1.62	1.67	1.60
45	1.61	1.60	1.61	1.62
55	1.55	1.60	1.65	1.58
65	1.57	1.59	1.66	1.64
75	1.61	1.65	1.60	1.55
85	1.54	1.62	1.67	1.65
95	1.59	1.76	1.62	1.60
5	0.04	0.07	0.16	0.08
15	0.07	0.05	0.07	0.06
25	0.04	0.02	0.02	0.06
35	0.04	0.00	0.04	0.06
45	0.01	0.04	0.03	0.02
55	0.02	0.04	0.02	0.02
65	0.04	0.05	0.05	0.02
75	0.01	0.11	0.02	0.07
85	0.01	0.08	0.02	0.02
95	0.00	0.01	0.02	0.04

Veld D, 3 kolommen

Diepte	13-Oct-93	28-Apr-94	26-Sep-94	26-Apr-95
5	1.44	1.47	1.40	1.45
15	1.55	1.60	1.67	1.54
25	1.60	1.63	1.65	1.67
35	1.63	1.75	1.65	1.65
45	1.61	1.65	1.61	1.48
55	1.56	1.53	1.55	1.48
65	1.47	1.58	1.46	1.44
75	1.53	1.50	1.54	1.48
85	1.53	1.56	1.56	1.58
95		1.57	1.54	1.50
5	0.00	0.15	0.08	0.22
15	0.06	0.04	0.03	0.07
25	0.03	0.03	0.03	0.05
35	0.04	0.12	0.00	0.08
45	0.01	0.01	0.01	0.06
55	0.01	0.03	0.00	0.08
65	0.03	0.01	0.02	0.05
75	0.01	0.10	0.03	0.04
85	0.01	0.02	0.03	0.07
95		0.04	0.03	0.05

Veld B, 3 kolommen

Diepte	13-Oct-93	28-Apr-94	26-Sep-94	26-Apr-95
5	1.36	1.20	1.29	1.39
15	1.56	1.51	1.62	1.51
25	1.60	1.60	1.64	1.68
35	1.65	1.62	1.62	1.60
45	1.63	1.61	1.65	1.60
55	1.53	1.52	1.54	1.52
65	1.54	1.52	1.61	1.48
75	1.56	1.54	1.57	1.55
85	1.53	1.55	1.57	1.56
95		1.51	1.52	1.53
5	0.08	0.15	0.07	0.00
15	0.07	0.01	0.03	0.03
25	0.03	0.09	0.02	0.02
35	0.04	0.04	0.01	0.01
45	0.03	0.07	0.02	0.02
55	0.02	0.02	0.01	0.01
65	0.02	0.05	0.02	0.02
75	0.01	0.02	0.02	0.03
85	0.02	0.01	0.03	0.01
95		0.04	0.02	0.09

Veld C, 3 kolommen

Diepte	13-Oct-93	28-Apr-94	26-Sep-94	26-Apr-95
5		1.11	1.35	1.45
15		1.50	1.69	1.49
25	1.54	1.63	1.66	1.67
35		1.74	1.66	1.71
45		1.64	1.62	1.60
55		1.56	1.53	1.53
65	1.49	1.49	1.51	1.53
75		1.51	1.58	1.58
85	1.56	1.50	1.57	1.57
95		1.51	1.60	1.59
5		0.13	0.07	0.06
15		0.05	0.01	0.07
25	0.00	0.13	0.06	0.04
35		0.07	0.03	0.08
45		0.12	0.02	0.02
55		0.03	0.02	0.02
65	0.02	0.04	0.06	0.03
75		0.03	0.03	0.04
85	0.00	0.03	0.04	0.05
95		0.02	0.03	0.18

Veld B, 16 kolommen

Diepte	03-Nov-94	08-Nov-94	02-Dec-94	16-Dec-94	13-Jan-95	26-Apr-95
5	1.65	1.40	1.33	1.34	1.21	1.37
15	1.90	1.48	1.45	1.49	1.51	1.54
25		1.58	1.55	1.56	1.56	1.63
35		1.63	1.63	1.61	1.60	1.60
45		1.58	1.59	1.57	1.59	1.60
55		1.58	1.56	1.55	1.57	1.58
65		1.58	1.58	1.55	1.55	1.58
75		1.59	1.59	1.56	1.56	1.63
85		1.62	1.61	1.60	1.58	1.65
95		1.60	1.62	1.60	1.63	1.66
5	0.18	0.12	0.12	0.14	0.12	0.09
15	0.09	0.08	0.10	0.09	0.08	0.05
25		0.08	0.07	0.06	0.06	0.06
35		0.08	0.07	0.08	0.05	0.04
45		0.02	0.05	0.06	0.04	0.05
55		0.06	0.06	0.07	0.06	0.06
65		0.06	0.08	0.06	0.08	0.08
75		0.07	0.08	0.09	0.08	0.11
85		0.07	0.08	0.09	0.07	0.12
95		0.08	0.08	0.06	0.05	0.13

Veld C, 6 kolommen

Diepte	10-May-94	24-May-94	29-Jun-94	09-Sep-94
5	1.47	1.29	1.27	1.40
15	1.79	1.56	1.60	1.64
25		1.57	1.58	1.67
35		1.64	1.67	1.65
45		1.61	1.61	1.62
55		1.54	1.57	1.56
65		1.48	1.52	1.52
75		1.52	1.54	1.54
85		1.54	1.57	1.58
95		1.48	1.57	1.56
5	0.11	0.18	0.08	0.05
15	0.07	0.04	0.08	0.05
25		0.04	0.04	0.09
35		0.07	0.06	0.06
45		0.05	0.05	0.05
55		0.02	0.05	0.05
65		0.02	0.04	0.03
75		0.03	0.04	0.03
85		0.03	0.02	0.05
95		0.04	0.04	0.04

Aanhangsel 11 Resultaten van de kalibratie van FLOCR

In dit aanhangsel worden per veld de resultaten van de kalibratie van FLOCR gegeven als een grafische presentatie van gemeten versus berekende grondwaterstanden en een waarde voor de root mean square error (RMSE). Hierbij is de RMSE gedefinieerd als:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(b_i - m_i)^2}{n}}$$

met:
b_i = berekende grondwaterstand (cm - mv);
m_i = gemeten grondwaterstand (cm - mv);
n = aantal waarnemingen (-).

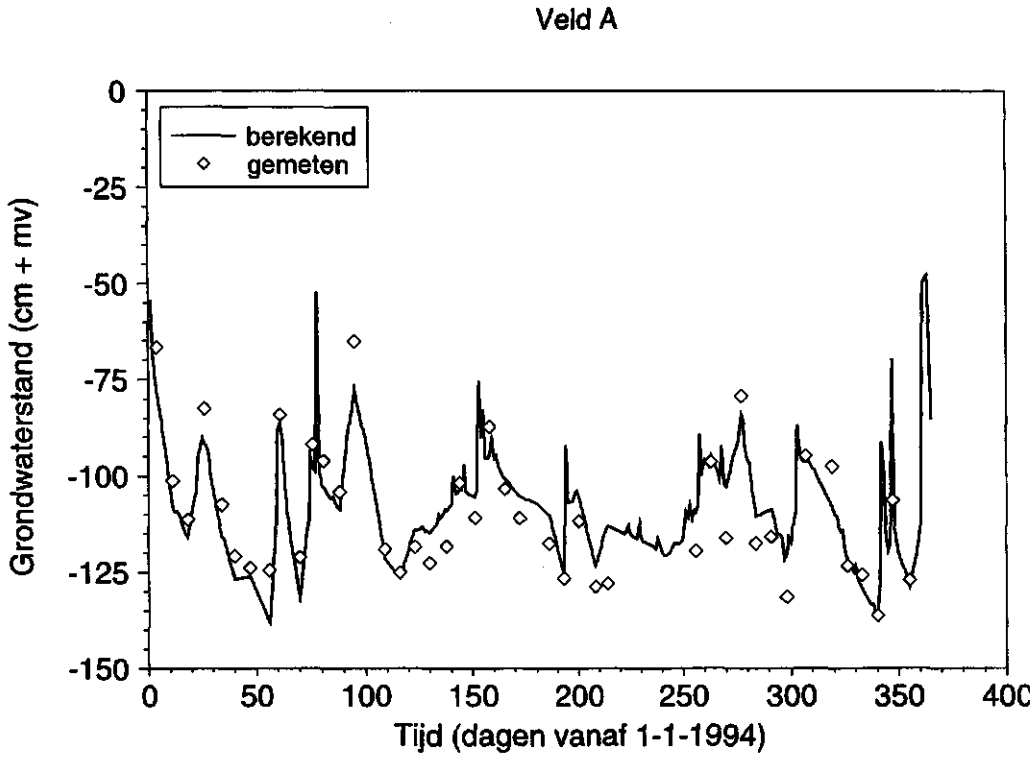

Fig. A11.1 Berekende versus gemeten grondwaterstand voor 1994 van veld A. RMSE = 6,2 cm

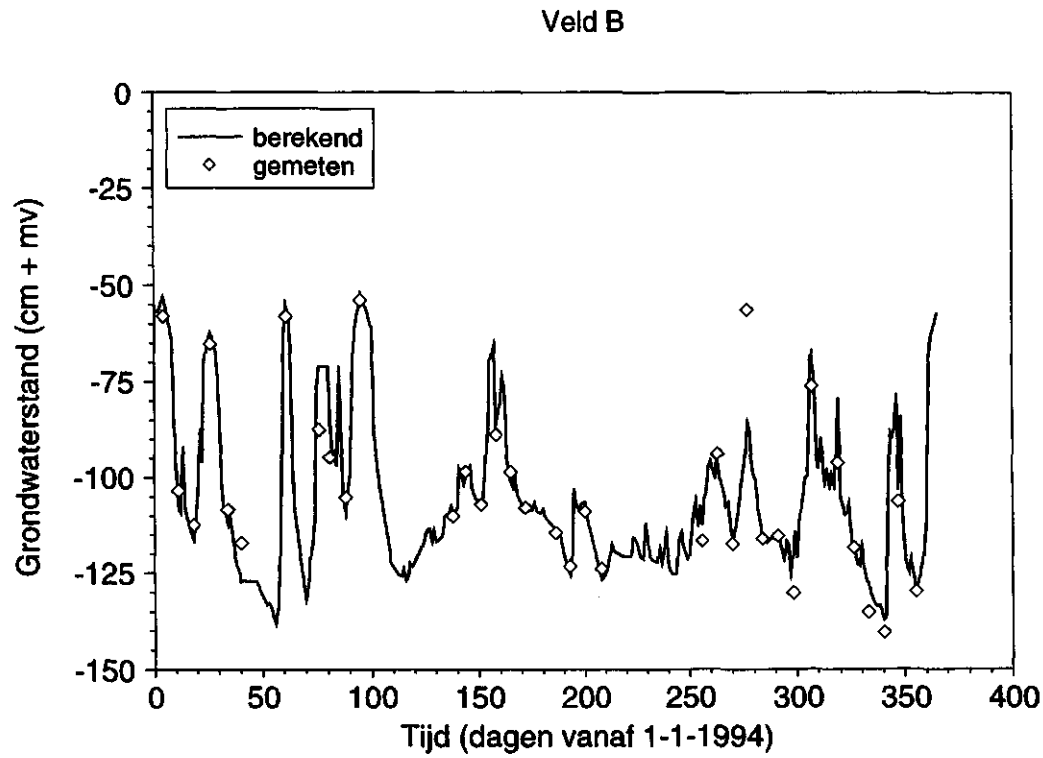

Fig. A11.2 Berekende versus gemeten grondwaterstand voor 1994 van veld B. RMSE = 6,0 cm

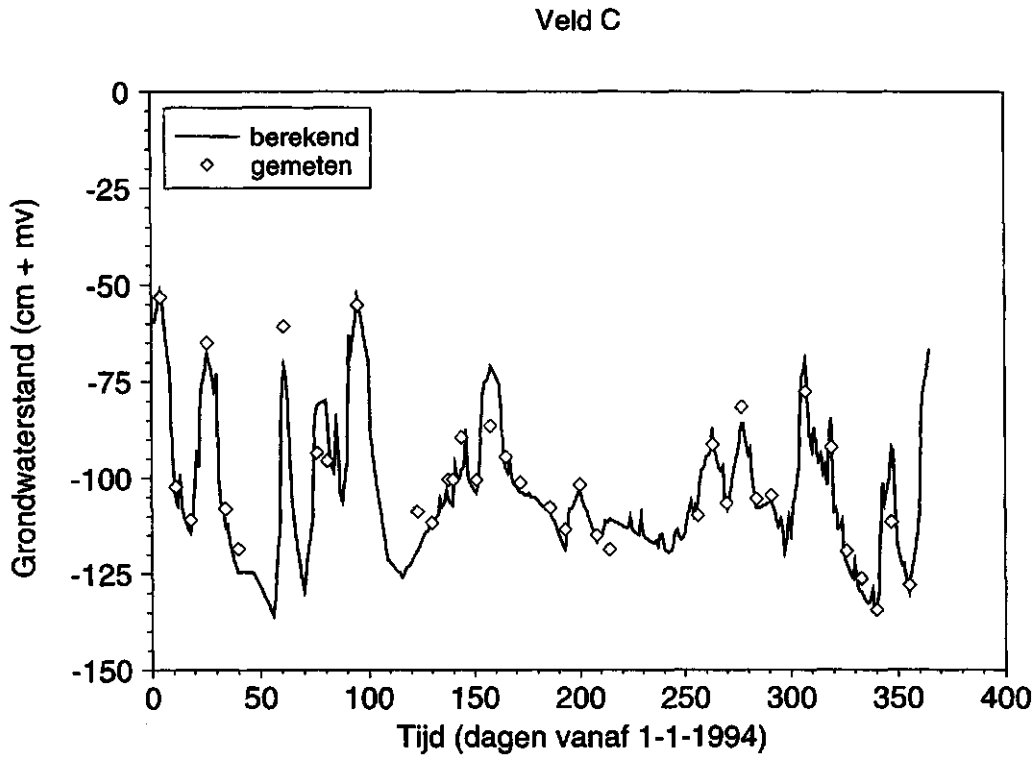

Fig. A11.3 Berekende versus gemeten grondwaterstand voor 1994 van veld C. RMSE = 6,4 cm

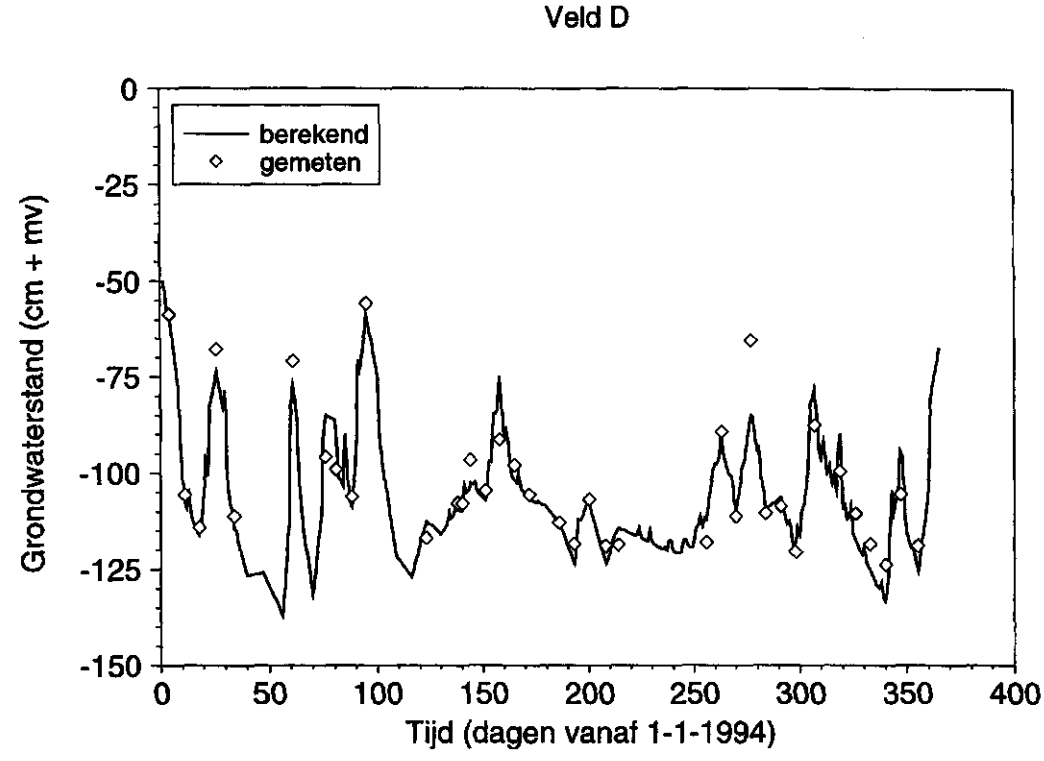

Fig. A11.4 Berekende versus gemeten grondwaterstand voor 1994 van veld D. RMSE = 6,1 cm