

371-200 (374.1) 2007.

Onderzoek naar maatregelen ter vermindering van de fosfaatuitspoeling uit landbouwgronden

Meting van de fosfaatuitspoeling uit fosfaatverzadigde zandgrond met en
zonder hydrologische maatregel

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

O.F. Schoumans
R. Kruijne

Rapport 374.1

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1995

06 DEC. 1995



2035305

REFERAAT

Schoumans, O.F. en R. Kruijne, 1995. *Onderzoek naar maatregelen ter vermindering van de fosfaatuitspoeling uit landbouwgronden; meting van de fosfaatuitspoeling uit fosfaatverzadigde zandgrond met en zonder hydrologische maatregel*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 374.1 111 blz.; 23 fig.; 8 tab.; 23 ref.; 15 aanh.

Onderzocht is hoe effectief bemestings-, bodemchemische en hydrologische maatregelen zijn voor de reductie van fosfaatuitspoeling. Dit rapport beschrijft bodemgesteldheid, water- en fosfaathuishouding van de meetlocaties en fosfaatvruchten in tussenliggende perceelssloten. Met de meetgegevens zijn simulatiemodellen gekalibreerd en gevalideerd. Een van de sloten werd direct beïnvloed door een hydrologische maatregel. Percelen met een hoge fosfaatverzadigingsgraad vertoonden een hoge fosfaatbelasting in de tussenliggende sloten. De perceelssloot met de hydrologische maatregel had in de afvoer een fosfaatconcentratie die 62% lager was dan die van de niet-beïnvloede sloten. In het diepe drainwater worden relatief lage fosfaatconcentraties gemeten. Met gedeeltelijke aanpassing van de hydrologische maatregel kan daarom waarschijnlijk de reductie worden vergroot.

Trefwoorden: bodemgesteldheid, fosfaatafvoer, fosfaathuishouding, fosfaatverzadigingsgraad, waterhuishouding

ISSN 0927-4499

©1995 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen. Tel.: (0317) 474200; telefax: (0317) 424812.

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.

Inhoud

	blz.
Woord vooraf	9
Samenvatting	11
1 Inleiding	15
2 Beschrijving van de onderzoekslocaties	17
2.1 Ligging van de onderzoekslocaties	17
2.2 Bodemgesteldheid van de locaties	17
2.3 Hydrologische maatregel	20
2.3.1 Voorselectie	20
2.3.2 Uitvoering van de hydrologische maatregel	21
2.4 Inrichting van de percelen	24
3 Hydrologische situatie	27
4 Bodemfysische gegevens	33
4.1 Verzadigde doorlatendheid	33
4.2 Bulkdichtheid, porositeit en textuur	35
4.3 Bodemfysische karakteristieken	37
5 Neerslagverloop	41
6 Grondwaterstandsverloop	43
7 Ontwatering van de percelen	45
7.1 Drainagebasis	45
7.2 Ontwaterend oppervlak	46
8 Fosfaattoestand van de percelen	47
8.1 Fosfaatverzadigingstoestand	47
8.2 Desorbeerbaar fosfaat	48
8.3 Fosfaatophoping	49
8.3.1 Voor de meetperiode	49
8.3.2 Tijdens de meetperiode	50
9 Fosfaatconcentraties in het bodemvocht	51
9.1 Bodemvochtonttrekking	51
9.2 Bemonstering	52
10 Water- en fosfaatafvoer van de percelen	53
10.1 Waterafvoer	53
10.1.1 Meetsloten en verzamelsloot	53
10.1.2 Drain	54

10.2 Fosfaatafvoer	55
10.2.1 Meetsloten en verzamelsloot	56
10.2.2 Concentraties in de drainafvoer	58
10.2.3 Concentraties orthofosfaat en totaalfosfaat	59
10.3 Schatting van ontbrekende meetcijfers	59
11 Conclusies	61
Literatuur	65

Tabellen

1 Afvoertermen van de gemiddelde jaarbalans (periode 1976-1981) in de nulsituatie en de situatie met de geselecteerde maatregel (tabel 7; Jeurissen, 1993)	21
2 Gegevens van twee diepe boringen in de omgeving van onderzoekslocatie 1	31
3 Gegevens van de diepe boring op onderzoekslocatie 1, perceel 1, raai A	31
4 Neerslaggegevens van onderzoekslocatie 1 en de KNMI-stations Putten, Voorthuizen en Nijkerk (mm)	41
5 Het niveau van de slootbodem (m + NAP) en de drainagebasis (m) ter hoogte van een aantal punten in de meetsectie van sloot 1 en 2	45
6 Het niveau van de slootbodem (m + referentie ¹) en de drainagebasis (m) ter hoogte van een aantal punten in de meetsectie van sloot 4	46
7 Cumulatieve afvoer, fosfaatvracht, en gemiddelde fosfaatuitspoelingsconcentratie van vier sloten, voor de gehele meetperiode (19 februari 1991 t/m 10 oktober 1994) en drie deelperioden ¹⁾	58
8 Gemiddelde concentraties orthofosfaat en totaalfosfaat van de monsters uit vier sloten, voor de gehele meetperiode (19 februari 1991 t/m 10 oktober 1994) en drie deelperioden ¹⁾ (standaardafwijking tussen haakjes).	60

Figuren

1 Inrichting van onderzoekslocatie 1	18
2 Inrichting van perceel 1, 2 en 3 op onderzoekslocatie 1	19
3 Inrichting van perceel 4 en 5 op onderzoekslocatie 2	20
4 Schematische weergave van de fosfaatuitspoeling op de onderzoekslocatie: a) zonder hydrologische maatregel; b) met hydrologische maatregel	22
5 Uitvoering van de hydrologische maatregel op perceel 1: a) doorsnede van het reservoir met de diepe drain; b) lengteprofiel van de perceelssloot	23
6 Doorlatende lagen en kleilagen in een doorsnede van het Schuitenbeekgebied, van noord naar zuid en ter hoogte van de onderzoekslocaties	27
7 Het verloop van de drukhoogte in drie diepe buizen met filter op 3,5, 7,5 en 11,5 m diepte	29

8 Het verloop van de drukhoogte op 11,5 m diepte in het eerste watervoerende pakket en in de nortonbuis ten westen van perceel 1 (filterdiepte 39 m)	29
9 Meting van de grondwaterstand in peilbuizen N, O, Z, en W rond onderzoekslocatie 1	30
10 Verzadigde doorlatendheid uitgezet tegen de bemonsteringsdiepte (profielkuil 1 t/m 6 zijn aangegeven in figuur 2)	34
11 Bulkdichtheid uitgezet tegen de bemonsteringsdiepte (profielkuil 1 t/m 6 zijn aangegeven in figuur 2)	35
12 Porositeit uitgezet tegen de bemonsteringsdiepte (profielkuil 1 t/m 6 zijn aangegeven in figuur 2)	36
13 Leemfractie (2-16 μm) uitgezet tegen de bemonsteringsdiepte (profielkuil 1 t/m 6 zijn aangegeven in figuur 2)	36
14 Bodemfysische karakteristieken van een monster uit de bovengrond van perceel 1 (nr. 50010) en uit de verwerkte laag van perceel 2 (nr. 23040)	39
15 Regressie van het peil in grondwaterstandsbuis 19 op het peil in grondwaterstandsbuis 15 (perceel 3, raai A)	44
16 Gemiddelde fosfaatbezettingsfracties van de onderzoekslocaties en de afzonderlijke percelen (-)	48
17 Gemiddeld gehalte desorbeerbaar fosfaat van de onderzoekslocaties en de afzonderlijke percelen (mmol.kg^{-1} P)	49
18 Gemiddelde concentratie orthofosfaat in het bodemvocht, van de onderzoekslocaties en de afzonderlijke percelen (mg.l^{-1} P)	51
19 Gemiddelde concentratie orthofosfaat in de bovengrond, op drie afstanden van de sloot, van de onderzoekslocaties (mg.l^{-1} P)	52
20 Cumulatief afvoervolume van meetsloot 1 en 2, verzamelsloot 3 (onderzoekslocatie 1), en meetsloot 4 (onderzoekslocatie 2)	53
21 Het debiet van de diepe drain uitgezet tegen de drukhoogte in de drain	54
22 Grondwaterstandsverloop in perceel 1 (maaiveld op 3,70 m + NAP) en het peil in sloot 1	55
23 Cumulatieve fosfaatvrucht in meetsloot 1 en 2, verzamelsloot 3 (onderzoekslocatie 1), en meetsloot 4 (onderzoekslocatie 2)	56

Aanhangsels

1 Profielbeschrijvingen van de onderzoekslocaties	69
2 Fosfaatconcentratie in de erfafvoer van twee sloten	75
3 Resultaten van de bepalingen van de verzadigde waterdoorlatendheid	77
4 Resultaten van de textuuranalyse van de bodemmonsters	79
5 Van Genuchten-parameters van de bodemmonsters	81
6 Meetpunten in het natte traject van de doorlatendheidskarakteristiek van vier bodemmonsters	85
7 Neerslagmetingen op onderzoekslocatie 1	87
8 Grondwaterstandsmetingen in twee raaien op onderzoekslocatie 1	89
9 Grondwaterstandsmetingen in raai A, perceel 1 en 2	91
10 Vier dwarsdoorsneden van perceel 1 en 2 en sloot 1	93
11 Perceelsgemiddelde gehalten P, Al en Fe (mmol.kg^{-1}) en de fosfaatbezettingsfractie (-) op onderzoekslocatie 1	95

12 Bemonsteringsronden ter bepaling van de fosfaatconcentraties in het bodemvocht	99
13 Profielen van de concentraties orthofosfaat in het bodemvocht	101
14 Weekgemiddelde concentraties orthofosfaat in drie meetsloten, de verzamelsloot en de drain	105
15 Gemiddelde concentraties orthofosfaat en totaalfosfaat van de monsters uit vier sloten, voor de gehele meetperiode (19 februari 1991 t/m 10 oktober 1994) en drie deelperioden ¹⁾	111

Woord vooraf

Dit rapport beschrijft de meting van de fosfaatuitspoeling uit fosfaatverzadigde zandgrond op twee onderzoekslocaties, in een situatie met en zonder hydrologische maatregel. Het is een onderdeel van het onderzoek naar de mogelijkheden van bemestings-, bodemchemische- en hydrologische maatregelen om de fosfaatuitspoeling uit landbouwgronden te verminderen (project 7163), dat in de periode 1989-1994 is uitgevoerd door DLO-Staring Centrum in samenwerking met IMAG-DLO, in opdracht van de projectgroep BOVAR (Bestrijding Overmatige Algenbloei in de Randmeren). Het onderzoek is gefinancierd door het Ministerie van LNV, de Provincie Gelderland, Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, het Ministerie van VROM (in het kader van het ROM-project Gelderse Vallei) en FOMA (Financieringsoverleg Mest- en Ammoniakonderzoek). Het onderzoek is in twee fasen uitgevoerd. Het doel van de eerste fase (1989-1991) is selectie van effectieve bodemchemische en hydrologische maatregelen. In de tweede fase (1991-1994) zijn de geselecteerde maatregelen op een onderzoekslocatie uitgetest en is aanvullend laboratoriumonderzoek verricht.

Het project is begeleid door een commissie met de volgende samenstelling;

- drs E.M. Blaauw, Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied.
- ir C. Buddingh, Ministerie van Landbouw en Natuurbeheer, LNO, Arnhem.
- ir Y. Geelen, Provincie Gelderland, Dienst RWG; voorzitter.
- ing. A. Griffioen, Rijkswaterstaat, RIZA.
- ir J. van Kempen, Zuiveringsschap Veluwe.
- J. Koornberg, Waterschap Noord-Veluwe.
- drs P. Meeuwissen, RIMH Gelderland.
- ir D.T. van der Molen, Rijkswaterstaat, RIZA (agendalid).
- ing. W.J.A. Tjeenk Willink, Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied; secretaris.

Het onderzoek bestaat uit een aantal deelstudies, die in deelrapporten verschijnen, met als subtitel:

- Meting van de fosfaatuitspoeling uit fosfaatverzadigde zandgrond met en zonder een hydrologische maatregel (SC-DLO-rapport 374.1).
- Mogelijkheden van toediening van aluminium- en ijzerverbindingen aan de bodem (SC-DLO-rapport 374.2).
- Toedieningsmethoden voor ijzerhydroxyde op fosfaatverzadigde zandgronden (SC-DLO-rapport 374.3).
- Ontwikkeling en toepassing van een- en twee-dimensionale modellen (SC-DLO-rapport 374.4).

De resultaten van de deelonderzoeken zullen worden samengevat in het eindrapport, getiteld;

- Onderzoek naar maatregelen ter vermindering van de fosfaatuitspoeling uit landbouwgronden (SC-Rapport 374).

Dank is verschuldigd aan Van Beek, Langemheen, Lokhorst en Mulderij voor hun gastvrijheid en de samenwerking op de onderzoekspercelen die zij ter beschikking stelden. Tevens is dank verschuldigd aan een groot aantal collegae van SC-DLO. Voor de beschrijving van de bodemgesteldheid van de onderzoekslocaties aan H. van het Loo en voor alle veldwerkzaamheden aan W.A. de Boer, J. Pankow, A. van der Toorn en R. Zwijnen. Voor de laboratoriumanalyses van de monsters afkomstig van de onderzoekslocaties aan R. Koning, R.Ch. Sjardijn en R. Zwijnen, en voor de bemonstering en beschrijving van zeer ijzerrijke gronden aan A. Booij. De laboratoriumproeven zijn grotendeels uitgevoerd door A. El Bachrioui-Louwerse, L. Köhlenberg en R. Zwijnen. Daarnaast zijn een aantal stagiairs betrokken geweest bij het onderzoek, namelijk R.F.J. Boersbroek (R.H.S. Ysselland), P. Driessen (I.A.H. Larenstein), W. Murre (L.U.W.), M. Reinen (I.A.H. Larenstein), R. van Riemsdijk (MBO College Arnhem), J.P. Stavenuiter (MBO College Arnhem) en M. Yspeert (I.A.H. Larenstein).

Samenvatting

In opdracht van de projectgroep BOVAR is een onderzoek uitgevoerd naar de effectiviteit van bemestings-, bodemchemische en hydrologische maatregelen om de fosfaatuitspoeling uit landbouwgronden op korte termijn te verminderen. Deze maatregelen dienen als aanvulling op het generieke bemestingsbeleid. Om de effectiviteit van aanvullende maatregelen op de vermindering van de fosfaatuitspoeling uit landbouwgronden te kunnen vaststellen zijn twee onderzoekslocaties geselecteerd. Op deze locaties zijn de water- en fosfaathuishouding van de percelen en de afvoer en fosfaatvracht van de perceelssloten gemeten. Vervolgens zijn op een van deze onderzoekslocaties de effecten van bemestings-, bodemchemische - en hydrologische maatregelen gemeten. De meetgegevens zijn mede bestemd voor gebruik in de simulatiemodellen.

Dit rapport beschrijft een deel van het onderzoek en bespreekt de *bodemgesteldheid en de water- en fosfaathuishouding* van de percelen van de onderzoekslocaties en de gemeten fosfaatvrachten van de tussenliggende perceelssloten. Omdat bij een van de perceelssloten gedurende een groot deel van de meetperiode de fosfaatuitspoeling is beïnvloed door de uitvoering van de hydrologische maatregel, wordt ook de *effectiviteit van een hydrologische maatregel* geëvalueerd. Bij de hydrologische maatregel wordt getracht de ondiepe fosfaatuitspoeling uit fosfaatverzadigde lagen naar het oppervlaktewater te verminderen door de ontwatering van het perceel vrijwel geheel via diepe drains te laten verlopen.

bodemgesteldheid

Mede op basis van de resultaten van een bodemkartering is vastgesteld dat de geselecteerde onderzoekslocaties representatief zijn voor de natte, fosfaatverzadigde beekerd- en beekvaaggronden in het Schuitenbeekgebied (grondwatertrap III, III*). Op beide onderzoekslocaties is de bodem sterk heterogeen. Deze heterogeniteit is ontstaan door het diep ploegen of door het egaliseren van de percelen. Op onderzoekslocatie 2 is de heterogeniteit in de bodemprofielen deels van nature aanwezig. Plaatselijk komen bodemlagen met een hoog ijzergehalte voor, die zijn ontstaan als gevolg van precipitatie van ijzeroxyden die via ijzerrijke kwelstroming zijn aangevoerd. Van het fosfaat dat in plaatselijke veenlagen is vastgelegd, kan de bijdrage aan de fosfaatvracht van de perceelssloten worden verwaarloosd.

waterhuishouding

Op onderzoekslocatie 1, waar de hydrologische maatregel is uitgevoerd, is de geohydrologische situatie vastgesteld. De dikte van het watervoerend pakket is 12 m. Op basis van metingen van de drukhoogte in een cluster diepe peilbuizen is het optreden van kwel vastgesteld. Deze kwelsituatie doet zich voor gedurende het hele jaar. De stromingsrichting van het grondwater in het eerste watervoerende pakket is noordwestelijk. Deze richting is afgeleid uit de drukhoogte in vier grondwaterstandbuizen in de omgeving van onderzoekslocatie 1. De grootte van de horizontale gradiënt van het freatisch vlak is gemiddeld 0,29%.

Ter bepaling van de bodemfysische invoergegevens voor de modellen zijn ongestoorde monsters gestoken. Van deze bodemmonsters zijn de verzadigde doorlatendheid, de porositeit, de bulkdichtheid en de textuur bepaald. In het laboratorium zijn de bodemfysische karakteristieken van deze bodemmonsters bepaald. De gemiddelde verzadigde doorlatendheid in de bovengrond is $0,109 \text{ m.d}^{-1}$ (standaardafwijking $0,078 \text{ m.d}^{-1}$). De lage waarde voor de verzadigde doorlatendheid in de bovengrond wordt veroorzaakt door berijding en beweiding onder natte omstandigheden. De verzadigde doorlatendheid neemt toe met de diepte. Ook de spreiding van de verzadigde doorlatendheid neemt toe met de diepte. De porositeit, bulkdichtheid en de fractie leem nemen af met de diepte. Op grond van deze gegevens wordt het optreden van een schijngrondwaterspiegel in de bovengrond onwaarschijnlijk geacht.

De spreiding in de bodemfysische karakteristieken van de bodemmonsters van deze onderzoekslocatie is aanzienlijk. De belangrijkste oorzaak is de heterogeniteit van het bodemprofiel. De spreiding in de bodemfysische karakteristieken van de bodemmonsters van de onderzoekslocatie is echter minder dan de spreiding in de gegevens van de bouwstenen uit de Staringreeks.

Op de onderzoekslocatie is systematisch minder neerslag gemeten dan op de KNMI-stations in de directe omgeving. Zowel in 1991, 1992, als in 1993 is het gemiddelde van de jaarsom in Putten, Voorthuizen en Nijkerk 15% hoger dan de jaarsom van de onderzoekslocatie.

Het maaiveld op de onderzoekslocaties wordt gekenmerkt door een gemiddelde helling van 0,25% en door een opbolling van de percelen in de richting loodrecht op de sloten. Bij twee meetsloten (sloot 1 en 4) is er sprake van een verschil in de drainagebasis van de ontwaterende percelen. In combinatie met de richting van de horizontale gradiënt van het freatisch vlak, leidt dit verschil in drainagebasis ertoe dat het grootste deel van de afvoer van de meetsloten afkomstig is van het oostelijke perceel.

fosfaathuishouding

De fosfaattoestand van de percelen is beschreven aan de hand van de mate waarin de capaciteit van de bodem om fosfaat te binden reeds verbruikt is (fosfaatverzadigingstoestand), het deel van het fosfaat dat reversibel gebonden is en nog kan gaan uitspoelen (desorbeerbaar fosfaat) en de fosfaatconcentraties in het bodemvocht.

IJzerrijke lagen, die plaatselijk in de bodem voorkomen, bevatten relatief veel fosfaat dat van nature aanwezig is. Door het diepploegen van perceel 1 worden in dit perceel hoge fosfaatgehalten tot op grotere diepte aangetroffen dan in perceel 2 en 3.

Het gemiddelde fosfaatgehalte in de bovengrond (0 - 0,6 m) van onderzoekslocatie 1 en 2 is respectievelijk 12,2 en $9,5 \text{ t.ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$. De fosfaatverzadigingsgraad van de drie percelen op onderzoekslocatie 1 bedraagt 88, 71 en 71% en van de twee percelen op de tweede onderzoekslocatie 34 en 39%. Deze waarden zijn berekend conform de definitie van een fosfaatverzadigde grond.

De gemiddelde hoeveelheid desorbeerbaar fosfaat in de bovengrond (0 - 0,6 m) van onderzoekslocatie 1 en 2 bedraagt respectievelijk 4,3 en 1,7 t.ha⁻¹ P₂O₅. Berekend is dat dit leidt tot een periode met verhoogde fosfaatuitspoeling van meer dan 150 jaar, bij fosfaatbemesting gelijk aan de onttrekking door het gewas.

Tijdens de meetperiode zijn er geen grote veranderingen in de tijd geconstateerd van de fosfaatconcentratie in het bodemvocht, omdat het tijdstip van bemonstering niet is afgestemd op het tijdstip van bemesting. Bij een aantal percelen is geconstateerd dat de concentratie orthofosfaat in de bovengrond op kleine afstand tot de sloot lager is dan op grote afstand. Uit de gegevens blijkt tevens dat het verloop met de diepte van de fosfaatconcentratie overeenkomt met het verloop van de fosfaatbezettingsfractie en de hoeveelheid desorbeerbaar fosfaat.

slootafvoer zonder hydrologische maatregel

Over de gehele meetperiode varieert de verhouding tussen de concentratie orthofosfaat en totaalfosfaat in de drie meetsloten en de verzamelsloot van 0,83 tot 0,89.

De cumulatieve afvoer van twee perceelssloten, die niet beïnvloed zijn door de aanleg van de hydrologische maatregel, bedraagt over de gehele meetperiode (van 19 februari 1991 tot 10 oktober 1994) 7420 en 3950 m³. De cumulatieve fosfaatvrucht van deze meetsloten bedraagt 9,02 en 5,17 kg ortho-P, wat een gemiddelde fosfaatconcentratie in de sloot oplevert van 1,22 en 1,31 mg.l⁻¹ ortho-P.

In een zeer natte periode kan de gemiddelde fosfaatconcentratie in deze perceelssloten een factor 2 à 3 hoger zijn dan in een hydrologisch representatieve periode.

Sloot 2 en 4 voeren in dezelfde periode water. De afvoerperiode van deze ondiepe sloten is korter dan de afvoerperiode van sloot 1. Alleen bij hoge grondwaterstanden voeren alle meetsloten water.

sloot- en drainafvoer met hydrologische maatregel

In een modelstudie, die is uitgevoerd in de eerste fase van het onderzoek, is een perspectiefrijke maatregel naar voren gekomen. Deze maatregel betreft het aanleggen van een drain op grote diepte (2,5 m) langs de perceelssloten en het egaliseren van de percelen. Door het opvoeren van het peil in de sloten en het dempen van greppels wordt de ontwatering vrijwel geheel via deze diepe drains verzorgd. De drainagebasis van de drain is gelijk aan het niveau van de slootbodem. Vanwege de helling en de vorm van de percelen is de uitvoering van deze hydrologische maatregel op de onderzoekslocatie aangepast. Op de onderzoekslocatie is een diepe drain gelegd langs sloot 1 (perceel 1). De drainafvoer is in de meetsloot geloosd en het slootpeil is in beperkte mate gestuwd.

In de sloot waar de hydrologische maatregel is aangelegd is in de periode voor invoering van deze maatregel slechts 720 m³ afvoer gemeten. In de periode na invoering is 21380 m³ afvoer gemeten. Uit de gemiddelde fosfaatconcentraties in de perioden vóór en ná invoering van de hydrologische maatregel is geen duidelijk effect van deze hydrologische maatregel af te leiden. Hiervoor zijn als oorzaken te noemen het geringe afvoervolume in de periode voor invoering van deze maatregel,

de helling van de percelen en de bolling van het maaiveld, en tot slot de uitvoering van de hydrologische maatregel op deze onderzoekslocatie. In deze uitvoering bestaat de gemeten afvoer uit een component die direct via het ondiepe grondwater naar de sloot stroomt, en een component die naar de diepe drain stroomt en via bemaling in de sloot is geloosd. Hierdoor is de gemeten fosfaatconcentratie in de sloot het resultaat van menging van een ondiepe afvoer met een hoge fosfaatconcentratie en diepe afvoer met een lage fosfaatconcentratie.

De gemiddelde fosfaatconcentratie sloot 1 bedraagt over de gehele meetperiode $0,48 \text{ mg.l}^{-1}$ ortho-P, wat een reductie is van 62% ten opzichte van de gemiddelde fosfaatconcentratie van de twee perceelssloten die niet zijn beïnvloed door aanleg van de hydrologische maatregel, en waar bovendien de fosfaatverzadigingsgraad van de omliggende percelen lager is.

Voor de gehele meetperiode bedraagt de gemiddelde fosfaatconcentratie van de drainafvoer $0,14 \text{ mg.l}^{-1}$ ortho-P (standaardafwijking $0,09 \text{ mg.l}^{-1}$ ortho-P), wat overeen komt met $0,17 \text{ mg.l}^{-1}$ totaal P. Deze concentratie is weinig hoger dan de kwaliteitsnorm die voor het oppervlaktewater geldt ($0,15 \text{ mg.l}^{-1}$ totaal P). Met de lage concentratie in de drainafvoer is de werking van de hydrologische maatregel aangetoond. Er is een stijgende trend in de fosfaatconcentraties van de drainafvoer geconstateerd. Een mogelijke verklaring voor deze trend is het versneld opladen van het adsorptiecomplex in preferente stroombanen in de ondergrond. Ter plaatse van zulke stroombanen stijgt de fosfaatconcentratie in het bodemvocht. Samenvattend wordt op grond van veldmetingen geconcludeerd dat het mogelijk is om de fosfaatuitspoeling uit fosfaatverzadigde landbouwgronden aanzienlijk te reduceren.

1 Inleiding

In opdracht van de projectgroep BOVAR (Bestrijding Overmatige Algenbloei in de Randmeren) is in de periode 1989-1994 door DLO-Staring Centrum in samenwerking met IMAG-DLO een onderzoek uitgevoerd naar mogelijke maatregelen ter vermindering van de fosfaatuitspoeling van landbouwgronden. Deze maatregelen dienen als aanvulling op het generieke bemestingsbeleid. Het onderzoek is gefinancierd door het Ministerie van LNV, de Provincie Gelderland, Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, het Ministerie van VROM (in het kader van het ROM-project Gelderse Vallei) en FOMA (Financieringsoverleg Mest- en Ammoniakonderzoek). Het onderzoek is in twee fasen uitgevoerd. Het doel van de eerste fase (1989-1991) is de selectie van maatregelen die geen nadelige gevolgen hebben voor het landbouwbedrijfsleven. In de tweede fase (1993-1994) zijn de geselecteerde maatregelen op een onderzoekslocatie uitgetest en zijn berekeningen uitgevoerd met scenario's voor aanvullende maatregelen.

Het onderzoek is toegespitst op drie soorten maatregelen; bemestingsmaatregelen, bodemchemische maatregelen, en hydrologische maatregelen. Bij de bemestingsmaatregelen wordt nagegaan wat het effect is van verdere reductie van de fosfaatgiften op de fosfaatuitspoeling. Bij de bodemchemische maatregel wordt getracht het fosfaat in het bodemvocht te binden door toediening van ijzerhoudend materiaal aan de bodem. De hydrologische maatregel is er op gericht om de ondiepe fosfaatuitspoeling uit fosfaatverzadigde lagen naar het oppervlaktewater te verminderen. Op twee onderzoekslocaties is de toestand met betrekking tot de water- en fosfaathuishouding vastgesteld. Op een van deze onderzoekslocaties zijn tevens de effecten van bemestings-, bodemchemische- en hydrologische maatregelen gemeten. Naast de meting van de effectiviteit van deze maatregelen zijn scenarioberekeningen uitgevoerd, waarbij de metingen van de water- en fosfaathuishouding van deze onderzoekslocatie zijn gebruikt voor modelcalibratie en -validatie.

In dit deelrapport wordt de metingen met betrekking tot de water- en fosfaathuishouding van de percelen van de onderzoekslocaties besproken, inclusief de gemeten fosfaatvruchten van de tussenliggende perceelssloten. Omdat bij een perceelssloot gedurende een groot deel van de meetperiode de fosfaatuitspoeling direct beïnvloed werd door de werking van de hydrologische maatregel, is hierbij het effect van een hydrologische maatregel geëvalueerd.

In hoofdstuk 2 worden de veld- en bodemkenmerken, de inrichting van de onderzoekslocaties en de uitvoering van de hydrologische maatregel besproken. De hoofdstukken 3 tot en met 7 hebben betrekking op de waterhuishouding van de onderzoekslocaties en de hoofdstukken 8 en 9 op de fosfaathuishouding. Bij de bespreking van de waterhuishouding is een onderscheid gemaakt in de hydrologische situatie (hoofdstuk 3) en bodemfysische karakterisering van de percelen (hoofdstuk 4). Tevens wordt ingegaan op het gemeten neerslagverloop (hoofdstuk 5), het

grondwaterstandsverloop (hoofdstuk 6) en de ontwatering van de percelen (hoofdstuk 7). Bij de beschrijving van de fosfaathuishouding is een onderscheid gemaakt in de fosfaattoestand van de percelen (hoofdstuk 8) en de fosfaatconcentraties in het bodemvocht (hoofdstuk 9). In hoofdstuk 10 worden de slootafvoeren en de fosfaatvrachten besproken. In dit hoofdstuk wordt tevens de effectiviteit van de hydrologische maatregel geëvalueerd. De conclusies staan tenslotte vermeld in hoofdstuk 11.

2 Beschrijving van de onderzoekslocaties

2.1 Ligging van de onderzoekslocaties

Bij de selectie van de onderzoekslocaties zijn diverse gegevens van het Schuitenbeekgebied verzameld om inzicht te krijgen in de topografie, bodemkunde, hydrologie en fosfaatverzadigingstoestand van de bodem. Op basis van deze gegevens zijn representatieve locaties gedefinieerd, als zijnde graslandpercelen op bekeerd-, beekvaag- of veldpodzolgronden, met grondwatertrap II, III of V, en een fosfaatverzadigde bovengrond. Bij de selectie van de onderzoekslocaties is bovendien gelet op de onderlinge vergelijkbaarheid van de percelen, en zijn een aantal (meet)technische eisen gehanteerd. Deze eisen hebben betrekking op de stroomvoorziening van de te plaatsen meetapparatuur en de inrichting van meetsecties in de sloten. Vervolgens is de bereidheid onder de (particuliere) eigenaren van een aantal geschikte locaties geïnventariseerd om mee te werken aan het onderzoek. Uit deze selectie (Jeurissen en Schoumans, 1990) zijn twee onderzoekslocaties naar voren gekomen, die in het noordwesten van het Schuitenbeekgebied liggen.

2.2 Bodemgesteldheid van de locaties

Onderzoekslocatie 1 bestaat uit drie graslandpercelen (nr. 1, 2 en 3), gescheiden door twee sloten (figuur 1). De afvoer van deze perceelssloten (nr. 1 en 2) loopt via een verzamelsloot (nr. 3) naar een A-watergang. Op onderzoekslocatie 2 liggen twee graslandpercelen (nr. 4 en 5), eveneens gescheiden door een beginnende sloot (nr. 4).

De helling van het maaiveld rond beide onderzoekslocaties is circa 0,25%, aflopend in westelijke richting. De bodem bestaat uit natte bekeerdgrond- en beekvaaggronden (grondwatertrap III of III*). Plaatselijk komen lagen met een hoog ijzergehalte voor, die zijn ontstaan als gevolg van precipitatie van ijzeroxyden die via ijzerrijke kwelstroming zijn aangevoerd.

Voor elk perceel is de bodem in kaart gebracht aan de hand van een vijftal profielbeschrijvingen. De locatie van de boringen zijn aangegeven in figuur 2 en 3, en de gegevens van de boorstaten zijn opgenomen in aanhangsel 1.

Perceel 1 is in 1969 gediëpploegd tot een diepte van 0,80 m. Eind jaren '40 zijn perceel 2 en 3 geëgaliseerd tot een diepte van 0,45 tot 0,60 m. Bij het diepploegen zijn de oorspronkelijke lagen van het bodemprofiel deels gemengd en deels onder een hoek van ongeveer 45 graden gezet. Door grondbewerking en biologische activiteit ontstaat na verloop van tijd een nieuwe, sterk gemengde bouwvoor. Als gevolg van deze heterogeniteit is de spreiding van de bodemfysische - en bodemchemische parameters groot. De bodem kan in dit opzicht als representatief

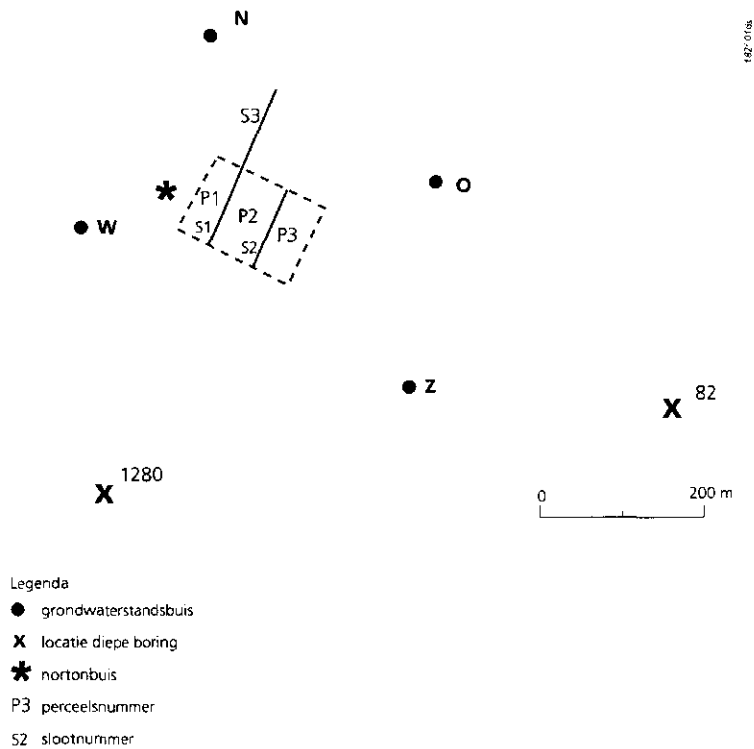
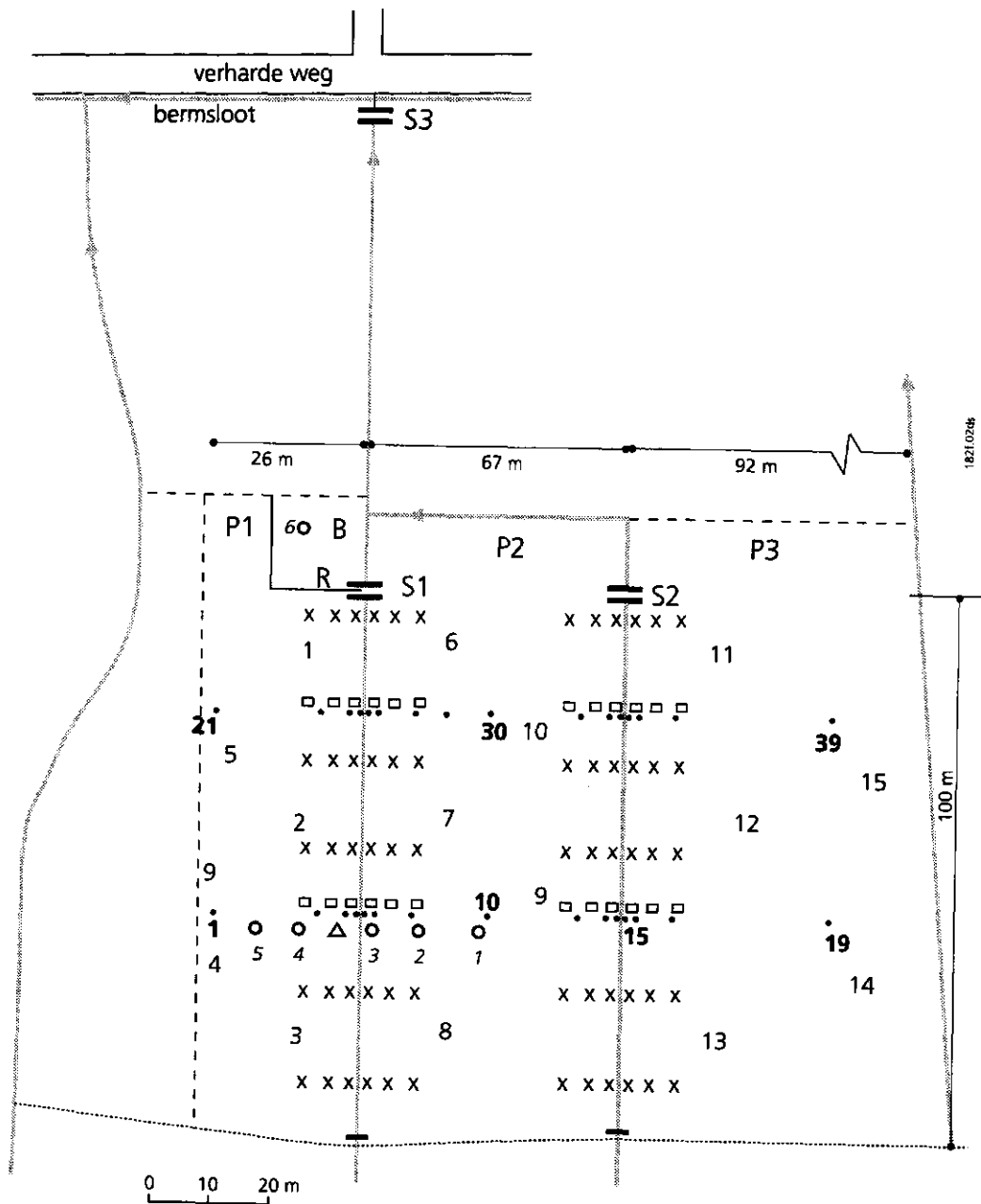


Fig. 1 Inrichting van onderzoekslocatie 1

voor het gebied beschouwd worden, aangezien bij een recente bodemkartering in het Schuitenbeekgebied is gebleken dat een groot deel van het areaal vergraven is (Breeuwsma et al., 1989).

Op perceel 1 is de bouwvoor slechts matig ontwikkeld. Op perceel 2 en 3 is de bouwvoor (A horizont) beter te onderscheiden van de verwerkte laag (de A/C horizont). Op onderzoekslocatie 1 bestaat de verwerkte laag uit zeer fijn zand, sterk lemig en zwak lemig, humeus en humusarm. Ook worden grof zand en grind aangetroffen, evenals zandig veen en venig zand. IJzerconcreties komen veelvuldig voor. De ondergrond bestaat uit matig fijn zand en matig grof zand, sterk lemig tot leemarm, humusrijk tot humusarm. Er komen ook grind-, leem- en veenlaagjes voor in de ondergrond. In de zuidwesthoek van perceel 3 komt veen voor. Omdat deze hoek van het perceel niet ontwatert op een meetsloot, kan worden aangenomen dat het fosfaat dat in deze plaatselijke veenlagen is vastgelegd geen bijdrage levert aan de gemeten fosfaatuitspoeling.

Op onderzoekslocatie 2 is de heterogeniteit deels al van nature aanwezig. De heterogeniteit is hier binnen de percelen nog groter dan op onderzoekslocatie 1. De percelen 4 en 5 zijn gediëpploegd tot een diepte van 0,35 tot 0,55 m. De textuurindeling komt overeen met die van de bodem op onderzoekslocatie 1.



Legenda

- | | |
|---|--|
| B veldje met 9 bemestingsplots | omlleiding erfafvoer |
| P2 perceelnummer | R regenmeter |
| S2 slootnummer | Δ diepe boring |
| sloot | • grondwaterstandsbuis |
| == damwand met meetschot, afvoermeter en bemonsteringsapparatuur | ○ monsterlocatie bodemfysische bepalingen |
| — damwand ter omlleiding erfafvoer | 7 monsterlocatie bodemkarteringen, gehalten P_{ox} , Al_{ox} en F_{ox} |
| - - - perceelsgrens | x monsterlocatie bodemvochtontrekking (tot 0,4 m diepte) |
| | □ cups voor bodemvochtontrekking (tot 0,9 m diepte) |

Fig. 2 Inrichting van perceel 1, 2 en 3 op onderzoekslocatie 1

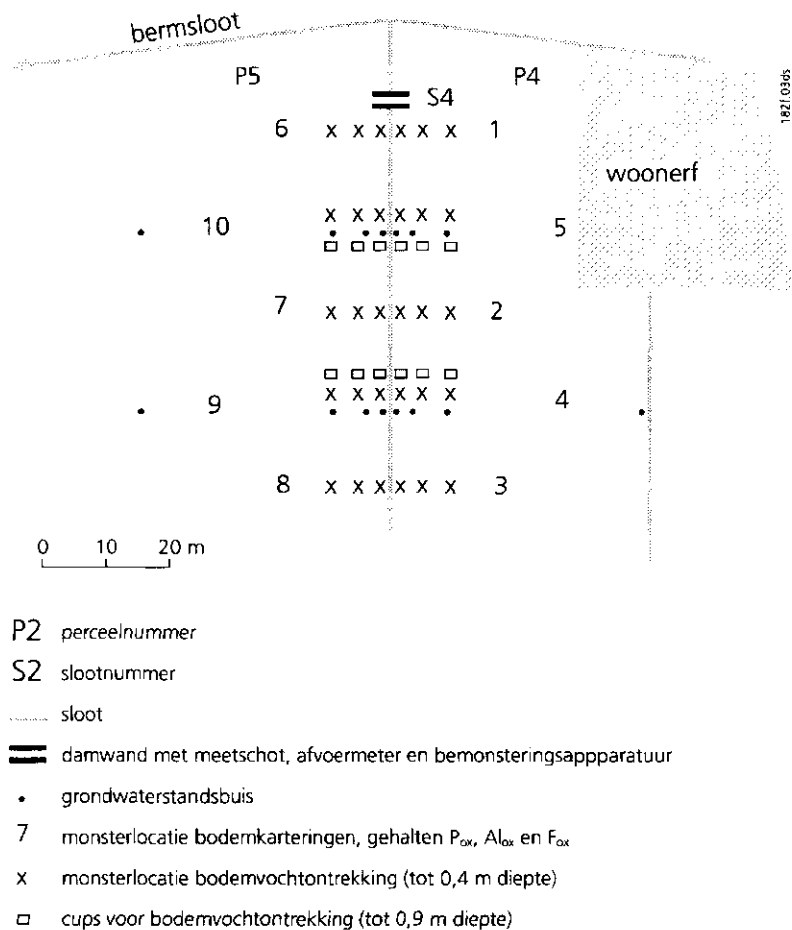


Fig. 3 Inrichting van perceel 4 en 5 op onderzoekslocatie 2

2.3 Hydrologische maatregel

2.3.1 Voorselectie

In een eerder uitgevoerde modelstudie zijn een aantal hydrologische maatregelen ter vermindering van de fosfaatuitspoeling onderzocht (Jeurissen, 1993). De meest perspectiefrijke maatregel die uit deze studie naar voren is gekomen, wordt hier kort toegelicht aan de hand van de afzonderlijke afvoertermen. Wanneer het peil in de sloten varieert tussen 0,2 en 0,8 m beneden maaiveld (met drainagebasis 0,8 m) en de afvoer vrijwel geheel verzorgd wordt door diepe drains met drainagebasis 0,70 m beneden maaiveld, dan wordt de som van de fosfaatafvoertermen ten opzichte van de nulsituatie met 95% gereduceerd. De gemiddelde slootafvoer is gereduceerd van 118 mm.j^{-1} in de nulsituatie tot 4 mm.j^{-1} in de situatie met deze maatregel. De greppelafvoer, die in de nulsituatie gemiddeld 104 mm.j^{-1} bedraagt, valt weg, omdat

de greppels zijn gedempt als onderdeel van deze maatregel. Via de diepe drain wordt gemiddeld 217 mm.j⁻¹ afgevoerd. De gemiddelde oppervlakte-afvoer blijft vrijwel onveranderd en bedraagt 28 mm.j⁻¹ (tabel 1). De gemiddelde infiltratie vanuit de sloot naar het perceel is 4 mm.j⁻¹. De berekende fosfaatafvoer bestaat in de situatie met hydrologische maatregel volledig uit oppervlakkige afvoer. Door de geringe slootafvoer is de fosfaatafvoer via de sloten nihil.

Tabel 1 Afvoertermen van de gemiddelde jaarbalans (periode 1976-1981) in de nulsituatie en de situatie met de geselecteerde maatregel (tabel 7; Jeurissen, 1993)

	nulsituatie	maatregel
oppervlakte-afvoer	26	28
greppel	104	-
sloot	118	4
diepe drain	-	217

Het maximum slootpeil dat in deze modelstudie is gehanteerd als stuwhoogte (0,20 m beneden maaiveld), kan in de sloten op de onderzoekslocatie niet worden ingesteld (hoofdstuk 9). Met het oog op de geplande metingen is het egaliseren van de percelen op de onderzoekslocatie geen reële optie. Daarom is de hydrologische maatregel uit deze voorstudie in aangepaste vorm op de onderzoekslocatie uitgevoerd.

2.3.2 Uitvoering van de hydrologische maatregel

De maatregel is gericht op het terugdringen van de ondiepe afvoer naar het oppervlaktewater, door de ondiepe grondwaterstroming te verplaatsen van de fosfaatverzadigde bovengrond naar de ondergrond. In de ondergrond is de fosfaatsorptiecapaciteit nog niet benut en kan het opgelost fosfaat alsnog gebonden worden. Indien de drain op grote diepte wordt geplaatst (2,5 m diepte), benadert de fosfaatconcentratie van de drainafvoer de natuurlijke achtergrondconcentratie van het grondwater. De essentie van de hydrologische maatregel is de werking van de diepe drain.

Bij de uitvoering van de hydrologische maatregel op de onderzoekslocatie is er voor gekozen om het slootpeil in beperkte mate te stuwen. Hiermee wordt getracht door infiltratie van slootwater het transport van fosfaat naar de ondergrond te bevorderen (figuur 4). Hierbij wordt aangetekend dat op de onderzoekslocatie die voor dit onderzoek beschikbaar is, de mogelijkheden voor infiltratie uit de sloot beperkt zijn door de helling van het gebied en de bolling van de percelen in de richting loodrecht op de sloten.

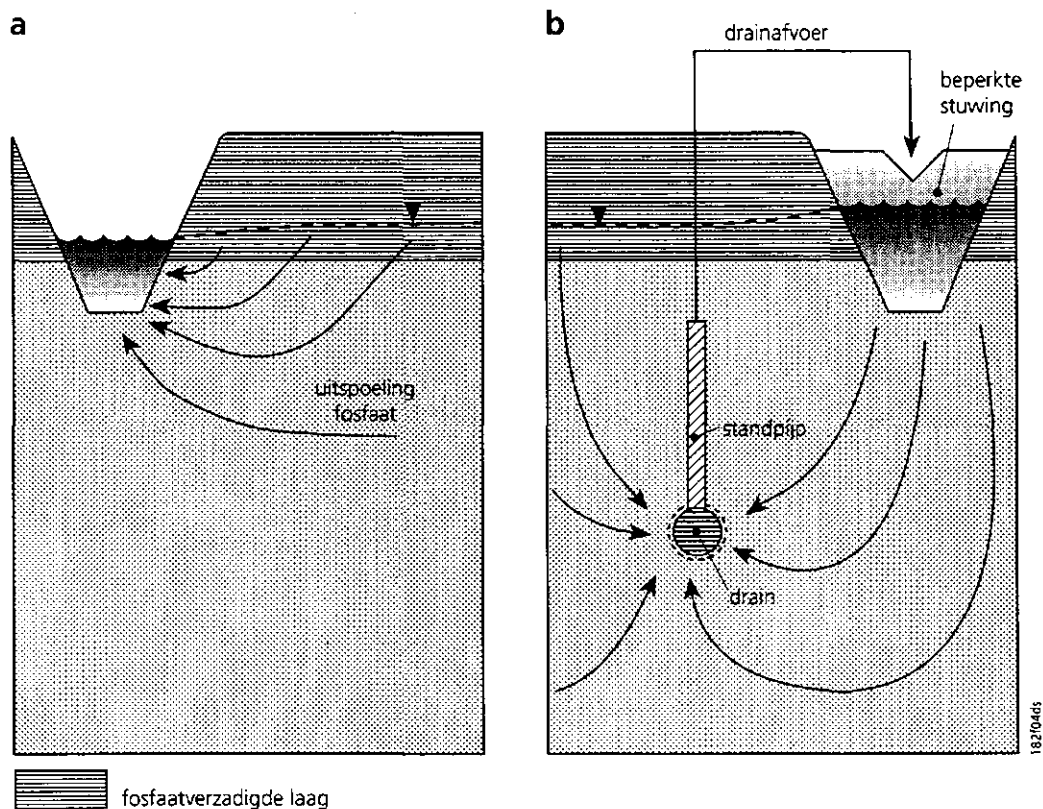


Fig. 4 Schematische weergave van de fosfaatuitspoeling op de onderzoekslocatie:
 a) zonder hydrologische maatregel; b) met hydrologische maatregel

De diepe drain is op proeflocatie 1 geplaatst, op 4 meter afstand van sloot 1 en op 2,5 m diepte in perceel 1. Op deze diepte is de bodem permanent met water verzadigd. De drain is 100 meter lang en heeft een diameter van 0,10 m. Ter hoogte van de damwand in de meetsloot is een betonnen reservoir van 2 m hoogte en 1,5 m diameter ingegraven met de bovenkant aan maaiveld. Via een afsluiter en een verticale standpijp stroomt de drainafvoer in dit reservoir, dat is voorzien van een pomp die wordt bediend met een vlottermechanisme (figuur 5). De drainafvoer stopt zodra de grondwaterstand is gezakt tot aan de ontwateringsbasis van de drain (de bovenkant van de standpijp). Om het slootpeil op de voerén wordt de drainafvoer via het reservoir in de meetsectie in sloot 1 geloosd. De drainafvoer is tot het eind van 1993 bemonsterd met een tijdsinterval van 1 dag, en daarna op basis van steekmonsters. De aanzuigopening van het bemonsteringsapparaat hangt in de standpijp van de drain.

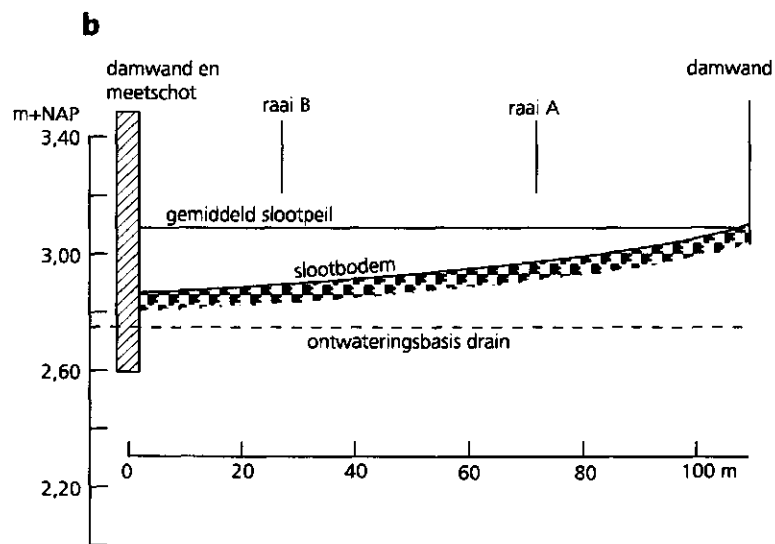
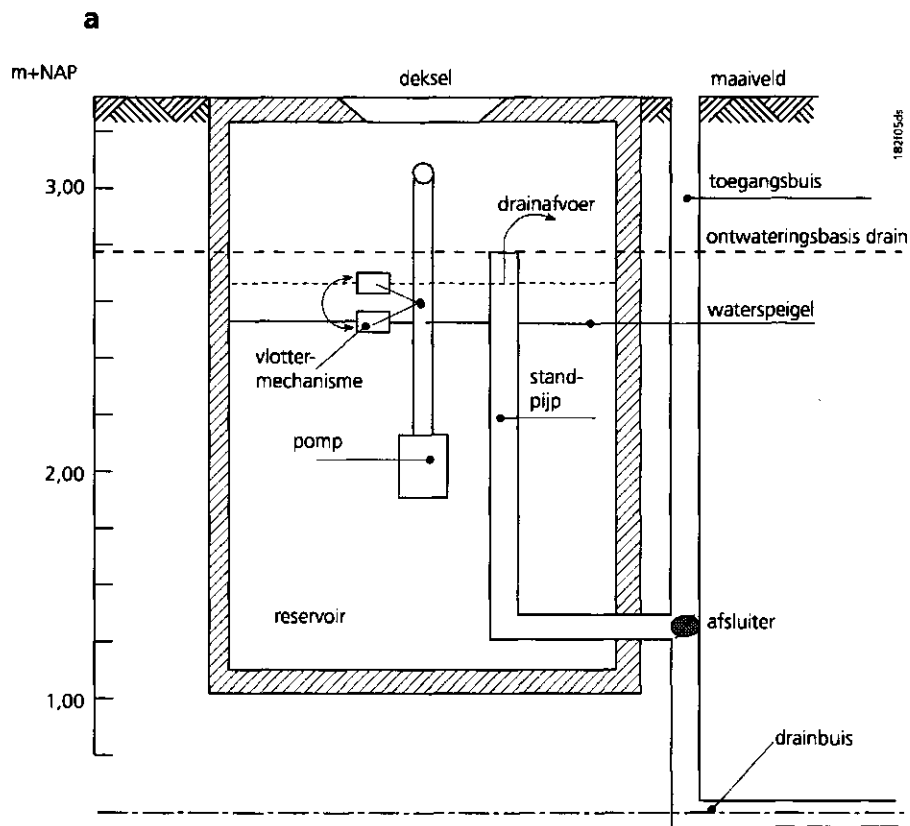


Fig. 5 Uitvoering van de hydrologische maatregel op perceel 1: a) doorsnede van het reservoir met de diepe drain; b) lengteprofiel van de perceelssloot

2.4 Inrichting van de percelen

De eerste inrichting van de percelen is uitgevoerd in de periode van november 1990 tot februari 1991 (figuur 2, 3). In november 1990 zijn op beide onderzoekslocaties grondwaterstandsbuizen geplaatst in twee raaien loodrecht op de sloten; op 0,5, 1, 3 en 13 m afstand van de sloot en in het midden van de percelen. De grondwaterstandsbuizen zijn wekelijks afgelezen. Aan de noordkant van perceel 1 is een veldje ingericht met negen bemestingsplots van 9 m² oppervlak (Boersbroek, 1993; Reinen 1994; Schoumans en Kruijne, 1995). Om het bodemvocht te kunnen onttrekken zijn op de percelen cups geplaatst op verschillende plaatsen en diepten. Op onderzoekslocatie 1 is een analoge regenmeter geplaatst. In januari 1991 zijn in de vier sloten op de onderzoekslocaties een damwand en een meetschot geplaatst. Ter hoogte van deze damwand is een meetopstelling geïnstalleerd. De lengte van de meetsecties is 100 m. Om de erfafvoer gescheiden te houden van de perceelsafvoer, is aan het begin van de meetsectie ook een damwand met een pomp geplaatst. De erfafvoer is buiten de onderzoekslocatie omgeleid, en is incidenteel bemonsterd (Pankow et al., 1995). De concentraties in de erfafvoer zijn gegeven in aanhangsel 2. De meetopstelling bij het meetschot bestaat uit een pomp, een afvoermeter en een bemonsteringsapparaat. De pomp wordt met behulp van een eenvoudig vlottermechanisme bediend. De apparatuur is ingesteld op debietproportionale bemonstering. Elk monster is samengesteld uit acht deelmonsters en is representatief voor het ingestelde afvoervolume. Wekelijks zijn de flesjes in de bemonsteringsapparaten verwisseld en is de stand van de afvoermeters genoteerd.

Om de kwelsituatie te kunnen vaststellen, zijn in februari 1992 op onderzoekslocatie 1 ook een aantal diepe grondwaterstandsbuizen geplaatst met het filter op 2, 3, 4, en 5 m beneden maaiveld. Deze buizen zijn afgelezen tot juli 1993.

Wekelijks is de drukhoogte afgelezen in een bron die zich bevindt op 65 meter ten westen van sloot 1. Dit is een diepe buis waarvan het filter reikt tot in het tweede watervoerend pakket (hoofdstuk 3). Vanaf juni 1993 zijn vier grondwaterstandsbuizen wekelijks afgelezen in de omgeving van onderzoekslocatie 1. Het niveau van deze vier grondwaterstandsbuizen is gebruikt om de niveaus van het maaiveld en de grondwaterstandsbuizen op onderzoekslocatie 1 te bepalen ten opzichte van NAP. De locatie van deze buizen is in figuur 2 aangegeven.

Het twee-dimensionale model MOISHE3 is gecalibreerd op een doorsnede van perceel 1 en 2, ter hoogte van raai A. In verband met deze calibratie zijn in mei 1993 een aantal extra grondwaterstandsbuizen geplaatst in raai A (figuur 3) en is een boring verricht om de dikte van het eerste watervoerend pakket te bepalen. In de boorput zijn buizen geplaatst met het filter op 3,5, 7,5 en 11,5 beneden maaiveld. In juni 1993 is een continue registrerende grondwaterstandsbuis geplaatst op perceel 1, 20 m van sloot 1. De drukopnemer in deze buis is gekoppeld aan een sensor voor de bodemtemperatuur en aan een digitale regenmeter. Met een tijdsinterval van 1 uur worden de grondwaterstand, de bodemtemperatuur en de neerslag naar het geheugen van de dataloger geschreven.

In mei 1993 is een analoge peilschrijver geplaatst in sloot 1, ter hoogte van de damwand. Deze peilschrijver dient ter controle van de werking van de vlotter in de sloot.

Om gegevens te verkrijgen omtrent de waterretentiekarakteristiek (pF-curve) van de bovengrond zijn in juli 1993 tensiometers en sensoren geplaatst, die de zuigspanning van het bodemvocht en het bodemvochtgehalte meten. In raai A, op 4 m van sloot 1, zijn op verschillende diepten sensoren geplaatst en aangesloten op twee meetkasten met dataloggers. Tensiometers zijn geplaatst op 0,10, 0,20, 0,30 en 0,50 m beneden maaiveld, in duplo. Capacitieve vochtmeters zijn geplaatst op 0,10, 0,20, 0,30, 0,50 en 0,70 m beneden maaiveld, eveneens in duplo. De horizontale afstand tussen de sensoren bedraagt circa 0,25 m. Bij het uitgraven van de sensoren in oktober 1993 is bij elke sensor een 100 cm³-monsterring gestoken. Van deze monsters is de textuur bepaald om de gemeten drukhoogten en vochtgehalten te kunnen correleren.

In het najaar van 1993 zijn op zes punten op onderzoekslocatie 1 ongestoorde monsters gestoken ter bepaling van de bodemfysische karakteristieken (hoofdstuk 4). Er zijn vijf profielkuilen gegraven in raai A, waarvan drie op perceel 2, en twee op perceel 1 (figuur 2).

3 Hydrologische situatie

Het Schuitenbeekgebied maakt in hydrologisch opzicht deel uit van de Gelderse Vallei, omringd door de Veluwe, de Utrechtse Heuvelrug en 't Gooi. Vanuit de zuidelijke - en oostelijke infiltratiegebieden stroomt het grondwater naar het lager gelegen Schuitenbeekgebied. Van directe betekenis voor de hydrologische situatie op de onderzoekslocaties is de geohydrologische laagindeling van het gebied.

In de omgeving van de onderzoekslocaties is het eerste of bovenste watervoerende pakket een freatisch pakket, gevormd door afzettingen uit de Formatie van Twente. Daaronder bevindt zich de eerste scheidende laag die bestaat uit kleiïge en soms venige afzettingen uit de Eem Formatie. Onder het tweede watervoerend pakket bevindt zich een scheidende laag die deel uitmaakt van de Formatie van Drente, en onder de tweede scheidende laag bevindt zich tot op grote diepte het derde watervoerend pakket. De scheidende lagen ontbreken in het Veluwe gebied. De oostelijke begrenzing van de Eem-klei bevindt zich ten westen van Putten. In het noordelijk deel van de Gelderse Vallei rusten deze kleiafzettingen op elkaar. Waar de scheidende lagen uit de Eem Formatie en de Formatie van Drente aaneengesloten

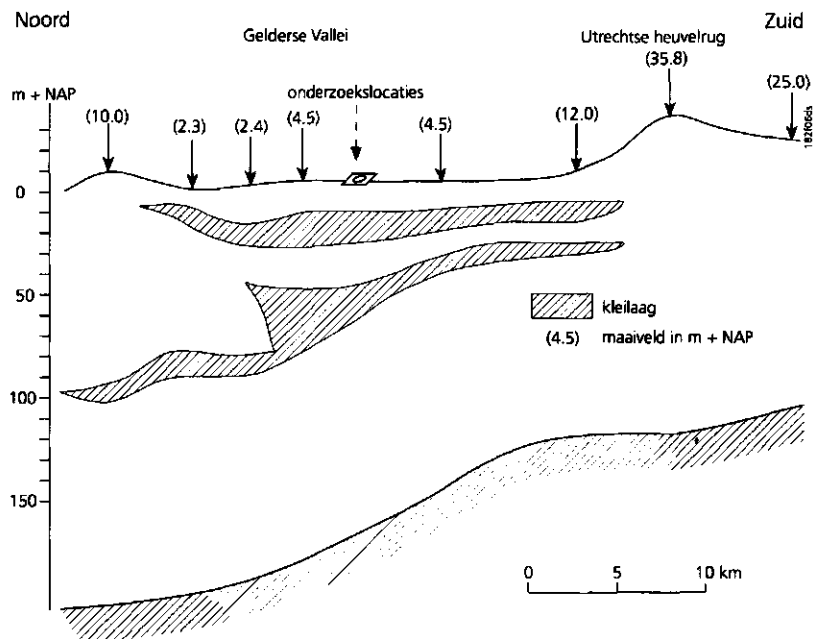


Fig. 6 Doorlatende lagen en kleilagen in een doorsnede van het Schuitenbeekgebied, van noord naar zuid en ter hoogte van de onderzoekslocaties

voorkomen, ontbreekt het tweede watervoerend pakket. Deze grens van het tweede watervoerend pakket bevindt zich ten oosten van Nijkerk (GMN, 1992). Figuur 6 bevat een schematische weergave van de geohydrologische laagindeling in een doorsnede ter hoogte van de beide onderzoekslocaties.

In tabel 2 zijn de gegevens samengevat van twee boorstaten in de directe omgeving van onderzoekslocatie 1. De locatie van deze twee punten is aangegeven in figuur 1. In 1987 is op 300 m ten zuiden van onderzoekslocatie 1 een diepe boring verricht. De dikte van het eerste watervoerende pakket is hier 13,5 m. De onderliggende, scheidende laag reikt hier tot een diepte van 31 m. In 1972 is op ca. 700 m ten oosten van onderzoekslocatie 1 een boring verricht tot 17,5 m diepte, waarbij geen kleiafzetting is aangetroffen. Hieruit blijkt dat rondom de onderzoekslocatie de geohydrologische laagindeling varieert. Om deze reden is op 1 juli 1993 een diepe boring verricht op perceel 1, om de diepte van de ondergrens van het freatisch pakket op onderzoekslocatie 1 te bepalen. De scheidende laag is hier op 12 m diepte aangetroffen. Uit zeefanalyse van de zandfractie van de boormonsters is gebleken dat het watervoerend pakket homogeen is en dat het materiaal uit matig fijn zand bestaat. Tabel 3 bevat de gegevens van de boorstaat.

In het boorgat op perceel 1 zijn drie diepe buizen geplaatst met het filter op 3,5, 7,5 en 11,5 m beneden maaiveld. Figuur 7 toont de metingen van de drukhoogte in de periode van juli 1993 t/m oktober 1994. De drukhoogte die in deze diepe buizen is gemeten neemt toe met de diepte, wat betekent dat er in het grondwater een positieve gradiënt heerst in opwaartse richting. Grote verschillen in drukhoogte zijn veelal gemeten bij hoge grondwaterstanden, en kleine verschillen in drukhoogte bij lage grondwaterstanden. Op perceel 1 heeft de stroming naar de diepe drain ook een effect op de verticale gradiënt in het watervoerend pakket; de drukhoogte van het grondwater dat naar de drain stroomt daalt door de (radiale) stromingsweerstand. Bij lage grondwaterstanden, wanneer de drain geen water afvoert, is een verschil in drukhoogte tussen de buizen met het filter op 11,5 m en 3,5 m beneden maaiveld gemeten van gemiddeld 0,016 m (standaardafwijking $s = 0,007$ m, $n = 15$). Hiermee is aangetoond dat er op de onderzoekslocatie gedurende het hele jaar sprake is van een kwel situatie. Echter, voor het bepalen van de kwelintensiteit zijn deze gemeten verschillen te klein en moet bovendien de doorlatendheid van de ondergrond bekend zijn. Bij hogere grondwaterstanden, wanneer de drain afvoert, is een verschil in drukhoogte gemeten van gemiddeld 0,046 m ($s = 0,016$ m, $n = 44$). Aangezien hoge drainafvoeren samengaan met hoge grondwaterstanden, kan uit het verloop in de tijd van de verticale gradiënt in het watervoerend pakket niet zonder meer het verloop van de kwelintensiteit op de onderzoekslocatie afgeleid worden.

In de diepe buizen op perceel 2 en 3 is nooit een drukverschil gemeten. De filters in deze buizen bevinden zich op 2, 3, 4, en 5 m beneden maaiveld. De onderlinge afstand van deze filters is te klein om een significant verschil in drukhoogte te kunnen meten.

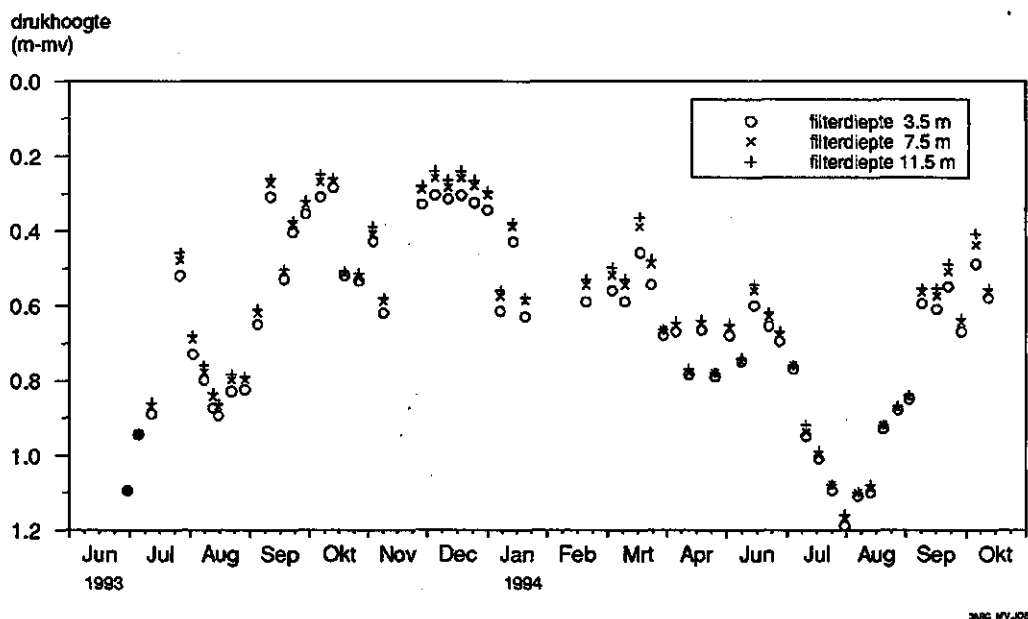


Fig. 7 Het verloop van de drukhoogte in drie diepe buizen met filter op 3,5, 7,5 en 11,5 m diepte

Het filter van de nortonbuis ten westen van perceel 1 bevindt zich op 39 m diepte. Het is aannemelijk dat het filter in het tweede watervoerend pakket steekt, gezien het feit dat deze nortonbuis gedurende het hele jaar als bron functioneert. In figuur 8 zijn de metingen van de drukhoogte in het eerste en tweede watervoerend pakket uitgezet tegen de tijd. Uit dit verloop valt af te leiden dat er hydrologisch contact is tussen beide lagen. Het drukverschil tussen het freatisch pakket en de tweede watervoerende laag varieert tussen de 1 m en 1,5 m.

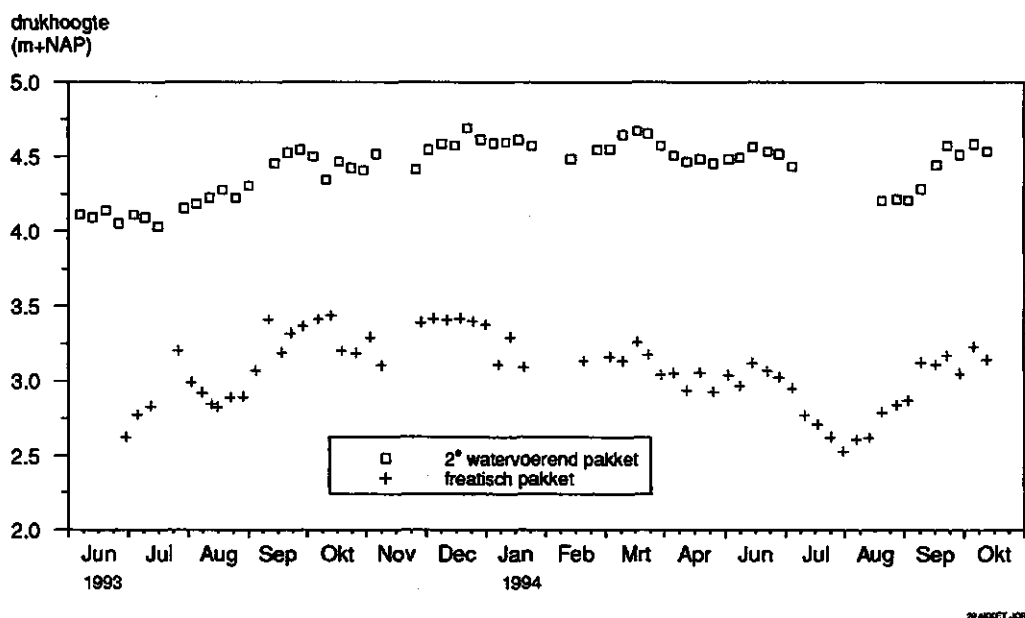


Fig. 8 Het verloop van de drukhoogte op 11,5 m diepte in het eerste watervoerende pakket en in de nortonbuis ten westen van perceel 1 (filterdiepte 39 m)

De regionale (horizontale) stromingsrichting van het grondwater in het eerste watervoerend pakket leidt tot een helling in het freatisch vlak. De grootte van de horizontale gradiënt is af te leiden uit de drukhoogte in het eerste watervoerende pakket, die is afgelezen in vier grondwaterstandbuizen in de omgeving van onderzoekslocatie 1 (deze buizen zijn in figuur 2 aangegeven als N, O, Z, W). In figuur 9 is te zien dat de grondwaterstandsmetingen in de buizen N, O, en Z sterk overeenkomen. De metingen in buis W vertonen een groter verschil tussen lage en hoge grondwaterstanden. Afgaand op deze vier punten in het freatisch vlak, is de richting van de stroming noordwestelijk, van buis Z naar buis N. De horizontale gradiënt is gemiddeld 0,29% ($s = 0,014\%$).

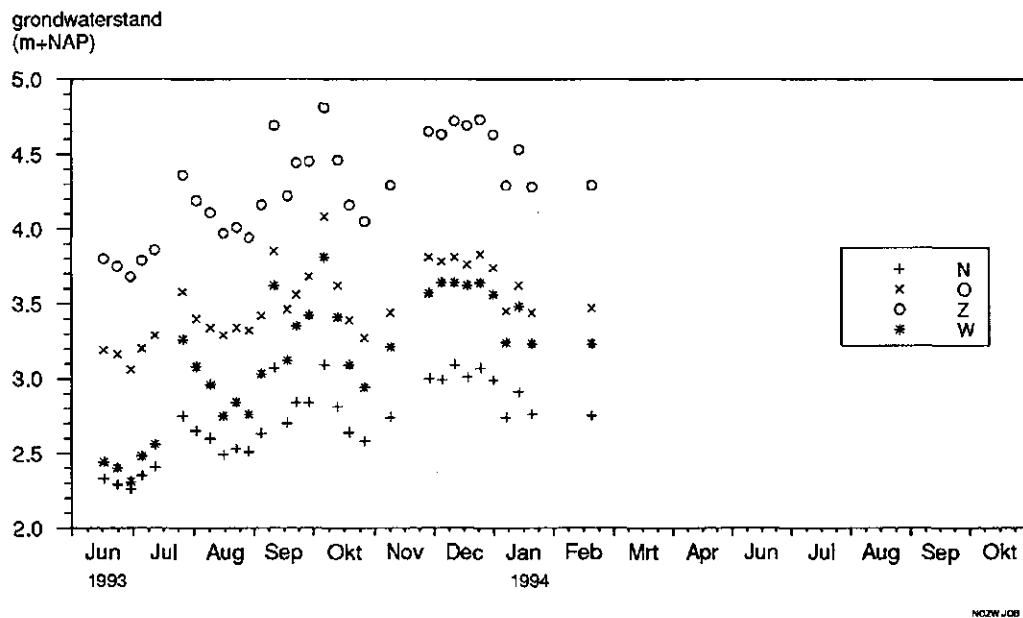


Fig. 9 Meting van de grondwaterstand in peilbuizen N, O, Z, en W rond onderzoekslocatie 1

Tabel 2 Gegevens van twee diepe boringen in de omgeving van onderzoekslocatie 1

Herkomst gegevens: DLO-Staring Centrum

Boring Nr. M-280 (1987)

coördinaten 166,100 473,700

laagdiepte		omschrijving	kleur
m	m		
0,0	1,0	zand	zwart
1,0	2,0	zand	donkerbruin
2,0	3,5	zand	grijs
3,5	6,0	zand	blauwgrijs
6,0	13	zand	grijs
13	31	klei	grijs en bruin
31	48	zand	bruingrijs

Herkomst gegevens: RIVM

Boring Nr. 82 (1972)

coördinaten 166,920 473,790

laagdiepte		omschrijving	kleur
m	m		
0	0,6	teelaarde	-
0,6	1,5	fijn zand	bruin
1,5	2,5	matig grof zand	bruin
2,5	7,0	matig grof zand	bruin
7,0	10,0	fijn- en matig grof zand	grijs
10,0	17,5	matig grof zand	grijs

Tabel 3 Gegevens van de diepe boring op onderzoekslocatie 1, perceel 1, raai A

laagdiepte		omschrijving	kleur
m	m		
0,0	1,3	bouwvoor	-
1,3	4,0	fijn zand	grijs
4,0	6,0	fijn zand	grijs
6,0	9,0	fijn zand, iets slibhoudend	grijs
9,0	12,0	fijn zand, iets slibhoudend	grijsbruin
12,0	13,5	slappe klei	bruingrijs

4 Bodemfysische gegevens

In het najaar van 1993 zijn op zes punten op onderzoekslocatie 1 bodemmonsters gestoken ter bepaling van de bodemfysische karakteristieken. Er zijn vijf profielkuilen gegraven in raai A, waarvan drie op perceel 2, en twee op perceel 1 (figuur 2). Een zesde kuil voor bemonstering is gegraven op de bemestingsplots. Bij de bemonstering is de strook langs sloot 1 (perceel 1) gemeden, omdat daar de bovengrond is afgegraven bij het installeren van de diepe drain. Tijdens de bemonstering van de bodemlagen is er naar gestreefd om materiaal te steken van zo groot mogelijke homogeniteit. Hierdoor is de bemonsteringsdiepte van de verwerkte laag niet in alle kuilen hetzelfde. De diepte van bemonstering is door een aanhoudend hoge grondwater-standen beperkt tot ongeveer 0,5 m, waardoor de ongestoorde laag (C-horizont) niet systematisch is bemonsterd. Wel is in perceel 2 in deze laag een horizontale gelaagdheid van de afzettingen geconstateerd.

4.1 Verzadigde doorlatendheid

Er zijn 25 kleine ringmonsters gestoken (0,10 m diameter en 0,10 m hoogte) en 4 grote ringmonsters (0,20 m diameter en 0,20 m hoogte). Van elk monster is eerst de verzadigde doorlatendheid bepaald (figuur 10, aanhangsel 3). Vervolgens zijn de bodemfysische karakteristieken van het ongestoorde monster bepaald, waarna de textuuranalyse is verricht.

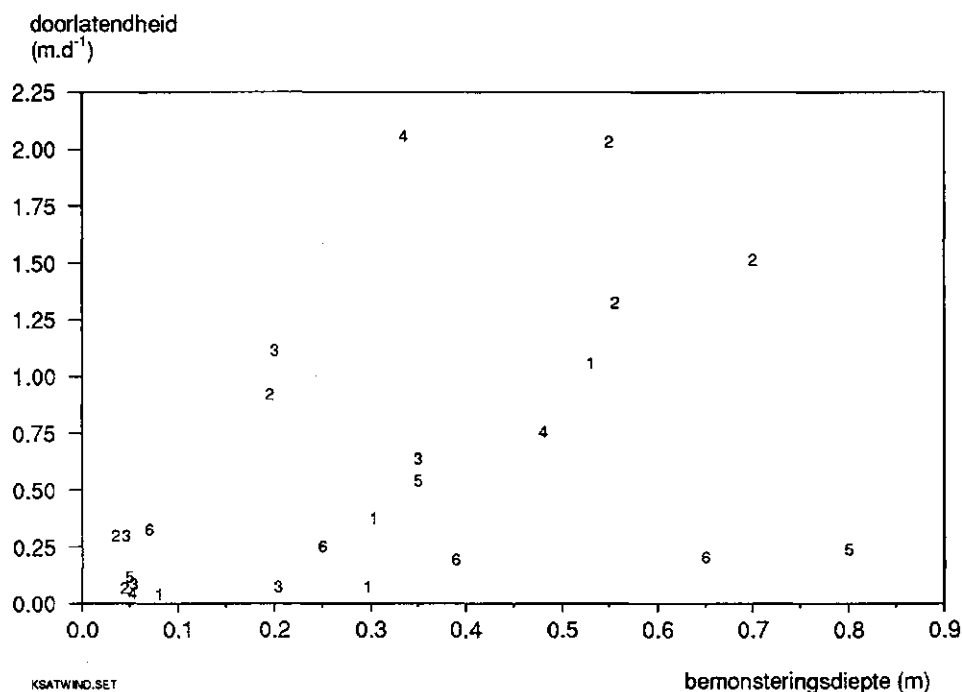


Fig. 10 Verzadigde doorlatendheid uitgezet tegen de bemonsteringsdiepte (profielkuil 1 t/m 6 zijn aangegeven in figuur 2)

De verzadigde doorlatendheid van de bodemonsters is in figuur 10 uitgezet tegen de bemonsteringsdiepte, de resultaten van de bepalingen zijn in aanhangsel 3 vermeld. In de bovengrond (tot 0,10 m diepte) varieert de gemeten verzadigde doorlatendheid van 0,050 tot 0,339 m.d⁻¹. De twee hoogste waarden in de bovengrond zijn gemeten op de bemestingsplots die begin 1990 zijn afgezet, en op het deel van perceel 2 bij sloot 1, dat in juli 1993 is afgezet bij het plaatsen van de meetkasten. Het is mogelijk dat de doorlatendheid in de bovengrond door vertrapping door het vee in het beweide deel van de percelen lager is dan in de afgezette delen. In raai A is de gemiddelde verzadigde doorlatendheid in de bovengrond 0,109 m.d⁻¹, en de standaardafwijking 0,078 m.d⁻¹. De spreiding neemt toe met de diepte: in de verwerkte laag (vanaf 0,20 m diepte) varieert de gemeten verzadigde doorlatendheid van 0,085 tot 2,07 m.d⁻¹. In de verwerkte laag zijn de laagste waarden in perceel 1 gemeten. In dit perceel is het materiaal van de oorspronkelijke bovengrond tot op grotere diepte gemengd dan op de andere percelen. Op de bemestingsplots tenslotte, waar in de profielkuil de meest volledige menging van materiaal uit de oorspronkelijke bodemlagen is geconstateerd, is het verloop van de verzadigde doorlatendheid met de diepte vrij constant.

De lage waarde voor de verzadigde doorlatendheid in de bovengrond wordt veroorzaakt door berijding en beweiding onder natte omstandigheden.

De lage doorlatendheid in de bovengrond bevordert bij hoge neerslagintensiteit de oppervlakkige afstroming, hetgeen leidt tot plasvorming in depressies. Op de onderzoekslocaties treedt plasvorming met name op in 5 tot 10 m brede stroken langs de sloten. Op deze plaatsen wordt de oppervlakkige afstroming naar de sloten gehinderd door opstaande randjes die zich onder de omheining langs de sloten bevinden.

4.2 Bulkdichtheid, porositeit en textuur

De bulkdichtheid van de bodemmonsters is in figuur 11 uitgezet tegen de gemiddelde bemonsteringsdiepte. De bulkdichtheid is berekend uit het gewicht van de droge delen en het volume van de bodemmonsters. In raai A (kuil 1 t/m 5) neemt de bulkdichtheid van het bodemmateriaal toe met de diepte. In de bovengrond (tot 0,1 m beneden maaiveld) varieert deze van 1200 tot 1400 kg.m^{-3} en in de laag van 0,3 tot 0,8 m beneden maaiveld varieert deze van 1400 tot 1700 kg.m^{-3} . In raai A neemt de porositeit met de diepte af (figuur 12).

De gegevens van de verzadigde doorlatendheid, bulkdichtheid en porositeit, de bodemkartering, alsmede de observaties in de profielkuilen bevatten geen aanwijzingen dat er een ondoorlatende laag op geringe diepte voorkomt. Het optreden van een schijngrondwaterspiegel in de bovengrond wordt daarom onwaarschijnlijk geacht.

Aanhangsel 4 bevat de resultaten van de textuurbepalingen. In de monsters van de bovengrond van perceel 2 (tot 0,10 m diepte) bedraagt de gemiddelde fractie organische stof 5,5% ($s = 0,2\%$; $n = 4$), in de bovengrond van perceel 1 zijn deze bepalingen 3,3% (kuil 4 en 5), en 2,0% (kuil 6). In de verwerkte laag is de fractie organische stof lager, en de spreiding groter dan in de bovengrond. De spreiding in de fracties minerale delen is het grootst in de fractie löss (16 - 50 μm). Het leemgehalte (figuur 13) van de bodemmonsters uit profielkuil 1 t/m 4 neemt af met de diepte. In dit bemonsterde deel van raai A (perceel 2) is het materiaal van de

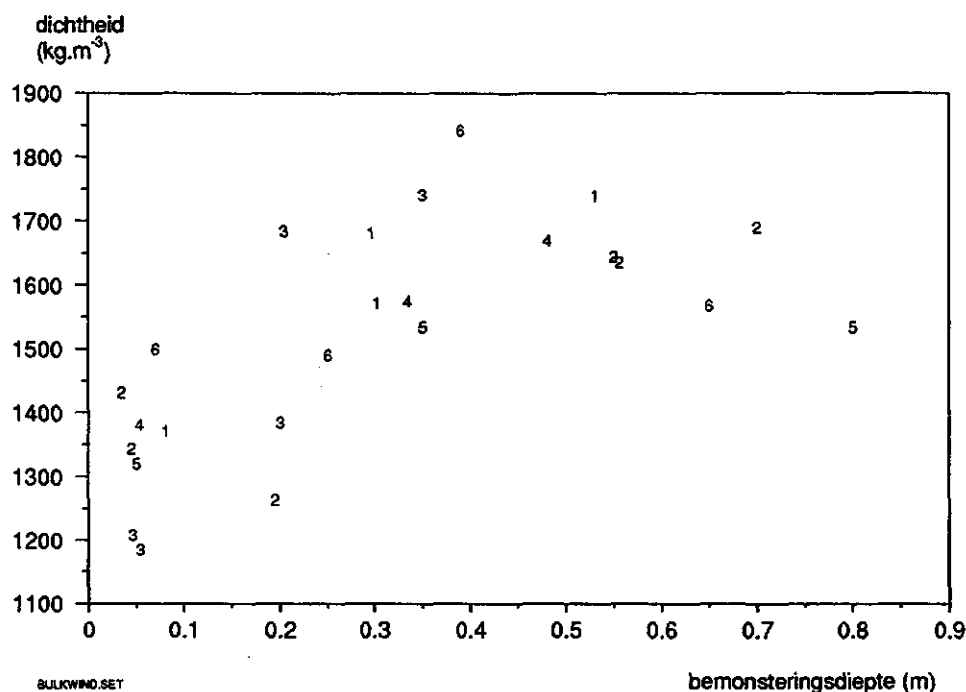


Fig. 11 Bulkdichtheid uitgezet tegen de bemonsteringsdiepte (profielkuil 1 t/m 6 zijn aangegeven in figuur 2)

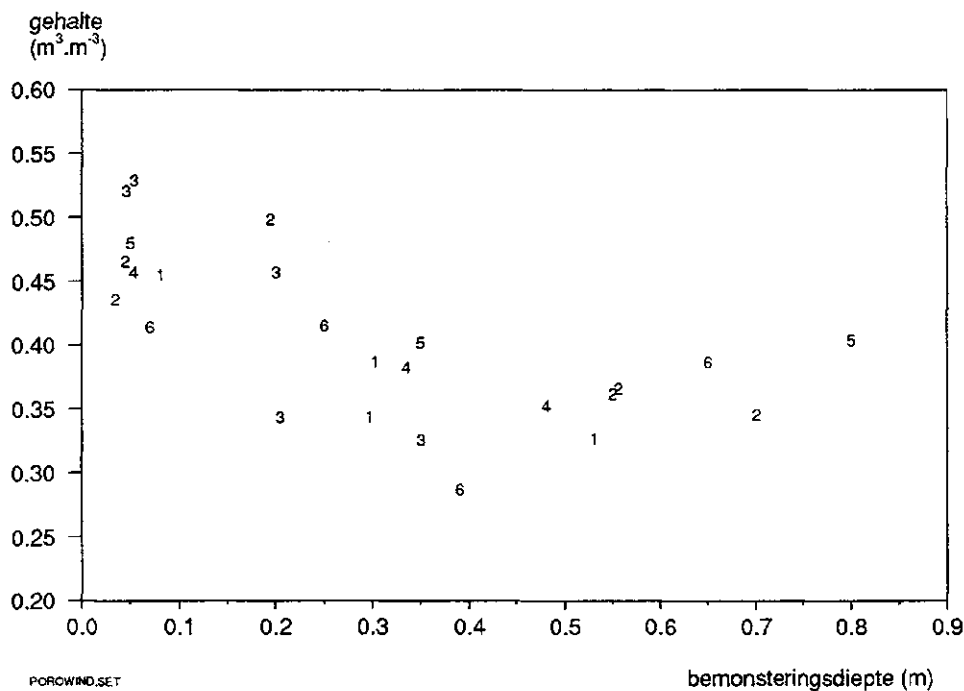


Fig. 12 Porositeit uitgezet tegen de bemonsteringsdiepte (profielkuil 1 t/m 6 zijn aangegeven in figuur 2)

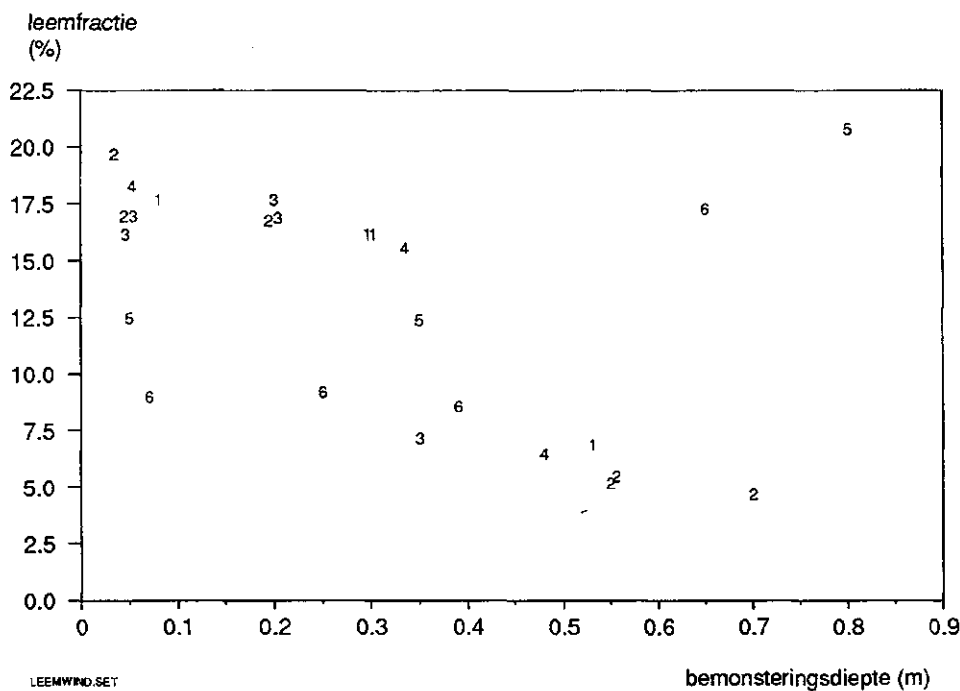


Fig. 13 Leemfractie (2-16 μm) uitgezet tegen de bemonsteringsdiepte (profielkuil 1 t/m 6 zijn aangegeven in figuur 2)

monsters van de bovengrond (0 - 0,35 m diepte) zwak lemig tot sterk lemig zand, met een gemiddelde fractie leem van 16,4% ($s = 2,8\%$; $n = 13$). Van de monsters uit de onderliggende laag is het materiaal zwak lemig zand, met een gemiddelde

fractie leem van 5,9% ($s = 0,8\%$; $n = 5$). Voor de monsters uit kuil 5 en 6 is het verloop met de diepte van de fractie leem anders (figuur 13). Dit onderscheid tussen zwak leemig en sterk leemig zand enerzijds en leemarm zand anderzijds is bepalend voor het type pF-curve van het materiaal (paragraaf 4.3).

4.3 Bodemfysische karakteristieken

De meetgegevens ter bepaling van de bodemfysische karakteristieken zijn verzameld met behulp van de verdampingsmethode en de infiltratiemethode (Stolte et al., 1994). Voor de verdampingsmethode zijn 20 kleine ringmonsters met een doorsnede van 0,10 m en een volume van $0,667 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ gebruikt. Bij deze methode is de bepaling van de doorlatendheidskarakteristiek (onverzadigde doorlatendheid) van bodemmonsters van zandgronden voldoende nauwkeurig in het drukhoogtetraject van $h = -1,00 \text{ m}$ tot $h = -8,00 \text{ m}$. De bepaling van de waterretentiekarakteristiek (pF-curve) met de verdampingsmethode kan worden gebruikt in het drukhoogtetraject van $h = -0,20 \text{ m}$ tot $h = -8,00 \text{ m}$ (Boels et al., 1987). Voor de infiltratiemethode zijn vier grote ringmonsters met een doorsnede van 0,20 m en een volume van $5,851 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ gebruikt. Deze methode levert een aantal punten op in het natte traject van de doorlatendheidskarakteristiek, dat ligt tussen verzadiging ($h = 0 \text{ m}$), en $h = -1,00 \text{ m}$.

De bodemfysische karakteristieken zijn beschreven met de Mualem-Van Genuchten-functies (Mualem, 1976; Van Genuchten, 1978). Dit zijn de retentiekarakteristiek of pF-curve;

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|^n)^m} \quad (1)$$

en de doorlatendheidskarakteristiek;

$$K(h) = K_s \cdot \frac{[(1 + |\alpha h|^n)^m - |\alpha h|^{n-1}]^2}{(1 + |\alpha h|^n)^{m(l+2)}} \quad (2)$$

met;

K_s	= verzadigde doorlatendheid	($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
θ_r	= residuair vochtgehalte	($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$)
θ_s	= verzadigd vochtgehalte	($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$)
α, n, m, l	= parameters	($m = 1 - n^{-1}$)

Figuur 14 toont de meetpunten met de Van Genuchten-functies van twee bodemmonsters. Aanhangsel 5 bevat de Van Genuchten-functies voor alle kleine bodemmonsters. Beide bodemfysische karakteristieken zijn met behulp van het programma RETC (Drost, 1990) gelijktijdig gefit op de meetpunten. Hierbij kan men elke parameter afzonderlijk een vaste waarde geven, of laten optimaliseren. Zoals gebruikelijk bij zandgronden, is de spreiding in de waterretentiemetingen (h , θ) kleiner dan de spreiding in de doorlatendheidsmetingen (K , h). Bij de optimalisatie

is vanwege dit verschil in spreiding een wegingsfactor aan de (h, Θ) -punten gegeven die een factor 5 tot 10 groter is dan de wegingsfactor van de (K, h) -punten. Bovendien is, vanwege het verschil in nauwkeurigheid van de (K, h) -punten, aan de doorlatendheidsmetingen in het natte traject ($h > -1,00$ m) een wegingsfactor toegekend die een factor 2 lager is dan de wegingsfactor van de doorlatendheidsmetingen in het droge traject.

Aanhangsel 6 toont voor vier monsters de resultaten van de infiltratiemethode. Met deze (K, h) -punten is de knik in het natte traject van de onverzadigde doorlatendheid goed beschreven. De *verzadigde* doorlatendheid is per definitie bepaald bij een drukhoogte $h = 0$. Op de logaritmische, horizontale as is deze parameter uitgezet bij $h = -0,001$ m. In het natte traject van de $K(h)$ -functie is de onverzadigde doorlatendheid vrijwel constant. Dit is een aanwijzing dat macroporiën in de bodemmonsters ontbreken. Bij het fitten van de Van Genuchten-functies op de meetpunten is de verzadigde doorlatendheid als vaste parameter ingesteld. De porositeit (Θ_s -parameter) is geoptimaliseerd, dat wil zeggen gefit op de (h, Θ) -punten in het natte traject. Bij de meeste monsters benaderen de (h, Θ) -punten in het natte traject goed de waarde voor de porositeit die is berekend uit de textuurgegevens (aanhangsel 4). Voor alle monsters met een lage fractie leem wordt op deze wijze een goede fit van de doorlatendheidskarakteristiek op de (K, h) -punten verkregen.

De (h, Θ) -punten van de monsters met een lage fractie leem wijzen op een stoelvormige pF-curve. Dit type pF-curve wordt minder goed gefit dan de pF-curven van de monsters die kenmerkend zijn voor de gronden met een hogere fractie leem en fractie organische stof. Bij de monsters met een wat hogere fractie leem en fractie organische stof (dat zijn vooral de bovengrondmonsters) gaat een goede fit op de (h, Θ) -punten gepaard met een slechtere fit op de (K, h) -punten.

In een alternatieve werkwijze kan een evenwicht nagestreefd worden tussen de fit van beide karakteristieken op de meetpunten door de wegingsfactor (van de (h, Θ) -punten ten opzichte van de (K, h) -punten) toch op 1 te zetten en vervolgens de K_s -parameter te optimaliseren. Deze laatste benadering is toegepast op de gezamenlijke meetpunten van de zes bodemmonsters van de bovengrond en de vier grote bodemmonsters die in raai A zijn gestoken. Dit levert een soort gemiddelde bodemfysische karakteristieken voor de bovengrond, die in de modellen gebruikt zijn voor de bovengrond (Kruijne et al., 1995).

De spreiding in de bodemfysische karakteristieken van de bodemmonsters van deze onderzoekslocatie is aanzienlijk (aanhangsel 5). De belangrijkste oorzaak is de heterogeniteit van het bodemprofiel. Verder is van een aantal bodemmonsters de spreiding in de meetpunten groot, waardoor er een aantal verschillende oplossingen voor de analytische functies gevonden kunnen op basis van dezelfde meetpunten. De spreiding in de bodemfysische karakteristieken van de bodemmonsters van de onderzoekslocatie is echter minder dan de spreiding in de beschikbare gegevens die gebruikt zijn voor de bouwstenen van de Staringreeks (Wösten et al., 1994) met vergelijkbare textuur (zwak lemig zand B2, O2; sterk lemig zand O3).

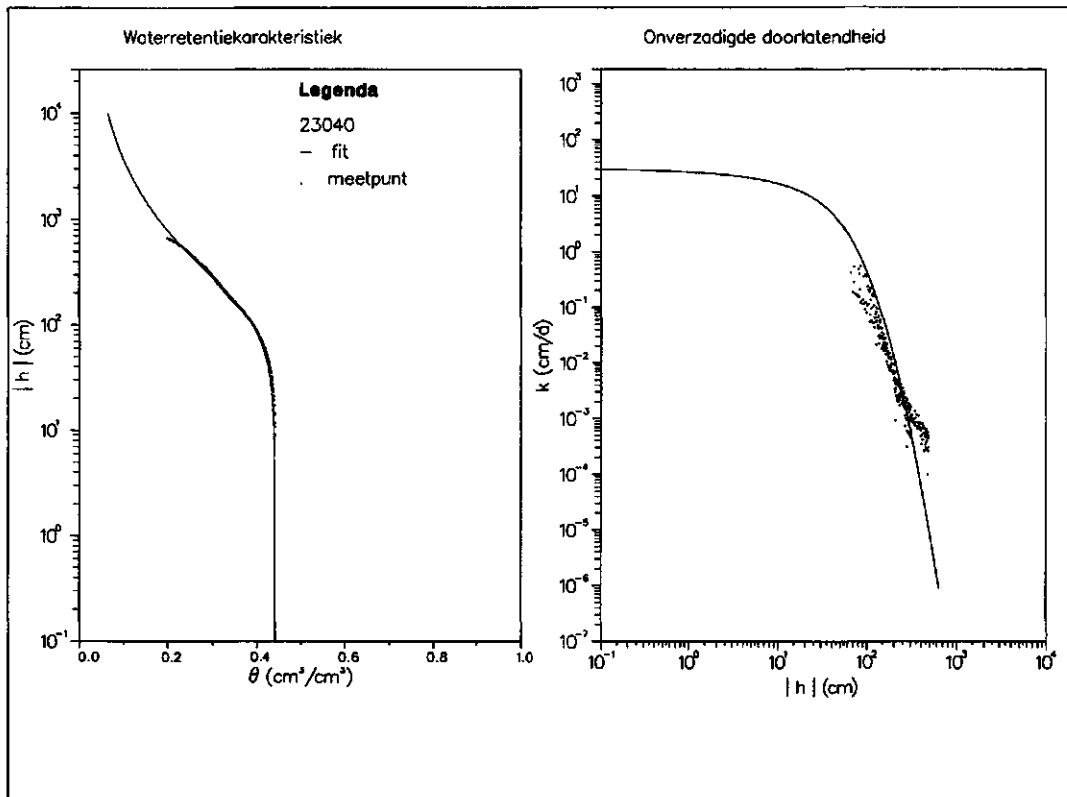
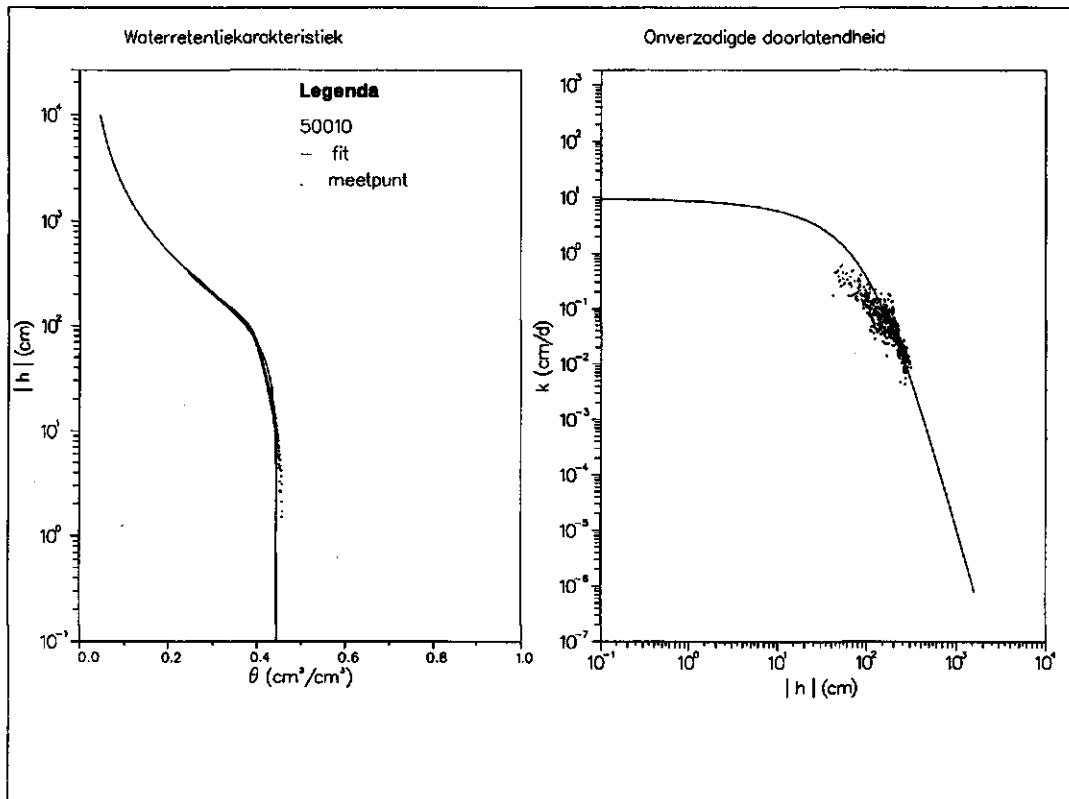


Fig. 14 Bodemfysische karakteristieken van een monster uit de bovengrond van perceel 1 (nr. 50010) en uit de verwerkte laag van perceel 2 (nr. 23040)

5 Neerslagverloop

Op 8 november 1990 is op onderzoekslocatie 1 een analoge regenmeter geplaatst, op circa 5 m van sloot 1. De neerslag is gemeten tot 12 september 1994. Aanhangsel 7 toont de dagneerslagcijfers (de neerslag gemeten tussen 8:00 uur 's ochtends en 8:00 uur 's ochtends de volgende dag) en de cumulatieve neerslag, uitgezet voor de periode van 1 januari 1990 tot 12 september 1994. In 1991, 1992 en 1993 is de jaarsom van de neerslag op onderzoekslocatie 1 respectievelijk 608 mm, 853 mm, en 851 mm (tabel 4). De verdeling van de neerslag over 1993 is onregelmatig; in de eerste helft van 1993 is slechts 222 mm neerslag gemeten. In de tweede helft zijn met name de maanden juli en oktober bijzonder nat, met een maandsom van 186 mm en 153 mm, respectievelijk.

Door technische storingen ontbreken de neerslagcijfers van een aantal perioden. De reeks neerslagcijfers van de onderzoekslocatie is voor deze perioden aangevuld met het gemiddelde neerslagcijfer van de drie KNMI-stations in de omgeving; Putten, Voorthuizen en Nijkerk. De perioden met deze aanvulling (met de betreffende hoeveelheid neerslag) zijn; augustus 1992 (138,6 mm), 4 t/m 10 januari 1993 (30,8 mm) en 18 t/m 25 juli 1993 (35,3 mm).

Tabel 4 bevat de recente jaarsommen en de normaalwaarden voor de jaarsom van deze drie KNMI-stations. Op de onderzoekslocatie is systematisch minder neerslag gemeten dan op de KNMI-stations. Zowel in 1991, 1992, als in 1993 is het gemiddelde van de jaarsom van Putten, Voorthuizen en Nijkerk 15% hoger dan de jaarsom van de onderzoekslocatie. Het verloop van de vier reeksen komt echter goed overeen.

Tabel 4 Neerslaggegevens van onderzoekslocatie 1 en de KNMI-stations Putten, Voorthuizen en Nijkerk (mm)

	onderzoekslocatie 1	Putten	Voorthuizen	Nijkerk
jaarsom 1991	608	755	700	663
jaarsom 1992	853	1015	957	910
jaarsom 1993	851	1074	977	887
1994 (t/m 12 september)	602	-	-	-
normaalwaarde 1961-1990	-	870	821	779

De digitale regenmeter is samen met een grondwaterstandsbuis aangesloten op een datalogger, die elk uur de neerslag en de grondwaterstand registreert. Informatie over duur en intensiteit van de neerslag kan meer inzicht geven in het optreden van oppervlakkige afstroming. In de periode vanaf plaatsing op 9 juni 1993 tot 18 november 1993 heeft de digitale regenmeter boven sloot 1 gestaan. Daarna is de digitale regenmeter verplaatst naar perceel 1, op circa 15 m afstand van de grondwaterstandsbuis. De neerslaghoeveelheid die met deze regenmeter is gemeten blijkt niet correct te zijn. Vergelijking van de dagneerslagsom van de digitale regenmeter (berekend uit de neerslagintensiteit; $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$) met de gegevens van de analoge regenmeter, toont een grote, niet-systematische afwijking. De dagneerslagsom gemeten met de digitale regenmeter is daarom niet gebruikt als modelinvoer.

6 Grondwaterstandsverloop

Bij het uitvoeren van de bodemkartering is op basis van de profiel- en veldkenmerken van de percelen (aanhangsel 1) de grondwatertrap (Gt) geschat. Alle percelen hebben een Gt III, met uitzondering van perceel 2, dat een Gt III* heeft. De GLG van alle percelen ligt tussen de 0,80 en 1,20 m beneden maaiveld, en de GHG van de percelen 1, 3, 4 en 5 is minder dan 0,25 m beneden maaiveld. Voor perceel 2 ligt de GHG tussen de 0,25 en 0,40 m beneden maaiveld.

De grondwaterstandsbuizen op de onderzoekslocaties zijn in eerste instantie zodanig geplaatst dat de bovenkant boven het gras uitsteekt. In het eerste seizoen (voorjaar 1991) is gebleken dat de grondwaterstandsbuizen hinder opleveren bij de bedrijfsvoering (beweiding, bemesting, etc.) en zijn op verzoek de grondwaterstandsbuizen tot op maaiveldshoogte afgezaagd. Gedurende de meetperioden hebben zich incidenteel problemen voorgedaan met beschadiging van buizen door het vee en met verstopping door de inspoeling van bodemdeeltjes. Waar nodig, zijn tijdens de meetperiode een aantal grondwaterstandsbuizen opnieuw geplaatst. Naar aanleiding van deze ervaringen zijn in mei 1993 op perceel 1 en 2 een aantal nieuwe grondwaterstandsbuizen geplaatst binnen een omheining.

Aanhangsel 8 bevat het grondwaterstandsverloop gemeten op onderzoekslocatie 1, in twee raaien in het midden van de percelen. De nummers van de grondwaterstandsbuizen zijn aangegeven in figuur 2 en 3. De gegevens van een aantal van deze buizen zijn gebruikt voor de calibratie van het een-dimensionale model SWAP93 op perceel 2 en perceel 3, en van het twee-dimensionale model MOISHE3 op perceel 1 en 2. Aanhangsel 9 toont voor een aantal dagen de grondwaterstand in raai A, perceel 1 en 2. Deze gegevens zijn gebruikt bij de calibratie van het twee-dimensionale model MOISHE3 op perceel 1 en 2 (Kruijne et al., 1995).

Omdat er hiaten zijn in de reeks grondwaterstanden in het midden van perceel 3, is voor de calibratie van het een-dimensionale model SWAP93 op de grondwaterstanden in perceel 3 (en de afvoeren van sloot 2) gebruik gemaakt van een reeks grondwaterstanden die met een regressievergelijking is berekend. Grondwaterstandsbuis 15, waarvan een vrijwel complete reeks beschikbaar is, staat in raai A onder de afrastering bij sloot 2 (figuur 2). Lineaire regressie van het peil in grondwaterstandsbuis 19, die staat in het midden van perceel 3, op het peil in grondwaterstandsbuis 15, levert de volgende vergelijking:

$$PB_{19} = 1,169 PB_{15} - 0,04804 \quad (n = 61, R^2 = 0,97) \quad (3)$$

PB_{19} = peil in grondwaterstandsbuis 19 (m-mv)

PB_{15} = idem, grondwaterstandsbuis 15 (m-mv)

Bij grondwaterstanden dieper dan 0,25 m beneden maaiveld benadert de regressielijn de meting in grondwaterstandsbuis 19 goed. Bij grondwaterstanden minder dan

0,25 m beneden maaiveld is het verschil tussen de regressielijn en de gemeten grondwaterstand vrij groot (figuur 15).

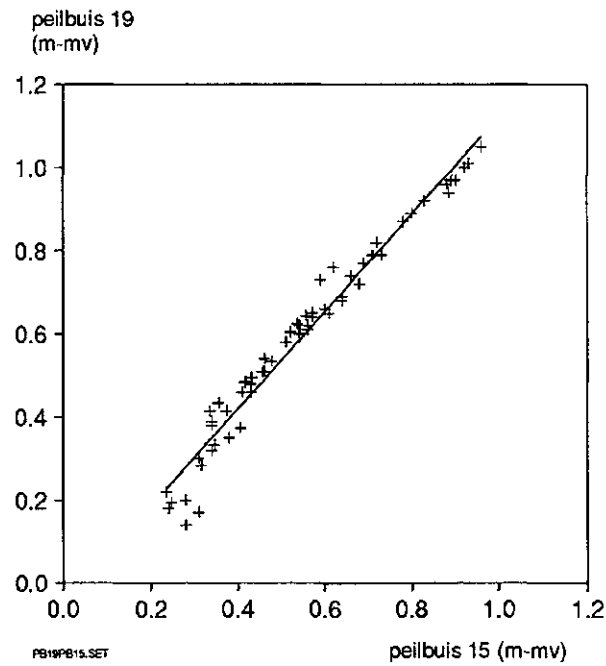


Fig. 15 Regressie van het peil in grondwaterstandsbuis 19 op het peil in grondwaterstandsbuis 15 (perceel 3, raai A)

Voor de calibratie van het een-dimensionale model SWAP93 op de grondwaterstanden in perceel 2 (en de afvoeren van sloot 1) is gebruik gemaakt van de meetreeks van grondwaterstandsbuis 10 (aanhangel 8)

7 Ontwatering van de percelen

7.1 Drainagebasis

Het maaiveld op de onderzoekslocaties wordt gekenmerkt door een gemiddelde helling van 0,25% en door een opbolling van de percelen in de richting loodrecht op de sloten. In de tabellen 5 en 6 bevat, voor een aantal punten ter hoogte van de meetsecties, het niveau van de slootbodem gegeven en de drainagebasis (de verticale afstand tussen het maaiveld in het midden van het perceel en de slootbodem). Aanhangsel 10 bevat doorsneden van perceel 1 en 2 ter hoogte van vier punten in de meetsectie van sloot 1. De drainagebasis van beide percelen die op sloot 2 ontwateren is ca. 0,6 m. De drainagebasis van het perceel ten oosten van sloot 4 is eveneens ca. 0,6 m, en de drainagebasis van het perceel ten westen van deze sloot 0,4 m. Op onderzoekslocatie 1 is de helling op het noordwestelijk deel van perceel 1 groter dan op het overige deel van de onderzoekslocatie. Dit gedeelte van perceel 1 ontwatert waarschijnlijk op de sloot ten westen van deze onderzoekslocatie. Verder is sloot 1 dieper dan beide andere meetsloten.

Voor de ontwatering betekent dit verschil in de drainagebasis van twee percelen (sloot 1 en 4), in combinatie met de richting van de horizontale gradiënt van het freatisch vlak (hoofdstuk 3), dat het grootste deel van de afvoer van de meetsloten afkomstig is van het oostelijke perceel.

Tabel 5 Het niveau van de slootbodem (m + NAP) en de drainagebasis (m) ter hoogte van een aantal punten in de meetsectie van sloot 1 en 2

	m	drainagebasis perceel 1	bodem sloot 1	drainagebasis perceel 2
meetopstelling	1	0,56	2,89	0,79
raai B	25	0,69	2,93	0,92
raai A	75	0,85	3,01	0,87
damwand II	100	0,74	3,12	0,83

	m	drainagebasis perceel 2	bodem sloot 2	drainagebasis perceel 3
meetopstelling	1	0,45	3,23	-
raai B	25	0,60	3,25	0,60
raai A	75	0,58	3,30	0,66
damwand II	100	0,56	3,29	-

Tabel 6 Het niveau van de slootbodern ($m + \text{referentie}^1$) en de drainagebasis (m) ter hoogte van een aantal punten in de meetsectie van sloot 4

	m	drainagebasis perceel 5 (west)	bodem sloot 4	drainagebasis perceel 4 (oost)
meetopstelling	1	-	-	-
raai B	25	0,39	1,27	0,67
raai A	75	0,43	1,29	0,48

1) bovenkant damwand = 2,00 m

7.2 Ontwaterend oppervlak

Om de gemeten afvoervolumen bij het calibreren van de modellen te vergelijken met de berekende afvoeren (Kruijne et al., 1995), dient een schatting te worden gemaakt van het ontwaterend oppervlak van de meetsloten. Op basis van de afmetingen van de percelen en de maaiveldgegevens is het ontwaterend oppervlak van sloot 3 en 4 geschat op respectievelijk 3,4 en 0,68 ha. Door verschillen in de drainagebasis en door de verschillen tussen de meetsloten en de sloten langs de grenzen van de proefpercelen (dwarsdoorsnede, bodemdiepte), is het ontwaterend oppervlak van sloot 1 en 2 afzonderlijk moeilijk te schatten. Een schatting voor het totale ontwaterend oppervlak van deze beide sloten valt wel te maken. Op sloot 1 en 2 gezamenlijk draineert 2,0 ha van de proefpercelen 1, 2 en 3. Op sloot 3, een verzamelsloot, draineert $3,4 - 2,0 = 1,4$ ha van de percelen ten noorden van de onderzoekslocatie.

In de tweede helft van 1992 is tijdens de bouw van een woonhuis op een deel van het oostelijke perceel van onderzoekslocatie 2 de ontwateringssituatie ingrijpend gewijzigd. Na voltooiing van de bouw is de oude situatie niet meer hersteld. Het is niet mogelijk om het effect van deze wijzigingen op de meetresultaten vast te stellen.

8 Fosfaattoestand van de percelen

De fosfaattoestand van de percelen laat zich goed beschrijven aan de hand van de mate waarin de capaciteit van de bodem om fosfaat te binden reeds verbruikt is (fosfaatverzadigingstoestand), het deel van het fosfaat dat reversibel gebonden is en nog kan gaan uitspoelen (desorbeerbaar fosfaat) en de fosfaatconcentraties in het bodemvocht.

8.1 Fosfaatverzadigingstoestand

De capaciteit van de bodem om fosfaat te binden hangt in kalkloze zandgronden af van het gehalte aan amorfe Al- en Fe-(hydr)oxyden. Deze (hydr)oxyden kunnen uit de bodem geëxtraheerd worden met een oxalaatoplossing (Schwertmann, 1964). Maximaal 50% van het in de bodem beschikbare Al_{ox} en Fe_{ox} kan reageren met fosfaat. Gedefinieerd worden het totaal fosfaatbindend vermogen, de fosfaatverzadigingsgraad en de fosfaatbezettingsfractie;

$$FBV_t = 0,355 (Al_{ox} + Fe_{ox}) z \rho \quad (4)$$

$$FVG = \frac{100 P_{act}}{FBV_t} \quad (5)$$

$$FBF = \frac{P_{ox}}{Al_{ox} + Fe_{ox}} \quad (6)$$

met;

FBV_t	= totaal fosfaatbindend vermogen	($kg \cdot ha^{-1} P_2O_5$)
FVG	= fosfaatverzadigingsgraad	(%)
FBF	= fosfaatbezettingsfractie	(-)
z	= laagdikte	(m)
ρ	= droge bulkdichtheid	($kg \cdot m^{-3}$)
P_{act}	= actueel fosfaatgehalte	($kg \cdot ha^{-1} P_2O_5$)
P_{ox}	= oxalaat extraheerbaar fosfaat	($mmol \cdot kg^{-1}$)
Al_{ox}	= oxalaat extraheerbaar aluminium	($mmol \cdot kg^{-1}$)
Fe_{ox}	= oxalaat extraheerbaar ijzer	($mmol \cdot kg^{-1}$)

Medio 1990 zijn op 5 locaties per perceel (figuur 2, 3) de gehalten P_{ox} , Al_{ox} en Fe_{ox} bepaald. In de bodemlaag van 0 tot 0,40 m diepte is de dikte van de bemonsteringslagen 0,05 m, en in de bodemlaag van 0,40 tot 1,20 m diepte is de dikte van de bemonsteringslagen 0,10 m. De perceelsgemiddelde gehalten en de fosfaatbezettingsfractie zijn in aanhangsel 11 opgenomen. Door kwelsituaties komen

plaatselijk ijzerrijke lagen voor in de verwerkte (AC-)horizont op onderzoekslocatie 1 (perceel 1, 2 en 3) en in de bouwvoor op onderzoekslocatie 2 (perceel 4 en 5). Deze lagen bevatten relatief veel fosfaat dat met de kwel is aangevoerd en dus van nature aanwezig is. Hoge fosfaatgehalten worden in perceel 1 tot op grotere diepte aangetroffen dan in perceel 2 en 3 (aanhangel 11). Dit komt waarschijnlijk doordat perceel 1 is gediëpploegd tot 0,8 m. De spreiding in de perceelsgemiddelde gehalten is in perceel 1 het grootst. Het profiel van de fosfaatbezettingsfractie is voor perceel 2 en 3 min of meer gelijk (figuur 16). Deze twee percelen zijn in de jaren '50 geëgaliseerd tot een diepte van 0,5 à 0,6 m. Op deze percelen is de bouwvoor dieper en beter ontwikkeld dan op perceel 1. Het gemiddelde fosfaatgehalte in de bovengrond (tot 0,6 m diepte) van onderzoekslocatie 1 en 2 is respectievelijk 12,2 en 9,5 t.ha⁻¹ P₂O₅. De fosfaatverzadigingsgraad van de percelen bedraagt voor perceel 1 t/m 5 respectievelijk 88, 71, 71, 34 en 39%. Deze waarden zijn berekend tot aan de gemiddelde hoogste grondwaterstand (0,30 m beneden maaiveld), conform de definitie van een fosfaatverzadigde grond (Van der Zee et al., 1990a en 1990b).

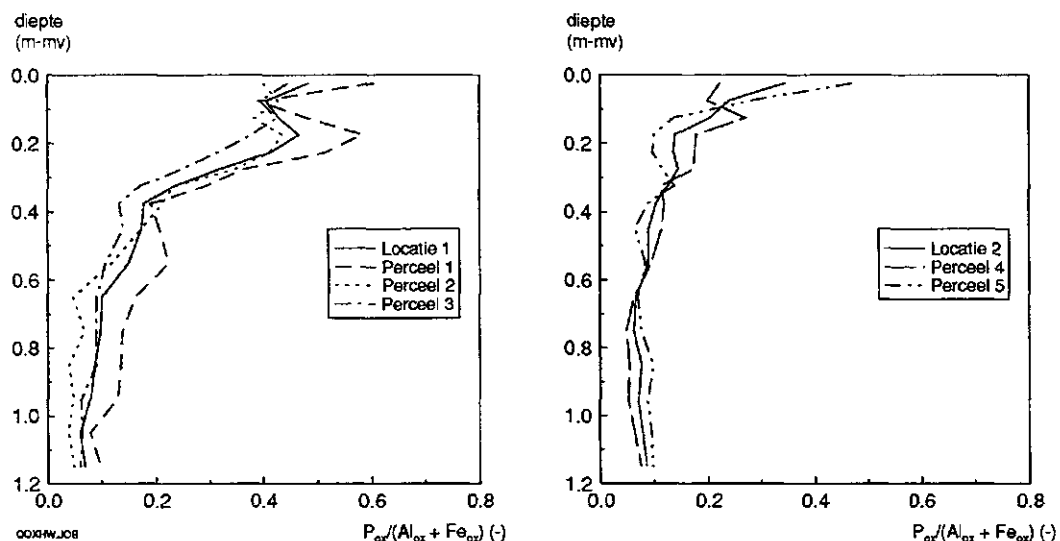


Fig. 16 Gemiddelde fosfaatbezettingsfracties van de onderzoekslocaties en de afzonderlijke percelen (-)

8.2 Desorbeerbaar fosfaat

Voor elk perceel is één boring geselecteerd om te bepalen welk deel van het fosfaat in de bovengrond (0 - 0,6 m) desorbeerbaar is. Figuur 17 bevat de gemiddelde hoeveelheid desorbeerbaar fosfaat voor drie percelen op onderzoekslocatie 1 en twee percelen op onderzoekslocatie 2. De gemiddelde hoeveelheid desorbeerbaar fosfaat in de bovengrond (0 - 0,6 m) van onderzoekslocatie 1 en 2 bedraagt respectievelijk 4,3 en 1,7 t.ha⁻¹ P₂O₅. Uitgaande van een gemiddelde fosfaatuitspoelingsconcentratie in het bodemvocht van 2 mg.l⁻¹ en een jaarlijks netto neerslagoverschot van 250 mm,

leidt dit tot een periode met verhoogde fosfaatuitspoeling van ongeveer 375 jaar op onderzoekslocatie 1 en ongeveer 150 jaar op onderzoekslocatie 2.

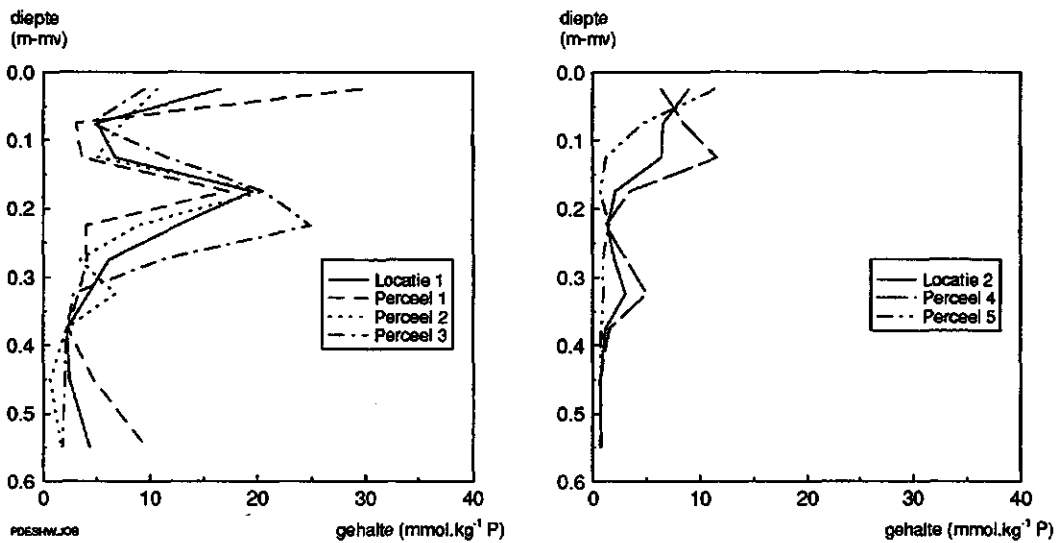


Fig. 17 Gemiddeld gehalte desorbeerbaar fosfaat van de onderzoekslocaties en de afzonderlijke percelen ($\text{mmol.kg}^{-1} \text{P}$)

8.3 Fosfaatophoping

8.3.1 Voor de meetperiode

De percelen op onderzoekslocatie 1 zijn altijd beweide geweest. Tot 1965 is er vaste mest toegediend, en tot 1970 is er kunstmestfosfaat toegediend. Informatie uit een bemestingsadvies voor perceel 1, dat in 1956 is opgesteld, geeft aan dat de fosfaattoestand van deze percelen altijd hoog is geweest. Dit advies luidt als volgt; toediening van 250 kg superfosfaat op een deel van het perceel met $P_{\text{citroen}} = 54$, en 100 kg op een deel van het perceel met $P_{\text{citroen}} = 75$. In 1965 is er gestart met de intensieve veehouderij. De bouw van een pluimveestal is gevolgd door de bouw van een varkensstal in 1976, en een tweede pluimveestal in 1979. Vanaf 1987 is in principe driemaal per jaar mest uitgereden, in februari/maart, in mei/juni, en in oktober. Het betreft hier varkensmest en droge kippenmest. De mestgiften in de periode tot 1987 worden verondersteld lineair toe te nemen. De mest wordt vanaf 1987 uitgereden volgens de regels in de Mestwetgeving.

De hoeveelheid fosfaat die aan het bodemcomplex is gebonden (berekend voor de laag tot 0,60 m diepte) bedraagt in de percelen 1, 2 en 3 respectievelijk 12,9, 13,0 en 12,8 $\text{t.ha}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$. Op onderzoekslocatie 2 bedraagt deze hoeveelheid in perceel 4 en 5, respectievelijk 13,6 en 6,5 $\text{t.ha}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$. Op perceel 1 is ook in de laag van 0,6

tot 1,2 m diepte een aanzienlijke hoeveelheid fosfaat aan het bodemcomplex gebonden, namelijk $2,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$.

8.3.2 Tijdens de meetperiode

Tijdens de meetperiode is een fosfaatbemesting van $110 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ gegeven in de vorm van varkensdrijfmest. Voor grasland is dat een jaarlijkse gift gelijk aan de gewasopname à $110 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$. In 1991 en 1992 is het volume drijfmest dat nodig is voor deze gift, berekend uit standaardgegevens over fosfaatgehalten in varkensdrijfmest (IKC, 1995). In 1993 en 1994 zijn analyses uitgevoerd van monsters uit de mestilo op het bedrijf waar onderzoekslocatie 1 toe behoort. De fosfaatconcentraties in deze drijfmestmonsters fluctueren sterk in de tijd (van 5 tot $150 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{ P}$), doordat de monsters qua samenstelling variëren van een dunne oplossing tot een dikke substantie. Deze variatie is mogelijk doordat zwaardere deeltjes in de drijfmest tijdens opslag in de silo naar beneden zakken, en doordat zonder menging vooraf de mest wordt afgepompt die bovenin de silo drijft.

9 Fosfaatconcentraties in het bodemvocht

De fosfaatconcentraties in het bodemvocht zijn in de regel bepaald door middel van bodemvochtonttrekking via poreuse cups. Omdat deze methode niet toepasbaar is in de toplaag, waar zich hoge zuigspanningen in het bodemvocht kunnen voordoen, zijn eenmalig bodemmonsters gestoken met het oogmerk om de fosfaatconcentraties in de toplaag te bepalen.

9.1 Bodemvochtonttrekking

Om de fosfaatconcentratie in het bodemvocht te kunnen meten, zijn cups in de bodem geplaatst waaraan onder vacuüm het bodemvocht kan worden onttrokken. Deze cups zijn geplaatst op 0,20, 0,30, 0,40, 0,60, 0,70 en 0,90 m diepte, in eerste instantie in twee raaien op 1, 7 en 15 m afstand aan weerszijden van sloot 2 en 4 (figuur 2 en 3). Met deze opstelling zijn er op beide onderzoekslocaties zeven bemonsteringsronden uitgevoerd. In tweede instantie zijn in perceel 1 cups bijgeplaatst, en vanaf maart 1992 zijn er op onderzoekslocatie 1 nog dertien bemonsteringsronden en op onderzoekslocatie 2 nog vijf bemonsteringsronden uitgevoerd (aanhangel 12). Ondanks het grote aantal bemonsteringsronden zijn er geen grote concentratieveranderingen in de tijd geconstateerd, omdat het tijdstip van bemonstering niet is afgestemd op het tijdstip van bemesting. Wel is bij een aantal percelen geconstateerd dat de concentratie orthofosfaat in de bovengrond op kleine afstand tot de sloot lager is dan op grote afstand (aanhangel 13). Uit de gegevens blijkt tevens dat het verloop met de diepte van de fosfaatconcentratie (figuur 18,

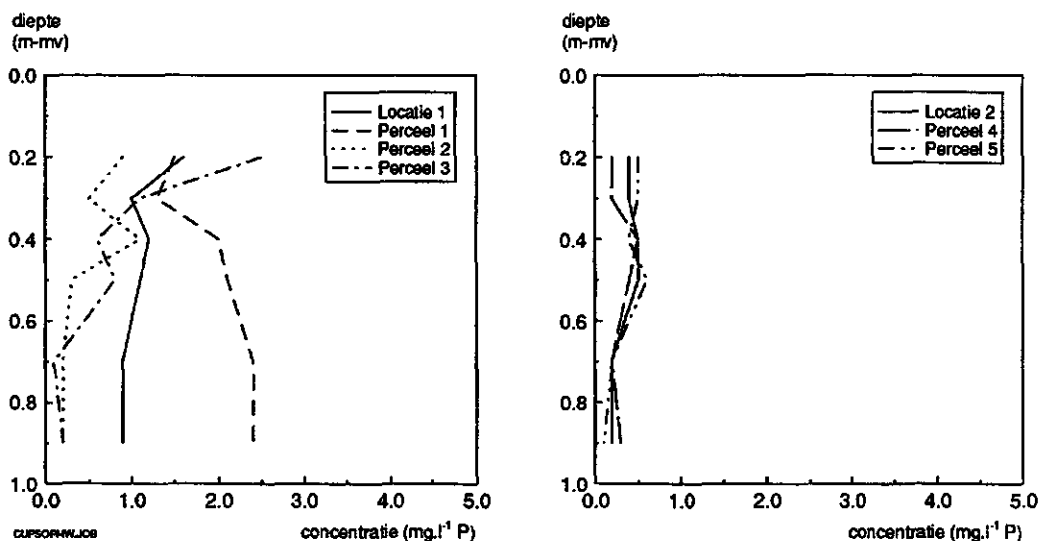


Fig. 18 Gemiddelde concentratie orthofosfaat in het bodemvocht, van de onderzoekslocaties en de afzonderlijke percelen (mg.l⁻¹ P)

aanhangsel 13) overeenkomt met het verloop van de fosfaatbezettingsfractie (figuur 16, aanhangsel 11) en de hoeveelheid desorbeerbaar fosfaat (figuur 17).

9.2 Bemonstering

Eind maart 1991, na bemesting met ongeveer $110 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$, zijn bodemmonsters gestoken in drie raaien aan weerszijden van de sloten, op dezelfde afstanden als de cups. De bemonsteringslagen zijn 0 - 0,02 m, 0,02 - 0,10 m, 0,10 - 0,20 m en 0,20 - 0,40 m beneden maaiveld. Het bodemvocht is in het laboratorium afgecentrifugeerd. Figuur 19 geeft een overzicht van de gemiddelde concentraties orthofosfaat (na bemesting), als functie van de afstand tot de sloot. Van der Zee et al. (1990a) vinden in een volledig met fosfaat verzadigde bouwvoor een fosfaatconcentratie van $93 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{ P}$. De hier gemeten fosfaatconcentraties in de toplaag (0 - 0,02 m) zijn maximaal $15 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{ P}$ en dat is lager dan op grond van deze literatuurgegevens verwacht mag worden. De fosfaatconcentratie in de vloeibare mest die is uitgereden bedraagt ongeveer $53 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{ P}$. Het is mogelijk dat een deel van het opgeloste fosfaat aan het maaiveld is geprecipiteerd ten gevolge van een daling van de pH (de mestoplossing heeft een $\text{pH} = 8,3$ en de bodemoplossing een $\text{pH-KCl} = 5,5$), of dat er ondanks de hoge fosfaatverzadigingsgraad toch nog wat fosfaat adsorbeert.

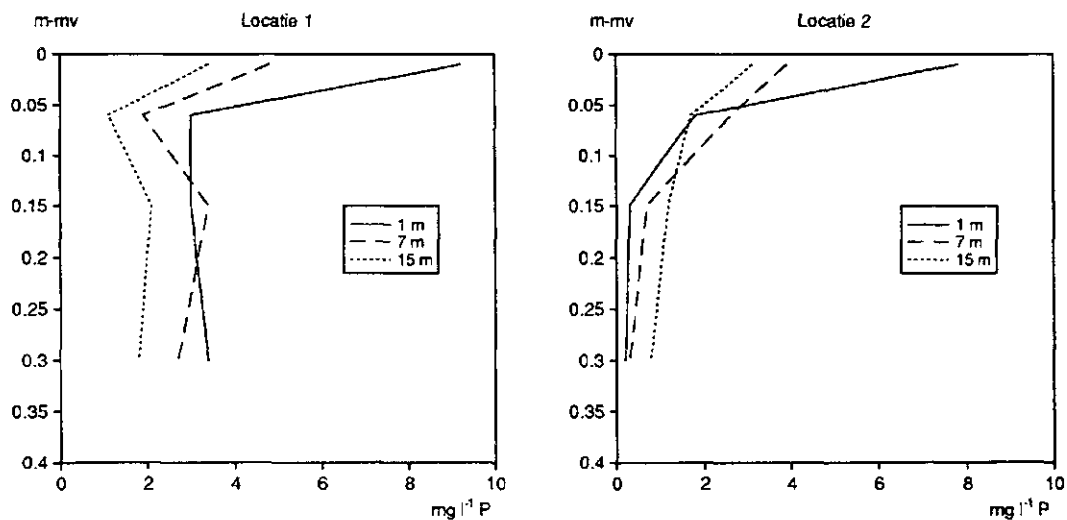


Fig. 19 Gemiddelde concentratie orthofosfaat in de bovengrond, op drie afstanden van de sloot, van de onderzoekslocaties ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{ P}$)

10 Water- en fosfaatafvoer van de percelen

10.1 Waterafvoer

10.1.1 Meetsloten en verzamelsloot

De afvoermeters van de vier meetsloten zijn wekelijks afgelezen en op nul gezet bij het verwisselen van de flesjes in de bemonsteringsapparaten. Figuur 20 toont de cumulatieve afvoer van meetsloten 1, 2 (onderzoekslocatie 1) en 4 (onderzoekslocatie 2), en van verzamelsloot 3.

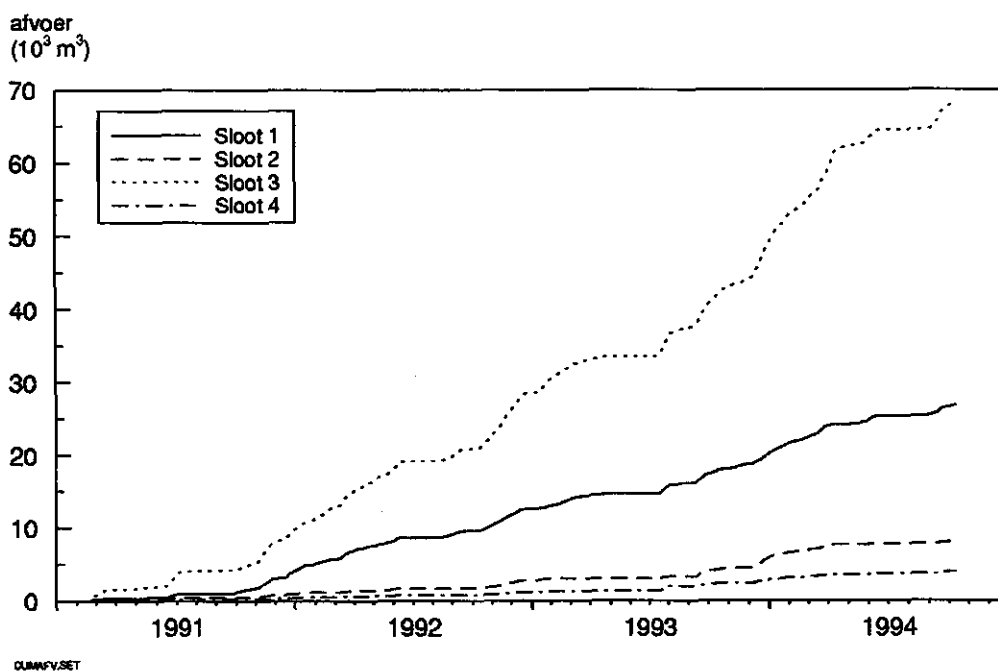


Fig. 20 Cumulatief afvoervolume van meetsloot 1 en 2, verzamelsloot 3 (onderzoekslocatie 1), en meetsloot 4 (onderzoekslocatie 2)

Sloot 2 en 4 voeren in dezelfde periode water. De drainagebasis van deze sloten is ondiep in vergelijking met sloot 1 en 3 (hoofdstuk 9). De periode waarin deze ondiepe sloten water afvoeren is korter. Alleen bij hoge grondwaterstanden voeren alle meetsloten water. De cumulatieve afvoer van sloot 1 is inclusief de drainafvoer. In perioden met hoge grondwaterstanden bevat de afvoer van sloot 1 een component die direct via het ondiepe grondwater naar de sloot stroomt, en een component die naar de drain stroomt en door bemaling via het reservoir in de sloot wordt geloosd.

10.1.2 Drain

Drainafvoer treedt op wanneer de drukhoogte in de drain stijgt boven het niveau van de uitstroomopening van de standpijp (2,79 m + NAP). De drainafvoer is geloosd in de meetsectie van sloot 1, waar een maximum slootpeil van ca. 3,17 m + NAP is ingesteld (figuur 5). Het volume drainafvoer is niet gemeten zoals dat bij de meetsloten en de verzamelsloot is gedaan. Om een indruk te krijgen van de drainafvoer, kan het debiet van de drain berekend worden uit de gemeten vulsnelheid van het reservoir. In figuur 21 zijn de resultaten van een aantal van deze bepalingen uitgezet tegen de drukhoogte in de drain.

Om verstopping door aangroei van ijzerafzettingen te voorkomen, is de leiding aan de uitstroomzijde van de pomp regelmatig schoongemaakt. Om dit werk te vereenvoudigen zijn de vaste leidingstukken vervangen door een flexibele leiding. Op 14 maart 1994 is tevens de drainagebasis van de drain verhoogd door de standpijp 0,2 m te verlengen. De metingen in figuur 21 zijn in de periode vóór deze aanpassing uitgevoerd.

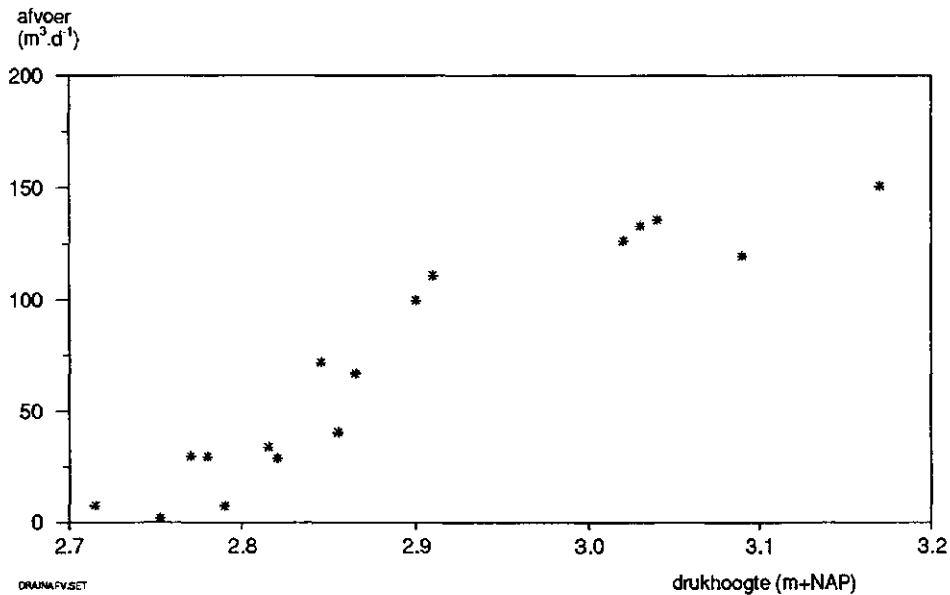


Fig. 21 Het debiet van de diepe drain uitgezet tegen de drukhoogte in de drain

Bij drukhoogten in de drain van 3,0 m + NAP treden debieten op van 120 m³.d⁻¹. Bij deze waarde van de drukhoogte is de grondwaterstand boven de drain 0,45 m beneden maaiveld, en is de grondwaterstand in het midden van perceel 1 en 2 respectievelijk 0,7 en 0,5 m beneden maaiveld. Bij drukhoogten in de drain van 3,17 m + NAP treden debieten op van 150 m³.d⁻¹. Bij deze waarde van de drukhoogte is de grondwaterstand boven de drain 0,3 m beneden maaiveld, en is de grondwaterstand in het midden van perceel 1 en 2 respectievelijk 0,5 en 0,2 m beneden maaiveld. Bij nog grotere drukhoogten in de drain kan het debiet van de drain de capaciteit van de pomp overtreffen. De pomp werkt dan continue en het waterpeil in het reservoir (dat in deze situatie gelijk is aan de drukhoogte in de drain) stijgt totdat een evenwicht is bereikt met de grondwaterstand boven de drain.

Wanneer deze waarden voor het gemeten debiet van de drain van 120 tot $150 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ worden vergeleken met waarden voor het debiet van de sloot van 28 tot $58 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ (berekend uit de slootafvoer die in dezelfde week is geregistreerd), dan is het duidelijk dat een deel van het water dat in de sloot wordt geloosd via de drain binnen het perceel kan gaan circuleren. Wanneer het maximum slootpeil wordt overschreden dan zal de rest van dit drainwater, aangevuld met de ontwatering van de percelen, via de meetsloot tot afvoer komen. Van zo'n situatie is sprake bij opbolling van het grondwater, dat wil zeggen als de grondwaterstand in het midden van de percelen stijgt boven het ingesteld slootpeil. Met een gemiddelde helling van het maaiveld in het gebied van $0,25\%$ en een verschil in maaiveldshoogte tussen het midden en de rand van de percelen, dat varieert van $0,1$ tot $0,3 \text{ m}$ (aanhangel 10), kan opbolling van het grondwater snel optreden. Met name in de natte periode van medio 1993 tot medio 1994 is dit het geval geweest. Dit is duidelijk te zien aan het verloop van de grondwaterstand in perceel 1 (raai A, op 20 m afstand van sloot 1) en het slootpeil (figuur 22).

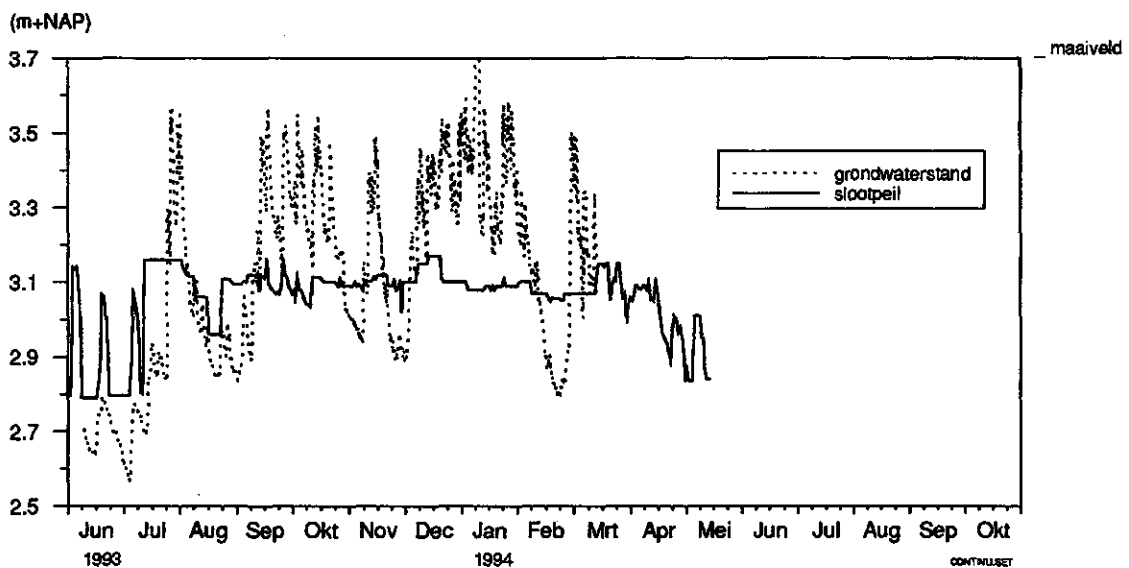


Fig. 22 Grondwaterstandsverloop in perceel 1 (maaiveld op $3,70 \text{ m} + \text{NAP}$) en het peil in sloot 1

10.2 Fosfaatafvoer

De afvoer van de drie meetsloten en de verzamelsloot is van 22 februari 1991 tot 10 oktober 1994 debietproportioneel bemonsterd. De drainafvoer is tot en met 1993 debietproportioneel bemonsterd en daarna is er wekelijks een steekmonster van de drainafvoer genomen. De flesjes in de bemonsteringsapparaten van de vier meetsloten en de drain zijn wekelijks verzameld. Het gebruikte type bemonsteringsapparaat bevat 24 flesjes. In elk flesje kan een slootwatermonster bewaard worden, dat bestaat uit een mengsel van acht deelmonsters. Van alle slootwatermonsters (2376 in totaal)

is de concentratie orthofosfaat bepaald. Aanhangsel 14 bevat de frequentieverdeling van de fosfaatconcentraties van deze monsters.

Aanhangsel 15 bevat de weekgemiddelde concentraties van de slootafvoer en de drainafvoer, uitgezet tegen de tijd. Voor de calibratie van ANIMO (Kruijne et al., 1995) is de fosfaatvrucht van de meetsloten berekend als het product van deze weekgemiddelde concentratie orthofosfaat en het wekelijks afvoervolume.

10.2.1 Meetsloten en verzamelsloot

De cumulatieve fosfaatvrucht van meetsloot 1, 2 en 4 en van verzamelsloot 3 is uitgezet in figuur 23. De tweede helft van 1993 is zeer nat geweest en in deze periode is ongeveer evenveel fosfaatafvoer gemeten als in de periode daarvoor (vanaf 22 februari 1991). Ook in de eerste helft van 1994 zijn de fosfaatvruchten hoog.

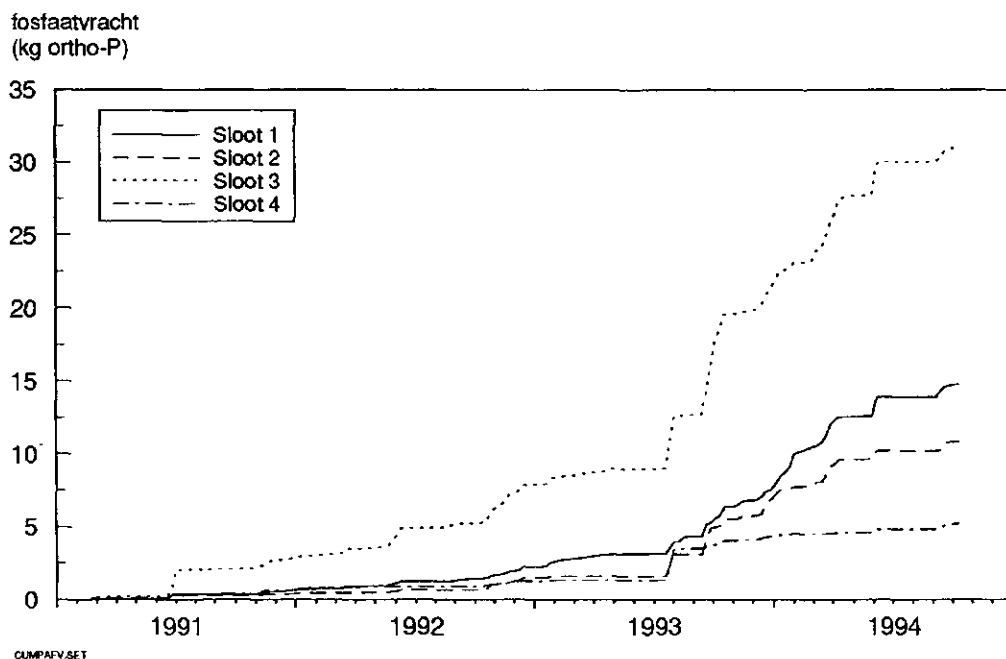


Fig. 23 Cumulatieve fosfaatvrucht in meetsloot 1 en 2, verzamelsloot 3 (onderzoekslocatie 1), en meetsloot 4 (onderzoekslocatie 2)

Voor de drie meetsloten en de verzamelsloot zijn de gemiddelde fosfaatuitspoelingsconcentraties berekend uit de cumulatieve afvoer en de weekgemiddelde concentraties orthofosfaat (tabel 7). Over de gehele meetperiode is de gemiddelde fosfaatuitspoelingsconcentratie van sloot 1 een factor 2,5 lager dan die van sloot 2. Voor sloot 3 is de gemiddelde fosfaatuitspoelingsconcentratie wat lager dan voor sloot 1, wat betekent dat het effect van de hogere fosfaatuitspoeling naar sloot 1 en 2 door verdunning is verdwenen. Van de cumulatieve afvoer van sloot 3 is 45% afkomstig uit perceel 1, 2 en 3, en de rest uit de percelen ten noorden van de onderzoekslocatie. Over de gehele meetperiode is de gemiddelde

fosfaatuitspoelingsconcentratie van sloot 2 lager dan van sloot 4. Dit is in tegenstelling tot wat op grond van de fosfaatverzadigingsgraad van de percelen verwacht mag worden; de fosfaatverzadigingsgraad van perceel 2 en 3 bedraagt 71% en de fosfaatverzadigingsgraad van perceel 4 en 5 bedraagt 34 en 39% (paragraaf 5.1). Een mogelijke verklaring voor de hogere gemiddelde fosfaatuitspoelingsconcentratie van sloot 4 ten opzichte van sloot 2 zijn de hoge fosfaat- en ijzergehalten die in het westelijke perceel op onderzoekslocatie 2 op diverse monsterpunten en -diepten zijn aangetroffen. Dit fosfaat en ijzer is aangevoerd met kwelwater. In deze monsterpunten komen hoge fosfaatconcentraties in de bodemoplossing voor. Dit verschijnsel is ook waargenomen op één van de bemestingsplots op onderzoekslocatie 1 (Boersbroek, 1992). Dit kan erop duiden dat ook vanuit ijzerrijke gronden hoge fosfaatuitspoeling verwacht mag worden, ondanks dat het fosfaatbindend vermogen relatief hoog is.

De gemiddelde fosfaatuitspoelingsconcentraties zijn ook voor een aantal deelperioden berekend. Binnen de meetperiode zijn drie deelperioden onderscheiden; 1) de periode vóór invoering van de hydrologische maatregel, 2) de periode vanaf invoering van de hydrologische maatregel tot medio 1993, en 3) de periode van medio 1993 tot medio 1994 (tabel 7). De derde deelperiode onderscheidt zich door een hogere gemiddelde grondwaterstand van de voorafgaande deelperioden. De berekende grondwaterstand in perceel 2 is voor de drie deelperioden gemiddeld 0,81, 0,76 en 0,62 m beneden maaiveld, respectievelijk (Kruijne et al., 1995). Het afvoervolume is in de periode voor invoering van de hydrologische maatregel (deelperiode 1) erg laag.

Voor sloot 2 is de gemiddelde fosfaatuitspoelingsconcentratie van de periode voor invoering van de hydrologische maatregel (deelperiode 1) lager dan daarna (deelperiode 2 en 3). Voor sloot 1 is uit de gemiddelde fosfaatuitspoelingsconcentraties van de deelperioden geen duidelijk effect van de hydrologische maatregel af te leiden. Dit heeft een aantal oorzaken:

- Het geringe volume slootafvoer in de periode voor invoering van de hydrologische maatregel (deelperiode 1);
- Met ingang van de hydrologische maatregel (vanaf deelperiode 2) maakt de drainafvoer deel uit van het bemonsterd volume slootafvoer. De fosfaatconcentratie in de afvoer van sloot 1 is het resultaat van de hoge fosfaatconcentraties van deze ondiepe afvoer en de lage fosfaatconcentraties van de drainafvoer;
- De helling van de percelen en de bolling van het maaiveld (aanhangel 10) leiden ertoe dat het aandeel van de ondiepe afvoer tijdens natte perioden (deelperiode 3) stijgt.

Voor sloot 4 is de fosfaatuitspoelingsconcentratie in de periode voor invoering van de hydrologische maatregel juist hoger dan na invoering van de hydrologische maatregel. De wijziging in de ontwateringssituatie die op onderzoekslocatie 2 is opgetreden (hoofdstuk 9), bemoeilijkt de interpretatie van de gemiddelde fosfaatuitspoelingsconcentraties van sloot 4. Gegeven de grote heterogeniteit van de bodem en deze onvoorziene wijziging in de ontwateringssituatie is het zwaartepunt in de meetactiviteiten tijdens de meetperiode naar onderzoekslocatie 1 verschoven,

en is de huidige situatie (nulsituatie) gecalibreerd op de ontwatering van de percelen naar sloot 2 (Kruijne et al., 1995).

Over de gehele meetperiode is de fosfaatuitspoelingsconcentratie van sloot 1 gelijk aan 0,48 mg.l⁻¹ P. Dit is een reductie van 62% ten opzichte van het gemiddelde van de meetsloten die niet zijn beïnvloed door de aanleg van de hydrologische maatregel (het gemiddelde van de fosfaatuitspoelingsconcentratie van sloot 2 en 4 bedraagt 1,27 mg.l⁻¹ P).

Tabel 7 Cumulatieve afvoer, fosfaatvracht, en gemiddelde fosfaatuitspoelingsconcentratie van vier sloten, voor de gehele meetperiode (19 februari 1991 t/m 10 oktober 1994) en drie deelperioden¹⁾

sloot	deel-periode	afvoer	fosfaat-vracht	gemiddelde concentratie
		10 ³ m ³	kg ortho-P	mg.l ⁻¹ ortho-P
1		22,00	10,60	0,48
2		7,42	9,02	1,22
3		66,01	29,56	0,45
4		3,95	5,17	1,31
1	1	0,72	0,15	0,21
2	1	0,40	0,27	0,68
3	1	2,99	1,48	0,49
4	1	0,21	0,40	1,94
1	2	11,77	2,32	0,20
2	2	2,42	1,16	0,48
3	2	29,54	6,88	0,23
4	2	1,15	0,94	0,82
1	3	8,08	7,28	0,90
2	3	4,23	6,96	1,65
3	3	29,50	20,13	0,68
4	3	2,31	3,47	1,50

1) deelperioden;

1: 19 februari 1991 t/m 21 augustus 1991

2: 21 augustus 1991 t/m 30 juni 1993

3: 1 juli 1993 t/m 31 juli 1994

10.2.2 Concentraties in de drainafvoer

Voor de gehele meetperiode is de gemiddelde concentratie orthofosfaat van de drainafvoer 0,14 mg.l⁻¹ P ($s = 0,09$ mg.l⁻¹ P; $n = 98$). Tot mei 1992 is tevens de concentratie totaalfosfaat bepaald. In de periode bedraagt de concentratie orthofosfaat 84% van de concentratie totaalfosfaat, wat voor de gehele meetperiode neerkomt op een gemiddelde concentratie totaalfosfaat van de drainafvoer à 0,17 mg.l⁻¹ P. Deze concentratie is wat hoger dan de kwaliteitsnorm die voor het oppervlaktewater geldt (0,15 mg.l⁻¹ totaal P). De fosfaatconcentraties in de drainafvoer fluctueren niet met

de weersomstandigheden, zoals dat bij de fosfaatconcentraties in de meetsloten het geval is. Met deze fosfaatconcentraties in de drainafvoer is de werking van de hydrologische maatregel in principe aangetoond.

Er is een stijgende trend in de fosfaatconcentraties van de drainafvoer geconstateerd; voor deelperiode 1 (van augustus 1991 tot eind juni 1993) is de gemiddelde concentratie $0,12 \text{ mg.l}^{-1}$ ortho-P ($s = 0,07 \text{ mg.l}^{-1}$ P; $n = 75$), en voor deelperiode 2 (van 1 juli 1993 tot 10 augustus 1994) $0,22 \text{ mg.l}^{-1}$ ortho-P ($s = 0,11 \text{ mg.l}^{-1}$ P; $n = 23$). Met modelberekeningen kan deze trend in de fosfaatconcentratie van de drainafvoer niet verklaard worden (Kruijne et al., 1995). Een mogelijke verklaring is het optreden van preferente stroming in de ondergrond. In deze preferente stroombanen kan sprake zijn van versneld opladen van het adsorptiecomplex met fosfaat, waardoor de evenwichtsconcentratie in deze stroombanen stijgt.

10.2.3 Concentraties orthofosfaat en totaalfosfaat

Tot medio 1992 is van een gedeelte van de monsters tevens de concentratie totaalfosfaat bepaald. Voor de monsters waarvan beide concentraties zijn bepaald, is de gemiddelde verhouding tussen de concentratie orthofosfaat en totaalfosfaat berekend. Over de gehele meetperiode varieert deze verhouding voor de drie meetsloten en de verzamelsloot van 0,83 tot 0,89 (tabel 8). De gemiddelde verhouding tussen beide concentraties is vóór invoering van de hydrologische maatregel (deelperiode 1) wat lager geweest dan tijdens de rest van de meetperiode. Dit kan worden toegeschreven aan de invoering van evenwichtsbemesting na een langdurige periode van overbemesting, waardoor de hoeveelheid organisch fosfaat in oplossing is gaan dalen.

10.3 Schatting van ontbrekende meetcijfers

De fosfaatuitspoelingsconcentraties in tabel 7 zijn berekend uit de *gemeten* afvoercijfers en concentraties orthofosfaat. In de cumulatieve afvoer en de cumulatieve fosfaatvracht zijn tevens een aantal schattingen voor de afvoer en de weekgemiddelde concentraties orthofosfaat verwerkt. Van de cumulatieve afvoer van sloot 1 t/m 4 (figuur 20) is respectievelijk 18, 8, 4, en 0% geschat, of gemeten in een week waarvan de concentratiegegevens ontbreken. De cumulatieve afvoer en de cumulatieve fosfaatvracht zijn gebruikt voor de calibratie van SWAP93 en de fosfaatmodule van ANIMO (Kruijne et al., 1995). De oorzaken voor het ontbreken van meetgegevens zijn vorst, stroomuitval, schade of storingen aan bemonsteringsapparatuur of afvoermeter, of stuwning aan de kant benedenstrooms van het meetslot. Stuwning is regelmatig opgetreden in de verzamelsloot en op zo'n moment is de afvoermeting van sloot 1 niet betrouwbaar. Een schatting voor de slootafvoer kan in de meeste situaties gebaseerd worden op de afvoercijfers van de andere meetsloten. De schatting die gebruikt is voor de weekgemiddelde fosfaatconcentratie is het gemiddelde van de concentraties die voor en na het betreffende tijdstip zijn gemeten.

Tabel 8 Gemiddelde concentraties orthofosfaat en totaalfosfaat van de monsters uit vier sloten, voor de gehele meetperiode (19 februari 1991 t/m 10 oktober 1994) en drie deelperioden¹⁾ (standaardafwijking tussen haakjes).

sloot	deel-periode	ortho-P	totaal P	ortho-P	n
		mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	totaal P -	
1		0.31 (0.50)	0.39 (0.61)	0.89 (0.81)	306
2		0.83 (0.93)	0.98 (1.02)	0.83 (0.25)	102
3		0.33 (0.46)	0.41 (0.53)	0.86 (0.55)	180
4		1.01 (1.11)	1.17 (1.28)	0.85 (0.15)	112
1	1	0.26 (0.46)	0.41 (0.59)	0.60 (0.25)	102
2	1	0.65 (0.77)	0.86 (0.85)	0.68 (0.26)	44
3	1	0.18 (0.28)	0.28 (0.38)	0.73 (0.54)	39
4	1	2.02 (1.44)	2.41 (1.67)	0.82 (0.14)	30
1	2	0.09 (0.08)	0.10 (0.06)	1.08 (1.08)	154
1	2	0.24 (0.13)	0.25 (0.14)	0.96 (0.19)	35
1	2	0.15 (0.20)	0.18 (0.21)	0.82 (0.47)	65
1	2	1.04 (0.72)	1.13 (0.74)	0.90 (0.18)	40
1	3	1.09 (0.58)	1.28 (0.67)	0.88 (0.12)	50
2	3	2.07 (0.76)	2.30 (0.82)	0.91 (0.09)	23
3	3	0.57 (0.58)	0.67 (0.65)	0.96 (0.59)	76
4	3	0.26 (0.08)	0.32 (0.10)	0.83 (0.11)	42

1) deelperioden;

1: 19 februari 1991 t/m 21 augustus 1991

2: 21 augustus 1991 t/m 30 juni 1993

3: 1 juli 1993 t/m 31 juli 1994

11 Conclusies

In het kader van het onderzoek naar maatregelen ter vermindering van de fosfaatsuitleiding (Schoumans en Kruijne, 1995), zijn de water- en fosfaathuishouding van de percelen en de afvoer en fosfaatvracht van de perceelssloten gemeten. Omdat bij een van de perceelssloten gedurende een groot deel van de meetperiode de fosfaatsuitleiding is beïnvloed door de werking van de hydrologische maatregel, is tevens het effect van deze maatregel geëvalueerd. De conclusies hebben betrekking op de bodemgesteldheid, waterhuishouding en fosfaathuishouding op de onderzoekslocaties, en op het effect van de hydrologische maatregel.

bodemgesteldheid

Mede op basis van de resultaten van een bodemkartering is vastgesteld dat de geselecteerde onderzoekslocaties representatief zijn voor de natte, fosfaatverzadigde beekerd- en beekvaaggronden in het Schuitenbeekgebied (grondwatertrap III, III*). Op beide onderzoekslocaties is de bodem sterk heterogeen. Deze heterogeniteit is ontstaan door het diep ploegen of door het egaliseren van de percelen. Op onderzoekslocatie 2 is de heterogeniteit in de bodemprofielen deels van nature aanwezig, als gevolg van het plaatselijk voorkomen van ijzerrijke lagen, welke ontstaan zijn door aanvoer van ijzerrijk kwelwater.

waterhuishouding

Op de onderzoekslocatie is het optreden van kwel vastgesteld. Deze kwelsituatie doet zich gedurende het hele jaar voor. De stromingsrichting van het grondwater in het eerste watervoerende pakket is noordwestelijk. De grootte van de horizontale gradiënt in het freatisch vlak is gemiddeld 0,29%.

De verzadigde doorlatendheid van de bodem neemt toe met de diepte en de porositeit en bulkdichtheid nemen af met de diepte. Op grond van deze gegevens wordt het optreden van een schijngrondwaterspiegel in de bovengrond onwaarschijnlijk geacht.

De spreiding in de bodemfysische karakteristieken van de bodemmonsters van de onderzoekslocatie is kleiner dan de spreiding in de bouwstenen die ontleend kunnen worden aan de Staringreeks.

Op de onderzoekslocatie is met een geijkte regenmeter systematisch minder neerslag gemeten dan het gemiddelde van de neerslagmetingen van drie KNMI-stations in de directe omgeving.

De richting van de horizontale gradiënt van het freatisch vlak en een verschil in drainagebasis van de ontwaterende percelen leiden ertoe, dat het grootste deel van de afvoer van de meetsloten afkomstig is van het oostelijke perceel.

fosfaathuishouding

Het gemiddelde fosfaatgehalte in de bovengrond (0 - 0,6 m) van onderzoekslocatie 1 en 2 is respectievelijk 12,2 en 9,5 t.ha⁻¹ P₂O₅. De fosfaatverzadigingsgraad van de drie percelen op onderzoekslocatie 1 bedraagt 88, 71 en 71% en van de twee percelen op onderzoekslocatie 2 respectievelijk 34 en 39%, waardoor al deze percelen als 'fosfaatverzadigd' zijn te beschouwen (> 25%).

De ijzerrijke lagen die plaatselijk in het bodemprofiel voorkomen, bevatten relatief veel fosfaat dat met ijzerrijke kwel is aangevoerd. Door diep ploegen en egalisatie worden hoge fosfaatgehalten tot op grotere diepte aangetroffen.

Bij een aantal percelen is geconstateerd dat de ortho-fosfaatconcentratie in de bovengrond op kleine afstand tot de sloot lager is dan op grote afstand.

slootafvoer met en zonder hydrologische maatregel

De cumulatieve afvoer van twee perceelssloten, die niet beïnvloed zijn door de aanleg van de hydrologische maatregel, bedraagt over de gehele meetperiode (van 19 februari 1991 tot 10 oktober 1994) 7420 en 3950 m³. De cumulatieve fosfaatvrucht van deze meetsloten bedraagt 9,02 en 5,17 kg ortho-P, wat een gemiddelde fosfaatconcentratie in de sloot oplevert van 1,22 en 1,31 mg.l⁻¹ ortho-P.

In een periode die relatief nat is kan de gemiddelde fosfaatconcentratie in deze perceelssloten een factor 2 à 3 hoger zijn dan in een periode die droger is (grondwaterstand gemiddeld ca. 0,15 cm lager).

In de sloot waar de hydrologische maatregel is aangelegd is in de periode voor invoering van deze maatregel slechts 720 m³ afvoer gemeten. In de periode na invoering is 21 380 m³ afvoer gemeten. Uit de gemiddelde fosfaatconcentraties in de perioden vóór en ná invoering van de hydrologische maatregel is geen duidelijk effect van deze hydrologische maatregel af te leiden. De oorzaken zijn;

- het geringe afvoervolume in de periode voor invoering van deze maatregel,
- de helling van de percelen en de bolling van het maaiveld,
- de uitvoering van de maatregel, waarbij de gemeten afvoer bestaat uit een component die direct via het ondiepe grondwater naar de sloot stroomt, en een component die naar de diepe drain stroomt en via bemaling in de sloot is geloosd.

De gemiddelde fosfaatconcentratie in de sloot bedraagt over de gehele meetperiode 0,48 mg.l⁻¹ ortho-P, wat een reductie is van 62% ten opzichte van de gemiddelde fosfaatconcentratie van de twee perceelssloten die niet beïnvloed zijn door aanleg van de hydrologische maatregel en waar de fosfaatverzadigingsgraad van de omliggende percelen lager is.

Voor de gehele meetperiode bedraagt de gemiddelde fosfaatconcentratie van de drainafvoer 0,14 mg.l⁻¹ ortho-P (standaardafwijking 0,09 mg.l⁻¹ ortho-P), wat neerkomt op 0,17 mg.l⁻¹ totaal P. Deze concentratie is weinig hoger dan de kwaliteitsnorm die voor het oppervlaktewater geldt (0,15 mg.l⁻¹ totaal P).

Met de lage concentratie in de drainafvoer is de werking van de hydrologische maatregel aangetoond. Er is een stijgende trend in de fosfaatconcentraties van de drainafvoer geconstateerd.

Samenvattend wordt op grond van veldmetingen geconcludeerd dat het mogelijk is om de fosfaatuitspoeling uit fosfaatverzadigde landbouwgronden aanzienlijk te reduceren.

Literatuur

Boels, D., J.B.H.M. van Gils, G.J. Veerman and K.E. Wit, 1987. 'Theory and systems of automatic determination of soil moisture characteristics and unsaturated hydraulic conductivities.' *Soil Science* 126, 4: 191-199.

Breeuwsma, A., J.G.A. Reyerink, O.F. Schoumans, D.J. Brus en H. van het Loo, 1989. Fosfaatbelasting van bodem, grond- en oppervlaktewater in het stroomgebied van de Schuitenbeek. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 10.

Houtman, H., 1985. *Grondwaterkaart van Nederland. Amersfoort-Oost. Kaartblad 32 Oost*. DGV-TNO, Delft,

IKC, 1995. *Adviesbasis voor de bemesting van grasland en voedergewassen*. Lelystad, Informatie en Kennis Centrum Veehouderij. Publicatie nr. 44.

Jeurissen, L.J.J., 1993. *Verkenning van mogelijke waterbeheersmaatregelen ter vermindering van de fosfaatsuitleiding uit landbouwgronden met modelberekeningen*. Wageningen, Staring Centrum, Rapport 285.

Kruijne, R., J.G. Wesseling en O.F. Schoumans, 1995. *Onderzoek naar maatregelen ter vermindering van de fosfaatsuitleiding uit landbouwgronden. Deel 4: Ontwikkeling en toepassing van een- en twee-dimensionale modellen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 374.4.

Mualem, Y., 1976. 'A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media.' *Water Resources Research* 12: 513-441.

Schoumans, O.F., 1995. *Beschrijving en validatie van de procesformulering van de abiotische fosfaatreacties in kalkloze zandgronden*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 381.

Schoumans, O.F. en R. Kruijne, 1995. *Onderzoek naar maatregelen ter vermindering van de fosfaatsuitleiding uit landbouwgronden. Eindrapport*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 374.

Schoumans, O.F. en L. Köhlerberg, 1995. *Onderzoek naar maatregelen ter vermindering van de fosfaatsuitleiding uit landbouwgronden. Deel 2: Mogelijkheden van toediening van aluminium- en ijzerverbindingen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 374.2.

Schwertmann, U., 1964. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraction mit Amminiumoxalat-Lösung. *Z. Pflanzenern., Düngung u. Bodenk.* 105: 194-202.

Stolte, J., J.I. Freijer, W. Bouten, C. Dirksen, J.M. Halbertsma, J.C. van Dam, J.A. van den Berg, G.J. Veerman, en J.H.M. Wösten, 1994. 'Comparison of six methods to determine unsaturated soil hydraulic conductivity.' *Soil Sci. Soc. Am. Journal* 58: 1596-1603.

Stolte, J. en G.J. Veerman, 1990. *Vergelijking van de verdampingsmethode, korstenmethode en hangende waterkolom voor de bepaling van doorlatendheids- en waterretentiekarakteristieken*. Wageningen, Staring Centrum, Rapport 74.

Van der Zee, S.E.A.T.M., W.H. van Riemsdijk en F.A.M. de Haan, 1990a. *Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel I : Toelichting*. Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding, Landbouwniversiteit Wageningen.

Van der Zee, S.E.A.T.M., W.H. van Riemsdijk en F.A.M. de Haan, 1990b. *Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel II : Technische uitwerking*. Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding, Landbouwniversiteit Wageningen.

Van Genuchten, M.Th., 1978, 'A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils.' *Soil Sci. Soc. Am. Journal* 44: 892-898.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman en J. Stolte, 1994. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*. Wageningen, Staring Centrum, Technisch Document 18.

Niet-gepubliceerde bronnen

Boersbroek, R.F.J., 1993. *Effect van fosfaatbemesting op de fosfaatuitspoeling uit een fosfaatverzadigde grond*. Stageverslag IAH-Larenstein

Drost, J.J.P., 1990. *RETC 2.0 - Een gebruikershandleiding bij een niet-lineair optimalisatieprogramma van bodemfysische parameters*. Wageningen, Staring Centrum, Interne mededeling 99.

GMN, 1992. *Een nieuw evenwicht - Rapport van de stuurgroep Grondwaterbeheer Midden Nederland - Deelrapport hydrologie en geochemie*. Lelystad.

Jeurissen, L.J.J., en O.F. Schoumans., 1990. *Selectie van onderzoekslocaties ten behoeve van het project 'Vermindering van de fosfaatuitspoeling uit landbouwgronden'*. Wageningen, Staring Centrum, Notitie.

Pankow, J., A van den Toorn, O.M. Hooyer en C.W.J. Roest, 1995. *Erfafvoeren Schuitembeekstroomgebied. Veldonderzoek 1993 - 1994*. Wageningen, Staring Centrum, Interne mededeling 349.

Peeters, J., 1994. *Berekeningen van de regionale grondwaterstroming rondom "De Hoef" met behulp van het model SIMGRO*. Wageningen, Staring Centrum, Interne mededeling 283.

Reinen, M., 1994. *Vaststellen van het effect van de hoogte van fosfaatbemesting op de mate van fosfaatsuitspoeling uit een sterk fosfaatverzadigde grond*. Stageverslag IAH-Larenstein.

Aanhangsel 1 Profielbeschrijvingen van de onderzoekslocaties

Toelichting bij de tabellen.

perceels- en locatienummers:

perceel 1, 2, 3 onderzoekslocatie 1 (figuur 1)

perceel 4, 5 onderzoekslocatie 2 (figuur 3)

subgroepcode:

5k vlakvaag Zn 21/23

4k beekeerd pZg 23

4i gooreerd pZn 23

4d broekeerd VW 2

fk4 ijzer-beekeerd fpZg 23

2r veldpodzol pZn 21

veensoort:

vv verslagen veensoort, detritus

va zandig veen

ov overige veensoorten

lutum: fractie van de minerale delen < 2 μm

leem: fractie van de minerale delen < 50 μm

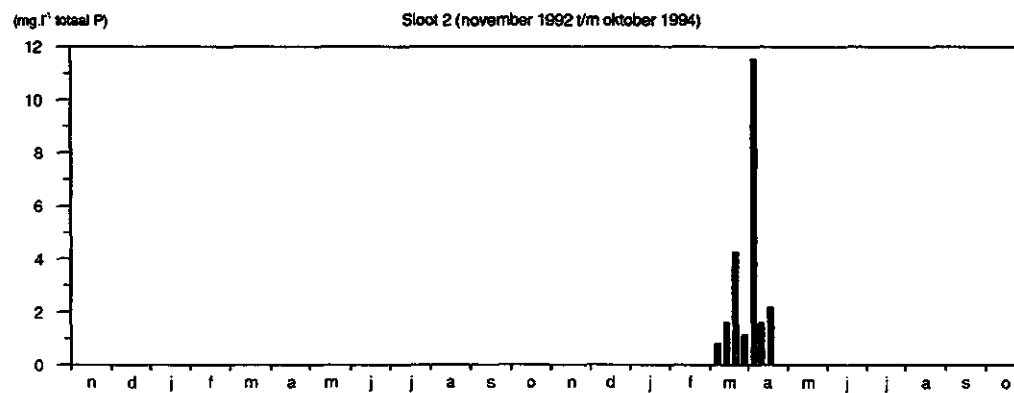
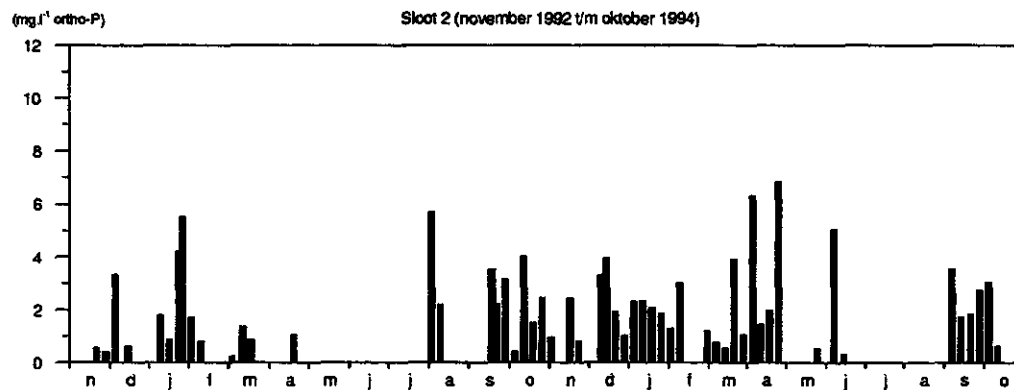
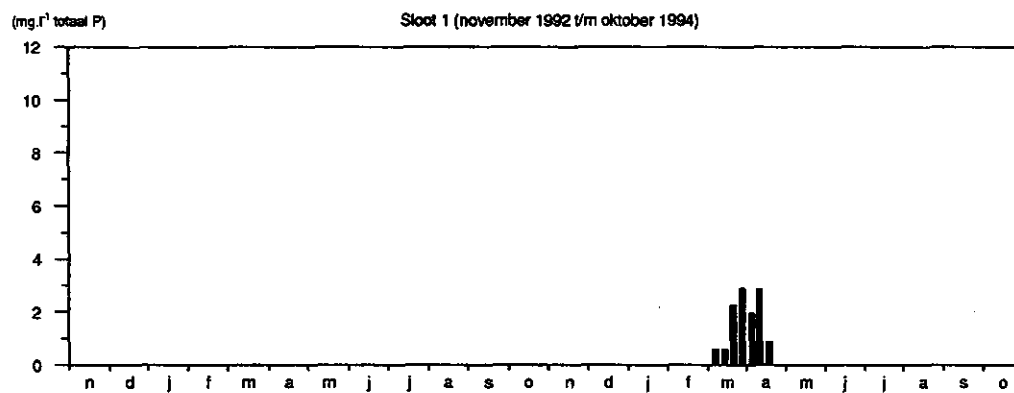
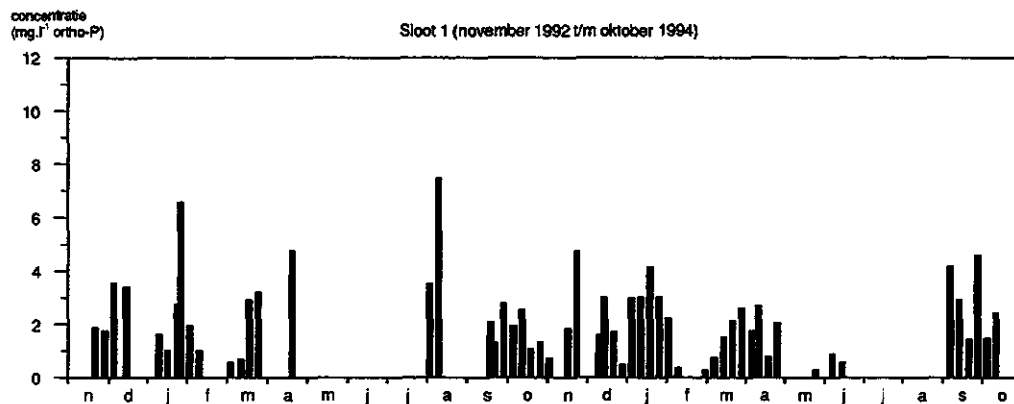
locatie, perceel	subgroep-code	horizont-code	laagdiepte	organische stof	veen-soort	lutum	leem	M50	GT	GHG	GLG	bewortelbare diepte
			m	%		%	%	-		m	m	m
2, 6	4k	Ap	0,00	0,25	4,0		16	135	III*	0,30	1,10	0,55
		A/Cg	0,25	0,45	4,0		22	135				
		A/Cg	0,45	0,55	1,0		11	145				
		Cg1	0,55	0,65	0,2	12	60					
		Cg2	0,65	0,90	0,1		6	220				
		Cg3	0,90	1,05	1,2		6	220				
		Cr	1,05	1,20	6,0		6	180				
		A/Cp8	0,00	0,25	3,0		18	135	III*	0,30	1,15	0,50
		A/Cg	0,25	0,50	4,0		25	135				
		Cg1	0,50	0,85	0,1		8	135				
2, 7	5k	Cg2	0,85	0,95	4,0		60					
		Cgr	0,95	1,15	35,0 vv							
		Cr	1,15	1,20	4,0		6	170				
		Aap	0,00	0,30	3,0		14	135	III*	0,35	1,20	0,70
		A/C	0,30	0,70	4,0		19	135				
		Ce	0,70	1,05	0,1		6	145				
		Cgr	1,05	1,10	0,1		5	1000				
		Cgr	1,10	1,20	16,0 vv		6	190				
		Aapg	0,00	0,25	4,0		14	145	III	0,20	1,00	0,45
		Aag	0,25	0,45	4,0		23	135				
2, 9	c4k	Cg	0,45	0,80	0,1		6	170				
		Cgr	0,80	1,00	10,0		20	120				
		Cr	1,00	1,20	10,0		6	180				
		Apg	0,00	0,25	4,0		20	135	III	0,20	1,00	0,65
		A/Cg	0,25	0,65	2,0		14	135				
		Cg	0,65	0,85	0,1		6	180				
		Cgr	0,85	1,00	0,8		6	180				
		Cr	1,00	1,20	0,8		6	180				

locatie, perceel	subgroep-code	horizont-code	laagdiepte		organische stof		veen-soort	lutum	leem		M50	GT	GHG	GLG	beoordeelbare diepte	
			m	m	%	m			%	%					m	m
3, 11	c4k	Apq	0,00	0,15	4,0			24	130	III		0,10	0,85		0,35	
		ACg	0,15	0,35	2,5			20	145							
		Cg	0,35	0,75	0,1			6	220							
		Cgr	0,75	0,85	10,0			25	165							
		Cr	0,85	1,20	4,0			6	185							
3, 12	c4k	Apq	0,00	0,25	3,0			19	130	III		0,10	0,85		0,40	
		Aug	0,25	0,40	2,5			19	130							
		Cg	0,40	0,70	0,1			6	200							
		Cgr	0,70	0,85	0,1			6	185							
		Cr	0,85	1,20	0,1			6	220							
3, 13	(S)4k	A/Cpg	0,00	0,35	3,5			22	135	III		0,15	1,10		0,35	
		Cgc	0,35	0,45	0,1			14	140							
		Cgc	0,45	0,55	0,2	16		60								
		Cg	0,55	0,85	0,1			5	250							
		Cgr	0,85	1,10	12,0			6	220							
		Cr	1,10	1,20	0,1			6	220							
		Apq	0,00	0,25	7,0			22	140	III		0,10	0,90		0,55	
		A/Cg	0,25	0,55	3,0			22	140							
		Cg	0,55	0,70	0,1			6	150							
		Cgr	0,70	0,90	0,1			5	500							
3, 14	4k	Cr	0,90	1,05	20,0 vv											
		Cr	1,05	1,20	0,1			6	220							
		Apq	0,00	0,25	6,0			22	135	III		0,10	1,00		0,45	
		A/Cg	0,25	0,45	3,0			28	135							
		Cg1	0,45	0,60	0,1			12	145							
		Cg2	0,60	0,85	0,1			8	190							
		Cgr	0,85	1,00	12,0			10	55							
3, 15	4k	Cr	1,00	1,20	5,0			8	220							

locatie, perceel	subgroep-code	horizont-code	laagdiepte		organische stof		veen-soort	lutum	leem	M50	GT	GHG		GLG		bewortelbare diepte	
			m	m	%	%						m	m	m	m		
4, 1 4d		Ap _g	0,00	0,29	4,0				24	130	III	0,10	1,00			0,40	
		Cg ₁	0,29	0,42	25,0												
		Cg ₂	0,42	0,51	1,0				45	110							
		Cg ₃	0,51	0,60	0,1				5	400							
4, 2 f4k		Cg ₄	0,60	1,00	0,1			5	250								
		Cg _r	1,00	1,20	0,1			5	250								
		Ap _g	0,00	0,16	5,0				23	135	III	0,10	1,00				0,40
		A/Cgc1	0,16	0,25	0,8				18	140							
		Cgc2	0,25	0,38	0,2				45	110							
		Cg	0,38	1,00	0,1				6	250							
4, 3 f4k		Cg(r)	1,00	1,20	0,1			6	200								
		A/Cpgr	0,00	0,16	2,5				20	135	III	0,10	1,00				0,30
		Ag	0,16	0,31	4,0				24	135							
		Cg ₁	0,31	0,33	18,0	va											
		Cg ₂	0,33	0,41	0,4				45	110							
		Cg ₃	0,41	0,75	0,1				6	160							
4, 4 f4k		Cg _r	0,75	1,00	0,1			6	190								
		Cr	1,00	1,20	0,1			6	210								
		A(C)gc	0,00	0,25	4,0				21	155	III	0,10	1,00				0,40
		A/Cgc	0,25	0,40	3,0				21	155							
		Cg	0,40	1,00	0,1				8	200							
		Cg _r	1,00	1,20	13,0				20	190							
4, 5 f4k		A(C)pgc	0,00	0,15	4,0				22	130	III	0,05	0,95				0,35
		A(C)gc1	0,15	0,30	0,5			14	45	130							
		A(C)gc2	0,30	0,35	3,0			14	45	130							
		Cgc	0,35	0,62	0,1				25	145							
		Cg	0,62	0,95	0,1				6	200							
		Cr	0,95	1,20	0,1				6	250							

locatie, perceel	subgroep-code	horizont-code	laagdiepte		organische stof		veen-soort	lutum	leem	M50	GT	GHG		GLG		bevoorleerbare diepte	
			m	m	%	%						m	m	m	m	m	m
5, 6 4k		Aapg	0,00	0,25	4,0				20	140	III	0,05	0,95				0,40
		Aag	0,25	0,40	4,0				20	140							
		A(C)g	0,40	0,60	3,0				20	140							
		Cg	0,60	0,92	0,1				6	250							
		Cr	0,92	1,20	0,1				5	500							
5, 7 5k		Apq	0,00	0,10	4,0				20	145	III	0,05	0,90				0,45
		A/Cg1	0,10	0,20	2,5				20	145							
		A/Cg	0,20	0,45	0,6	8			35	135							
		Cg1	0,45	0,62	0,1	8			30	135							
		Cg2	0,62	0,90	0,1				6	230							
5, 8 2r		Cr	0,90	1,20	1,0				6	190							
		Apq	0,00	0,10	8,0				22	135	III	0,10	1,00				0,25
		A/Cg	0,10	0,24	3,0				22	135							
		Eb	0,24	0,36	0,3				8	190							
		Bheb	0,36	0,60	3,0				20	155							
5, 9 5k		Bceb	0,60	0,80	0,7				6	500							
		Cgr	0,80	1,00	0,1				6	220							
		Cr1	1,00	1,20	0,1				6	180							
		Apq	0,00	0,10	7,0				23	130	III	0,10	1,10				0,45
		A/Cpg	0,10	0,25	2,0				16	140							
5, 10 4i		A/Cg	0,25	0,45	1,0				16	140							
		Cg	0,45	0,80	0,1				8	140							
		Cgr	0,80	1,10	0,1				5	230							
		Cr	1,10	1,20	0,1				12	155							
		Apq	0,00	0,22	7,0				23	145	III	0,15	1,05				0,35
	A/C	0,22	0,37	2,0				15	145								
	BCe	0,37	0,55	0,6				8	155								
	Ce	0,55	0,90	0,1				8	155								
	Cgr	0,90	1,05	0,1				8	145								
	Cr	1,05	1,20	0,2				8	145								

Aanhangsel 2 Fosfaatconcentratie in de erfafvoer van twee sloten



Aanhangsel 3 Resultaten van de bepalingen van de verzadigde waterdoorlatendheid

code ¹	monster-	monster-ring ²	diepte	K	onnauwkeurigheid	
			m	m.d ⁻¹	%	m.d ⁻¹
10313	1	1	0,08	0,050	16	0,008
12535V	1	1	0,30	0,388	24	0,091
12535H	1	1	0,30	0,085	13	0,011
14858	1	1	0,43	1,070	12	0,131
20010	2	1	0,05	0,080	18	0,015
20523	2	2	0,14	0,072	11	0,008
21525	2	1	0,20	0,933	10	0,093
23040	2	1	0,35	0,310	10	0,030
23048	2	2	0,39	0,216	13	0,029
25060W	2	1	0,55	1,339	10	0,139
25060O	2	1	0,55	2,046	10	0,224
26575H	2	1	0,70	1,527	10	0,151
30010N	3	1	0,05	0,309	10	0,030
30010Z	3	1	0,05	0,096	19	0,018
31525Z	3	1	0,20	0,085	10	0,008
31525N	3	1	0,20	1,127	10	0,108
33040Z	3	1	0,35	0,650	10	0,065
40010	4	1	0,05	0,057	26	0,015
42535	4	1	0,30	2,071	14	0,282
44353	4	1	0,48	0,770	13	0,097
50010	5	1	0,05	0,097	22	0,021
50020	5	2	0,10	0,114	20	0,022
53040	5	1	0,35	0,553	22	0,122
53050	5	2	0,40	0,099	18	0,017
57585	5	1	0,80	0,250	12	0,029
60212	6	1	0,07	0,339	12	0,040
62030	6	1	0,25	0,264	12	0,033
63444	6	1	0,39	0,204	13	0,027
66070	6	1	0,65	0,215	13	0,028

1 cijfercode 1: profielkuil; 2, 3: bovenkant monster (cm-mv); 4, 5: onderkant (cm-mv)

2 volume monsterring type 1 = 667 cm³, type 2 = 5851 cm³

Aanhangsel 4 Resultaten van de textuuranalyse van de bodemmonsters

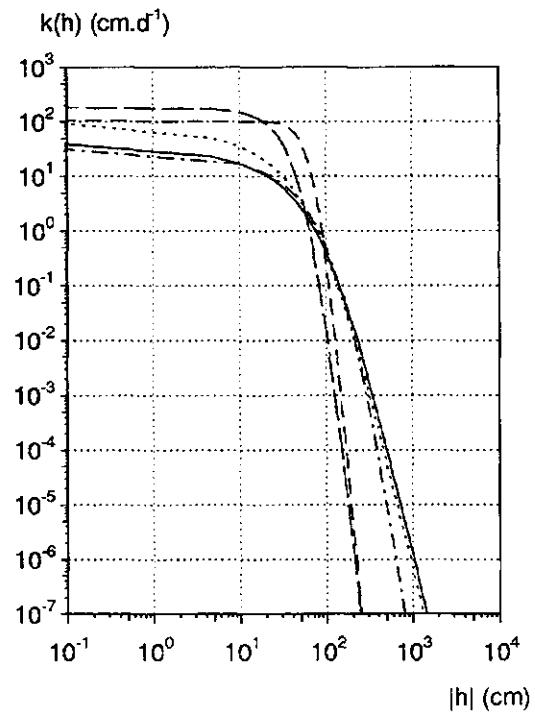
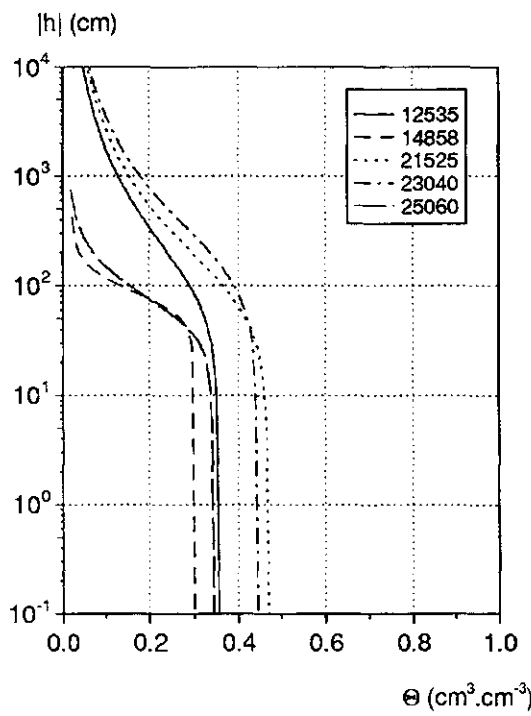
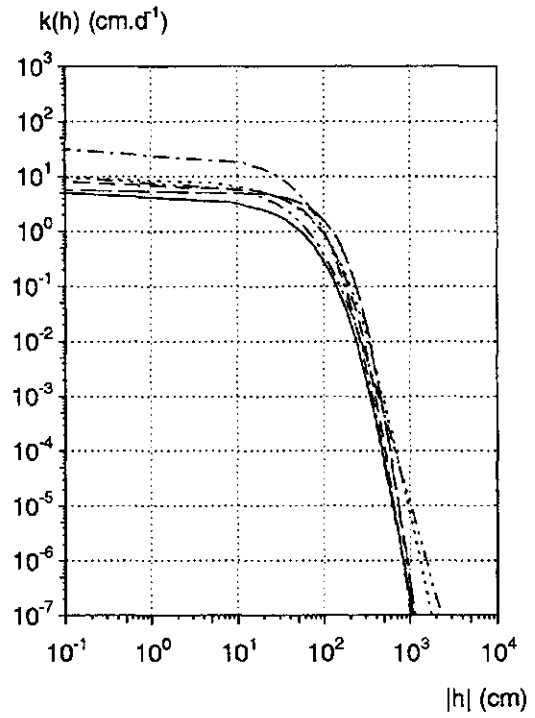
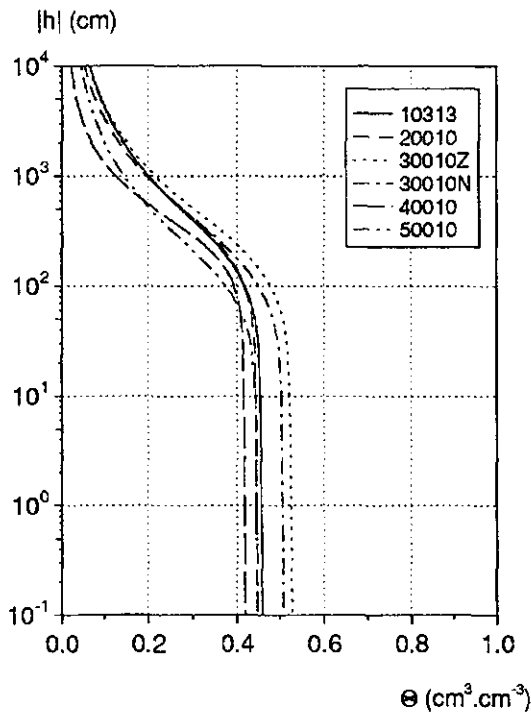
code	dichtheid kg.m ⁻³	porositeit	pH-KCl	organische stof	CaCO ₃	Fracties minerale delen (fractiegrenzen Buge-D in µm)									
						2	16	50	75	105	150	210	2000	%	%
10313	1375	0,45	5,9	5,7	0,2	3,8	2,6	11,4	7,3	12,4	23,8	21,8	16,9		
12535V	1576	0,39	6,2	1,7	0,1	3,5	2,2	10,6	7,6	12,7	24,4	23,3	15,7		
12535H	1685	0,34	6,3	1,9	0,1	3,4	2,6	10,3	8,3	14,9	25,9	21,8	12,8		
14858	1744	0,33	5,9	0,2	0,2	2,1	1,2	3,7	5,5	16,8	30,2	25,7	14,8		
20010	1348	0,46	5,6	5,6	0,2	3,6	2,8	10,7	8,3	12,5	23,1	22,3	16,7		
21525	1268	0,49	5,9	4,7	0,1	3,3	2,6	11,0	6,3	11,4	24,0	23,7	17,7		
23040	1436	0,43	5,8	3,7	0,1	3,9	3,0	12,9	7,2	11,7	23,6	22,1	15,6		
25060W	1640	0,37	5,9	0,6	0,1	2,2	0,9	2,5	4,0	12,6	29,1	29,6	19,1		
25060O	1649	0,36	5,8	0,6	0,1	2,1	1,1	2,1	4,4	13,0	29,6	29,1	18,6		
26575H	1694	0,35	5,7	0,2	0,2	2,0	0,9	1,9	4,8	13,9	30,4	28,5	17,6		
30010N	1212	0,51	6,3	5,1	0,4	3,3	3,0	10,0	6,7	11,0	23,9	23,8	18,3		
30010Z	1189	0,52	5,9	5,6	0,2	3,7	2,7	10,7	6,4	11,7	22,0	23,3	19,5		
31525N	1389	0,45	6,2	2,9	0,2	3,9	2,3	11,6	7,9	10,8	22,1	22,8	18,6		
31525Z	1688	0,34	6,4	1,6	0,1	4,5	1,8	10,7	9,1	12,5	21,9	22,1	17,4		
33040Z	1745	0,33	6,2	0,2	0,1	2,5	1,0	3,8	3,9	10,5	25,3	29,0	24,0		
40010	1386	0,45	6,1	3,3	0,3	3,9	2,0	12,5	8,4	12,7	22,7	21,4	16,4		
42535	1579	0,38	6,5	2,6	0,2	3,3	2,2	10,2	7,1	11,5	23,4	24,0	18,3		
44353	1674	0,36	6,5	0,3	0,1	2,3	0,9	3,4	3,8	10,0	22,5	29,6	27,5		
50010	1325	0,48	6,4	3,3	0,5	3,2	1,3	8,1	6,5	12,2	23,6	24,9	20,2		
53040	1538	0,40	6,2	1,5	0,1	3,6	1,2	7,7	7,1	12,6	23,6	22,8	21,4		
57585	1538	0,41	6,1	0,8	0,1	4,5	4,6	11,8	5,3	10,2	21,4	22,3	19,9		
60212	1504	0,41	6,6	2,0	0,9	2,4	1,4	5,3	3,9	10,5	22,2	25,9	28,4		
62030	1495	0,41	6,4	2,9	0,3	2,8	1,1	5,4	4,9	11,5	25,7	26,6	22,0		
63444	1846	0,29	6,3	0,2	0,1	2,6	1,2	4,9	3,9	11,3	24,1	24,5	27,5		
66070	1572	0,38	5,1	2,3	0,1	3,6	1,7	12,1	7,5	11,2	23,5	22,8	17,6		

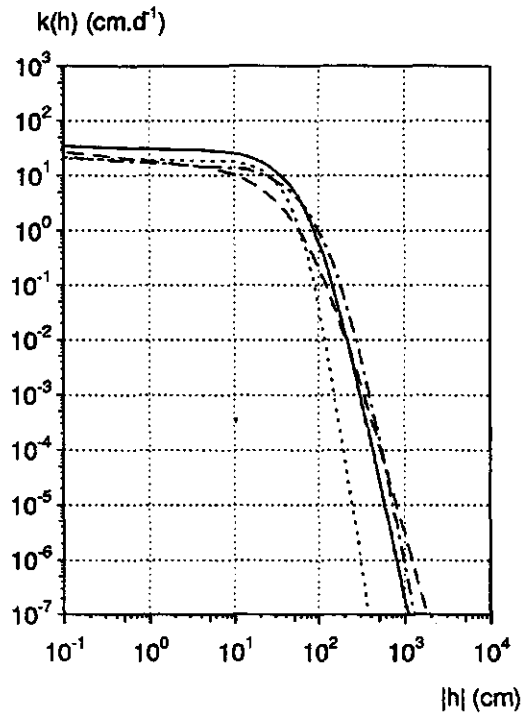
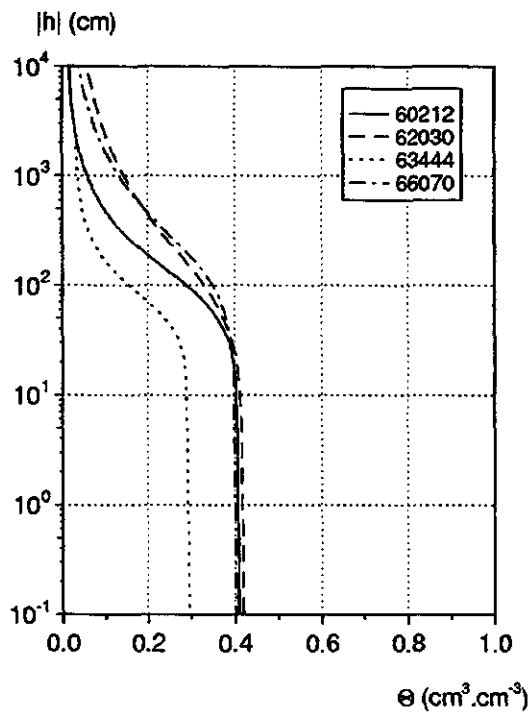
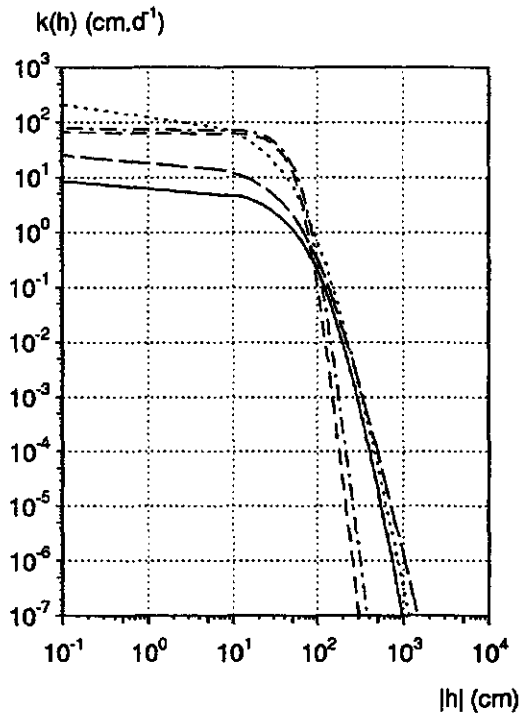
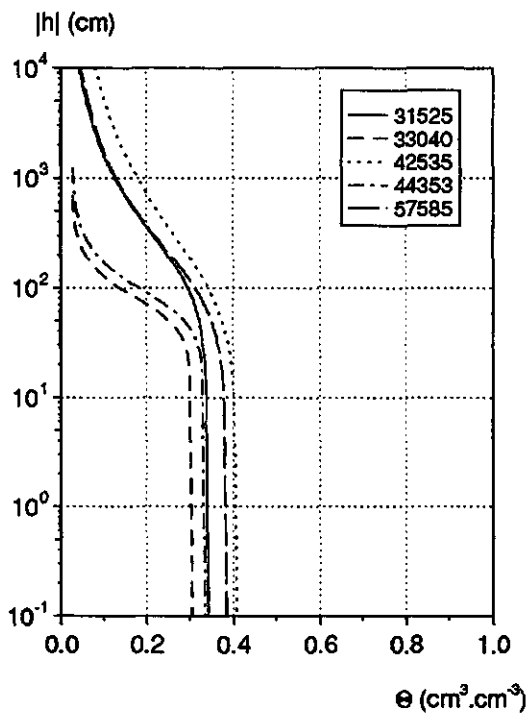
Aanhangsel 5 Van Genuchten-parameters van de bodemmonsters

code	Θ_r cm ³ .cm ⁻³	Θ_s cm ³ .cm ⁻³	α cm ⁻¹	n^1 -	l -	K cm.d ⁻¹
10313	0,010	0,456	0,0045	1,543	12,000	5,0
12535	0,010	0,351	0,0090	1,478	8,000	38,8
14858	0,020	0,297	0,0125	3,872	3,500	107,0
20010	0,010	0,444	0,0035	1,641	14,000	8,0
21525	0,010	0,467	0,0115	1,471	8,000	93,3
23040	0,010	0,442	0,0060	1,511	15,000	31,0
25060W	0,010	0,338	0,0160	2,412	7,000	180,0
30010Z	0,010	0,523	0,0045	1,584	8,000	9,6
30010N	0,010	0,505	0,0055	1,545	12,000	30,9
31525Z	0,010	0,340	0,0065	1,551	10,000	8,5
33040	0,025	0,301	0,0140	3,084	3,500	65,0
40010	0,010	0,416	0,0035	1,971	8,000	5,7
42535	0,005	0,405	0,0090	1,373	14,000	207,0
44353	0,025	0,331	0,0125	2,765	4,000	77,0
50010	0,010	0,445	0,0075	1,577	4,500	9,7
57585	0,010	0,382	0,0090	1,515	7,000	25,0
60212	0,010	0,406	0,0105	1,906	4,000	33,9
62030	0,010	0,417	0,0110	1,462	6,000	26,4
63444	0,030	0,291	0,0145	2,423	4,000	20,4
66070	0,010	0,400	0,0060	1,639	8,000	21,5
6boven ²⁾	0,010	0,465	0,0056	1,473	8,091	15,0

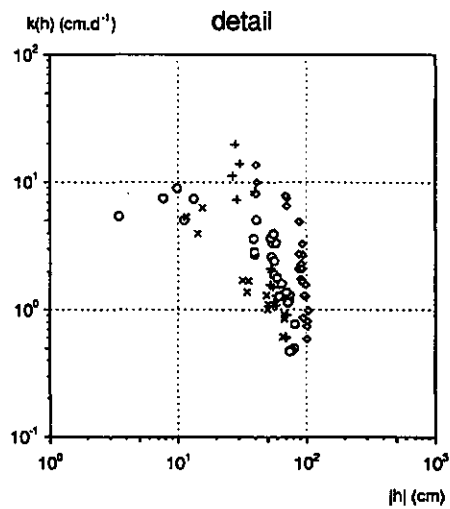
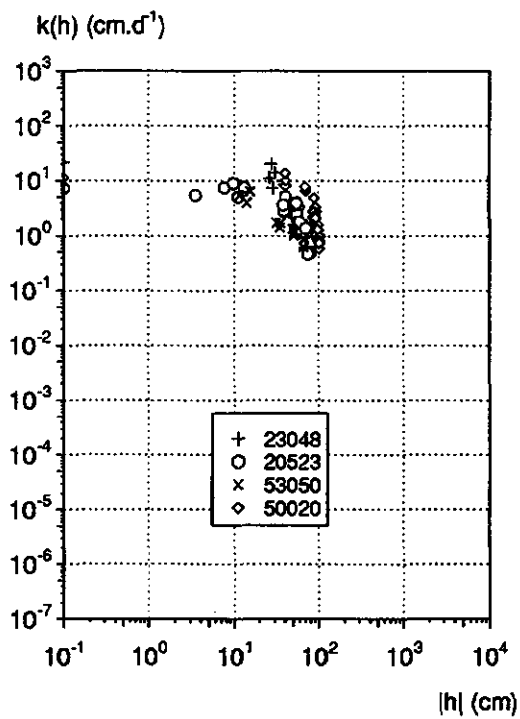
1) optimalisaties met parameter $m = 1 - n^{-1}$

2) gemiddelde van 6 bovengrondmonsters (hoofdstuk 4)

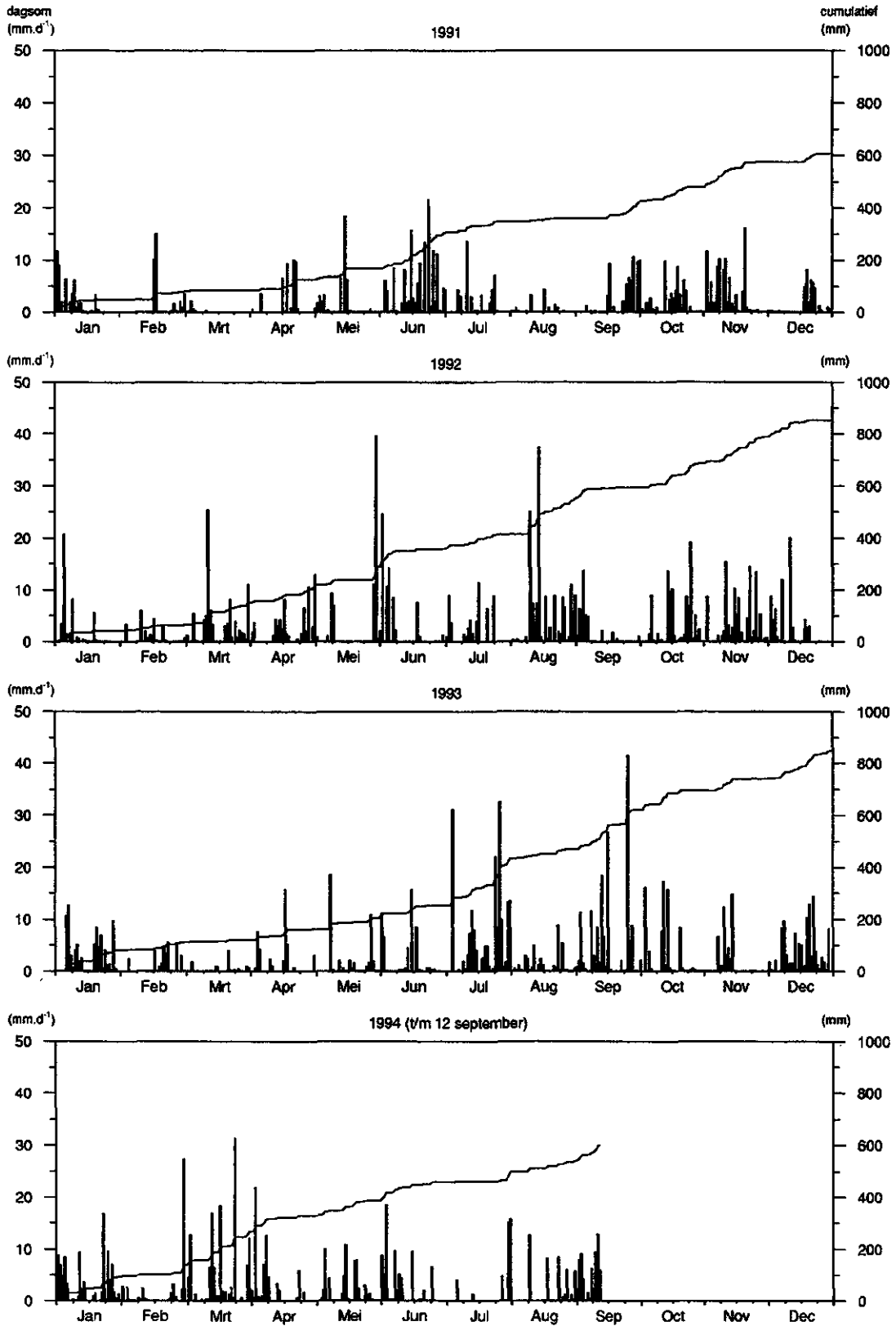




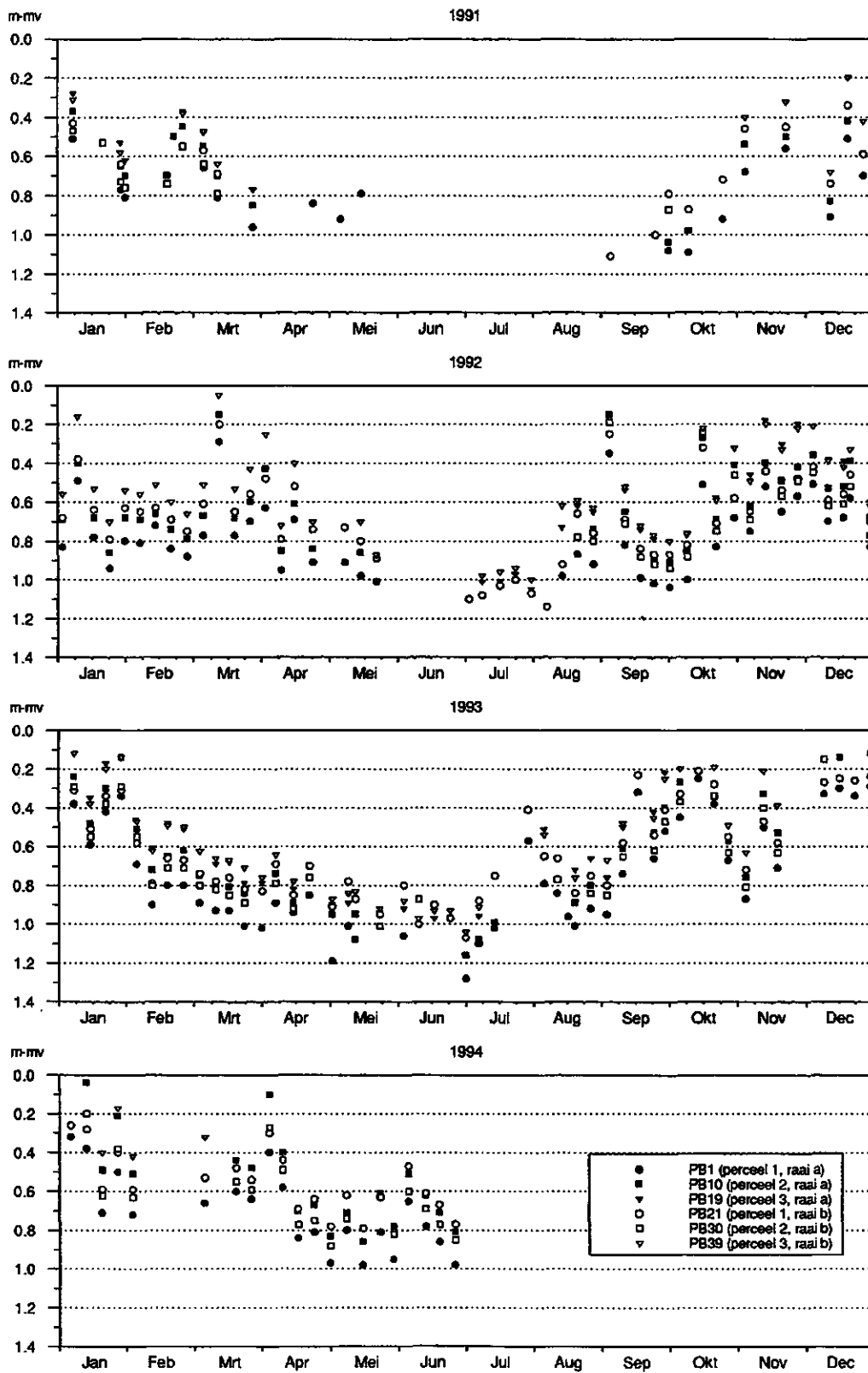
Aanhangsel 6 Meetpunten in het natte traject van de doorlatendheidskarakteristiek van vier bodemmonsters



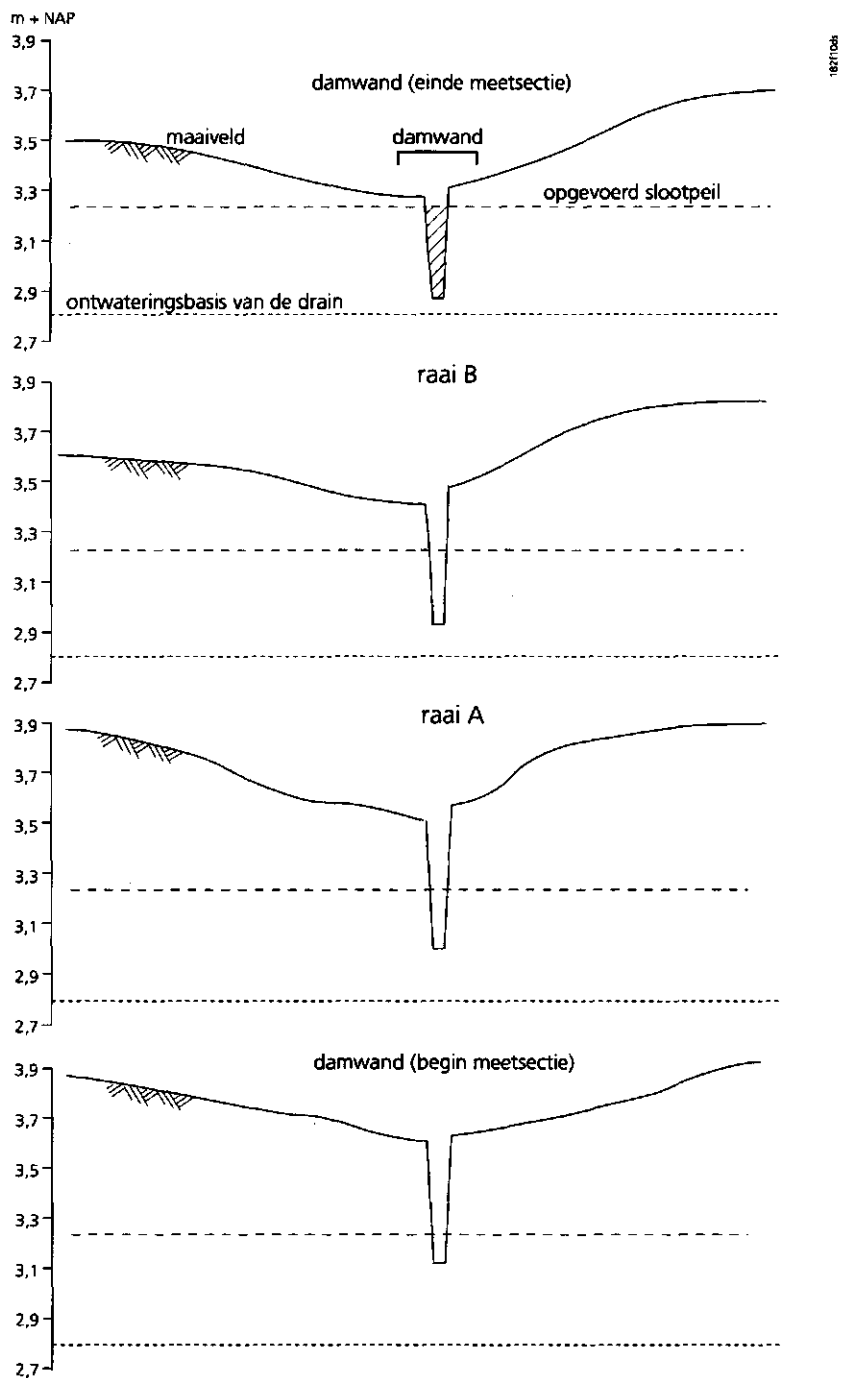
Aanhangsel 7 Neerslagmetingen op onderzoekslocatie 1



Aanhangsel 8 Grondwaterstandsmetingen in twee raaien op onderzoekslocatie 1



Aanhangsel 10 Vier dwarsdoorsneden van perceel 1 en 2 en sloot 1



Aanhangsel 11 Perceelsgemiddelde gehalten P, Al en Fe (mmol.kg⁻¹) en de fosfaatbezettingsfractie (-) op onderzoekslocatie 1

a: Oxalaat-extraheerbaar gehalte fosfaat (standaardafwijking tussen haakjes)

laagdiepte		perceel 1		perceel 2		perceel 3	
m							
0	0,05	23,9	(15,0)	29,7	(8,3)	39,8	(15,1)
0,05	0,10	15,8	(8,9)	32,8	(13,3)	40,0	(16,2)
0,10	0,15	20,0	(13,7)	36,9	(24,3)	46,9	(23,7)
0,15	0,20	37,7	(26,4)	32,2	(14,7)	37,1	(17,6)
0,20	0,25	27,6	(26,0)	38,9	(12,4)	32,3	(20,4)
0,25	0,30	13,9	(7,6)	24,5	(8,8)	15,4	(8,3)
0,30	0,35	11,2	(7,5)	19,8	(5,9)	9,2	(3,1)
0,35	0,40	12,5	(13,8)	12,6	(9,0)	9,9	(12,2)
0,40	0,50	19,6	(26,1)	7,8	(6,1)	5,4	(6,2)
0,50	0,60	16,1	(23,3)	3,5	(2,6)	1,9	(1,7)
0,60	0,70	6,8	(10,3)	0,8	(0,4)	1,2	(0,8)
0,70	0,80	3,2	(2,8)	0,9	(1,0)	0,9	(0,5)
0,80	0,90	4,2	(6,7)	0,5	(0,4)	0,7	(0,3)
0,90	1,00	2,9	(4,3)	1,2	(1,6)	0,4	(0,2)
1,00	1,10	1,4	(1,1)	1,1	(1,4)	0,5	(0,4)
1,10	1,20	1,1	(0,8)	0,6	(0,5)	0,7	(0,4)

b: Oxalaat-extraheerbaar gehalte aluminium (standaardafwijking tussen haakjes)

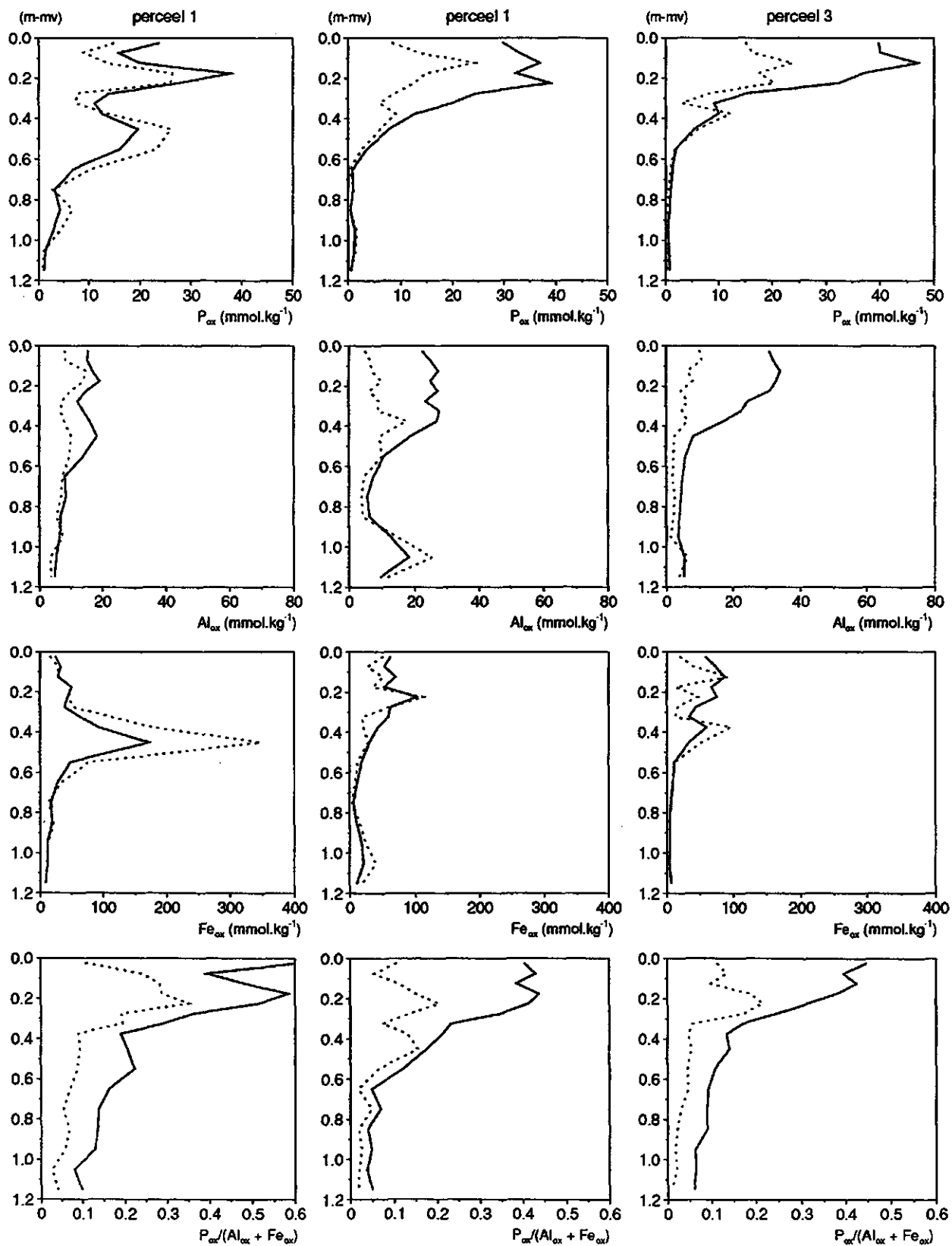
laagdiepte		perceel 1		perceel 2		perceel 3	
m							
0	0,05	15,6	(8,1)	22,2	(4,9)	30,8	(9,9)
0,05	0,10	15,5	(8,3)	24,9	(6,4)	32,1	(10,7)
0,10	0,15	16,9	(14,9)	27,3	(7,0)	34,2	(6,4)
0,15	0,20	19,3	(14,3)	24,9	(9,8)	33,0	(7,9)
0,20	0,25	15,2	(10,0)	27,1	(6,2)	31,2	(4,3)
0,25	0,30	12,2	(7,4)	23,4	(9,0)	24,8	(6,4)
0,30	0,35	13,9	(6,6)	27,5	(8,6)	22,5	(4,6)
0,35	0,40	16,0	(7,9)	26,8	(17,5)	17,3	(6,4)
0,40	0,50	18,3	(10,1)	18,6	(9,2)	8,1	(2,3)
0,50	0,60	14,1	(9,6)	10,6	(10,0)	5,8	(2,1)
0,60	0,70	8,0	(7,2)	7,2	(4,5)	4,8	(1,8)
0,70	0,80	8,4	(6,9)	5,5	(3,8)	4,4	(2,5)
0,80	0,90	6,8	(5,5)	6,3	(4,2)	3,9	(2,1)
0,90	1,00	6,5	(7,4)	12,4	(14,3)	3,4	(1,2)
1,00	1,10	5,4	(3,6)	18,1	(25,3)	5,3	(6,3)
1,10	1,20	5,0	(3,8)	9,5	(11,9)	5,3	(3,7)

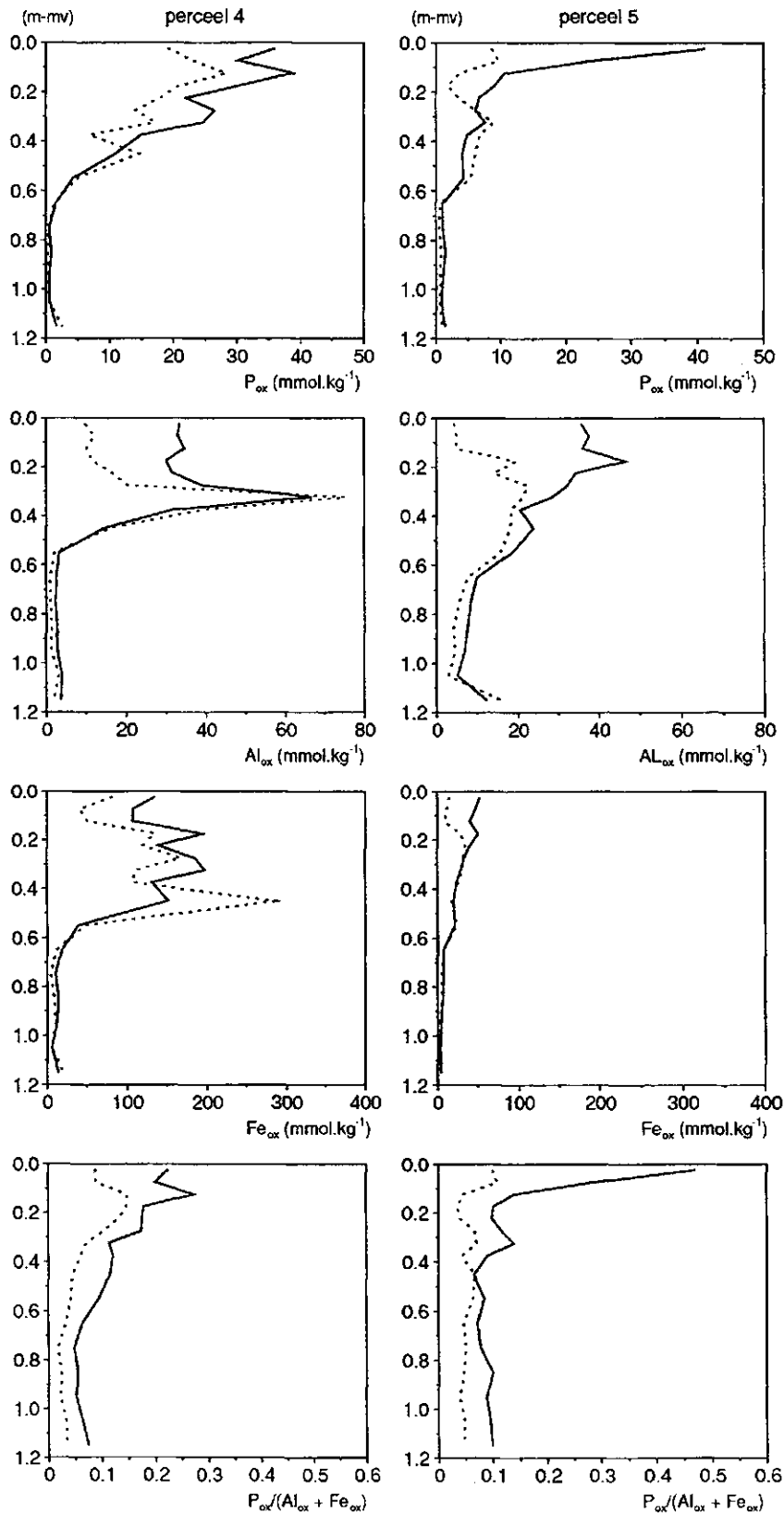
c: Oxalaat-extraheerbaar gehalte ijzer (standaardafwijking tussen haakjes)

laagdiepte m		perceel 1		perceel 2		perceel 3	
0	0,05	24,7	(16,0)	62,1	(50,7)	58,3	(19,4)
0,05	0,10	32,8	(29,1)	52,4	(26,8)	73,3	(40,1)
0,10	0,15	29,2	(28,7)	69,7	(50,2)	87,4	(92,2)
0,15	0,20	50,2	(49,9)	52,4	(35,6)	67,6	(13,6)
0,20	0,25	44,5	(45,8)	102,0	(113,7)	76,0	(47,7)
0,25	0,30	39,5	(52,7)	61,3	(59,1)	43,2	(15,0)
0,30	0,35	64,2	(113,6)	58,6	(18,3)	33,0	(12,2)
0,35	0,40	93,2	(178,0)	42,5	(20,5)	59,8	(96,5)
0,40	0,50	172,0	(348,6)	29,9	(28,0)	33,3	(52,9)
0,50	0,60	48,3	(78,0)	17,9	(11,9)	10,8	(10,3)
0,60	0,70	27,7	(33,5)	11,1	(8,1)	8,9	(7,9)
0,70	0,80	17,5	(14,2)	5,8	(3,7)	5,9	(5,0)
0,80	0,90	19,6	(22,6)	10,1	(14,9)	4,6	(3,7)
0,90	1,00	11,5	(12,3)	17,8	(24,1)	4,1	(4,5)
1,00	1,10	12,4	(11,5)	21,0	(39,3)	3,4	(2,7)
1,10	1,20	9,4	(9,6)	11,3	(19,5)	6,8	(6,4)

d) Fosfaatbezettingsfracties (standaardafwijking tussen haakjes)

laagdiepte m		perceel 1		perceel 2		perceel 3	
0	0,05	0,61	(0,11)	0,40	(0,11)	0,45	(0,11)
0,05	0,10	0,39	(0,24)	0,43	(0,05)	0,40	(0,13)
0,10	0,15	0,48	(0,28)	0,38	(0,11)	0,43	(0,10)
0,15	0,20	0,58	(0,29)	0,44	(0,15)	0,38	(0,19)
0,20	0,25	0,52	(0,35)	0,41	(0,20)	0,31	(0,22)
0,25	0,30	0,36	(0,19)	0,35	(0,13)	0,24	(0,17)
0,30	0,35	0,29	(0,20)	0,23	(0,07)	0,17	(0,06)
0,35	0,40	0,19	(0,09)	0,21	(0,13)	0,13	(0,05)
0,40	0,50	0,21	(0,09)	0,17	(0,15)	0,14	(0,05)
0,50	0,60	0,22	(0,09)	0,12	(0,06)	0,11	(0,04)
0,60	0,70	0,16	(0,07)	0,05	(0,02)	0,09	(0,05)
0,70	0,80	0,14	(0,05)	0,07	(0,05)	0,09	(0,03)
0,80	0,90	0,14	(0,07)	0,04	(0,02)	0,09	(0,02)
0,90	1,00	0,13	(0,06)	0,05	(0,03)	0,06	(0,02)
1,00	1,10	0,08	(0,03)	0,04	(0,02)	0,06	(0,02)
1,10	1,20	0,10	(0,04)	0,05	(0,02)	0,06	(0,01)

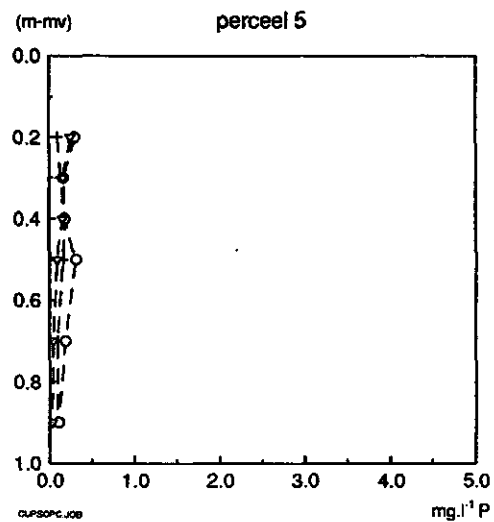
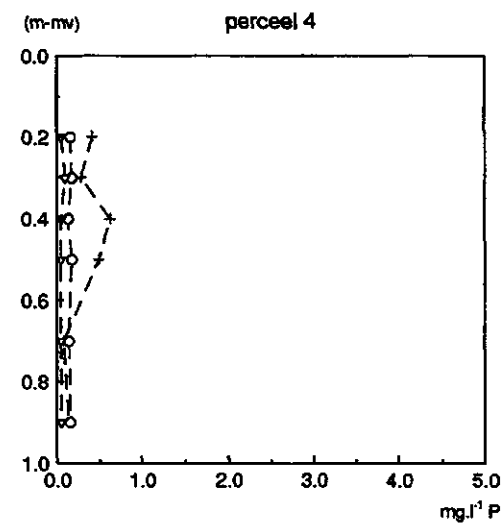
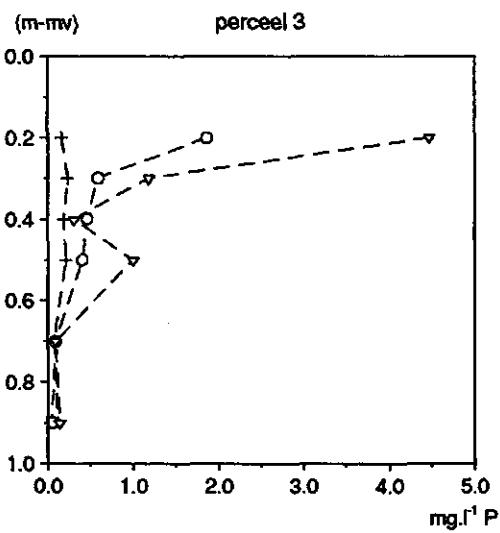
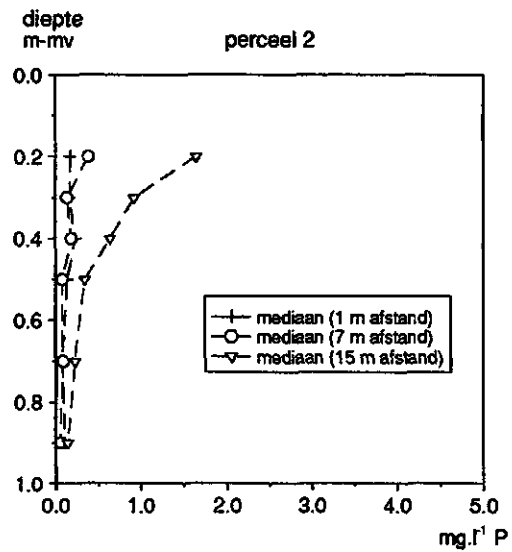
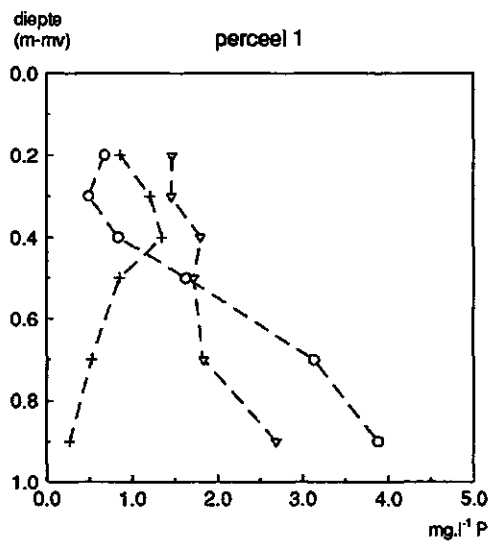


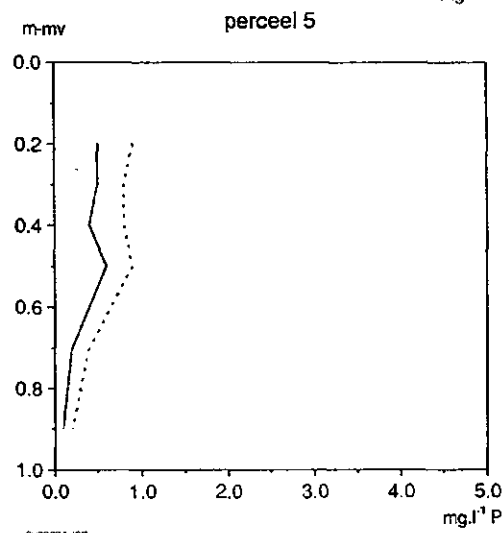
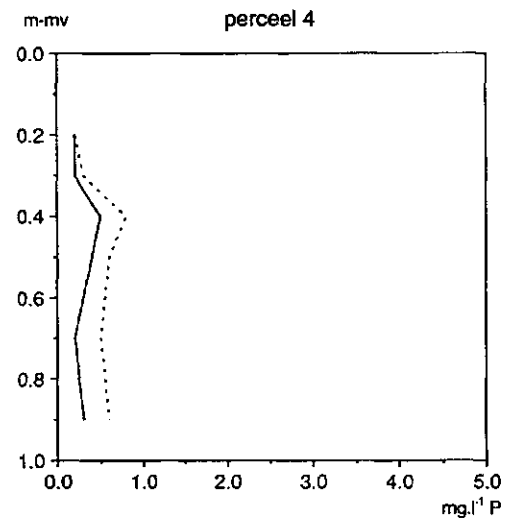
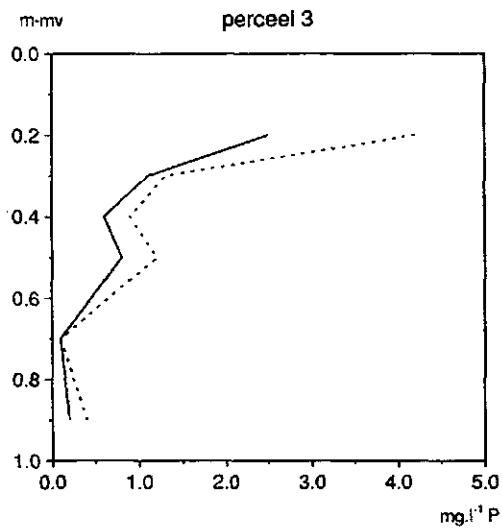
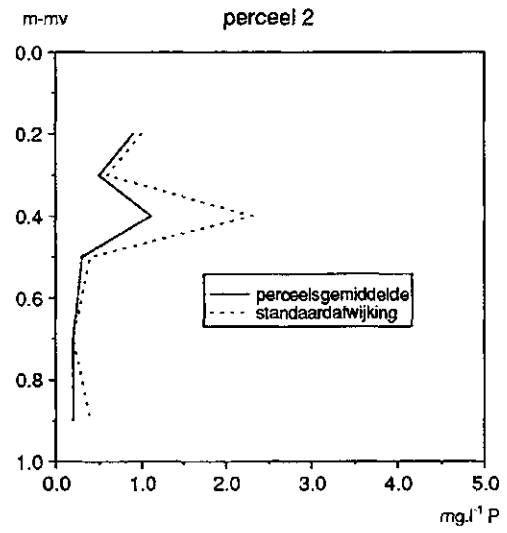
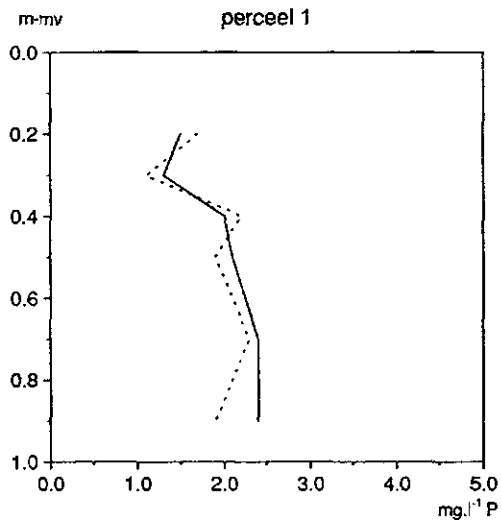


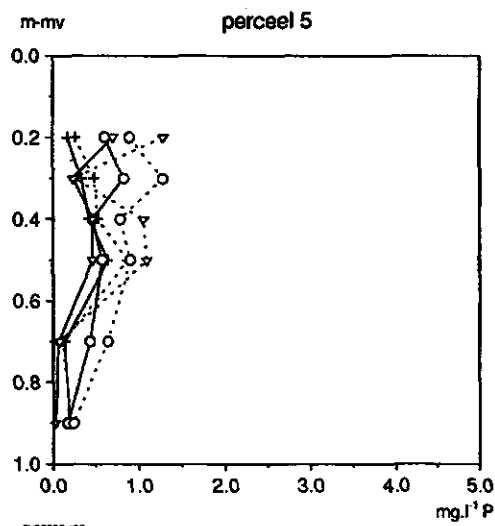
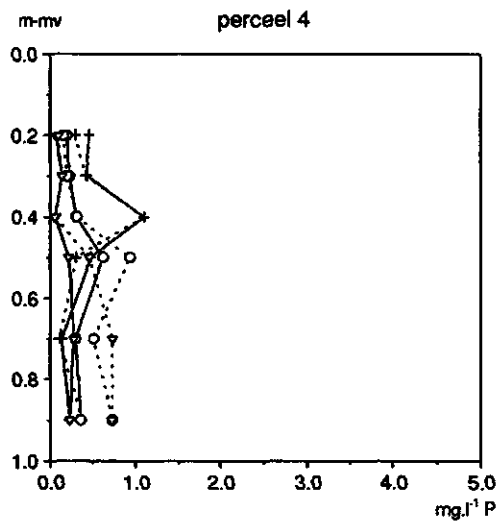
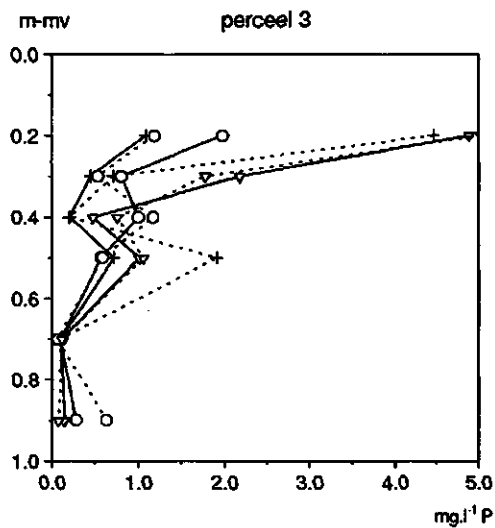
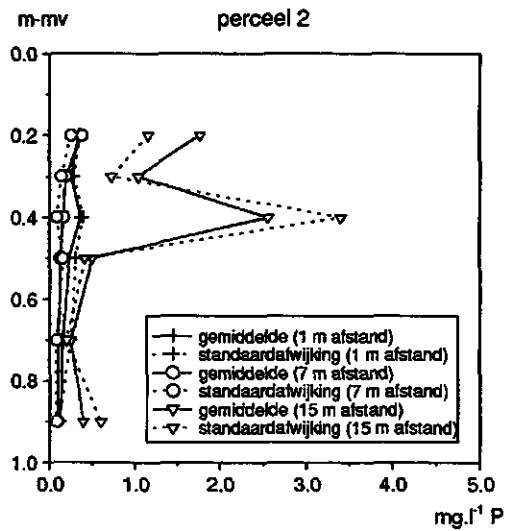
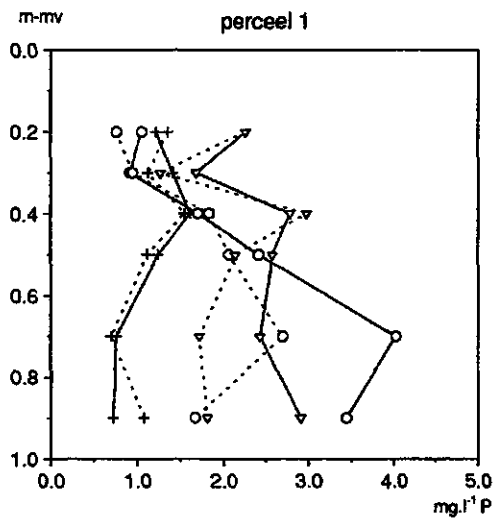
Aanhangsel 12 Bemonsteringsronden ter bepaling van de fosfaatconcentraties in het bodemvocht

jaar	datum	perceel				
		1	2	3	4	5
1991	21/24 januari		x	x	x	x
	28 februari		x	x		
	22 maart		x	x	x	x
	31 mei		x	x	x	x
	8 juli		x	x	x	x
	5 december			x	x	x
1992	20 februari		x	x	x	x
	15/16 oktober	x	x	x	x	x
	13/14 november	x	x	x		
	20 november	x	x	x		
	27 november	x	x	x		
	4 december	x	x	x		
	14 december	x	x	x	x	x
1993	8 januari	x	x	x		
	15 januari	x	x	x		
	1 februari	x	x	x		
	16 februari				x	x
	18 maart	x	x	x		
	1 september	x	x	x	x	x
	5 oktober	x	x	x	x	x
	15 december	x	x	x	x	x

Aanhangsel 13 Profielen van de concentraties orthofosfaat in het bodemvocht

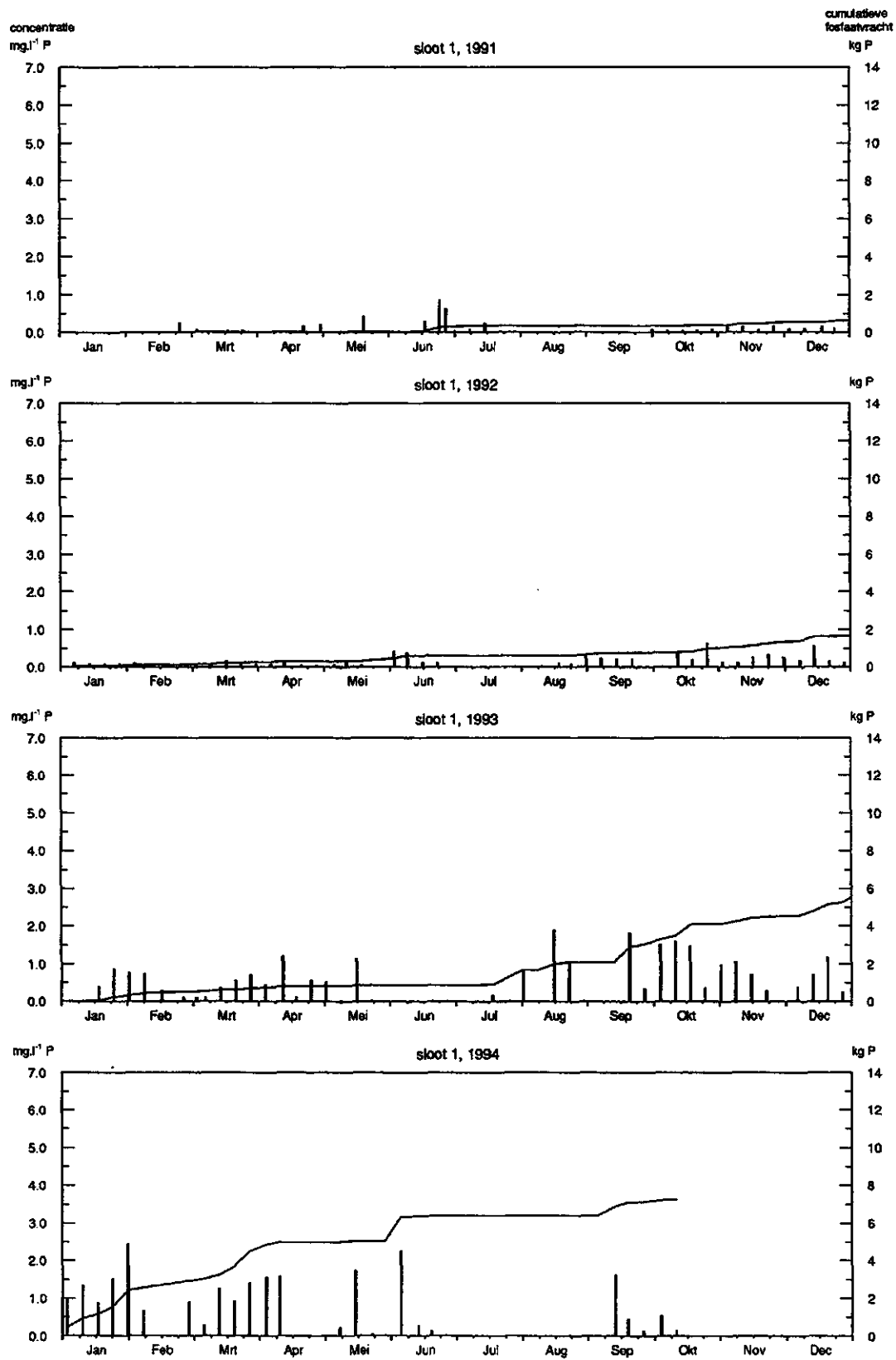


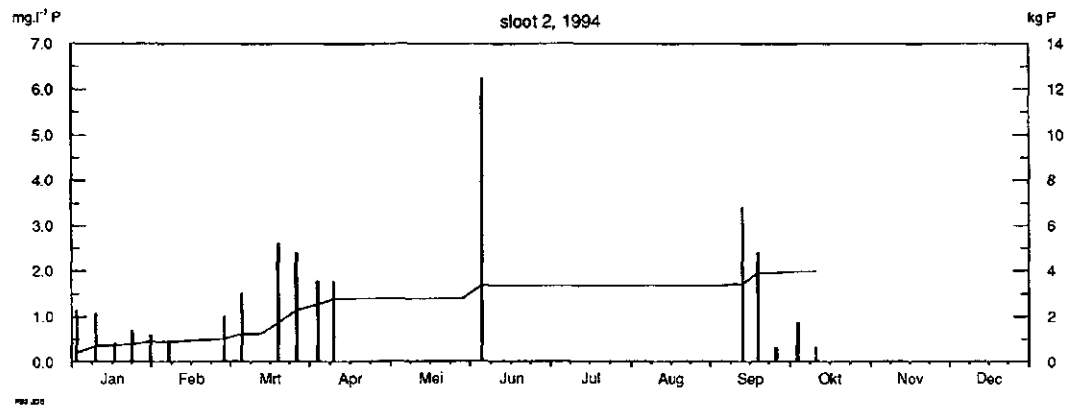
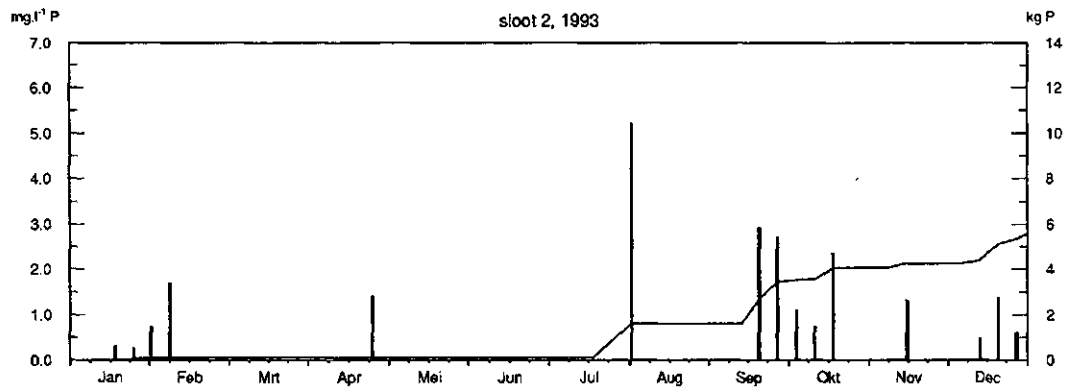
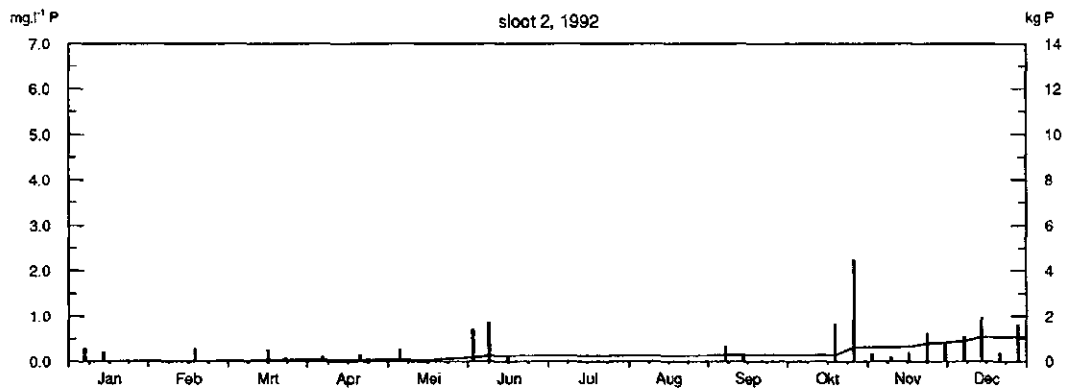
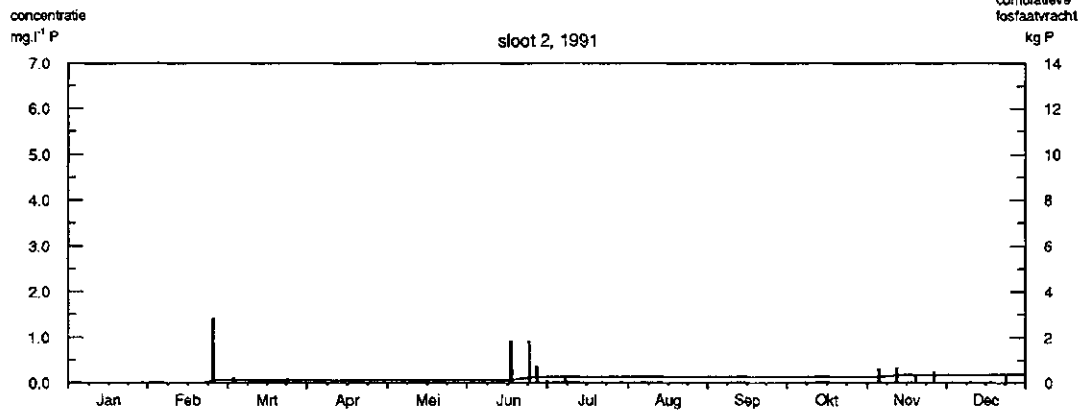


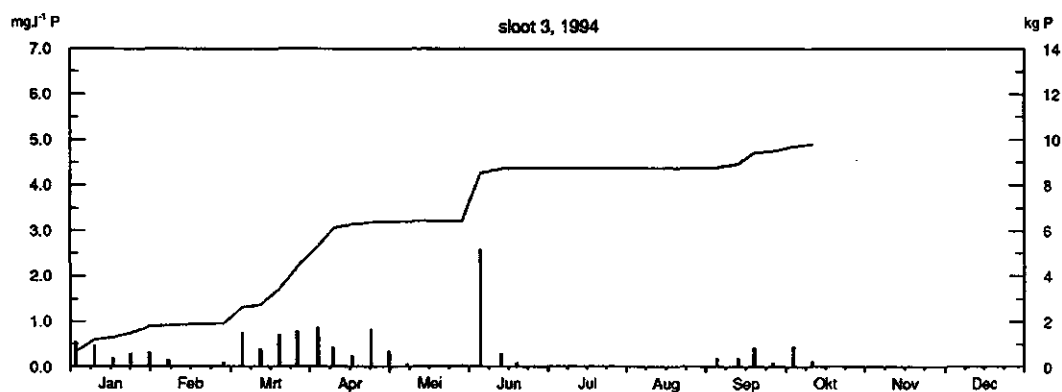
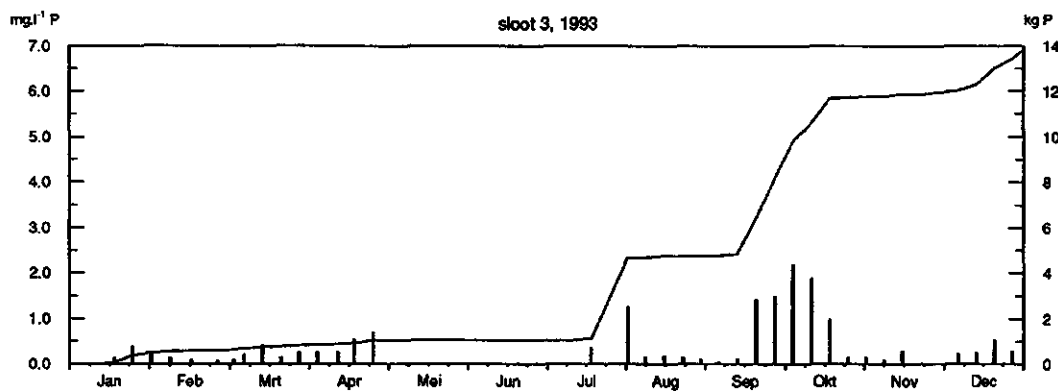
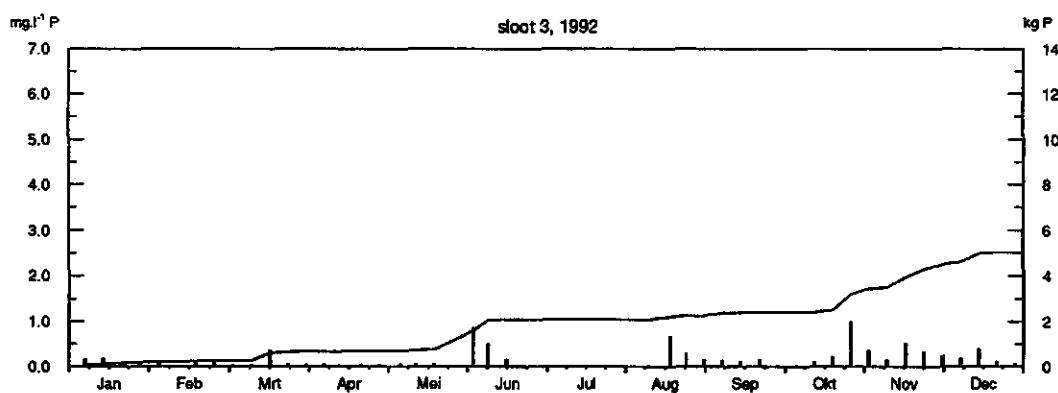
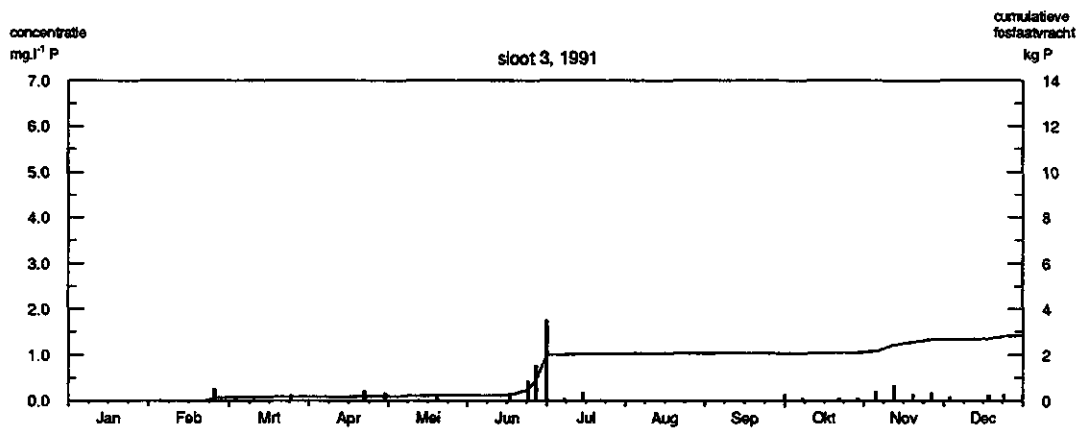


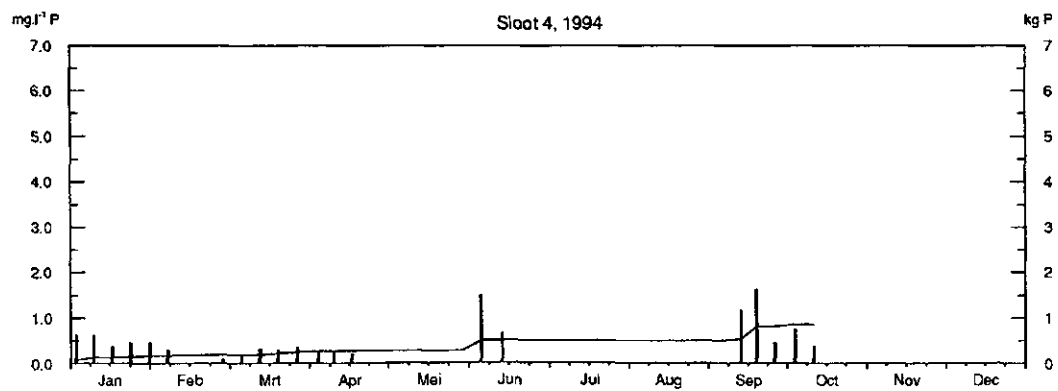
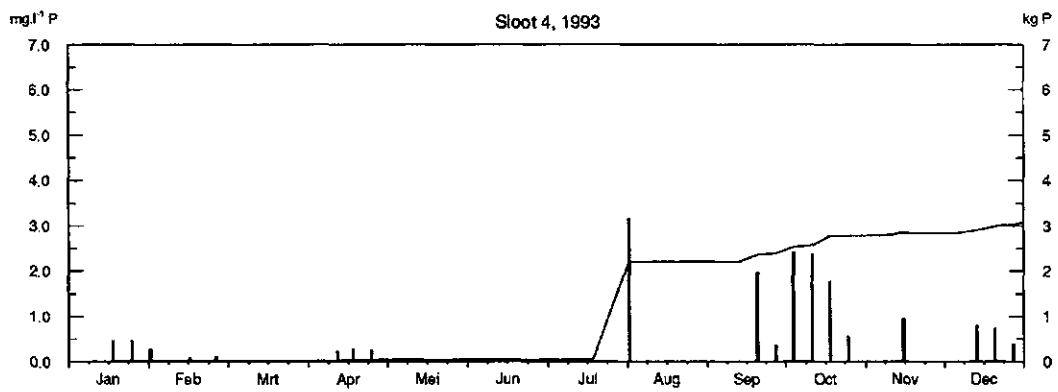
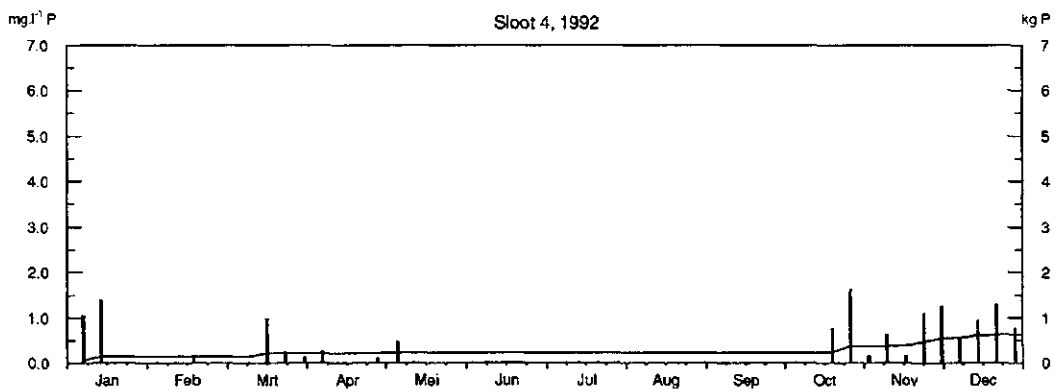
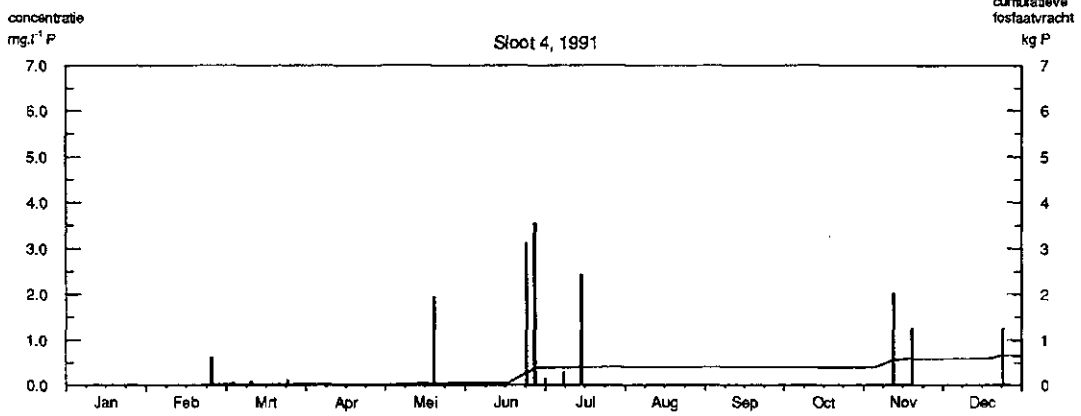
CLUSOP8.JOB

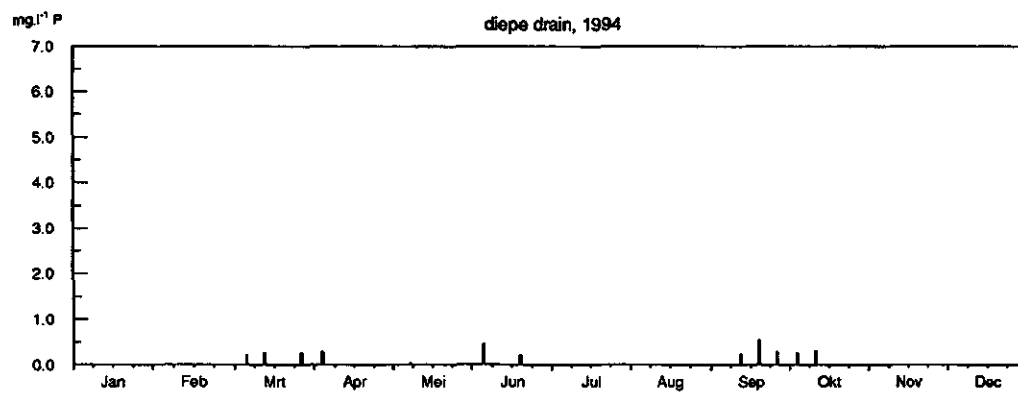
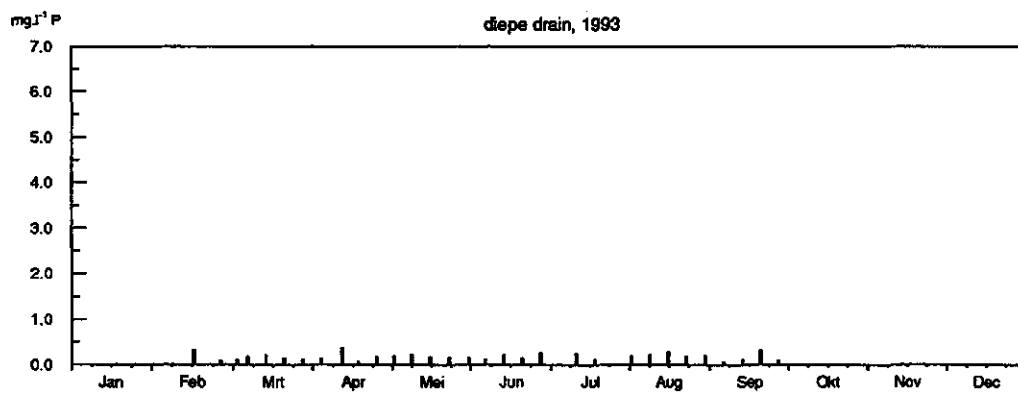
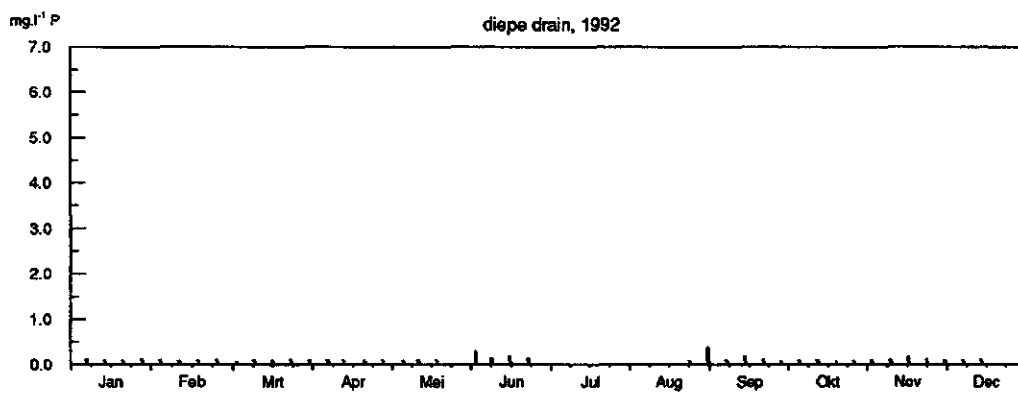
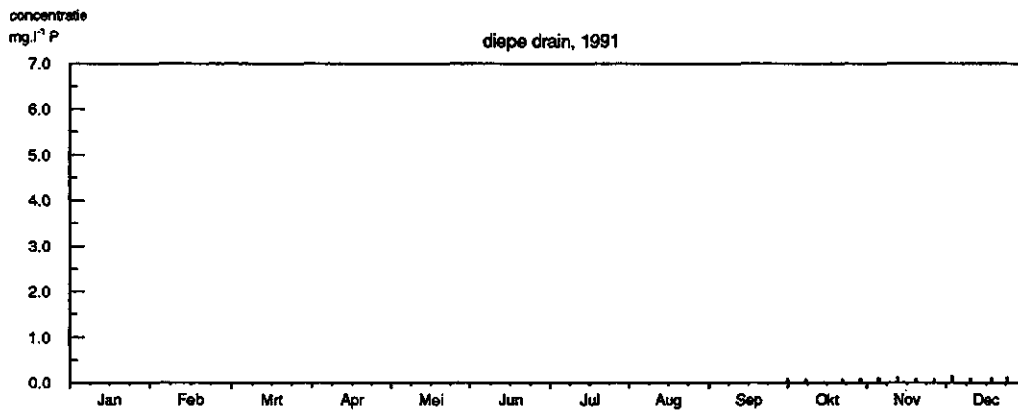
Aanhangsel 14 Weekgemiddelde concentraties orthofosfaat in drie meetsloten, de verzamelsloot en de drain











Aanhangsel 15 Gemiddelde concentraties orthofosfaat en totaalfosfaat van de monsters uit vier sloten, voor de gehele meetperiode (19 februari 1991 t/m 10 oktober 1994) en drie deelperioden¹⁾

sloot	deelperiode	ortho-P mg.l ⁻¹	n	totaal P mg.l ⁻¹	n
1		0.50 (0.69)	845	0.39 (0.60)	312
2		1.04 (1.17)	323	0.96 (1.02)	104
3		0.48 (0.77)	780	0.41 (0.53)	181
4		0.99 (0.95)	428	1.17 (1.28)	112
1	1	0.28 (0.52)	106	0.40 (0.59)	105
2	1	0.62 (0.77)	46	0.84 (0.83)	46
3	1	0.47 (1.53)	41	0.28 (0.38)	39
4	1	1.90 (1.47)	32	2.41 (1.67)	30
1	2	0,20 (0,20)	449	0,10 (0,06)	157
2	2	0,61 (0,78)	151	0,25 (0,14)	35
3	2	0,27 (0,38)	329	0,18 (0,20)	66
4	2	0,79 (0,60)	134	1,13 (0,74)	40
1	3	1.08 (1.08)	257	1.28 (0.67)	50
2	3	1.67 (1.30)	113	2.30 (0.82)	23
3	3	0.68 (0.86)	359	0.67 (0.58)	76
4	3	0.93 (0.98)	226	0.32 (0.10)	42

1) deelperioden;

1: 19 februari 1991 t/m 21 augustus 1991

2: 21 augustus 1991 t/m 30 juni 1993

3: 1 juli 1993 t/m 31 juli 1994