

32/446(47) 2^e ex.

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

Invloed van schijngrondwaterspiegels op de fosfaatuitspoeling uit
een perceel met een fosfaatverzadigde bovengrond

L.J.J. Jeurissen
W.B. Verhaegh

Rapport 47

STARING CENTRUM, Wageningen, 1990



CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS

0000 0362 4976

15 MEI 1990

20 51070 *

REFERAAT

Jeurissen, L.J.J. en W.B. Verhaegh, 1990. Invloed van schijngrondwaterspiegels op de fosfaatuitspoeling uit een perceel met een fosfaatverzadigde bovengrond. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 47. 70 blz.; 14 fig.; 5 tab.; 5 aanhangsels.

Als vervolg op een onderzoek naar de fosfaatuitspoeling uit een perceel met een fosfaatverzadigde bovengrond (Steenvoorden, e.a., 1988) is onderzoek verricht naar het optreden van bodemverdichting en schijngrondwaterspiegels op dit perceel. Uit hydrologische en bodemfysische metingen bleek dat de bovengrond verdicht was door berijding. In de toplaag werd echter geen schijngrondwaterspiegel waargenomen. Deze trad wel op bij een deel van het perceel dat vergraven is en als gevolg daarvan een laag met slechte doorlatendheid op 50-70 cm diepte bezit. De eerder waargenomen laterale uitspoeling van fosfaat via de toplaag van de bodem is daardoor meer een gevolg van de vergraving van een deel van het perceel dan van de verdichting van de bovengrond over het hele perceel.

Trefwoorden: schijngrondwaterspiegel, oppervlakkige afvoer, bodemverdichting, fosfaatuitspoeling

ISSN 0924-3070

©1990

STARING CENTRUM Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied
Postbus 125, 6700 AC Wageningen
Tel.: 08370-19100; telefax: 08370-24812; telex: 75230 VISI-NL

Het 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).

Het 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 en op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Staring Centrum.

INHOUD

	Blz.
WOORD VOORAF	9
SAMENVATTING	11
1 INLEIDING	13
2 BESCHRIJVING PERCEEL EN WATERHUISHOUDING	15
3 OPZET VELDONDERZOEK	17
4 MEETMETHODEN	19
4.1 Bodemverdichting	20
4.2 Grondwaterstand	20
4.3 Drukhoogte	21
4.4 Overige aspecten	22
5 RESULTATEN	23
5.1 Bodemverdichting	23
5.2 Grondwaterstand	26
5.3 Drukhoogte	31
5.4 Overige aspecten	35
6 DISCUSSIE	37
6.1 Meetperiode 1988/1989	37
6.2 Meetperiode 1987/1988	40
7 CONCLUSIES	45
LITERATUUR	47
AANHANGSELS	
1 Verloop van de indringingsweerstand met de diepte per meetpunt gemeten op 17-11-1988 en 26-4-1989	49
2 Grondwaterstanden in lengte- en dwarsdoorsnede	51
3 Grondwaterstanden in de ondiepe buizen	57
4 Drukhoogteprofielen	63
5 IJklijnen voor de pressure transducers van de "tattle"	69

TABELLEN

1	Waterbalans van de proefsloot voor enkele droge perioden in de winter 1987/1988	16
2	Waterbalans van de proefsloot van 14-11-1987 t/m 10-4-1988	16
3	Poriënvolume en droog volumegewicht op drie diepten op locatie A, B en C	26
4	Bromidegehalten van het bodemvocht op twee tijdstippen in 1987/1988 gemiddeld voor het vergraven en het niet-vergraven gedeelte van het perceel	41
5	Berekening van de bromide aanvoer vanuit het perceel naar de proefsloot in de periode 14-11-1987 tot 10-4-1988	42

FIGUREN

1	Overzicht van het perceel	19
2	Schema van een locatie met tensiometerset en ondiepe grondwaterstandsbuizen	21
3	Schematische weergave van de maximale waarde van de indringingsweerstand over het gebied rond de proefsloot	24
4	Schematische weergave van de maximale waarde van de indringingsweerstand over het gebied rond de proefsloot	25
5	Maaiveldshoogte, grondwaterstand en slootpeil in de lengtedoorsnede BB' en de dwarsdoorsnede AA' op vier tijdstippen in december 1988, en de cumulatieve neerslag sinds de voorafgaande datum	27
6	Verloop van het slootpeil en de grondwaterstand in verschillende buizen van 15-12-1988 tot 26-4-1989	28
7	Maaiveldshoogte en grondwaterstand voor zeven buizen met filters op verschillende diepten op locatie A, B en C, op vier tijdstippen in december 1988, en de cumulatieve neerslag sinds de voorafgaande datum	29
8	Verloop van de waterstanden in de ondiepe buizen van locatie A, B en C van 15-12-1988 tot 26-4-1989	30
9	Drukhoogteprofielen op locatie A, B en C op vier tijdstippen in december 1988, en de cumulatieve neerslag sinds de voorafgaande datum	31
10	Verloop van de drukhoogte op verschillende diepten op locatie A, B en C van 15-12-1988 tot 26-4-1989	32
11	De dagelijkse neerslaghoeveelheid en het verloop van de stijghoogte op 50 en 70 cm - mv., en in de slootbodem bij locatie A van 19-1-1989 tot 8-5-1989, zoals geregistreerd met behulp van de "tattle"	33
12	Drukhoogteprofielen op locatie A bij uitdroging gevolgd door bevochtiging	34

Blz.

13	Dagelijkse neerslaghoeveelheid van 15-12-1988 tot 26-4-1989	35
14	Ligging van het vergraven gebied in het perceel	39

WOORD VOORAF

In de jaren 1987/1989 hebben ICW en STIBOKA onderzoek verricht naar de fosfaatuitspoeling uit de bodem op perceelsniveau en op regionale schaal in het stroomgebied van de Schuitenbeek. Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van de stuurgroep BOVAR (Bestrijding Overmatige Algenbloei in de Randmeren). De resultaten van dit onderzoek waren voor het Staring Centrum aanleiding tot het formuleren van een vervolgproject "Vermindering fosfaatuitspoeling uit landbouwgronden". Een financiële bijdrage van het Financieringsoverleg Mest- en Ammoniakonderzoek maakte het mogelijk in 1989 met het project te starten.

In dit rapport wordt nagegaan in hoeverre bodemverdichting en schijngrondwaterspiegels een rol kunnen hebben gespeeld bij de fosfaatuitspoeling uit het perceel dat in het vorige onderzoek is beschreven.

SAMENVATTING

Op een graslandperceel in de Gelderse Vallei is het optreden van schijngrondwaterspiegels als oorzaak van horizontale afvoer van water door de toplaag van de bodem onderzocht. Hierbij wordt onder schijngrondwaterspiegel verstaan de langdurige aanwezigheid van positieve drukhoogten boven de permanente grondwaterspiegel, waardoor horizontale afvoer van neerslagoverschotten kan plaatsvinden boven het grondwater. Dit onderzoek is een vervolg op het eerder uitgevoerde onderzoek naar fosfaatuitspoeling op dit perceel, waaruit bleek dat een belangrijk deel van de afvoer van neerslagoverschotten naar de proefsloot plaatsvond door de bodemlaag boven de permanente grondwaterspiegel. De proefsloot ontving water vanuit het perceel, terwijl de grondwaterstand tijdens de meetperiode, november 1987 tot april 1988, continu beneden het slootpeil stond. Een mogelijke verklaring voor dit verschijnsel is sterke wegzijging in combinatie met voeding van de proefsloot via horizontale afvoer van water boven de permanente grondwaterspiegel als gevolg van schijngrondwaterspiegels in de bovengrond. Dit is in de periode 1988/1989 nader onderzocht.

Om het optreden van schijngrondwaterspiegels vast te kunnen stellen zijn van december 1988 t/m april 1989:

- grondwaterstanden in een doorsnede parallel aan en dwars op de proefsloot, slootpeil en neerslag gemeten;
- stijghoogten gemeten in buizen met filters op diverse diepten van 10 tot 100 cm - mv. op drie locaties;
- drukhoogten gemeten op verschillende diepten van 10 tot
- drukhoogten gemeten op verschillende diepten van 10 tot 100 cm - mv. met tensiometers op de drie locaties.

Uit stijghoogtemetingen in enkele diepere filters blijkt in de bovenste meters van het profiel wegzijging te bestaan. Deze is geschat op minimaal $1,3 \text{ mm.dag}^{-1}$.

De reactie van het grondwaterpeil op neerslag is aan de (noord)westzijde van de proefsloot minder sterk dan elders op het perceel. Ook treedt op het noordwestelijk gedeelte van het perceel veelvuldig plasvorming op. Op twee van de drie locaties wijzen de stijghoogten in de ondiepe buizen op verschillen in waterdoorlatendheid met de diepte, en met name op een hoge weerstand tussen 60 en 100 cm - mv. Op grond van de drukhoogtemetingen is geconcludeerd dat de belangrijkste verstoring van de waterdoorlatendheid voorkomt tussen 50 en 70 cm - mv. op de locatie ten westen van de proefsloot. Mogelijk is dit elders op het perceel een andere diepte. De verminderde waterdoorlatendheid op een gedeelte van het perceel wordt hier waarschijnlijk veroorzaakt, doordat bij graafwerkzaamheden de grond verdicht en versmeerd is.

Door de indringingsweerstand te meten met een penetrometer is getracht een beeld te krijgen van eventueel aanwezige dichtere lagen. Over het gehele perceel is de bovengrond (10-20 cm) sterk

verdicht door berijding. Het droog volumegewicht op 10-15 cm - mv. is $1,6 \text{ g.cm}^{-3}$ en het poriënvolume is 38,1%. Verdichting van de bovengrond beïnvloedt op dit perceel niet het horizontale transport naar de sloot. Dieper in het profiel is geen laag met verhoogde indringingsweerstand geconstateerd, behalve de overgang van de A-naar de B2- of C-horizont. Deze bleek echter geen invloed op het watertransport te hebben.

Geconcludeerd is dat op het noordwestelijk gedeelte van het perceel schijngrondwaterspiegels optreden. De proefsloot wordt voornamelijk via deze schijngrondwaterspiegels gevoed. Het slootwater infiltreert vervolgens naar het grondwater of wordt afgevoerd. Alleen in regenrijke perioden, wanneer het grondwater boven het slootpeil komt, stroomt het water af naar de proefsloot uit de rest van het perceel. Vanwege de wegzijging vindt deze afvoer naar de proefsloot vooral plaats door de bovengrond. Het transport van water en opgeloste stoffen naar de proefsloot gaat voornamelijk via de bovengrond (0 tot 40-50 cm - mv.).

1 INLEIDING

Mogelijk komt tijdelijk een waterspiegel boven de permanente grondwaterspiegel voor. Deze zogenaamde schijngrondwaterspiegel ontstaat in het algemeen op een slechtdoorlatende laag. De verticale waterbeweging door de slechtdoorlatende laag naar het grondwater verloopt traag, zodat het water zich ophoopt en de grond boven deze laag waterverzadigd raakt. De waterdoorlatendheid van grond neemt bij verzadiging sterk toe, waardoor via deze waterverzadigde laag horizontaal transport kan plaatsvinden boven het grondwater. De afstand van deze horizontale stroming hangt af van de verticale doorlatendheid van de slechtdoorlatende laag en de horizontale doorlatendheid van de laag erboven. Horizontale afvoer van water en opgeloste stoffen via schijngrondwaterspiegels is vooral van belang in de buurt van sloten.

Het transport van neerslagoverschotten naar de sloot door de toplaag van de bodem kan grote invloed hebben op de kwaliteit van het slootwater, vooral voor stoffen die sterk geadsorbeerd kunnen worden aan de bodem, zoals bijvoorbeeld fosfaat. Wordt een perceel met fosfaatverzadigde bovengrond bemest, en wordt het neerslagoverschot door een schijngrondwaterspiegel via het fosfaatverzadigde deel van de bodem afgevoerd, dan wordt het fosfaat uit de mest niet door de bodem geadsorbeerd en kan de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater zeer groot zijn.

Een slechtdoorlatende laag kan behalve bij de afzetting of door bodemvorming, ook door bodemverdichting en/of versmering ontstaan zijn. Bij bodemverdichting door berijden verdwijnen de grote poriën, waardoor de verzadigde waterdoorlatendheid en de infiltratiecapaciteit afnemen. De onverzadigde doorlatendheid kan juist toenemen tengevolge van bodemverdichting, doordat verdichte grond bij een hoge zuigspanning een hoger vochtgehalte heeft dan onverdichte grond. Deze toename is van weinig belang voor horizontaal transport, omdat de onverzadigde doorlatendheid vele malen kleiner is dan de verzadigde doorlatendheid. Ook versmering vermindert de doorlatendheid en de infiltratiecapaciteit.

Over de eis bij de definitie van een schijngrondwaterspiegel dat er een onverzadigde laag moet zijn tussen de schijngrondwaterspiegel en de permanente grondwaterspiegel, kan getwist worden. In deze context is niet een schijngrondwaterspiegel op zich van belang, maar de horizontale afvoer van neerslagoverschotten door de toplaag van de bodem als gevolg van de heersende overdruk. Daarom wordt de langdurige aanwezigheid van positieve drukhoogten boven de permanente grondwaterspiegel in dit rapport een schijngrondwaterspiegel genoemd.

Aanleiding tot dit onderzoek is de ongewone hydrologische situatie op een graslandperceel nabij Putten, waar onderzoek uitgevoerd is naar fosfaatuitspoeling (Steenvoorden e.a., 1988).

Tijdens de meetperiode, november 1987 tot april 1988, bleek de grondwaterstand in de verschillende buizen continu lager te zijn dan het slootpeil en bleek de proefsloot toch water af te voeren. De proefsloot begint in het perceel en heeft dus geen aanvoer van elders. Een mogelijke verklaring voor dit verschijnsel is sterke wegzijging in combinatie met voeding van de proefsloot via horizontale afvoer van water boven de permanente grondwaterspiegel als gevolg van schijngrondwaterspiegels in de bovengrond.

Doel van dit onderzoek (december 1988 t/m april 1989) is vast te stellen of de ongewone hydrologische situatie op het perceel inderdaad het gevolg is van schijngrondwaterspiegels, waar en op welke diepte deze voorkomen en waardoor ze veroorzaakt worden.

Na een inventarisatie van de gegevens van het betreffende perceel (hoofdstuk 2) volgen de opzet van het veldonderzoek, de gebruikte meetmethoden en de resultaten (respectievelijk hoofdstuk 3, 4 en 5). In hoofdstuk 6 wordt de verkregen informatie bediscussieerd en conclusies staan vermeld in hoofdstuk 7.

2 BESCHRIJVING PERCEEL EN WATERHUISHOUDING

Het graslandperceel is gelegen in de Gelderse Vallei, in het afwateringsgebied van de Schuitenbeek nabij Putten. De grondsoort is voornamelijk veldpodzol. Het bodemmateriaal is zeer fijnzandig en zwak lemig, naar beneden aflopend tot (bijna) leemarm zand. Bij het bodemgeografisch onderzoek zijn op enkele plaatsen een zogenaamde meerbodem (fijn, zeer humeus), een leemlaag (55% < 50 μm) of grind aangeboord op 1 tot 1,2 m diepte. (Steenvoorden e.a., 1988). Boven 1 m - mv. is geen storende laag geconstateerd. Bij het bodemgeografisch onderzoek is echter de grondboor gebruikt, zodat geen beeld is verkregen van eventuele verdichte lagen in het bodemprofiel. Het maaiveld is ongelijk en helt af van zuid naar noord. De zuidkant is in het verleden moestuin en boomgaard geweest, waardoor de bodem is opgehoogd (Te Riele, pers. meded.). Op de noordelijke helft van het perceel is in het verleden zand onder de teeltlaag weggegraven als fundering van een nieuwe stal (boer, pers. meded.). Het perceel is in gebruik als grasland en is jarenlang zwaar bemest met voornamelijk zeugendrijfmest.

Voor het fosfaatuitspoelingsonderzoek is in het perceel een nieuwe sloot gegraven. Een overzicht van het perceel wordt gegeven in figuur 1 (hoofdstuk 4). In de proefsloot zijn twee damwanden geplaatst: damwand I als meetschot en damwand II met pomp om een vrije overstort bij het meetschot te garanderen. De bodem van de proefsloot loopt af naar het zuiden, naar de bestaande afvoersloot. Door de tegengestelde helling van maaiveld en slootbodem, loopt de diepte van de proefsloot op van 0,50 m - mv. tot 1,10 m - mv. bij damwand I.

In de meetperiode 1987/1988 staat het grondwater gemiddeld op ca. 60 cm - mv.; het slootpeil staat continu hoger. Dit betekent dat het slootwater infiltreert in de bodem door het verschil in sloot- en grondwaterpeil en, bij een hoger peil, ten dele wordt afgevoerd over de overstort in damwand I. De proefsloot wordt gevoed door aanvoer van neerslagoverschotten vanuit het perceel en door directe neerslag op de sloot. Om een indruk te krijgen van de grootte van de aanvoer uit het perceel en het afvoerend oppervlak is de waterbalans van de proefsloot over de meetperiode opgesteld. Naast de aanvoer uit het perceel is ook de slootinfiltratie een onbekende balansterm. Door de waterbalans van de proefsloot op te stellen voor droge perioden zonder neerslag, waarbij geen aanvoer uit het perceel optreedt, is de infiltratie vanuit de proefsloot geschat op 0,9 m³ per dag (tabel 1). In perioden met hogere grondwaterstanden is de slootinfiltratie wellicht lager.

De waterbalans van de proefsloot van 14-11-1987 tot en met 10-4-1988 is vermeld in tabel 2. Uitgaande van 0-0,9 m³ per dag slootinfiltratie, moet in deze periode een afvoer vanuit het perceel naar de proefsloot plaatsvinden van 85-220 m³. Daar het

slootpeil hoger is dan het grondwaterpeil, komt deze afvoer niet via het grondwater maar over of door de bovengrond. Ook de bromide- en chlorideconcentraties in bodemvocht en slootwater wijzen erop dat het slootwater voornamelijk afkomstig is van de bovenste 30-40 cm van de bodem. Het afvoerend oppervlak naar de proefsloot is door Steenvoorden e.a. (1988) geschat op minimaal een 8 m brede strook langs de sloot.

Tabel 1 Waterbalans van de proefsloot voor enkele droge perioden in de winter 1987/1988.

Slootoppervlak op maaiveldshoogte = 78 m².

Neerslagoverschot op sloot = (neerslag - E_o) * 78 (m³).

Slootinfiltratie = neerslagoverschot op sloot + aanvoer uit perceel (= 0) - toename slootberging - slootafvoer (m³).

Periode	Neerslag (mm)	E _o (mm)	Neerslagoverschot op sloot (m ³)	Toename slootberging (m ³)	Slootafvoer (m ³)	Slootinfiltratie	
						(m ³)	(m ³ .d ⁻¹)
2/12-11/12	0.0	2.2	-0.2	- 8.7	0	8.5	0.9
12/1 -21/1	0.9	2.4	-0.1	- 7.0	0	6.9	0.8
12/2 -19/2	0.0	4.8	-0.4	- 7.3	0	6.9	1.0
1/4 - 9/4	0.2	13.4	-1.0	-10.0	0	9.0	1.1

Tabel 2 Waterbalans van de proefsloot van 14-11-1987 t/m 10-4-1988 (m³).

Aanvoer uit perceel = toename slootberging + slootafvoer + slootinfiltratie - neerslagoverschot op sloot.

Weerslagoverschot op sloot	Aanvoer uit perceel	Toename slootberging	Slootafvoer	Slootinfiltratie
20	85-220	-5	110	0-135

3 OPZET VELDONDERZOEK

Bij de opzet van het veldonderzoek in 1988/1989 is rekening gehouden met een eventueel vervolg van het uitspoelingsonderzoek op het perceel. Uitgebreide graaf- en bemonsteringswerkzaamheden zijn dan ook vermeden.

- Op het perceel is de indringingsweerstand met een penetrometer gemeten. Dit is een snelle en eenvoudig uit te voeren methode om de aanwezigheid en verspreiding van een dichtere laag aan te geven, waarbij het proefveld het minst verstoord wordt. De kracht die nodig is om een bepaalde conus langzaam in de grond te drukken, wordt op verschillende diepten gemeten en geregistreerd, zodat een beeld van het verloop van de indringingsweerstand met de diepte verkregen wordt.
- Het poriënvolume van de bovengrond is bepaald.
- Grondwaterstanden in een doorsnede parallel aan en dwars op de proefsloot, en het slootpeil zijn gemeten.
- De grondwaterstand in enkele diepere buizen is gemeten om wegzijging en/of kwel te bepalen.
- (Schijn)grondwaterstanden zijn gemeten. Op drie plaatsen op het perceel is een set ondiepe buizen met filters op verschillende diepten geplaatst.
- De drukhoogte op verschillende diepten is gemeten met tensiometers op dezelfde locaties als de ondiepe grondwaterstands-buizen. Om een gedurende korte tijd optredende schijngron-waterspiegel niet te missen, zijn de drukhoogten op een locatie "continu" geregistreerd.
- Plasvorming en oppervlakteafvoer zijn waargenomen, maaivelds-hoogte en neerslag zijn gemeten.

4 MEETMETHODEN

Een overzicht van het proefperceel en de aanwezige apparatuur is weergegeven in figuur 1.

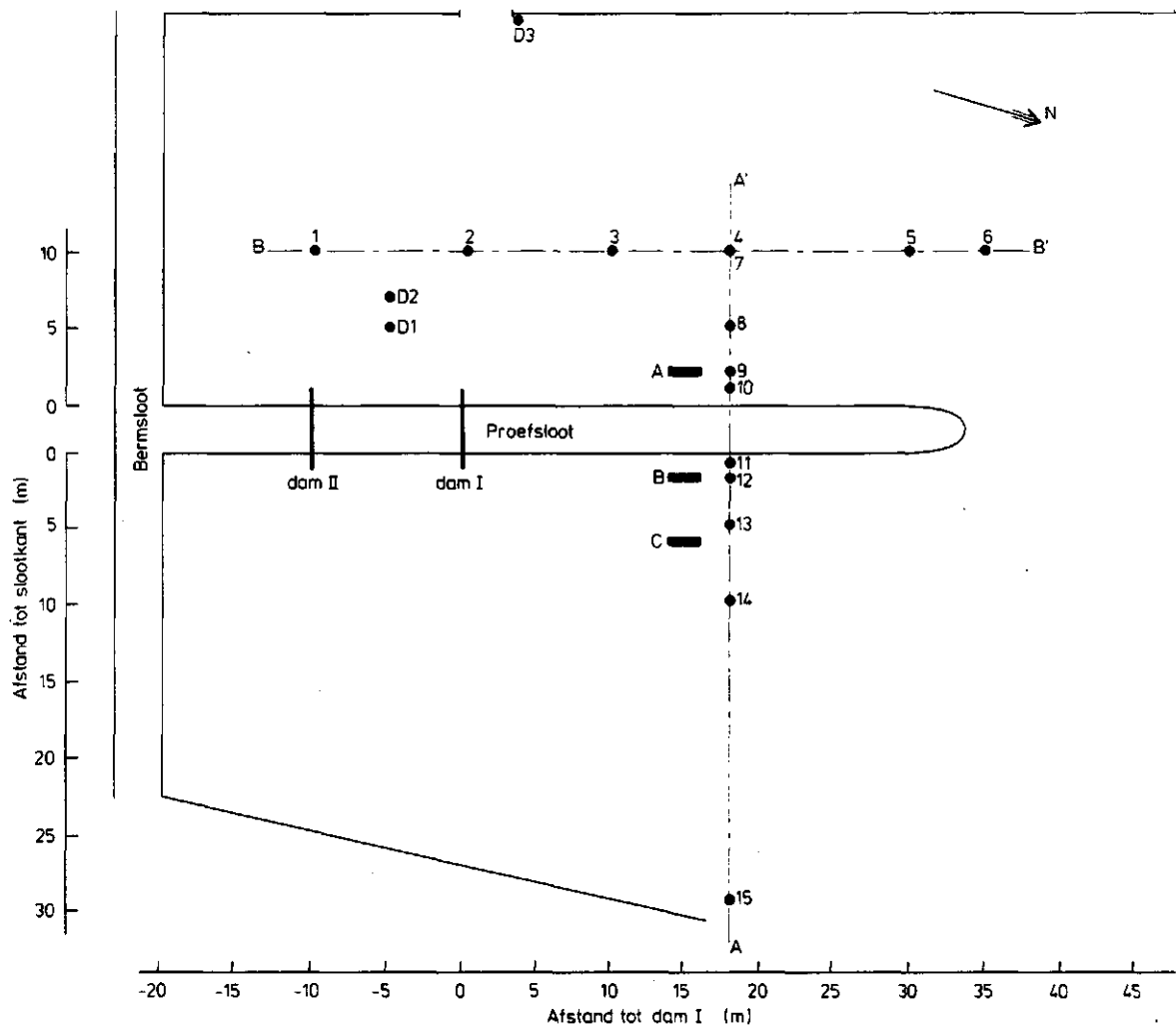


Fig. 1 Overzicht van het perceel.
 Grondwaterstandsbuizen met filters op
 0,8-1 m - mv. (1 t/m 15), 3-3,5 m - mv. (D1)
 en 4-4,5 m - mv. (D2). Pompput met filters
 op 10 en 40 m - mv. (D3). Doorsneden AA' en BB'.
 Locaties met tensiometerset en ondiepe grond-
 waterstandsbuizen (A, B en C).

4.1 Bodemverdichting

De indringingsweerstand is aan weerszijden van de proefsloot voor vier raaien van elf punten met een penetrometer (Bush) gemeten. De metingen werden opgeslagen met een Epson HX-20. De eerste raaien liggen 0,5 m van de slootkant, het eerste punt bij damwand I en de overige op onderlinge afstand van 4 x 4 m. De gebruikte conus heeft een tophoek van 30 graden en 1,3 cm² oppervlakte (de ASAE-B conus). Van 0 tot 70 cm diepte is om de 5 cm de indringingsweerstand in kgf gemeten. Uit onderzoek (De Wit, 1988) is gebleken dat de indringingsweerstand van deze conus in zandgrond uitgedrukt in kgf dezelfde is als de indringingsweerstand van de in Nederland veel gebruikte conus met een tophoek van 60 graden en een oppervlakte van 1 cm². De metingen zijn uitgevoerd in het najaar (17-11-1988) en herhaald in het voorjaar (26-4-1989). Bij de voorjaarsbepaling liggen de eerste raaien 1 m van de slootkant, en zijn slechts vijf raaien gemeten vanwege een defect van de apparatuur.

Het poriënvolume is bepaald uit het droog-volumegegewicht. Op 5-12-1988 zijn op de drie geselecteerde locaties voor de tensiometersets en de ondiepe grondwaterstandsbuizen (paragraaf 4.2) op 10, 15 en 25 cm diepte twee ringmonsters van 232 cm³ gestoken om het droog-volumegegewicht te bepalen. Het organische-stofgehalte van deze monsters is bepaald met de gloeiverliesmethode. Het poriënvolume (PV) wordt berekend volgens:

$$PV = 1 - DVG * \left(\frac{OS}{SGOS} + \frac{(1-OS)}{SGM} \right) \quad , \text{ waarin}$$

DVG = droog-volumegegewicht (g.cm⁻³)

OS = organische-stofgehalte (g.g⁻¹)

SGOS = soortelijk gewicht organische stof, 1,47 g.cm⁻³

SGM = soortelijk gewicht minerale delen, 2,66 g.cm⁻³

4.2 Grondwaterstand

Parallel aan de proefsloot is een raai van zes grondwaterstandsbuizen geplaatst en dwars op de proefsloot een raai van negen buizen (1 t/m 6 resp. 7 t/m 15). De filters bevinden zich op 0,8-1 m - mv. 2 meter ten noorden van de dwarsraai is nog een rij van zeven buizen aanwezig met filters van 20 cm lengte op circa 1,5 m diepte (17 t/m 22 en 24, niet aangegeven in figuur 1). Bovendien bevinden zich op het perceel twee diepe buizen met een filter op resp. 3-3,5 m - mv. (D1) en 4-4,5 m - mv. (D2), en een pompput met twee filters op circa 10 en 40 m diepte (D3).

Op basis van de penetrometer-waarnemingen van 17-11-1988, de veldsituatie en de al aanwezige meetapparatuur zijn drie locaties uitgekozen voor de tensiometersets en de ondiepe grondwaterstandsbuizen. De tensiometersets bevinden zich op 16 m afstand van damwand I (fig. 1), 2 m ten westen (locatie A) en 2 m en 6 m

ten oosten van de proefsloot (locatie B en C). De ondiepe grondwaterstandsbuizen staan circa 0,8 m vanaf de tensiometersets parallel aan de proefsloot op onderlinge afstand van circa 15 cm (fig. 2). De filterlengte is 5-10 cm. De onderkant van de filters bevindt zich op 10, 20, 30, 40, 50, 60 en 100 cm - mv.

De grondwaterstand in de buizen is minstens één keer per week met de hand gemeten van december 1988 t/m april 1989.

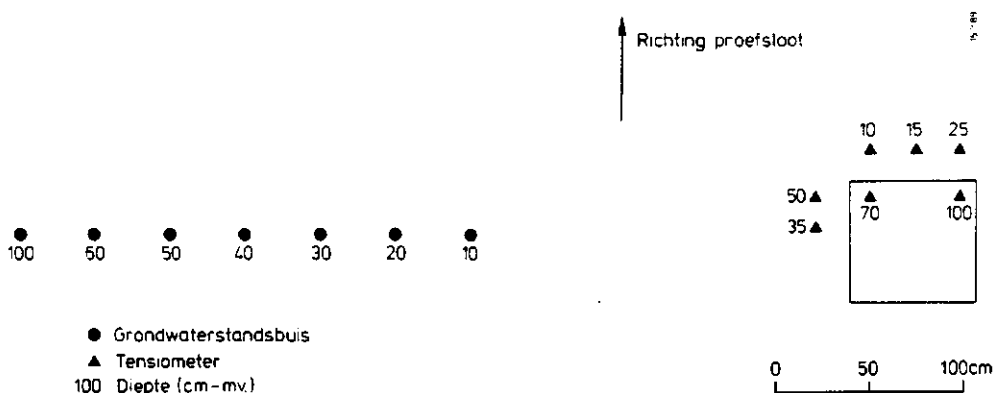


Fig. 2 Schema van een locatie met tensiometerset en ondiepe grondwaterstandsbuizen.

4.3 Drukhoogte

Op de drie locaties zijn tensiometersets geïnstalleerd. Vanuit de kuil, ontstaan door het steken van de ringmonsters, zijn de tensiometerpotjes horizontaal geplaatst op 10, 15 en 25 cm - mv., diagonaal op 35 en 50 cm - mv. en verticaal op ca. 70 en 100 cm - mv. (fig. 2). Bij locatie A is bovendien een tensiometer in de slootbodem geplaatst. De drukhoogten zijn minstens één keer per week met de hand gemeten, in de periode van december 1988 t/m april 1989.

Van 19-1-1989 t/m 8-5-1989 zijn met een datalogger (tattletale-IV, Van Gils) de drukhoogten op 10, 25, 35, 50 en 70 cm - mv. bij locatie A, het slootpeil en de neerslag elk uur geregistreerd. De zogenaamde "tattle" bestaat in principe uit pressure transducers en een registratie-unit. Via een Epson PX-8 zijn de opgeslagen gegevens in het veld afgetapt en op de VAX overgebracht voor verdere verwerking. Vanwege de vorstgevoeligheid van de pressure transducers is de "tattle" met isolerend materiaal omgeven en ingegraven. De verbindingsslangen van de tensiometers met de "tattle" zijn ook geïsoleerd en onder het maaiveld begraven.

4.4 Overige aspecten

Gedurende de meetperiode is gelet op plassen op het maaiveld, opzichtbaar optreden van oppervlakteafvoer en op het zichtbaar uittreden van water uit het sloottalud.

De hoogteligging van de verschillende meetpunten is bepaald ten opzichte van de bovenkant van damwand I door middel van waterpassing.

Gedurende de meetperiode is de neerslag gemeten met een registrerende regenmeter met een trechteroppervlak van 400 cm^2 op 40 cm boven maaiveld.

5 RESULTATEN

5.1 Bodemverdichting

Een hoge indringingsweerstand duidt op een dichte laag. Een laag met hoge indringingsweerstand hoeft niet slecht doorlatend te zijn (extreem voorbeeld: grindlaag); een slecht doorlatende laag hoeft geen hoge indringingsweerstand te hebben (b.v. een versmeerde natte kleilaag). Bij een fijne zandgrond, zoals op het proefperceel, wijzen hoge indringingsweerstand op grote dichtheden, waarbij de verzadigde doorlatendheid zal afnemen, naarmate de grond dichter is. Aanhangel 1 geeft de gemeten indringingsweerstandprofielen per meetpunt. Bij vrijwel alle meetpunten is de indringingsweerstand op 10-20 cm diepte groter dan 30 kgf; er zijn zelfs waarden tot 70 kgf gemeten. 30 Kgf wordt gezien als de waarde, waarboven beworteling nauwelijks mogelijk is. De indringingsweerstand is behalve afhankelijk van de dichtheid ook afhankelijk van het vochtgehalte. Bij een gelijkblijvende dichtheid geeft een hoger vochtgehalte een lagere indringingsweerstand. Bij penetrometer-waarnemingen kan daarom sprake zijn van een seizoenseffect: in het najaar is de grond in het algemeen droger dan in het voorjaar, zodat dan hogere indringingsweerstand worden gemeten. De metingen in het voorjaar op dit proefperceel geven echter geen duidelijk lagere indringingsweerstand dan de najaarsmetingen. De extreme waarden van de indringingsweerstand van 50 tot 70 kgf zijn dus niet gedeeltelijk toe te schrijven aan droge grond. De resultaten van de voor- en najaarsmetingen worden dan ook samen besproken.

De hogere indringingsweerstand op de diepte van 10-20 cm wordt niet veroorzaakt door een verandering in de samenstelling van het bodemmateriaal. De bodem is waarschijnlijk sterk verdicht door berijden (giertanks), en is de afgelopen 10-15 jaar niet weer losgemaakt door grondbewerkingen. In fig. 3 zijn de meetpunten en de proefsloot schematisch weergegeven. Voor elk meetpunt is met tekens de grootteklasse aangegeven van de maximale waarde van de indringingsweerstand van 0 t/m 20 cm onder maaiveld. Gemiddeld is deze tussen de 40 en 50 kgf. Uit deze figuur blijkt dat de bovengrond van het gehele perceel sterk is verdicht.

De resultaten van de indringingsweerstand beneden 20 cm - mv. zijn moeilijk te interpreteren. Dieper in het profiel ontbreken namelijk veel gegevens. Wanneer de conus van de penetrometer een weerstand groter dan ca. 60 kgf ondervindt, kan de prik niet voortgezet worden en is de grootte van de indringingsweerstand beneden deze diepte niet bekend. Regelmatig is op een diepte beneden 40 cm - mv. een sterke stijging van de indringingsweerstand gemeten over 5 tot 10 cm diepteverschil. Uit boringen op enkele plaatsen is gebleken dat hier de humeuze bovengrond naar de ondergrond overgaat (A- naar C- of B2-horizont).

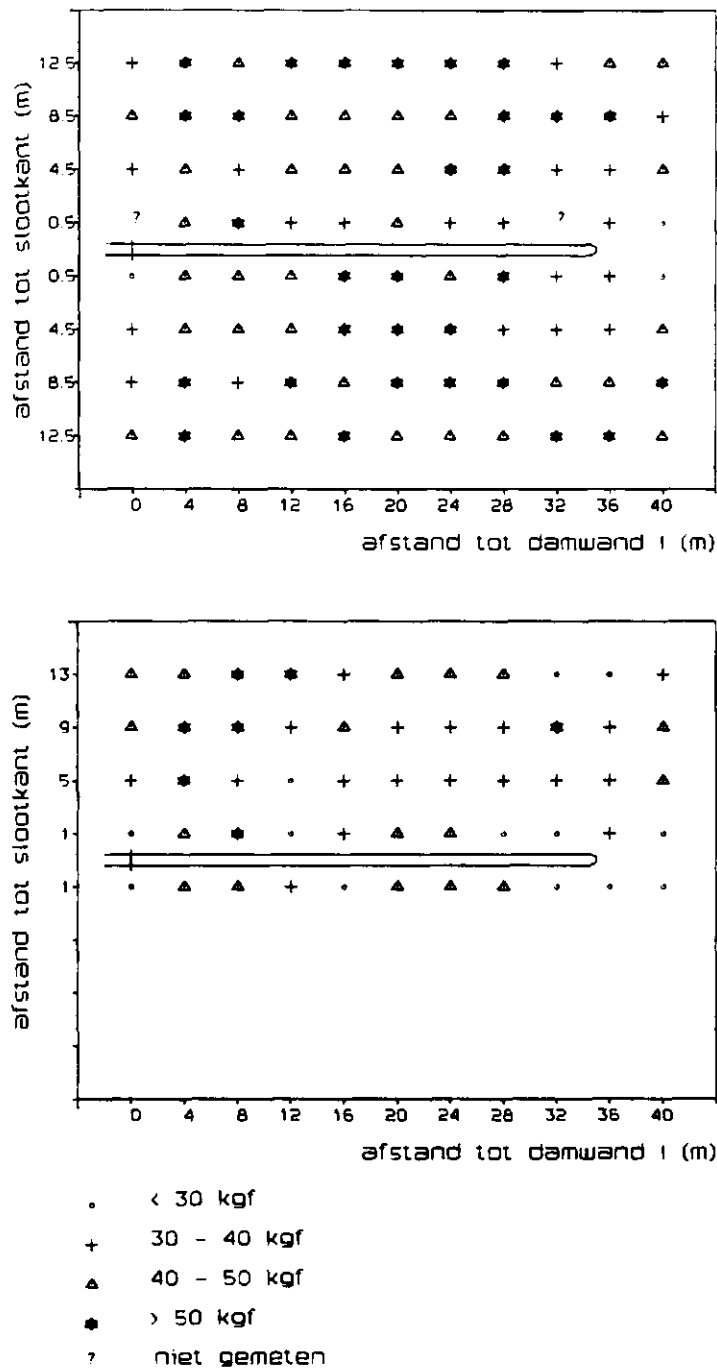


Fig. 3 Schematische weergave van de maximale waarde van de indringingsweerstand in de laag van 0 t/m 20 cm - mv. over het gebied rond de proefslot, gemeten op 17-11-1988 (a) en 26-4-1989 (b).

Er kan onderscheid gemaakt worden tussen meetpunten waar op een bepaalde diepte ondieper dan 60 cm de indringingsweerstand groter dan 50 kgf is, en meetpunten waar een indringingsweerstand groter

dan 50 kgf niet of dieper dan 60 cm - mv. voorkomt. In fig. 4 is voor elk meetpunt de grootteklasse aangegeven van de maximale indringingsweerstand in de laag van 25 t/m 60 cm - mv. Op de punten met een ster komt een indringingsweerstand groter dan 50 kgf voor tussen 25 en 60 cm - mv. De overige punten bevinden zich alle in het noordwestelijke deel van het perceel (fig. 4).

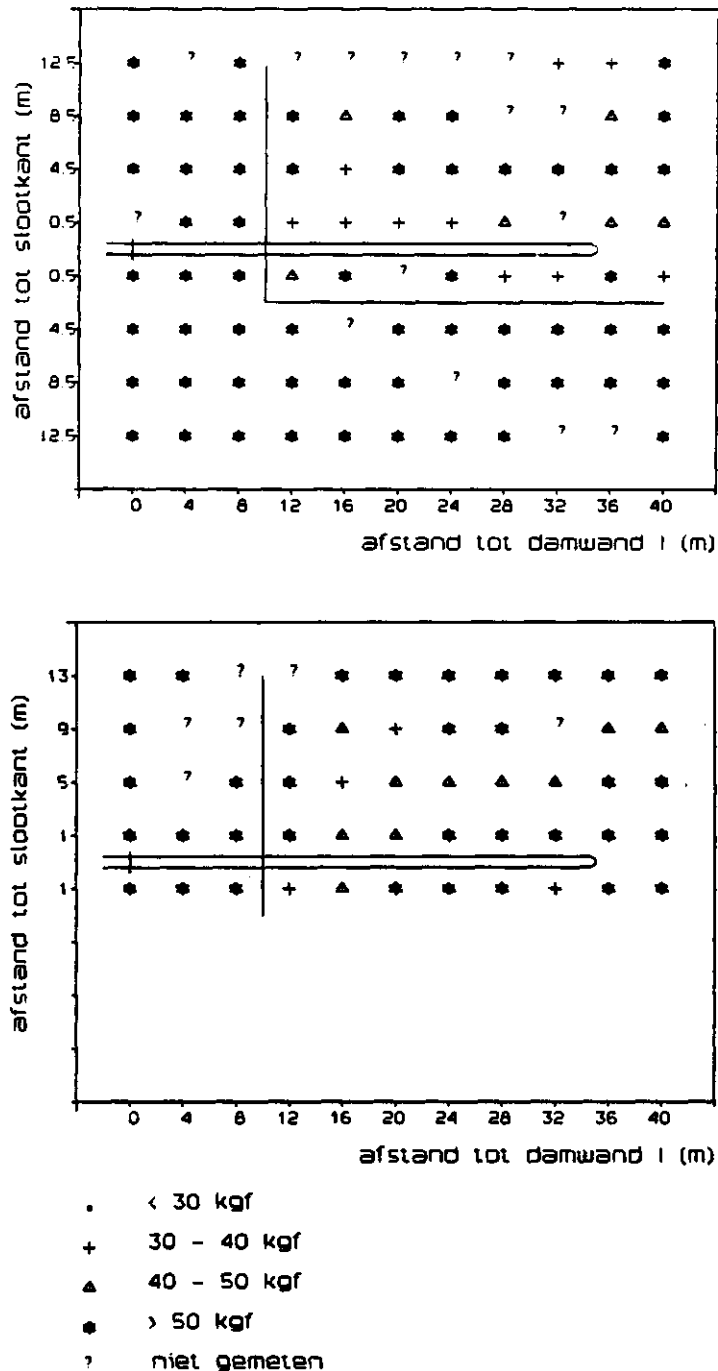


Fig. 4 Schematische weergave van de maximale waarde van de indringingsweerstand in de laag van 25 t/m 60 cm - mv. over het gebied rond de proefsloot gemeten op 17-11-1988 (a) en 26-4-1989 (b).

Het poriënvolume en het droog-volumegegewicht van de bovengrond op de drie tensiometerlocaties staan vermeld in tabel 3. Het organische-stofgehalte is ca. 4%. Zandgrond met een poriënfraction kleiner dan 40% wordt niet doorwortelbaar genoemd. Met een poriëngehalte kleiner dan 40% is de grond vaak al zo dicht, dat de indringingsweerstand voor de wortels erg hoog wordt. Bij vochtige omstandigheden is de indringingsweerstand misschien niet te hoog, maar dan is vaak het luchtgehalte te laag voor de wortels. De resultaten laten zien dat de grond vooral op 10 en 15 cm - mv. op deze drie locaties erg dicht is.

Tabel 3 Poriënvolume (PV) en droog volumegegewicht (DVG) op drie diepten op locatie A, B en C.

Locatie	A		B		C		
	Diepte (cm - mv.)	PV (%)	DVG (g.cm ⁻³)	PV (%)	DVG (g.cm ⁻³)	PV (%)	DVG (g.cm ⁻³)
	10	38,4	1,59	37,7	1,61	37,4	1,62
	15	37,3	1,62	38,6	1,59	39,3	1,56
	25	42,9	1,46	41,0	1,53	40,5	1,55

5.2 Grondwaterstand

Vanwege de aanzienlijke verschillen in maaiveldshoogte (tot 0,4 m) is de bovenkant van damwand I als referentieniveau genomen. Een representatieve periode van de gemeten grondwaterstanden in lengtedoorsnede en dwarsdoorsnede is weergegeven in fig. 5. Op 15-12-1988 zijn de grondwaterstanden in de buizen in evenwicht; het slootpeil staat ca. 12 cm hoger. De situatie op 19-12-1988, na 28,5 mm neerslag waarvan ca. 20 mm de betreffende ochtend gevallen is, is duidelijk verschillend aan weerszijden van de proefsloot. Ten oosten van de proefsloot (A) is het grondwater gemiddeld 54 cm gestegen tot circa 10 cm - mv., terwijl het grondwater aan de westkant van de proefsloot (A') slechts gemiddeld 35 cm gestegen is. Een groot gedeelte van het neerslagoverschot aan de westzijde van de proefsloot heeft het grondwater dus (nog) niet bereikt. In de lengteraaï stijgt het grondwater in de buizen 1, 2 en vooral 3 sterker dan in de buizen 4, 5 en 6. Op de twee volgende meettijdstippen, 22-12-1988 en 28-12-1988, is het grondwater steeds verder uitgezakt. Het slootpeil staat ca. 23 cm hoger dan het grondwater in de omringende buizen. Soortgelijke reacties van het grondwater op neerslag zijn in de meetperiode herhaaldelijk voorgekomen (zie aanhangsel 2 voor de gemeten grondwaterstanden in lengte- en dwarsdoorsnede op verschillende tijdstippen). Fig. 6 geeft het verloop van de grondwaterstand in de tijd weer. Het grondwater ten noordwesten van de proefsloot (buis 4 t/m 10) staat vrijwel permanent lager dan het slootpeil.

De stijghoogte in de filters op 0,8-1 m - mv. verschilt in het algemeen niet van de stijghoogte in de corresponderende filters op 1,3-1,5 m - mv. Alleen bij de koppels 12/22 en 14/24 is de

stijghoogte in de diepere filters 10-20 cm lager. Uit vergelijking van de stijghoogten in buis 1 (0,8-1 m - mv.), D1 (3-3,5 m - mv.), D2 (4-4,5 m - mv.) en D3 (10 en 40 m - mv.) blijkt dat er in de bovenste meters van het profiel sprake is van wegzijging, en dat op grotere diepte de stijghoogte van het water boven het maaiveld reikt (fig. 6).

De stijghoogte in de zgn. ondiepe buizen is voor dezelfde vier tijdstippen als in fig. 5 weergegeven in fig. 7 (in aanhangsel 3 zijn ook de overige data vermeld). Voor elke locatie is het maaiveld van de corresponderende tensiometerset het referentieniveau.

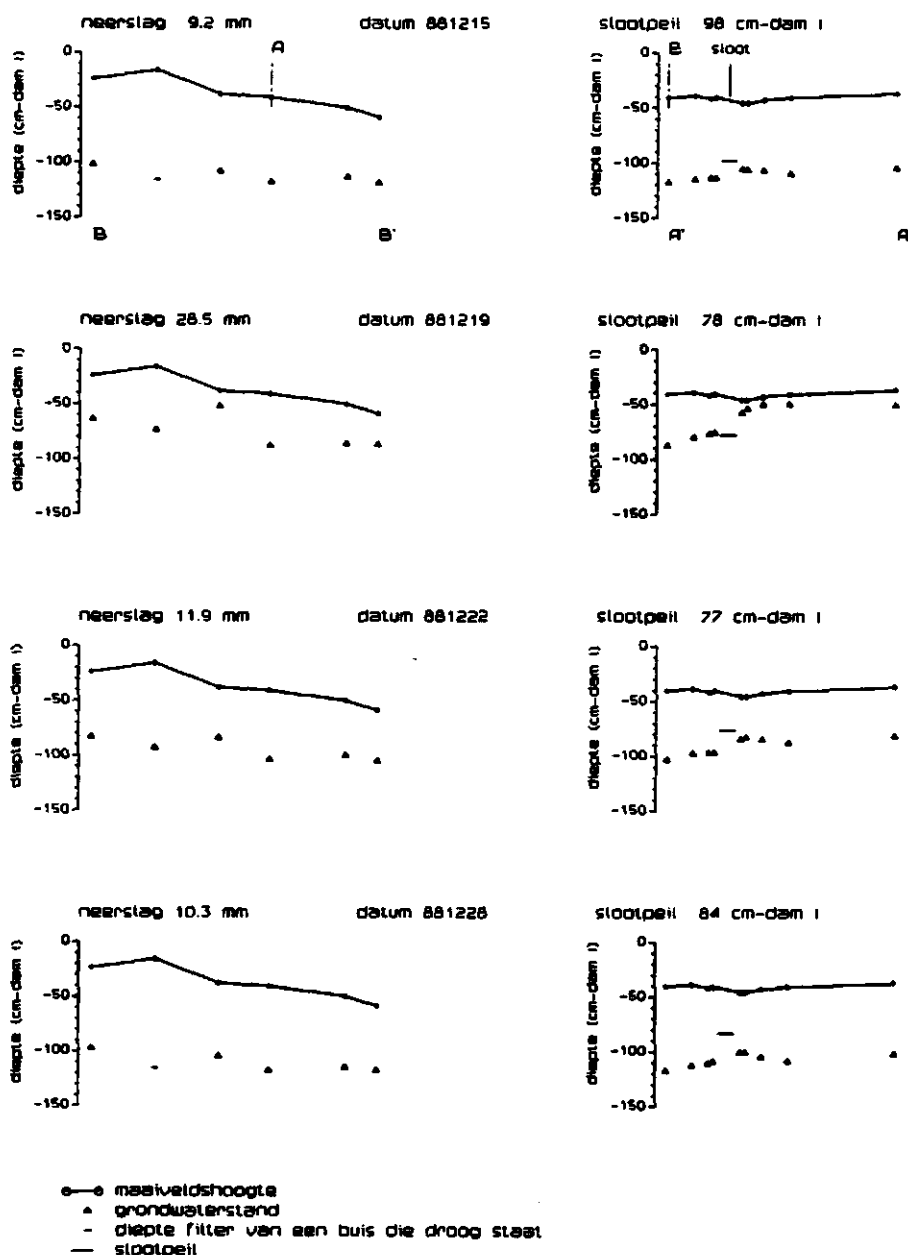


Fig. 5 Maaiveldshoogte, grondwaterstand en slootpeil (t.o.v. damwand I) in de lengtedoorsnede BB' en de dwarsdoorsnede AA' op vier tijdstippen in december 1988, en de cumulatieve neerslag sinds de voorafgaande datum.

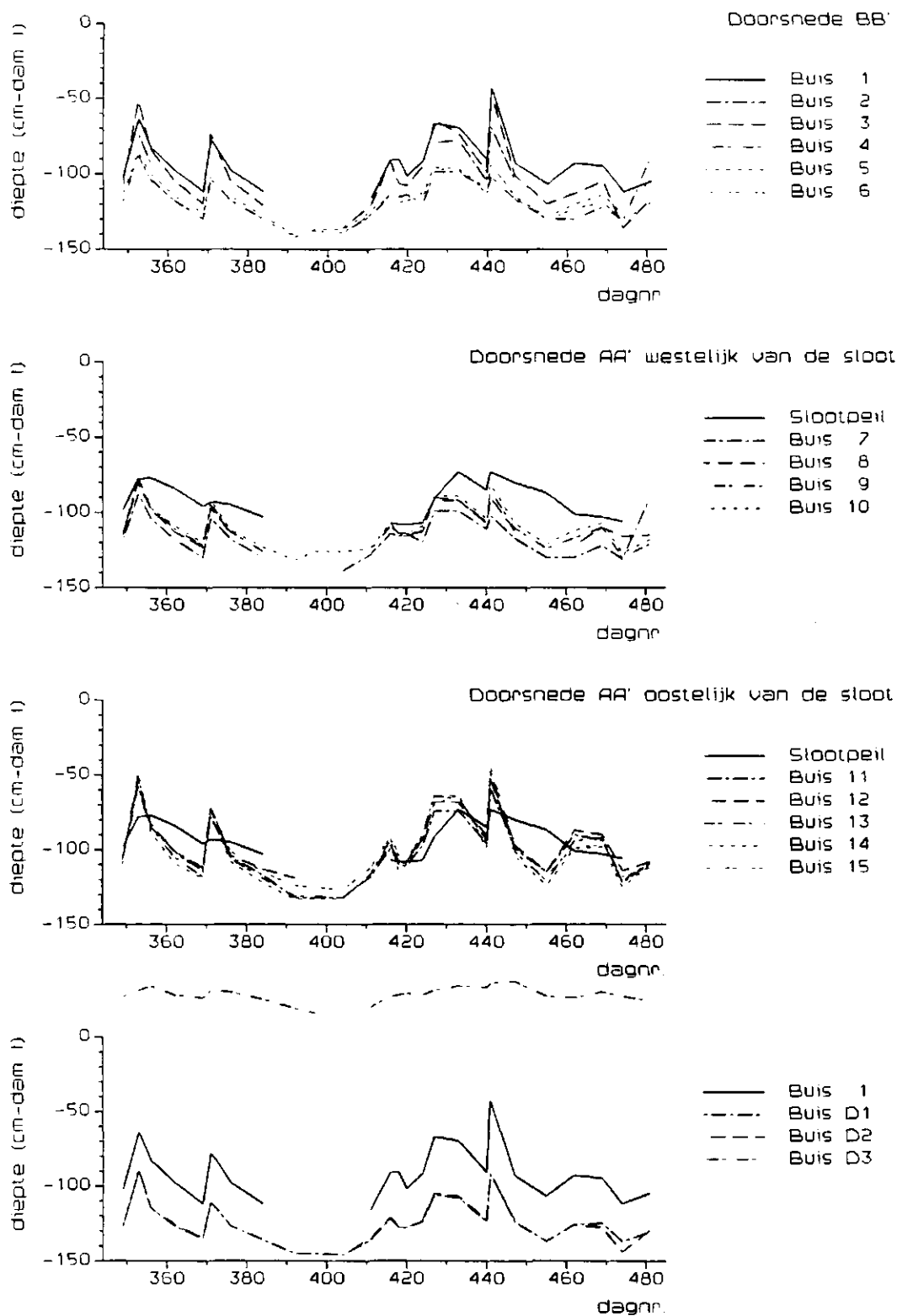


Fig. 6 Verloop van het slootpeil en de grondwaterstand in verschillende buizen (t.o.v. damwand I) van 15-12-1988 tot 26-4-1989 (dagnr. 349 tot 481). De gemiddelde maaiveldshoogte is 40 cm - dam I. De overstorthoogte is 75 cm - dam I.

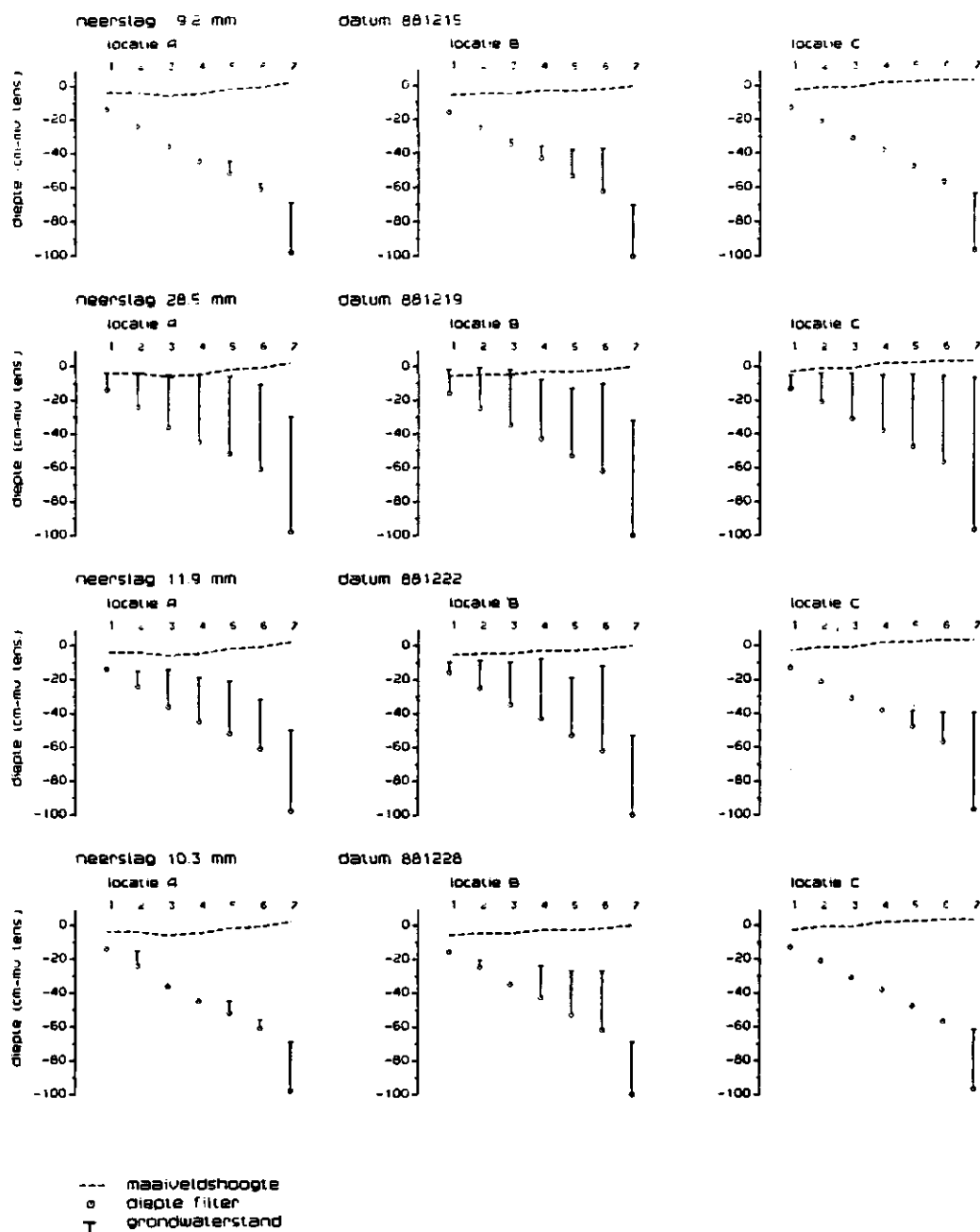


Fig. 7 Maaiveldshoogte en grondwaterstand (t.o.v. maaiveld tensiometer sets) voor zeven buizen met filters op verschillende diepten op locatie A, B en C, op vier tijdstippen in december 1988, en de cumulatieve neerslag sinds de voorafgaande datum.

Bij locatie C heerst evenwicht: de stijghoogte op elke diepte is gelijk. Voor locatie A en in mindere mate voor locatie B geldt dat de buizen met filters op 10, 20, ..., 60 cm diepte een

onregelmatig beeld geven. De stijghoogten verschillen onderling en zijn steeds veel hoger dan in de buis met filter op 100 cm diepte. Dit wijst op verschillen in de waterdoorlatendheid met de diepte en met name op een hoge weerstand tussen 60 en 100 cm - mv. Op 19-12-1988, na 28,5 mm neerslag, is in alle buizen van C de grondwaterstand gestegen tot enkele centimeters beneden maaiveld, wat overeenkomt met de waterstanden in buis 11 t/m 15. Het water in de ondiepe buizen A1 t/m A6 en B1 t/m B6 staat enkele centimeters boven of beneden maaiveld, terwijl de buizen A7 en B7 slechts circa 30 cm - mv. aangeven. Zoals de stijghoogten in de ondiepe buizen op 22-12-1988 en 28-12-1988 aangeven, is het water bij locatie A en B nog aan het infiltreren naar het grondwater.

Uit de tijdreeksen van de stijghoogte op verschillende diepten (fig. 8) blijkt ook dat op locatie A en B het infiltrerend water hoge weerstanden ondervindt, terwijl op locatie C geen sprake is van verstoringen.

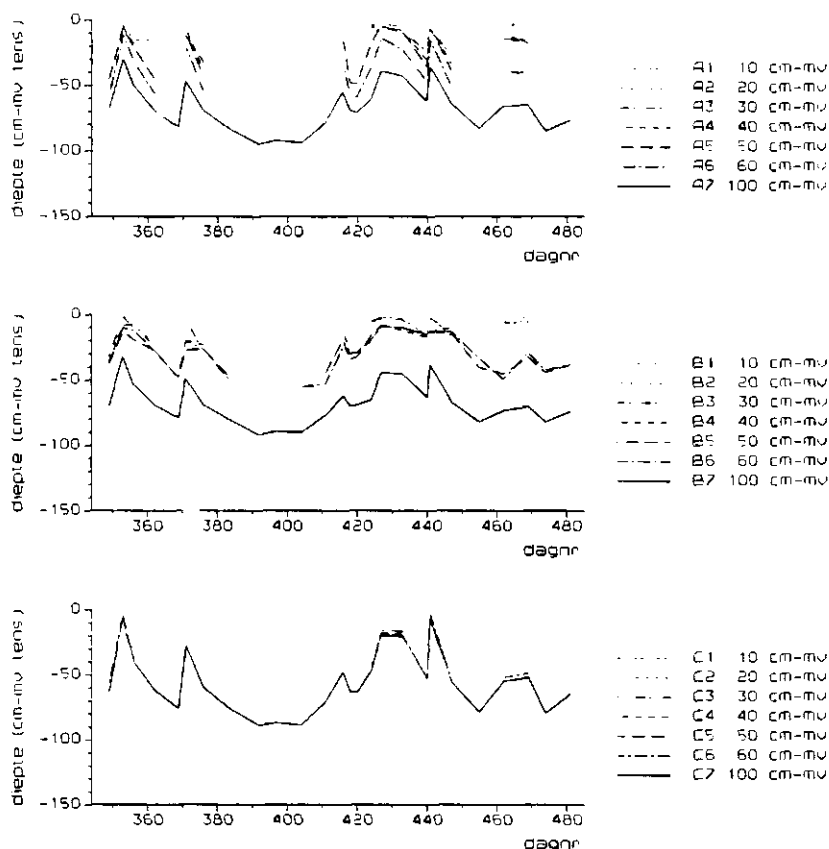


Fig. 8 Verloop van de waterstanden in de ondiepe buizen van locatie A, B en C (t.o.v. maaiveld tensiometersets) van 15-12-1988 tot 26-4-1989 (dagnr. 349 tot 481).

5.3 Drukhoogte

De drukhoogteprofielen gemeten op dezelfde vier tijdstippen als in paragraaf 5.2 zijn weergegeven in fig. 9 (de overige in aanhangsel 4) en het drukhoogteverloop gedurende de meetperiode is weergegeven in fig. 10. Een breuk in het verloop van de drukhoogte met de diepte duidt op slechter doorlatende lagen. Locatie C en in mindere mate locatie B laten een normaal drukhoogteprofiel zien: een rechte onder een hoek van -45 graden. Locatie A geeft een grillig beeld. De drukhoogten op 70 cm en 100 cm - mv. zijn met elkaar in evenwicht. Op 50 cm diepte is de grond in het algemeen natter dan op basis van de grondwaterstand (snijpunt met y-as) verwacht mag worden, wat duidt op een slecht doorlatende laag tussen 50 en 70 cm - mv. Ook op 25 cm - mv. en daarboven is de grond vaak te nat.

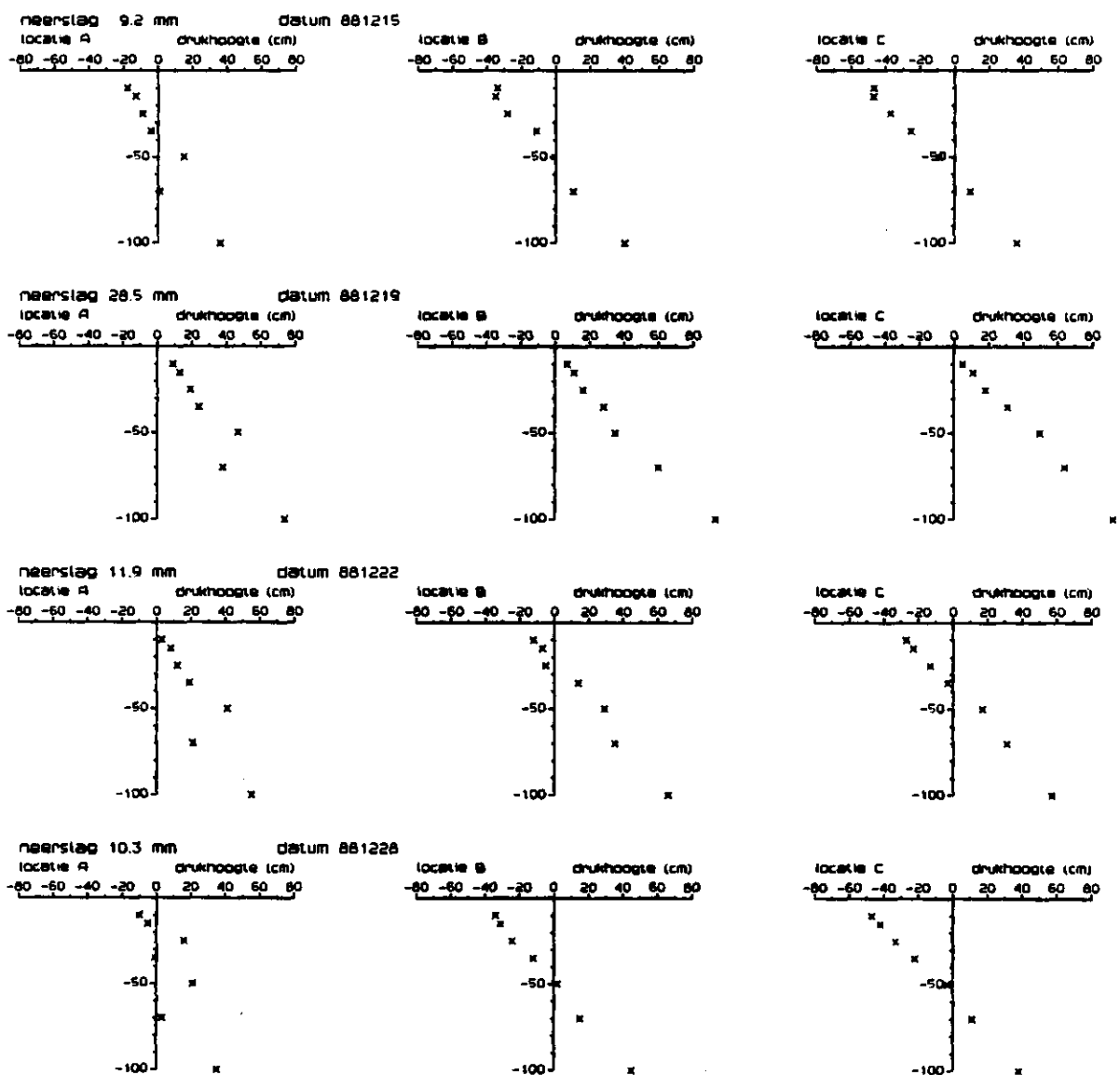


Fig. 9 Drukhoogteprofielen op locatie A, B en C op vier tijdstippen in december 1988, en de cumulatieve neerslag sinds de voorafgaande datum.

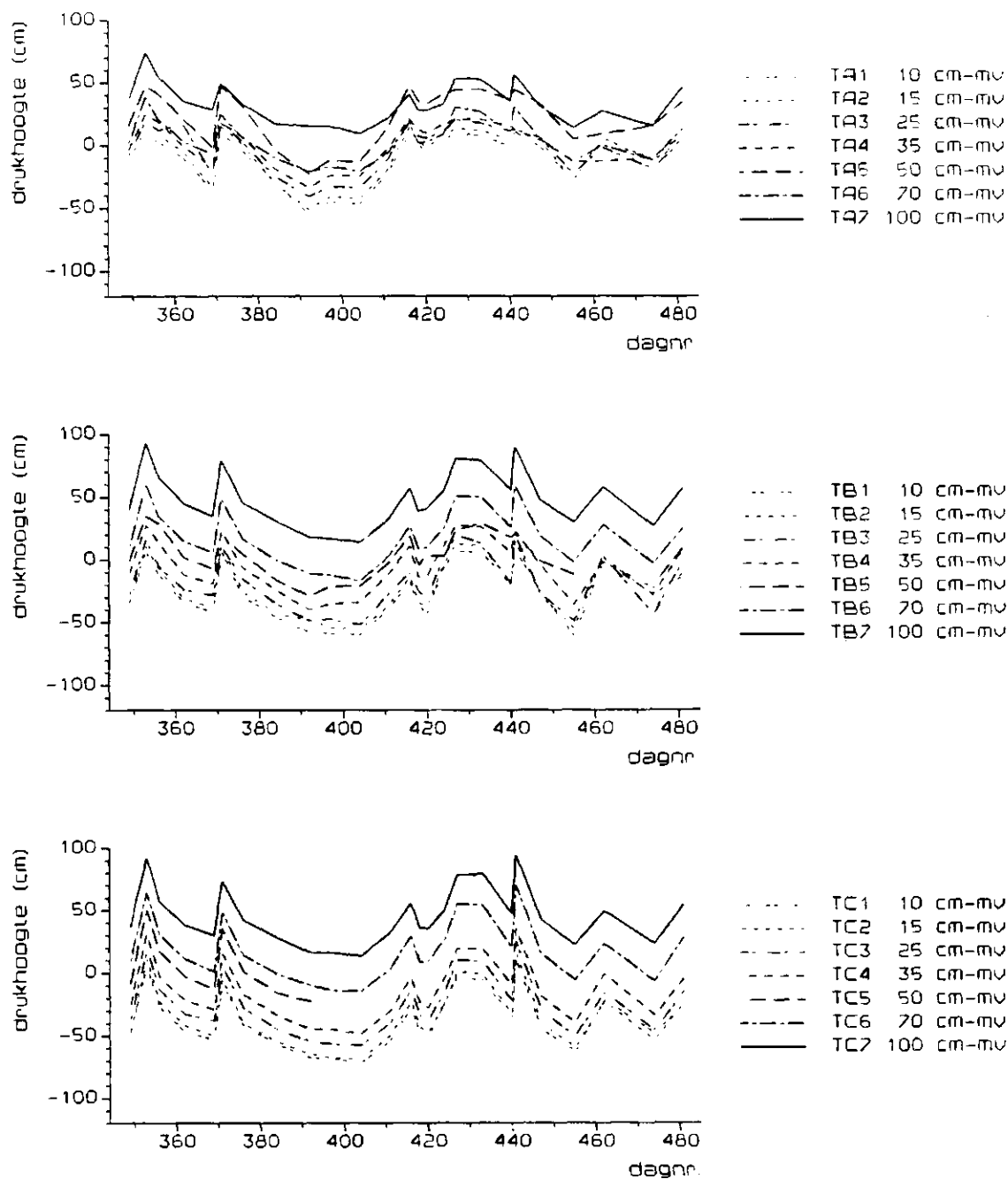
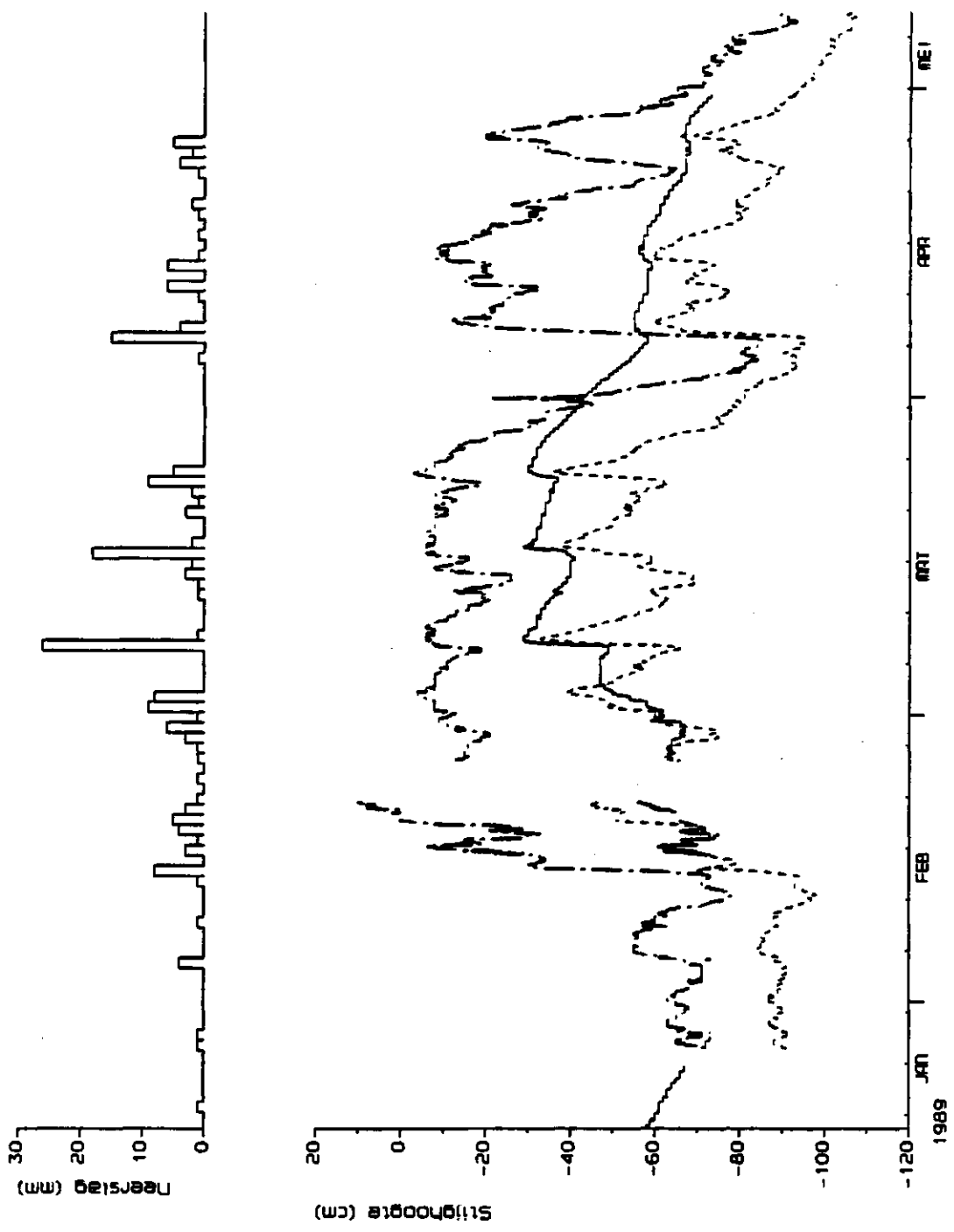


Fig. 10 Verloop van de drukhoogte op verschillende diepten op locatie A, B en C van 15-12-1988 tot 26-4-1989 (dagnr. 349 tot 481).

Voor het overzetten van de door de "tattle" geregistreeerde counts in stijghoogten wordt een ijklijn gebruikt. Deze ijklijn is voor elke pressure transducer gegenereerd door de handmetingen in het veld te vergelijken met de geregistreeerde counts (zie aanhangsel 5). Fig. 11 geeft het stijghoogteverloop in de tijd op 50 en 70 cm - mv. en de slootbodem voor locatie A. De stijghoogte op



- - - 50 cm
 - - - 70 cm
 - - - sloot

Fig. 11 De dagelijkse neerslaghoeveelheid en het verloop van de stijghoogte (= drukhoogte + plaatshoogte) op 50 en 70 cm - mv., en in de slootbodem bij locatie A van 19-1-1989 tot 8-5-1989, zoals geregistreerd met de "tattle".

10, 25 en 35 cm - mv. heeft ongeveer hetzelfde verloop als de stijghoogte op 50 cm - mv. Ook uit deze figuur blijkt duidelijk dat de stijghoogte op 50 cm diepte niet in evenwicht is met de stijghoogte op 70 cm diepte, en de stijghoogte op 70 cm niet met het slootpeil. De schijngrondwaterspiegels en plassen op het maaiveld houden lang stand: van half februari tot eind maart en het grootste deel van april is de bovengrond tot 50 cm - mv. verzadigd (positieve drukhoogte), terwijl de grondwaterspiegel dieper staat. De dagelijkse schommeling in de stijghoogte vanaf eind april is het gevolg van temperatuursfluctuaties (Bakker, pers. meded.).

Fig. 12 geeft voor locatie A weer wat gebeurt bij uitdroging gevolgd door bevochtiging. Op 24-3-1989, na een regenrijke periode, zijn de drukhoogten op de verschillende diepten niet met elkaar in evenwicht. De drukhoogte op 70 cm - mv. is te laag. Tot en met 6-4-1989 is geen neerslag gevallen; de grond droogt uit en het drukhoogteprofiel bereikt steeds meer een evenwichtssituatie. Wanneer het vervolgens gaat regenen, is de drukhoogte op 50 cm diepte niet meer in evenwicht met de drukhoogte op 70 cm - mv. Ook in de bovenste 35 cm heerst nog geen evenwicht.

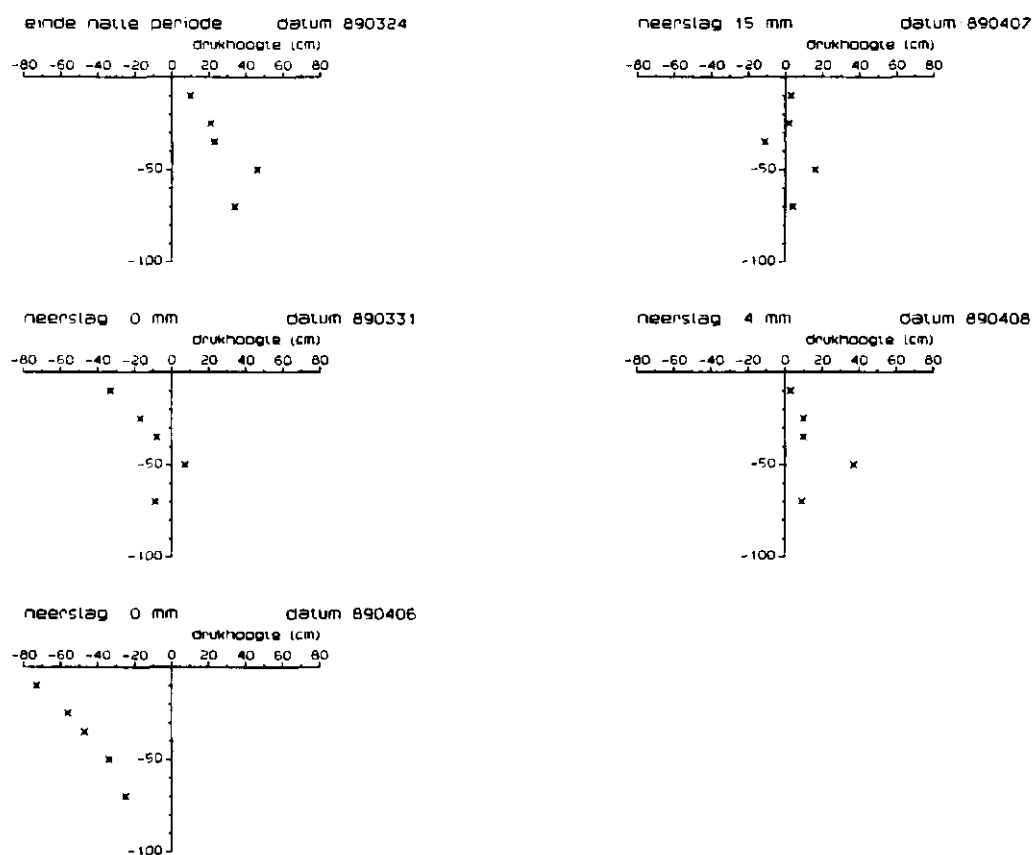


Fig. 12 Drukhoogteprofielen op locatie A bij uitdroging gevolgd door bevochtiging.

5.4 Overige aspecten

Plassen komen veelvuldig voor in het noordwesten van het perceel, ruwweg begrensd door de lijn op 10 m afstand van damwand I en de lijn op 4 m ten oosten van de proefsloot. Elders op het perceel is alleen op 19-12-1988, 9-3-1989 en 17-3-1989, na 20-30 mm neerslag in korte tijd, plasvorming geconstateerd.

Zichtbare stroming van water over het maaiveld naar de proefsloot en uittreding van water uit het sloottalud zijn niet waargenomen. Ook niet enkele uren na de bui van 20 mm op 19-12-1988.

Met de waterpasgegevens zijn de grondwaterstanden ten opzichte van het referentieniveau (bovenkant damwand I) berekend.

De dagelijkse neerslaghoeveelheden van 15-12-1988 tot 26-4-1989 zijn weergegeven in figuur 13.

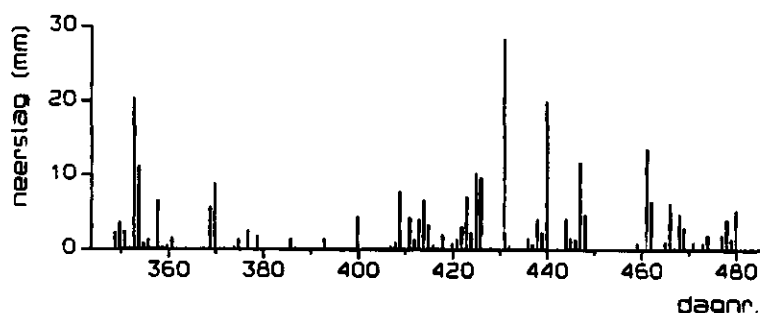


Fig. 13 Dagelijkse neerslaghoeveelheid van 15-12-1988 tot 26-4-1989 (dagnr. 349 tot 481).

6 DISCUSSIE

De discussie bestaat uit twee delen. In paragraaf 6.1 worden de resultaten uit het voorafgaande hoofdstuk besproken. Op basis van deze gegevens wordt een beschrijving van de hydrologische situatie op het perceel gegeven. In paragraaf 6.2 wordt de geschetste situatie vergeleken met de resultaten uit de onderzoeksperiode 1987/1988 (Steenvoorden e.a., 1988).

6.1 Meetperiode 1988/1989

Wegzijing treedt op in de bovenste meters van het profiel. Dit wordt aangegeven door het stijghoogteverschil in buis 1 (filter op 0,8-1 m - mv.) en buis D1 (filter op 3-3,5 m - mv.). Aan de hand van de grondwaterstands daling in buis 1 gedurende perioden dat het slootpeil hoger staat dan het grondwater, is een schatting gemaakt van de wegzijing. Uitgaande van een bergingscoëfficiënt van 0,06 is de wegzijing geschat op minimaal $1,3 \text{ mm.dag}^{-1}$. Deze grote wegzijing komt overeen met de bevinding in de meetperiode 1987/1988, waarin een belangrijk deel van de neerslagoverschotten naar de ondergrond verdwijnt (Steenvoorden e.a., 1988). De daling van het slootpeil in perioden zonder slootafvoer is enkele malen groter, namelijk ca. 10 mm.dag^{-1} , doordat het slootwater ook zijdelings infiltreert.

De gemeten drukhoogten, de grondwaterstanden in de ondiepe buizen en de grondwaterstanden in de dwarsraai komen onderling goed overeen. (Alleen buis B7 geeft het grondwaterpeil 10-20 cm lager aan).

De grondwaterspiegel staat vrijwel altijd lager dan het slootpeil. Alleen na perioden met veel neerslag stijgt het grondwater aan de oostkant van de proefsloot bijna tot in het maai veld; ten noordwesten van de proefsloot (buis 4 t/m 10) stijgt het grondwater iets, maar blijft het onder het slootpeil. Daar wordt het neerslagoverschot waarschijnlijk grotendeels door de toplaag van de bodem naar de proefsloot afgevoerd. Uit de drukhoogtemetingen en de grondwaterstanden in de ondiepe buizen op locatie A en in mindere mate op locatie B, blijkt dat regelmatig een schijngrondwaterspiegel aanwezig is (zie opmerking over het begrip schijngrondwaterspiegel in hoofdstuk 1). De schijngrondwaterspiegels worden waarschijnlijk veroorzaakt door een laag met lage waterdoorlatendheid tussen 50 en 70 cm - mv. Bij locatie C is het drukhoogteprofiel altijd in evenwicht. Ook de grondwaterstanden gemeten in filters op verschillende diepten zijn steeds dezelfde. Het grondwaterstandsverloop in de buizen 1, 2, 3 en 11 t/m 15 geeft geen reden om daar schijngrondwaterspiegels te vermoeden. Blijkbaar is de oorzaak van de schijngrondwaterspiegel niet op heel het perceel aanwezig. De

sterke bodemverdichting van de bovengrond (10-20 cm - mv.) over het gehele perceel heeft misschien wel gevolgen voor de doorlatendheid en invloed op eventuele schijngrondwaterspiegels, maar is zeker niet de directe oorzaak van de schijngrondwaterspiegels. Volgens de drukhoogtegegevens moet de oorzaak dieper gezocht worden: op 50-70 cm - mv. bij locatie A.

Er is één gebied waarbinnen alle punten vallen, waar van 0 tot 60 cm - mv. geen indringingsweerstand groter dan 50 kgf gemeten is. Waarschijnlijk ontbreekt hier in de bovenste 60 cm van de bodem de overgang naar de B2-horizont en/of de oorspronkelijke, fijnzandige, geogeen sterk verdichte ondergrond. Dit gebied komt overeen met het gebied waar regelmatig plasvorming optreedt. Locatie A en B en buis 4 t/m 10, die blijk geven van schijngrondwaterspiegels, bevinden zich in dit gebied, terwijl locatie C en buis 1, 2, 3, 13, 14 en 15, met een normaal vochtprofiel, erbuiten liggen. Uit het normale drukhoogteprofiel op locatie C blijkt dat de overgang van A- naar B2- of C-horizont het watertransport niet beïnvloedt. Op grond van het voorgaande wordt aangenomen dat zich alleen in genoemd gebied schijngrondwaterspiegels voordoen. De meest voor de hand liggende oorzaak is dat op deze plaats zand uit de ondergrond gehaald is als fundering van een nieuwe stal. Waarschijnlijk zijn met een shovel enkele sleuven gegraven, zijn deze sleuven later volgestort met bovengrondmateriaal en is er geëgaliseerd. Plaatselijk is hierbij humeuze bovengrond tot op 1 m diepte terecht gekomen. De bij het bodemgeografisch onderzoek (Steenvoorden e.a., 1988) als enk- of gooreerdgrond geclassificeerde boorpunten bevinden zich dan ook in dit gebied. Door deze graafwerkzaamheden is de grond op bepaalde diepten verdicht en versmeerd, zodat de waterdoorlatendheid in de volgestorte sleuven zeer gevarieerd en vaak zeer laag zal zijn. Naar verwachting is de slechte doorlatendheid tussen 50 en 70 cm - mv. op locatie A hierdoor ontstaan.

Het vergraven gebied is aangegeven in figuur 14. Gezien de ontstaanswijze van de slechte doorlatendheid gaat het waarschijnlijk niet om één laag op een bepaalde diepte, maar bevindt de slechtdoorlatende "laag" zich op verschillende plaatsen op (meerdere) verschillende diepte(n). Omdat verticale infiltratie door de slechtdoorlatende laag naar het grondwater zeer langzaam optreedt en omdat de horizontale doorlatendheid van grond bij verzadiging sterk toeneemt, kan horizontaal transport door de bovenste 50 cm van de toplaag van de bodem naar de proefsloot plaatsvinden. Dit horizontaal transport treedt op over korte afstand; bij een langere weg is het water reeds verticaal geïnfiltreerd voordat het de proefsloot bereikt. Door het graven van een nieuwe sloot midden in het perceel, die het vergraven gedeelte doorsnijdt, heeft dit verschijnsel op kunnen treden. Zonder de proefsloot was het neerslagoverschot na langere tijd naar het grondwater geïnfiltreerd. Daar 2/3 van de proefslootlengte in het vergraven gebied ligt, wordt de aanvoer naar de proefsloot vooral door dit gedeelte bepaald. Ook vanwege de wegzijging is de invloed van het niet-vergraven gedeelte op de slootaanvoer gering.

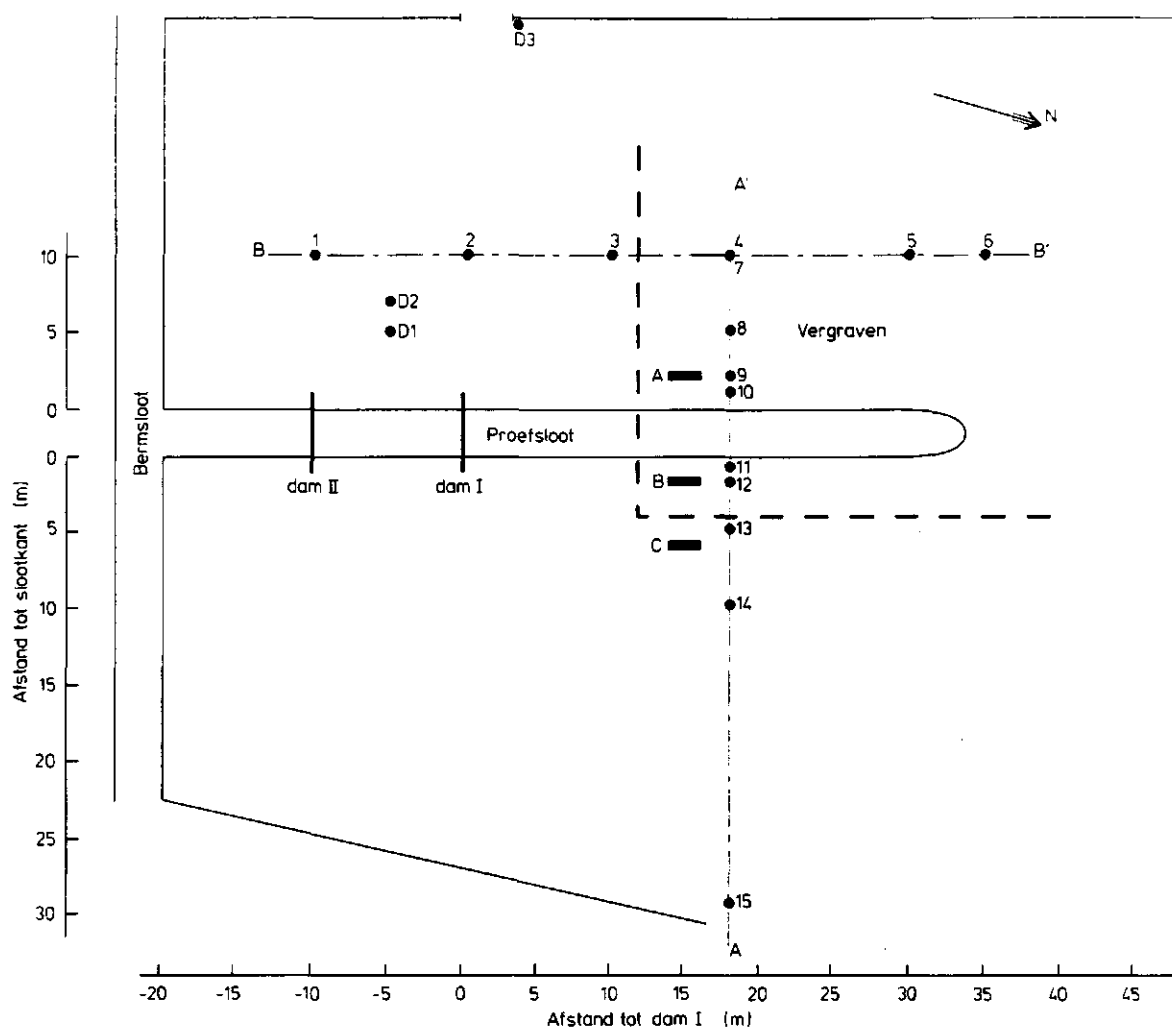


Fig. 14 Ligging van het vergraven gebied in het perceel.

Samengevat is de hydrologische situatie op het perceel in de meetperiode 1988/1989 als volgt te beschrijven. De afvoer van neerslagoverschotten vindt vooral plaats door wegzijging. In het vergraven gebied voedt een gedeelte van het neerslagoverschot de proefsloot via horizontaal transport door de bovenste 40-50 cm van de bodem als gevolg van schijngrondwaterspiegels. Het andere gedeelte infiltreert door de slecht doorlatende laag naar het grondwater. De permanente grondwaterspiegel bevindt zich steeds onder het slootpeil, zodat infiltratie vanuit de proefsloot optreedt. Ook in het niet-vergraven gedeelte van het perceel staat het grondwaterpeil meestal lager dan het slootpeil, zodat de proefsloot het grondwater voedt. Slechts in regenrijke periodes komt het grondwater boven het slootpeil. Vanwege de wegzijging vindt de afvoer naar de proefsloot vooral plaats door de bovengrond.

De aanvoer van water uit het perceel naar de sloot vindt dus voornamelijk plaats via de bovengrond. Oppervlakteafvoer is niet

uitgesloten, ook al is het niet met het oog waargenomen. Het slootwater infiltreert vervolgens naar het grondwater en wordt, bij een hoger peil, ook afgevoerd over de overstort in damwand I.

6.2 Meetperiode 1987/1988

De waterbalans en bromideconcentraties in 1987/1988 gemeten door Steenvoorden e.a. (1988) geven de mogelijkheid om de hierboven geschetste hydrologische situatie op het perceel te verifiëren. Achtereenvolgens wordt bekeken:

- of de geschatte wateraanvoer op grond van de waterbalans 1987/1988 vanuit het perceel naar de proefsloot mogelijk is;
- of de bromideconcentraties in het bodemvocht en slootwater overeenkomen met de geschetste hydrologie;
- of de totale bromide-afvoer naar de proefsloot berekend uit de bromideconcentraties en de waterbalans 1987/1988 overeenkomt met de gemeten waarde.

De wateraanvoer vanuit het perceel naar de proefsloot over de periode 14-11-1987 tot en met 10-4-1988 is op basis van de waterbalans van de sloot geschat op 85-220 m³ (hoofdstuk 2). Het afvoerend oppervlak wordt gelijkgesteld aan het vergraven en met bromide behandeld gebied. Het vergraven gedeelte heeft een slootlengte van 23 m. De breedte van het voedingsgebied is oostelijk van de proefsloot gesteld op 4 m en westelijk van de proefsloot op 18 m (bromide behandeling). De oppervlakte van het met bromide behandeld en vergraven gebied naast de proefsloot is circa 506 m². Het neerslagoverschot in deze periode is 0,34 m (Steenvoorden e.a., 1988). Wanneer het totale neerslagoverschot via schijngrondwaterspiegels naar de proefsloot wordt afgevoerd, levert het vergraven gebied 0,34 * 506 = 172 m³. De werkelijke aanvoer uit het vergraven gedeelte is waarschijnlijk minder, maar samen met de aanvoer uit het niet-vergraven gedeelte bij hoge grondwaterstanden, is de geschatte 85-220 m³ aanvoer vanuit het perceel niet onmogelijk.

De bromidegehalten van het bodemvocht gemeten door Steenvoorden e.a. (1988) zijn gemiddeld voor de bemonsteringspunten in het vergraven gebied en voor de bemonsteringspunten erbuiten. Deze gemiddelden staan vermeld in tabel 4. Op basis van het neerslagoverschot in de periode tussen het tijdstip van bromide toediening en de bemonsteringen wordt een bromide piek verwacht op respectievelijk 23 cm en 67 cm - mv. De bromidegehalten in het bodemvocht in het niet-vergraven gedeelte komen hiermee goed overeen; de gehalten uit het vergraven gedeelte niet. Dit wijst erop dat het water- en bromidetransport in het vergraven gebied, in tegenstelling tot het niet-vergraven gebied, niet normaal verloopt. Het bromidegehalte in de perceelafvoer is op 11-12-1987 en 24-2-1988 respectievelijk 3,8 en 0,9 g.m⁻³ (Steenvoorden e.a., 1988). Vooral voor de eerste bemonstering valt dit goed te rijmen met de conclusie dat de afvoer naar de

Tabel 4 Bromidegehalten van het bodemvocht op twee tijdstippen in 1987/1988 gemiddeld voor het vergraven en het niet-vergraven gedeelte van het perceel (resp. 10 en 8 meetpunten) (naar Steenvoorden e.a., 1988).

Diepte (cm - mv.)	Bromidegehalten (g.m ⁻³)			
	Niet-vergraven		Vergraven	
	11 dec.	24 feb.	11 dec.	24 feb.
0- 10	10	4	22	9
10- 20	26	3	13	7
20- 30	31	4	8	7
30- 40	29	7	4	4
40- 50	27	9	4	3
50- 60	27	16	3	4
60- 70	23	16	4	3
70- 80	21	17	3	2
80- 90	10	16	4	
90-100	6	16	3	6
100-110	7	18	2	7
110-120	2	17	2	6

proefsloot voornamelijk plaatsvindt door de laag van 30 tot 50 cm - mv. in het vergraven gedeelte van het perceel. Bij de tweede bemonstering is het bromidegehalte van het bodemvocht op 30 tot 50 cm diepte in het vergraven deel hoger dan van de perceelafvoer.

De bromide-afvoer vanuit het perceel naar de proefsloot is geschat op basis van de volgende veronderstellingen en schattingen (tabel 5):

- de totale neerslagoverschotten worden naar de proefsloot afgevoerd;
- in beschouwing genomen zijn alleen de zeven decaden waarin meer dan 5 m³.decade⁻¹ slootafvoer optrad anders dan door onderbemaling;
- in de eerste drie decaden wordt de proefsloot alleen gevoed via schijngrondwaterspiegels in het vergraven gedeelte, omdat de permanente grondwaterstand in het niet-vergraven gedeelte beneden het slootpeil staat;
- in de laatste vier decaden staat het grondwaterpeil in het niet-vergraven gedeelte ook wel boven het slootpeil, zodat ook dit deel van het perceel afvoert naar de proefsloot;
- de oppervlakte van het vergraven en niet-vergraven gedeelte naast de proefsloot van maximaal 18 m breedte, is geschat;
- het oppervlak buiten de twee genoemde oppervlakken is buiten beschouwing gelaten;
- de diepte vanwaar water afgevoerd wordt is geschat;
- de minimale en maximale bromideconcentratie in het bodemvocht op de afvoerdiepten zijn geschat aan de hand van tabel 4.

De totale bromide-aanvoer vanuit het perceel naar de proefsloot is geschat op 0,9-3,8 kg (resp. met minimale en maximale bromideconcentraties in het bodemvocht, tabel 5). Op grond van bromidegehalten van het afgevoerde slootwater en rekening houdend met de slootinfiltratie, bedraagt de totale bromide-afvoer via de proefsloot ca. 1 kg (Steenvoorden e.a., 1988). Deze twee gegevens zijn niet onverenigbaar.

Tabel 5 Berekening van de bromide-aanvoer vanuit het perceel naar de proefsloot in de periode 14-11-1987 tot 10-4-1988. De waterbalansgegevens per decade zijn uit Steenvoorden e.a. (1988). Voor veronderstellingen en schattingen zie tekst.

Decade	No	Niet-vergraven			Vergraven		
		aup	brcon	braup	aup	brcon	braup
		12 * (18+18) = 432			23 * (18+4) = 50		
		10 tot 80			0 tot 50		
					opp		
					ad		
11-20 nov	44,6				22,6	4-22	90-497
21-30 nov	22,9				11,6	4-22	46-255
11-20 dec	19,8				19,8	4-22	79-436
1-10 jan	39,2	16,9	10-30	170-507	19,8	4-22	79-436
21-31 jan	46,2	20,0	7-25	140-500	23,4	3-15	70-351
1-10 feb	52,4	22,6	3-17	68-384	26,5	3- 9	80-239
21-31 mrt	34,2	14,8	3-10	44-148	17,3	3	52
Totaal		74,3		422-1539	141,0		496-2266

opp = oppervlakte (m²)

ad = afvoerdiepte (cm - mv.)

no = neerslagoverschot (mm)

aup = maximale afvoer uit perceel (m³) = no * 10⁻³ * oppervlakte

brcon = bromideconcentratie bodemvocht op afvoerdiepten (g.m⁻³)

braup = bromide-aanvoer uit perceel (g) = aup * brcon

Samenvattend kan gesteld worden dat de geschetste hydrologische situatie in paragraaf 6.1 en de gemeten waterbalans en bromideconcentraties in 1987/1988 elkaar niet uitsluiten. De geschatte aanvoer vanuit het perceel naar de sloot op basis van de waterbalans van de proefsloot in 1987/1988 is te verklaren door uit te gaan van de theorie aangaande de hydrologie van het perceel beschreven in paragraaf 6.1. De bromideconcentraties in het bodemvocht gemeten in 1987/1988 zijn opgesplitst naar bemonsteringspunten in en buiten het vergraven gebied. Alleen het gemiddelde bromideprofiel van het niet-vergraven gebied vertoont de verwachte pieken in de bromideconcentratie.

Het bromidegehalte in de perceelafvoer komt overeen met het bromidegehalte in de laag 30-50 cm - mv. van het vergraven gedeelte. Op basis van deze bromideconcentraties en de water-

balans is uitgaande van de geschetste hydrologische situatie op het perceel de totale bromide-aanvoer vanuit het perceel naar de proefsloot geschat. Deze waarde ligt in dezelfde orde van grootte als de gemeten bromidevracht van het slootwater.

7 CONCLUSIES

Conclusies:

- 1 Over het gehele perceel is de bodem op 10-20 cm - mv. verdicht door berijding. Dit leidt echter niet tot een schijngrondwaterspiegel. Onder schijngrondwaterspiegel wordt in dit rapport verstaan de langdurige aanwezigheid van positieve drukhoogten boven de permanente grondwaterspiegel, waardoor horizontale afvoer van neerslagoverschotten kan plaatsvinden boven het grondwater.
- 2 Op het noordwestelijk gedeelte van het perceel treden op grotere diepte wel schijngrondwaterspiegels op. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt, doordat bij graafwerkzaamheden de ondergrond (dieper dan 50-60 cm) verdicht en versmeerd is. De laag 20-60 cm (voorheen overgang A- naar B2- of C-horizont) is daardoor juist lossere gemaakt (lagere indringingsweerstand).
- 3 De proefsloot wordt voornamelijk via de schijngrondwaterspiegels gevoed. Omdat 2/3 van de lengte van de proefsloot in het vergraven gedeelte van het perceel ligt en er sprake is van wegzijging, is de bijdrage van het niet-vergraven deel van het perceel aan de slootaanvoer gering. Het slootwater infiltreert vervolgens naar het grondwater of voert bij een hoger peil af over de overstort in damwand I. Vanwege schijngrondwaterspiegels en de wegzijgingssituatie vindt het transport van water en opgeloste stoffen naar de proefsloot op dit perceel voornamelijk plaats via de bovengrond (0 tot 40-50 cm - mv.).
- 4 De resultaten van het eerder uitgevoerde fosfaatonderzoek zijn specifiek voor dit perceel en niet direkt te vertalen naar andere situaties. Dit wil echter niet zeggen dat bodemverdichting in de toplaag nooit een rol zou kunnen spelen. Dit vereist echter een breder opgezet onderzoek.

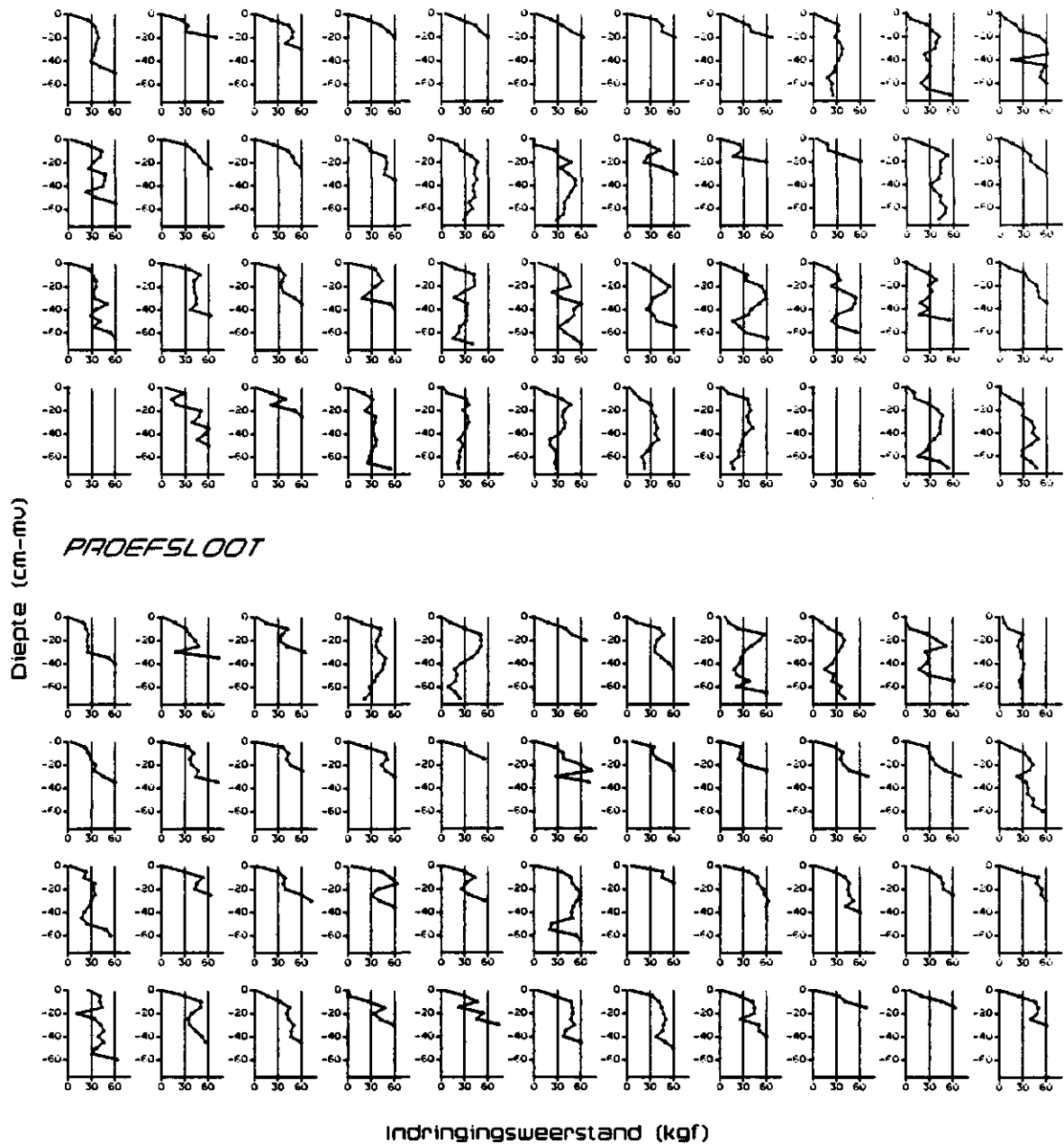
LITERATUUR

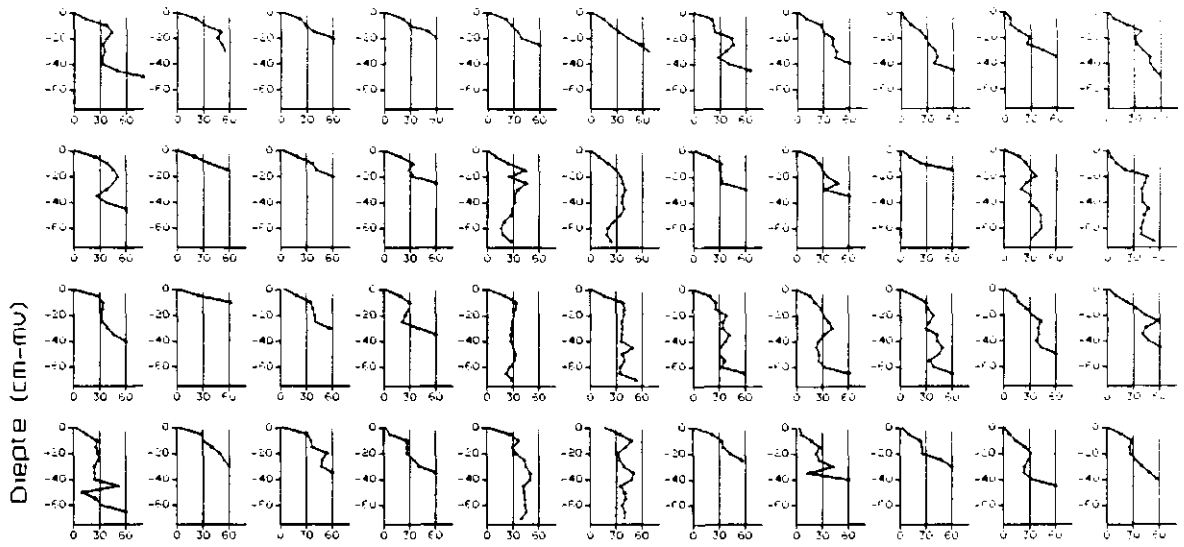
Gils, J.B.H.M. van, i.v. Meten met de tattletale-IV datalogger. Wageningen, Staring Centrum.

Steenvoorden, J.H.A.M., A. Breeuwsma, W.A. de Boer en J.G.A. Reijerink, 1988. Fosfaatuitspoeling uit een perceel met fosfaatverzadigde bovengrond. Wageningen, ICW. Rapport 34.

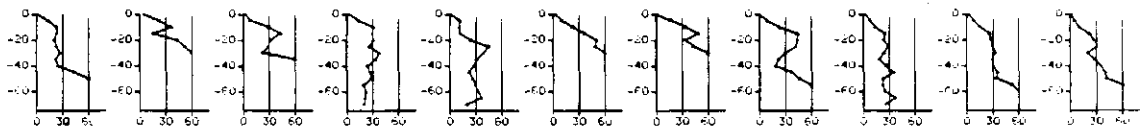
Wit, N.M.M. de, 1988. De invloed van verschillende bodemparameters op de indringingsweerstand van zandgrond. Wageningen, ICW. Nota 1834.

AANHANGSEL 1 VERLOOP VAN DE INDRINGINGSWEERSTAND (kgf) MET DE
 DIEPTE (CM - MV.) PER MEETPUNT GEMETEN OP 17-11-1988
 (a) EN 26-4-1989 (b)



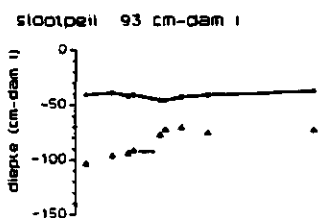
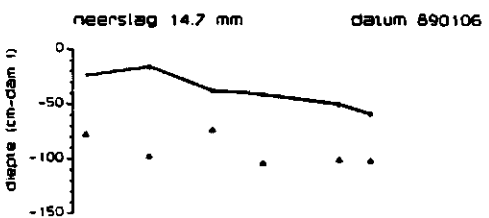
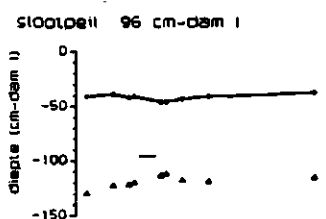
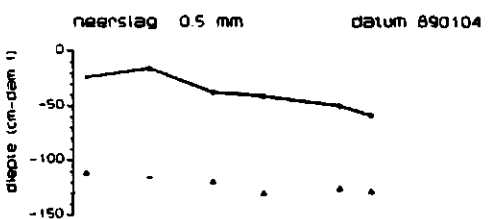
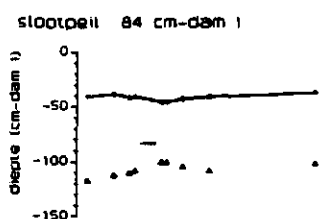
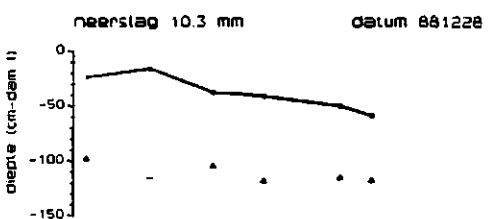
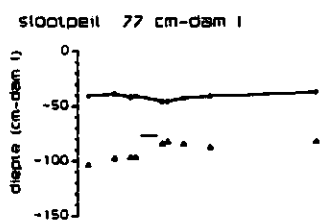
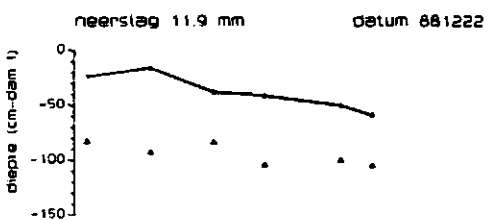
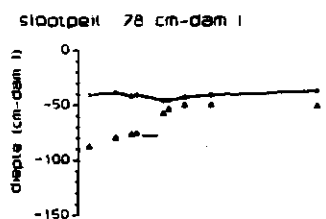
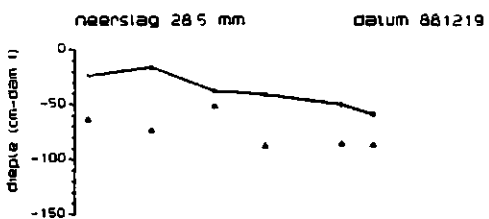
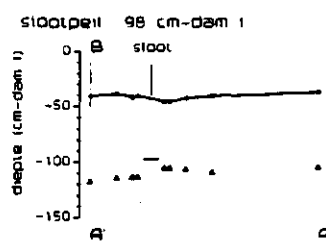
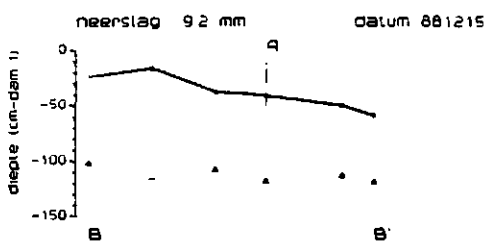


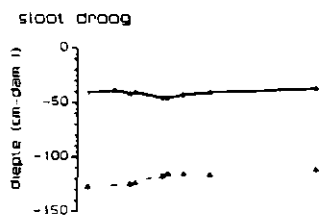
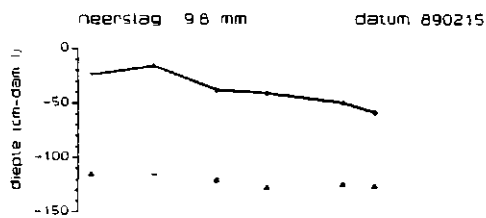
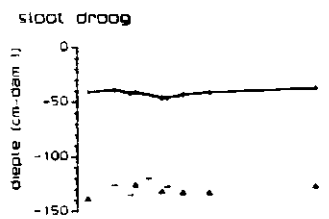
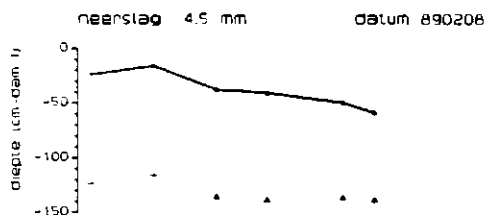
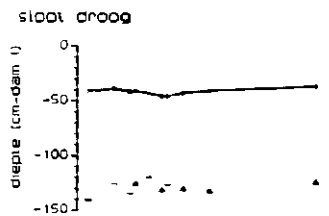
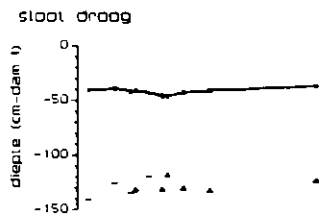
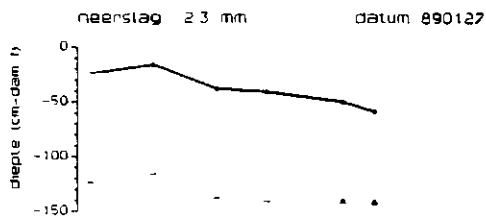
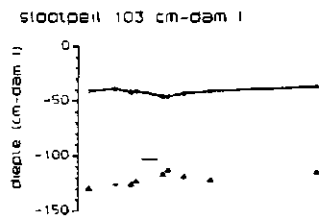
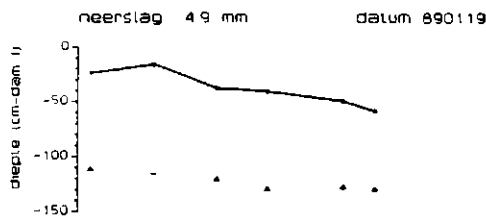
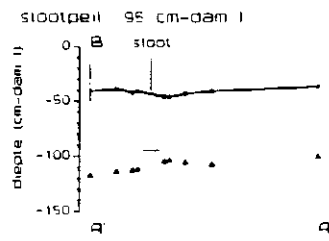
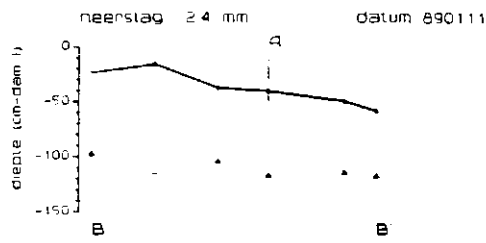
PROEFSLOOT

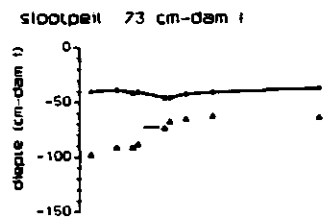
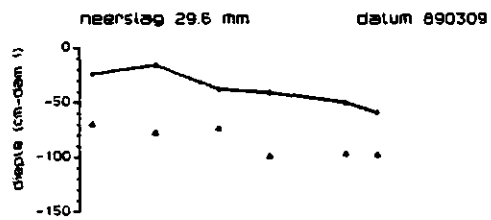
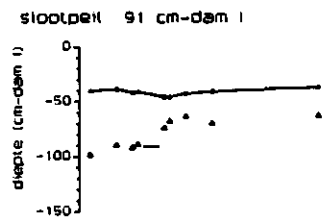
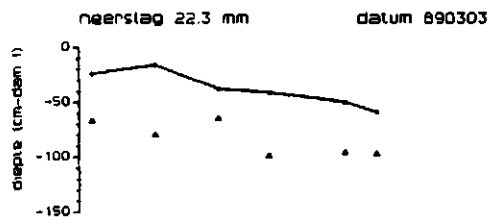
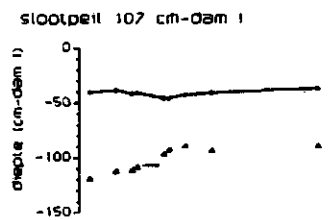
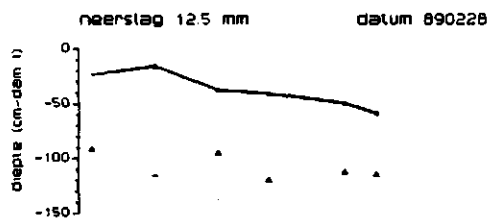
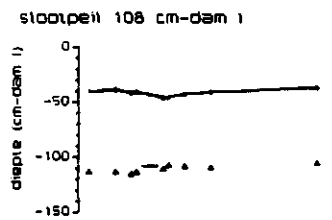
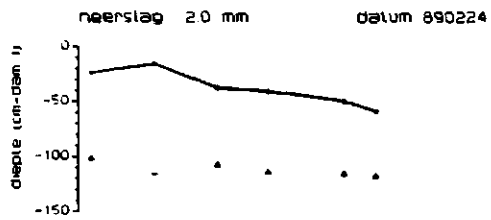
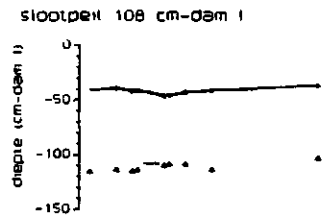
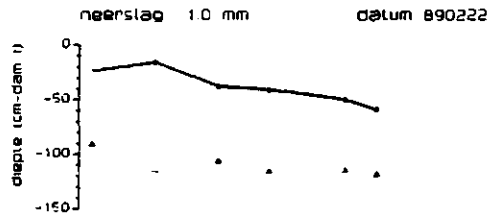
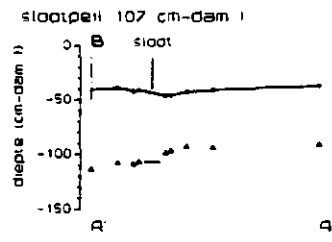
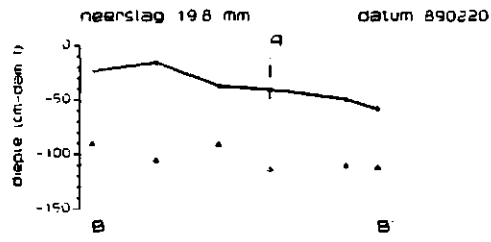


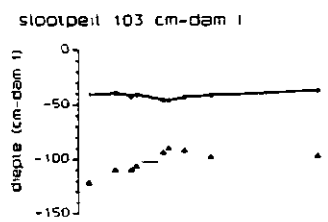
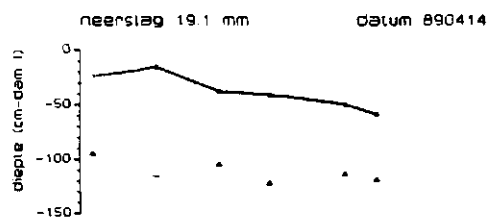
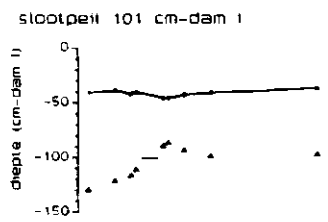
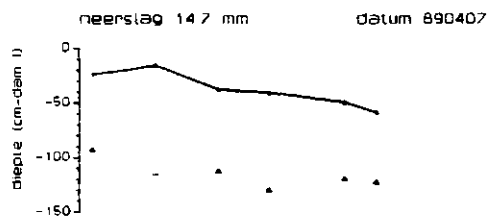
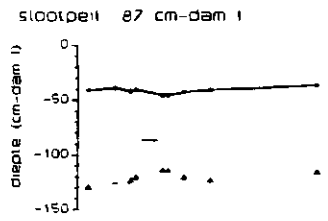
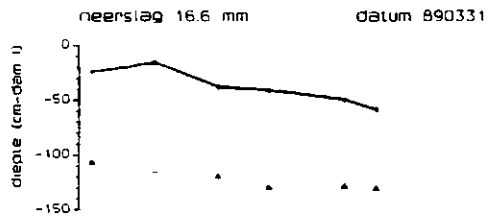
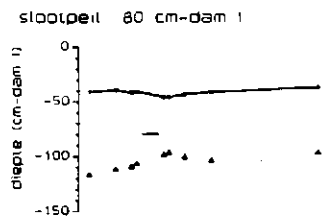
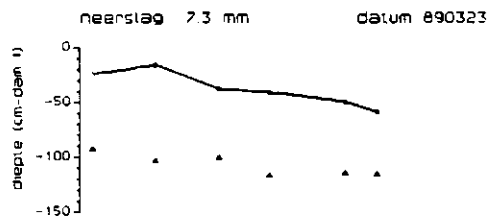
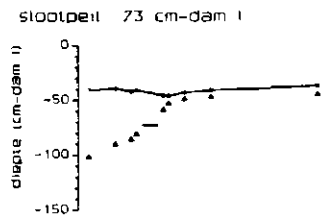
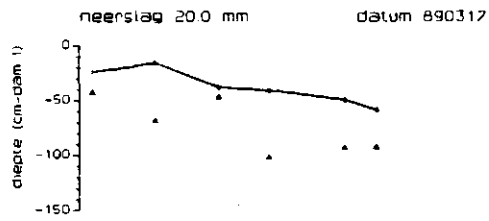
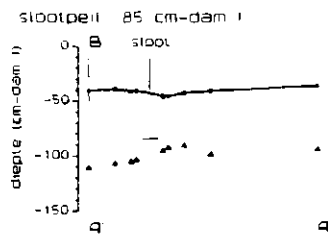
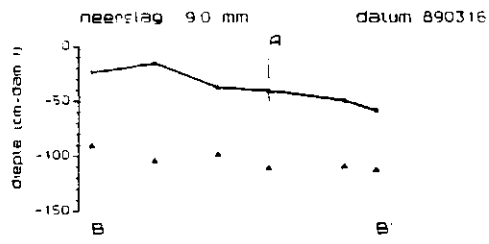
Indringingsweerstand (kgf)

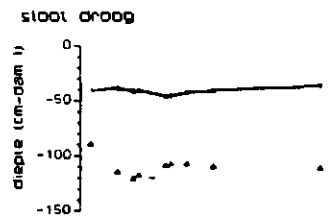
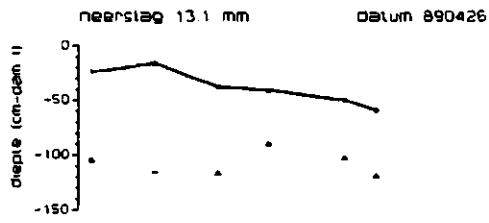
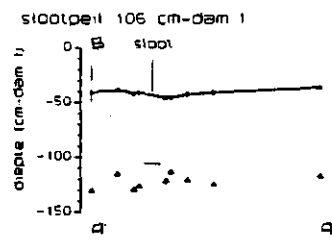
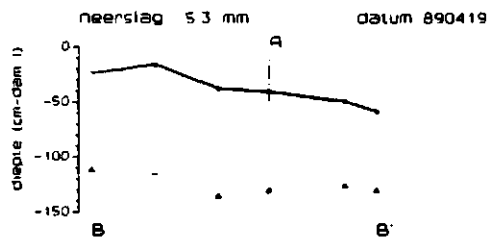
AANHANGSEL 2 GRONDWATERSTANDEN IN LENGTE- EN DWARSDOORSNEDE





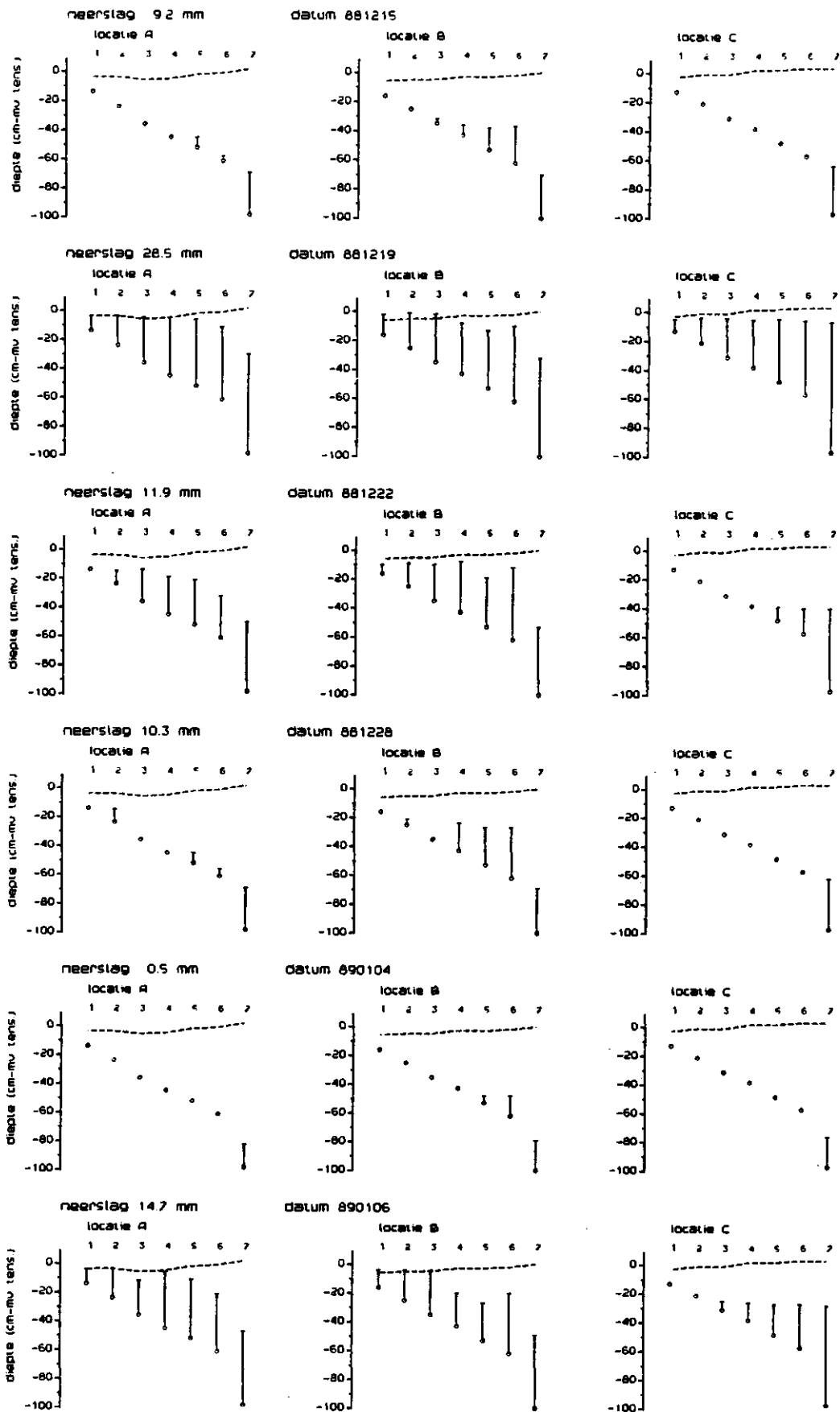


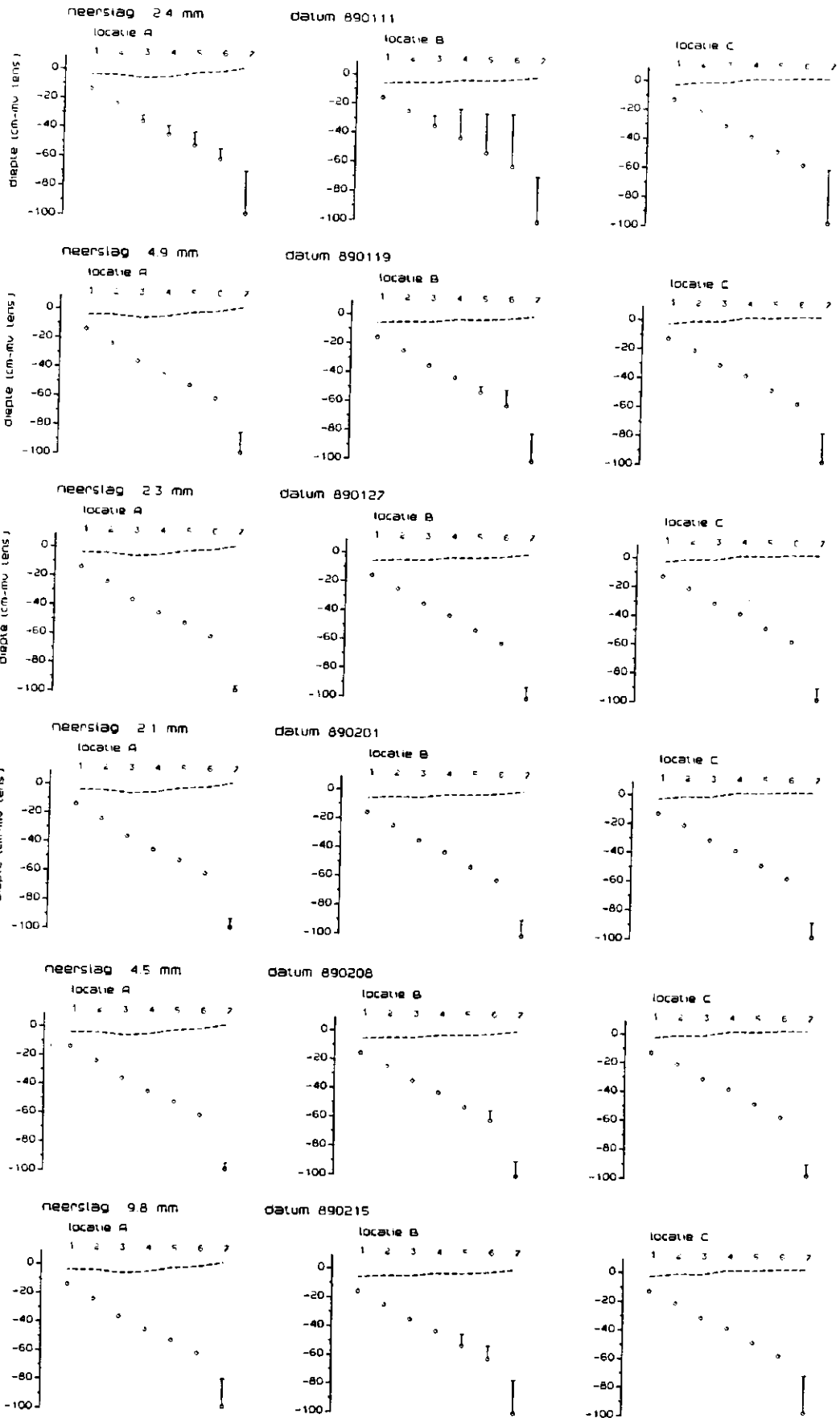


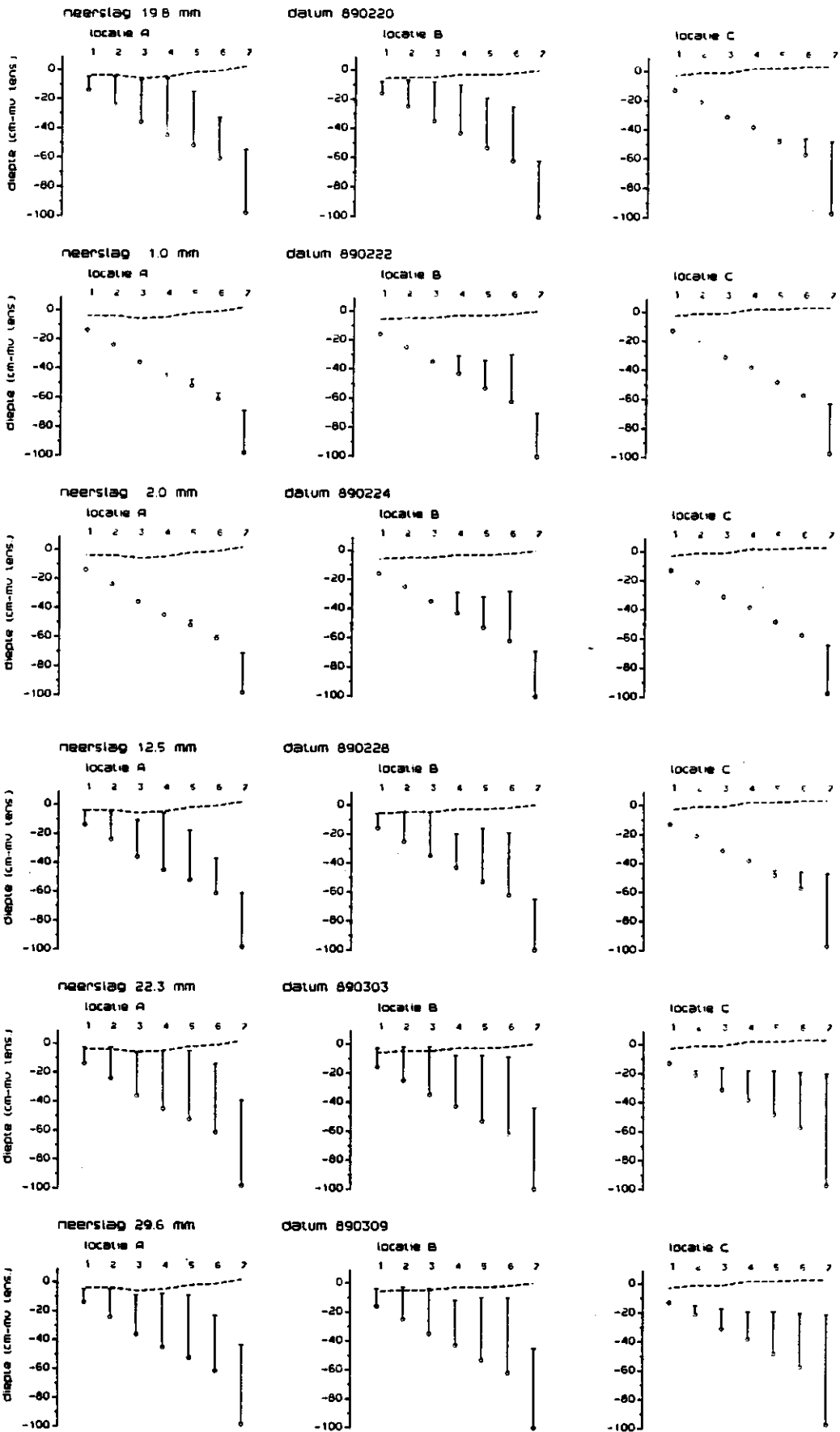


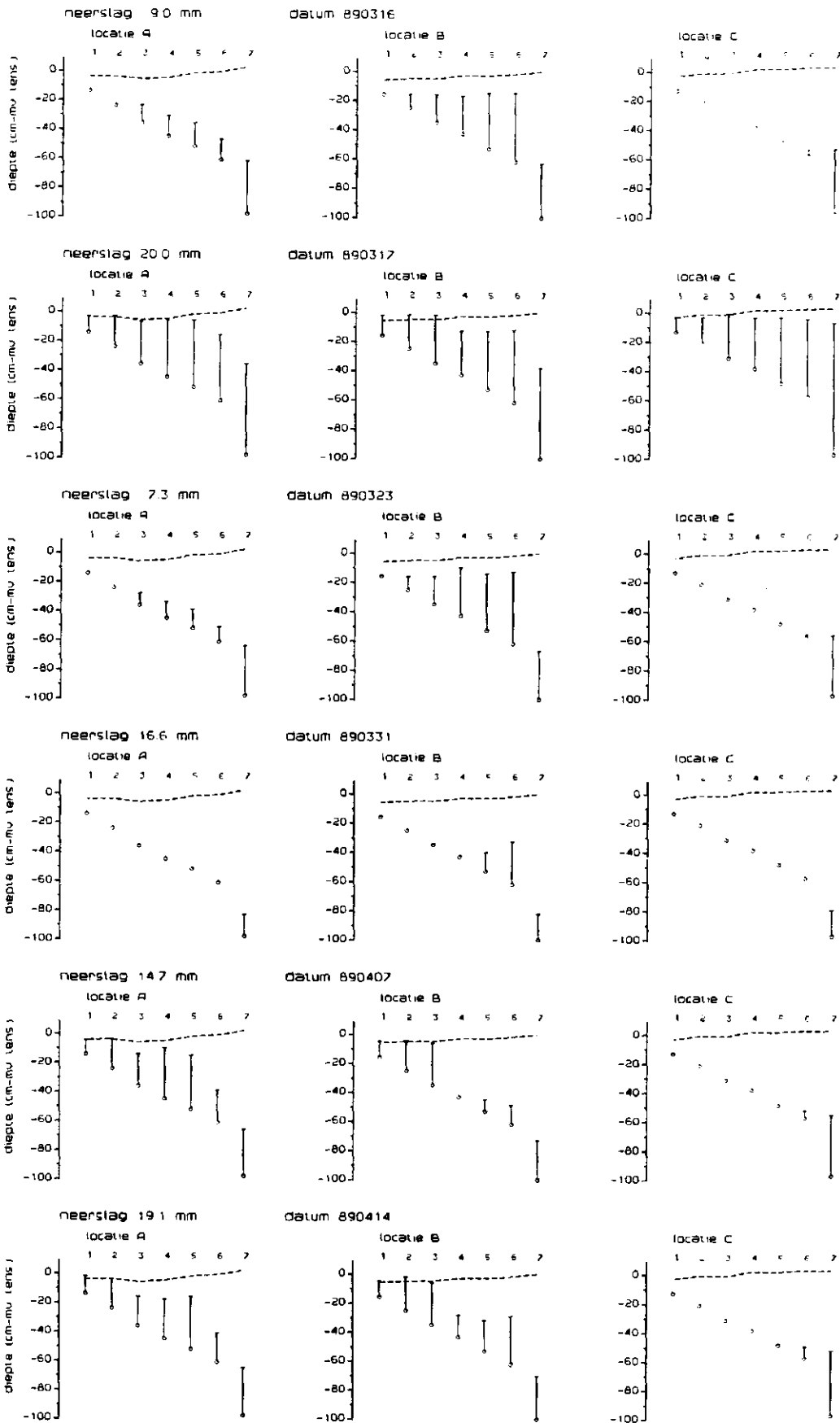
- maëveldshoogte
- ▲ grondwaterstand
- diepte filter van een buis die droog stoot
- stootpeil

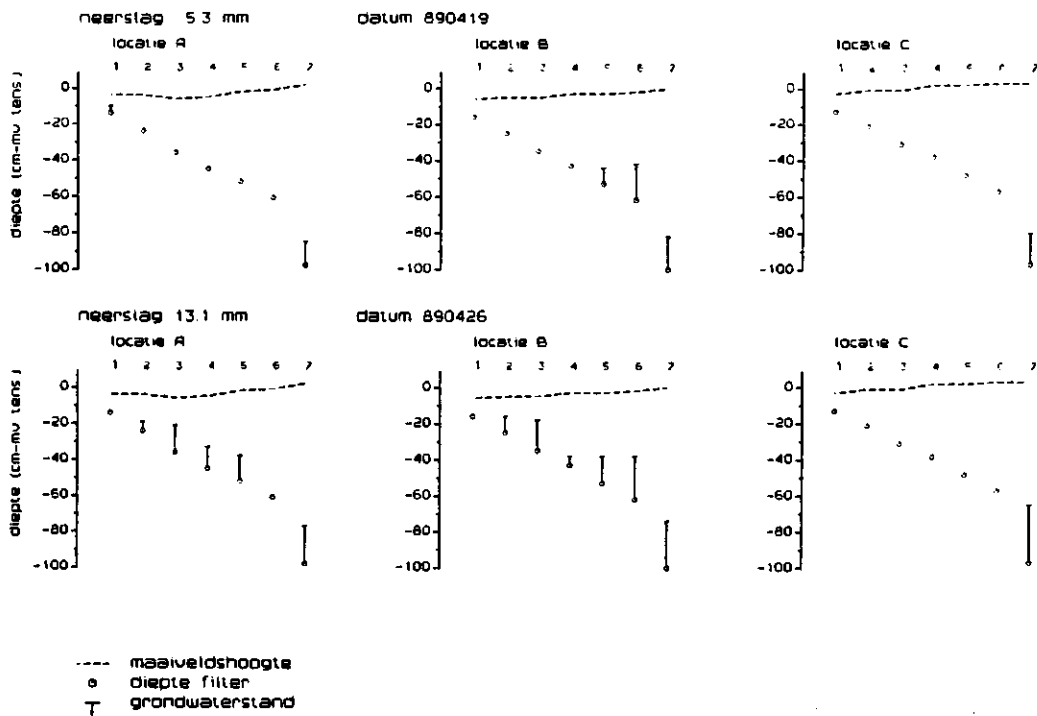
AANHANGSEL 3 GRONDWATERSTANDEN IN DE ONDIEPE BUIZEN





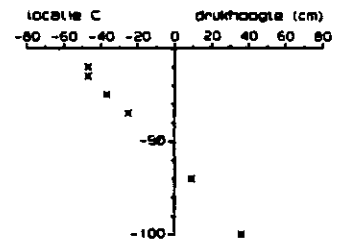
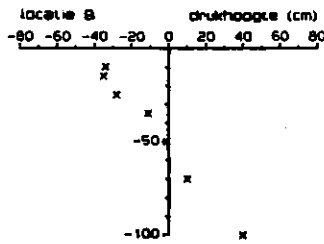
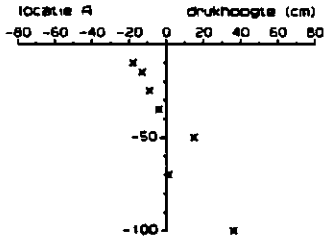




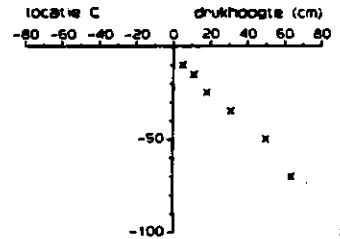
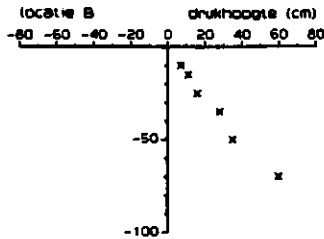
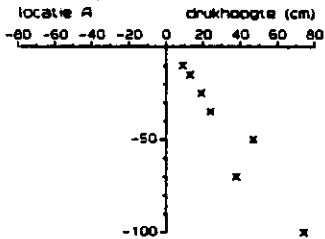


AANHANGSEL 4 DRUKHOOGTEPROFIELEN

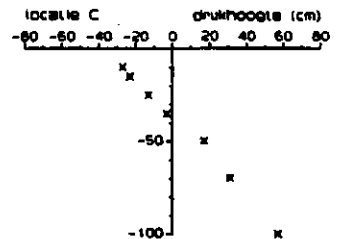
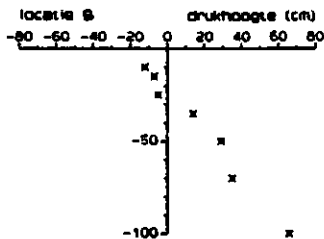
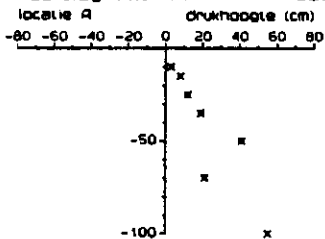
neerslag 9.2 mm datum 881215



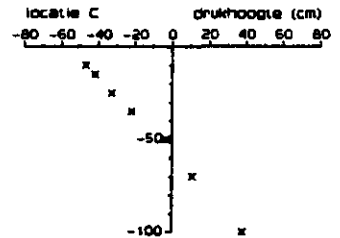
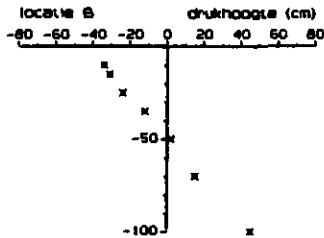
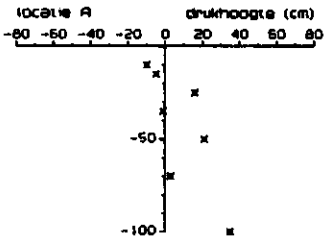
neerslag 28.5 mm datum 881219



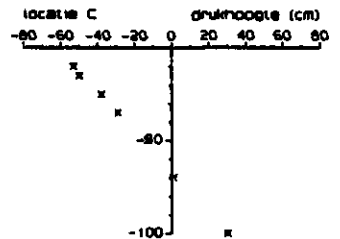
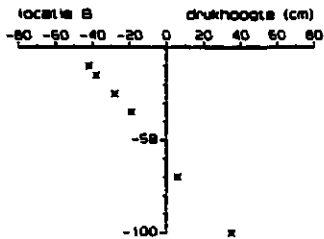
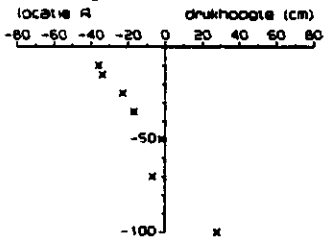
neerslag 11.9 mm datum 881222



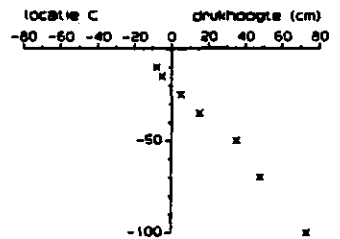
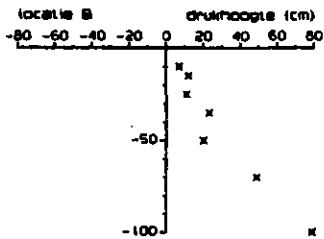
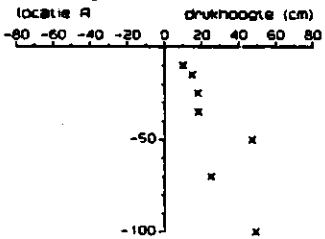
neerslag 10.3 mm datum 881228

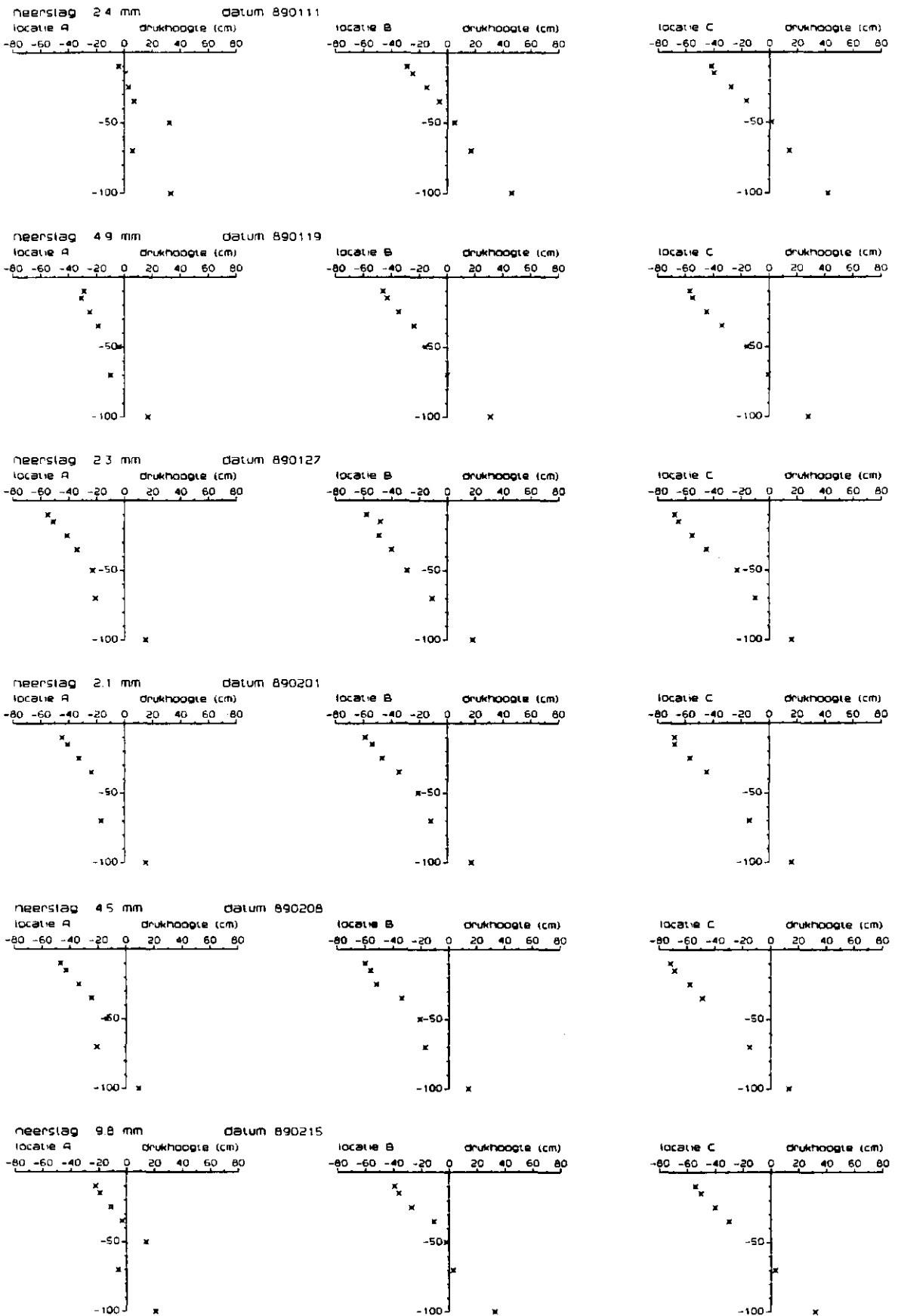


neerslag 0.5 mm datum 890104

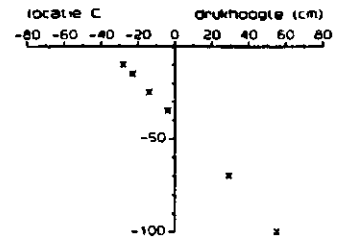
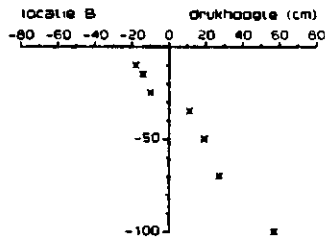
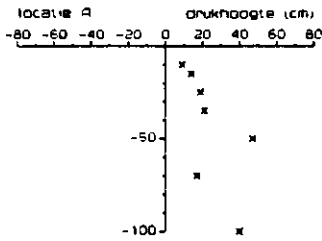


neerslag 14.7 mm datum 890106

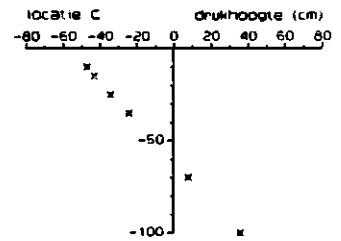
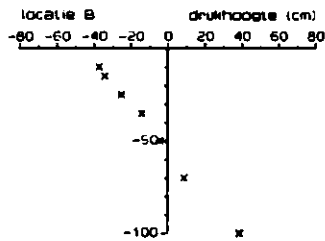
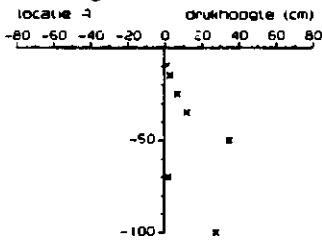




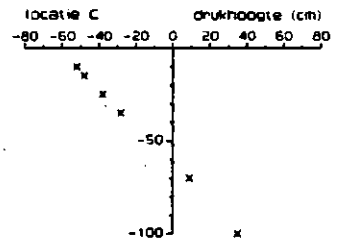
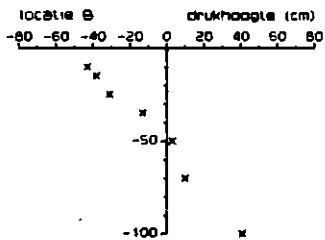
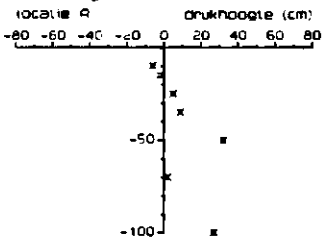
neerslag 198 mm datum 890220



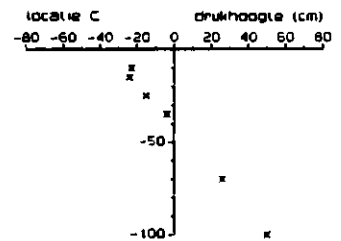
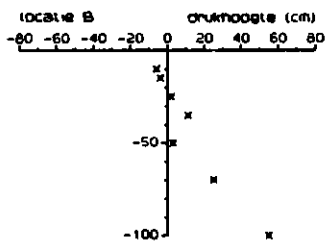
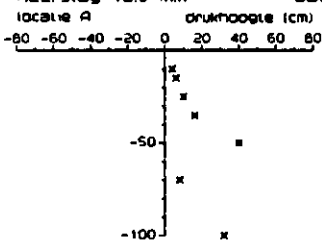
neerslag 1.0 mm datum 890222



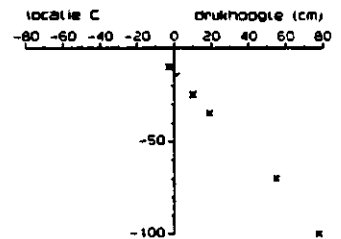
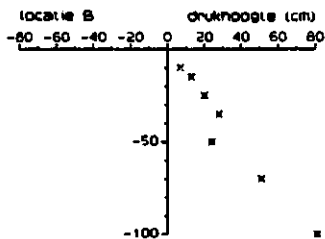
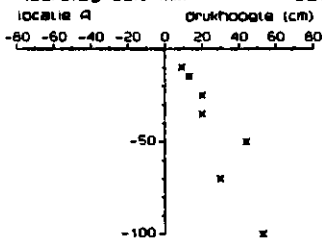
neerslag 2.0 mm datum 890224



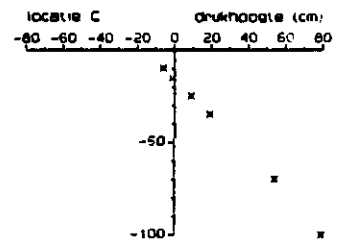
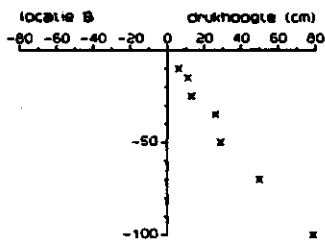
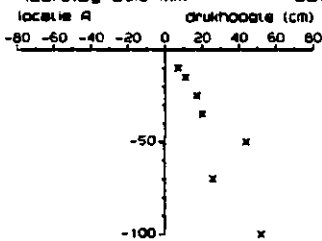
neerslag 12.5 mm datum 890228



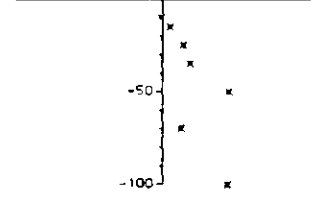
neerslag 22.3 mm datum 890303



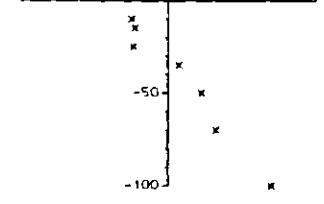
neerslag 29.6 mm datum 890309



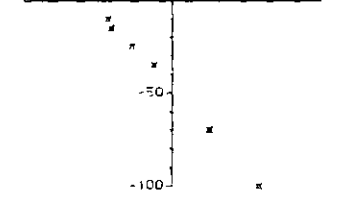
neerslag 90 mm datum 890316
 locatie A drukhoogte (cm)



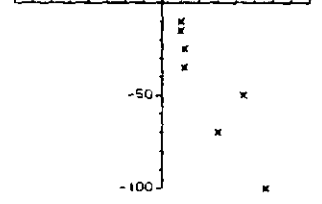
locatie B drukhoogte (cm)



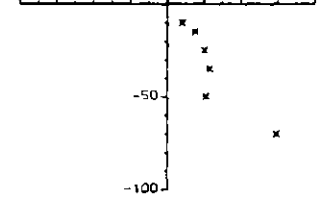
locatie C drukhoogte (cm)



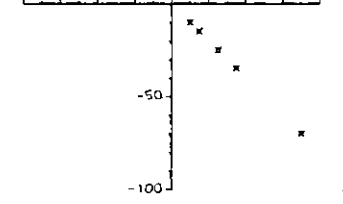
neerslag 200 mm datum 890317
 locatie A drukhoogte (cm)



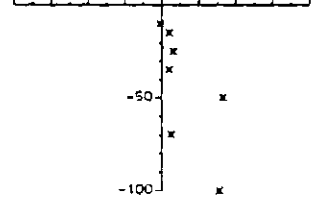
locatie B drukhoogte (cm)



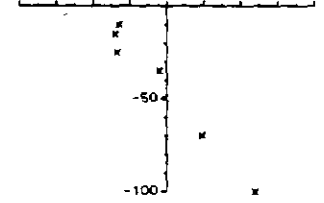
locatie C drukhoogte (cm)



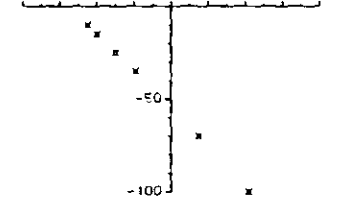
neerslag 73 mm datum 890323
 locatie A drukhoogte (cm)



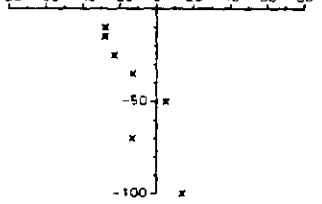
locatie B drukhoogte (cm)



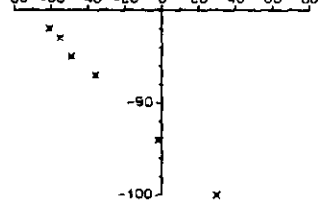
locatie C drukhoogte (cm)



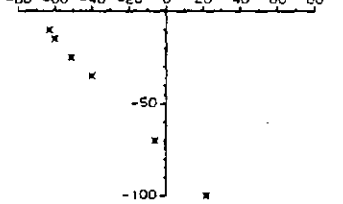
neerslag 16.6 mm datum 890331
 locatie A drukhoogte (cm)



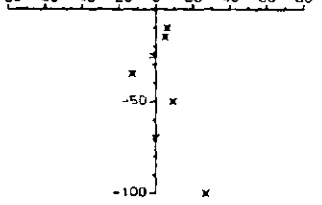
locatie B drukhoogte (cm)



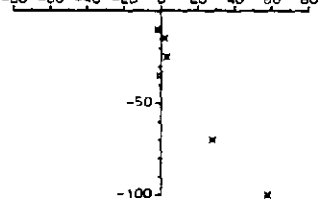
locatie C drukhoogte (cm)



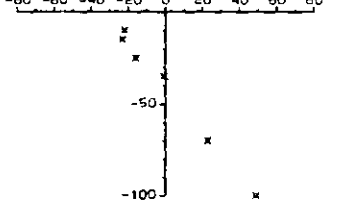
neerslag 14.7 mm datum 890407
 locatie A drukhoogte (cm)



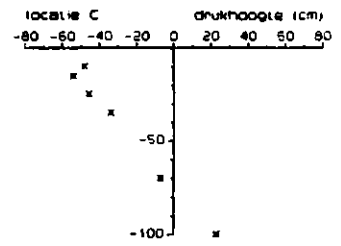
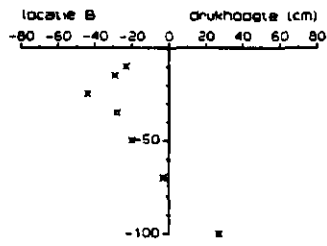
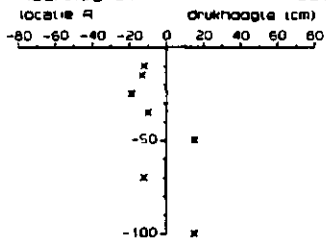
locatie B drukhoogte (cm)



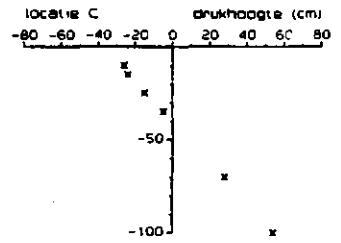
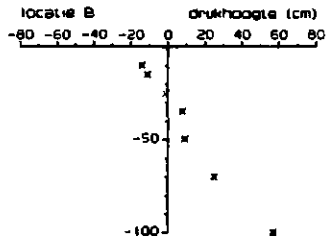
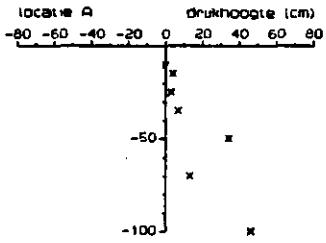
locatie C drukhoogte (cm)



neerslag 24.4 mm datum 890419



neerslag 13.1 mm datum 890426



AANHANGSEL 5 IJKLIJNEN VOOR DE PRESSURE TRANSDUCERS VAN DE
 "TATTLE". STIJGHOOGTEN VERKREGEN MET HANDMETINGEN IN
 HET VELD, UITGEZET TEGEN HET AANTAL DOOR DE "TATTLE"
 GEREGISTREERDE COUNTS

