

Landbouwhogeschool-Wageningen
CENTRUM VOOR LANDBOUWKUNDIG ONDERZOEK IN SURINAME

DE WATERBALANS VAN DE CELOS-POLDER

H. Schroo

CELOS rapporten vormen een serie interne verslagen van werk verricht door studenten en leden van de wetenschappelijke staf van het Centrum voor Landbouwkundig Onderzoek in Suriname.

I N H O U D

	blz.
1. <u>Samenvatting</u>	5
2. <u>Voorwoord</u>	5
3. <u>Inleiding</u>	5
4. <u>Methodiek</u>	6
4.1. Plaatselijke omstandigheden	6
4.2. De waterbalans	7
5. <u>Metingen en berekeningen</u>	9
5.1. Neerslag	9
5.2. Aanvoer	9
5.2.1. De bevoeiingspomp	9
5.2.2. De waterleiding	10
5.3. Kwel en inzijging	10
5.4. Afvoer	12
5.4.1. Het pompemaal	12
5.4.2. De Concord pomp	13
5.5. Verdamping	13
5.6. Verandering van de hoeveelheid water in de grond	15
5.6.1. Het grondwater	15
5.6.2. Het bodemvocht	16
5.7. Verandering van de hoeveelheid openwater- berging	17
5.8. Gegevens	18
6. <u>Resultaten</u> (de balans)	20
7. <u>Het afvoerproces</u>	20
7.1. Algemeen	20
7.2. Door-de-grondse afvoer	21
7.3. De oppervlakte afvoer	24
8. <u>Besluit</u>	26
9. <u>Literatuur</u>	27

Bijlagen

Kaarten 1 en 2

Figuren 1 t/m 9

Tabellen 1 t/m 5

Maten tabel van het CELOS

1. SAMENVATTING

In het kader van het cultuurtechnisch onderzoek van het CELOS werd over de periode van 4 juni tot 4 augustus 1971 een waterbalans opgesteld voor de 15,6 ha grote CELOS-polder.

Hierbij werd uitgegaan van de balans formule: Neerslag + Aanvoer + Kwel = Verdamping + Afvoer + Verandering van berging in de grond en als open water. Het resultaat is een berekening van de verdamping als restwaarde uit de balans en een vergelijking hiervan met de verdamping die berekend wordt uit klimatologische gegevens.

De gevonden verdamping kan als plaatselijk karakteristiek gelden voor de tweede helft van de "grote regentijd".

Tevens geeft het onderzoek een beeld van het afvoerproces binnen de polder.

2. VOORWOORD

Tijdens zijn verblijf in Suriname werd de heer Schroo door de Landbouwhogeschool-Wageningen in de gelegenheid gesteld een onderzoek te doen naar de waterbalans van de CELOS-polder.

De gegevens en resultaten zoals die in dit rapport staan zijn in dezelfde vorm aanvaard als ingenieursskriptie voor het vak cultuurtechniek door professor W.H. van der Molen.

Voor de hulp bij de realisatie van dit onderzoek en rapport, wil de heer H. Schroo hierbij zijn dank betuigen en memoreren aan het CELOS, aan de Meteorologische- en aan de Waterloopkundige Dienst te Paramaribo en aan Dr. Ir. R.W.R. Koopmans die als mentor bij dit onderzoek betrokken was.

3. INLEIDING

In het programma voor het cultuurtechnisch onderzoek aan het CELOS, wordt de mogelijkheid genoemd om de CELOS-polder te gebruiken als object bij de bestudering van het afvoerverloop van polders in de Surinaamse kustvlakte. Het opstellen van een waterbalans is hierin een belangrijk onderdeel. De metingen die voor een waterbalans nodig zijn kunnen informatie geven over:

1. De invloed van de verdeling van neerslag over bovengrondse afstroming en infiltratie op het afvoerverloop. Deze verdeling is interessant in verband met het toegepaste drainagesysteem dat in de Surinaamse kustvlakte bijna uitsluitend een "bedden met greppel" systeem is.
2. De optredende verdamping, waarbij gesteld kan worden dat de verdamping de enige niet direkt meetbare grootheid in de balans is. De werkelijk optredende verdamping is in

Suriname nauwelijks onderzocht. Bestaande theoretische berekeningen van de potentiële verdamping zouden dan getoetst kunnen worden.

Bedacht moet worden dat een nauwkeurige verdampingsbepaling in Suriname nog niet mogelijk is, omdat de hiervoor benodigde apparatuur niet aanwezig is, terwijl de lysimeterstudies op het CELOS nog in voorbereiding zijn.

3. De snelheid van het afvoerproces. Een nauwkeurige studie hierover zoals dat in het cultuurtechnisch programma van het CELOS geschetst wordt, vergt echter een afzonderlijk onderzoek.
4. Benodigde bemalingscapaciteiten en gebruikswijze van de beschikbare capaciteit.
5. Berging als bodemvocht, grondwater en openwaterberging.
6. Het optreden van kwel of inzijging.

4. METHODIEK

4.1. PLAATSELIJKE OMSTANDIGHEDEN

Het grootste deel van het CELOS-terrein (zie kaart 1) kan beschouwd worden als een waterhuishoudkundige eenheid (polder). De oppervlakte hiervan (ca. 15,6 ha) is door planimetrering van de kaart (schaal 1:1000) gevonden. De kaart is met enkele metingen in het veld gecontroleerd en gecorrigeerd.

De polder bestaat uit twee delen die van elkaar gescheiden zijn door de Kasabaholokreek. De afwatering vindt plaats met een elektrisch pompemaal. Door twee ringleidingen die met een syfon onder de kreek met elkaar in verbinding staan en de daarop afwaterende kavelsloten wordt het water aangevoerd. De peilbeheersing wordt door een vlotter in de pompschacht zodanig geregeld dat de pomp bij een waterstand van 0,12 m + N.S.P. aanslaat en vervolgens weer afslaat op een diepte die nog juist toelaatbaar is voor een goede werking van de pomp ($\pm$ 0,0 m N.S.P.). Wanneer de ringslootwaterstand hoger is dan de kreekwaterstand (alleen bij hoge afvoeren), vindt bovendien nog lozing plaats via een klepduiker. Deze laatste lozingsmogelijkheid is gedurende het onderzoek uitgeschakeld.

De detailontwatering vindt hoofdzakelijk plaats volgens het "bedden met greppel" systeem en voor een klein deel als buizendrainage. Verder watert een gedeelte van het terrein (gebouwen, vijvers e.d.) direkt af op de sloten. De bedbreedte varieert en bedraagt 6 of 14 meter en de greppels zijn ongeveer 0,40 m diep.

De bovenste 0,5 m grond bestaat hoofdzakelijk uit matig zware tot zware klei, een klein gedeelte bestaat uit zand en leem (MELITZ & LEGGER, 1968). De grondwaterberging speelt zich hoofdzakelijk af in het op $\pm$ 0,5 m diepte beginnende fijne zand.

Wat het klimaat betreft is de periode van onderzoek zodanig gekozen dat alle metingen in de zgn. "grote regentijd" (april t/m augustus) gedaan konden worden. In deze periode

is de neerslag groot en aaneengesloten; daardoor is de bodem continu zeer vochtig, de bouwvoor bijna of geheel verzadigd, de sloten bevatten altijd minstens de minimale hoeveelheid water (bepaald door de bemalingsdiepte), en het grondwaterpeil is hoog ($\pm 0,9$ m -maaiveld). Door de grote hoeveelheden vocht zal men vrijwel steeds met potentiële verdamping te maken hebben. De gemiddelde windsnelheid is laag (± 1 m/sec.).

Het oppervlak van de polder wordt hoofdzakelijk ingenomen door landbouwgrond met eenjarige gewassen en voorts door gebouwen gazons, wegen en sloten. Er is weinig onbegroeide grond.

4.2. DE WATERBALANS

De waterbalans kan geschreven worden als:

$$N + A + K = V + Q + \Delta G + \Delta W$$

waarin: N = neerslag
 A = aanvoer (kunstmatig)
 K = kwel (positief) of inzijging (negatief)
 V = verdamping
 Q = afvoer
 ΔG = verandering van de hoeveelheid water in de grond
 ΔW = verandering van de openwaterberging

Bespreking posten van de waterbalans

Neerslag

Neerslag wordt op het meteoveld gemeten met een 4 dm^2 regenmeter op 1,50 m boven het maaiveld en met een zelf-registrerende "grond"-regometer; deze heeft normaliter een 15 minuten-registratie. Vanaf 10 juli is echter een 5 minuten-registratie gebruikt. In verband met het gebiedsgrootte effect is nog een 4 dm^2 regenmeter op een ander terreingedeelte geplaatst.

Aanvoer

In de natte tijd wordt weinig gebruik gemaakt van de beregeningsinstallatie, er wordt echter wel regelmatig een kleine rijst-sawah bevoeid. Het aantal draaiuren van de bevoeiingspomp wordt genoteerd. Het bijbehorende debiet werd enkele malen bepaald door de opgebrachte waterlaag te meten.

Aanvoer via het waterleidingnet werd geschat uit enkele beschikbare metingen.

Kwel en inzijging

Deze worden onderzocht aan de hand van isohypsenkaarten, dus door middel van grondwaterstand-waarnemingen in en buiten de polder.

Afvoer

De afvoer via de leidingen bestaat uit twee componenten:

1. water dat de sloten via de oppervlakte bereikt en
2. water dat via de grond de sloten bereikt.

Deze afvoer zal de polder nagenoeg in z'n geheel via het gemaal verlaten. Het is dus nodig de capaciteit van de pomp te kennen bij verschillende binnen- en buitenwaterstanden.

Er is een debietmeter beschikbaar, die in de persleiding van de pomp gemonteerd kan worden maar door het voortdurende gevaar van verontreiniging of verstopping kan hiermee niet permanent gewerkt worden. De oplossing is gezocht in een combinatie van een draaiurenteller in het elektrische circuit en registratie van de intermitterende werking van de pomp door middel van een peilschrijver in de pompschacht. Debietmetingen geven dan het verband tussen de waarnemingen.

Om het volume water in de sloten te bepalen worden vier peilschrijvers met weekregistratie op verschillende punten in de ringsloot geplaatst. Verder werd de slootinhoud opgemeten.

Om bovengenoemde twee afvoerkomponenten te scheiden, kan van een veld van twee halve bedden met greppel het tijdsverloop van de runoff onderzocht worden.

Het terreinoppervlak met een directe afvoer (gebouwen, waterlopen e.d.) wordt bepaald door opmeting en planimetring.

Verdamping

De verdamping wordt volgens twee berekeningswijzen geschat. De berekeningen gaan beide uit van de methode van PENMAN. Hiervoor zijn de volgende gegevens verzameld. Zonneschijnuuren met Campbell-Stokes apparatuur. Relatieve vochtigheid en temperatuur, beide driemaal daags. Windsnelheid als gemiddelde windweg per etmaal werd in een nabijgelegen polder gemeten op 10 m hoogte en voor de laatste twee dekaden op het CELOS op 2 m hoogte.

De berekeningsmethoden zijn die volgens nomogrammen van KOOPMANS (1969) en die volgens nomogrammen van LENSELINK (1970).

Veranderingen van de hoeveelheid water in de bodem

Deze vallen uiteen in veranderingen in het bodemvocht en veranderingen onder de grondwaterspiegel. De eerste worden bepaald door op iedere dekadewisseling vochtmonsters te nemen. De veranderingen in grondwaterspiegel worden in grondwaterstandsbuizen gemeten. (Zie kaart 1 en 2.)

Verandering van de hoeveelheid openwaterberging

Slootprofielen en dieptes werden bepaald zodat met peilschrijvers geregistreerde waterstanden omgerekend kunnen worden tot volume van het in de sloten geborgen water. Grote verschillen in berging treden slechts kort op (maximaal één dag). In de berging bij het laagste slootwaterpeil is slechts een kleine variatie.

5. METINGEN EN BEREKENINGEN

5.1. NEERSLAG

Aangezien er inderdaad een duidelijk gebiedsgrootte-effect optreedt, wordt het gewogen gemiddelde bepaald, met dien verstande dat aan het rekenkundige gemiddelde van beide metingen op het meteoveld een gewicht van drie toegekend wordt en aan de meting met de andere regenmeter een gewicht van één. De gewichten ontstaan door de oppervlakte van de polder met de middelloodlijn op de verbindingslijn tussen beide waarnemingspunten te verdelen. De meetplaatsen zijn aangegeven op kaart 1.

Foutenbronnen

1. Het gebiedsgrootte-effect levert een onvermijdelijke fout op. Het maximale dagverschil tussen beide meetplaatsen bedroeg in de meetperiode 6,9 mm.
2. Het verschil tussen waarnemingen met een "hoge" en een "grond" regenmeter blijkt gering te zijn.
3. Onlangs is vastgesteld dat de gebruikte ijkingsfactor van de grondregenmeter waarschijnlijk niet nauwkeurig genoeg was. Deze fout bedraagt $\pm 1\%$ met dien verstande dat tot nu toe te laag berekend was. Rekening houdend met de gewichten (zie 3.1), bedraagt deze fout over zeven dekades: $(\frac{1}{2} \times \frac{1}{2})\%$ van 659,2 mm = 2,47 mm te weinig, zodat het totaal wordt 661,7 mm.

5.2. AANVOER

5.2.1. De bevoeiingspomp

Het debiet van de irrigatiepomp wordt in de praktijk met de afsluiter in de leiding geregeld, zodanig dat de ampère-meter een zekere waarde aanwijst. Dit is een grove regeling. De resulterende debieten werden zes keer gemeten door bepaling van de op de sawah's gebrachte waterschijf. De aflezing hiervan geschiedde in millimeters. Voor de niet gemeten bevoeiingen is het gemiddelde van 0,823 m³/min. aangehouden. De gemeten debieten varieerden tussen 0,6 en 1,0 m³/min.

Foutenbronnen

1. Spreiding in de metingen ter bepaling van het gemiddelde debiet (zie boven).
2. Mogelijke fout in de tijdwaarneming; ± 1 minuut per bevoeiing (aantal bevoeiingen: 28). Daar de hoeveelheden bevoeiing per dekade slechts gering zijn op de balans en de fouten tegengesteld kunnen zijn aan elkaar, zal de fout in millimeters buiten de nauwkeurigheid van de balans vallen.

5.2.2. De waterleiding

Van het waterverbruik via de waterleiding zijn niet veel metingen beschikbaar. In de periode van onderzoek is veel water verbruikt ten behoeve van de nieuwbouw. Het verbruik per dekade wordt geschat op 250 m^3 ofwel 1,6 mm. Deze hoeveelheid komt gedeeltelijk direkt in de waterlopen en gedeeltelijk in de grond terecht en een gedeelte verdampt.

5.3. KWEL EN INZIJGING

Van inzijging is niets gebleken. De situatie blijkt integendeel zo te zijn dat er kwel verwacht kan worden. De grondwaterstanden in de CELOS-polder zijn ten gevolge van de bemaling, lager dan die van het buiten de polder gelegen terrein waar de ontwatering grotendeels oppervlakkig is. Doordat tevoren de mogelijkheid van kwel niet serieus was overwogen, is de daarop gerichte grondwaterstandswaarneming niet uitgebreid genoeg geweest. Op kaart 2 is te zien dat grondwaterstandsbuizen slechts aan een kant buiten de polder geplaatst zijn. Figuren 4 en 5 geven een beeld van het grondwaterdwaarsprofiel in deze richting. De daarin aangegeven verhangen ter plaatse van de poldergrens worden in een berekening gebruikt alsof ze voor de hele omtrek van de polder gelden.

Behalve de weergegeven verhanglijnen van de grondwaterpiegel blijkt de constructie van isohypsenkaarten voor het gebied binnen de polder weinig zinvol te zijn. Een poging om voor iedere dekade een isohypsenkaart te construeren, mislukte in die zin dat duidelijk blijkt dat er opbollingen van de grondwaterpiegel tussen de sloten gemeten wordt. Om nu hiervan een kaart te construeren is een veel dichter waarnemingsnet nodig.

Voor een goede berekening van de kwel zijn de gegevens te summier.

De KD-waarde die voor de berekening van de kwel noodzakelijk is is een onbekende grootte; voor het zandpakket onder de klei geldt een K-waarde van $0,5 \text{ m/etm.}$, maar de dikte van dit pakket is onbekend.

Twee voorbeelden van een benadering van een eventueel optredend kwelvolume worden nu gegeven.

1. Gaan we uit van de verhanglijnen zoals die in de figuren 4 en 5 staan, dan schatten we daaruit een verhang ter plaatse van de poldergrens. Verder nemen we een KD-waarde van $4 \text{ m}^2/\text{etm.}$ aan. Wanneer dan de omtrek van het kweloppervlak ruwweg 2000 m is, dan is de instromende hoeveelheid kwel $Q = KD \cdot L \text{ m}^3/\text{etm.}$

Onderstaande tabel geeft de hoeveelheid kwel in millimeters per dekade voor verschillende KD-waardes en voor verschillende verhangen der dekades.

Dekade nr.	Verhang cm/100 m	gem.	Kwel mm/dekade			
			KD=3	KD=4	KD=5	KD=10 m ² /etm.
1	18-21	20	0,77	1,02	1,28	2,56
2	18-26	20				
3	22-34	25	0,96	1,28	1,50	3,00
5	22-34	25				
6	22-26	25				
7	22-26	25				
4	31-35	30	1,15	1,54	1,92	3,84

Voor de aangenomen waarde van $KD=4 \text{ m}^2/\text{etm.}$ zijn deze hoeveelheden kwel dus gering.

2. Niet direkt een berekening van de kwel, maar een controle op het al of niet voorkomen van een grote hoeveelheid kwel.

We maken daarvoor gebruik van het afvoerbeeld zoals dat in 7.2 geschetst zal worden. Door de daar gevonden theoretische uitkomsten te vergelijken met de werkelijk optredende grondwaterspiegeldaling. Hiervoor is in Fig. 2 het verloop van de grondwaterbeweging gereconstrueerd. Omdat de grondwaterdaling verstoord wordt door buien die groot genoeg zijn om het grondwater aan te vullen moeten we periodes uitzoeken waarin slechts kleine, of helemaal geen buien voorkomen. Deze periodes zijn van 5/6-13/6, 7/7-16/7, 18/7-31/7 en 3/8-14/8.

Onderstaande tabel vergelijkt de theoretische en de werkelijke grondwaterspiegeldalingen.

Datum	Hoogte Grwsp na t dagen (h _t)*	Hoogte Grwsp uit fig. 2	*h _t wordt berekend uit de Glover-Dumm formule, zie 7.2
7/7	h ₀ = 39 cm		
10/7	h ₃ = 34	h = 28 cm	
13/7	h ₆ = 27	h = 25	
16/7	h ₉ = 21	h = 21	
18/7	h ₀ = 35		
20/7	h ₂ = 33	h = 31	
24/7	h ₆ = 24	h = 26	
27/7	h ₉ = 18	h = 20	
31/7	h ₁₃ = 14	h = 13	
3/8	h ₀ = 29		
10/8	h ₇ = 18	h = 22 (hier is nog een neerslag van 20 mm geweest)	
14/8	h ₁₁ = 13	h = 18	
5/6	h ₀ = 28		
8/6	h ₃ = 25	h = 23	
13/6	h ₈ = 16	h = 15	

We zien dus een goede overeenkomst die weinig ruimte laat voor een kwel die groter is dan onder 1) berekend.

Voor de balans wordt de onder 1) berekende kwel aangehouden. Hierbij aansluitend kan nog worden opgemerkt dat uit visuele waarnemingen weinig of niets van sterke kwel te bespeuren valt.

De invloed van de kreek

De kreekwaterstanden worden gelijktijdig met de grondwaterstanden opgenomen (2 maal per week). Het blijkt dat zelfs bij hoge kreekwaterstanden relatief lage grondwaterstanden vlak bij de kreek voorkomen. Uit een vergelijking van kreekwaterstanden met grondwaterstanden in een nabij gelegen buis (no. L.B. 5) en een verafgelegen buis (Blok 1 no. 6) blijkt dat de nabij gelegen buis niet veel duidelijker op de kreekwaterstandsfluctuaties reageert. Ook uit visuele waarnemingen blijkt geen instroming van kreekwater in de er naast gelegen ringsloot.

Er wordt aangenomen dat de kreekwand door slibafzetting slecht doorlatend is geworden.

5.4. AFVOER

5.4.1. Het pompgemaal

Bij verschillende metingen waarbij gebruik gemaakt wordt van de debietmeter, is bepaald dat de afvoercapaciteit van de pomp over langere periodes (meer dan 3 minuten) ongeveer 6 m^3 per minuut bedraagt. Over kortere periodes (slagen van 1 à 2 min.), wanneer de aanvoer in de sloot gering is, ligt het debiet in de buurt van $5,4 \text{ m}^3/\text{min.}$ afhankelijk van de lengte van de "slag" wat weer afhankelijk is van de aanvoer en de afstelling van de bemalingsdiepte en het afslagpunt. Uit de metingen is geen invloed van de voorkomende opvoerhoogtes gebleken op het debiet. Aangenomen wordt dat de ijking van de debietmeter korrekt is bij de voorkomende debieten en opvoerhoogtes.

Voor berekening van het "continu" debiet wordt aangehouden $5,96 \text{ m}^3/\text{min.}$ en voor berekening van het in "slagen" verpompte volume wordt gebruik gemaakt van het bij goede benadering rechtlijnige verband tussen slaglengte en slagvolume (Fig. 6). De grafiek bestaat uit twee lijnen; het blijkt namelijk dat na een bijstelling van enkele centimeters van de bemalingsdiepte, op 8 juli het genoemde verband veranderd is. De vulling van de persbuis met water wordt in de aan- en aflooperperiode van de slagen gunstiger.

Van 20/7 tot 13/8 heeft de pomp steeds met tussen-geschakelde debietmeter gewerkt. Dat dit niet eerder gedaan is, komt omdat bij de toen grotere afvoeren het risico van verstopping van de voor de zuigbuis geplaatste roosters te groot was. Deze roosters zijn nodig omdat de debietmeter gevoelig is voor aanhechting van vuil op de schoepen.

De draaiurenteller is met een factor 1,0136 gecorrigeerd. De berekening wordt per dekade getabelleerd.

Fouten bronnen

1. De debietmeter geeft niet het juiste verpompte volume, ofwel de debietmeter zou niet aangeven wat er zonder debietmeter verpompt zou worden. Een afwijking van één procent in de debietmeting zou op de totale waterbalans een fout geven van 767 m^3 d.i. 4,9 mm.
2. Afwijkingen van de regressielijnen van slaglengte tegen slagvolume, vooral in het geëxtrapoleerde deel; er moet namelijk ergens een overgang zijn naar de lijn van het continu debiet.
3. Storingen in de werking van de pomp. Tijdens een gedeelte van de onderzoeksperiode is de pomp gestoord geweest door stukken drijfhout. Verder is het mogelijk dat er variaties in de toegevoerde stroomsterkte geweest zijn.
4. De speling van 6 minuten in de tijdregistratie van de draaiurenteller geeft zeker in de berekening van het dagelijkse volume een fout. Deze fout is per dekade maximaal $12 \text{ min.} \times 6 \text{ m}^3 = 78 \text{ m}^3$, d.i. ongeveer 0,5 mm per dekade. Deze fout is even groot voor de totale waterbalans.
5. Zeer kort opeenvolgende slagen zijn nauwelijks of niet te tellen op de peilgrafiek.

5.4.2. De Concord pomp

In verband met afvoermetingen aan drainbuizen, is enkele malen een gedeelte van de ringsloot van blok 9 leeggepompt met een dieselpomp. Aan de hand van fabrieksgegevens is het debiet geschat op 100 m^3 per uur.

5.5. VERDAMPING

De op het CELOS gedane waarnemingen van zonneshijn en relatieve vochtigheid zijn door de meteorologische dienst Paramaribo uitgewerkt, evenals de windwaarnemingen van een 10 km van CELOS verwijderde polder.

De zonneshijnwaarnemingen zijn berekend als een percentage van een 10-urige dag. De omrekening naar op 12 uur betrokken n/N waarde uit de formule van Penman, geschiedt met de formule $y = 1,14 x + 2,36$ (BROERS et al., 1966) waarin $y = \% \text{ zonneshijnuren van 10 uur}$ en $x = \% \text{ zonneshijnuren van 12 uur zonneshijn}$. De konstanten zijn gemiddelden van de in het rapport vermelde konstanten (advies Meteorologische Dienst).

De windwaarnemingen waren gedaan op 10 m hoogte. Met een nomogram dat uitgaat van een logaritmisch windprofiel (KOOPMANS, 1969) worden deze waarden herleid tot op 2 m hoogte, zoals gebruikelijk is in de formule van Penman. Daar deze herleide waarden niet aansloten bij de in de laatste dekaden op CELOS verrichte windmetingen worden ze verder met een factor 1,6 gereduceerd.

N.B. Het genoemde waarnemingsstation heeft in de overheersende windrichting een kortere windweg tot de zee, er kan zo een hogere windsnelheid verwacht worden.

De verdamping wordt volgens twee nomografische methodes geschat.

a. Volgens LENSELINK, 1970.

Er wordt gesteld dat de windfunctie onder Surinaamse omstandigheden verwaarloosd kan worden. Er blijkt een goede correlatie tussen de verdamping van een open wateroppervlak en de optredende kortgolvlige straling (Hsh) te zijn (corr. coef. 0,952) voor Hsh wordt gevonden $Hsh = (0,27 + 0,47 \frac{n}{N}) H$.

De resultaten zijn in een nomogram verwerkt waarin $\frac{n}{N}$ gebracht wordt. De aflezing is E_0 in mm/etm voor een bepaalde maand.

b. Volgens KOOPMANS, 1969.

Hierbij wordt met nomogrammen de verdamping tijdens uitstraling (E_1) (welke negatief kan zijn) de verdamping t.g.v. instraling (E_2) en de verdamping t.g.v. wind (E_3) bepaald. Dit wordt mogelijk gemaakt door de formule van Penman in genoemde drie delen te splitsen zodat de verdamping van een open wateroppervlak $E = E_1 + E_2 + E_3$. Bij deze methode is $Hsh = (0,28 + 0,48 \frac{n}{N}) \text{ Hatm}$.

Voor beide schattingen moet nog een gewasfactor aangenomen worden. We hebben te maken met hoofdzakelijk korte gewassen en goed bedekte grond. Gewas en grond zijn voor het grootste deel van de eerste zes dekades nat. De gewasfactor zal onder deze omstandigheden tussen 0,8 en 1,0 liggen. Grote reflectie doet voor een lage waarde kiezen terwijl het permanent natte oppervlak de hoge waarde doet gelden. Daar dit een kwestie van schatten blijft, zal hier met een gewasfactor van 0,9 gewerkt worden.

Voor het deel van het polderoppervlak dat weinig of niet verdampt zoals gebouwen en verharde wegen, wordt nog een reductie van 0,95 toegepast.

De schattingsmethode b geeft hogere uitkomsten dan methode a.

Op de verdamping als restwaarde uit de balans wordt in hoofdstuk 4 teruggekomen.

Fouten bronnen

In verband met de onbekendheid met de grootte van de afwijking tussen de schattingen en de werkelijke verdamping, heeft het weinig zin om in te gaan op de nauwkeurigheden in de meteorologische metingen.

Het verschil tussen beide schattingsmethoden bedraagt ongeveer 8% van de hoogste schatting per dekade.

De mogelijke fout in de schatting van de verdamping wordt op 20% geschat ten gevolge van de mogelijke variatie in de reductiefactoren; d.i. ± 8 mm per dekade.

5.6. VERANDERING VAN DE HOEVEELHEID WATER IN DE GROND

5.6.1. Het grondwater

De grondwaterstanden worden tweemaal per week opgenomen. Wanneer één der meetdagen precies op een wisseling van dekades valt worden de gemiddelde waarnemingen van alle betrouwbaar geachte buizen genoteerd. Voor de andere dekade-wisselingen wordt de hoogte van het grondwater geschat uit de twee dichtstbij zijnde waarnemingen, rekening houdend met mogelijke aanvulling door neerslag in het betreffende interval (Tabel 1 regel 16).

Voor de berekening moeten we een zeker poriënvolume aannemen dat leegloopt. In principe is dat uit de pF-curve te halen. Daalt het grondwater b.v. 10 cm, dan zal in de laag waarover het grondwater gedaald is de onderdruk gemiddeld 5 cm stijgen, dus de waterhoeveelheid in die laag daalt van het maximale volume-percentages tot het percentage behorende bij pF 0,7.

Aangezien de grondwaterbeweging zich hoofdzakelijk in het onderliggende zand afspeelt, moet daarvan de pF-curve genomen worden.

Van het zand werden de vochtgehalten bepaald bij pF 1,0, 1,7 en 1,9.

Fig. 7 geeft de hoogte boven het grondwater tegen het geleedigde poriënvolume op die hoogte. Hieruit kan dan voor zekere stijging of daling van de grondwaterspiegel de gemiddelde verandering van het vochtpercentage in die laag afgelezen worden.

Fouten bronnen

Deze beschouwing geldt alleen voor een stationaire toestand. Aan deze voorwaarde wordt vaak niet voldaan zodat vooral in het geval van toevoer uit de bovenliggende lagen tijdens de dekadewisselingen, het vochtprofiel er heel anders uit zal zien, het komt zelf voor dat het profiel tot aan het maaiveld bijna geheel verzadigd is of een schijn-grondwaterspiegel vertoont. In dat geval is het nemen van vochtmonsters ook onmogelijk, zodat we met een schatting moeten volstaan.

De juistheid van de bepaling van de hoogte van de grondwaterspiegel is afhankelijk van: de plaatsing van de buizen (representatief of niet), de goede werking van de buizen (sommige buizen hebben nl. sterker de neiging om een schijn-grondwaterspiegel aan te geven dan andere), de interpolatie tussen de drie of vier dagen uit elkaar liggende grondwaterstandswaarnemingen; hierbij wordt wel rekening gehouden met de hoeveelheid neerslag die in het interval valt.

De nauwkeurigheid van Fig. 7 is niet groot omdat de pF-curve slechts in duplo is bepaald en slechts op één plaats en diepte. Bovendien is het zeker bij een zandmonster niet reëel om het verzadigd vochtgehalte gelijk te stellen aan het totale poriënvolume (er is altijd leegloop).

Daar de beschouwde laagdikte tijdens de proef niet groter is dan 13 cm zullen eventuele fouten een geringe invloed hebben op de waterbalans. Uit een laag van 10 cm draineert ongeveer 3 mm water.

N.B. Een "drainable pore space" van 0,07 zoals bij 3.3 voorbeeld 2 aangenomen, hoort in Fig. 7 bij een drukhoogte van 80 cm (pF 1,9). Dat is in verband met de gangbare waarde voor de veldcapaciteit heel goed mogelijk.

5.6.2. Het bodemvocht

De vochtbemonstering heeft niet steeds plaatsgevonden op de dekade-wisselingen. Van het begin van de eerste dekade ontbreekt de bemonstering omdat deze dekade pas later in de onderzoeksperiode werd opgenomen. De data 14/7 en 4/8 vervallen omdat de grond te nat is om monsters te nemen, op 24/7 is dat wel gebeurd in een zeer natte grond die we verzadigd zouden kunnen noemen. Hierbij moet wel bedacht worden dat bij dergelijke natte monsters water uittreedt bij het uitsteken en anderzijds water van de bovenste vaak nattere lagen zich verzamelt op de bodem van de profielkuil.

De bemonsteringsdata zijn gemiddeld en weergegeven in Tabel 2.

De bemonstering vindt plaats in vier profielen, te weten: één zand-, twee klei- en één leemprofiel. De monsters van 100 cm³ werden gestoken op dieptes van 10, 20, 30, 40 en 50 cm. De bemonstering is enkelvoudig. Voor het berekenen van een gemiddelde uit de metingen wordt een verdeling van de grondsoorten over het terrein geschat uit de bodemkaart. De percentages zijn 10% zand, 10% leem, 60% klei en 20% recent verstoorde klei (drainage proefveld blok 9).

Van de bovenste 50 cm kan het gemiddelde vochtgehalte bepaald worden. Het vochtgehalte tussen 50 cm min maaiveld en de diepte tot waar de grondwaterberging berekend is (tot 10 cm boven de grondwaterspiegel, nl. waar de knik optreedt in de grafiek van Fig. 7) wordt benaderd door een rechtlijnig verloop te veronderstellen tussen de vochtgehalten op beide dieptes, waarbij het vochtgehalte op 10 cm boven de grondwaterspiegel altijd 100% verondersteld wordt.

Tenslotte wordt nog een reductie toegepast op de oppervlakte voor de omrekening in millimeters omdat de sloten uiteraard geen deel hebben aan deze vochtveranderingen. Voor de bemonstering tot 0,5 m diepte wordt het slootoppervlak op 0,25 m * min maaiveld berekend en afgetrokken (reductiefactor 0,9564). Voor de "tussenlaag" en de "grondwaterlaag" wordt het slootoppervlak ook afgetrokken op de bijbehorende halve hoogte.

De berekening van het slootoppervlak geschiedt uitgaande van de gevonden oppervlaktes bij $h = 50$ en $h = 70$ waarbij per hoogteverschil van 20 cm het oppervlak met 836,2 m² vermeerderd of vermindert. (Oppervlaktes bij $h = 50$ en $h = 70$ zijn bepaald met een niet opgenomen nomogram.)

Berekening: 1 vol. % vochtverandering, komt overeen met

$$1 \text{ mm water} \times \frac{\text{opp.vl. (polder-sloot)}}{\text{opp.vl. polder}}$$

per 10 cm diepte.

Fouten bronnen

Het is achteraf wel duidelijk geworden dat vochtbemonstering zeer uitgebreid moet plaatsvinden voor een waterbalans die slechts een korte periode beslaat. De hoeveelheid water die tijdelijk in de bodem geborgen kan worden is aanzienlijk; 1% vol. vochtgehalte verschil in 1 meter grond is 10 mm water, terwijl een fout van 1 à 3% in het gemiddelde van de vochtbemonstering wel op kan treden, door het geringe aantal monsters en bemonsteringstechniek. Hieruit volgt dat een waterbalans per dekade weinig zin heeft, zoals ook zal blijken bij het opmaken van deze balans.

Voor de benadering van het vochtgehalte in de tussenlaag is eigenlijk een diepere bemonstering nodig zodat een vochtcurve voor het gehele profiel tot aan het grondwater geconstrueerd kan worden. Dit vereist zeker bij deze natte omstandigheden een andere vochtbemonsteringstechniek. Er kunnen natuurlijk vochtfronten optreden zeker in de drogere dekades.

De schattingen van de vochtgehaltenes in de niet bemonsterde dekades doen uiteraard de grootste afbreuk aan de waarde van de bemonstering. Voor deze schattingen zijn de dagelijkse neerslag en afvoerhoeveelheden bekeken aannemende dat de verhouding tussen hoeveelheid neerslag en de daardoor veroorzaakte afvoer een relatieve maat is voor wateropnamecapaciteit van de grond, dus ook van het vochtgehalte vooral boven in het profiel. In de dekades twee en drie wordt het beeld echter zeer verstoord door het voorkomen van zware en langdurige regenbuien vlak voor of tijdens de dekadewisseling. We krijgen dan te maken met plasvorming (hoeveelheid?), schijngrondwaterspiegels en waarschijnlijk een snelle vol- en leegloop van de grotere poriën en gangen in de grond.

We hebben aangenomen dat een volledige opvulling van het beschikbare poriënvolume niet mogelijk is en dat er altijd binnen zeer korte tijd na een bui minstens 3% van het poriënvolume weer leeggelopen is. Schijngrondwaterspiegels zijn ook niet door bemonstering waar te nemen omdat het monster leegloopt.

5.7. VERANDERING VAN DE HOEVEELHEID OPENWATERBERGING

Door het voortdurend haperen van de I.C.W.-peilschrijvers is van een goede continu registratie in de sloten weinig terecht gekomen. Wel is een nauwkeurige registratie met de peilschrijver in de pompschacht verkregen; hiervan was bovendien de tijdschaal veel gunstiger (1 cm/uur tegen 1 cm/4 uur op de I.C.W.-peilschrijvers).

Uiteindelijk blijken de waterstanden op de data van de dekadewisselingen minimaal geweest te zijn. Dat wil zeggen in alle sloten staat een bodempje water en in het opvangbekken voor de pomp treedt een maximale schommeling op van + 0,10 m, wanneer er nog toevoer is. De bergingsverschillen zijn dus minimaal. Wanneer we een gemiddeld hoogteverschil van 5 cm veronderstellen in het waterpeil,

dan is dat bij een oppervlak van $\pm 2314,5 \text{ m}^2$ van het laagste slootwaterpeil: $115,725 \text{ m}^3 = 0,74 \text{ mm}$ hetgeen te verwaarlozen is.

5.8. GEGEVENS

Bij hoofdstuk 3.

Situatie: kaart 1

Oppervlakte polder: 15,619 ha

Bodemkunde: zie onder literatuur, MELITZ en LEGGER

Neerslag: 30-jarig gemiddelde (1938-1967), Cultuurtuin, Paramaribo: figuur 1.

Bij hoofdstuk 5.

5.1.

Plaatsen van regenmeters zijn aangegeven op kaart 1.

Dagelijkse neerslag: tabel 1, regel 1, 2, 3, 4.

Fig. 2 en 4.

Gesommeerde neerslag: tabel 1, regel 5 en tabel 3.

Fig. 2 en 3.

Regenmeters: twee 4-dm^2 , resp. op 1,50 en 0,50 m boven maaiveld. Aflezing dagelijks om 08.00 uur. Eén grondregenmeter met registratie van 15 of 5 minuten op een Fischer en Porter ponsbandrecorder.

5.2.

De oppervlakte van elke van de vier sawah's is 428 m^2 .

Aflezing waterschijf in millimeters, en tijd in minuten. Het bevoelingsvolume per dekade staat in tabel 3.

Verbruik waterleiding: $250 \text{ m}^3/\text{dekade} = 1,6 \text{ mm/dekade}$.

5.3.

Grondwaterstandsbuizen op de Lands Boerderij: $\emptyset 4 \text{ cm}$, geen filter. Plaats: zie kaart 1 en 2.

Grondwaterstandsbuizen op het CELOS: $\emptyset 1 \text{ cm}$, met filter. Plaats: zie kaart 1 en 2.

Waarneming grondwaterstand en kreekwaterstand: tweemaal per week.

Gemiddelde kreekwaterstand: $0,61 \text{ m} + \text{NSP}$.

Hoogste en laagste kreekwaterstand: resp. $1,10$ en $0,39 \text{ m} + \text{NSP}$.

Gemiddelde grondwaterstand: tabel 1, regel 6 en fig. 3.

Gemiddelde hoogte minimum slootpeil: $0,30 \text{ m} + \text{NSP}$; fig. 3.

Gemiddelde diepte ringsloot: $0,25 \text{ m} + \text{NSP}$; fig. 3.

Doorlatendheid fijnzandige ondergrond: $0,5 \text{ m/etmaal}$.

5.4.

Pompgemaal: Van Ness Lo-Lift 8, debiet: $5\text{--}6 \text{ m}^3/\text{min}$.

Debietmeter: Bopp & Reuther, $\emptyset 200 \text{ mm}$, aflezing tot $0,1 \text{ m}^3$.

Stroomurenteller: aflezing op 6/10 uur nauwkeurig; correctiefactor: 1,0136.

Peilschrijver in pompschacht: Ott-recorder. Papier-
snelheid: 1 cm/uur, hoogteverschil: 1 cm = 10 cm,
streepdikte: $\frac{1}{4}$ mm.
Slaglengte - slagvolume regressielijnen: fig. 6.
Detail berekening pompafvoer: bijlage.
Bemalingsdiepte tot 20/7: 0,12 m +NSP
vanaf 20/7: m +NSP.
Verpompt volume: berekening: zie bijlage
dagelijks : tabel 1, regel 13 & 14
gesommeerd: tabel 1, regel 15 & tabel 3.
Hulppomp: Conord F 71/158, debiet + 100 m³/uur.
Verpompt volume door Conord pomp: tabel 3.

5.5.

Zonneschijn: Campbell Stokes apparatuur
berekend op 10 uur max. zonneschijn per
dag, tabel 1, regel 6;
berekend op 12 uur max. zonneschijn per
dag, tabel 1, regel 7.
Temperatuur: gem. van driemaal daagse waarnemingen:
tabel 1, regel 8.
Relatieve vochtigheid: gem. van driemaal daagse waar-
nemingen: tabel 1, regel 9.
Windsnelheid: gemeten als gem. windweg per dag, tabel 1,
regel 10 (dekades 1 t/m 5 te Jarikaba,
dekades 6 en 7 op het CELOS).
Windmeter op het CELOS: Fuess handanemo-
meter.
Metingen te Jarikaba overgenomen van Meteo-
rologische dienst, Paramaribo.
n/N-berekening volgens: BROERS, zie literatuur.
Verdampingsschatting volgens LENSELINK, zie literatuur
en tabel 1, regel 11.
Verdampingsschatting volgens KOOPMANS, zie literatuur,
en tabel 1, regel 12.
Gewas-coëfficiënt: 0,9.
Oppervlakte reductie: $14 \times 81957 / 15,619 = 0,95$.

5.6.

Grondwaterspiegel: tabel 1, regel 16 en fig. 3.
Ontwateringscurve van fijnzandige ondergrond: fig. 7.

5.7.

Vochtbeemonstering: tabel 2.
Bemonsteringsapparatuur: Kopecki-ringen van 100 cm³.
Slootoppervlak bij h = 0,50 m +NSP: 3675,2 m²
h = 0,70 m +NSP: 4511,4 m²
 $\Delta h = 20$ cm geeft een Δ oppervlak = 836,2 m².
Peilschrijvers: I.C.W.-grondwaterstandsregistratie-
apparaten, papiersnelheid: 1 cm = 4 uur,
hoogte verh. 1 cm = 10 cm.
Peilschrijver in de pompschacht: Ott-recorder, papier-
snelheid: 1 cm = 1 uur, hoogte verhou-
ding: 1 cm = 20 cm.
Minimaal wateroppervlak van de ringsloot: 2314,5 m².
Minimale slootwaterstand: gemiddeld over alle ringsloten
0,3 m +NSP.

6. RESULTATEN (DE BALANS)

De balans is per dekade weergegeven in Tabel 3, de gesommeerde balans en enkele deelbalansen zijn weergegeven in Tabel 4.

Het is duidelijk dat de verdamping als restwaarde van de balans een nogal vreemd resultaat oplevert vergeleken met de uit meteorologische gegevens berekende verdamping per dekade. De gemiddelde verdamping over 7 dekades geeft echter een redelijke overeenkomst te zien. Een betere benadering van de berekende verdamping wordt verkregen wanneer we de eerste drie dekades niet meetellen. Dat zou kunnen duiden op een verkeerde schatting van de verandering van de hoeveelheid bodemvocht in de eerste twee dekades waarin immers geen vochtbemonstering werd gedaan. Het een en ander wordt weergegeven in Tabel 4, en in Fig. 9 en Tabel 5 waarin de overeenkomst tussen de balansverdamping en de verdamping volgens LENSELINK (tabel 1, regel 11) is uitgezet. Hierdoorheen is, uiteraard in andere eenheden, het percentage zonneshijn uitgezet! Ter vergelijking: LENSELINK, 1970, vindt voor het verband tussen potentiële verdamping en percentage zonneshijn (geschreven als n/N), $E_0 = 4,68 n/N + 2,46$ met een correlatiecoëfficiënt 0,923. Voor de verdamping per dekade vinden we daarentegen E -balans = $10,9 n/N - 1,03$ met een correlatiecoëfficiënt van 0,886. Het verband tussen verdamping en zonneshijn blijft dus merkwaardig goed maar de reactie op meer of minder zon is veel extremer zoals ook al uit Tabel 5 blijkt. Het kan dus zijn dat er inderdaad een sterkere reactie is maar daarnaast moeten we in de eerste plaats te maken hebben met een overdrijving in dezelfde zin van één of meer van de overige posten van de waterbalans (hoogst waarschijnlijk de berging in de grond) en in de tweede plaats een toerekening van de waterhoeveelheden aan de verkeerde dekades, zodat een verschuiving optreedt.

Het lijkt uiteindelijk niet onredelijk om te mogen concluderen dat deze periode van 70 dagen toch lang genoeg is geweest om een groot deel van de variabele fouten te kunnen elimineren en waarde te hechten aan de gevonden gemiddelde verdamping van 33,5 mm per dekade of 3,35 mm per dag. Een verdamping van 40 mm of meer in de dekades met gemiddeld meer dan 45% uren zonneshijn per dag van 12 uur lijkt ook reëel. Tenslotte is het duidelijk dat de verdamping op dagen met veel regen zeer laag moet zijn (kleiner dan 3 mm en waarschijnlijk zelfs kleiner dan 2 mm).

7. HET AFVOERPROCES

7.1. ALGEMEEN

Het totale afvoerbeeld wordt weergegeven in de figuren 2 en 4. Hierbij is het kortste waarnemingsinterval de tijd van één dag (van 8.00 uur tot 8.00 uur). Dit interval is natuurlijk te groot om het direkte verband tussen neerslag en afvoer weer te geven, maar we kunnen hieruit wel iets opmaken over de reactie van de afvoer op de verschillende buien als

geheel, een kleiner interval heeft hiervoor geen zin omdat bij grote buien het slootpeil snel stijgt en de tijd die nodig is om het slootpeil weer op de beginstand terug te brengen van dezelfde orde van grootte als het interval is. (In fig. 2 is tevens de maximale afvoer van 24 uur door het gemaal aangegeven.) Een goed voorbeeld is de neerslag en afvoer op 5/7 en 6/7.

Zo zien we dat de afvoer in drogere periodes klein is ten opzichte van de neerslag en in de zeer natte periodes, zoals de derde dekade, bijna gelijk aan de neerslag. Dit laatste betekent kennelijk dat er geen water meer in de bodem dringt omdat deze verzadigd is of althans dicht bij het maaiveld verzadigd is. Naast de normale afvoer uit het grondwater is de afvoer dan geheel oppervlakkig (zie verder 7.2 en 7.3).

In dit verband lijkt het mogelijk dat de verhouding afvoer tot bijbehorende neerslag een maat kan zijn voor de vochttoestand van de grond of beter: de vochttoestand van de bovenkant van het profiel en de berging in plassen en aan de vegetatie. Deze verhouding is uitgezet voor de één-daagse neerslag en afvoer en waar nodig gecorrigeerd met de tweedaagse en driedaagse neerslag en afvoer (Fig. 8A). Vergelijken we de verhouding op de dekadewisselingen (in de figuur aangegeven met 0) met de gevonden en aangenomen vochtpercentages in de bovengrond dan zien we dat er een redelijk verband bestaat (Fig. 8B) alleen op 14/7 is er een grote afwijking, dat zou er op kunnen duiden dat het verband inderdaad betrekking heeft op de bovenste 10 of 20 cm van het profiel daar dit juist gebeurt na een vrij lange droge periode voorafgegaan door een zeer natte periode, zodat de bovengrond uitgedroogd kan zijn en de grond daaronder nog nat, zodanig dat de bovenste 50 cm gemiddeld nog een hoog vochtgehalte heeft. In de grafiek is ook een schatting geschetst van het dagelijks verloop van de uitdroging.

7.2. DOOR DE GRONDSE AFVOER

De grootte van de afvoer is afhankelijk van de hoogte van de grondwaterspiegel boven de drains, de drainafstand, de eigenschappen en afmetingen van de doorstroomde grondlaag en de vorm van de grondwaterspiegel. Wat betreft de keuze tussen stationaire en niet-stationaire drainage kunnen we al in verband met het neerslagpatroon aannemen, dat de toestand niet-stationair is. De volgende waarnemingen duiden ook in deze richting.

Het is opmerkelijk dat de afvoer ook na zware neerslag weer tot een zekere basisafvoer terugkeert, die veroorzaakt wordt door drainage uit het grondwater. Daarbij is de beweging van de grondwaterspiegel tussen de sloten nogal gematigd. Dat wijst er op dat een groot deel van de ontwatering plaatsvindt vóórdat het grondwater aangevuld wordt. De ontwatering kan plaatsvinden (i) horizontaal naar de ontwateringsmiddelen die tot een diepte van plm. 50 cm onder maaiveld een grote capaciteit hebben door de vele ondiepe greppels, (ii) uit het grondwater vlak bij de diepe sloten.

Dit kan voorgesteld worden door aan te nemen dat direkt na neerslag een horizontale grondwaterspiegel aanwezig is die door snelle drainage door een groot kweloppervlak, dichtbij de sloten snel daalt waarbij de bekende bolle grondwaterspiegel gevormd wordt die verder langzaam ontwatert door de natte slootonttrek. Dit beeld komt overeen met het niet stationaire model van grondwaterstroming zoals dat uitgedrukt wordt in de formule van Glover-Dumm (VAN BEERS, 1965) waarin de drainage een exponentieel karakter heeft.

Genoemde formule, in nomogramvorm, zal voor de berekening van de door de grondse afvoer gebruikt worden met de volgende gegevens:

$$\text{Reservoir coëfficiënt, } j = \frac{V \cdot L^2}{10 \cdot K \cdot D} = 11,4 \text{ dagen}$$

$$\begin{aligned} \text{"Drainable pore space", } V &= 0,07 \quad (V(\%) \approx \sqrt{K(\text{cm/etm})}) \\ \text{Gemiddelde slootafstand, } L &= 70 \text{ m} \\ \text{KD} &= 3 \text{ m}^2/\text{etmaal} \quad (K = 0,5 \text{ m/etm}) \end{aligned}$$

In het nomogram (VAN BEERS, 1965) zijn de verhoudingen t/j en h_t/h_0 tegen elkaar uitgezet. Hierbij is t het aantal dagen waarover de grondwaterspiegeldaling bekeken wordt en h_t en h_0 zijn resp. de hoogtes van de grondwaterspiegel boven het ontwateringsniveau na t dagen en op het begintijdstip van ontwatering, dus na neerslag.

Nu is de formule $j = VL^2/10 KD$ verkregen door vereenvoudiging van een vierde machtsparaboliese funktie die de vorm van de grondwaterspiegel weergeeft; wanneer de verhouding h_t/h_0 groter wordt dan 0,8 ontstaat er een aanmerkelijk toenemend verschil tussen de vereenvoudigde en de originele formule. De afvoer is dan groter dan uit het nomogram afgeleid wordt. Dit kunnen we "stadium 1" noemen, waarin de horizontale grondwaterspiegel overgaat in een paraboliese. In "stadium 2" ligt h_t/h_0 tussen 0,8 en een waarde die hier gesteld wordt op 20 cm/ h_0 . De afvoer bij paraboliese grondwaterspiegel is $q = 2 \sqrt{Vh/L^2}$.

In "stadium 3" is h_t/h_0 kleiner dan 20 cm/ h_0 ; de grondwaterspiegel nadert tot de horizontale ontwateringsbasis, zodat de afvoer gelijk is aan $V \cdot \Delta h$.

Bij wijze van voorbeeld gaan we uit van een $h_0 = 0,40$ m boven de ontwateringsbasis. Het verdere verloop van de afvoer (bij ontbreken van aanvoer door neerslag) wordt weergegeven in Fig. 9, waarin millimeters afvoer tegen dagen na t_0 (dus t_0 , t_1 , t_2 enz.) zijn uitgezet. De drie genoemde stadia zijn ook in Fig. 9 weergegeven.

Door planimetering vindt men in stadium 1 een niet reële totale afvoer van 5,05 mm. In stadium 2: 5,78 mm en in stadium 3: 14,00 mm ($h_t = 0,20$ m dus $q_{\text{totaal}} = 0,07 \times 200 \text{ mm} = 14,00 \text{ mm}$).

In de uitgangstoestand is, boven de ontwateringsbasis $V \cdot h = 0,07 \times 400 \text{ mm} = 28,00 \text{ mm}$ geborgen zodat in stadium 1 $28,00 - 14,00 - 5,78 = 8,20 \text{ mm}$ afgevoerd moet zijn.

De "snelle" afvoer, d.w.z. de afvoer die zoals beschreven geen daling van de grondwaterspiegel midden tussen de drains geeft, bedraagt dus in dit voorbeeld $8,20 - 5,10 = 3,10 \text{ mm}$.

In werkelijkheid valt er steeds weer een nieuwe bui, waarmee steeds weer de uitgangstoestand ingesteld wordt. Ook infiltratie uit de door neerslag gevulde sloot draagt hiertoe bij.

Door te veronderstellen dat een bui van meer dan 10 mm een "begintoestand" kan creëren, kunnen we trachten een schatting te maken van de hoeveelheid afvoer per dekade als drainage via het grondwater. Voor h_0 nemen we daartoe de gemiddelde h_0 per dekade uit Fig. 3.

Zo kwamen er in de eerste dekade twee buien groter dan 10 mm voor. Per bui is dan de gemiddelde ontwateringsduur 10 dagen/2 = 5 dagen per bui. $h_0 = 0,24$ m zodat de ordinaat van Fig. 9 die op $h_0 = 0,40$ m gebaseerd was, gereduceerd moet worden met $24/40$. In Fig. 11 is na 5 dagen de totale drainage 10 mm. Voor de eerste dekade wordt zo dus een afvoer berekend van $24/40 \cdot 10 \cdot 2 = 12$ mm.

Hieronder volgt een overzicht van de geschatte afvoeren voor de 7 dekades.

Dek.	aant. buien ≥10 mm	gem. ontwat. duur	h_0	reduc- tie (Fig. 9)	drai- nage bij $h = 40$ (Fig. 9)	aant. buien ≥10 mm	drai- nage/ dekade
1	2	5 dagen	24 cm	$24/40 \times$	10 mm $\times$	2	= 12 mm
2	5	2	24	$24/40 \times$	6 $\times$	5	= 18
3	7	10/7	33	$33/40 \times$	5 $\times$	7	= 29
4	1	10	32	$32/40 \times$	14 $\times$	1	= 11
5	2	5	26	$26/40 \times$	10 $\times$	2	= 13
6	2	5	27	$27/40 \times$	10 $\times$	2	= 14
7	1	10	23	$23/40 \times$	14 $\times$	1	= 12

Ter verdere illustratie nog een berekening van de extremen: In de onderzoeksperiode was de maximale uitgangswaterstand (h_0) ongeveer 0,40 m boven de ontwateringsbasis, zodat de maximale afvoer via het grondwater ongeveer 5 mm/dag bedroeg.

De minimale afvoer door de pomp gemeten (datum: 12/8) bedroeg 0,45 mm/dag, h_0 was 0,23 m, de laatste grote bui was 10 dagen gelegen.

In Fig. 11 is de afvoer op t_{10} , 0,75 mm, de werkelijke afvoer op 12/8 zou dus $23/40 \times 0,75 = 0,43$ mm bedragen, hetgeen goed overeenkomt met de aan de pomp gemeten afvoer.

Deze dekade-afvoeren van drainage via het grondwater zijn zeer laag vergeleken met de grote neerslag, men zou dan ook verwachten dat het grondwater tot aan het maaiveld stijgt. Dat dit niet gebeurt moet zoals eerder gezegd verklaard worden door een horizontale drainage boven het grondwaterniveau naar de greppels. Hierbij zullen schijngrondwaterspiegels (die ook waargenomen zijn) een rol spelen. In het extreme geval zou een schijngrondwaterspiegel zelfs samen kunnen vallen met het maaiveld zodat de afvoer oppervlakkig wordt.

7.3. DE OPPERVLAKTE AFVOER.

De oppervlakte afvoer zal verder gemakshalve aangeduid worden als runoff.

Voor meting van de runoff is een proefveldje van 261,1 m² gekozen, bestaande uit een kavelsloot waarop twee halve bedden afwateren. De begroeiing is dicht, met hoge grassen waaronder rijst. Er zijn enkele metingen gedaan met behulp van een emmer en een stopwatch. Helaas is de overgang van regentijd naar droge tijd vrij plotseling ingezet, toen aan runoff metingen begonnen werd. Er is drie keer gemeten maar de buien blijken te klein om een redelijke runoff te veroorzaken. Slechts bij één meting is een zichtbare (geringe) runoff die echter al door voorafgaande neerslag ingeleid is. Het is goed mogelijk dat deze buien bij andere gedeeltes van de polder met een lichtere vegetatie en een verslechte grond wel runoff veroorzaken.

Wat bij genoemde metingen eigenlijk waargenomen wordt is afvoer van neerslag dat op het natte oppervlak van de sloot valt. Dat is ook wel als volgt te zien.

Stel er valt N mm neerslag.

De afvoer wordt om de minuut opgevangen.

Het totale oppervlak, het oppervlak van de sloot ter hoogte van de waterspiegel en ter hoogte van het maaiveld is bekend.

De gemeten afvoer kan in grafiek gebracht worden. Planimetring geeft de totale afvoer.

Nu is $N \text{ (mm)} \times \text{oppervl. } X \text{ (m}^2\text{)} = \text{afvoer (l) of te wel, bij een zekere neerslag en afvoer hoort een zekere afstand oppervlak.}$ Wanneer nu het gevonden oppervlak groter is dan het uitgebreide slootoppervlak (slootoppervl. ter hoogte van het maaiveld plus een zekere uitbreiding ter weerszijden b.v. 5 cm) dan kan men werkelijk van runoff spreken.

Bij de drie genoemde metingen komt dat als volgt uit

	waargenomen	neerslag	afvoer	oppervl. X
1e	geen r.o.	7,9 mm	250 l	31,6 m ²
2e	geen r.o.	4,4 mm	55 l	12,5 m ²
3e	lichte r.o.	5,6 mm	250 l	42,5 m ²

Het minimale natte slootoppervl. = $5,6 \text{ m}^2$
Het oppervl. ter hoogte van maaiveld = $28,0 \text{ m}^2$
Het uitgebreide slootoppervlak ($2 \times 0,025$) = $30,0 \text{ m}^2$
Het uitgebreide slootoppervlak ($2 \times 0,075$) = $33,5 \text{ m}^2$

Hetzelfde kan uiteraard ook toegepast worden op de hele polder. Het oppervlak dat direkte afstroming van neerslag heeft is aanzienlijk:

sloten (water)	$3276,9 \text{ m}^2$
vijver	$716,8 \text{ m}^2$
gebouwen	$4215,3 \text{ m}^2$

totaal $8209,0 \text{ m}^2$

Al spoedig daarna volgen de taluds en de verharde wegen enz. waarmee het oppervlak $26179,8 \text{ m}^2$ wordt. Met een neerslagintensiteit van 1 mm/minuut komt er alleen al van van deze oppervlaktes $8,2$ resp. $26,2 \text{ m}^3$ per minuut in de ringsloot terecht. Wanneer we bedenken dat de pomp slechts $6 \text{ m}^3/\text{min.}$ afvoert dan zal het slootpeil na een kleine aanloopperiode (tot toestand twee bereikt is) zeer snel stijgen. Dat is ook precies wat uit de peilgrafiek afgelezen kan worden. Het derde stadium is wanneer er runoff op gaat treden. Op de grafieken is geen derde sprong te zien, kennelijk treedt deze situatie bijna gelijktijdig in met situatie twee bij buien van betekenis, of in ieder geval gelijkmatiger aansluiten dan tussen situatie 1 en 2.

Uit de slootpeilgrafieken blijkt dat er steeds een tijdsverschil is tussen aanvang van regen en aanvang van bemaling (in de orde van $15-30$ minuten) en een iets groter verschil tussen de tijd van maximale neerslag. Aangezien de neerslag in 15 minuten intervallen gemeten wordt, is dit eigenlijk het tijdstip van het einde van de maximale neerslag in een 15 minuten interval en het einde van de sterkste slootpeilstijging ($30-45$ minuten). Er is wel een goede overeenkomst tussen het tijdstip waarop de bemaling aanvangt en het tijdstip van maximale neerslag, afhankelijk van de grootte van de maximale neerslag tot aan genoemd tijdstip (moet meer dan $\pm 6 \text{ mm}$ zijn, bij voorafgaande neerslag $\pm 5 \text{ mm}$).

Deze 5 à 6 mm geeft op het primair afstromende oppervlak 50 m^3 en op het secundaire oppervlak 160 m^3 water. Uiteraard begint na een aantal minuten de overgang van de eerste naar de tweede fase zodat de werkelijke hoeveelheid peilverhogend water tussen 50 en 160 m^3 ligt. Nu geeft 50 m^3 ongeveer een peilverhoging van $2,5$ à $3,0 \text{ cm}$ terwijl 160 m^3 ongeveer een verhoging van 6 à 7 cm geeft boven het minimumpeil. Dit is niet genoeg om de pomp in werking te stellen, er moet dus intussen al runoff opgetreden zijn. Dat wil zeggen dat we ongeveer kunnen stellen dat wanneer de pomp continu begint te draaien, er sprake moet zijn van een duidelijke runoff.

Er moet dan minstens 300 m^3 in de ringsloot gekomen zijn gevolgd door minstens 6 m^3 per minuut. De hoeveelheid runoff is dan ongeveer 150 m^3 d.i. een kleine millimeter op hele polderoppervlak.

8. BESLUIT

Zoals uit hoofdstuk 5 wel duidelijk is geworden, kunnen we niet spreken van een zeer betrouwbare balans. Met name de uit onvoldoende metingen berekende berging in de grond doet afbreuk aan de betrouwbaarheid. Ook de hoeveelheden kwel zijn door onvoldoende meting niet nauwkeurig te bepalen, doch relatief gezien is deze post op de balans niet belangrijk. De aldus gevonden waarden voor de verdamping zijn dus niet meer dan schattingen, die echter wel wijzen op een, vooral in zeer natte periodes, lagere verdamping dan berekend wordt met verdampingsformules.

Er rest ons nog conclusies te trekken uit de gevolgde methodes.

1. Een dekade is voor deze studie een te korte periode om een waterbalans voor op te stellen.
2. Een waterbalans voor een korte periode (enkele dekades) is ook slechts mogelijk met een zeer intensieve vochtbemonstering.
3. Een nauwkeurige vochtbemonstering met ringmonsters onder alle bodemvochtomstandigheden is niet goed mogelijk. Er moet een andere bemonsteringsmethode gebruikt worden die sneller en dieper werkt, b.v. de neutronen sonde, of men moet het uitgangsbodemvochtprofiel zodanig kiezen dat deze gemakkelijk voor een tweede maal aanwijsbaar is, b.v. een zo goed mogelijk verzadigde bodem of een door tensiometers vastgelegd vochtprofiel.
4. De kwel zou beter berekenbaar moeten zijn. Hiervoor zijn echter uitgebreidere onderzoeken nodig over de grootheden die de kwelstroming bepalen, naast een meer hierop gericht grondwaterstandswaarnemingsnet.
5. Een waterbalans in deze stijl zou minstens een half jaar moeten duren, met tussenmetingen om de seizoenen te scheiden. In dat geval is de nauwkeurigheid van vochtbemonstering niet zo belangrijk. Wel wordt het direkte verband tussen klimatologische grootheden en de bijbehorende verdamping dan minder duidelijk.
6. Het berekenen van uitgemaakte volume water, uit enkele debietmetingen is onbevredigend. Het volume moet continu gemeten worden en de debietmeter moet nauwkeurig ter plaatse geijkt worden.
7. Het doorsneden worden door de kreek is wel een beperking voor het gebruik van de CELOS-polder voor een waterbalans-onderzoek, zo ook het niet bemalen worden van de omliggende terreinen.

Tot slot enkele opmerkingen die niet direkt betrekking hebben op de waterbalans.

- a. Wat het afvoerproces betreft heeft de polder het nadeel van een grote oppervlakte-afvoer en direkte afstroming (gebouwen etc.). De bemalingscapaciteit blijkt hier echter goed tegen opgewassen. Bij een pompstoring echter is de kans op overstroming groot, daar in de regentijd in de kreek ook dikwijls zeer hoge waterstanden voorkomen (wordt gestuwd in overeenstemming met het getij); afwatering via de klepduiker is dan zinloos.

- b. Bevuiling van de sloten en de pomp is een zaak waar goed op toegezien moet worden, daar de bedrijfszekerheid van de pomp in gevaar komt (is tijdens het onderzoek ook gebeurd) en het gebruik van de debietmeter zeer beperkt wordt en niet zonder toezicht kan geschieden.
- c. Waarschijnlijk is het beter om de pomp een andere afstelling te geven, zodanig dat er minder "slagen" gemaakt worden. De slagtijd wordt daarmee langer, de opbrengst hoger, de slijtage minder terwijl de bemalingsdiepte hetzelfde blijft. In de natte tijd wordt deze diepte dan toch enkele malen per dag bereikt. In de droge tijd is een maximaal diepe bemaling niet van belang, waarschijnlijk zal er in totaal minder verpompt behoeven te worden doordat het verdampend oppervlak groter wordt.

9. AANGEHAALDE LITERATUUR

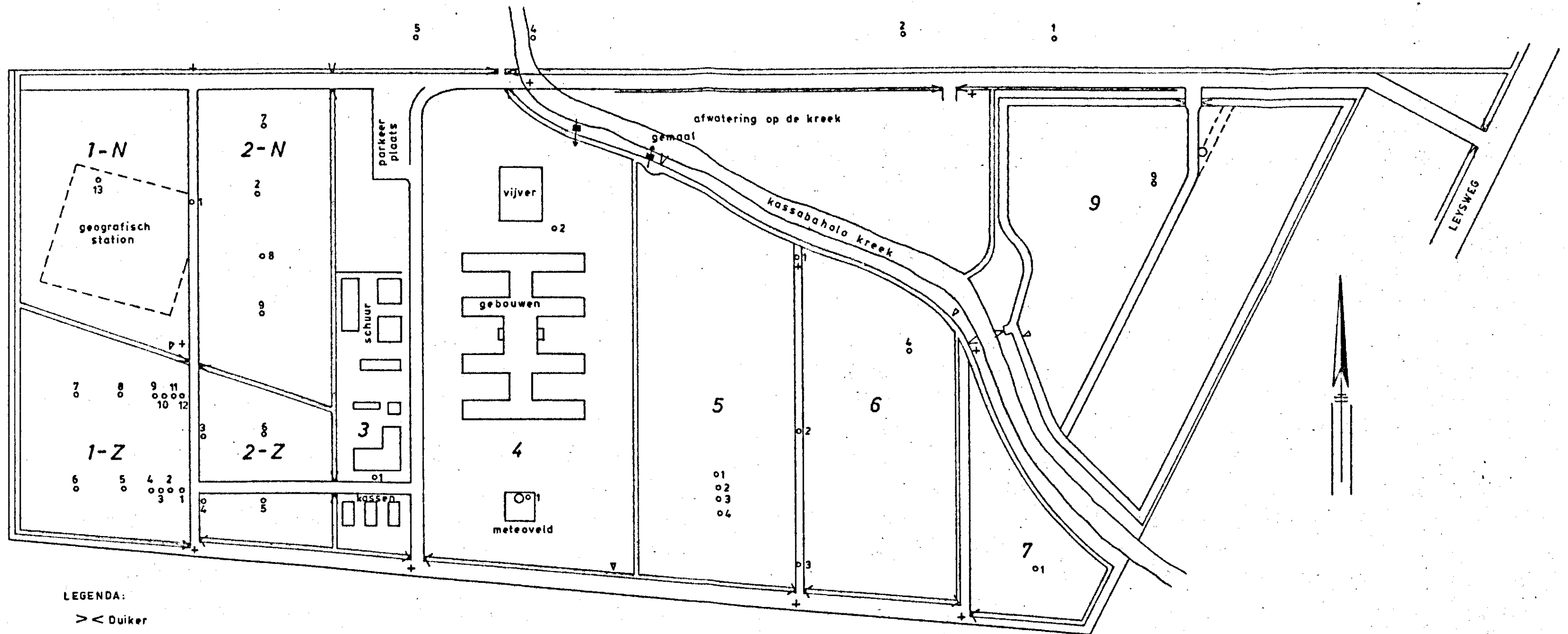
- BEERS, W.J.F. van, 1965. Some nomographs for calculation of drain spacings. Intern. Inst. for Land reclamation and Improvement, Bulletin 8.
- BROERS, H.M.A. et al., 1966. Verdampingsonderzoek in Suriname. Landbouwproefstation, Paramaribo. Intern rapport no. 77.
- KOOPMANS, R.W.R., 1969. De bepaling van de verdamping met behulp van nomogrammen. Cultuurtechnisch tijdschrift 9: 67-86.
- LENSELINK, K.J., 1970. De relatieve belangrijkheid van de gemeten meteorologische grootheden in de formule van van Penman in de kustvlakte van Suriname. Landbouwproefstation Paramaribo. Intern rapport no. 285.
- MELITZ, P.J. & D. LEGGER, 1968. Rapport over de bodemgesteldheid van het CELOS. Dept. van Mijnbouw, Bosbouw en Domeinen, Dienst Bodemkartering, Suriname.
- SIBIE, D.R., 1970. Berekening van het waterlopenstelsel van het CELOS-terrein. CELOS, onderzoekproject no. 70/5.

Overige literatuur

- ANONYMUS. College diktaat agrohydrologie. Landbouwhogeschool Wageningen, afdeling Cultuurtechniek.
- KRAMER, C., 1957. Berekening van de gemiddelde grootte van de verdamping voor verschillende delen van Nederland volgens de methode van Penman. Kon. Ned. Meteorologisch Inst. Med. en Verh., 70.

- RIDDER, N.A. de, & K.E. WIT. Seepage flow analysis of a small polder in the south-western part of the Netherlands Inst. for Land and Water management research. Techn. Bull. 49: 47-57.
- RYTEMA, P.E., 1929. An analysis of actual evapotranspiration. Landbouwhogeschool, Wageningen.
- VEN TE CHOW, 1964. Handbook of applied hydrology. McGraw-Hill Inc. New York.
- WISLER, C.O. & E.F. BRATER, 1959. Hydrology. John Wiley & Sons, Inc. New York, sec. ed.

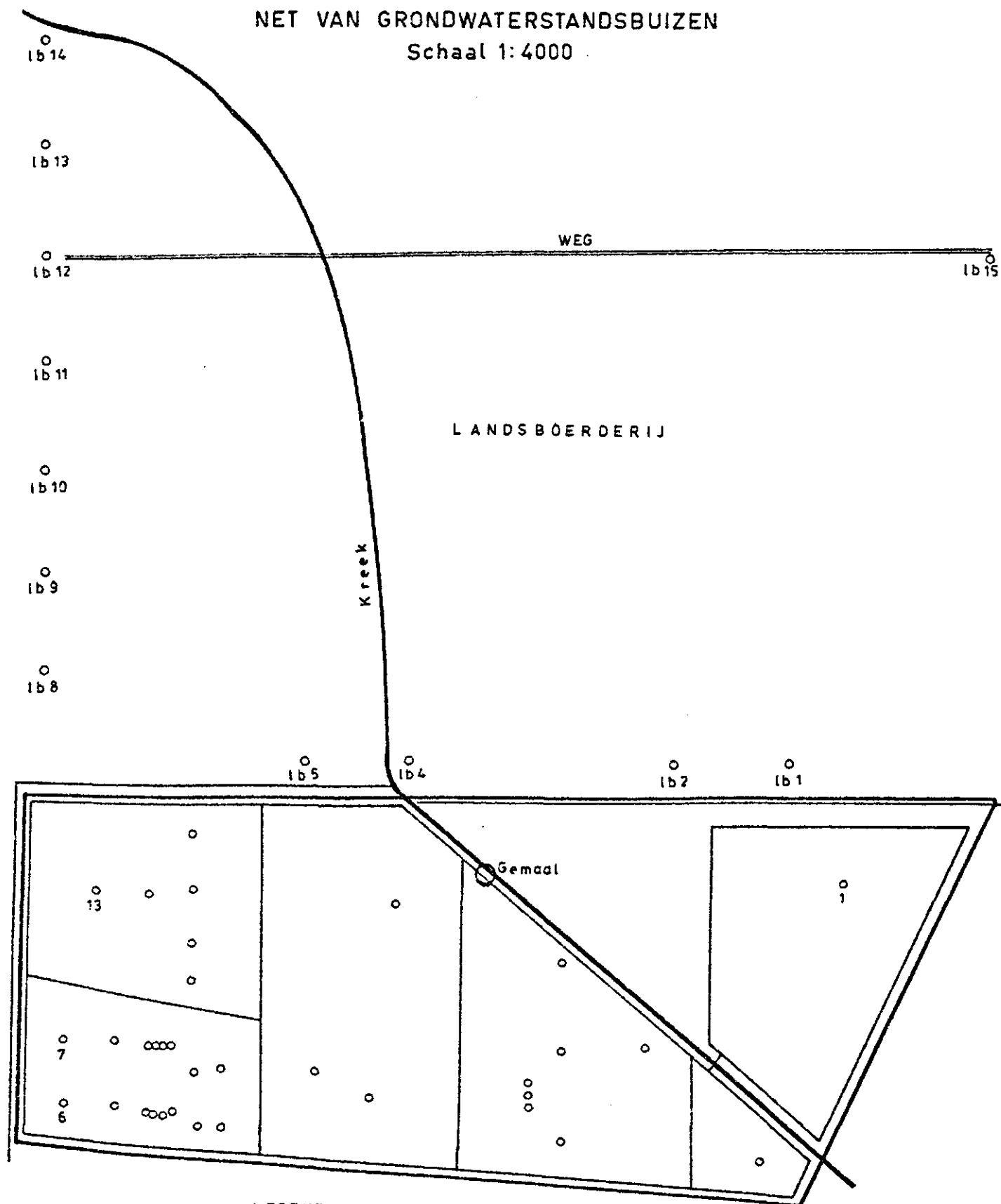
KAART 1
OVERZICHTSKAART VAN HET CELOS TERREIN
schaal 1:2000



LEGENDA:

- > < Duiker
- + Vaste punten, hoogte t.o.v. NSP
- ← Gemaal
- ≡ Waterlopen
- Regenmeter
- o Grondwaterstands buis
- ▷ Peilschrijver (PS)

KAART 2
NET VAN GRONDWATERSTANDSBUIZEN
Schaal 1:4000



LEGENDA:

- Diepe sloten
- - - CELOS grens

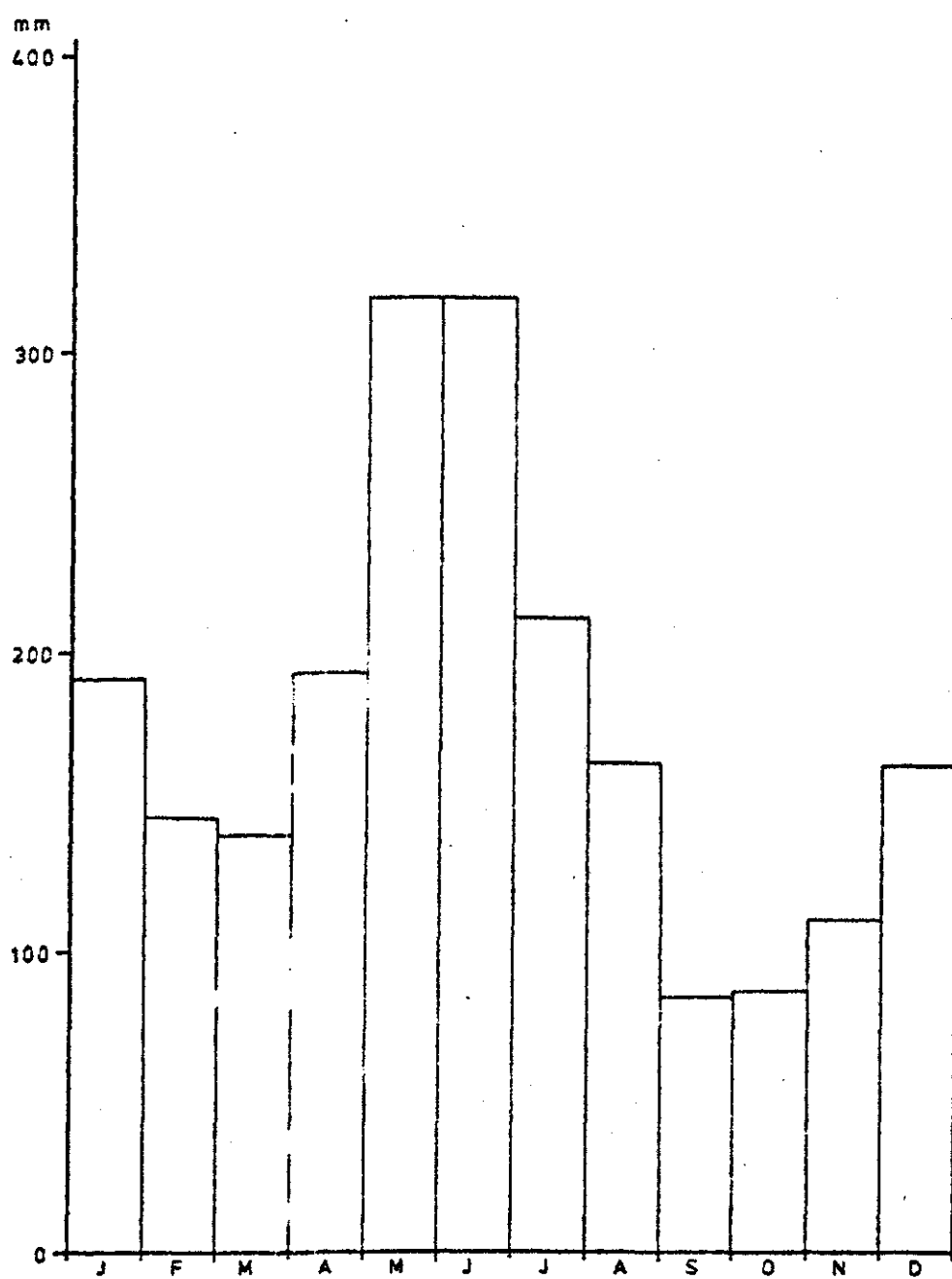


Fig.1. Dertig jarige neerslag waarneming (1938 - 1968)
Cultuurtuin, Paramaribo

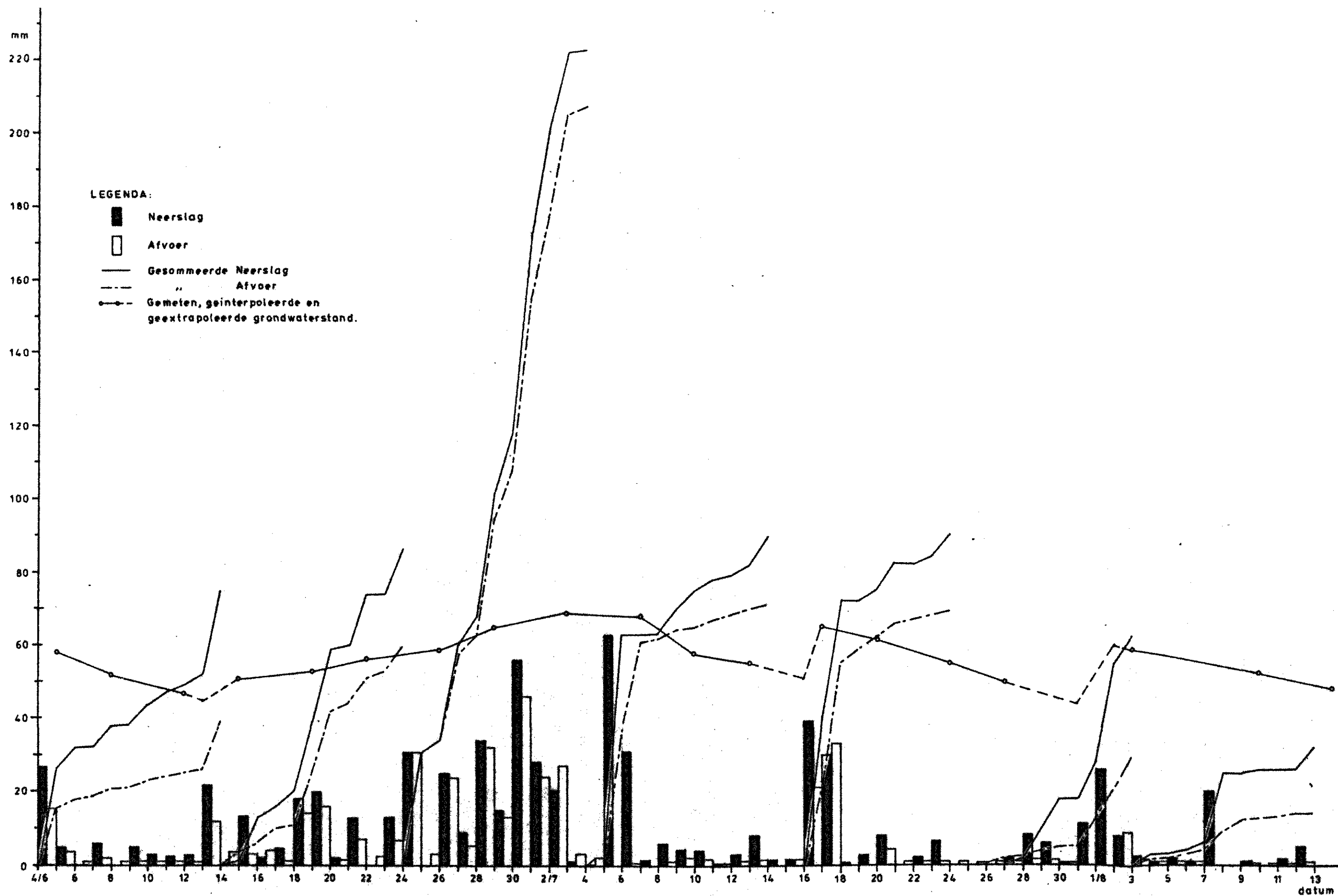


Fig. 2.

AKS

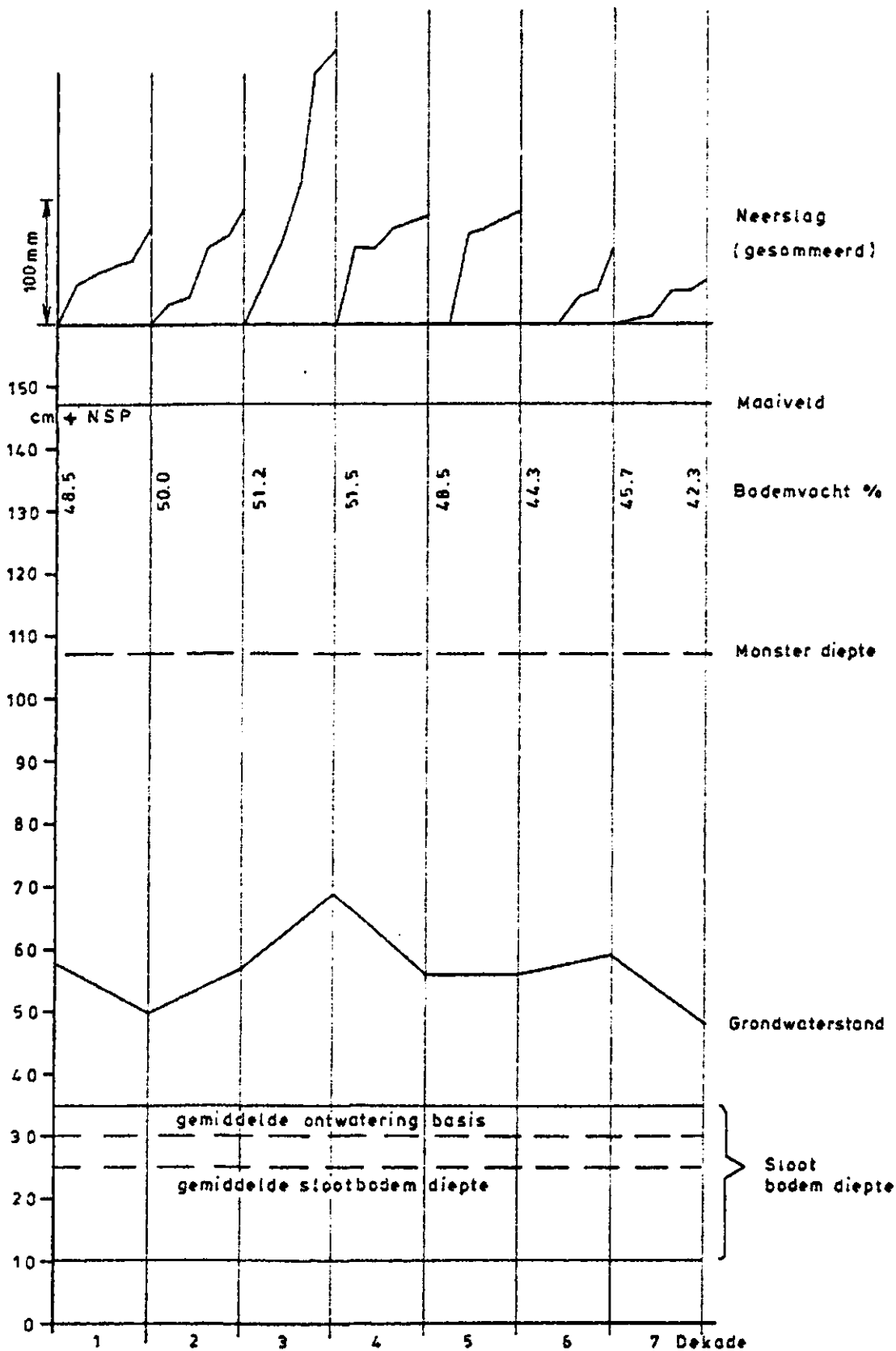


Fig. 3.

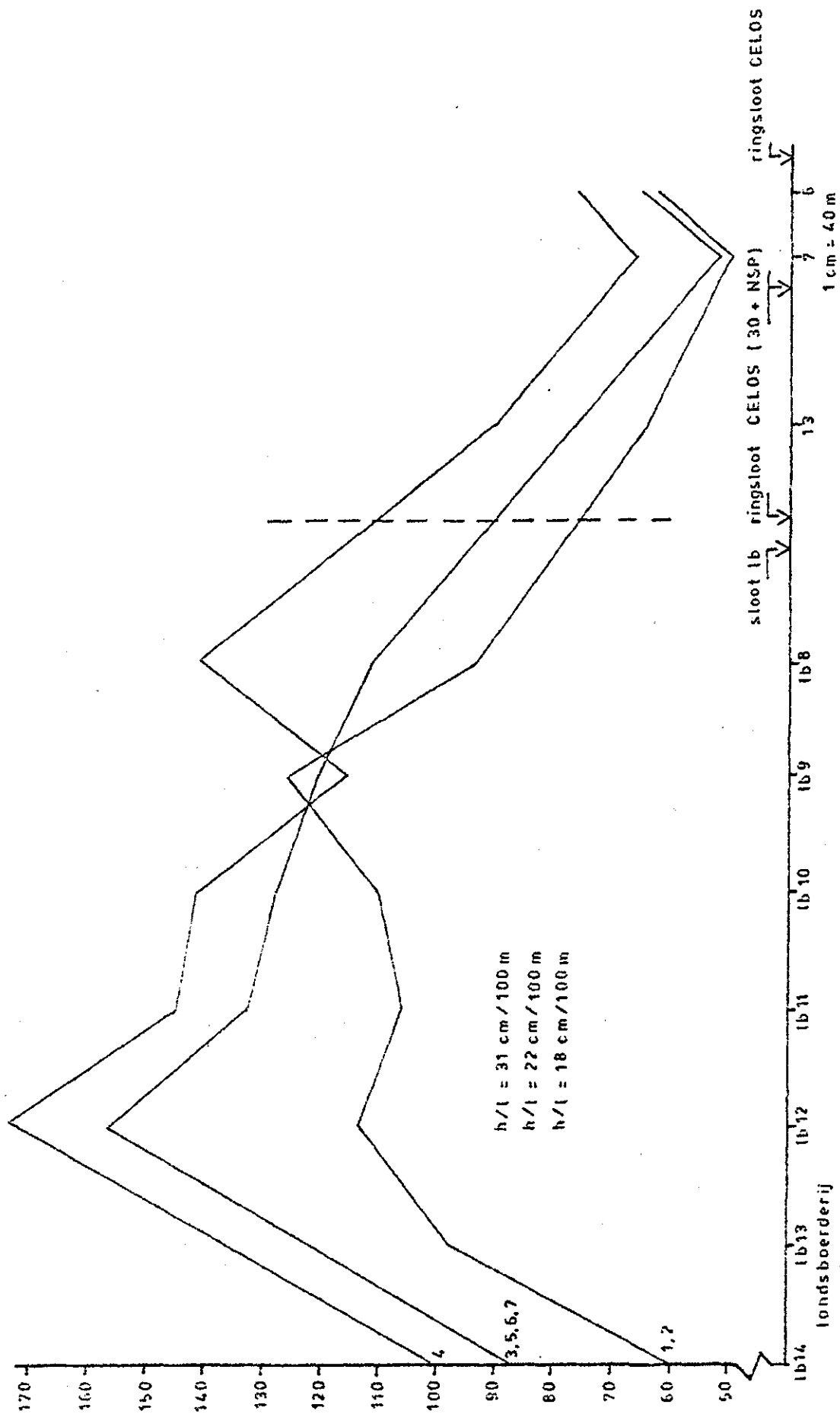


Fig. 4.

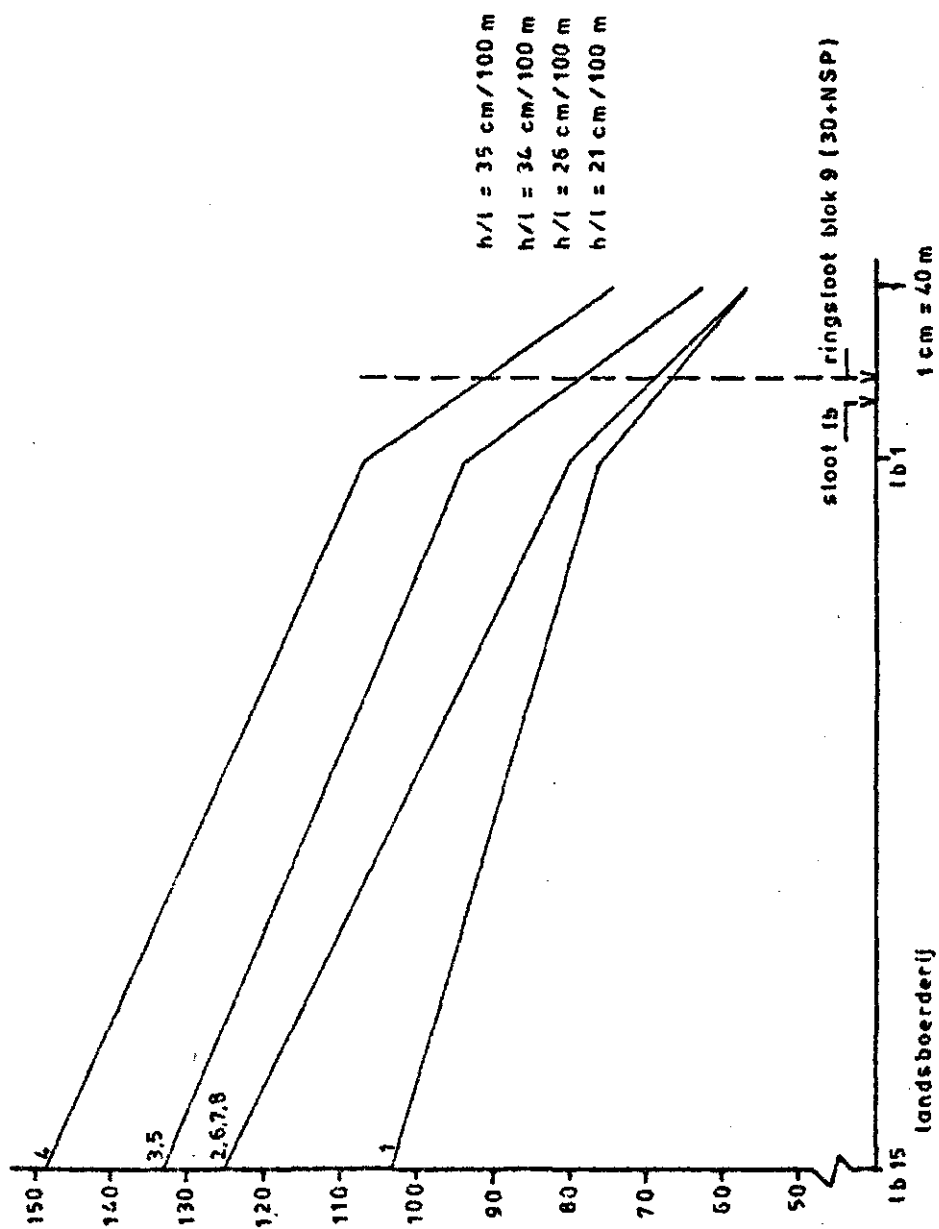


Fig. 5.

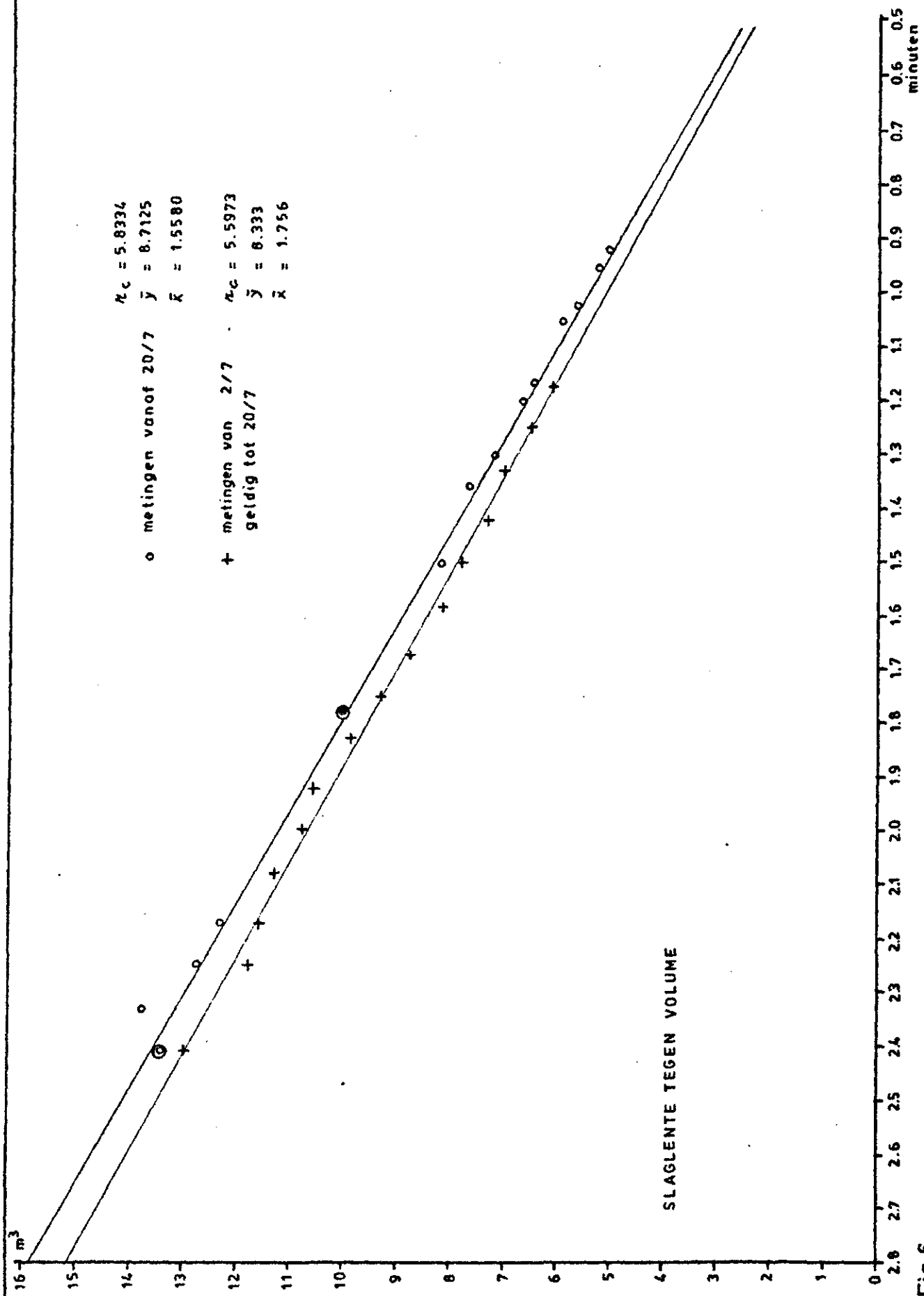


Fig.6.

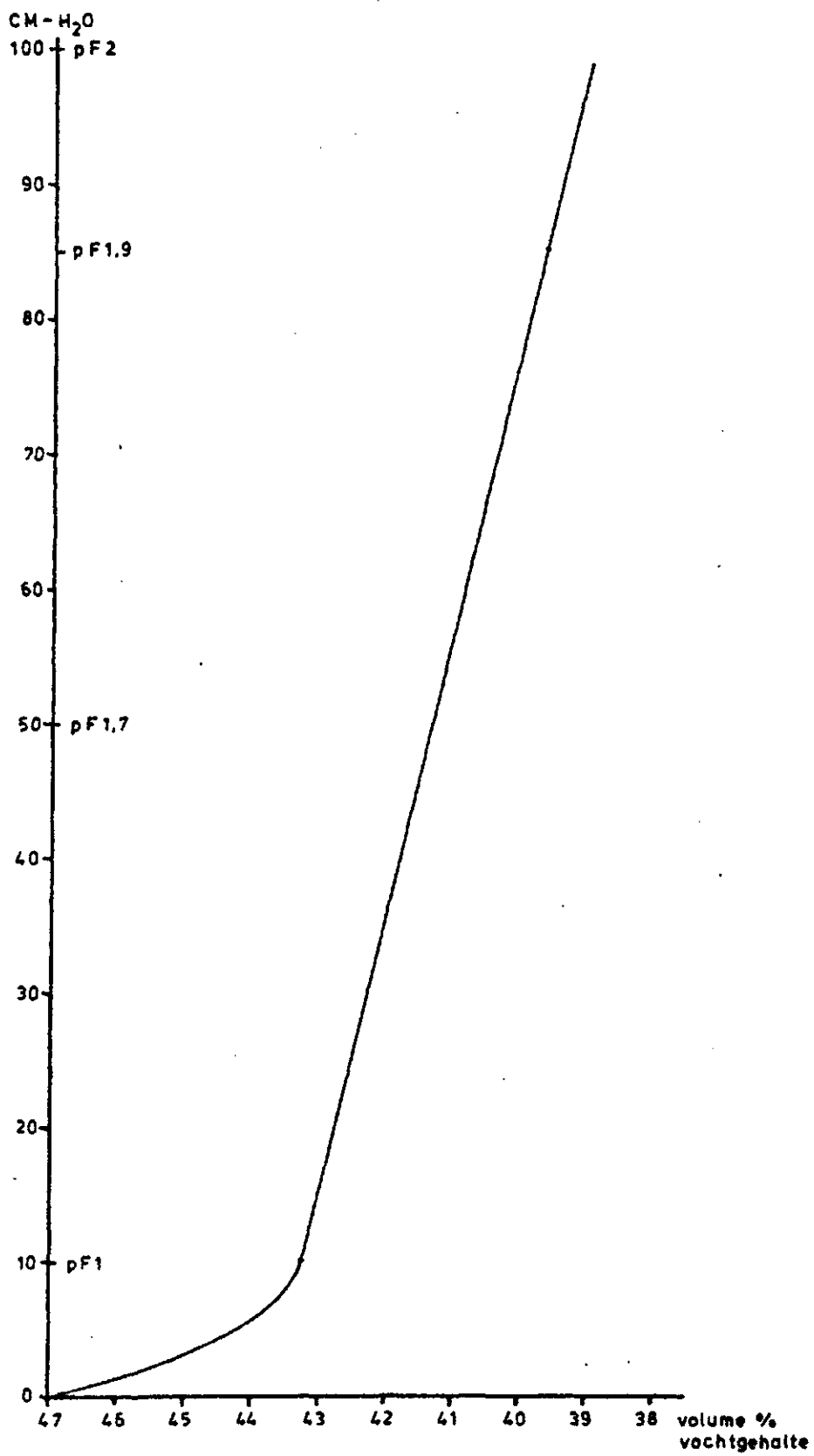


Fig. 7. Ontwatering van fijn zandige ondergrond.

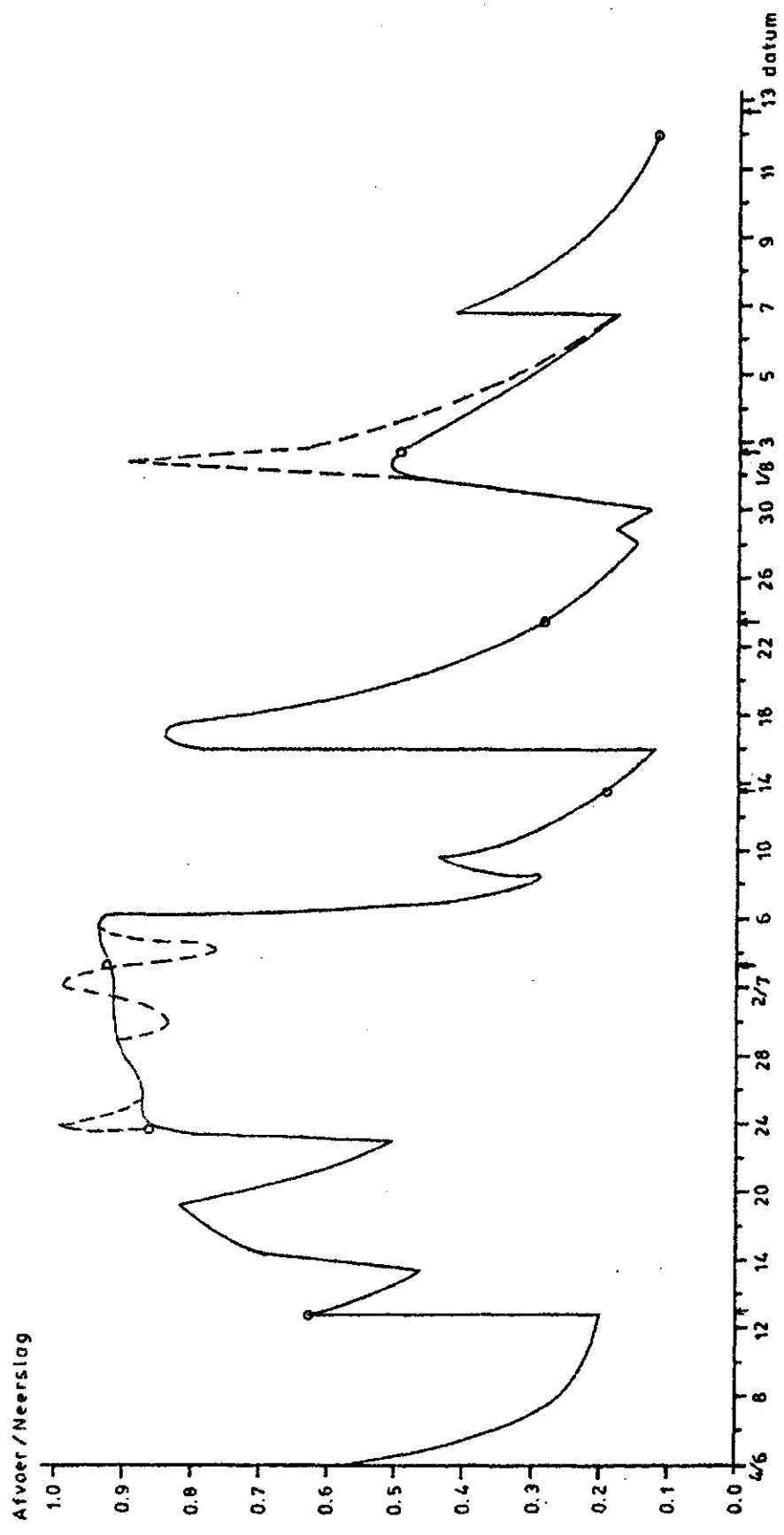
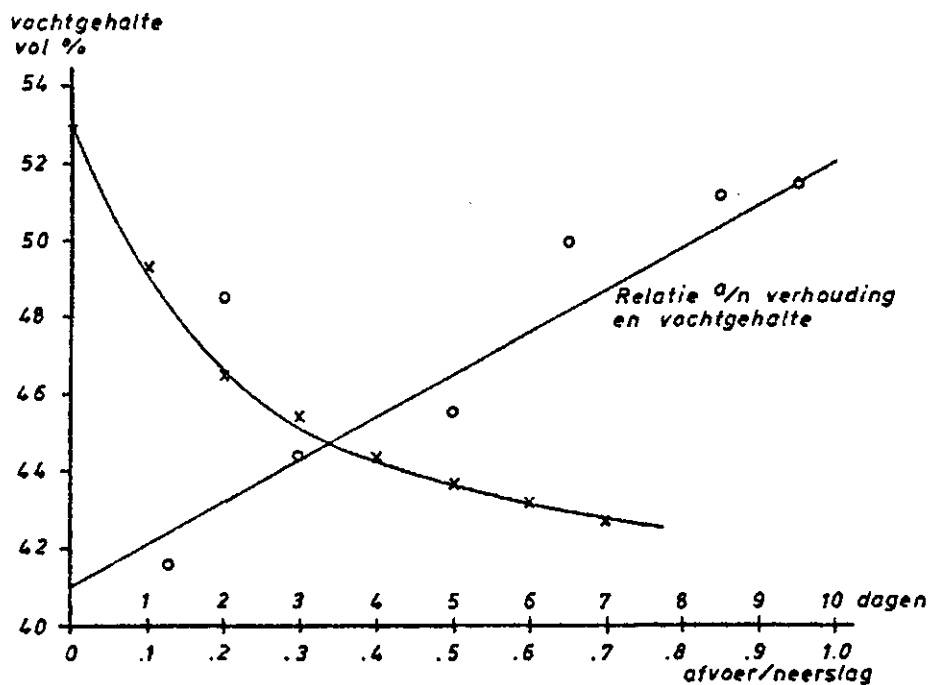
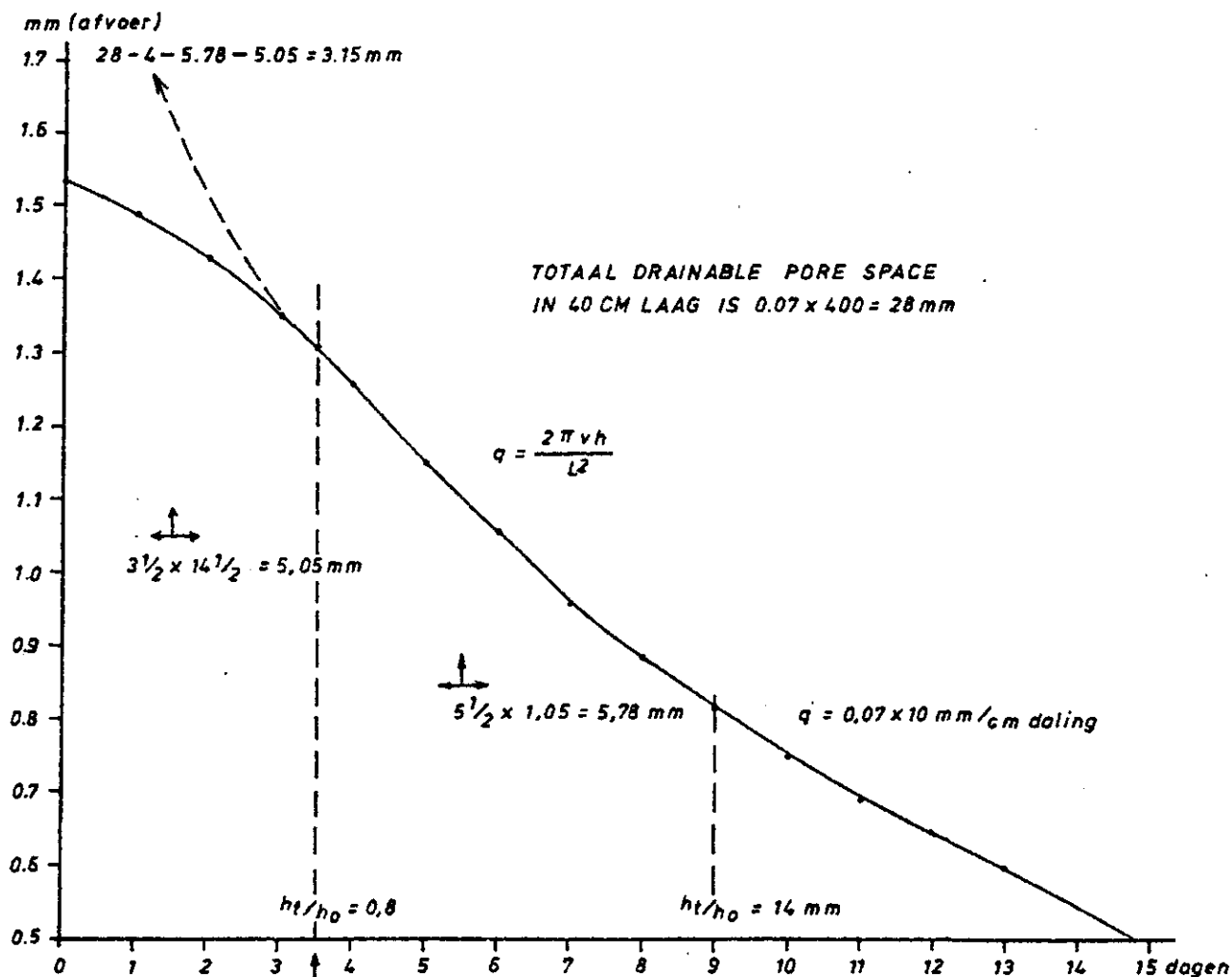


Fig. 8 A. De afvoer — neerslag verhouding.



Figuur 8B. Relatie afvoer-neerslagverhouding met vochtgehalte



Figuur 9. Afvoer t.g.v. grondwaterspiegeldaling tegen de tijd met $h_0 = 0.04 \text{ m}$

Tabel 1.

Dekade 1

Datum	4/6	5/6	6/6	7/6	8/6	9/6	10/6	11/6	12/6	13/6	Totaal of gemid.
1 regenmet. 1,5 m +m.v. (mm)	26,4	5,3	0,0	6,3	0,0	5,5	3,6	2,4	2,7	22,5	
2 regenmet. m.v. (mm)	26,7	5,1	0,0	6,3	0,1	5,4	3,7	2,6	2,6	22,9	
3 regenmet. (blok 9) (mm)	-	-	-	-	0,0	4,9	2,7	-	-	26,1	
4 N-gem. = 3/2 (k1+k2) + k3 (mm)	26,6	5,2	0,0	6,3	0,0	5,3	3,4	2,5	2,7	23,6	
5 N-gesommeerd (mm)	26,6	31,8	31,8	38,1	38,1	43,4	46,8	49,3	52,0	75,6	75,6
6 Zon % (10 uur)	5	56	80	18	66	80	20	34	7	42	40,8
7 Zon % (12 uur)	2,3	47,2	68,3	13,8	56,0	68,3	15,5	27,8	4,1	34,9	33,8
8 Temperatuur (°C)	25,3	26,5	27,5	24,9	27,7	27,5	26,0	27,3	24,8	26,4	26,4
9 Relat. vochtigheid	92,3	86,3	74,7	93,3	77,0	76,3	88,3	79,7	91,7	81,3	84,3
10 Windsnelheid (m/s)	Jarikaba gemiddelde 2,08, gereduceerd met factor 1,6										
11 Verdamping volgens Lenselink met gewasfact. 0,9 en oppervlak reductie 0,95											
12 Verdamping volgens Koopmans met idem											
13 Pompafvoer (m ³)	2436	378	171	288	177	198	189	216	189	1899	6081
14 (mm)	15,6	2,4	1,1	1,8	0,8	1,3	1,2	1,4	1,2	12,2	38,9
15 Som pompafvoer (mm)	15,6	18,0	19,1	21,0	21,7	23,0	24,2	25,6	26,8	38,9	
16 Gem. grondw. sp. (cm +NSP)	(58)	58			53				47		

Opmerkingen: Alle gegevens op een bepaalde datum hebben betrekking op de periode tussen 8.00 uur op die datum en 8.00 uur op de volgende datum.
 Voorafgaande neerslag: op 2/6: 9,2 mm en op 3/6: 2,4 mm.
 Voorafgaande grondwaterstand: op 1/6: 56 cm + NSP

Tabel 1

Dekade 2

	Datum	4/6	5/6	6/6	7/6	8/6	9/6	10/6	11/6	12/6	13/6	Totaal of gemid.
1	regenmet. 1,5 m +m.v. (mm)	0,4	13,3	2,4	4,7	17,9	19,3	2,1	13,3	0,0	13,1	
2	regenmet. m.v. (mm)	0,5	13,4	2,6	4,6	17,8	18,9	1,8	13,2	0,0	12,9	
3	regenmet. (blok 9) (mm)	0,1	13,0	1,6	4,6	18,1	22,2	2,1	13,9	0,0	12,6	
4	N-gem. = 3/2 (k1+k2) + k3	0,4	13,3	2,3	4,6	17,9	19,9	2,0	13,4	0,0	12,9	
5	N-gesommeerd (mm)	0,4	13,6	15,9	20,5	38,4	58,3	60,3	73,7	73,7	86,6	<u>86,6</u>
6	Zon % (10 uur)	49	33	30	85	7	29	55	24	77	52	<u>44,1</u>
7	Zon % (12 uur)	41,0	27,0	24,3	72,7	4,1	23,4	46,3	19,0	65,6	43,7	<u>36,7</u>
8	Temperatuur (°C)	23,9	25,7	26,5	27,2	24,2	25,0	26,5	25,0	27,2	25,7	<u>25,7</u>
9	Relat. vochtigheid	76,3	86,0	81,7	80,0	92,0	87,0	81,0	90,0	76,3	83,0	<u>83,3</u>
10	Windsnelheid (m/s)	Jarikaba gemiddelde 1,58 gereduceerd met factor 1,6										<u>1,0</u>
11	Verdamping volgens Lenselink met gewasfact. 0,9 en oppervlak reductie 0,95											<u>35,8</u>
12	Verdamping volgens Koopmans met idem											<u>24,3</u>
13	Pompafvoer (m ³)	532	495	627	196	2231	2544	263	1079	320	1037	<u>9331</u>
14	(mm)	3,4	3,2	4,0	1,3	14,3	16,3	1,7	6,9	2,1	6,6	<u>59,7</u>
15	Som pompafvoer (mm)	3,4	6,6	10,6	11,9	26,2	42,5	44,1	51,1	53,1	59,7	
16	Gem. grondw. sp. (cm +NSP)	(50)	51				53			56		

Tabel 1

Dekade 3

	Datum	4/7	5/7	6/7	7/7	8/7	9/7	10/7	11/7	12/7	13/7	Totaal of gemid.
1	regenmet. 1,5 m +m.v. (mm)	29,7	3,2	25,2	8,6	34,7	14,9	54,9	28,2	20,5	0,6	
2	regenmet. m.v. (mm)	29,2	3,1	25,2	8,2	33,6	14,4	55,0	28,2	20,0	0,6	
3	regenmet. (blok 9) (mm)	36,1	3,2	25,2	9,2	34,7	15,0	39,5	28,2	20,8	0,6	
4	N-gem. = 3/2 (kl + k2) + k3	31,1	3,2	25,2	8,7	34,3	14,7	56,1	28,2	20,4	0,6	
5	N-gesommeerd (mm)	31,1	34,3	59,5	68,2	102,5	117,5	173,3	201,5	221,9	222,5	222,5
6	Zon % (10 uur)	37	11	54	44	17	29	58	6	11	47	31,4
7	Zon % (12 uur)	30,5	7,6	45,4	36,6	12,9	23,4	48,4	3,2	7,6	39,3	25,5
8	Temperatuur (°C)	24,9	25,0	24,2	26,1	24,2	24,6	25,2	24,9	24,6	26,6	25,0
9	Relat. vochtigheid	91,7	90,0	94,0	85,3	93,3	90,7	87,7	93,0	92,3	83,0	90,1
10	Windsnelheid (m/s)	Jarikaba gemiddelde 1,44 gereduceerd met factor 1,6										
11	Verdamping volgens Lenselink met gewasfact. 0,9 en oppervlak reductie								0,95			32,2
12	Verdamping volgens Koopmans met idem											32,5
13	Pompafvoer (m ³)	4865	458	3755	887	4974	2009	7161	3723	4199	389	32424
14	(mm)	31,2	2,9	24,0	5,7	31,9	12,9	45,9	23,9	26,9	2,5	207,6
15	Som pompafvoer (mm)	31,2	34,1	58,1	63,8	95,7	108,5	154,4	178,2	205,1	207,6	
16	Gem. grondw. sp. (cm +NSP)	(57)		59			66				69	

Dekade 4

Datum	24/6	25/6	26/6	27/6	28/6	29/6				Totaal of gemid.
1 regenmet. 1,5 m +m.v. (mm)	0,0	63,3	0,1	0,0	6,2	4,9	3,9	0,7	2,8	7,3
2 regenmet. m.v. (mm)	0,0	62,7	0,0	0,0	5,9	4,8	3,9	0,7	2,8	7,2
3 regenmet. (blok 9) (mm)	0,0	64,6	0,0	0,0	6,5	4,4	4,3	0,6	3,2	8,9
4 N-gem. = 3/2 (k1 + k2) + k3 (mm)	0,0	63,4	0,0	0,0	6,2	4,7	4,0	0,7	2,9	7,7
5 N-gesommeerd (mm)	0,0	63,4	63,4	63,4	69,6	74,3	78,3	79,0	81,9	89,5
6 Zon % (10 uur)	42	26	1	89	88	15	69	80	84	18
7 Zon % (12 uur)	34,9	20,8	0,0	76,2	75,3	11,1	58,6	68,3	71,8	13,8
8 Temperatuur (°C)	25,8	24,7	25,1	26,7	27,8	25,6	27,0	27,7	27,8	24,8
9 Relat. vochtigheid	86,0	92,3	87,3	86,7	76,3	86,0	83,3	73,3	78,0	90,0
10 Windsnelheid (m/s)	Jarikaba gemiddelde 1,62, gereduceerd met factor 1,6									
11 Verdamping volgens Lenselink met gewasfact. 0,9 en oppervlak reductie 0,95										
12 Verdamping volgens Koopmans met idem										
13 Pompafvoer (m ³)	227	4575	4788	225	172	311	277	139	175	242
14 (mm)	1,5	29,3	30,7	1,4	1,1	2,0	1,8	0,9	1,1	1,6
15 Som pompafvoer (mm)	1,5	30,7	61,4	62,8	63,9	65,9	67,7	68,6	69,7	71,3
16 Gem. grondw. sp. (cm +NSP)	(69)		77 (schijn- spie- gel)	68			58			55

Tabel 1

Dekade 5

Datum	14/7	15/7	16/7	17/7	18/7	19/7	20/7	21/7	22/7	23/7	Totaal of gemid.
1 regenmet. 1,5 m +m.v. (mm)	1,8	0,0	40,8	29,0	0,0	2,4	7,7	0,0	1,5	6,5	
2 regenmet. m.v. (mm)	1,7	0,0	41,1	30,4	0,0	2,6	7,9	0,0	1,3	6,1	
3 regenmet. (blok 9) (mm)	1,5	0,0	36,9	31,6	0,1	2,3	7,9	0,0	2,1	7,4	
4 N-gem. = $3/2 (k_1 + k_2) + k_3$ (mm)	1,7	0,0	36,9	30,2	0,0	2,5	7,8	0,0	1,6	6,6	
5 N-gesommeerd (mm)	1,7	1,7	41,6	71,8	71,8	74,3	82,1	82,1	83,7	90,3	90,3
6 Zon % (10 uur)	79	89	60	73	67	0	88	86	40	62	64,4
7 Zon % (12 uur)	67,4	76,2	50,7	62,1	56,9	0	75,3	73,6	33,1	52,5	54,7
8 Temperatuur (°C)	26,4	27,2	25,6	25,9	26,7	24,9	27,0	26,8	24,9	25,1	26,1
9 Relat. vochtigheid	80,0	73,3	86,7	84,0	87,7	91,7	86,7	80,0	85,5	88,7	84,4
10 Windsnelheid (m/s)	Jarikaba gemiddelde 1,49 gereduceerd met factor 1,6										0,9
11 Verdamping volgens Lenselink met gewasfact. 0,9 en oppervlak reductie 0,95											42,0
12 Verdamping volgens Koopmans met idem											43,6
13 Pompafvoer (m ³)	224		3294	5208		1013	624	168	112	198	10839
14 (mm)	1,4		21,0	33,4		6,5	4,0	1,0	0,7	1,3	69,4
15 Som pompafvoer (mm)	1,4		22,5	55,9		62,3	66,3	67,4	68,1	69,4	
16 Gem. grondw. sp. (cm +NSP)	(56)				65			61			

Tabel 1

Dekade 6

	Datum	24/7											Totaal of gemid.
1	regenmet. 1,5 m +m.v. (mm)	0,2	0,0	0,3	1,4	8,5	6,4	0,5	11,3	25,7	8,6		
2	regenmet. m.v. (mm)	0,2	0,0	0,2	1,5	9,0	6,6	0,5	11,5	25,0	8,5		
3	regenmet. (blok 9) (mm)	0,2	0,0	0,2	1,2	8,5	7,1	0,4	11,1	25,8	7,5		
4	N-gem. = 3/2 (k1 + k2) + k3	0,2	0,0	0,2	1,4	8,7	6,7	0,5	11,3	25,5	8,3		
5	N-gesommeerd (mm)	0,2	0,2	0,4	1,8	60,5	17,2	17,6	28,9	54,4	62,7		62,7
6	Zon % (10 uur)	81	95	90	36	46	7	52	58	35	4		49,4
7	Zon % (12 uur)	69,2	81,5	68,3	29,6	38,4	4,1	43,7	48,9	28,7	1,4		41,4
8	Temperatuur (°C)	26,5	28,1	27,5	26,4	28,0	25,5	26,5	25,4	25,3	24,2		26,3
9	Relat. vochtigheid	79,7	71,3	75,7	85,0	77,3	88,7	81,3	85,7	85,3	92,0		82,2
10	Windsnelheid (m/s)	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	0,9	1,2	1,8	1,3	0,8		1,3
11	Verdamping volgens Lenselink met gewasfact. 0,9 en oppervlak reductie 0,95												
12	Verdamping volgens Koopmans met idem												
13	Pompafvoer (m ³)	103	99	84	89	211	225	90		2457	1316		4679
14	(mm)	0,7	0,6	0,5	0,6	1,4	1,4	0,6		15,8	8,4		30,0
15	Som pompafvoer (mm)	0,7	1,3	1,8	2,4	3,8	5,2	5,8		21,5	30,0		
16	Gem. grondw. sp. (cm +NSP)	(56)			50								

Tabel 1

Dekade 7

Datum	3/8											Totaal of gemid.
1 regenmet. 1,5 m +m.v. (mm)	2,6	0,2	1,5	0,9	10,9	0,0	0,6	0,0	1,3	5,0		
2 regenmet. m.v. (mm)	2,7	0,2	1,2	0,7	19,3	0,0	0,4	0,0	1,0	5,0		
3 regenmet. (blok 9) (mm)	2,1	0,7	1,3	0,8	20,3	0,0	0,9	0,0	1,8	6,5		
4 N-gem. = 3/2 (k1 + k2) + k3 (mm)	2,5	0,3	1,3	0,8	19,8	0,0	0,6	0,0	1,3	5,4		
5 N-gesommeerd	2,5	2,8	4,2	5,0	24,7	24,7	25,3	25,3	26,7	32,0		32,0
6 Zon % (10 uur)	45	55	40	38	52	75	64	95	99	79		64,2
7 Zon % (12 uur)	37,5	46,3	33,1	31,3	43,7	63,9	54,2	81,5	85,0	67,4		54,4
8 Temperatuur (°C)	26,8	27,2	25,9	25,9	26,1	26,9	27,6	27,8	28,7	26,9		27,0
9 Relat. vochtigheid	78,7	78,6	86,0	84,3	86,0	80,0	74,3	73,7	68,7	75,0		78,5
10 Windsnelheid (m/s)	1,1	1,1	0,7	0,8	1,1	1,1	1,2	1,0	1,1	1,1		1,1
11 Verdamping volgens Lenselink met gewasfact. 0,9 en oppervlak reductie 0,95												43,4
12 Verdamping volgens Koopmans met idem												48,3
13 Pompafvoer (m ³)	239	110	103	85	1333		98	75	70	103		2215
14 Som pompafvoer (mm)	1,5	0,7	0,7	0,5	8,5		0,6	0,5	0,5	0,7		14,2
15 Som pompafvoer (mm)	1,5	2,2	2,9	3,4	12,0		12,6	13,1	13,5	14,2		
16 Gem. grondw. sp. (cm +NSP)	(59)							52				

Opmerkingen: De gemid. grondwaterstand op 14/8: 48 cm +NSP.
 De geschatte grondwaterstand op 13/8: 48 cm +NSP.
 Som neerslag der zeven dekades: 659,2 mm plus 2,5 mm.
 Korrektie voor de grondregenmeter: 661,7 mm totale neerslag.

Tabel 2. Vochtbeemonstering.

Gemiddeld vochtgehalte van de bovenste 50 cm van het bodemprofiel van het CELOS. De profielnummers verwijzen naar de bodemkaart van MELITZ & LEGGER

Datum	Profiel en percentage van de oppervlakte				Gemiddeld vochtgeh.
	zand 1.3 10%	klei 2.2 verstoord 20%	klei 2.2 2.1 60%	leem 1.4 10%	
4/6	geen beemonstering				
	schatting gem. vochtgeh. bovenste 50 cm:				48,5
14/6	geen beemonstering				
	schatting gem. vochtgeh. bovenste 50 cm:				50,0
24/6					
vochtgeh.	46,1	53,8	-	-	51,2
50 cm -maaiv	45,5	51,1	-	-	49,1
por.volume	47,6	56,8	-	-	
4/7	geen beemonstering				
	schatting gem. vochtgeh. bovenste 50 cm:				51,5
14/7					
vochtgeh.	43,5	53,5	50,1	46,9	48,5
50 cm -maaiv	42,4	59,0	48,9	48,4	50,2
por.volume	46,5	57,5	55,5	53,5	
24/7					
vochtgeh.	37,0	51,5	45,5	43,2	44,3
50 cm -maaiv	38,9	47,4	43,6	49,6	44,5
por.volume	49,0	55,6	55,3	52,4	
3/8					
vochtgeh.	39,9	53,3	44,8	44,4	45,7
50 cm -maaiv	39,5	53,9	38,2	50,1	42,4
por.volume	50,0	57,6	53,2	53,4	
13/8					
vochtgeh.	34,2	53,0	40,3	41,2	42,3
50 cm -maaiv	39,3	52,0	39,3	49,6	42,9
por.volume	50,0	57,9	55,3	52,5	

Gemiddeld poriënvolume 54,5%

Gemiddeld poriënvolume op 50 cm -maaiveld 51,9%

Poriënvolume zand op grondwaterniveau 47%

Tabel 4. De gesommeerde balans en enkele deelbalansen

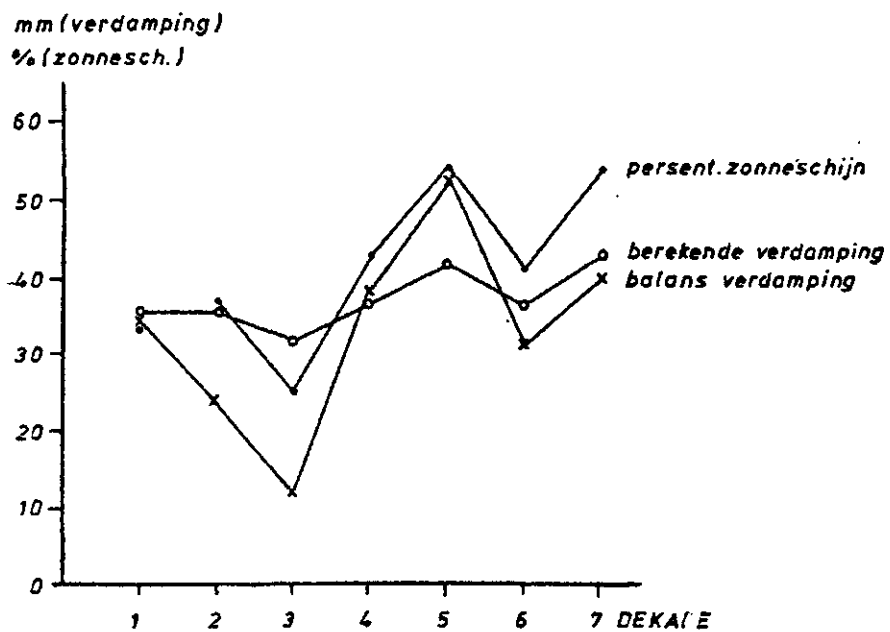
Dekade 1 t/m 7			Volgens Lenselink tabel 1, regel 11
Aanvoer	688,0		
Subtot. afvoer	453,5		
Verdamping	234,5 : gemid.	33,5 mm/dekade	
Dekade 3 t/m 7			37,6 mm/dekade
Aanvoer	517,0		
Subtot. afvoer	341,2		
Verdamping	175,8 :	35,2	38,5
Dekade 4 t/m 7			
Aanvoer	290,6		
Subtot. afvoer	126,7		
Verdamping	163,9 :	41,0	40,0
Dekade 5, 6 en 7			
Aanvoer	196,6		
Subtot. afvoer	71,4		
Verdamping	125,2 :	41,7	40,6

Tabel 5.

<i>Dekade nummer</i>	<i>Balans Verdamping</i>	<i>Berekende Verdamping</i> *	<i>Persent. Zonneschijn</i> **
1	34.4 mm	35.6 mm	33.8
2	24.3	35.8	36.7
3	11.9	32.2	25.5
4	38.7	38.2	43.1
5	53.4	42.0	54.7
6	31.4	36.5	41.4
7	40.4	43.4	54.4

* volgens LENSELINK Tabel 1, regel 11

** zie tabel 1, regel 7



Bijlage

Oppervlakte- en lengtematen voorkomend op CELOS
Opgemaakt 1/9/1971

Totaal oppervlak	177740	m ²
Oppervlak kreek		
Oppervlak polder	156190	m ²
Oppervlak gebouwen	4215,3	m ²
Oppervlak verharde wegen + schaduw- ruimte	3779,0	m ²
Oppervlak vijver	716,8	m ²
Oppervlak ringsloot boven	6675,1 + 2553,8	= 9228,9 m ²
Oppervlak sloten boven	6239,8	m ²
Oppervlak ringsloten + sloten boven	15468,7	m ²
Oppervlak polder minus sloten	140721,3	m ²
Oppervlak ringsloot bodem	1399,26 m ² + 915,24 m ²	2314,50 m ²
Oppervlak sloten bodem (bij gem. bodembreedte 20 cm)	962,4	m ²
Oppervlak ringsloot + sloten bodem	3276,90	m ²
Lengte ringsloot (totaal)	2909	m
Lengte sloten	4815	m
Lengte ringsloot blok 9	684	m
Oppervlak regenmeter blok 9	4	ha
Oppervlak regenmeter meteo	11,6	ha
Verdampend oppervlak	156190,0 - 4215,3 - 3779,0	= 148195,7 m ²
Direkt afstromend oppervlak (minimaal)	8209,0	m ²
Oppervlak ringsloot op h = 70 +NSP	4511,4	m ²
Oppervlak ringsloot op h = 50 +NSP	3675,2	m ²
Voor berekening op andere hoogtes geldt uitgaande van h = 70 of h = 50	836,2 m ² /20 cm hoogteverschil	

CELOS GRENZEN

LENGTE NOORD	721,0	m
" WEST	247,1	m
" ZUID	573,6	m
" OOST	335,1	m

		lengte x aantal	bovenbreedte		
Ringsloot 1				6662,564	m ²
Ringsloot 2				2553,800	"
Blok 1	greppels	4 x 91,5	x 0,8	292,80	"
Blok 2 ^N	greppels	11 x 71,0	x 0,85	663,85	"
Blok 2 ^Z	greppels	325	x 0,8	260,00	"
Bl. 2 ^Z	greppels	287	x 0,7	200,90	"
Bl. 3 ^N	greppels	137	x 1,0	137,00	"
Bl. 3 ^N	greppels	213	x 0,8	170,40	"
Bl. 3 ^Z	greppels	176	x 1,0	176,00	"
Bl. 3	gebouwen			967,00	"
Bl. 4 ^Z	greppels	1169	x 0,8	935,20	"
Bl. 4	vijver			716,75	"
Bl. 4	gebouwen			3248,25	"
Bl. 5	greppels	22 x 84,0	x 0,75	1386,00	"
Bl. 6	greppels	19 x 82,5	x 0,75	1175,63	"
Bl. 6	greppels	40,7	x 0,75	30,53	"
Bl. 7	greppels	582,0	x 0,85	494,70	"
Bl. 9	greppels	396	x 0,8	316,80	"
				<u>20388,164</u>	m ²

Landbouwhogeschool-Wageningen
CENTRUM VOOR LANDBOUWKUNDIG ONDERZOEK IN SURINAME

EEN AANTAL pF-CURVEN VAN GRONDEN TE BABOENHOL EN
DE DYNAMISCHE VELDCAPACITEIT VAN GRONDEN OP HET
CELOS TERREIN EN TE BABOENHOL

H.M. van Leeuwen

Verslag van een onderzoek verricht onder leiding
van Ir. W.H.J. Vochtelo

augustus 1973

I N H O U D

	blz.
1. <u>Samenvatting</u>	5
2. <u>Voorwoord</u>	5
3. <u>De bepaling van enige pF-curven te Baboenhol</u>	5
3.1. Inleiding	5
3.2. Uitvoering	5
3.3. Resultaten en discussie	5
4. <u>De dynamische veldcapaciteit van gronden op het CELOS terrein en te Baboenhol</u>	8
4.1. Inleiding	8
4.2. Probleemstelling	8
4.3. Methodiek en uitvoering	9
4.4. Resultaten en discussie	9
5. <u>Literatuur</u>	11

1. SAMENVATTING

Ten behoeve van het irrigatie-onderzoek te Baboenhol zijn enkele bodemkarakteristieken bepaald, die een inzicht moeten geven in de vochtvoorraad van de wortelzone. De effectieve wortelzone is gesteld op 80 cm.

Om een schatting te kunnen maken van de hoeveelheid beschikbaar water zijn er vier pF-curven in de proefblokken A₄ en A₅ bepaald.

Aangezien er te Baboenhol gefirrigd zal worden op hangwaterprofielen is er een onderzoek gedaan naar het verloop van de percolatie na verzadiging van de 15 cm dikke toplaag. Hierbij is het begrip dynamische veldcapaciteit gehanteerd.

2. VOORWOORD

Dit onderzoek is verricht door de student H.M. van Leeuwen als onderdeel van zijn praktijk in Suriname. Hij werd hierbij begeleid door Ir. W.H.J. Vochtelo, wetenschappelijk medewerker van het CELOS.

3. DE BEPALING VAN ENIGE pF-CURVEN TE BABOENHOL

3.1. INLEIDING

In het verleden zijn er op verschillende plaatsen te Baboenhol pF-curven bepaald (KAMERLING en BIPAT, 1966; LENSELINK en PARSAN, 1970). Deze plaatsen vielen echter niet samen met de lokatie van de proefblokken van het irrigatie onderzoek. Om deze reden werd het noodzakelijk geacht nieuwe pF-curven te bepalen.

In deze proefvakken (zie Fig. 1.) treft men textuur = verschillen aan. Zo werd in vak 1.4. bepaald als lemig grofzand, terwijl dit in vak 3.2. grofzandige leem is.

3.2. UITVOERING

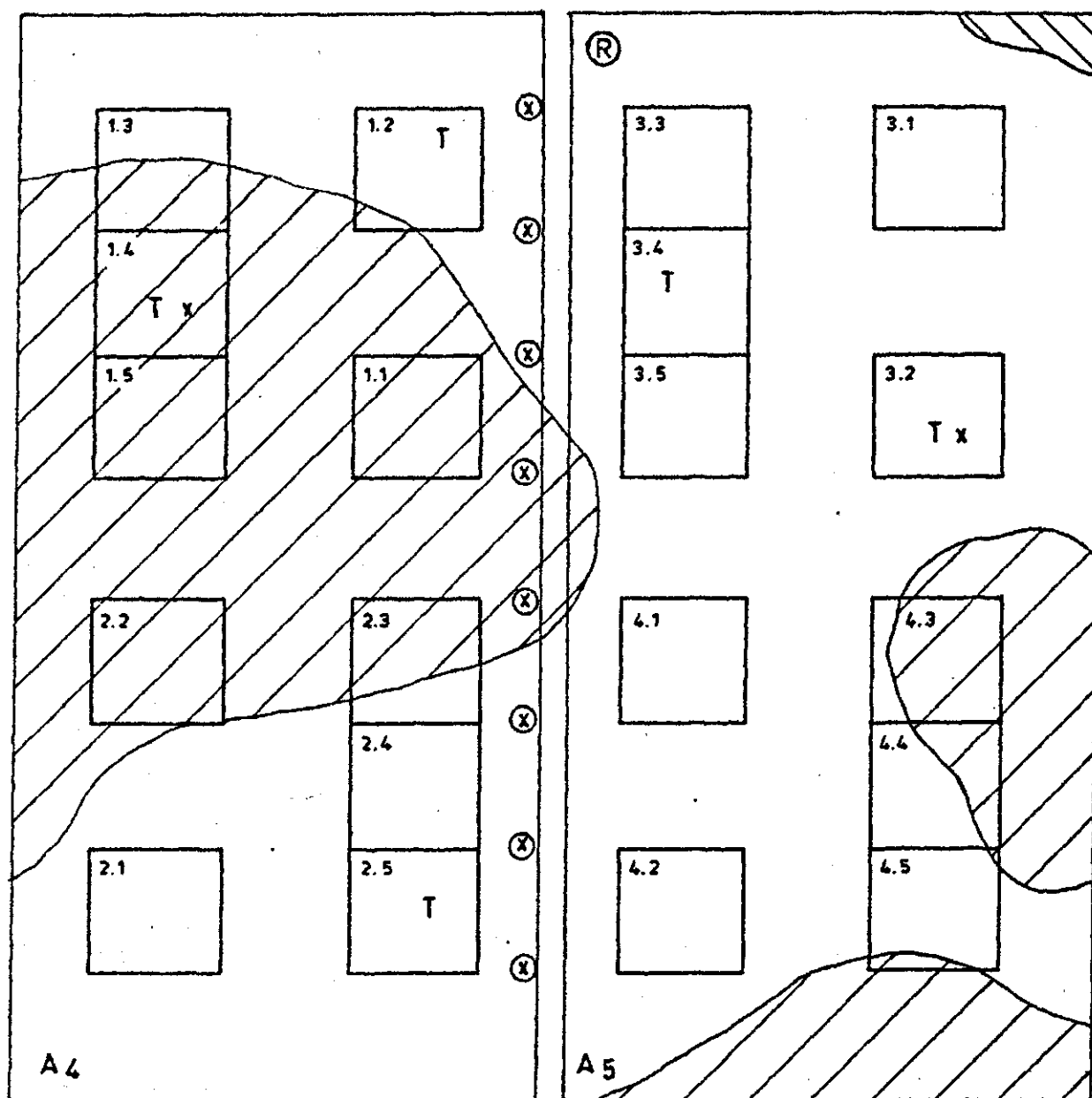
In de vakken 1.4. en 3.2. werden op 20 en 60 cm onder maaiveld monsters gestoken. Voor elk van de vier plaatsen waren dit 20 monsters van 100 cm³. In het laboratorium werd van elke serie bij de pF-waarden 0; 0,4; 0,1; 1,5; 2,0; 2,3; 2,7; 3,4 en 4,2 het vochtgehalte bepaald.

3.3..RESULTATEN EN DISCUSSIE

In Fig. 2. zijn de resultaten weergegeven. Indien men de beschikbare hoeveelheid bodemvocht definieert als het vochtgehalte tussen pF 2 en pF 4, 2 blijkt uit Fig. 2, dat deze beschikbare hoeveelheid voor beide bodemtypen 10% is (vochtgehalte uitgedrukt in volume-procenten).

Fig. 1-BABOENHOL Bodemkaart met overzicht van de proefvakken.

Schaal 1:2500



 Hoge rivierterrasgrond; leemig grofzand.

 Oeulgrond; zandige leem.

 Middelhoge rivierterrasgrond; grofzandige leem.

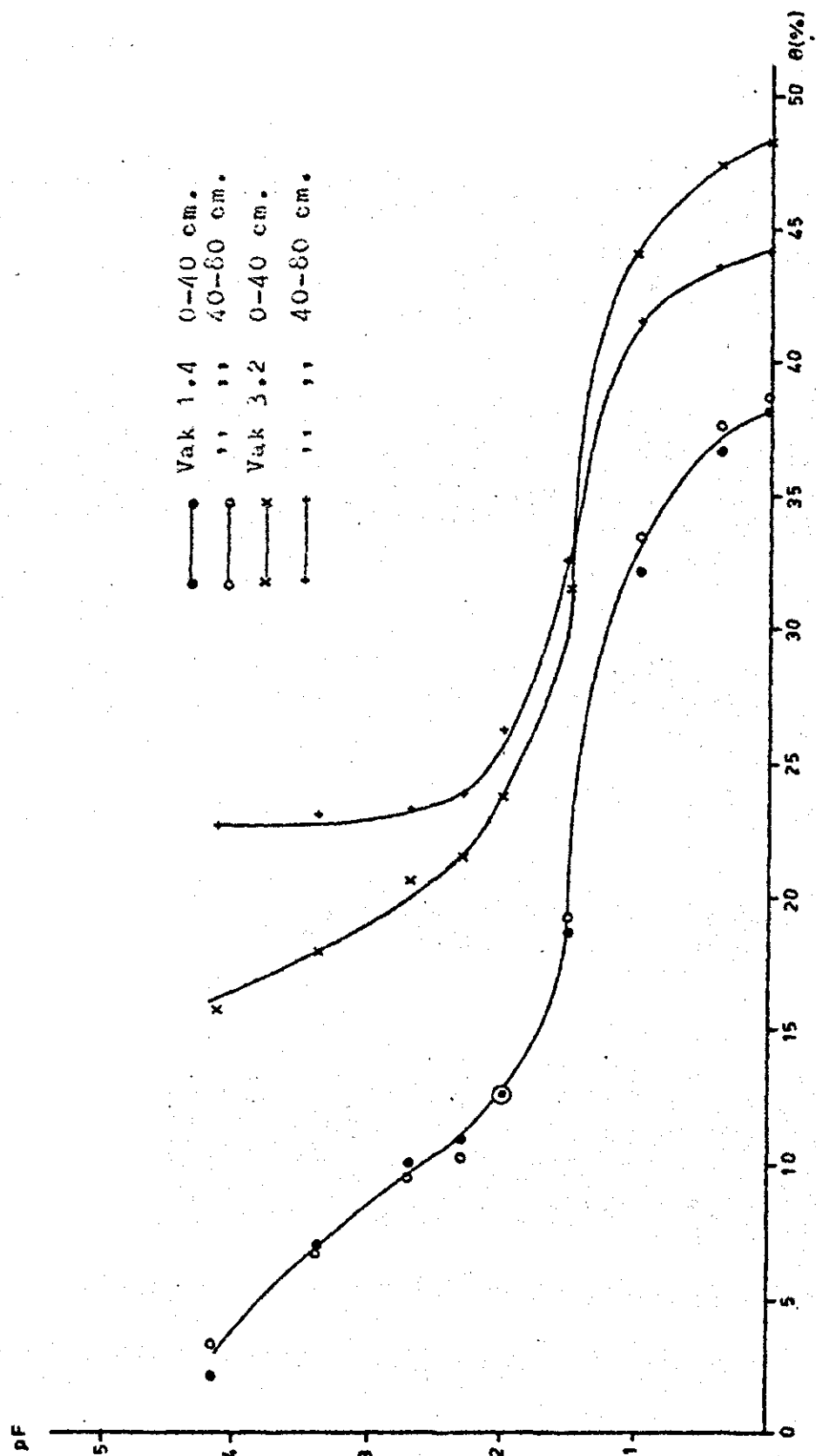
⊗ Hydrant.

x pF bemonstering.

T Tensiometerstation.

R Regenmeter.

Fig. 2-Phkole pH-curve of Baboonol.



De hierboven gevonden waarden komen goed overeen met die welke KUIPER (1973) heeft afgeleid. Deze had uit reeds eerder bepaalde curven voor lemig grofzand 10% beschikbaar vocht geschat en voor grofzandige leem 12%.

4. DE DYNAMISCHE VELDCAPACITEIT VAN GRONDEN OP HET CELOS TERREIN EN TE BABOENHOL

4.3. METHODIEK EN UITVOERING

De bepaling van de dynamische veldcapaciteit werd in situ uitgevoerd. *De te onderzoeken grond werd over een oppervlak van 12 m² vrij van vegetatie gemaakt, om transpiratie uit te sluiten. Vervolgens werd door kunstmatige beregening de toplaag van 15 cm verzadigd. De bodem werd hierna afgedekt met plastic platen om verdamping te voorkomen.

Vervolgens werd en met toenemende tijdsintervallen vochtmonsters gestoken op 4.0 en 11.5 cm beneden maaiveld. De gevonden vochtgehalten werden gemiddeld en uitgedrukt in mm waterschijf. Het verloop van het bodemvochtgehalte in de laag van 0-15 cm wordt van de gronden te Baboenhol en op het CELOS weergegeven in Figuur 3.

De parameters a en b werden met behulp van de regressieanalyse berekend. Deze berekeningsmethode is hieronder kort weergegeven.

$$\log W = \log a - b \log t \quad (4)$$

$$-b = \frac{(\log t_i \log W_i) - (\log t_i \log W_i)/n}{(\log t_i)^2 - (\log t_i)^2/n} \quad (5)$$

$$\log a = \frac{\log W_i}{n} + b \frac{\log t_i}{n} \quad (6)$$

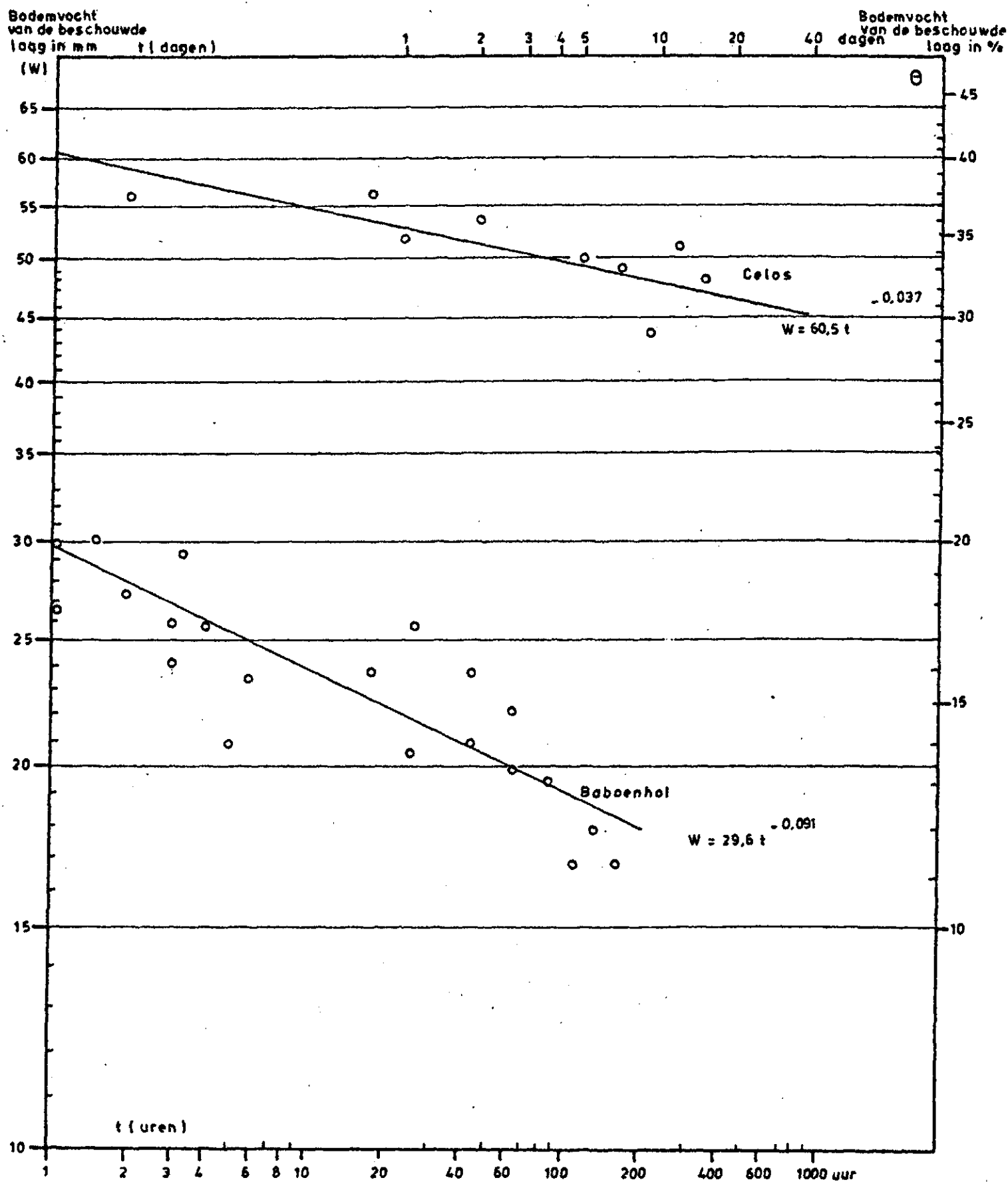
4.4. RESULTATEN EN DISCUSSIE

Indien de grenswaarde van de percolatie op 0,5 mm/dag wordt gesteld, wordt de dynamische veldcapaciteit voor het lemig grofzand na 3 $\frac{1}{4}$ dag bereikt. Voor de zware klei wordt deze grenswaarde na 4 $\frac{1}{2}$ dag bereikt.

In Tabel 1 worden de beide onderzochte gronden met elkaar vergeleken. Tevens is hierin weergegeven hoe groot de percolatie na 2 dagen is;

*Te Baboenhol werd dit in blok A₅ gedaan, terwijl op het CELOS terrein de lysimeter hiervoor gebruikt werd, om de invloed van capillaire opstijging uit te sluiten.

Fig.3-Verloop van de bodemvochtvoorraad onder invloed van percolatie.



Tabel 1.

Grond	Tijd nodig voor het bereiken van de dynamische veldcapaciteit	Percolatie	Textuur
Baboenhol	78 uur = $3\frac{1}{4}$ d	0,86 mm/dag	Loamy sand
CELOS	104 uur = $4\frac{1}{2}$ d	1,09 mm/dag	Clay

Het blijkt dat de tijd die nodig is voor het bereiken van de dynamische veldcapaciteit in de orde van grote van het irrigatie interval ligt. Dit betekent dat niet al het percolatie water voor het gewas verloren zal gaan. Een gedeelte zal tijdelijk tot de dynamische veldcapaciteit behoren zodoende een aandeel leveren in de watervoorziening van het gewas. Hierdoor zal een zekere overirrigatie ten opzichte van de dynamische veldcapaciteit niet direct tot een vergroting van het percolatieverlies leiden.

5. LITERATUUR

- KAMERLING, G.E. & R. BIPAT, 1966. pF-curven van gronden te Baboenhol. Landbouwproefstation Paramaribo. Intern rapport no. 92.
- KUIPER, N.R., 1973. Een verslag van de voorstudie en de voorbereidende werkzaamheden ten behoeve van het irrigatieonderzoek in citrus op Baboenhol. CELOS rapporten no.
- LENSELINK, K.J. & R. PARSAN, 1970. Enige pF-curven van een aantal gronden te Baboenhol. Landbouwproefstation Paramaribo. Intern rapport no. 283.
- RICHARD, GARDNER & OGATA, 1956. Proc. Soil. Sci. Soc. of Am.

Landbouwhogeschool-Wageningen
CENTRUM VOOR LANDBOUWKUNDIG ONDERZOEK IN SURINAME

MODELONDERZOEK NAAR DE VOCHTVERDELING
ONDER DRUPPELIRRIGATIE

H.M. van Leeuwen
en
Erica Zwart

Verslag van een onderzoek verricht onder leiding
van Ir. W.H.J. Vochteloo

januari 1974

I N H O U D

	<u>blz.</u>
1. <u>Samenvatting</u>	5
2. <u>Voorwoord</u>	5
3. <u>Inleiding</u>	5
4. <u>Methodiek en uitvoering</u>	6
5. <u>Resultaten en verwerking</u>	6
6. <u>Literatuur</u>	14

1. SAMENVATTING

Om een indruk te krijgen van de vochtverdeling zoals deze onder een druppelbron plaats heeft, werden gegevens die ontleend waren aan waarnemingen aan een twee-dimensionaal model getransformeerd naar de drie-dimensionale toestand.

Ter karakterisering van de vorm van het bevochtigde bodemvolume werd van een drietal parameters de relatie met het verstrekte debiet bepaald. Als parameters werden de grootste straal van het bevochtigde cirkelvormige bodemoppervlak (R_w), de bevochtigde diepte in het middelpunt van deze cirkel (D_w) en het bevochtigde bodemvolume (V) gekozen.

Het onderzoek werd uitgevoerd met grond van de hoge rivierterrassen te Baboenhol en met een "man made" tuinbouwgrond uit Kwatta. De volgende relaties werden gevonden:

$$\text{Baboenhol, } R_w = 3,19Q^{0,22} \quad D_w = 0,74Q^{0,41} \quad V = 3,85Q$$

$$\text{Kwatta, } R_w = 0,80Q^{0,35} \quad D_w = 1,05Q^{0,39} \quad V = 3,10Q$$

Hierbij staat Q voor het cumulatieve debiet.

2. VOORWOORD

Dit verslag werd opgesteld naar aanleiding van een onderzoek door de studenten H.M. van Leeuwen en Mej. E. Zwart. De werkzaamheden werden door hen uitgevoerd tijdens hun praktijktijd bij het CELOS. Als mentor trad op Ir. W.H.J. Vochtelo, wetenschappelijk medewerker van het CELOS.

3. INLEIDING

De vochtverdeling onder druppelirrigatie verschilt essentieel met die welke plaatsvindt onder invloed van neerslag, beregening of onderwater-zetting. Bij deze laatste één-dimensionale stromingsbeelden wordt de oppervlakte waardoor het water infiltreert verondersteld identiek te zijn aan het totaal bevochtigde oppervlak. Bij druppelirrigatie, waarbij de druppel-unit direct op het bodemoppervlak geplaatst wordt, is het oppervlak waardoor infiltratie plaatsvindt aanzienlijk kleiner dan het totaal bevochtigde oppervlak. Er is hier sprake van een drie-dimensionaal stromingsbeeld.

Voor een dergelijk stromingsbeeld is door BRANDT et. al. (1971) een goed met de werkelijkheid overeenkomend computer-model opgesteld. De benodigde parameters bodemwater-diffusie-teit en hydraulische geleidbaarheid, moeten hiervoor in het laboratorium als functie van het bodemvochtgehalte worden bepaald.

Het is echter ook mogelijk middels een aantal eenvoudige waarnemingen in situ of aan de hand van een twee-dimensionaal model de ontwikkeling van het bevochtigde bodemvolume empirisch te bepalen. De bij deze methode verkregen nauwkeurigheid is ruimschoots voldoende om tot een verantwoorde lay-out van een druppelinstallatie te komen.

De aan het hier beschreven onderzoek ontleende gegevens zijn gebaseerd op waarnemingen aan een twee-dimensionaal spleetmodel.

4. METHODIEK EN UITVOERING

Een spleetmodel met afmetingen van 150 x 2 x 150 cm bestaande uit twee parallel geplaatste glasplaten werd met luchtdroge, door een 2 mm zeef gezeefde, grond gevuld. Voor het vullen werd een plastic buis ($\varnothing$ 19 mm) tot op de bodem van het model neergelaten. Op de buis werd een trechter geplaatst die met grond werd gevuld. Door de buis met intervallen van 1 cm omhoog te halen en na elke verhoging in verticale positie over de lengte van het model te verschuiven kon de grond in lagen van ca. 1 cm aangebracht worden. Hierdoor werd een redelijk uniforme stapeling verkregen.

Vervolgens werd boven de bak een druppelbron met een constant debiet van 200 cm³ per uur aangebracht. Op verschillende tijdstippen werd de plaats van het vochtfront op de glazen zijwand van het model aangetekend.

Direct na het afsluiten van de toevoer aan het eind van de benodigde waarnemingsreeks werden met een speciaal daarvoor geconstrueerde steekboor vochtmonsters gestoken van het bevochtigde grondvolume. Bij de tuinbouwgrond uit Kwatta, waar twee druppelbronnen op een onderlinge afstand van 75 cm gelijktijdig liepen zodat er twee identieke bevochtigingsbeelden ontstonden, werd om een indruk van de herdistributie te verkrijgen, 24 uur na het stopzetten van de toevoer nogmaals een vochtbemonstering uitgevoerd.

5. RESULTATEN EN VERWERKING

De waarnemingen zijn evenals de resultaten van de vochtbemonstering symmetrisch ten opzichte van de verticale as door het druppelcentrum gemiddeld en weergegeven in halve dwarsdoorsneden (Fig. 1 en 2).

Fig. 1. Vochtverdeling in een tuinbouwgrond te Kwatta

Fig. 1A. Voortschrijding
vochtfront

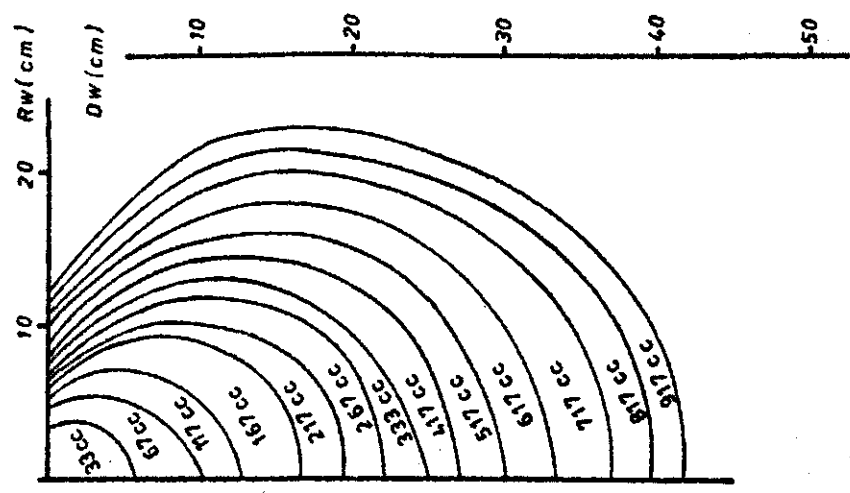


Fig. 1B. Vochtgehalten na
afsluiting toevoer
(275 min.)

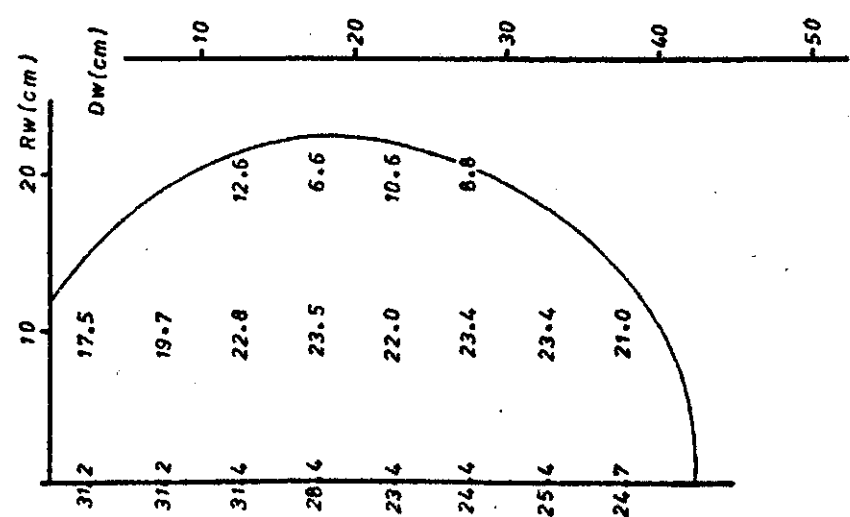


Fig. 1C. Vochtgehalten na
24 uur herdis-
tributie

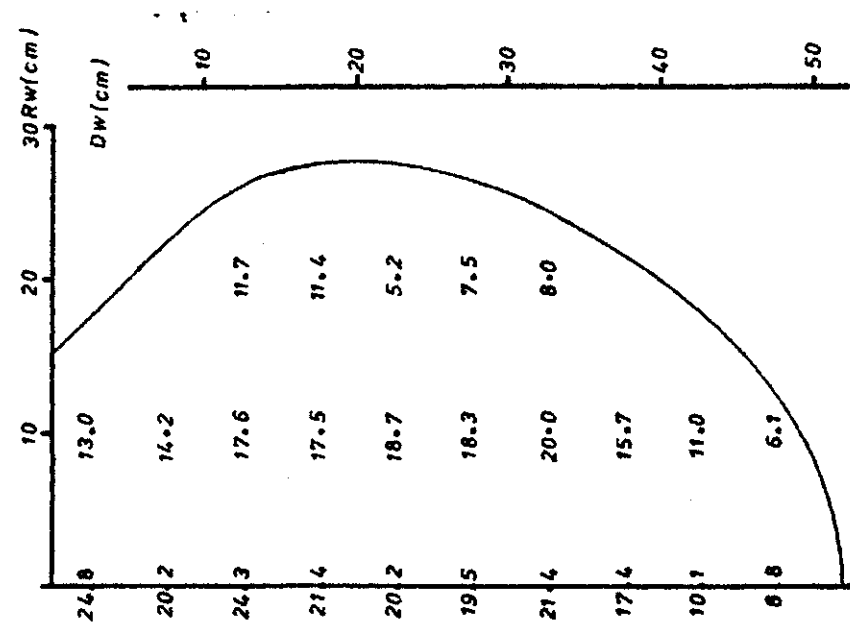


Fig. 2. Vochtverdeling in een terrasgrond te Baboenhol

Fig. 2A. Voortschrijding
vochtfront

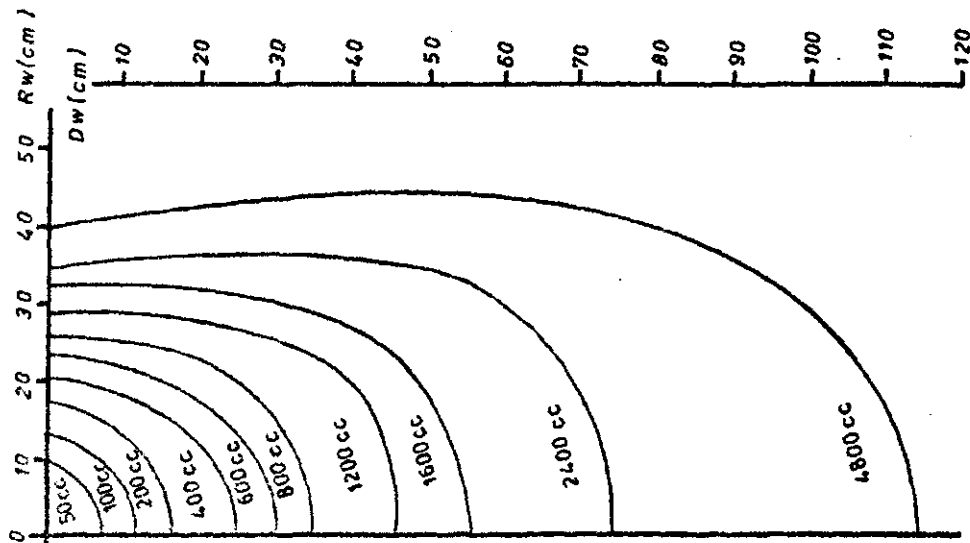
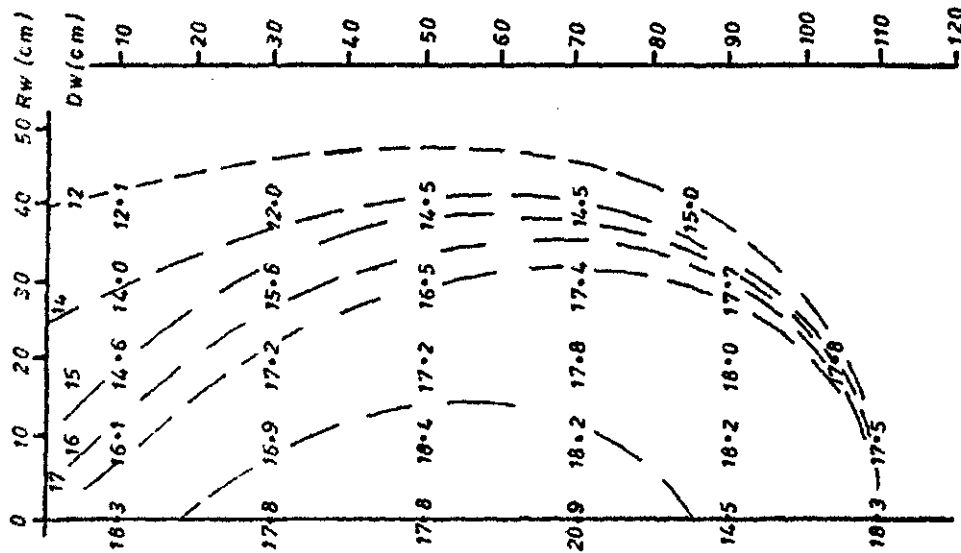


Fig. 2B. Vochtgehalten na
afsluiting toevoer
(24 uur)



Uit de Figuren 1a en 2a kan in eerste instantie een indruk verkregen worden van de ontwikkeling van de parameters R_w en D_w .

Transformatie van het bevochtigde profiel (2-dimensionaal) naar het bevochtigde volume (3-dimensionaal) vond op de volgende wijze plaats.

Voor verschillende tijdstippen werd de oppervlakte (A) van het bevochtigde halve dwarsprofiel door planimetrering bepaald. Vervolgens werd het hierbij behorende drie-dimensionale volume (V_{3d}) door rotatie om de symetrie-as bepaald met behulp van de formule.

$$V_{3d} = 2\pi r A \quad (1)$$

In deze formule is r de omwentelingsstraal, in casu de afstand tussen het zwaartepunt van oppervlakte A en de as van symetrie.

Het bij deze drie-dimensionale situatie behorende debiet (Q_{3d}) kan nu berekend worden met

$$Q_{3d} = Q_{2d} \frac{V_{3d}}{V_{2d}} \quad (2)$$

waarbij V_{3d} uit formule (1) volgt en het bevochtigde volume in de modelsituatie gelijk aan $2 A$ is. (Modelbreedte = 2 cm). De transformatie naar de drie-dimensionale toestand van de gronden van Baboenhol en Kwatta wordt stapsgewijs in respectievelijk Tabel 1 en 2 toegelicht.

Zowel D_w als R_w nemen in afnemende mate met het debiet toe. Dit duidt op een exponentiële relatie tussen R_w^* en Q_{3d} van de volgende vorm

$$R_w = c_1 Q_{3d}^{c_2} \quad (3)$$

Er moest nu een goede schatting gemaakt worden van de constanten c_1 en c_2 . Om dit probleem te vereenvoudigen werd de relatie (3) lineair geschreven door met de decimale logaritme te vermenigvuldigen. Met behulp van de regressie analyse werden de schatters van de constanten c_1 en c_2 berekend.

De relatie tussen het bevochtigde volume en het verstrekte debiet bleek lineair te zijn. ($V_{3d} = c_3 Q_{3d}$).

De voor R_w , D_w en V gevonden relaties staan vermeld in de Figuren 3 en 4.

* De voor R_w beschreven verwerking geldt ook voor D_w en V .

Tabel 1. Baboenhol. Transformatie van het 2 dim. model naar
3 dim. model

Waarneming	t_{2d}	Q_{2d}	R_w	D_w	V_{2d}	V_{3d}	Q_{3d}
no.	min	(cm ³)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ³)
1	15	50	10	7	194	785	202
2	30	100	14	12	388	3718	958
3	60	200	18	16.5	912	10588	2322
4	120	400	21	24	1620	22184	5476
5	180	600	24	30	2440	33331	8196
6	240	800	26.5	36	3080	55000	14424
7	360	1200	29.5	46	4520	91122	24192
8	480	1600	33	58	5200	152949	47056
9	720	2400	37	74	9900	263744	63936
10	1440	4800	45	114	14920	591035	191760

Tabel 2. Kwatta. Transformatie van 2 dim. model naar 3 dim.
model

Waarneming	t_{2d}	Q_{2d}	R_w	D_w	V_{2d}	V_{3d}	Q_{3d}
no.	(min)	(cm ³)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ³)
1	10	33.3	4.0	6.0	71	283	133
2	20	66.7	6.0	10.0	210	805	255
3	35	116.7	7.5	13.0	315	1585	587
4	50	166.7	9.5	16.5	554	3650	1099
5	65	216.7	10.5	19.5	683	4940	1564
6	80	266.7	11.5	22.0	864	6530	2080
7	100	333.3	13.1	25.0	1066	8990	2810
8	125	416.7	15.0	27.0	1313	12900	4080
9	155	516.7	16.0	30.0	1588	16900	5490
10	18	616.7	17.6	33.5	1925	23300	7470
11	215	716.7	20.0	37.0	2452	33600	9820
12	245	816.7	21.5	39.9	2791	40244	11760
13	275	916.7	22.7	41.5	3093	46600	13800

Fig. 3 - Baboehol

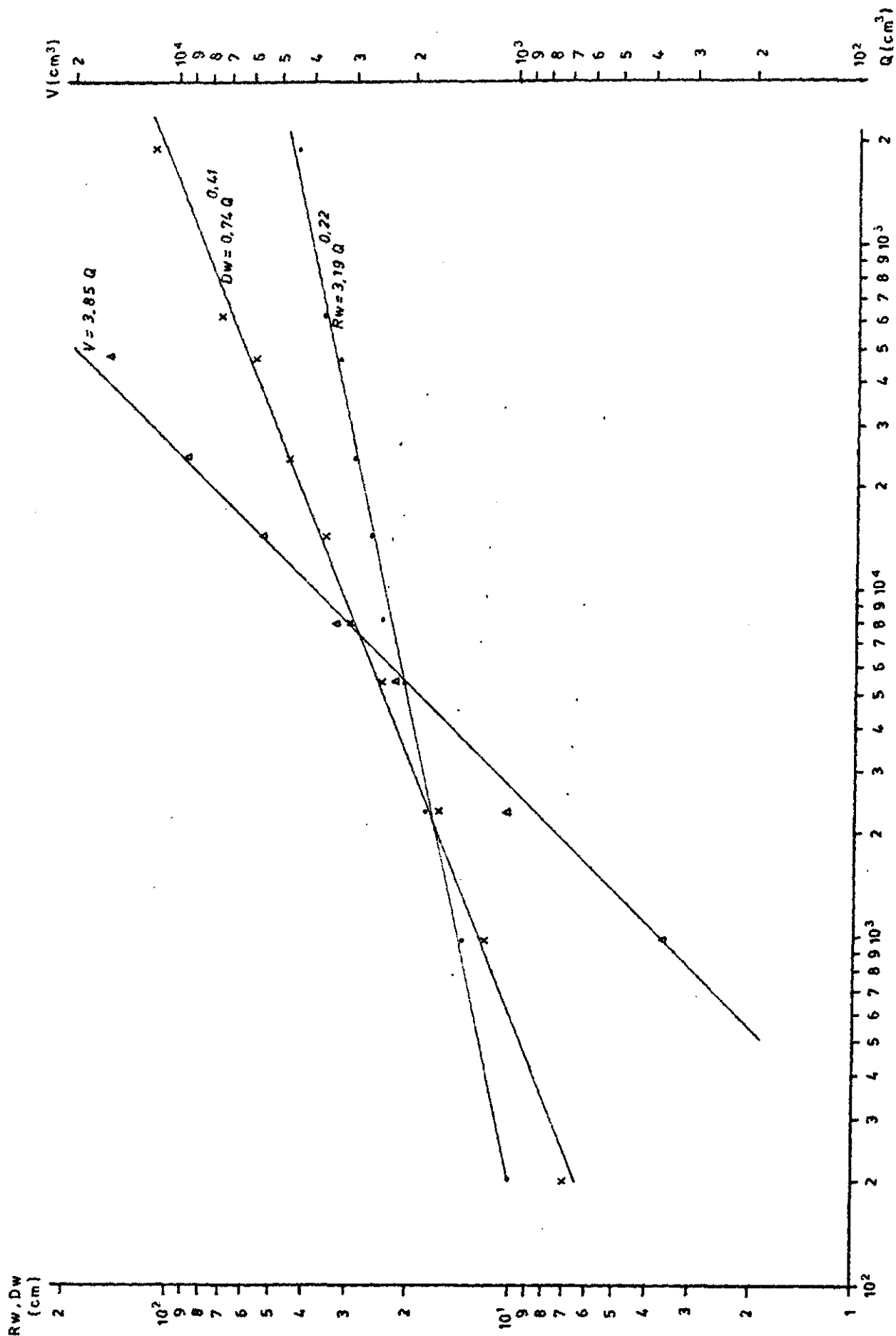
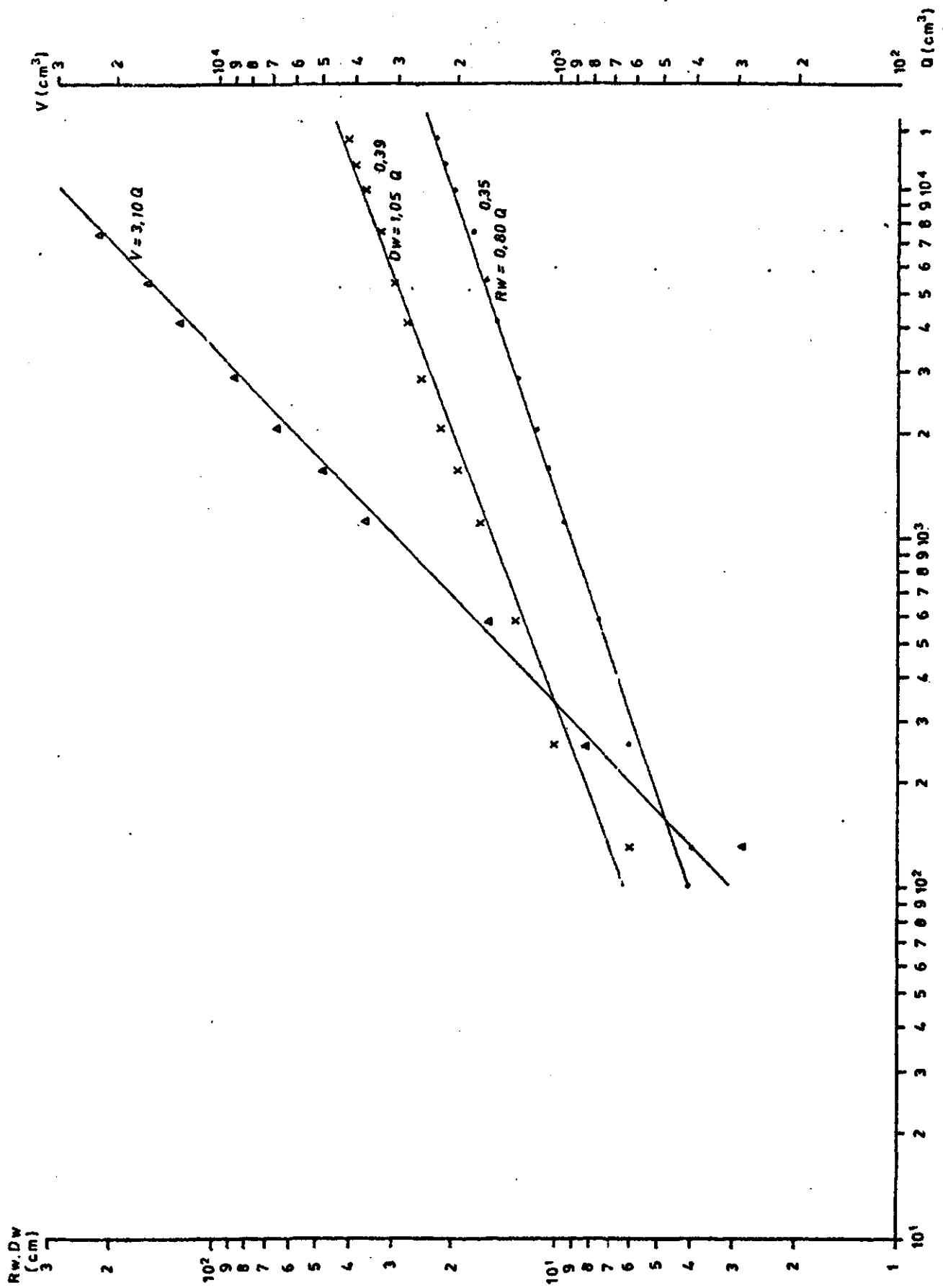


Fig. 4 - Kwatta



Het blijkt dat onder invloed van de grotere matrix potentiaal in de meer klei-houdende Kwatta grond de horizontale water distributie aanzienlijk groter is. Zulks ten koste van het watertransport in verticale richting, wat in de terrasgrond van Baboenhol duidelijk groter is.

6. LITERATUUR

BRANDT, A. et. al., 1971. Infiltration from a trickle source: Mathematical models. Soil. Sc. Soc. of Am. Proc.