

NOTA 1041

mei 1978

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

VERBETERING VELDPODZOLEN

De vochthuishouding in 1975 t/m 1977

ing. W.B. Verhaegh en R. Wiebing

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. MEETPROGRAMMA EN MEETOPZET	2
2.1. Vochtspanningen	5
2.2. Meetopzet	6
3. RESULTATEN	7
3.1. Vochtgehalte metingen met behulp van de gamma transmissie methode	7
3.2. De vochtspanningsmetingen	8
3.3. De bepaling van het verband tussen vochtspanning en vochtgehalte	14
3.4. Bepaling capillair geleidingsvermogen	14
4. VERDAMPING VAN HET GEWAS	22
4.1. De actuele verdamping van het gewas	22
4.2. Berekening van de potentiële verdamping van het gewas	24
4.3. De open waterverdamping (E_o)	26
4.4. De resultaten	26
5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES	33
LITERATUUR	35

1. INLEIDING

De laatste jaren is er een toenemende belangstelling voor de verbetering van zandgronden (veldpodzolen) door middel van een diepe grondbewerking (diepploegen, woelen en frezen).

De totale oppervlakte van deze gronden, hoofdzakelijk in het zuiden en het oosten van het land voorkomend, bedraagt circa 300 000 ha (C.D. 1976).

De vochtleverantie van deze gronden is meestal de beperkende factor voor het opbrengstniveau. Door een te grote dichtheid is doorworteling van de ondergrond van deze zandgronden niet mogelijk. Losmaken hiervan zal deze bewortelingsdiepte vergroten, en in principe kan hierdoor een toename van de vochtleverantie optreden. Afhankelijk van de diepte van het grondwater is de beschikbare hoeveelheid water van zand voldoende of te gering. Door het losmaken zal de vochtcapaciteit eerder af- dan toenemen. De vraag kan nu gesteld worden: hoe groot is de eventuele vochtwinst door capillaire opstijging vanuit het grondwater naar de doorwortelde grondlaag bij grondverbetering? De hoeveelheid water die dan voor het gewas extra beschikbaar komt is sterk afhankelijk van de aard van de niet losgemaakte ondergrond en vooral van de afstand tussen de onderkant van de beworteling en de grondwaterstand. Voor het losmaken is een bewortelingsdiepte mogelijk, gelijk aan de bewerkingsdiepte.

Om na te gaan onder welke omstandigheden een gunstig resultaat van deze grondverbetering mag worden verwacht is in april 1975 door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (I.C.W.); de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA) en het Consulentenschap voor bodemaangelegenheden en P.A.G.V. een proefveld aangelegd op de

proefboerderij 'De Vredepeel'.

In de herfst van 1975 is ook een proefveld aangelegd op de proefboerderij 'Kooyenburg' te Rolde.

Op deze proefvelden is naast de opbrengstbepalingen ook aandacht besteed aan: de vochthuishouding van de grond, de bewortelingsdiepte, de gewaslengte en de bodembedekking.

In deze nota zullen onder meer de vochtonttrekking uit het profiel, de eventuele capillaire nalevering en de berekende verdamping worden besproken.

2. MEETPROGRAMMA EN MEETOPZET

Voor de bepaling van de verandering van de vochthuishouding in het profiel, worden op beide proefvelden, op de drie objecten, tijdens het groeiseizoen, wekelijks, a) gammametingen; b) vochtspanningsmetingen verricht.

Bij de gammametingen wordt het profiel laagsgewijs, met een interval van 10 cm tot resp. een diepte van 100 cm (Vredepeel) of tot een diepte van 110 cm (Rolde) beneden maaiveld doorgemeten. De straling afkomstig van een 20 mc C_s^{137} bron, wordt op een bepaalde afstand (40 cm) gemeten. De verzwakking van de straling is afhankelijk van de totale massa tussen de bron en ontvanger. Hieruit volgt de dichtheid (nat volumegewicht ρ) van de tussenliggende grond. Als nu het droog volumegewicht (ρ_d) van de grond niet verandert met de tijd, zijn de gemeten veranderingen in het nat volumegewicht directe veranderingen in het vochtgehalte. De invloed van de verschillende componenten (minerale delen, water en organische stof) verschilt echter, daarom vindt men niet de werkelijke dichtheid ρ , maar de schijnbare dichtheid ρ_γ , welke geschreven kan worden als (RYHINER en PANKOW, 1969).

$$\rho_\gamma = 0.9\rho_m + 1.01\rho_o + \rho_w \text{ (g.cm}^{-3}\text{)} \quad (1)$$

waarin:

ρ_γ = schijnbare dichtheid volgens getelde electronen

ρ_m = massa van de minerale delen

ρ_o = massa van de organische stof

ρ_w = massa van het water

ρ_d = massa van alle gronddelen tezamen (= $0.9 \rho_m + 1.01 \rho_o$)

Bij de meting wordt ρ_γ verkregen door deze bij het getelde aantal impulsen via een ijkcurve af te lezen.

Indien ρ_d constant is met de tijd, geldt: $\Delta\rho_\gamma = \Delta(\theta)$ (g.cm^{-3}).

Van een grondkolom met een oppervlakte van 1 cm^2 en een hoogte van 1 cm (inhoud 1 cm^3) komt 1 gr. vocht nu overeen met 10 mm water.

Dat wil zeggen, voor een bodemlaag van 10 cm geldt dan:

$$\Delta\theta \text{ (g.cm}^{-3}\text{)} \times 100 \rightarrow \Delta\theta \text{ mm}$$

Voor de berekening van ρ_d en ρ_o is de volgende procedure aangehouden. Bij de plaatsing van de gammabuizen is het gewichtspercentage vocht bepaald van de monsters welke uit boorgaten kwamen waarin deze buizen werden geplaatst. Door gloeien op het laboratorium, is tevens het gewichtspercentage organische stof bepaald.

Stel: A = gewichtsfractie vocht B = gew. fractie org.stof

dan geldt:

$$A = \frac{\rho_w}{\rho_m + \rho_o} \quad (2)$$

en

$$B = \frac{\rho_o}{\rho_m + \rho_o} \quad (3)$$

Hieruit volgt dat:

$$\frac{\rho_w}{\rho_m} = \frac{A}{1-B} \quad (4)$$

en

$$\frac{\rho_o}{\rho_m} = \frac{B}{1-B} \quad (5)$$

Vergelijking (1) wordt nu geschreven als:

$$\rho_\gamma = \rho_m \left(0.9 + 1.01 \frac{\rho_o}{\rho_m} + \frac{\rho_w}{\rho_m} \right)$$

substitutie van (4) en (5) in verg. (1) geeft:

$$\rho \gamma = \rho_m \left\{ (0.9 + 1.01 \left(\frac{B}{1-B} \right) + \frac{A}{1-B} \right\} \quad \text{gr. cm}^{-3} \quad (1a)$$

Aangezien in ons geval het gewichtspercentage organische stof vrij laag is en dit bij de berekening, ρ_d nauwelijks beïnvloedt, kan vergelijking (1a) als volgt geschreven worden:

$$\rho \gamma = \rho_m (0.9 + A) \quad \text{gr. cm}^{-3} \quad (1b)$$

Van de bemonsteringsdatum zijn A en B bekend, hieruit volgen dan ρ_m volgens vergelijking (1b), ρ_w (4) en ρ_d (uit: $\rho_d = 0.9 \rho_m$) en indien nodig ρ_o verg.(5).

In vele gevallen is het moeilijk om de buizen van de bron en de ontvanger precies op 40 cm van elkaar te plaatsen. Daarom is de werkelijke afstand tussen de buizen op de verschillende dieptes berekend door de buizen bovengronds te verlengen en de daarbij voorkomende verschillende afstanden te meten.

Uit deze metingen wordt door middel van regressieberekeningen de constanten a, b en c uit de vergelijking (6) (zie RIJTEMA, 1969) berekend.

$$D_i^2(1) = a l^2 + b l + c \quad (6)$$

waarin:

$D_i(1)$ = gemeten bovengrondse werkelijke afstand

l = hoogte waarop $D_i(1)$ bovengronds wordt gemeten

Indien $a < \frac{b^2}{4c}$ is een lineaire betrekking aan te nemen met eveneens nader te bepalen coëfficiënten:

$$D_i(1) = a' l + b'$$

Wanneer het model bekend is, kan door middel van extrapolatie de scheefstelling op de diverse diepten worden berekend. Nu kunnen de gemeten $\rho \gamma$'s op de afwijkende afstanden worden gecorrigeerd.

In de meetapparatuur kunnen per meetdag kleine spanningsverschillen optreden, zodat bij een constante ρ_d en een constante ρ_w , toch kleine verschillen voorkomen in de gemeten $\rho \gamma$.

Door het plaatsen van een extra stel gammabuizen, waarbij als

voorwaarde geldt, dat de v a s t e meetdiepte in deze buizen voldoende diep (20 à 30 cm) onder de grondwaterspiegel ligt. De $\rho\gamma$ van dit meetpunt moet nu iedere meetdag bij het begin en einde gemeten worden. Als nu de $\rho\gamma$ van de eerste meetdag als referentie wordt genomen, kunnen alle gemeten $\rho\gamma$'s op de andere meetdagen in het seizoen hierop worden gecorrigeerd.

2.1. V o c h t s p a n n i n g e n

De vochtspanningen zijn gemeten met tensiometers. De tensiometer is een algemeen gebruikt instrument om de vochtspanning van het bodemvocht in het traject van 0 tot 900 m.bar te meten. Een tensiometer-systeem bestaat uit een voeler in de grond en een daarmee verbonden instrument om de druk (drukopnemer) van het water in de voeler te meten. De voeler bestaat uit een keramisch potje (VERHAEGH, 1974) en wordt aangeduid als tensiometer. Het water in de tensiometer staat via de poreuze wand in kontakt met het bodemvocht. Een goede aansluiting van de tensiometer en de grond is een noodzakelijke voorwaarde. Wanneer aangenomen wordt dat de potentiaal van het bodemvocht en het water in de tensiometer aan elkaar gelijk zijn, kan de vochtspanning ter plaatse uit de gemeten druk afgeleid worden.

De vochtspanning is steeds aan veranderingen onderhevig, onder andere door neerslag (beregening), drainage en wateronttrekking door de plantenwortels. Bij verandering van de vochtspanning zal transport van water via de poreuze wand van de tensiometer en de grond plaatsvinden tot een nieuwe evenwichtstoestand is bereikt.

Op beide proefvelden zijn de tensiometers (in duplo) in de nabijheid van de gammabuizen geplaatst, op diepten variërend van 30 tot 150 cm beneden maaiveld, met intervallen van 10 of 20 cm.

De vochtspanning kan worden uitgedrukt in: cm W.K., cm H₂O, m.bar, mm.Hg, atm., enz. Voor de berekening van het capillair geleidingsvermogen en de gewasverdamping zijn op iedere meetdag de grondwaterstand, de gewashoogte en de bodembedekking gemeten. De neerslag te Vredepeel wordt dagelijks waargenomen en de neerslag te Roldé, ter plaatse gemeten met een pluviograaf, wordt van dag tot dag van de stroken van deze pluviograaf afgelezen. De meteoro-

logische basisgegevens, benodigd voor de berekening van de gewasverdamming zijn afkomstig van de hoofdstations, Beek (Vredepeel) en Eelde (Rolde). Gebruikt zijn onder andere temperatuur - straling - rel. vochtigheid - windsnelheid en zonneshijnduur.

2.2. Meetopzet

Het meetprogramma is opgesteld met het doel om na te gaan in hoeverre het vochtleverend vermogen van deze gronden afhankelijk is van de grondwaterstand, de bewortelingsdiepte en de dichtheid.

Hoog boven het grondwater bevat humus- en slibarm zand zeer weinig water. Bij uitdroging van de grond neemt het capillair geleidingsvermogen af, waardoor minder water naar de doorwortelde zone van het profiel stroomt. Voor deze gronden is het belangrijk dat de plantenwortels zo dicht mogelijk naar het grondwater kunnen toegroeien. In ongestoorde toestand is dit zand bijna altijd, door een te grote dichtheid, ondoorwortelbaar. Door nu deze ongestoorde ondergrond los te maken kunnen de plantenwortels dieper in het profiel doordringen, waardoor verkleining van de afstand wortels - grondwater optreedt. Het losmaken heeft echter ook tot gevolg dat het vochthoudend vermogen kleiner wordt, met daardoor een afnemend capillair geleidingsvermogen. De vochtwinst die bereikt kan worden is daardoor sterk afhankelijk van de afstand tussen de maximale bewortelingsdiepte en de grondwaterstand. Hoe kleiner deze afstand, hoe meer water er via capillaire opstijging beschikbaar komt. Voordat men besluit tot het losmaken van de ondergrond, is het van belang, zowel de diepte als ook de fluctuatie van het grondwater te kennen.

In die gevallen met zeer diepe grondwaterstanden (> 200 cm) zal de grond in principe tot grote diepte moeten worden losgemaakt. Een zeer diepe beworteling is in die gevallen noodzakelijk wil men kunnen profiteren van opstijgend water uit het niet losgemaakte deel van het profiel.

Bij te grote afstanden is de kans dat stagnatie van de wortelgroei door vochtgebrek reeds optreedt, voordat het losgemaakte deel geheel doorworteld is, erg groot. Het effect van de grondverbetering

zal dan gering of zelfs negatief zijn. Nog afgezien van de capaciteiten van de huidige grondverbeteringsmachines kan men daarom de grond niet tot onbeperkte diepte losmaken.

Om een beter inzicht te krijgen op een positief effect van deze grondverbetering op de opbrengsten, is het gewenst, de maximale afstand tussen grondwater- en bewortelingsdiepte te kennen, die een capillaire opstijging van enige betekenis naar de wortelzone mogelijk maakt. Hoeveel water dit zal zijn hangt naast de afstand ook af van de granulaire samenstelling en de dichtheid van de grond.

3. RESULTATEN

3.1. V o c h t g e h a l t e m e t i n g e n m e t b e h u l p v a n d e g a m m a t r a n s m i s s i e m e t h o d e

Uit de dichtheidsmetingen en vochtmetingen die uitgevoerd zijn volgens de gamma transmissie methode kunnen nu zoals beschreven in hoofdstuk 2 de droge dichtheid (ρ_d), vochtgehalte (θ) en het poriënvolume berekend worden.

In de figuren 1 t/m 15 zijn op deze wijze verkregen vochtgehalten voor iedere laag weergegeven (zie bijlage I).

De figuren 1 t/m 9 hebben betrekking op de metingen te Vredepeel en wel voor 1975 (fig. 1 t/m 3), 1976 (fig. 4 t/m 6) en voor 1977 (fig. 7 t/m 9).

De figuren 10 t/m 15 hebben betrekking op het proefobject te Rolde en wel voor 1976 (fig. 10 t/m 12) en voor 1977 (fig. 13 t/m 15).

Hoewel de correcties voor scheefstelling en spanningsverschillen zijn uitgevoerd (hoofdstuk 2) worden er toch berekende vochtgehalten gevonden, die afwijken van het te verwachten patroon, onder andere fig. 7b, fig. 8b, fig. 10c en fig. 11b, geven hiervan een goed voorbeeld. Vooral op grotere diepten 80, 90 en 100 cm komen, de weersomstandigheden in acht nemend, onwaarschijnlijke fluctuaties voor. Hier is nog eens een correctie op het berekende vochtgehalte toegepast, door deze lijnen zo vloeiend mogelijk tussen 3 à 4 opeenvolgende meetdata te laten verlopen. De op deze wijze verkregen nieuwe waarden zijn gebruikt voor de berekening van de vochtverandering in het profiel.

In 1975 (fig. 1 t/m 3) komen tot begin augustus ook nogal grote fluctuaties voor. Deze vochtgehalten zijn berekend uit vochtbemonsteringen, uitgevoerd met de monsterboor. Vanaf 8 augustus zijn de vochtgehalten afkomstig van de gamma-metingen. Voor een goede overgang tussen deze twee methoden van vochtbepaling zijn de lijnen zo goed mogelijk doorgetrokken, daardoor wijken de gebruikte waarden soms nogal sterk af van de gemeten waarden (o.a. fig. 2b).

De absolute waarden van het vochtgehalte, de droge dichtheid en het poriënvolume kunnen eveneens nogal vrij sterk afwijken van de uit ringmonsters bepaalde waarden voor deze grootheden.

De vochtgehalten op resp. 40 en 50 cm diepte (fig. 1a en 1b) zijn tijdens het hele groeiseizoen aan de hoge kant. Terwijl het vochtgehalte op 50 cm (fig. 6a) en op 70 cm (fig. 10b) onwaarschijnlijk laag is. Het hoge vochtgehalte op 30 cm (fig. 13a) is toe te schrijven aan een dun veenlaagje op deze diepte, tussen de beide meetbuizen. Door de lage grondwaterstanden 170 à 180 cm -mv en de vochtonttrekking en de droge zomers van 1975 en 1976 komen zelfs op 90 à 100 cm lage tot zeer lage vochtgehalten voor (fig. 1 t/m 6).

In Rolde daarentegen is de afname van het vochtgehalte, ook in de droge zomer van 1976, in de leemlaag, op 100 en 110 cm diepte (fig. 11b en fig. 12b) slechts klein op het gewoelde- en gemengwoelde object.

3.2. D e v o c h t s p a n n i n g s m e t i n g e n

Men kan met de tensiometer vochtspanningen of onderdrukken meten tot een bepaalde waarde, de luchtintrede waarde. Dit is de druk waarbij lucht intreedt, terwijl de cupwand is verzadigd met water. Deze waarde is afhankelijk van de diameter van de poriën in de tensiometerwand en moet groter zijn dan de maximaal te meten vochtspanning. Bij de gebruikte tensiometer ligt deze waarde tussen 800 à 900 cm H₂O; bij hogere waarden ontstaan luchtbelletjes in het systeem als gevolg van het doorslaan van menisci in de poriën van de tensiometerwand.

In de tabellen 1 en 2 zijn de in 1975 respectievelijk 1977 gemeten vochtspanningen te Vredepeel weergegeven. De vochtspanningen van 1976 zijn niet vermeld omdat in dat jaar het contact tussen de

Tabel 1

VREDEPEEL, vochtspanning in om/H₂O 1975

Onbehandeld

D = doorgeslagen
 x = onbetrouwbaar

dd.	jun.	jun.	jul.	jul.	jul.	jul.	jul.	aug.	aug.	aug.	aug.	sep.	sep.	sep.	sep.	okt.	okt.	okt.	okt.	nov.	
	11	25	4	11	18	25	31	6	13	20	28	3	10	17	24	1	7	15	21	29	4
30	108	114	193	104	680	453	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	127	244	352	201	101
50	81	92	131	87	245	154	418	674	699	772	D	D	D	D	733	284	96	D	D	D	306
70	57	68	76	57	91	74	388	465	D	658	D	D	D	D	662	584	550	D	D	504	482
90	36	50	60	38	74	58	61	69	-	362	601	D	D	D	585	614	634	765	779	637	563
110	18	30	38	17	54	27	33	40	32	52	60	63	58	53	58	47	57	58	67	67	60
150	+24	+12	+7	+25	+13	+15	+12	+9	+2	2	20	19	19	1	13	2	15	16	25	25	18
gws cm																					
-mv	125	134	142	131	144	145	149	153	158	162	167	169	172	169	170	165	168	170	172	174	175

Woelen

dd.	jun.	jun.	jul.	jul.	jul.	jul.	jul.	aug.	aug.	aug.	aug.	sep.	sep.	sep.	sep.	okt.	okt.	okt.	okt.	nov.	
	11	25	4	11	18	25	31	6	13	20	28	3	10	17	24	1	7	15	21	29	4
30	108	118	155	105	190	239	538	655	D	D	D	D	D	D	674	294	314	x	302	309	300
50	82	95	108	79	149	98	195	295	636	720	825	D	D	D	734	381	363	x	457	406	450
70	60	68	61	59	115	77	92	112	377	742	848	D	825	732	809	460	735	x	769	643	597
90	33	48	47	26	75	49	64	75	63	86	749		805	D	781	567	402	x	311	307	287
110	17	31	39	21	55	36	43	41	50	60	71	71	67	59	66	52	61	x	70	73	67
150	+22	+8	+2	+20	12	+12	+2	+8	+5	18	27	29	26	17	15	8	20	x	28	32	24
gws cm																					
-mv	125	130	142	134	147	147	150	156	160	165	169	170	171	171	173	168	167	167	171	175	176

Spitfrees

dd.	jun.	jun.	jul.	jul.	jul.	jul.	jul.	aug.	aug.	aug.	aug.	sep.	sep.	sep.	sep.	okt.	okt.	okt.	okt.	nov.	
	11	25	4	11	18	25	31	6	13	20	28	3	10	17	24	1	7	15	21	29	4
30	112	87	215	87	150	103	128	482	x	747	D	D	D	113	564	87	95	x	192	280	289
50	86	93	105	79	135	94	145	196	x	429	576	642	621	296	587	317	120	x	317	310	354
70	64	72	84	66	90	75	88	197	x	388	559	595	634	620	-	517	505	x	368	355	339
90	42	49	63	40	68	47	57	70	x	114	147	184	629	659	718	589	564	x	544	292	342
110	23	26	42	28	44	30	37	45	x	50	68	55	65	54	65	46	53	x	67	69	65
150	+17	+8	1	+12	5	+14	+3	+4	x	16	29	25	18	18	24	3	15	x	21	26	21
gws cm																					
-mv	125	132	143	131	144	143	149	153	158	164	167	168	171	167	169	165	163	166	168	172	173

Tabel 2

VREDEPEEL, vochtspanning in cm/H₂O 1977

Onbehandeld

dd.	26/5	9/6	16/6	23/6	30/6	6/7	14/7	21/7	28/7	4/8	11/8	24/8	1/9	8/9	20/9
50	60	60	55	73	65	90	152	138	175	377	680	48	60	73	96
60	48	54	47	64	58	72	112	108	136	151	220	35	49	61	81
70	43	53	37	52	54	59	75	66	77	88	96	32	40	52	71
80	40	45	37	43	47	44	57	56	62	66	73	22	30	42	61
90	23	36	17	32	36	37	49	45	51	55	61	10	20	35	51
100	13	23	8	21	25	27	35	35	40	44	48	2	9	23	40
120	+ 4	6	+12	2	7	7	17	20	20	25	28	+11	+11	2	21
140	+28	+13	+31	+19	+16	+12	+ 1	+ 7	0	3	7	+40	+36	+18	+ 3
gws cm	113	121	107	118	126	126	135	140	144	158	153	111	112	125	141

Woelen

dd.	26/5	9/6	16/6	23/6	30/6	6/7	14/7	21/7	28/7	4/8	11/8	24/8	1/9	8/9	20/9
50	53	59	54	73	77	104	315	345	405	700	722	40	61	78	92
60	42	60	46	57	70	78	142	179	197	460	476	37	50	67	82
70	33	54	37	48	60	54	76	80	88	154	152	31	41	56	70
80	23	47	28	37	47	43	59	58	67	80	106	38	33	46	61
90	12	38	16	26	40	33	51	48	57	61	69	28	22	35	49
100	4	30	8	17	29	22	37	36	43	50	62	19	11	23	40
120	+14	8	+13	+ 3	10	2	16	17	24	30	40	0	+ 8	+ 2	21
140	+36	+11	+32	+23	+11	+18	+ 1	+ 3	5	10	20	+22	+28	+17	1
gws cm	115	123	109	120	128	128	137	142	146	160	155	113	114	127	143

Spitfrees

dd.	26/5	9/6	16/6	23/6	30/6	6/7	14/7	21/7	28/7	4/8	11/8	24/8	1/9	8/9	20/9
50	53	56	55	75	72	109	410	558	550	600	592	476	170	130	119
60	47	54	46	63	70	81	165	231	204	285	310	85	67	80	90
70	41	59	41	52	69	62	82	93	125	120	135	38	45	65	80
80	31	50	27	42	59	52	69	70	78	123	173	31	38	50	68
90	24	43	22	34	45	44	55	56	68	77	79	28	28	43	59
100	12	33	12	24	38	32	48	46	59	68	70	24	20	34	50
120	+10	12	+ 8	4	18	14	28	25	31	38	42	1	+ 2	14	30
140	+28	+ 6	+28	+16	+ 3	+ 5	4	6	12	17	22	+20	+22	+16	8
gws om -4mV	121	129	115	126	134	134	143	148	152	166	161	119	120	133	149

Het verschil in de diepte van het grondwater tussen de objecten terplaatse is het gevolg van de hoogte ligging van het maaiveld (t.o.v. N&P is er geen verschil).

Tabel 3

ROLDE, vochtspanning om/H₂O 1976

D = doorgeslagen
 x = onbetrouwbaar

Onbehandeld veldje 34

dd.	23/6	30/6	7/7	14/7 ^x	21/7 ^x	29/7	5/8	12/8	19/8	26/8	2/9	16/9	23/9	30/9	7/10	14/10	27/10
50	137	175	324	450	780	-	718	744	730	>780	lek	lek	655	-	678	668	367
60	132	168	203	785	364	494	621	631	692	799	420	-	565	585	612	513	465
70	124	169	176	469	595	-	375	473	625	745	363	525	645	595	566	510	470
80	118	133	155	498	522	250	276	432	405	611	353	515	545	470	469	442	312
90	95	112	114	504	705	227	304	570	695		340	342	360	360	323	406	295
gws om																	
-mv	242	247	253	257	259	258	260	262	265	268	269	270	270	270	266	266	269

Mengwoelen veldje 19

dd.	23/6	30/6	7/7	14/7 ^x	21/7 ^x	29/7	5/8	12/8	19/8	26/8	2/9	16/9	23/9	30/9	7/10	14/10	27/10
100	82	96	133	102	193	280	330	489	502	640	434	lek	622	482	75	363	420
110	73	81	117	102	181	258	285	lek	580	D	D	D	572	522	571	482	390
120	62	78	116	81	130	163	197	290	387	579	483	462	470	427	398	380	315
130	61	69	103	75	190	160	190	274	330	307	325	lek	315	290	269	278	215
140	52	65	84	50	114	145	146	140	172	200	247	300	lek	260	339	223	193
gws om																	
-mv	242	247	253	257	259	258	260	262	265	268	269	270	270	270	266	266	269

Woelen veldje 4

dd.	23/6	30/6	7/7	14/7 ^x	21/7 ^x	29/7	5/8	12/8	19/8	26/8	2/9	16/9	23/9	30/9	7/10	14/10	27/10
100	68	84	133	lek	176	200	266	320	485	726	582	562	685	530	479	389	335
110	50	70	108	69	147	155	238	279	405	770	591	460	575	488	415	403	333
120	40	49	115	59	120	112	223	223	235	366	335	405	410	372	351	322	277
130	34	50	76	65	127	134	180	180	207	285	264	335	322	290	lek	259	230
140	22	37	86	57	140	176	139	196	205	398	365	575	695	535	lek	349	260
gws om																	
-mv	242	247	253	257	259	258	260	262	265	268	269	270	270	270	266	266	269

Tabel 4 ROLDE, vochtspanning in cm/H₂O 1977

Onbehandeld veldje 36

dd.	jun.	jun.	jun.	jun.	jul.	jul.	jul.	jul.	aug.	aug.	aug.	aug.	aug.	sep.	sep.	sep.	sep.	okt.
	1	10	17	28	5	12	18	26	2	9	16	23	30	7	13	21	28	11
50	93	117	52	126	135	203	257	287	301	307	190	127	114	161	107	125	149	47
60	76	96	44	95	102	149	182	211	230	253	214	111	107	137	113	122	136	48
70	65	82	40	79	87	109	133	179	186	214	192	116	100	114	110	112	124	51
80	54	71	30	68	75	100	117	150	173	191	174	130	90	107	107	105	116	43
90	46	61	25	58	63	80	91	116	140	137	124	111	89	97	102	99	109	38
100	36	51	14	48	53	73	86	114	128	130	118	104	89	90	100	95	103	35
120	16	33	+ 2	25	33	50	60	83	89	103	96	89	72	72	82	75	81	22
140	+ 2	14	+20	10	16	34	40	61	61	64	61	60	48	49	60	58	60	8
om gws-mv	198	204	197	209	212	217	220	222	224	228	220	215	219	227	226	228	230	216

Mengwoelen veldje 21

dd.	jun.	jun.	jun.	jun.	jul.	jul.	jul.	jul.	aug.	aug.	aug.	aug.	aug.	sep.	sep.	sep.	sep.	okt.
	1	10	17	28	5	12	18	26	2	9	16	23	30	7	13	21	28	11
50	97	111	64	117	143	235	388	438	509	589	471	295	235	227	213	203	224	66
60	86	99	54	98	117	166	243	275	320	458	385	287	198	237	169	172	225	70
70	72	83	48	83	96	127	160	206	263	283	263	235	200	213	214	200	214	70
80	59	76	38	68	83	110	140	201	240	248	188	117	187	198	208	220	218	71
90	50	63	31	58	66	91	116	155	207	221	168	115	127	135	166	156	168	54
100	35	52	21	44	57	80	95	124	155	179	139	108	110	134	140	141	152	40
120	20	35	5	27	36	42	64	82	96	108	114	100	98	106	116	117	120	60
140	2	14	+14	7	13	37	46	67	78	91	85	83	76	80	93	94	94	39
om gws-mv	198	204	197	209	212	217	220	222	224	228	220	215	219	227	226	228	230	216

Woelen veldje 6

dd.	jun.	jun.	jun.	jun.	jul.	jul.	jul.	jul.	aug.	aug.	aug.	aug.	aug.	sep.	sep.	sep.	sep.	okt.
	1	10	17	28	5	12	18	26	2	9	16	23	30	7	13	21	28	11
50	104	134	76	145	184	270	615	530	535	537	515	497	423	410	435	421	369	54
60	90	113	74	118	144	193	350	506	516	545	500	480	400	397	381	410	309	69
70	75	99	70	104	115	135	172	136	170	288	214	187	173	186	170	175	185	87
80	74	88	68	90	95	107	122	144	163	176	144	140	141	150	155	156	160	87
90	64	78	61	80	86	103	115	134	165	179	168	159	166	175	142	165	175	98
100	55	67	53	70	75	86	90	108	110	122	119	116	115	125	130	133	135	75
120	37	50	34	49	54	64	70	88	92	105	95	93	93	102	108	112	114	58
140	17	29	15	29	32	43	50	68	70	80	71	80	75	84	87	90	92	42
om gws-cm -mv	198	204	197	209	212	217	220	222	224	228	220	215	219	227	226	228	230	216

celwand en bodem waarschijnlijk onvoldoende is geweest, daardoor zijn de gemeten waarden minder betrouwbaar. Indien in de tabellen een D is vermeld dan betekent dit, dat de tensiometer is doorgeslagen en de onderdruk groter is dan 850 à 900 cm H₂O. Uit de gemeten waarden in 1975 (tabel 1) blijkt ook dat op het onbehandelde en het gewoelde object eind augustus tot 24 september, hoge vochtspanningen voorkomen tot een diepte van 90 cm -mv. Op het gespittfreesde object zijn de gemeten vochtspanningen over het geheel genomen lager.

In 1977 (tabel 2) daarentegen hebben de onderdrukken alleen op 50 cm -mv hogere waarden bereikt. Vanaf 90 cm -mv en dieper zijn de vochtspanningen op de meeste meetdagen ongeveer gelijk aan de hoogte boven de grondwaterspiegel. Dit noemt men een evenwichtssituatie.

In Rolde zijn in 1976 (tabel 3) de tensiometers op het onbehandelde object niet dieper geplaatst dan 90 cm -mv, terwijl deze op de objecten mengwoelen en woelen vanaf 100 cm -mv tot 140 cm -mv geplaatst zijn. Onderlinge vergelijking van de zuigspanning is hierdoor slechts mogelijk bij de diepere grondbewerking. Deze keuze is gedaan aan de hand van de te verwachten bewortelingsdiepte. Vergelijken we deze gemeten zuigspanningen op het onbehandelde object met de uit de gammametingen berekende zeer lage vochtgehalten (fig. 10b en 10c), dan moet betwijfeld worden of hier wel voldoende contact is geweest tussen bodem- en tensiometerwand.

Bij het woel- en mengwoelobject lopen de vochtspanningen op een diepte van 100 en 110 cm -mv sterk op terwijl de berekende vochtgehalten (fig. 11b en 12b) nauwelijks afnemen. Dit kan verklaard worden uit de vocht karakteristiek van deze leemlaag.

De grondwaterstanden zijn erg laag, zodat van een capillaire opstijging vanuit dit grondwater geen sprake kan zijn. De leemlaag fungeert daarentegen veel meer als basis.

In 1977 (tabel 4) zijn deze grondwaterstanden ook te laag geweest voor aanvulling uit deze laag. De vochtspanningen zijn in 1977 nauwelijks minimaal geweest, hoewel de vochtspanningen bij het onbehandelde op 50 en 60 cm toch wel lager zijn geweest, dan bij mengwoelen en woelen.

3.3. De bepaling van het verband tussen vochtspanningen en vochtgehalte

Uit de gemeten vochtspanning en het gemeten vochtgehalte, volgens de gammatransmissie methode, van de grond in verschillende stadia van uitdroging, kan de vocht karakteristiek worden samengesteld. Voor het proefveld te Vredepeel kon uit de gegevens van 1977, van de ongestoorde ondergrond van 50 tot 100 cm, een betrouwbare pF-kromme worden gerealiseerd.

Fig. 16a geeft de pF-kromme van deze ondergrond te zien te Vredepeel. Tevens blijkt uit deze figuur dat het verloop goed overeenkomt met de kromme die door de Stiboka op het laboratorium uit ringmonsters bepaald is. Uit deze kromme valt af te lezen dat deze grond een groot deel van het beschikbare water verliest bij een toename van de vochtspanning van 40 tot 80 cm H₂O.

De pF-curve van de bouwvoor fig. 16b is samengesteld uit gegevens van HOUBEN en VAN DE SLUYS (Stiboka) 1976.

Van het gewoelde en het gefreesde object is geen goede pF-curve aanwezig, vooral niet van het losgemaakte materiaal, aangezien dit materiaal bij verzadiging in elkaar zakt. Monsters genomen tussen de woelsleuf op het gewoelde object vertonen een pF-curve, die overeenkomt met het ongestoorde profiel (HOUBEN en VAN DE SLUYS).

Uit metingen, die op het proefveld te Rolde zijn verricht blijken de pF-curven van de ondergrond per laag nogal sterk te verschillen. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door onderlinge verschillen in leemgehalte. Hier zal de pF-curve van iedere laag afzonderlijk op het laboratorium bepaald worden.

3.4. Bepaling capillair geleidingsver- mogen

Wanneer alle variabelen, behalve de onverzadigde doorlatendheid bekend zijn, kan deze laatste variabele berekend worden uit de vergelijking van Darcy:

$$v = -K \left(\frac{d\psi}{dz} + 1 \right) \quad (7)$$

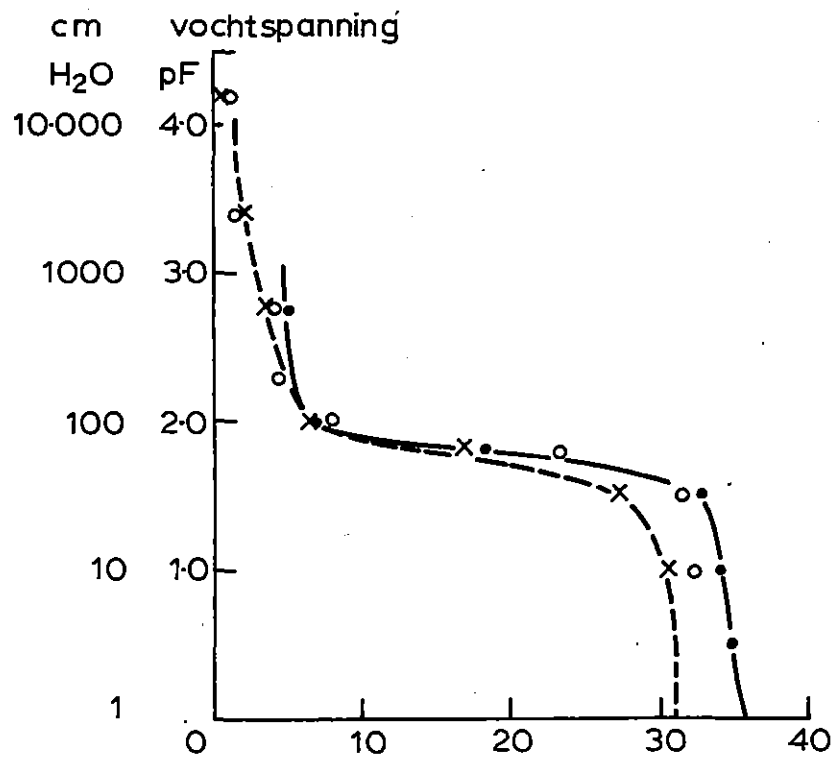


Fig. 16a. ongestoorde C horizont 50 - 100

- Veldmetingen 1977
- ×—× Veldje 0-1 (STIBOKA 1976)
- Kopakker (STIBOKA 1976)

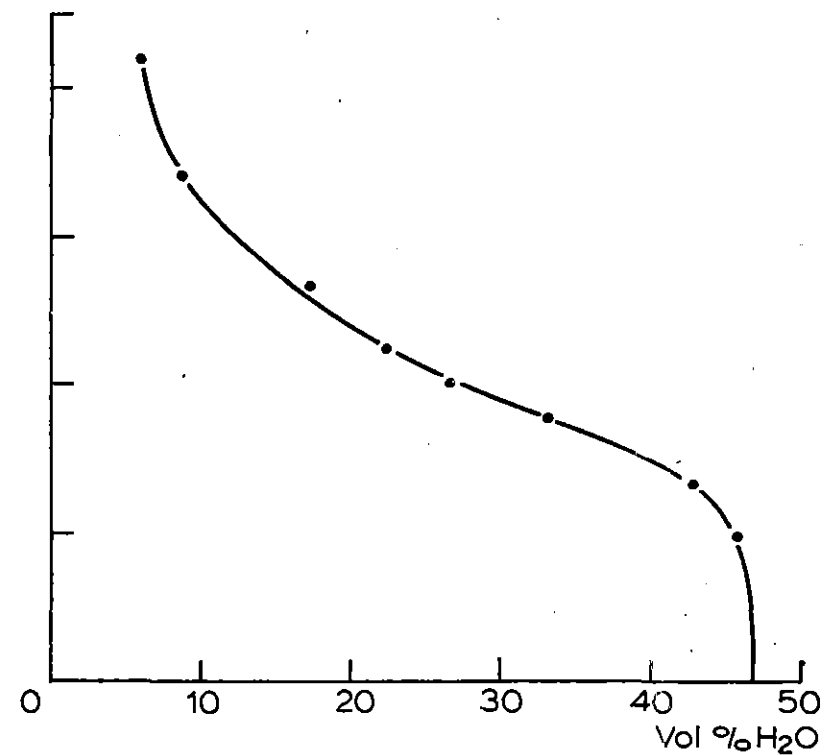


Fig. 16b. bouwvoor 0 - 35 STIBOKA 1976 veldje 0-1

hierin is:

- V = stroomsnelheid
- ψ = vochtspanning
- Z = plaatshoogte
- K = capillair geleidingsvermogen

Op opeenvolgende data is op verschillende dieptes de vochtspanning gemeten en is met de γ -transmissie methode tot circa 1,10 m het vochtgehalte bepaald. Daar nu het verband tussen de vochtspanning, ψ , en het vochtgehalte, θ , bekend is, kan op elke diepte de verandering van de vochtinhoud tussen opeenvolgende meetdata worden bepaald. We noemen het vochtgehalte op diepte z op tijdstip t: $\theta(z,t)$. De diepte van de grondwaterspiegel op tijdstip t is H(t).

Aangenomen dat een grondwaterstandsval uitsluitend wordt veroorzaakt door vochttransport in bovenwaartse richting, kan de gemiddelde stroomsnelheid tussen twee opeenvolgende meetdata op een zekere diepte in het profiel worden berekend uit:

$$\bar{V}(z,t) = - \frac{\int_0^z \{\theta(t,n) - \theta(t-\Delta t,n)\} dx}{\Delta t} \quad (8)$$

Praktisch wordt vergelijking 8 gehanteerd in gedisactiseerde vorm. Het profiel wordt daarbij opgedeeld in n laagjes. De dikte van de laagjes is d(i), i = 1, ..., n. In het midden van de laagjes is het vochtgehalte bekend. (= $\theta(i,t)$ in laagje i op tijdstip t) en de vochtspanning ($\psi(i,t)$).

Laagje 1 grenst aan maaiveld.

De vergelijking 8 kan nu als een sommatie vergelijking worden geschreven:

$$\bar{V}_{I,t} = \frac{\sum_{i=I}^n [\{\theta(i,t) - \theta(i,t-\Delta t)\} d(i)]}{\Delta t} \quad (9)$$

Berekend wordt hiermee de gemiddelde stroomsnelheid op de overgang van laagje I naar laagje I-1.

De gradient van de vochtspanning op die overgang wordt geacht de gemiddelde gradient te zijn in de periode $(t-\Delta t)-t$, en berekend met:

$$\left(\frac{\Delta\psi}{\Delta z}\right)_{I,t} = \frac{\psi(I-1,t) - \psi(I,t) + \psi(I-1,t-\Delta t) - \psi(I,t-\Delta t)}{d(I) + d(I-1)} \quad (10)$$

De gemiddelde vochtspanning in die periode in het overgangsvlak is:

$$\bar{\psi} = \frac{1}{4}\{\psi(I-1,t) + \psi(I,t) + \psi(I-1,t-\Delta t) + \psi(I,t-\Delta t)\} \quad (11)$$

Het capillair geleidingsvermogen, behorende bij de met vergelijking 11 berekende vochtspanning, wordt berekend uit:

$$K(\bar{\psi}) = - \frac{\bar{v}_{I,t}}{\left(\frac{\Delta\psi}{\Delta z}\right)_{I,t} + 1} \quad (12)$$

In het 'natte' traject kunnen de gradienten van de vochtspanning onvoldoende nauwkeurig worden bepaald en dus kan het capillair geleidingsvermogen in dat traject met onvoldoende betrouwbaarheid worden berekend.

Om in dit traject toch de $K-\psi$ relatie te bepalen, wordt de methode van GREEN en COREY (1973) toegepast.

Deze methode is gebaseerd op de veronderstelling dat de doorlatendheid van de grond bepaald wordt door de met water gevulde poriën. De poriën vormen echter geen stelsel van doorgaande poriën met steeds dezelfde diameter. Grote poriën kunnen aansluiten op poriën met dezelfde diameter of kleinere, en omgekeerd. De stroomsnelheid door poriën wordt geacht te kunnen worden beschreven met de vergelijking van Poisseuille. Aldus kan het capillair geleidingsvermogen worden geschreven als functie van de waarschijnlijkheid van op elkaar aansluitende poriën en verdeling van de grootte van de met water gevulde poriën. De bijdrage van een groep poriën aan de doorlatendheid wordt bepaald door de diameter en het relatief aantal ervan. De diameter van een porie kan worden omgezet in een vochtspanning waarbij die porie nog juist water kan bevatten:

$$\psi = \frac{2\sigma}{\rho g r} \quad (13)$$

hierin is:

- σ = kinematische viscositeit
- ρ = dichtheid van water
- g = versnelling van de zwaartekracht
- r = straal van de porie
- ψ = vochtspanning

Het verband tussen vochtgehalte en doorlatendheid in een bepaald vochtgehalte traject wordt als volgt bepaald:

In het natte traject wordt de begrenzing zodanig gekozen dat bij enkele vochtgehalten een doorlatendheid bekend is. De doorlatendheid, behorende bij het vochtgehalte net buiten de begrenzing wordt de rest doorlatendheid genoemd. GREEN en COREY stellen deze rest-doorlatendheid gelijk 0. In dit geval mag dat niet.

Het gekozen traject wordt nu opgedeeld in m gelijke vochtgehalte intervallen en de daarbij behorende vochtspanning ψ_i wordt uit de ψ - θ relatie afgelezen.

Noemen we het vochtgehalte bij $\psi = 0$. θ_{sat} , en het vochtgehalte dat het traject begrenst θ_{res} , dan is de intervalgrootte $\Delta\theta$:

$$\Delta\theta = \frac{\theta_{sat} - \theta_{res}}{m} \quad (14)$$

De doorlatendheid die hoort bij het vochtgehalte $\{\theta_{sat} - (i-\frac{1}{2})\Delta\theta\}$ is K_i , en de rest doorlatendheid, behorend bij vochtgehalte $\{\theta_{sat} - m\Delta\theta\}$, is K_{res} . Er geldt:

$$K_i = C \sum_{j \neq i}^m (2j-2i+1) \cdot \psi_j^{-2} + K_{res} \quad (15)$$

hierin is:

C te bepalen constante.

Daar in het interval m de doorlatendheid bekend is, kan C worden opgelost.

Daar nu:

$$K_m = C \cdot \psi_m^{-2} + K_{res} \quad (16)$$

is

$$C = (K_m - K_{res}) \psi_m^2 \quad (17)$$

In het droge traject wordt een andere benadering toegepast. Hier geldt nagenoeg: $K_{res} = 0$.

Het vochtgehalte traject ligt tussen

$$\theta_{up} \leq \theta \leq \theta_{res} \quad (18)$$

hierin is:

$$\begin{aligned} \theta_{up} &= \text{bovengrens vochtgehalte } (\leq \theta_{sat}) \\ \theta_{res} &= \text{restvochtgehalte } (\geq 0) \end{aligned}$$

De doorlatendheid, behorend bij het vochtgehalte in het eerste interval is bekend ($=K_{up}$), zodat de constant C in dit traject wordt opgelost uit:

$$C = K_{up} \cdot \left\{ \sum_{j=1}^m (2j-1) \psi_j^{-2} \right\}^{-1} \quad (19)$$

In de periode vanaf 6 juli tot 11 augustus 1977, viel slechts 30 mm regen. Aangenomen kan worden dat deze neerslaghoeveelheid niet van invloed is geweest op het vochtgehalte van de ondoorwortelbare ondergrond. Uit deze periode komen de gegevens, waaruit de K- ψ relatie is berekend in het vochtspanningstraject van -120 tot -60 cm H₂O.

Het natter en het droger traject is berekend uit het verloop van de pF-kromme met de methode van GREEN en COREY (1973).

In fig. 17 is de K- ψ relatie van de ongestoorde ondergrond (bodemplaat 0,50 tot 1.00 m) weergegeven van het proefveld 'Vrede-peel'.

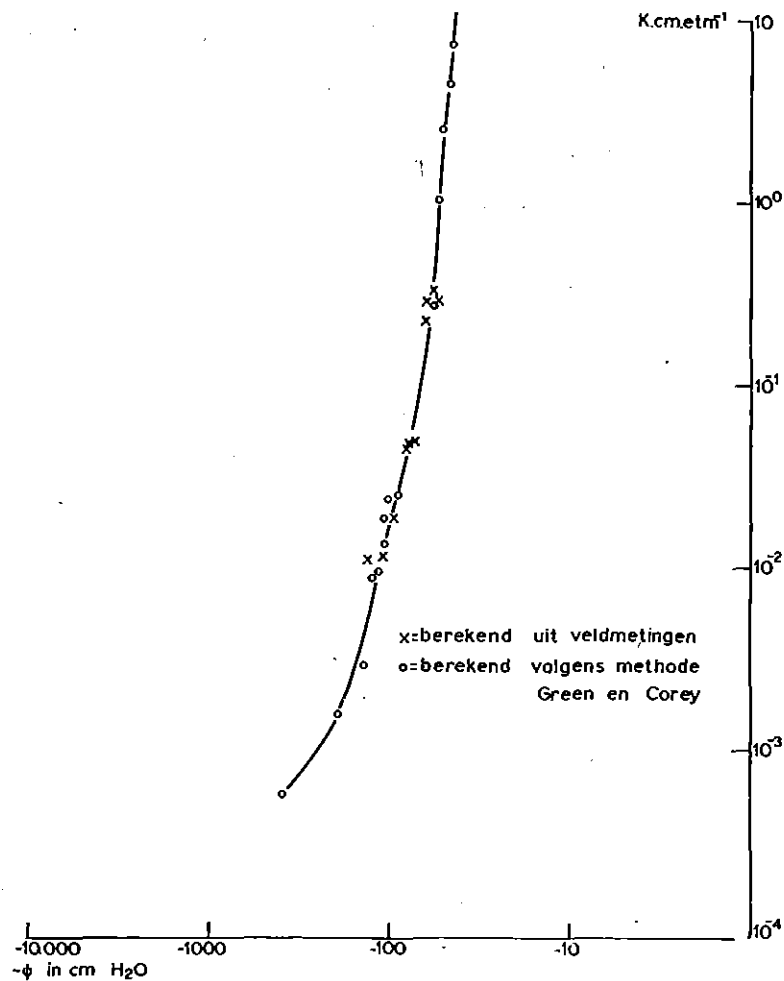


Fig. 17. Verband tussen het capillair geleidingsvermogen (K) en de vochtspanning (ψ) x = berekend uit veldmetingen o = berekend volgens methode Green en Corey

Het verloop van de K - ψ curve bij hogere zuigspanning is voor deze gronden met betrekking tot de capillaire opstijging van uitermate groot belang. Uit de K - ψ -relatie kan de afstand (z) boven de grondwaterspiegel worden berekend, tot waar bij een gegeven zuigspanning ψ capillair transport van water met een bepaalde snelheid (V) mogelijk is.

De afstanden, z , zijn berekend tot $\psi = -200$, daar zij bij een stijgsnelheid van enige betekenis, ($0,05 \text{ cm etm}^{-1}$) vanaf $\psi = -150$ nauwelijks meer toenemen.

De berekende verbanden zijn verder gevonden door numerieke integratie van:

$$\int_0^z dz = \int_{\psi(0)}^{\psi(z)} \frac{1}{V+K} d\psi \quad (20)$$

De resultaten voor verschillend capillaire opstijgsnelheden zijn in tabel 5 weergegeven.

Tabel 5. De afstand z boven de grondwaterspiegel, de zuigspanning ψ , de verticale onverzadigde doorlatendheid K en de capillaire stijgsnelheid V in de niet losgemaakte humusloze ondergrond van het proefveld te 'Vredepeel'

V (cm etm ⁻¹)	0.5	0.3	0.2	0.1	0.05	0.03	0.02	0.01	
ψ (cm)	K (cm etm ⁻¹)		z in cm						
20	20.0	19.77	19.86	19.91	19.95	19.97	19.99	19.99	20.00
40	6.80	38.94	39.35	39.57	39.78	39.89	39.93	39.96	39.98
60	0.23	52.22	54.40	55.81	57.81	57.58	58.68	59.44	59.71
80	0.049	55.32	59.03	61.97	66.85	71.21	73.85	75.50	77.51
100	0.020	56.56	61.00	64.78	71.76	79.06	84.15	87.77	92.68
120	0.099	57.10	61.88	66.07	74.18	83.35	90.40	95.84	104.13
140	0.0035	57.31	62.23	66.59	75.18	85.26	93.39	100.00	110.99
160	0.0018	57.41	62.40	66.84	75.68	86.23	94.95	102.26	115.04
180	0.0013	57.47	62.50	66.99	75.98	86.82	95.90	103.66	117.64
200	0.0009	57.51	62.57	67.09	76.18	87.23	96.58	104.66	119.55

Voor een capillaire opstijging met een snelheid van 2 à 3 mm/dag mag de afstand tussen onderkant wortelzone en de grondwaterspiegel niet groter zijn dan 65 cm.

4. VERDAMPING VAN HET GEWAS

4.1. De actuele verdamping van het gewas

Voor de berekening van de actuele verdamping, E_{act} is gebruik gemaakt van de formule:

$$E_{act} = \Delta V + N + K \quad (21)$$

Hierin is:

- E_{act} = de gemeten verdamping in mm per balansperiode
- ΔV = de verandering van de vochtinhoud van het profiel in mm per balansperiode berekend uit de gamma dichtheidsmetingen
- N = de neerslag gemeten op het proefobject in mm per balansperiode
- K = capillaire opstijging, respectievelijk wegzijging in mm per balansperiode

ΔV en N zijn berekend respectievelijk gemeten, zoals eerder is vermeld. Uit tabel 5 is voor de berekening van een eventuele nalevering van water uit de ongestoorde ondergrond door capillaire opstijging fig. 18 samengesteld. Om deze capillaire nalevering te kunnen bepalen is kennis van de maximale bewortelingsdiepte, de vochtspanning en de reeds berekende vochtonttrekking op deze diepte en de grondwaterstandsdiepte noodzakelijk.

Door kleine afwijkingen in de meetapparatuur in 1975, zijn de gemeten vochtspanningen op 150 cm -mv voor deze diepte gecorrigeerd op de hoogte boven het grondwater, ervan uitgaande, dat zo dicht boven het grondwater een schijnbare evenwichtssituatie heerst. Dit wil zeggen, is de grondwaterstand 170 cm -mv, dan is de gebruikte vochtspanning op 150 cm gelijk aan -20 cm H_2O , - (170-150).

In tabel 6 is een voorbeeld gegeven van de berekening van de capillaire nalevering van het gefreesde object, in 1975 te Vredepeel. De bewortelingsdiepte is 90 cm.

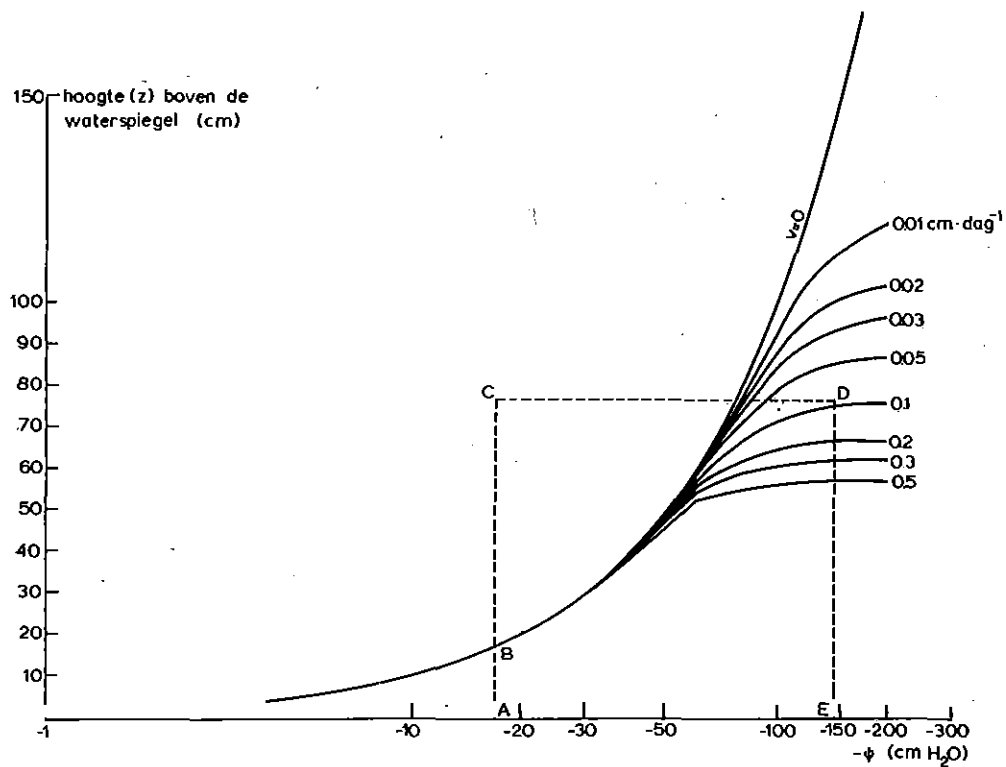


Fig. 18. Verband tussen de hoogte van de capillaire opstijging boven de grondwaterspiegel, z , en de vochtspanning ψ bij verschillende opstijgsnelheden V (cm/dag)

Tabel 6. Berekening van de hoeveelheid capillair water, dat beschikbaar is voor het gewas op het gefreesde object te Vredepeel (1975)

Datum	Vochtspanning (cm WK) op diepte:		K mm/dag	Aantal dagen	q mm	$\Sigma \theta$ op 90 en 100 cm		q_{cap} mm
	150 cm -mv	90 cm -mv				op 90 cm	op 90 cm	
20/8	14	114	0.9	8	7.2	24.4	3.4	3.8
28/8	17	147	0.9	6	5.4	21.0	1.5	3.9
3/9	18	184	0.9	7	6.3	19.5	1.4	4.9
10/9	21	629	0.8			18.1		

Overbrenging van de vochtspanning op 28/8 op 150 cm diepte ($A = 17 \text{ cm H}_2\text{O}$) op de evenwichtslijn ($v = 0$) in fig. 18, B, en optelling hierbij van de afstand tussen de beide tensiometers (60 cm) geeft een z-waarde, C, van 77 cm. Neemt men nu de vochtspanning op 90 cm diepte $E = 147 \text{ cm H}_2\text{O}$, dan zal het snijpunt D met de lijn vanuit C een waarde van v opleveren tussen 0.1 cm en 0.05 cm/dag, exactere taxatie geeft voor v een waarde $v \approx 0.09 \text{ cm/dag}$. Bij een balansperiode van 6 dagen geeft dit een q van $6 \times 0.09 = 0.54 \text{ cm}$. De onttrekking uit het profiel, op 90 en 100 cm, die reeds als verdamping berekend is, is in die periode 1.5 mm. Dus kan over deze balansperiode $5.4 - 1.5 = 3.9 \text{ mm}$ toegerekend worden aan de capillaire nalevering. Indien de vochtonttrekking uit het profiel groter is dan de berekende capillaire opstijging is dit bij E_{act} opgeteld en niet als wegzijging in mindering gebracht.

4.2. Berekening van de potentiële verdamping van het gewas

De potentiële verdamping van het gewas kan worden berekend met (RIJTEMA, 1965; FEDDES, 1971)

$$E_{\text{pot}} = \frac{\Delta + \gamma}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} (E_{\text{nat}} - E_i) + E_i \text{ mm/dag} \quad (22)$$

waarin:

Δ = de helling van de verzadigde dampspanningscurve (mm Hg/ $^{\circ}\text{C}$)

γ = de psychrometer constante ($\gamma = 0.499$, mm Hg/ $^{\circ}\text{C}$)

r_a = de externe diffusie weerstand van de atmosfeer (mm Hg.dag/mm)

r_s = de schijnbare diffusie weerstand van het gezamenlijke oppervlak van gewas en bodem (mm Hg.dag./mm)

E_{nat} = de theoretische verdamping van een nat oppervlak met dezelfde vorm en afmetingen als het werkelijk oppervlak (mm/dag)

E_i = de verdamping van het interceptiewater dat achterblijft op het werkelijk oppervlak na neerslag (mm/dag)

Voor r_a kan worden geschreven:

$$r_a = \frac{l}{f(z_o, d)U^{0.75}} = \frac{l}{0.87 \log(1+0.07)U^{0.75}} \text{ mm Hg.dag/mm} \quad (23)$$

waarin:

l = gewaslengte in cm

U = windsnelheid m/sec.

Bij een gewaslengte < 3 cm is voor $f(z_o, d)U^{0.75}$ de functie

$$0.23U^{0.75} \text{ gebruikt} \quad (12)$$

Genoemde functie kan aan de hand van gemeten gewashoogten en windsnelheden worden berekend.

De schijnbare diffusieweerstand r_s wordt gedacht opgebouwd te zijn uit drie componenten

$$r_s = r_c^1 + r_c^c + r_c^\psi \quad (\text{mm Hg.dag/mm}) \quad (24)$$

waarin:

r_c^1 = diffusieweerstand afhankelijk van de lichtintensiteit

r_c^c = diffusieweerstand afhankelijk van de geometrie van het bladoppervlak, dat wil zeggen van de fractie bodembedekking

r_c^ψ = diffusieweerstand afhankelijk van de zuigspanning in het bladweefsel

Voor de bepaling van r_c^1 en r_c^c zijn tabellen samengesteld. Voor de bepaling van r_c^ψ worden vrij ingewikkelde procedures gevolgd die buiten het kader van deze nota vallen. Zie hiervoor FEDDES en RIJTEMA (1972). Indien $r_c^\psi = 0$ (onder sommige veelal natte omstandigheden), dan bestaat r_s alleen uit de som van r_c^1 en r_c^c en wordt de zogenaamde potentiële verdamping berekend.

Wordt het gewasoppervlak als een nat oppervlak beschouwd, dan kan de maximaal mogelijke verdamping van het gewasoppervlak worden berekend (E_{nat}).

Voor E_{nat} geldt:

$$E_{nat} = \frac{\Delta H_{nt}/L_v + \gamma(\epsilon_a - e_a)/r_a}{\Delta + \gamma} \quad (25)$$

Hierin is:

H_{nt}/L_v = nette straling mm/dag

ϵ_a ; e_a = verzadigde, respectievelijk werkelijke dampspanning
 (mm Hg) gemeten op 2 m hoogte

De term E_i wordt met behulp van een tabel uit de dagtotalen van de neerslag bepaald. Voorwaarde voor E_i ; $E_i \leq E_{nat}$.

De andere variabelen hebben de reeds eerder aangegeven betekenis.

4.3. D e o p e n w a t e r v e r d a m p i n g (E_o)

is berekend met de formule van Penman:

$$E_o = \frac{\Delta H_{nt}/L_v + \gamma \{0.35(0.50 + 0.54U)\}(\epsilon_a - e_a)}{\Delta + \gamma} \text{ (mm/dag)} \quad (26)$$

De potentiële verdamping van een gewas kan hieruit ruwweg met behulp van een reductiefactor worden bepaald, welke factor onder andere afhankelijk is van plaats, seizoen en gewas:

$$E_{act} = f \cdot E_o \text{ mm/dag} \quad (27)$$

4.4. D e r e s u l t a t e n

De resultaten van het verdampingsonderzoek zijn weergegeven in de tabellen 7a t/m 7c (Vredepeel) en de tabellen 8a en 8b (Rolde).

In alle jaren, zowel te Vredepeel, als te Rolde komen er balansperioden voor, waarbij de E_{act} hoger is dan de E_{pot} . Meestal vooral in het voor- en het naseizoen, of na een periode met grote neerslag, onder andere tabel 7b, periode van 27/8 - 17/9, tabel 7c, periode 1/8 - 24/8. In enkele gevallen kunnen de gebruikte meteorologische

basisgegevens van het gebruikte K.N.M.I. hoofdstation vrij sterk afwijken van de weersomstandigheden op de proefobjecten.

De oorzaken hiervan kunnen zijn: a) Eventuele wegzijging, die toch als verdamping is gerekend, b) Foutieve schatting van de bodembedekking en daardoor een te hoge waarde van r_c^c , c) De zeer lage waarde van E_{pot} (tabel 7c) in de balansperiode 16/6 - 23/6 is toe te schrijven aan het ontbreken van zonneshijn, gedurende de gehele balansperiode, op het hoofdstation Beek, waardoor de waarde van r_c^1 erg hoog is.

In 1975 (tabel 7a) is de vochtlevering vanuit het profiel, tot een diepte van 1.00 m -mv, op de drie objecten als volgt: onbehandeld 114.5 mm, frezen 210 mm, en woelen 204.3 mm.

Uitgaande van de berekende z-afstanden (tabel 5) is op het frees-object hiervan 69.5 mm (periode 8/8 - 4/11) en op het woelobject 11.8 mm (periode 10/9 - 21/10) toegerekend aan de capillaire opstijging vanuit de ondergrond.

Door de grote droogte en het warme zomerweer in 1975, in de periode van 25/7 tot half september zijn de reducties van de E_{act} ten opzichte van de E_{pot} op het onbehandelde groter dan op de objecten met een diepe grondbewerking. Hoewel de onderlinge verschillen tussen E_{act} groter zijn dan die tussen E_{pot} . Dat de reductie van E_{pot} op het onbehandelde niet zo hoog is hangt waarschijnlijk samen met de moeilijke taxatie van de bodembedekking, van het in die periode zeer slap hangende gewas.

In de abnormaal droge en warme zomer van 1976, wat onder andere blijkt uit de hoge waarde van E_o (tabel 7b en tabel 8a), te Vredepeel nog droger dan te Rolde en de geringere vochtvoorraad te Vredepeel bij het begin van het groeiseizoen (fig. 4a t/m 6c) dan te Rolde (fig. 10a t/m 12b) zijn er sterke reducties van de E_{act} ten opzichte van de E_{pot} opgetreden. Om het gewas nog enigszins produktief te houden en om nog iets zinnigs te kunnen meten is zoals in tabel 8b aangegeven te Vredepeel vier keer berekend met een totale regengift van 215 mm, desondanks is de berekening tussen 26/6 en 19/8 (totaal 90 mm) onvoldoende geweest, vanwege de te geringe vochtvoorraad in het profiel. Het groeiseizoen is voor het gewas waspeen, door de te trage groei ook veel te lang geweest (oogst normaal eind augustus).

Tabel 7a De berekende verdamping van het gewas, 1975 Vredepeel suikerbieten

Epot volgens Rijtema, Feddes, Eact volgens waterbalans, de berekende open water verdamping E_o volgens Penman en de neerslag gemeten ter plaatse, in mm per balansperiode.

balans- periode	aantal dagen	N	Eo	Onbehandeld		Frezen		Woelen		
				Eact	Epot	Eact	Epot	Eact	Epot	
11/5-21/5	10	9.5	33.8		18.0		18.0		18.0	
21/5- 1/6	11	-	41.3		14.4		13.4		14.4	
1/6-11/6	10	12.7	41.3		17.1		17.4		17.1	
11/6-25/6	14	31.2	48.7	44.6	44.1	51.8	44.1	64.5	44.1	
25/6-11/7	16	54.2	67.4	68.0	102.6	66.3	100.0	71.4	102.9	
11/7-25/7	14	29.0	54.6	46.6	76.4	38.2	75.3	49.0	76.4	
25/7- 8/6	14	6.6	63.7	47.0	101.1	62.2	100.2	70.0	100.2	
8/8-13/8	5	0.4	20.3	18.0	25.6	30.4	32.7	24.7	31.3	
13/8-28/8	15	16.7	48.8	33.4	53.0	38.0	66.0	48.9	63.0	
28/8-10/9	13	1.5	33.5	17.6	38.1	21.3	47.5	9.1 ^a	44.3	
10/9-24/9	14	33.6	32.2	12.9	42.2	34.7	46.7	34.3	45.6	
24/9- 7/10	13	42.1	25.5	19.3	24.5	38.9	25.6	29.9	25.4	
7/10-21/10	14	6.3	11.6	25.6	9.1	32.5	9.4	13.6	9.4	
21/10-4/11	14	5.9	6.0	9.0	8.0	23.2	8.1	16.4	8.1	
totaal										
vanaf 11/6	146	227.5	412.3	342.0	524.7	437.5	555.6	431.8	550.7	

^a waarden onwaarschijnlijk laag

Tabel 7b idem 1976 Vredepeel waspeen

Balans- periode	aantal dagen	N	Eo	onbehandeld		Frezen		Woelen		opmerkingen
				Eact	Epot	Eact	Epot	Eact	Epot	
21/5 - 10/6	20	17.4	70.6	35.3	36.6	24.2	36.6	26.2	36.6	
10/6 - 24/6	14	8.5	71.5	39.4	48.7	40.5	44.7	45.8	47.7	
24/6 - 16/7	22	62.2 [⊗]	137.9	82.6	167.6	78.7	140.5	91.4	157.9	⊗ berekening op 26/6 50 mm
16/7 - 6/8	21	65.9 [⊗]	71.4	70.0	74.0	59.8	75.5	59.5	79.2	⊗ berekening op 20/7 40 mm
6/8 - 27/8	21	75.0 [⊗]	90.4	59.5	98.1	52.1	127.1	54.1	108.3	⊗ berekening op 19/8 75 mm
27/8 - 17/9	21	88.1 [⊗]	49.1	62.3	42.5	75.5	51.0	66.3	39.7	⊗ berekening op 29/8 50 mm
17/9 - 1/10	14	20.0	26.7	8.7	24.4	6.8	26.4	16.5	21.6	
Totaal	133	337.1	517.6	357.8	491.9	337.6	501.8	359.8	491.0	berekening 215 mm

Tabel 7c idem 1977 Vredepeel aardappelen

balans- periode	aantal dagen	N	Eo	Onbehandeld		Frezen		Woelen	
				Eact	Epot	Eact	Epot	Eact	Epot
26/5 - 6/6	11	1.2	42.5	16.0	14.2	21.3	14.2	9.0	14.2
6/6 - 16/6	10	52.9	38.9	28.2	23.6	28.7	21.5	25.5	25.6
16/6 - 23/6	7	0.2	10.9	15.9	3.7	12.5	3.5	20.6	4.1
23/6 - 30/6	7	16.9	27.0	24.4	26.5	25.7	21.9	24.7	32.5
30/6 - 6/7	6	14.2	28.8	25.0	37.0	18.7	25.2	25.6	44.8
6/7 - 14/7	8	0	37.4	38.2	50.4	29.5	43.1	45.1	55.0
14/7 - 21/7	7	14.8	25.1	21.7	29.1	24.4	27.1	31.8	30.9
21/7 - 28/7	7	9.8	19.7	17.8	13.9	13.0	13.8	15.2	14.3
28/7 - 4/8	7	2.0	22.1	10.0	23.3	10.7	22.8	10.8	27.0
4/8 - 11/8	7	5.8	27.4	11.6	31.5	7.5	30.9	9.8	38.9
11/8 - 24/8	13	93.8	26.1	12.8	21.1	50.9*	20.8	23.3	21.6
24/8 - 1/9	8	11.1	22.8	25.0*	23.7	4.8	19.0	12.7	21.8
1/9 - 8/9	7	1.2	18.5	8.5	13.2	10.7	11.2	4.7	12.3
8/9 - 20/9	12	0.7	21.5	17.8	8.6	17.8	7.9	21.5	8.5
totaal	117	224.6	368.7	272.9	319.8	276.2	282.9	280.3	351.5

* waarden onwaarschijnlijk hoog

Tabel 8a idem 1976 Rolde suikerbieten

balans- periode	aantal dagen	N	Eo	onbehandeld		mengwoelen		Woelen	
				Eact	Epot	Eact	Epot	Eact	Epot
11/5 - 4/6	24	34.2	73.7		31.9		31.9		31.9
4/6 - 11/6	7	0	34.9	15.6	13.6	8.5	13.6	10.6	13.6
11/6 - 23/6	12	18.7	51.5	19.3	32.9	18.8	31.1	18.8	31.1
23/6 - 30/6	7	0	38.6	29.0	44.4	24.2	43.4	26.5	43.2
30/6 - 7/7	7	0	44.2	24.0	64.3	24.7	74.0	25.0	74.0
7/7 - 14/7	7	2.7	34.2	28.9	43.8	15.7	51.9	24.1	52.1
14/7 - 21/7	7	4.7	28.4	20.7	35.4	23.5	41.4	26.8	41.7
21/7 - 29/7	8	23.1	34.7	20.6	45.7	19.8	50.5	26.8	56.9
29/7 - 5/8	7	23.7	18.7	16.1	20.5	17.5	20.8	19.4	23.2
5/8 - 12/8	7	0.3	23.6	5.8	28.5	11.8	29.0	14.6	33.7
12/8 - 19/8	7	0	26.8	9.7	31.9	10.9	32.6	17.1	39.5
19/8 - 2/9	14	21.5	45.9	16.6	61.0	25.7	56.3	28.0	67.4
2/9 - 16/9	14	24.6	29.5	23.2	27.7	19.6	28.0	24.0	29.3
16/9 - 30/9	14	19.1	21.2	16.8	19.0	13.5	19.1	21.8	20.1
30/9 - 14/10	14	32.1	12.1	13.4	11.1	10.6	11.1	19.4	11.5
14/10- 27/10	13	5.5	7.2	7.6	6.2	8.3	6.2	9.2	6.4
27/10- 9/11	13	19.4	4.8	12.0	5.9	8.2	5.9	10.7	6.0
totaal vanaf 4/6	158	195.4	456.3	279.3	491.9	261.3	514.9	322.8	549.7

bij het onbehandelde object Δ V beneden 80 cm als wegzijging gerekend

Tabel 8b idem 1977 Rolde aardappelen

balans- periode	aantal dagen	N	Eo	onbehandeld		mengwoelen		woelen	
				Eact	Epot	Eact	Epot	Eact	Epot
21/5 - 1/6	11	0	50.9		16.5		16.5		16.5
1/6 - 10/6	9	10.5	26.6	12.9	13.1	13.3	12.9	18.0	12.9
10/6 - 17/6	7	37.1	31.5	13.6	29.6	22.9	30.9	24.4	29.4
17/6 - 28/6	11	1.1	33.6	32.2	24.4	20.6	24.5	27.2	24.3
28/6 - 5/7	7	20.0	27.5	21.9	37.5	19.8	37.7	17.2	37.4
5/7 - 12/7	7	0.7	32.8	28.1	45.6	22.1	45.8	31.2	45.5
12/7 - 18/7	6	7.0	19.7	15.0	25.5	18.8	25.5	16.5	25.5
18/7 - 26/7	8	20.3	25.0	14.0	22.6	19.4	22.6	36.5	22.6
26/7 - 2/8	7	16.1	20.8	15.9	20.3	20.4	20.3		20.3
2/8 - 16/8	14	44.1	36.6	40.3	32.0	32.5	32.1	26.0	32.0
16/8 - 30/8	14	39.1	31.1	19.0	36.0	30.2	34.2	28.2	36.7
30/8 - 13/9	14	24.9	30.0	30.9	25.2	21.8	21.0	14.0	23.8
13/9 - 21/9	8	1.7	14.3	11.7	16.6	11.8	9.8	6.5	14.9
21/9 - 28/9	7	0	10.7	8.2	8.4	13.8	5.3	7.9	7.1
28/9 - 11/10	13	59.7	13.7	13.4	13.3	10.8	12.9	26.8	13.1
totaal vanaf 1/6	132	282.3	353.9	277.1	350.1	278.2	335.5	280.4	345.5

De vochtonttrekking te Vredepeel (tabel 7b) bedroeg op de objecten onbehandeld en woelen circa 20 mm en op het gefreesde ≈ 0 mm.

Te Rolde (tabel 8a) springt de vochtonttrekking er bij woelen met 127.4 mm duidelijk uit. De vochtonttrekking op het onbehandelde was 83.9 mm en bij het mengwoelobject 65.9 mm.

In 1977 zijn de onderlinge verschillen in de actuele verdamping zowel te Vredepeel (tabel 7c) als te Rolde (tabel 8b) op alle objecten zeer klein. Dit geldt ook voor de neerslagtotalen, mits te Rolde de laatste balansperiode buiten beschouwing gelaten wordt. Te Vredepeel daarentegen komen grote verschillen voor in de E_{pot} .

De neerslagverdeling was te Rolde ook regelmatigiger dan te Vredepeel. De vochtleverantie vanuit het profiel lag te Vredepeel rond de 50 mm en te Rolde was er een kleine vochttoename.

De reducties in de E_{act} ten opzichte van de E_{pot} waren te Vredepeel vooral in de periode van 28/7 tot 11/8 vrij groot. Te Rolde lag deze periode van 28/6 tot 18/7. Over het algemeen is de verdamping in 1977 lager geweest dan in 1975 en 1976.

Voor een uitvoerige beschrijving van de opbrengsten wordt verwezen naar I.C.W. nota 1040.

5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Doel van de diepere grondbewerking is, om de te dichte ondergrond los te maken, zodat deze toegankelijk is voor de plantwortels. Daardoor ontstaat een verkleining van de afstand tussen de plantwortels en het grondwater, zodat er eventueel extra water voor de plant beschikbaar komt door capillaire opstijging vanuit het grondwater. In principe is de bewortelingsdiepte gelijk aan de bewerkingsdiepte.

Op beide proefvelden is er in alle jaren, met uitzondering van 1975 te Vredepeel op het freesobject en in mindere mate op het woelobject, ook op de objecten met een diepere grondbewerking een reductie

voorgekomen in de actuele verdamping, omdat de afstand tussen de maximale bewortelingsdiepte en het grondwater te groot was.

Het begin van de droogteperiode viel in 1975 later in het seizoen (eind juli) toen de maximale bewortelingsdiepte op het freesobject (90 cm) en het woelobject (70 à 80 cm) reeds bereikt was. Daardoor is in 1975 wel geprofiteerd door het gewas van capillair water. Dus alleen in 1975 is de vochtlevering door diepere grondbewerking te Vredepeel positief geweest.

Te Rolde is door een te diepe grondwaterstand (> 200 cm) geen sprake van beschikbaar capillair water, wel zou door een diepere beworteling, op de losgemaakte objecten, extra water beschikbaar kunnen komen vanuit de leemlaag, die daar op een diepte van 90 à 110 cm -mv voorkomt.

Uit de resultaten tot nu blijkt dat diepere grondbewerking geen alternatief is voor beregening.

Verder onderzoek zal moeten uitwijzen hoeveel water er eventueel door de daling van het grondwater door wegzijging verdwijnt, vooral op de niet behandelde objecten en ook op het losgemaakte deel bij zware regenbuien.

LITERATUUR

- BAKKER, J.W., 1975. Tensiometers materialen en reactie snelheden van systemen. Nota I.C.W. 847
- C.D., Jaarverslag 1976
- ENDRÖDI, G. and P.E. RYTEMA, 1969. Calculation of evapotranspiration from potatoes. Neth.J.Agric.Sci. 17:283-299. Techn.Bull. I.C.W. 69
- FEDDES, R.A., 1971. Water, heat en crop growth. Med. Landbouw-hogeschool 71.12:184 p.p.
- _____ and P.E. Rijtema, 1972. Water withdrawal by plantroots. Techn.Bull. I.C.W. 83. J.Hydr. 17:33-59
- LUXMOORE, R.J., 1973. Application of the Green and Corey method for computing hydraulic conductivity in hydrolic modelling, Oak Ridge National Laboratory
- HOUBEN, J.M.M.TH. en VAN DER SLUIJS, P. Verslagen van 1975, 1976, 1977 van het proefveld diepe grondbewerking op de proefboerderij 'Vredepeel' intern rapport Stichting voor Bodemkartering, Wageningen
- RIJTEMA, P.E., 1965. An analysis of actual evapotranspiration. Agric. Res. Rep. 659: pp. 107. Pudoc Wageningen
- _____ 1969. The calculation of non-parallelism of gamma access tubes, using soil sampling data. J. Hydrol. 9 : 206-212. Techn. Bull. I.C.W. 67
- RYHINER, A.H. and J. Pankow, 1969. Soil moisture measurements by the gamma transmission method. J. Hydrol. 9 : 194-205. Techn. Bull. I.C.W. 66
- SILVA, W., Vergelijking van de vochtspanning, gemeten in situ met behulp van de pressure transducer, met de uit de pF-curve afgeleide waarden. Nota I.C.W. 988
- VERHAEGH, W.B. Het verkrijgen en handhaven van vochtspanningen in grond met behulp van tensiometers. Nota I.C.W. 796

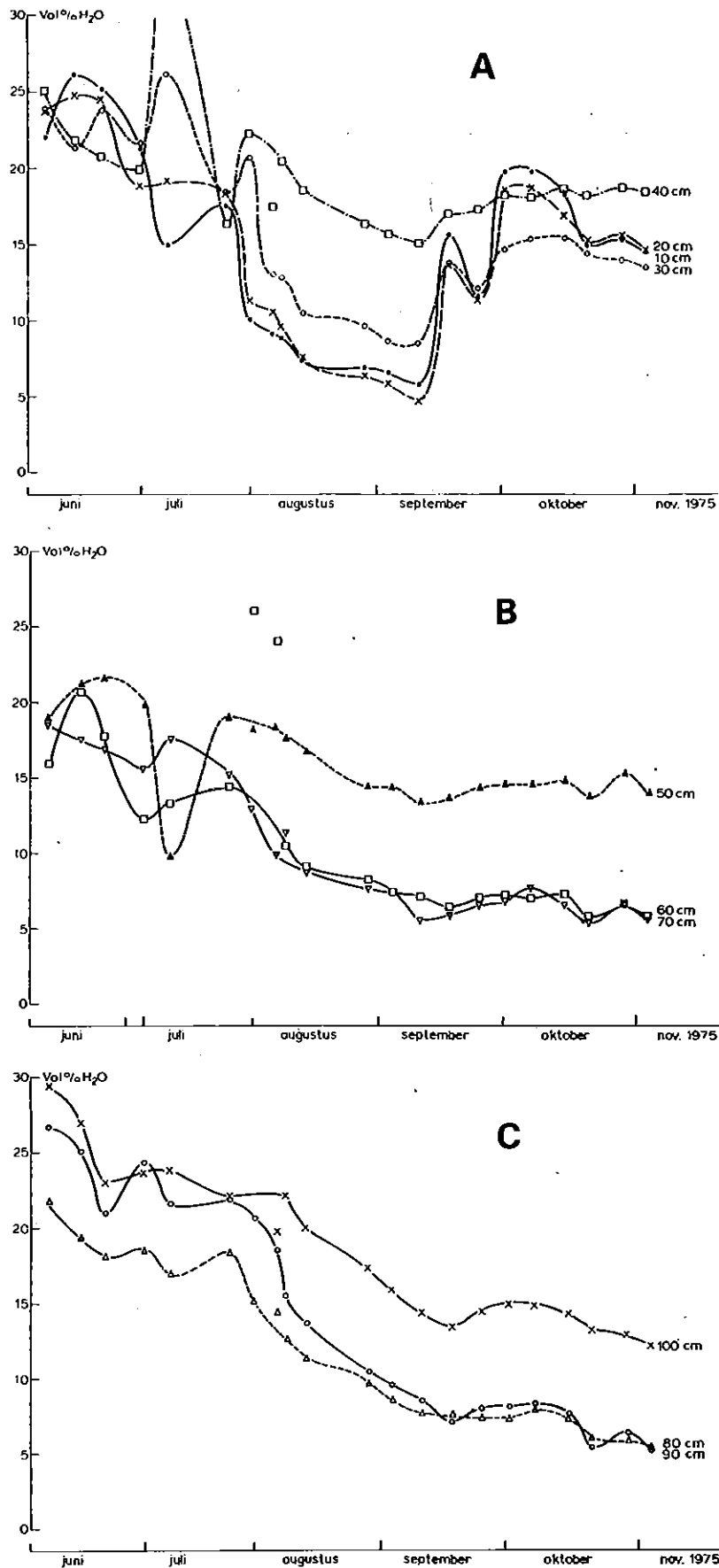


Fig. 1. Verloop van het vochtgehalte (vol. % H₂O) tijdens het groeiseizoen op verschillende diepten. Vredepeel 1975 onbehandeld.

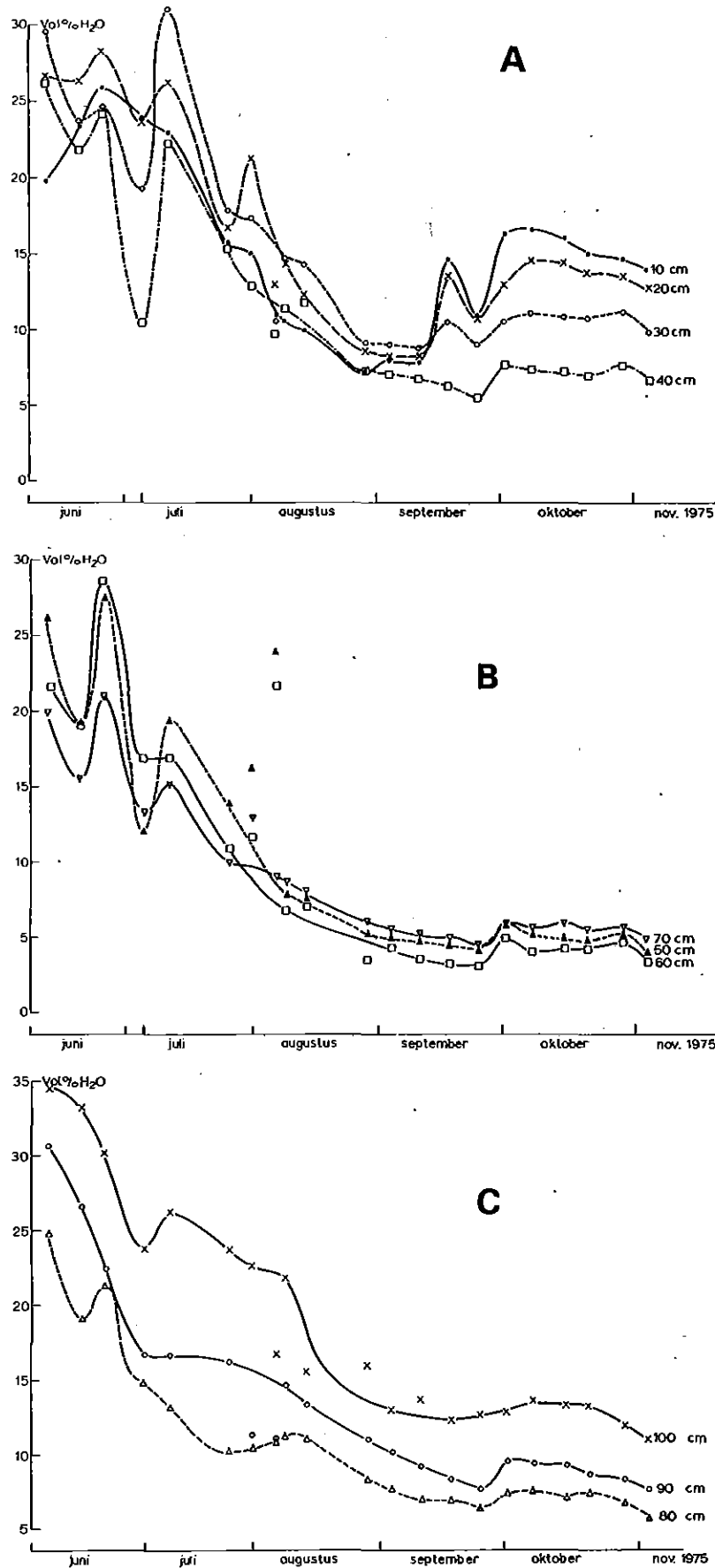


Fig. 2. Verloop van het vochtgehalte (vol. % H₂O) tijdens het groeiseizoen op verschillende diepten. Vredepeel 1975 woelen.

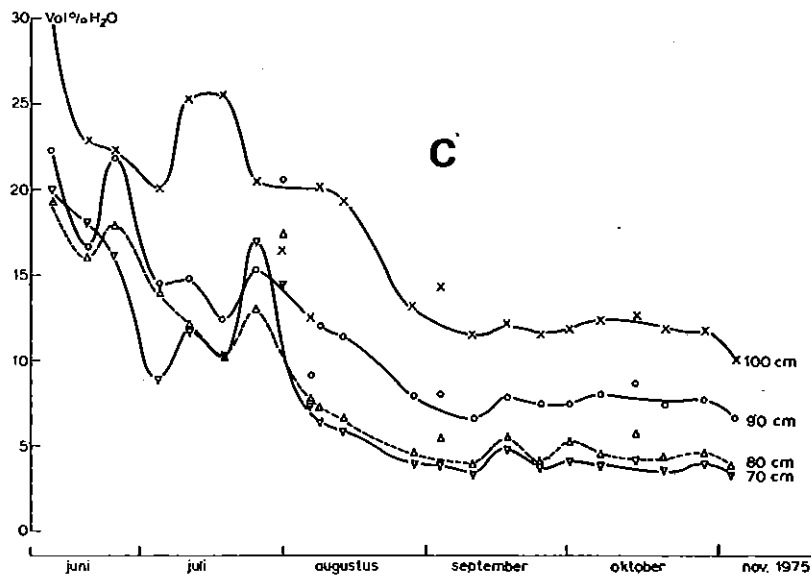
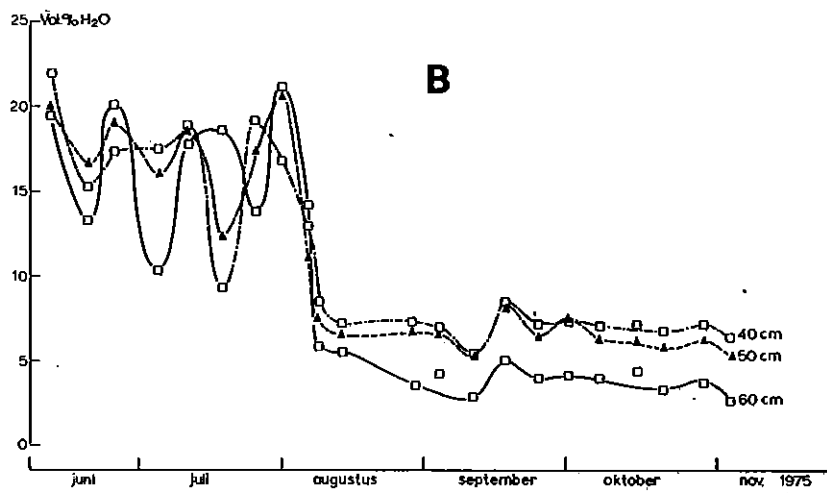
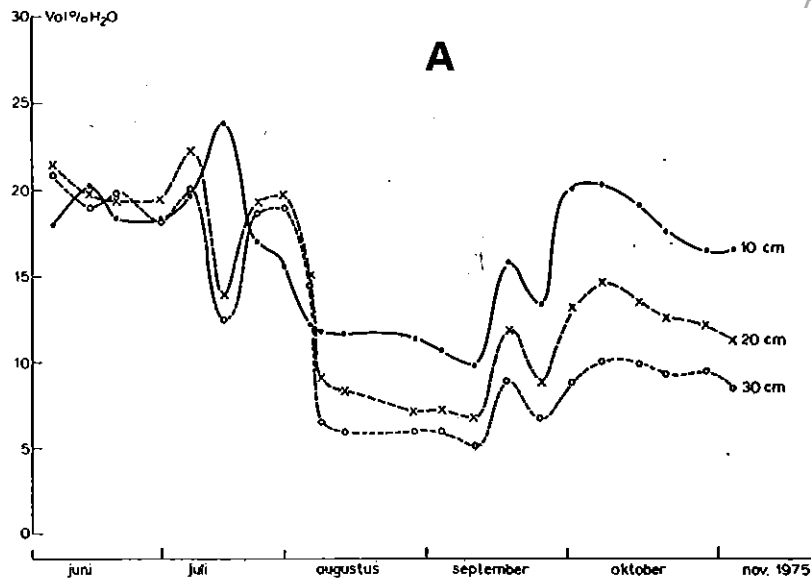


Fig. 3. Verloop van het vochtgehalte (vol. % H₂O) tijdens het groeiseizoen op verschillende diepten. Vredepeel 1975 frezen.

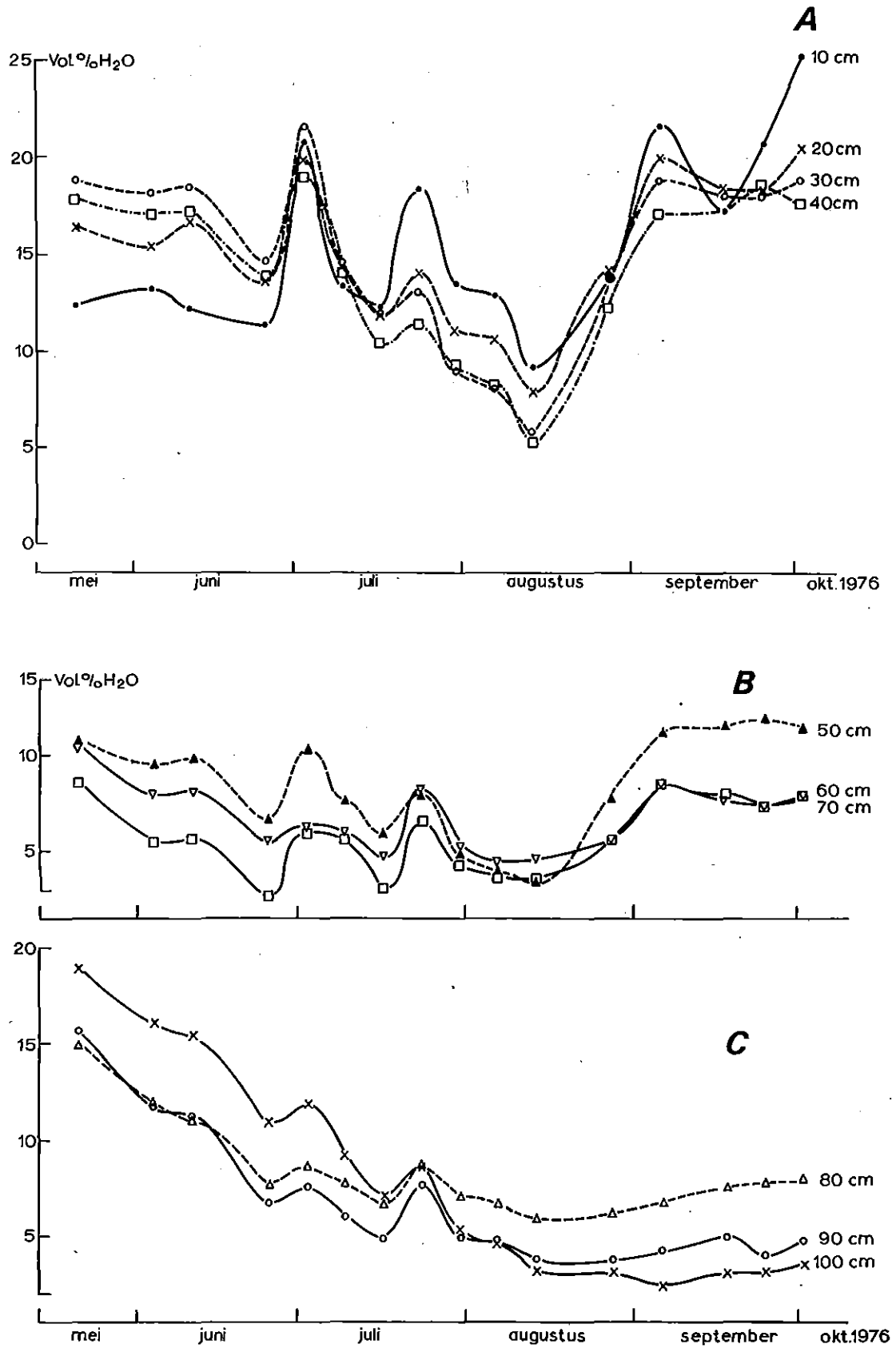


Fig. 4. Verloop van het vochtgehalte (vol.% H₂O) tijdens het groeiseizoen op verschillende diepten. Vredepeel 1976 onbehandeld.

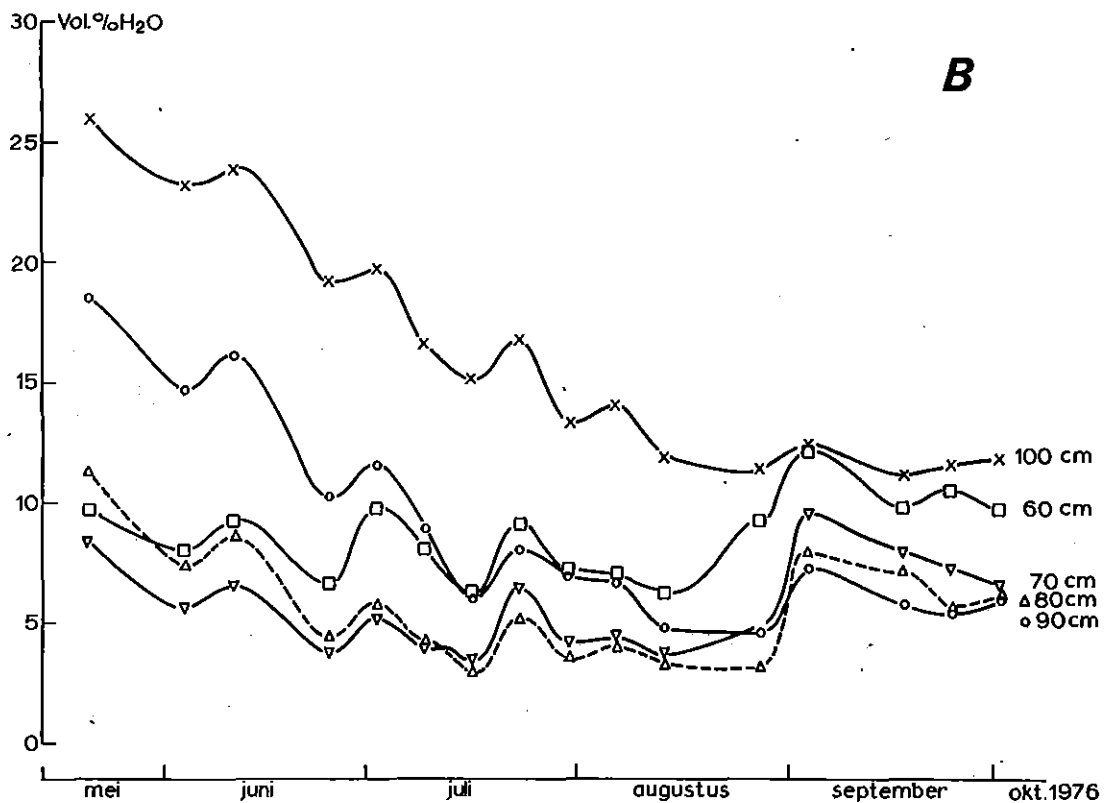
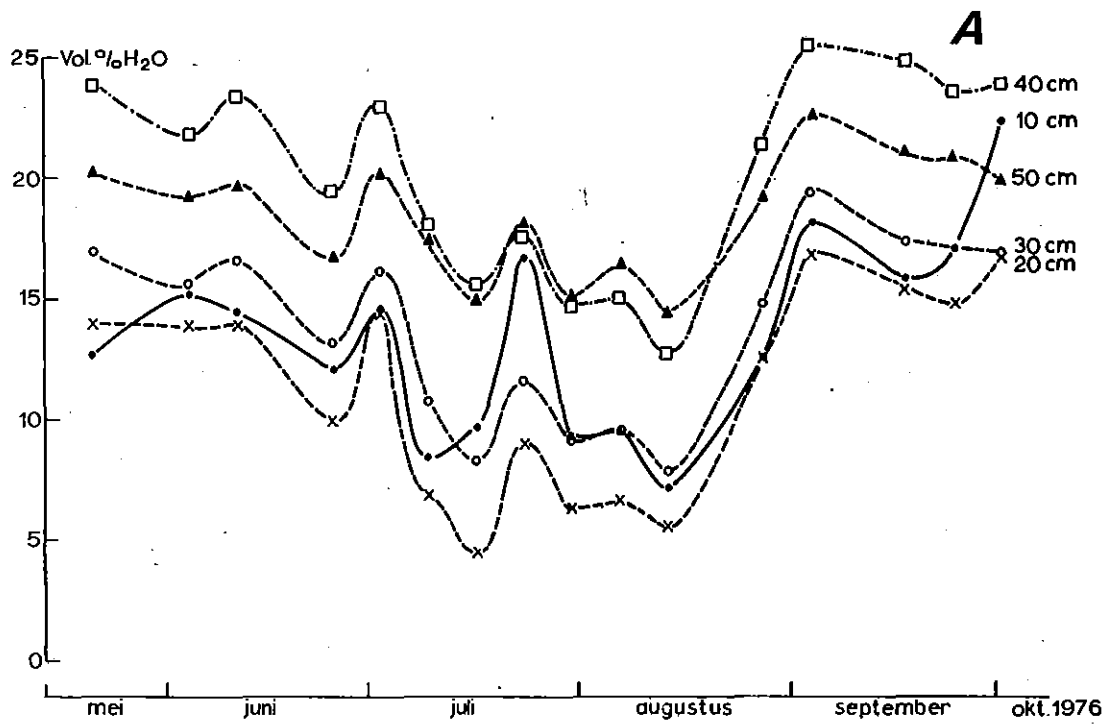


Fig. 5. Verloop van het vochtgehalte (vol,% H₂O) tijdens het groeiseizoen op verschillende diepten. Vredepeel 1976 woelen.

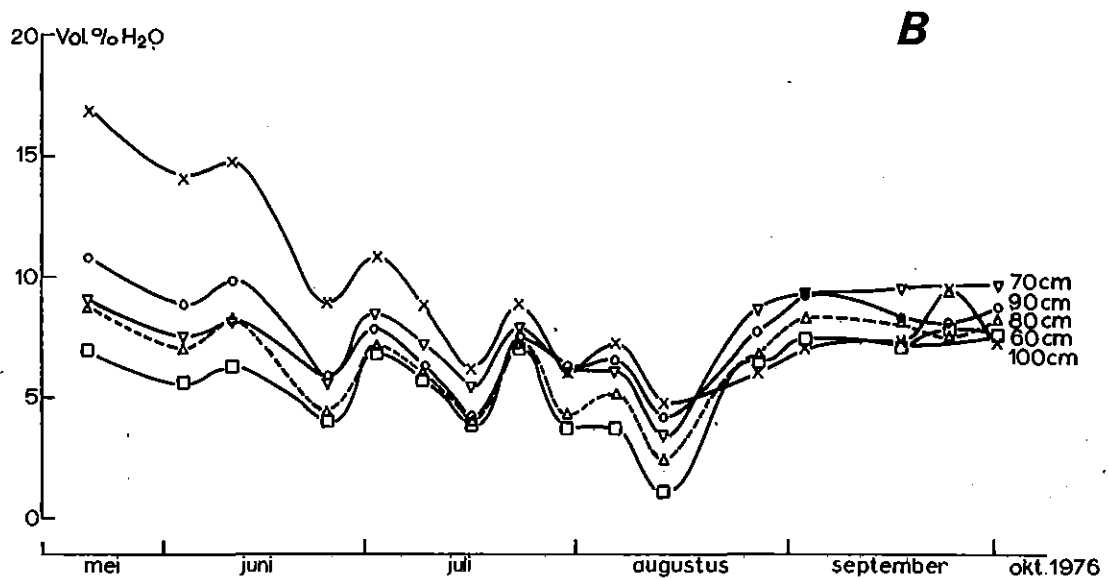
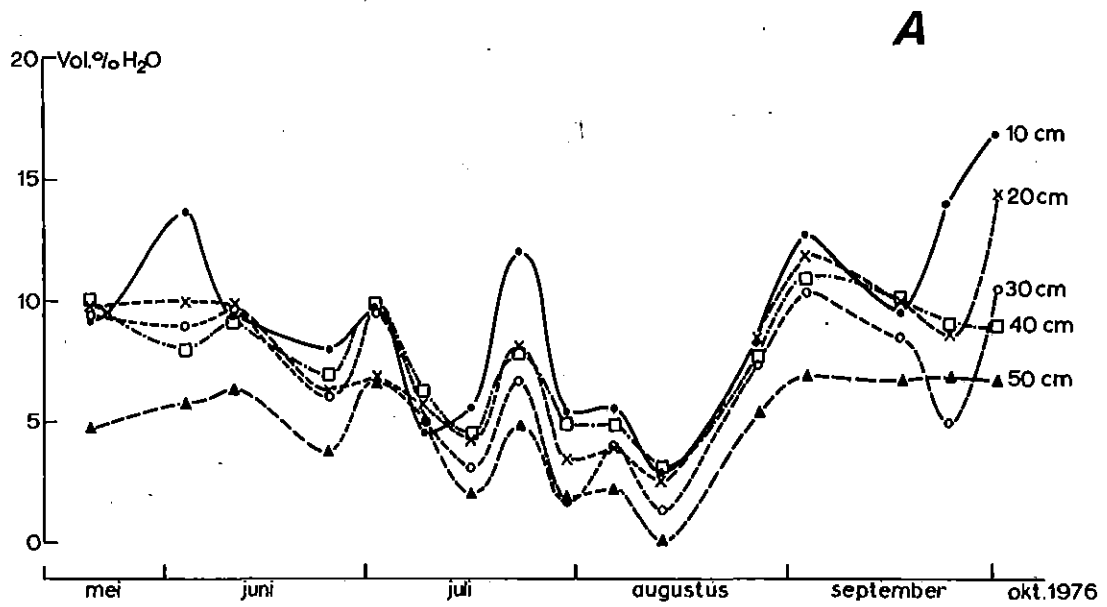


Fig. 6. Verloop van het vochtgehalte (vol.% H₂O) tijdens het groeiseizoen op verschillende diepten. Vredepeel 1976 frezen.

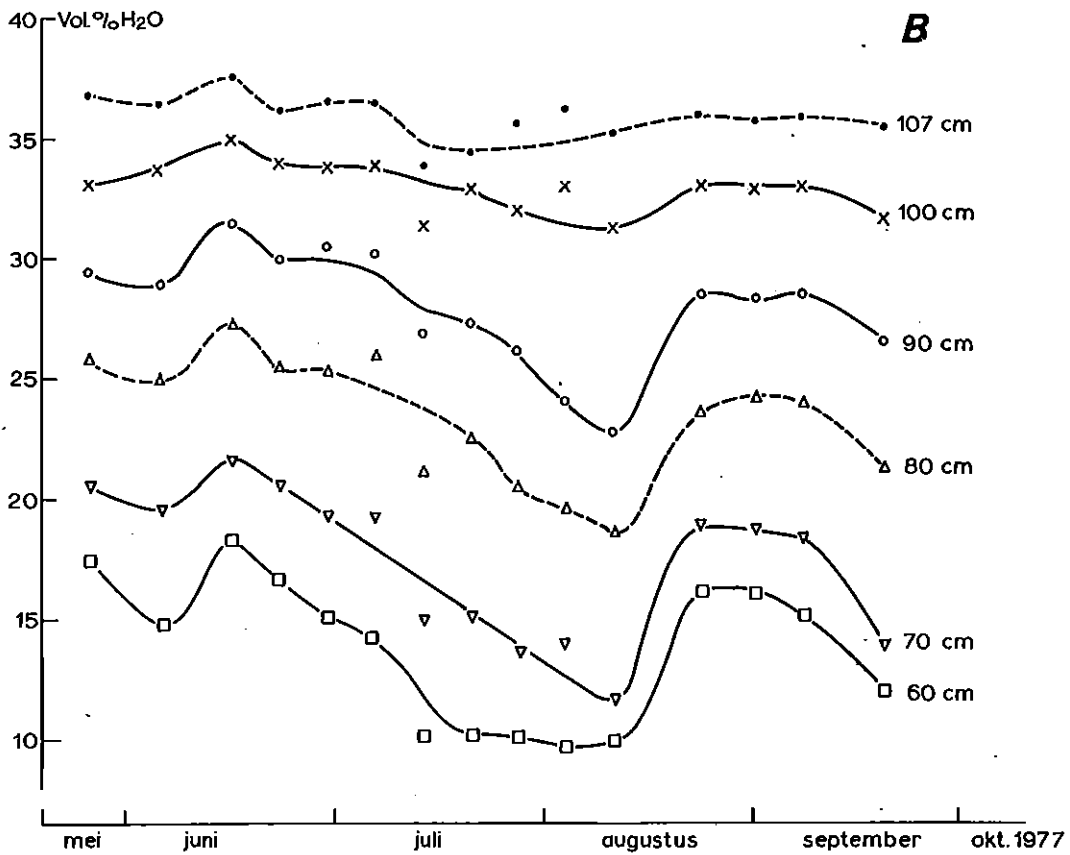
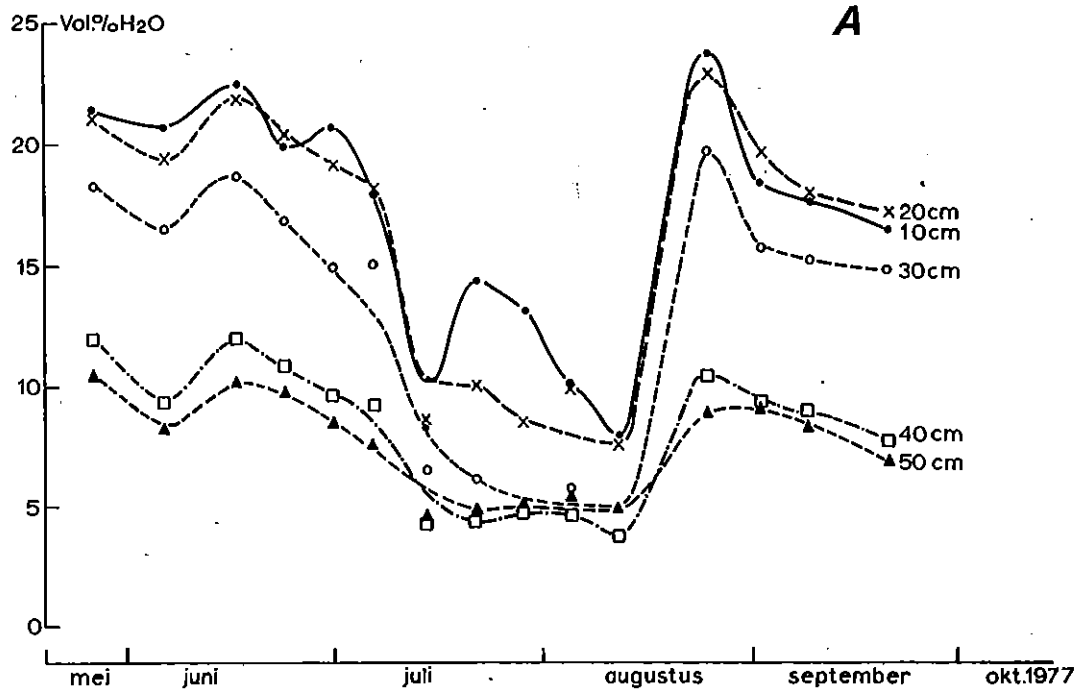


Fig. 7. Verloop van het vochtgehalte (vol. % H₂O) tijdens het groeiseizoen op verschillende diepten. Vredepeel 1977 onbehandeld.

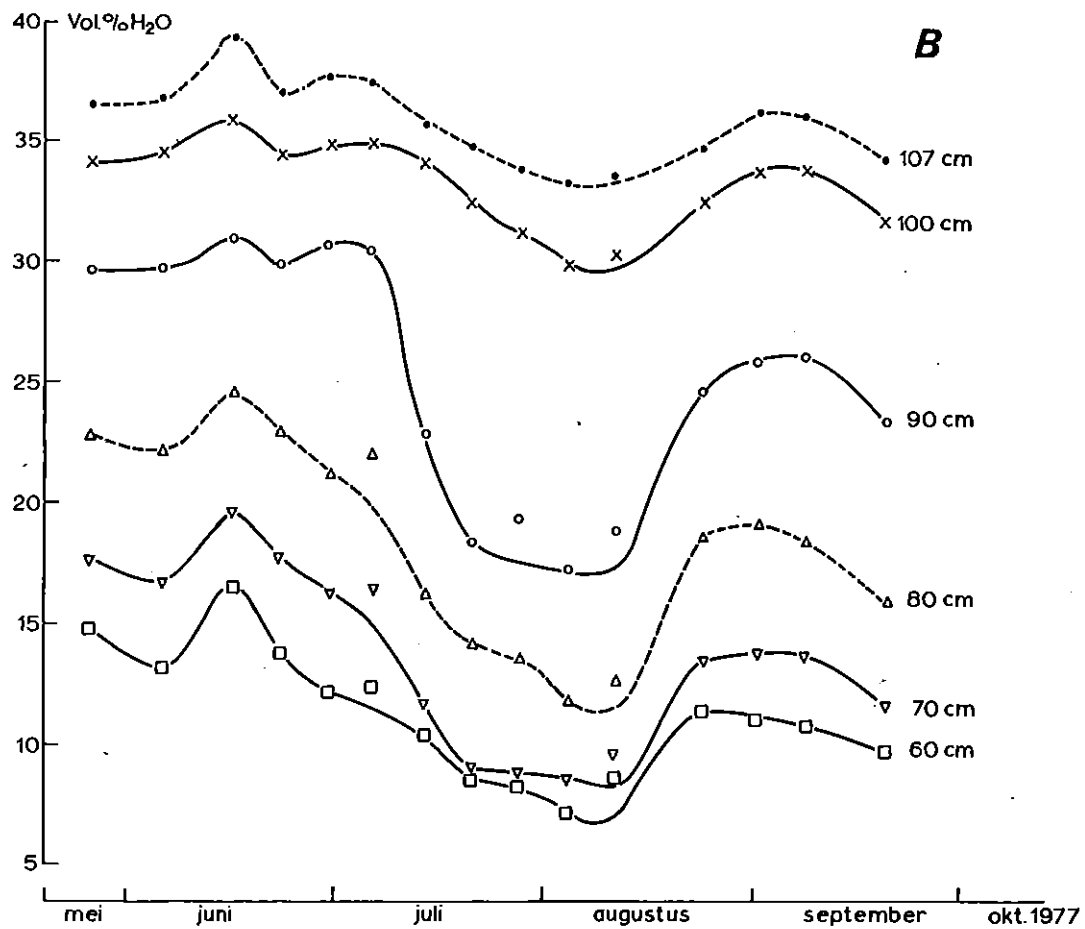
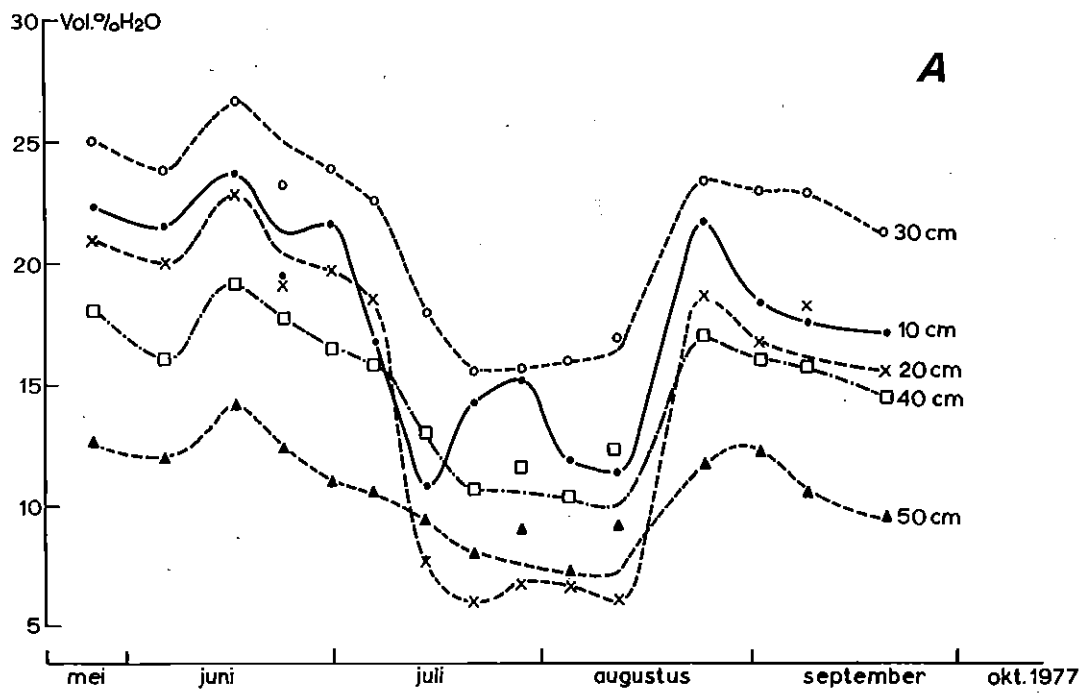


Fig. 8. Verloop van het vochtgehalte (vol. % H₂O) tijdens het groeiseizoen op verschillende diepten. Vredepeel 1977 woelen.

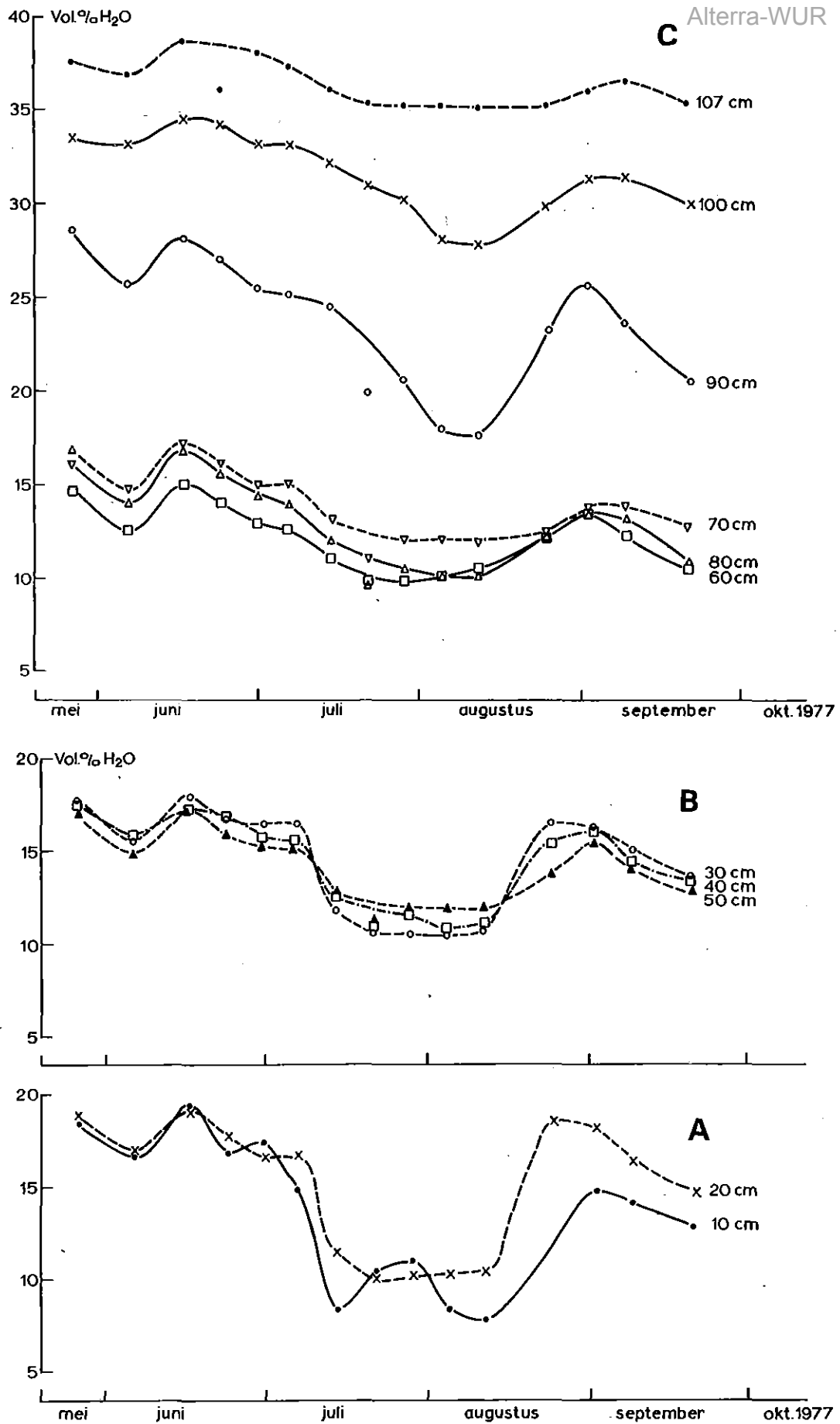


Fig. 9. Verloop van het vochtgehalte (vol. % H₂O) tijdens het groeiseizoen op verschillende diepten. Vredepeel 1977 frezen.

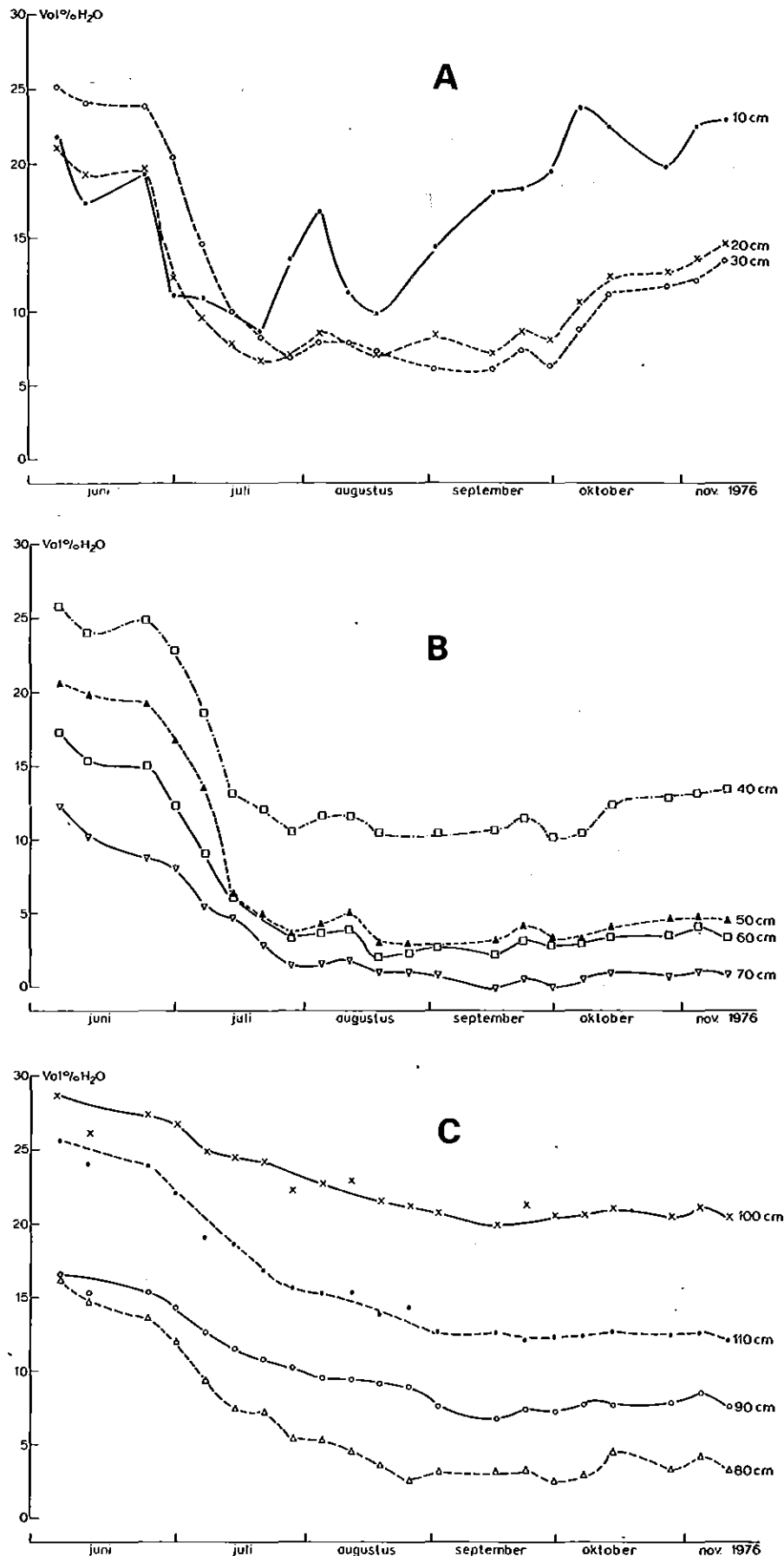


Fig. 10. Verloop van het vochtgehalte (vol. % H₂O) tijdens het groei-
seizoen op verschillende diepten.
Rolde 1976 onbehandeld.

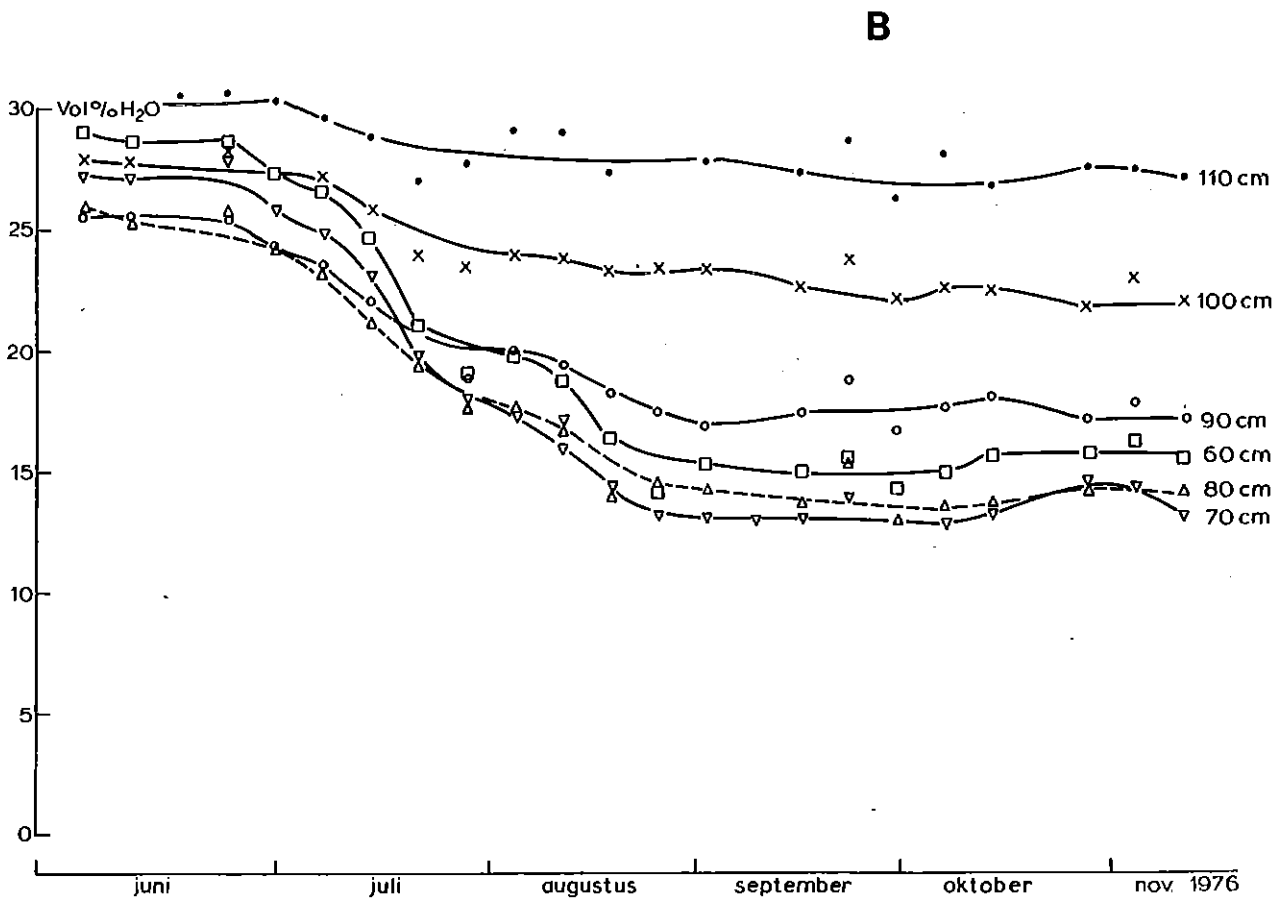
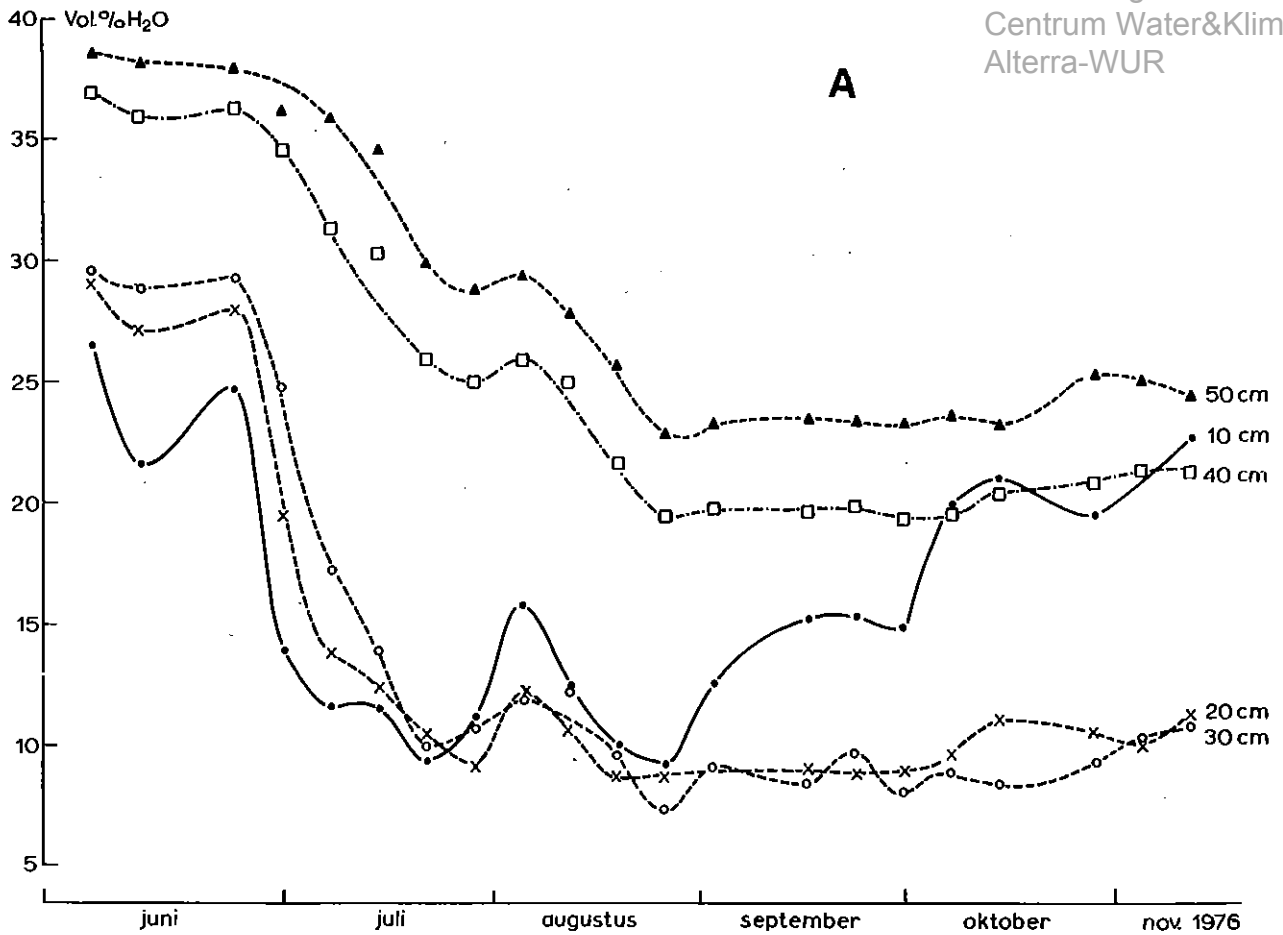


Fig. 11. Verloop van het vochtgehalte (vol. % H₂O) tijdens het groeiseizoen op verschillende diepten. Rolde 1976 woelen.

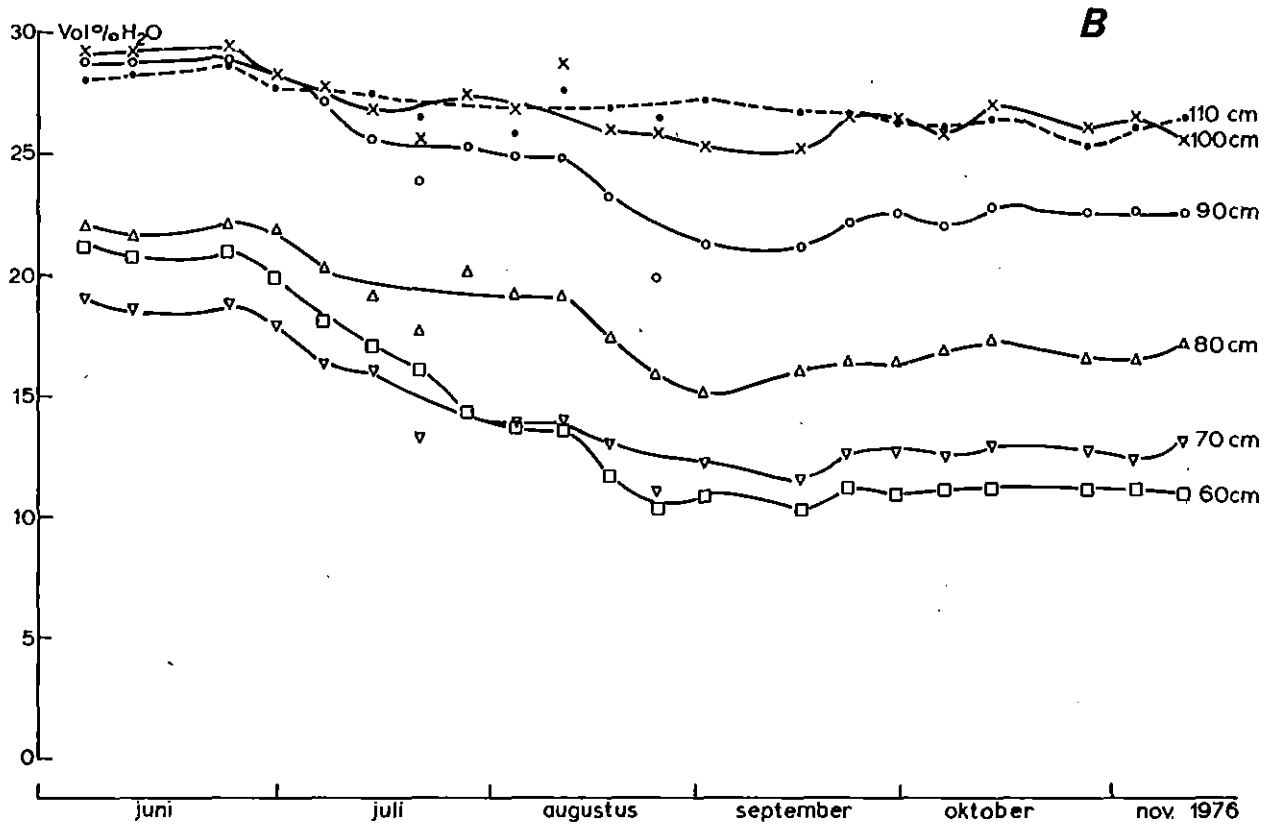
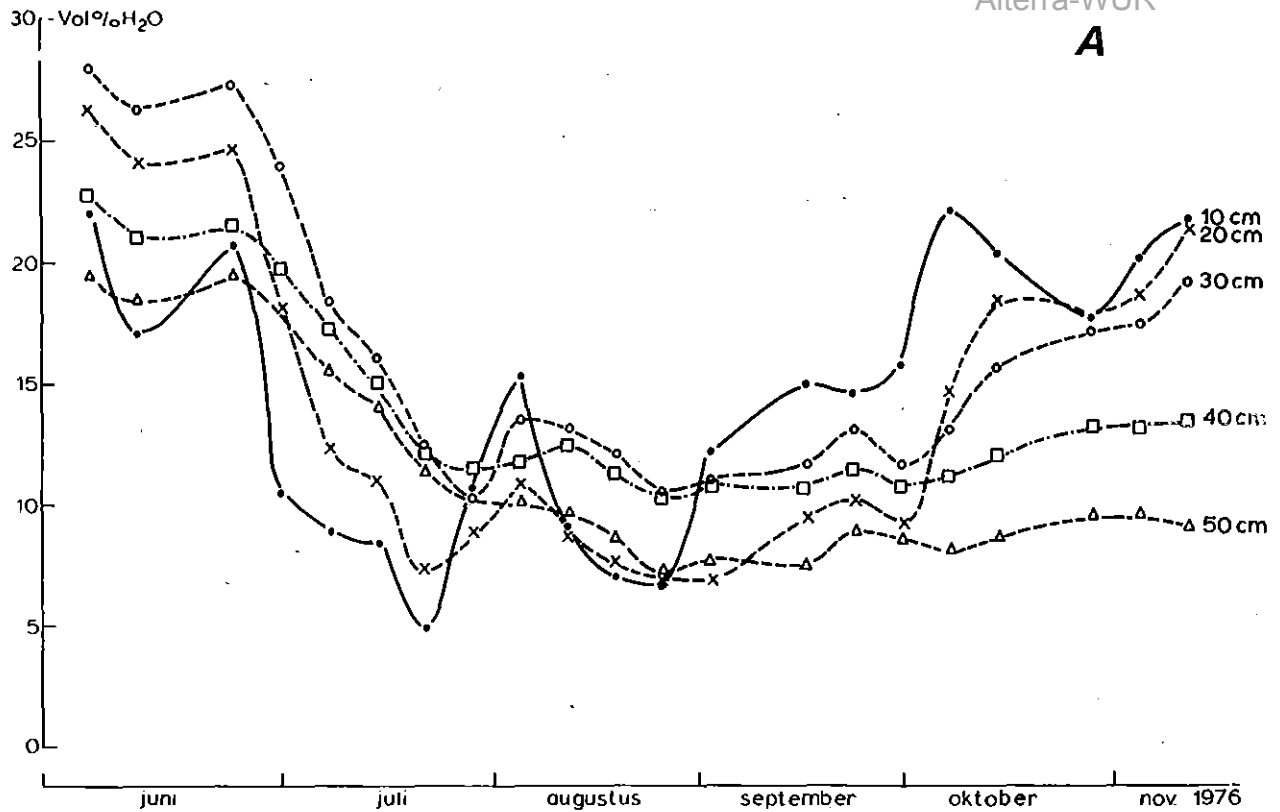


Fig. 12. Verloop van het vochtgehalte (vol. % H₂O) tijdens het groeiseizoen op verschillende diepten. Rolde 1976 mengwoelen.

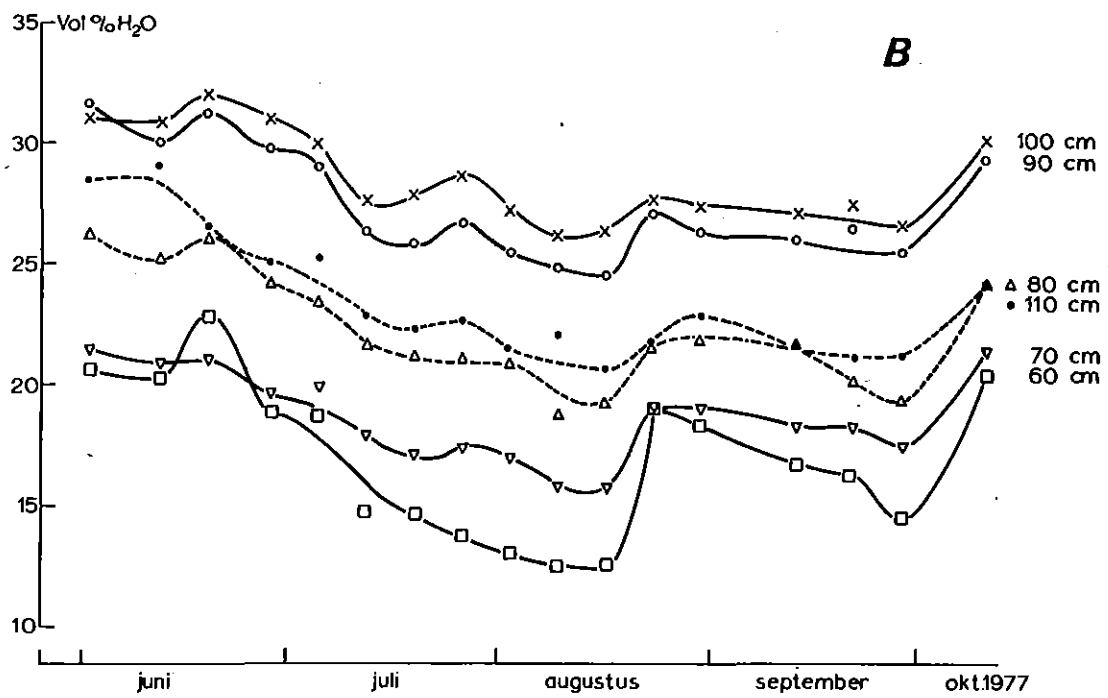
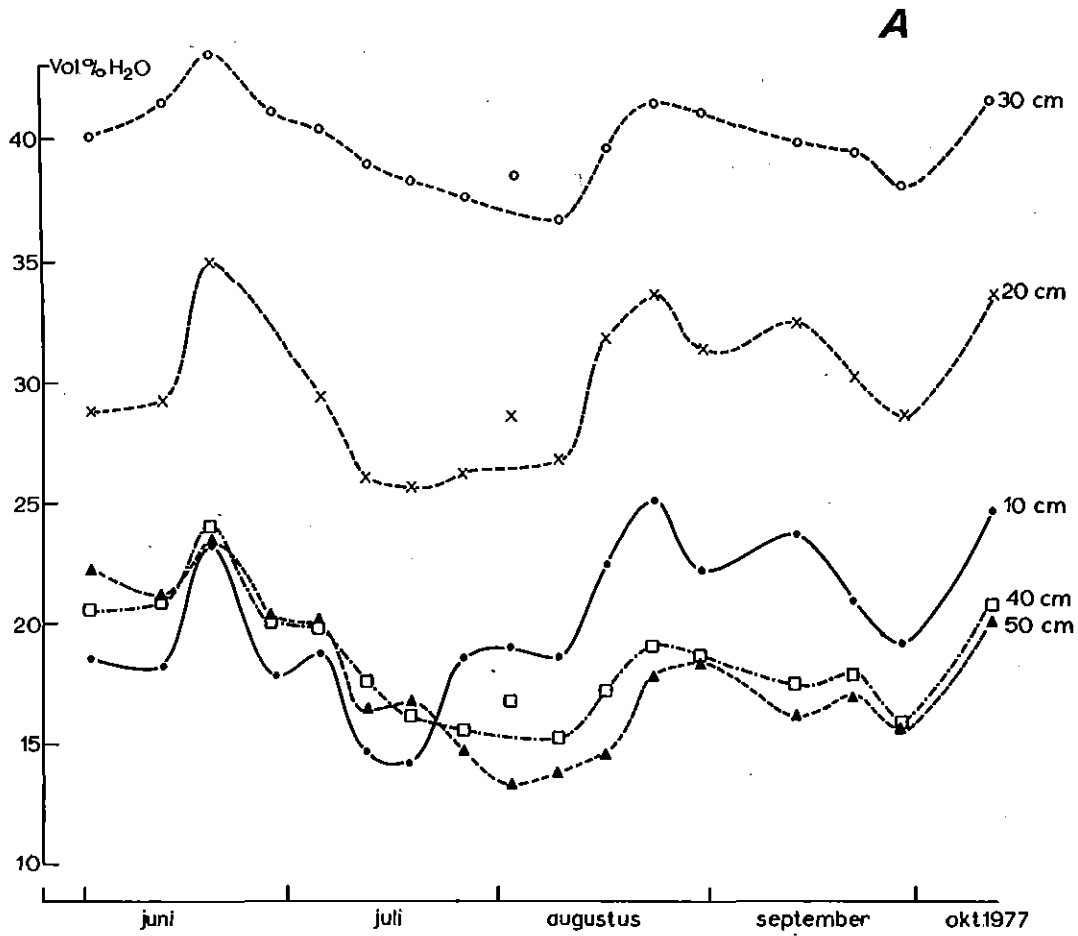


Fig. 13. Verloop van het vochtgehalte (vol. % H₂O) tijdens het groei-
 seizoen op verschillende diepten.
 Rolde 1977 onbehandeld.

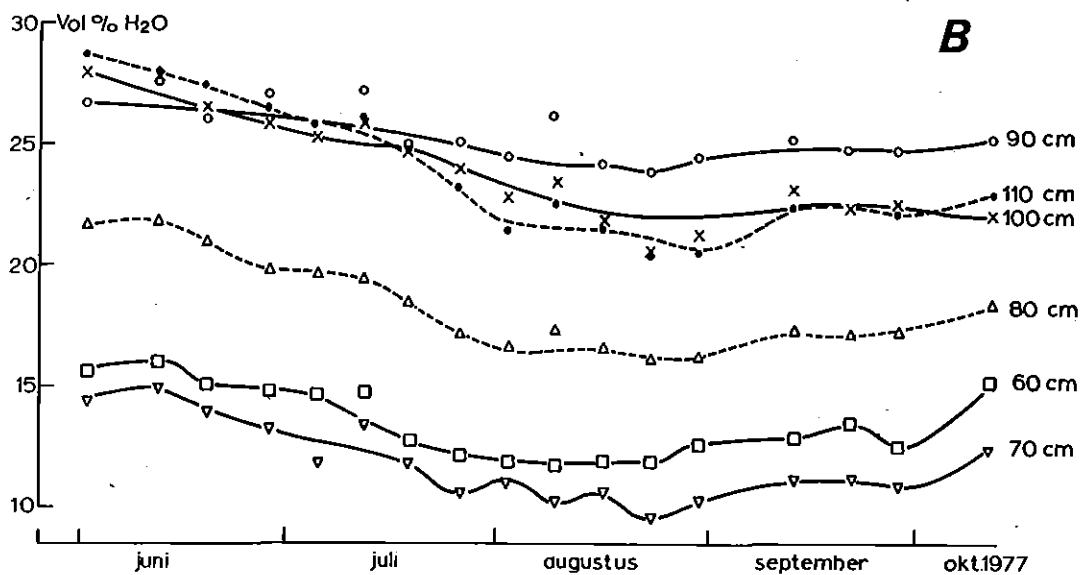
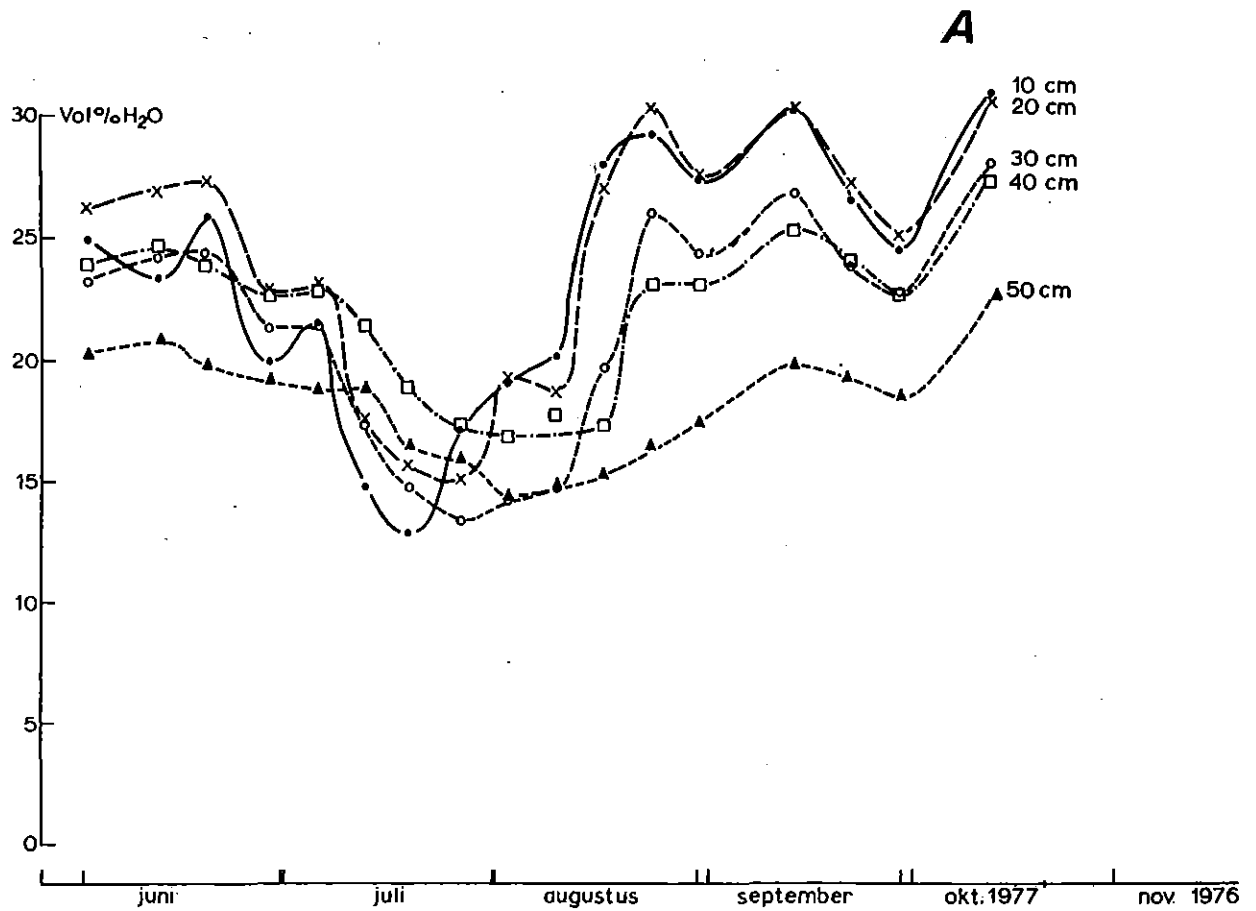


Fig. 14. Verloop van het vochtgehalte (vol. % H₂O) tijdens het groei-
seizoen op verschillende diepten.
Rolde 1977 woelen.

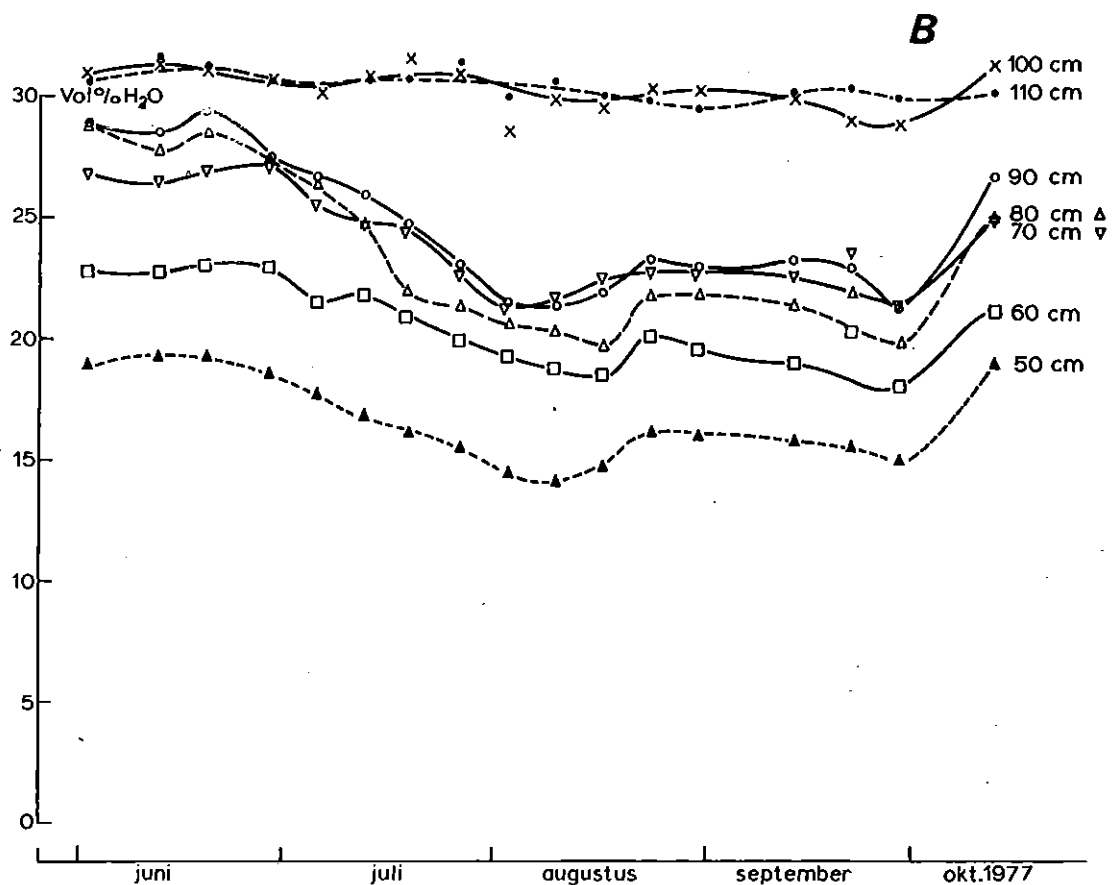
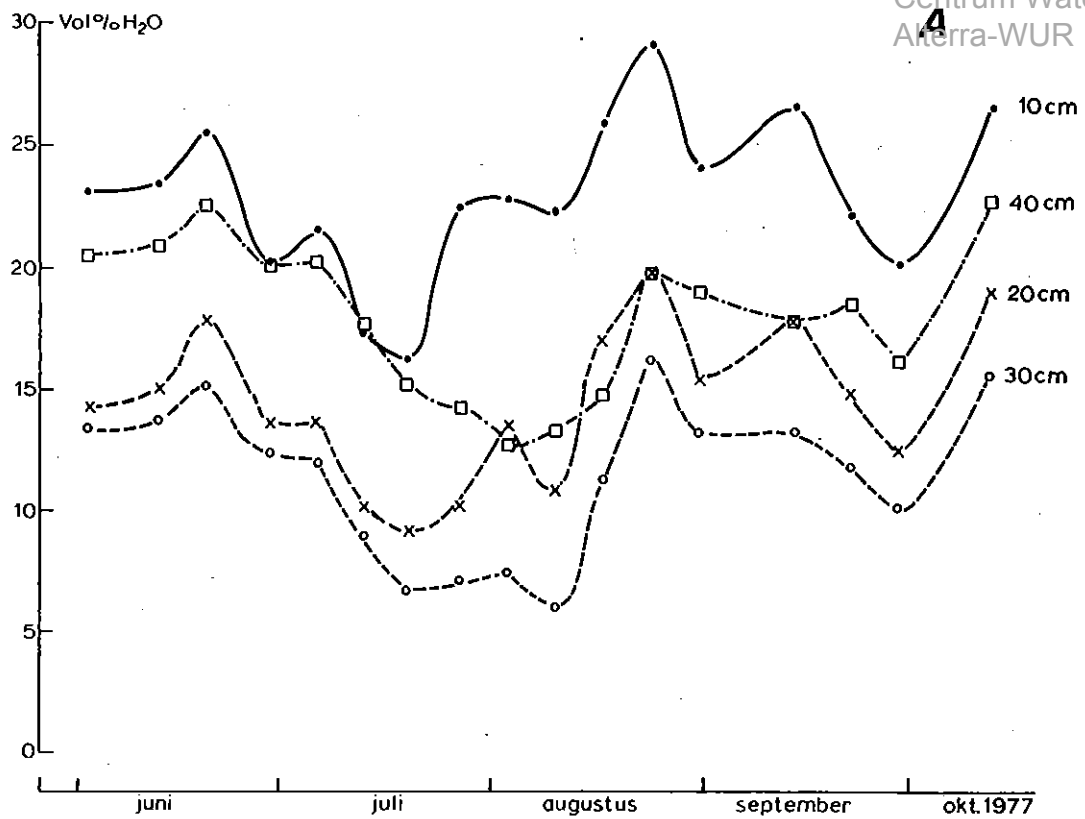


Fig. 15. Verloop van het vochtgehalte (vol. % H₂O) tijdens het groeiseizoen op verschillende diepten. Rolde 1977 mengwoelen.