

Stichting voor Bodemkartering
Wageningen, oktober 1979

Interne Mededeling nr. 49

DE INVLOED VAN VERDICHTINGEN OP DE VOCHTLEVERANTIE, BEWORTELING
EN OPBRENGST VAN CONSUMPTIEAARDAPPELEN OP ZAVELGROND IN 1977

door: P.J. van der Eijk

De serie Interne Mededelingen heeft tot doel de interne communicatie te bevorderen. In principe wordt zij niet verspreid buiten de Stichting voor Bodemkartering. De inhoud kan uiteenlopen van louter feitenmateriaal tot samenvattende conclusies, maar zal vrijwel steeds van voorlopige aard zijn. Er mag dan ook niet uit geciteerd worden zonder toestemming van auteurs en directie.

I N H O U D

	<u>Blz.</u>
<u>VOORWOORD</u>	5
<u>1 INLEIDING</u>	6
<u>2 METHODE VAN ONDERZOEK EN BEPALINGEN</u>	10
2.1 Profielopbouw	10
2.2 De mechanische weerstand van de grond	10
2.3 Het volumegewicht en poriënvolume van de grond	12
2.4 De pF-curve van de grond	12
2.5 Zuurstofpercentage van de bodemlucht	13
2.6 De grondwaterstand en de regenval op het proefveld	13
<u>3 DE BEWORTELING</u>	17
3.1 De bewortelingsdiepte	17
3.2 Het totaal aantal wortels	19
3.3 De bewortelingsintensiteit en wortelverdeling met de diepte	20
<u>4 DE GEWASONTWIKKELING</u>	22
4.1 De loofontwikkeling in de loop van het groeiseizoen	22
4.2 De knolontwikkeling in de loop van het groeiseizoen	24
<u>5 BEREKENINGSPROCEDURE TER BEPALING VAN DE VOCHTLEVERANTIE</u>	26
<u>VOOR EEN DRIETAL PERIODEN IN 1977</u>	
5.1 De vochtleverantie van de grond aan het gewas	26
5.2 De verdamping	27
5.3 De vochtleverantie via capillaire opstijging	27
5.4 De vochtleverantie in drie perioden	32
5.5 Bespreking	33
<u>6 SAMENVATTING</u>	38
<u>7 LITERATUUR</u>	39
<u>Figuren</u>	
1 Indeling van het proefobject	7
2 Profiel van het object A (links) en B (rechts)	8
3 Profiel van het object C (links) en D (rechts)	9

	<u>Blz.</u>
4 Lutum %, gewichtspercentage vocht, volumegewicht en de op 20 april en 30 augustus gemeten indringingsweerstand op de objecten A, B, C en D	11
5 De vochtspanning (pF) in verschillende horizonten van de objecten A, B, C en D	14
6 Neerslag en grondwaterstand gedurende het groeiseizoen van 1977	16
7 Relatief cumulatieve frequentieverdeling van het aantal aardappelwortels in de profielen van de objecten A, B, C en D	18
8 Bewortelingsintensiteit en wortelverdeling op de objecten	21
9 De Leaf Area Index (L.A.I.) op de objecten A, B, C en D	23
10 Het groeiverloop van de objecten A, B, C en D (vers- en drooggewicht)	24
11 Evenwichtsprofiel met grondwaterstand op één meter	26
12 De gewasverdamping (Ep) en de vochtleverantie voor drie objecten bij 80% effectieve bewortelingsdiepte gedurende het groeiseizoen 1976	28
13 De gewasverdamping (Ep) en de vochtleverantie voor drie objecten bij 100% effectieve bewortelingsdiepte gedurende het groeiseizoen 1976	28
14 Capillair geleidingsvermogen in afhankelijkheid van de zuigspanning	30
15 Relatie tussen de hoogte boven de grondwaterspiegel (z) en de zuigspanning voor verschillende capillaire stijgsnelheden v (mm/dag)	31
16 Stijgcurve van de ondergrond C23g in 1976	32

Tabellen

1 Het volumegewicht en poriënvolume van de grond	12
2 Gemiddeld zuurstofpercentage van de bodemlucht in de periode 5 mei - 28 juli 1977	13
3 Dikte bewortelingszone van aardappels op de objecten A, B, C en D met respectievelijk 80, 90, 95 en 100% van de totale aantallen op de profielwand getelde wortels op 21 juni, 6 juli, 27 juli en 30 augustus	19
4 Het totaal aantal wortels per plant op vier data's van de objecten A, B, C en D	20

	<u>Blz.</u>
5 De hoofdstengellengte in cm van de objecten A, B, C en D op 19 juli en 16 augustus	23
6 De loofhoeveelheid (kg/m^2) van de objecten A, B, C en D op 21 juni, 19 juli, 16 augustus en 20 september; tussen haakjes staan de droge-stofgewichten vermeld	23
7 De aardappelopbrengst (ton/ha) op 20 september, markt-bare opbrengst en onderwatergewicht (basis 5 kg)	25
8 De sortering in procenten bij de eindoogst	25
9 De factor f uit $E_p = f \cdot E_o$ voor aardappelen (Hellings, 1971)	27

Bijlagen

- 1 Wortelbeelden van aardappelen; niet verdichte bovengrond object A
- 2 Wortelbeelden van aardappelen; matig verdichte bovengrond object B
- 3 Wortelbeelden van aardappelen; sterk verdichte bovengrond object C
- 4 Wortelbeelden van aardappelen; sterke verdichting van de grond onder de bouwvoor object D (ploegzool).

WOOFDVOORD

In het kader van een ingenieursstudie voor de vakgroep Landbouwplantenteelt van de Landbouwhogeschool te Wageningen is door P.J. van der Eijk een rapport samengesteld over de invloed van bodemverdichtingen in en onder de bouwvoor van een kalkrijke zavelgrond op de wortelontwikkeling, vochtvoorziening, opbrengst en kwaliteit van consumptie-aardappelen.

De Afdeling Teeltonderzoek van het Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond (P.A.G.V.) te Lelystad en de Afdeling Akker- en Weidebouw van de Stichting voor Bodemkartering te Wageningen werken sedert 1972 samen aan het onderzoek naar de invloed van verdichtingen in de grond op de teelt van gewassen. Aangezien spoedig bleek, dat er behoefte bestond aan meer verklarende en gedetailleerde waarnemingen op bodemfysisch terrein, werken sedert resp. 1973 en 1976 ook het Laboratorium voor Grondbewerking van de Landbouwhogeschool en de Afdeling Toegepaste Bodemfysica van de Stichting voor Bodemkartering aan dit project mee.

Dit verslag is het resultaat van het onderzoek in 1977, uitgevoerd op het P.A.G.V.-proefbedrijf te Lelystad. Van verschillende zijden ontving Van der Eijk medewerking voor het veldonderzoek van Dr.Ir. T.K. Glas en J.F. Houwing. Ing. B. Kroesbergen van het Laboratorium voor Grondbewerking van de Landbouwhogeschool gaf bij de verwerking en interpretatie van de vochtbepalingen en O_2 -concentratiemetingen de nodige aanwijzingen. Dr.Ir. J. Bouma en G.A. van Soesbergen van de Stichting voor Bodemkartering waren behulpzaam bij het bewerken van de resultaten.

1 INLEIDING

Evenals in 1976, is in 1977 door het P.A.G.V. op het proefbedrijf te Lelystad een proefveld aangelegd om de invloed van verdichte horizonten in en onder de bouwvoor op de wortelontwikkeling, de vochtvoorziening en de daaruit voortvloeiende opbrengst en kwaliteit van consumptie-aardappelen te onderzoeken. Uit voorgaande proeven in de Hoekse Waard, Flakkee en in 1976 te Lelystad is gebleken, dat de beworteling belemmerd kan worden door bodemhorizonten die een te grote dichtheid hebben. Een abrupte overgang van een lossere laag naar een daaronder liggende dichtere laag veroorzaakt eerder moeilijkheden dan een meer geleidelijke overgang.

Op een perceel bouwland van het proefbedrijf werden in 1977 kleine proefveldjes (36 m x 12 m) met verschillende verdichtingen aangelegd (fig. 1). De voorvrucht van het perceel was graszaad. Dit perceel werd in de herfst van 1976 ca. 25 m diep geploegd. De ploegzool op één van de veldjes werd kunstmatig aangebracht in december 1976. Allereerst werd bij dit object (D) met een Atlaskraan 25 à 30 cm teelaarde verwijderd. Vervolgens werd de grond verdicht door met een zware trekker meermalen spoor aan spoor te rijden. Hierna is de grond teruggezet met behulp van de Atlaskraan.

De verdichtingen in de overige objecten zijn voor het poten aangebracht door met een zware trekker spoor aan spoor over de bouwvoor te rijden.

De volgende objecten zijn aangelegd (fig. 2 en 3)

A)	B)
A2) = los, niet verdicht	B2) = matig verdicht
A3)	B3)

C = sterk verdicht D = sterk verdicht onder de bouwvoor (ploegzool)

Na een grondbewerking met een rotorkoepel zijn de aardappelen op 20 april gepoot met een vierrijige pootmachine. De spoorbreedte van de trekker was drie meter, zodat per werkgang 2 netto-rijen en 2 bruto-rijen gepoot werden.

Het gebruikte pootgoed was Bintje-klasse E, de potermaat 40/45 mm. De fosfaat en kali-bemesting is in september 1976 toegediend, 200 kg/ha P_2O_5 en 200 kg/ha K_2O (0-25-25). De N bemesting 205 kg/ha werd in het voorjaar in de vorm van $Ca(NO_3)_2$ gegeven.

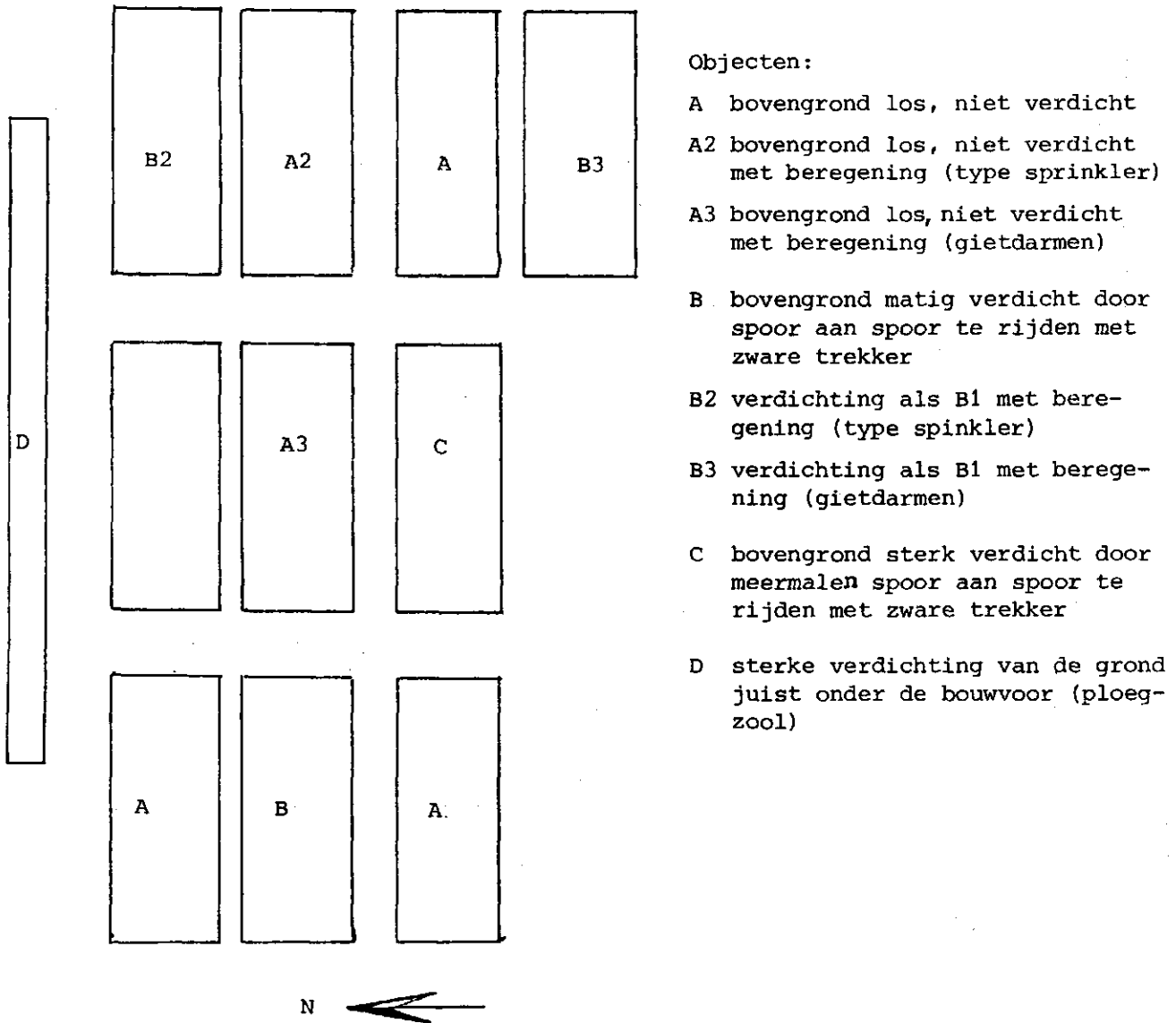
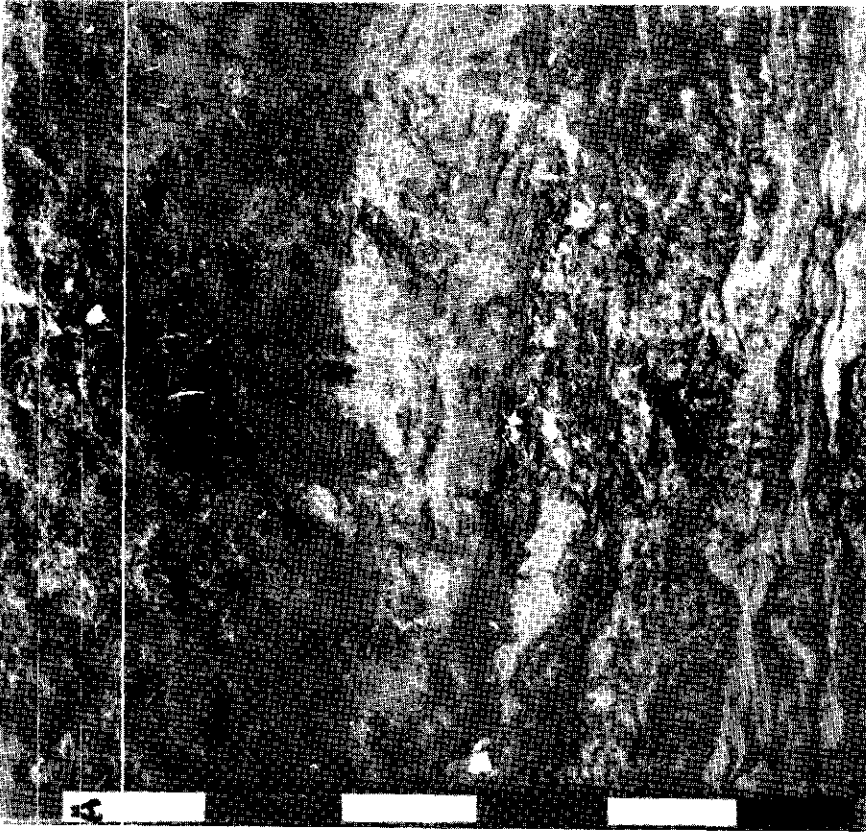
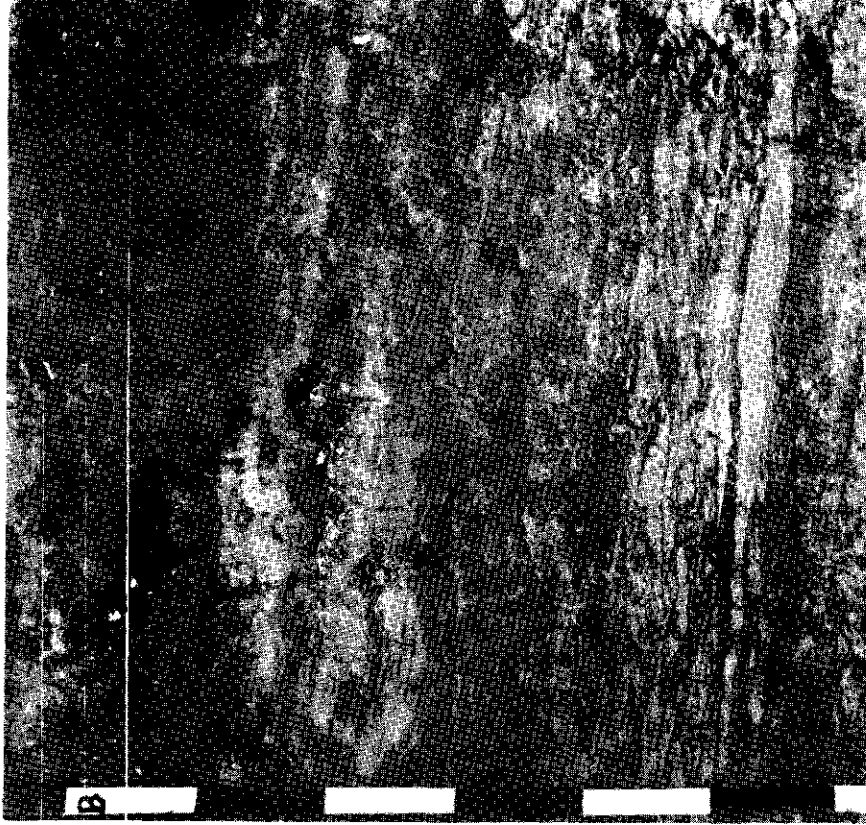


Fig. 1 Indeling van het proefobject



Object A
los, niet verdicht



Object B
matig verdicht

Fig. 2 Profiel van het object A (links) en B (rechts)

2 METHODE VAN ONDERZOEK EN BEPALINGEN

2.1 Profielopbouw

Het proefveld bestaat uit een bovengrond van kalkrijke zware zavel, die binnen 80 cm diepte nog niet volledig gerijpt materiaal bevat. In het systeem bodemclassificatie voor Nederland wordt deze grond een nesvaaggrond genoemd (De Bakker en Schelling, 1966). Na verloop van enige tientallen jaren zullen deze gronden tot dieper dan 80 cm gerijpt zijn; het zijn dan poldervaaggronden.

Het bodemprofiel kan als volgt omschreven worden: (diepte in centimeters beneden de top van de aardappelrug):

- Ap1 : (0-20 cm) zware zavel (20% lutum; 2,3% organische stof en 8,1% CaCO_3)
- Ap2 : (20-40 cm) als Ap1
- C21g: (40-50 cm) uiterst fijnzandige, zeer lichte zavel (7% lutum; 0,7% organische stof, 5,3% CaCO_3). Vanwege de gelaagde structuur is het profiel in 1970 tot ca. 70 cm beneden de top van de rug gemengwoeld. Plaatselijk komen veel schelpen voor.
- C22g: (50-70 cm) zeer lichte zavel (9% lutum; 1,5% organische stof en 4,8 % CaCO_3)
- C23g: (70-90 cm) als C22g doch veelal gelaagd (dunne laagjes van uiterst fijn zand met lichte zavel- en kleigrond; half gerijpt)
- C24g: (dieper dan 90 cm) als C23g, maar ongerijpt.

2.2 De mechanische weerstand van de grond

De mechanische weerstand van de grond is bij de aanleg van het proefveld op 20 april gemeten met een penetrograaf met een basisoppervlak van de conus van 1 cm^2 . Hierbij wordt de weerstand geregistreerd, die de conus ondervindt, wanneer de sondeerstang met een constante snelheid de grond wordt ingedrukt (Van Soesbergen en Vos, 1972).

De indringingsweerstand is evenals het volumegewicht van de grond te beschouwen als een maat voor de dichtheid van de grond. Een verandering in het volume van een grond heeft een verandering in de dichtheid tot gevolg. De verandering van dichtheid kan veroorzaakt worden door mechanische krachten (machines e.d.) en natuurlijke krachten (uitdrogen en bevochtigen, bijv. grondwaterstandsverandering). Uit figuur 4 blijkt, dat de indringingsweerstand per laag sterk wisselt. Op de niet verdichte bovengrond (0-30 cm) bedraagt deze op 20 april minder

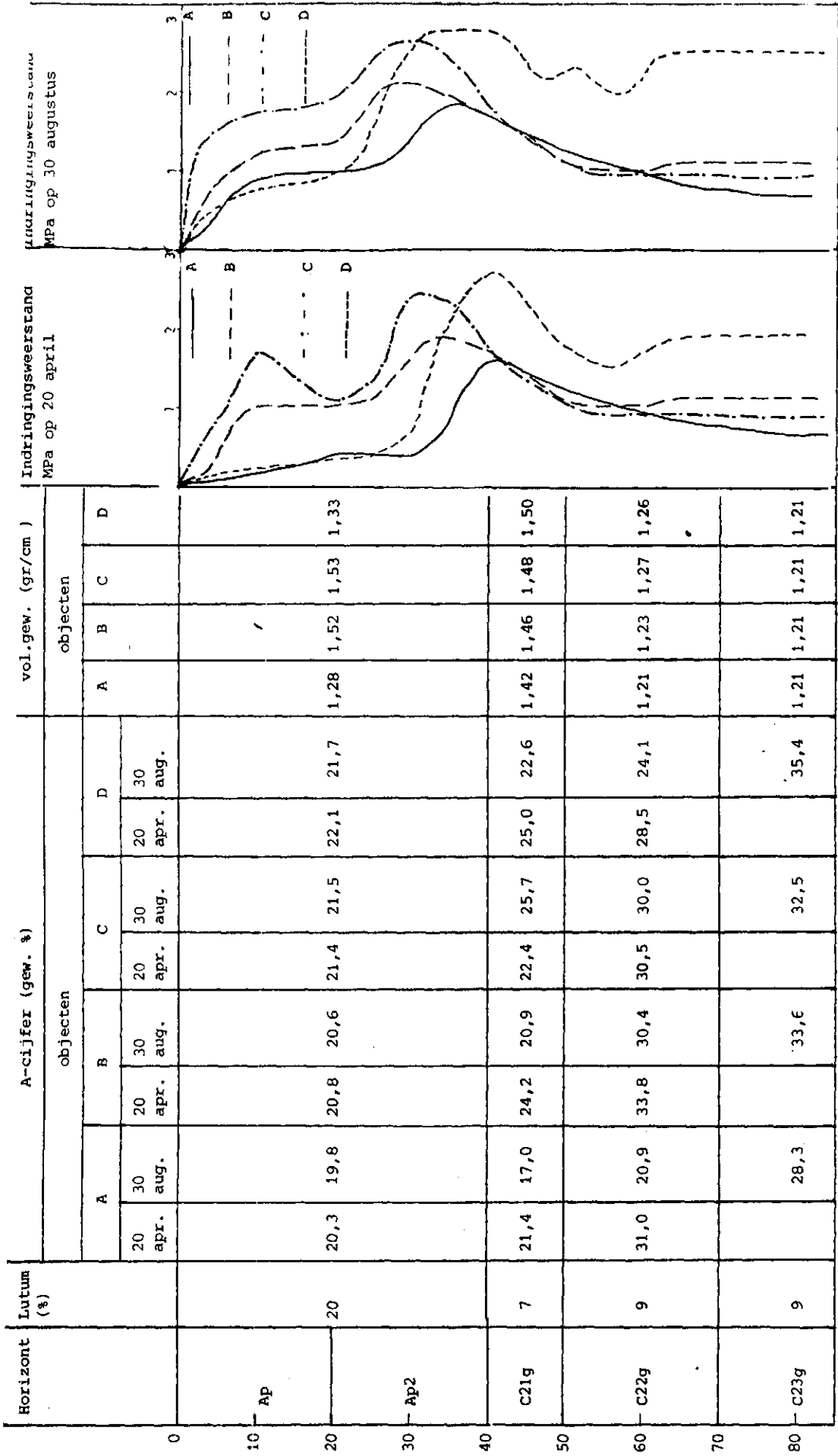


Fig. 4 Lutum %, gewichtsperscentage vocht, volumegewicht en de op 20 april en 30 augustus gemeten indringingsweerstand op de objecten A, B, C en D

dan 0,5 MPa*. De verdichte bovengrond heeft een indringingsweerstand van ca. 1,0 MPa, de niet-verdichte ondergrond van ca. 1,7 MPa.

Op 30 augustus zijn de indringingsweerstand van alle bovengronden toegenomen, dit als gevolg van zakking van de losse grond en door een afgenomen vochtgehalte.

2.3 Het volumegewicht en poriënvolume van de grond

Tabel 1 geeft het verband tussen de verschillende verdichtingen enerzijds en het volumegewicht en poriënvolume anderzijds.

De verdichtingen in de bovengrond komen goed tot uiting in het volumegewicht. De verdichting in object D (ploegzool) komt niet sterk tot uiting als gevolg van textuurverschillen.

Tabel 1 Het volumegewicht en poriënvolume van de grond

Diepte in cm vanden top aan de rug	Object							
	A		B		C		D	
	poriën- volume (%)	vol. gew. (gr/cm ³)	poriën- volume (%)	vol. gew. (gr/cm ³)	poriën- volume (%)	vol. gew. (gr/cm ³)	poriën- volume (%)	vol. gew. (gr/cm ³)
0 - 27 cm	52,2	1,27	43,1	1,51	42,5	1,53	49,8	1,33
0 - 37 cm	51,9	1,28	42,6	1,53	42,5	1,53	49,5	1,34
0 - 47 cm	46,7	1,42	45,3	1,46	44,5	1,48	43,7	1,50
0 - 57 cm	51,0	1,31	49,5	1,35	46,7	1,42	47,3	1,41
0 - 67 cm	58,4	1,12	-	-	-	-	-	-
0 - 77 cm	52,4	1,27	-	-	-	-	-	-
0 - 93 cm	56,8	1,15	-	-	-	-	-	-

- niet bepaald; worden geacht overeen te komen met object A.

2.4 De pF-curve van de grond

Een van de belangrijkste invloeden van de bodemverdichting op de fysische eigenschappen van de grond is, dat de pF-curve een vlakker verloop krijgt t.o.v. de oorspronkelijke toestand, naarmate de verdichting ernstiger vormen gaat aannemen (objecten C en D). De belangrijkste oorzaak is het verlies aan grote poriën bij verdichting. Het poriënstelsel van de grond wordt bij een toenemende verdichting steeds homogener tot op een bepaald moment het aantal poriën gaat afnemen.

Doordat het aantal kleine poriën eerst vergroot wordt, neemt de capillaire opstijging toe. In verdichte gronden is de vochtleverantie aanvankelijk groter dan in losse gronden. Van de grote poriën, die bij een lage vochtspanning van belang zijn, neemt het aantal door verdich-

* 1 kgf/cm² = 98066,5 MPa in het SI-systeem

ting af, waardoor de doorlatendheid en het bergend vermogen afnemen (Bouma, 1977). Onder natte omstandigheden wordt de afwatering door verdichting dan ook belemmerd.

De bepaling van de pF-curve is door het Laboratorium voor Grondbewerking van de Landbouwhogeschool uitgevoerd. Hiertoe zijn op de hoofdobjecten A, B, C en D in een profielkuil per horizont tot 120 cm diepte ringmonsters van 100 cm³ in tienvoud genomen. De aan deze monsters bepaalde pF-curves zijn weergegeven in figuur 5.

2.5 Zuurstofpercentage van de bodemlucht

Ter bepaling van het zuurstofpercentage van de bodemlucht zijn vanaf 5 mei tot en met 28 juli wekelijks door het Laboratorium voor Grondbewerking monsters in vijfvoud genomen op 35 cm en op 60 cm diepte beneden top van de rug. In tabel 2 zijn de gemiddelde waarden van enkele opnamedata gegeven.

Het zuurstofpercentage van de bodemlucht was op object A (los) gedurende het groeiseizoen minstens 20%. Op object B (matig verdicht) en vooral op object C (sterk verdicht) waren de percentages tot half juli aanmerkelijk lager. Vlak boven de ploegzool was het percentage zuurstof even hoog en onder de ploegzool enkele procenten lager dan op het losse object A.

Tabel 2 Gemiddeld zuurstofpercentage van de bodemlucht in de periode 5 mei - 28 juli 1977

Object en diepte		5/5	20/5	2/6	17/6	30/6	14/7	28/7
A, los niet verdicht	35 cm	21,0	20,9	-	20,2	-	-	-
	60 cm	20,7	20,3	-	20,0	-	-	-
B, matig verdicht	35 cm	18,8	13,4	16,1	12,9	17,9	20,2	20,5
	60 cm	17,4	8,7	11,1	8,3	14,7	19,4	20,0
C, sterk verdicht	35 cm	11,2	6,8	8,4	5,4	13,5	19,5	20,1
	60 cm	10,7	2,9	3,0	2,3	6,5	17,2	19,3
D, ploegzool	35 cm	20,7	20,1	20,1	19,8	20,0	-	20,6
	60 cm	16,4	13,6	10,7	12,1	15,5	-	19,8

2.6 De grondwaterstand en de regenval op het proefveld

De grondwaterstand werd opgenomen met behulp van zes grondwaterstandsbuizen van 3 m lengte, die na plaatsing gewaterpast zijn. De buizen werden midden tussen de drains geplaatst. Ook werd geregistreerd met twee continu registrerende grondwaterstandsmeters (z.g. klokbuizen).

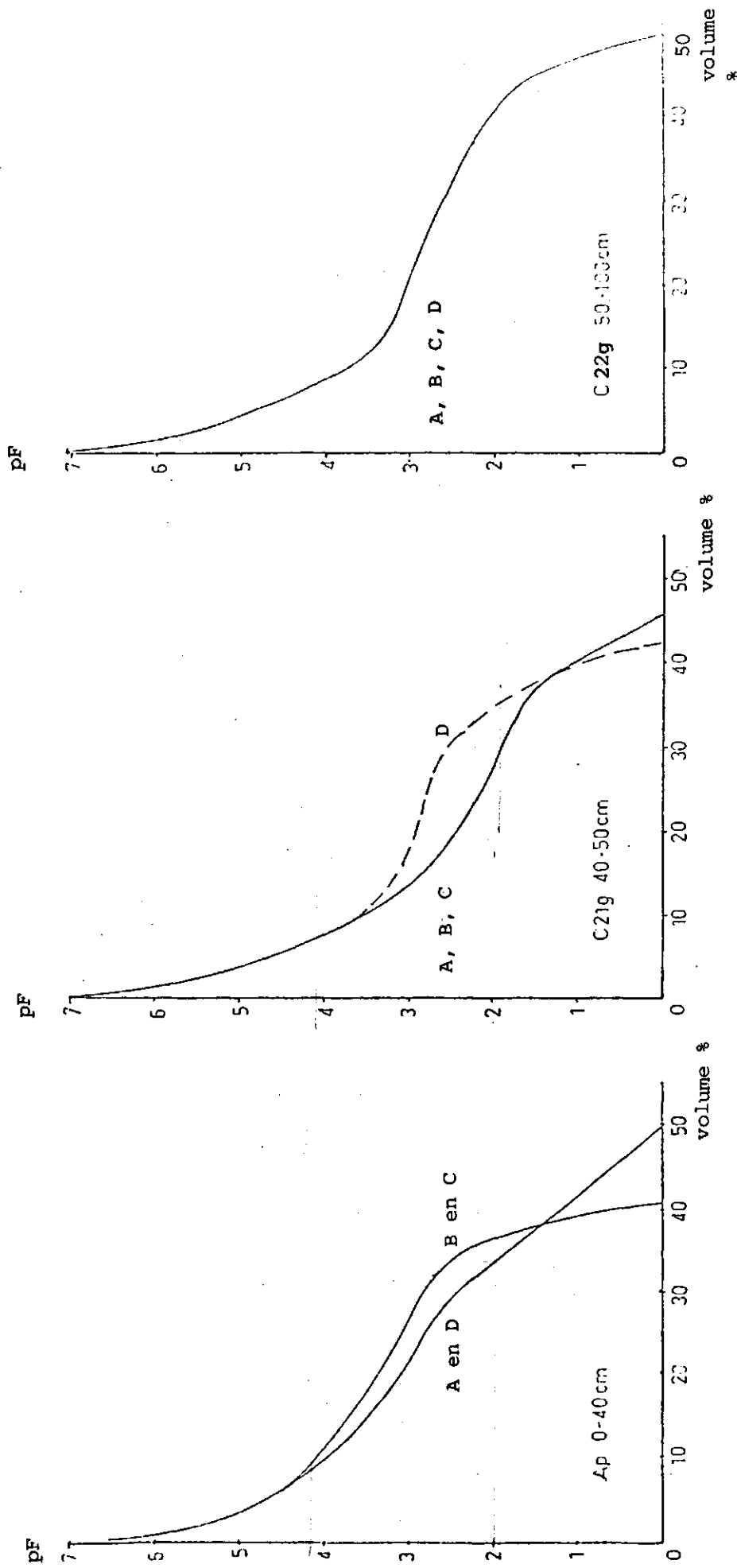


Fig. 5 De vochtspanning (pF) in verschillende horizonten van de objecten A, B, C en D.

De lijn in figuur 6 geeft het gemiddelde van al deze waarnemingen weer.

De grondwaterstand (fig. 6) bevond zich op 20 april op 90 cm beneden maaiveld. Na een daling tot 110 cm op 5 mei steeg het grondwater door de overvloedige regenval tussen 5 en 15 mei naar 80 cm. Van half mei tot begin juli daalde de grondwaterstand tot 120 cm, om door de regenval van begin juni weer te stijgen naar 100 cm. Vanaf half juni tot begin augustus is de grondwaterstand geleidelijk gedaald tot 180 cm. De lichte regenval in deze periode had weinig invloed op de grondwaterstand. Half augustus steeg de grondwaterstand door flinke buien tot 110 cm, waarna weer een daling volgde.

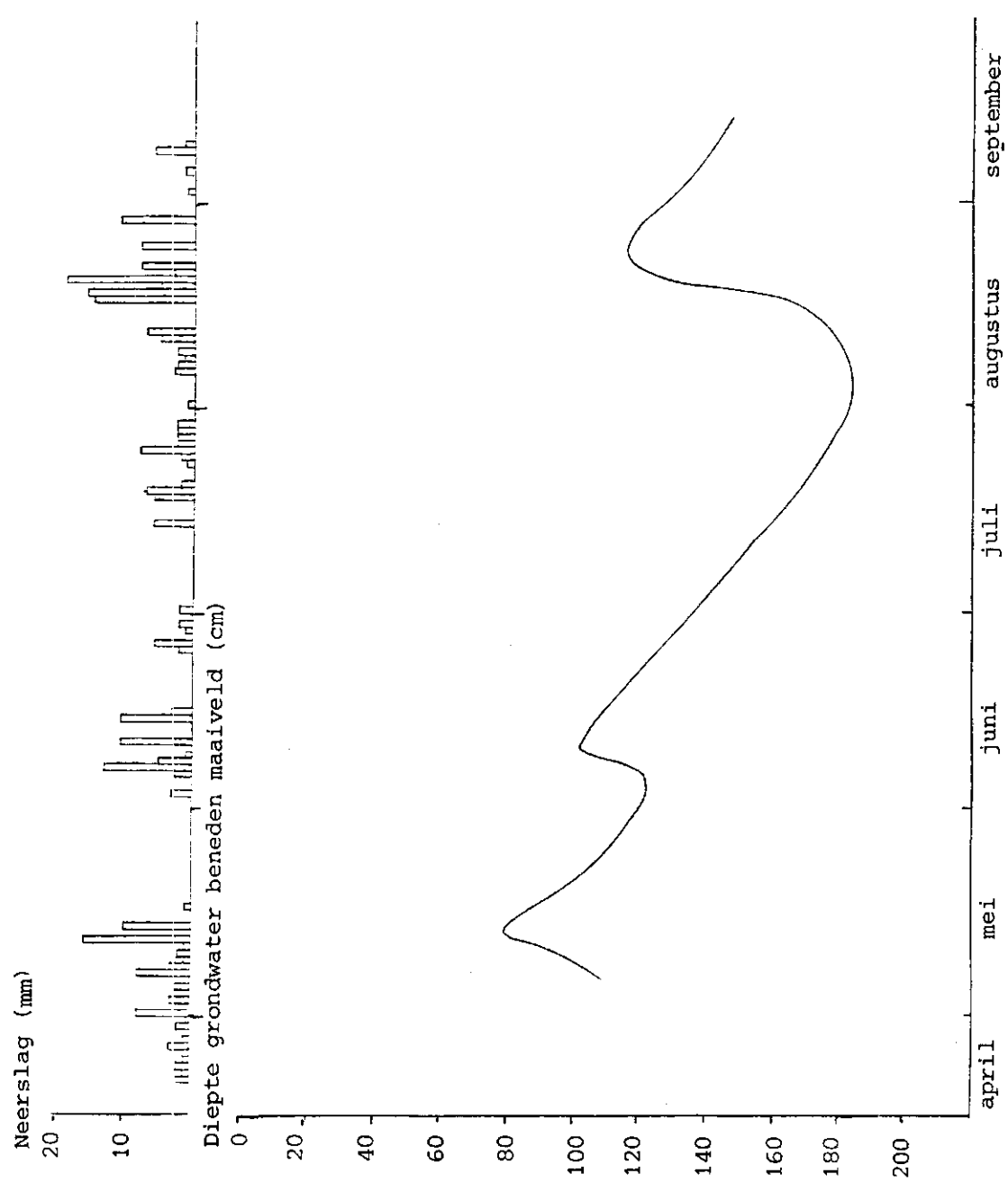


Fig. 6 Neerslag en grondwaterstand gedurende het groeiseizoen van 1977

3 DE BEWORTELING

3.1 De bewortelingsdiepte

Doel van het bewortelingsonderzoek is na te gaan, hoe de wortelgroei van de aardappelplant reageert op bodemfysische verschillen, die het gevolg zijn van de aangebrachte verdichtingen. Het wortelstelsel van de aardappelplanten is op vier tijdstippen (21 juni, 6 juli, 27 juli en 30 augustus) in profielkuilen opgenomen volgens een gewijzigde methode Reijmerink (1964).

Dwars op de aardappelrug is over een breedte van ca. 80 cm een kuil gegraven, en de wortels middels een mes uitgeprepareerd. Op plastic folie worden vervolgens de bodemhorizonten, de structuurgrenzen en de zichtbare wortels op getekend. De veldtekeningen worden voor verdere verwerking gelichtdrukt en fotografisch verkleind. Het aantal wortels wordt per oppervlakte-eenheid (n/dm^2) berekend. Een vergelijking tussen de objecten vindt plaats aan de hand van de bewortelingsdiepte, de bewortelingsintensiteit, de wortelverdeling en het totaal aantal wortels. Figuur 7 geeft de relatief cumulatieve frequentieverdeling weer van het aantal aardappelwortels en tabel 3 de diepte, waarop resp. 80, 90, 95 en 100% van het aantal wortels in de profielen van de objecten A, B, C en D voorkomen (effectieve wortelzone).

Uit de tabel 3 en figuur 7 kan worden afgeleid, dat de beworteling op object C (sterk verdicht) en in mindere mate op object B (matig verdicht) al in de beginfase wordt geremd door de hoge indringingsweerstand ($> 1,5$ MPa; fig. 4) en het lagere zuurstofpercentage van de bodemlucht (object B en C; tabel 2). Wanneer de wortels half juli, van objecten B en C de verdichte horizonten zijn gepasseerd, neemt de wortelgroei naar diepere lagen toe en wordt de opgelopen achterstand in bewortelingsdiepte ten opzichte van het losse niet verdichte object A kleiner. Het object D (ploegzool) geeft na een vlotte beginontwikkeling een vertraging te zien, als de verdichte laag wordt bereikt (half juli). Bij de verdere ontwikkeling wordt de ploegzool hier nauwelijks beworteld.

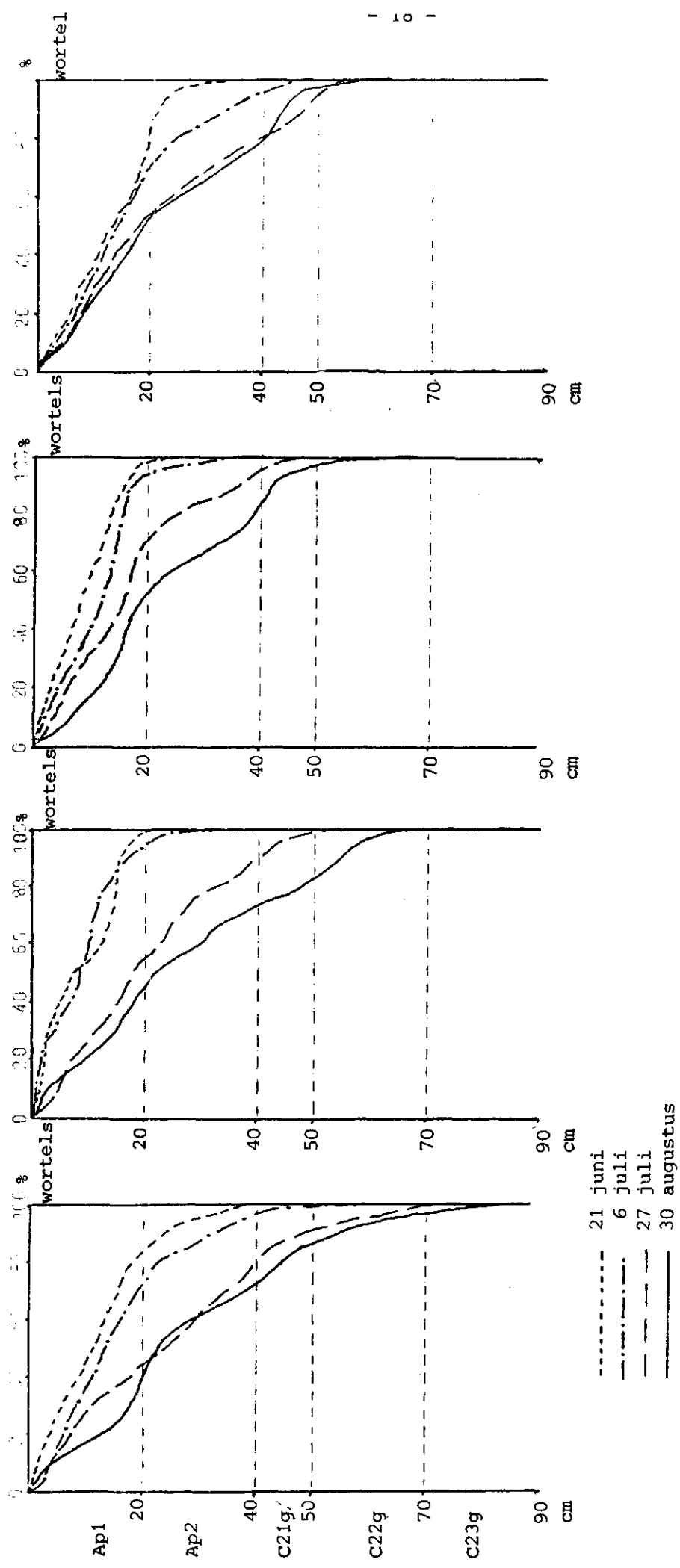


Fig. 7 Relatief cumulatieve frequentieverdeling van het aantal aardappelwortels in de profielen van de objecten A, B, C en D

Tabel 3 Dikte bewortelingszone van aardappels op de objecten A, B, C en D met respectievelijk 80, 90, 95 en 100% van de totale aantallen op de profielwand getelde wortels op 21 juni, 6 juli, 27 juli en 30 augustus

Datum	Object	80%	90%	95%	100%
		diepte in cm beneden top van de rug			
21 juni	A	18	24	29	42
	B	15	16	18	27
	C	14	16	18	32
	D	20	22	24	37
6 juli	A	23	33	38	57
	B	13	17	21	32
	C	15	17	21	40
	D	25	34	42	47
27 juli	A	40	50	59	77
	A3*	37	44	46	52
	B	33	40	43	57
	B3*	44	53	56	70
	C	26	36	40	52
	D	37	44	47	60
30 aug.	A	45	56	66	87
	A3*	41	48	56	72
	B	48	55	58	87
	B3*	42	54	55	72
	C	39	42	47	67
	D	42	47	51	67

* beregend

3.2 Het totaal aantal wortels

Tabel 4 geeft het totaal aantal wortels per plant op vier data's weer. Behalve de objecten A, B, C en D zijn hierin ook genomen de beregende objecten A3 en B3.

Het totaal aantal wortels is op het losse niet verdichte object A het grootst gedurende het gehele groeiseizoen. De hoeveelheden wortels die op het matig verdichte object B en sterk verdichte object C gevormd worden, blijven gedurende het gehele groeiseizoen achter bij die in object A. In vergelijking met de objecten B en C is de vorming van het aantal wortels in object D met een ploegzool iets gunstiger. Na eind juli, wanneer de wortels de ploegzool hebben bereikt, worden in dit

laatste object kennelijk geen nieuwe wortels meer gevormd. De vorming van het aantal wortels in de beregende objecten (A3 en B3) is kleiner dan die in de overeenkomstige niet-beregende (A, B, C en D). Ook de bewortelingsdiepte is op de beregende objecten geringer.

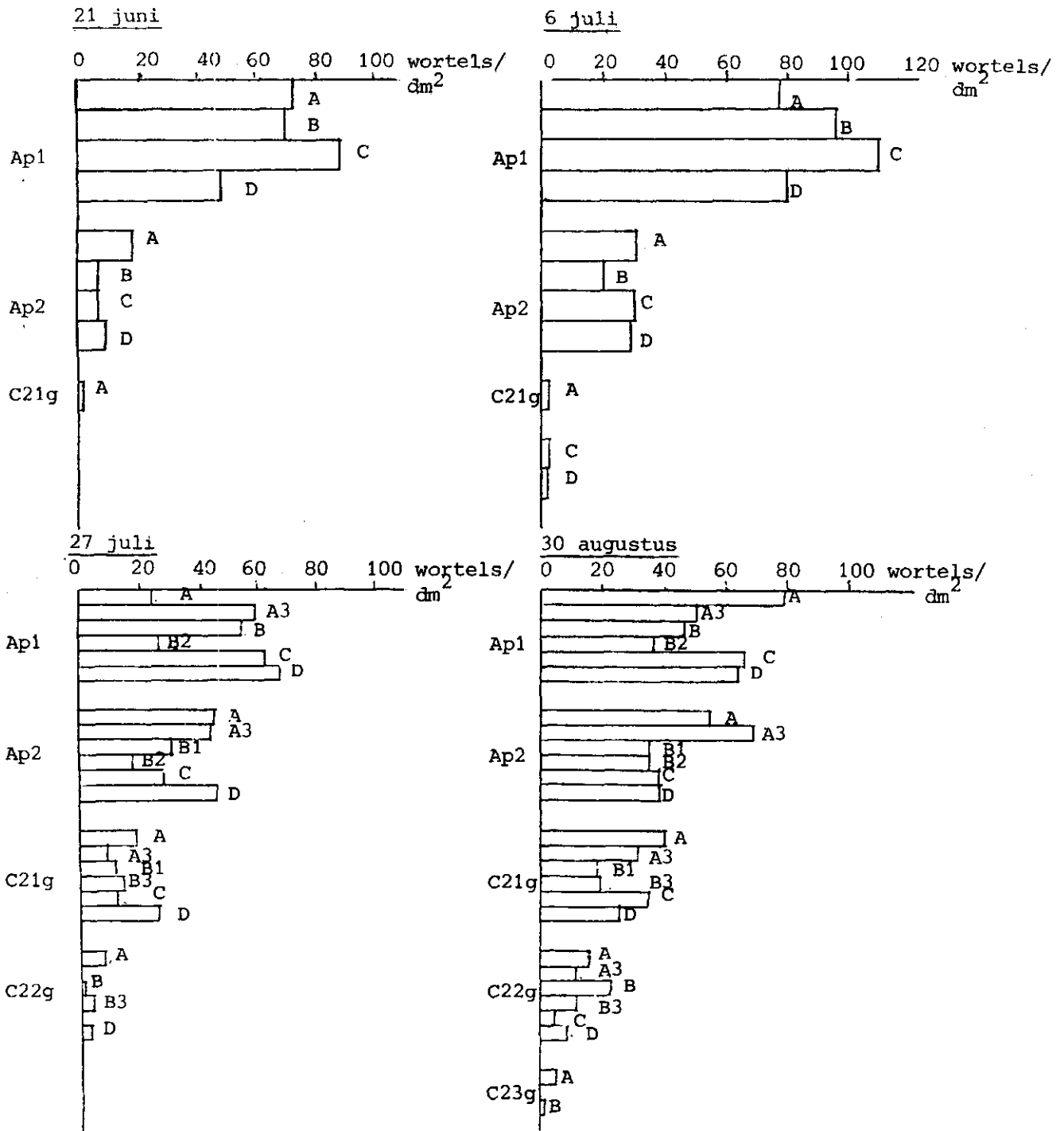
Tabel 4 Het totaal aantal wortels per plant op vier data's van de objecten A, B, C en D

Datum	Aantal wortels per plant					
	A	A3*	B	B3*	C	D
21 juni	777		441		552	511
6 juli	1131		747		870	976
27 juli	1431	1310	937	657	947	1384
30 aug.	2142	1785	1300	1068	1255	1316

* beregend

3.3 De bewortelingsintensiteit en wortelverdeling met de diepte

Uit figuur 8 blijkt, dat op alle opnamedata in bijna iedere horizont de bewortelingsintensiteit van het niet-verdichte en het niet-beregende object het grootst is. Tevens blijkt, dat object B en in mindere mate object C na het passeren van de verdichte bovengrond (Ap2) snel dieper wortelen.



Objecten:

A los, niet verdicht; A3 los, niet verdicht. beregend
 B matig verdicht, B3 matig verdicht, beregend
 C sterk verdicht
 D ploegzool

Fig. 8 Bewortelingsintensiteit en wortelverdeling op de objecten

4 DE GEWASONTWIKKELING

Vanaf 21 juni zijn op de controle-objecten wekelijks proefrooiingen gedaan en op de objecten B, C en D op 21 juni, 19 juli, 16 augustus en 20 september. Per object zijn 3 veldjes van 6 m² (2 netto-rijen van 4 m lengte) gerooid. De volgende bepalingen zijn gedaan:

aan het loof: - opkomst

- looflengte

- grondbedekking

- loofgewicht (vers en droog)

- aantal stengels per plant

aan de knollen: - het knolgewicht (vers en droog)

- sortering.

4.1 De loofontwikkeling in de loop van het groeiseizoen

Na opkomst vertoonden alle objecten een wat onregelmatige stand, omdat sommige planten in groei achterbleven, mogelijk veroorzaakt door Rhizoctonia. Deze groeiverschillen verdwenen echter na enige tijd.

De groei van de planten op de verdichte objecten B en C vertoonde aanvankelijk een lichte voorsprong op het losse, niet verdichte object A. Dit komt waarschijnlijk omdat in de droge tweede helft van mei de hoeveelheid beschikbaar en aangevoerd vocht in de verdichte lagen groter is. Dit laatste als gevolg van fijnere poriën dus betere capillaire werking. De grond op de verdichte objecten was ook zichtbaar vochtiger (donkerder). Na enkele weken bleek dat het sterk verdichte object C en in mindere mate het matig verdichte object B in ontwikkeling achterbleven. Het verschil in loofontwikkeling tussen de netto- en bruto-rijen, is vrijwel niet zichtbaar geweest.

Van de objecten A, B, C en D wordt de hoofdstengellengte (in cm), bepaald op 19 juli en 16 augustus, weergegeven in tabel 5 en de loofhoeveelheid (kg/m²), die bepaald is op 21 juni, 19 juli, 16 augustus en 20 september in tabel 6. Het sterk verdichte object C is duidelijk wat de stengellengte betreft achtergebleven bij die van het losse, niet verdichte object A. De stengellengten van de sterk verdichte objecten B en D ontlopen elkaar niet zo veel. De loofhoeveelheid was op de objecten A en B het grootst. Bij de laatste rooiing waren de planten op object D het verst en die van de objecten A en B het minst ver afgestorven.

Het aantal stengels per plant was voor alle objecten gelijk (ca. 7). Ook het aantal planten per m² was vrijwel gelijk (ca. 3,8).

Figuur 9 toont het verloop van de "Leaf Area Index" (L.A.I.) gedurende het groeiseizoen. L.A.I. is de verhouding tussen het bladoppervlak

en het oppervlak van het gewas. Het losse niet verdichte object A heeft zelfs in juli een L.A.I. groter dan 5, terwijl een L.A.I. van 3 à 4 voldoende is voor een goede opbrengst. De verdichtingen blijken een duidelijke invloed te hebben op de L.A.I.

Tabel 5 De hoofdstengellengte in cm van de objecten A, B, C en D op 19 juli en 16 augustus

Object	19 juli	16 aug.
A, los niet verdicht	76	76
B, matig verdicht	74	72
C, sterk verdicht	60	59
D, ploegzool	74	68

Tabel 6 De loofhoeveelheid (kg/m^2) van de objecten A, B, C en D op 21 juni, 19 juli, 16 augustus en 20 september; tussen haakjes staan de droge-stofgewichten vermeld

Object	21 juni	19 juli	16 aug.	20 sept.
A, los niet verdicht	1,3(0,09)	3,7(0,35)	2,5(0,35)	1,1(0,16)
B, matig verdicht	1,3(0,09)	3,0(0,30)	2,3(0,24)	1,3(0,17)
C, sterk verdicht	1,0(0,08)	2,3(0,24)	1,9(0,21)	0,8(0,16)
D, ploegzool	1,6(0,10)	1,3(0,17)	1,7(0,21)	0,4(0,12)

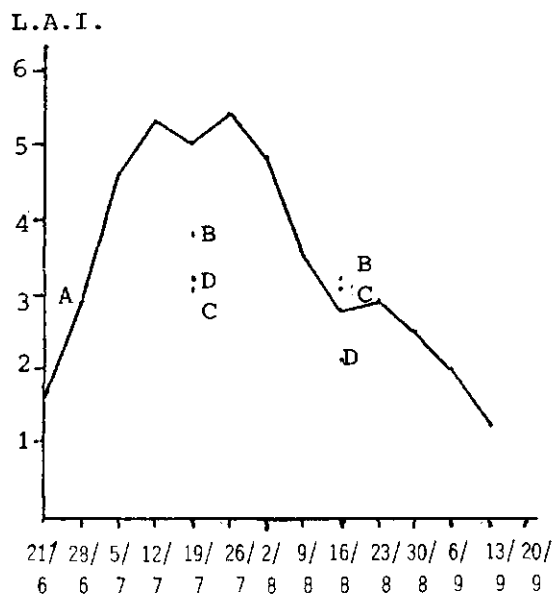


Fig. 9 De Leaf Area Index (L.A.I.) op de objecten A, B, C en D.

4.2 De knolontwikkeling in de loop van het groeiseizoen

In figuur 10 wordt van de verschillende objecten de knolopbrengst (ton/ha) weergegeven, die bepaald is op 19 juli, 16 augustus en 20 september. Het knolgewicht is tot ongeveer half juli op de objecten A en D het grootst. De objecten B en C blijven in deze periode achter. Na half juli blijft ook object D achter bij A. Dit komt, omdat de wortels stagneren op de verdichte horizont (ploegzool). De vochtvoorziening vormt nu de beperkende factor. De hogere capillaire opstijging in de verdichte profielen wordt geheel teniet gedaan door de slechtere doorwortelbaarheid van deze profielen, waardoor wateropname van het gewas beperkt wordt. Het object B vertoont na half juli een toename in de groeisnelheid. De wortels zijn dan door de verdichte laag gedrongen (fig. 7). De toename in groeisnelheid op object B is zelfs zo groot, dat bij de eind oogst object B iets hoger uitkomt dan object A. Ook object C vertoont een toename in de knolgroei nadat de wortels de verdichte laag gepasseerd zijn. De objecten A, B en C blijven vrij lang groen. Alleen object D vertoont al vroeg afstervingsverschijnselen, omdat de wortels van dit object er niet in slagen door de verdichting heen te dringen. Hierdoor heeft object D al vroeg last van vochttekort.

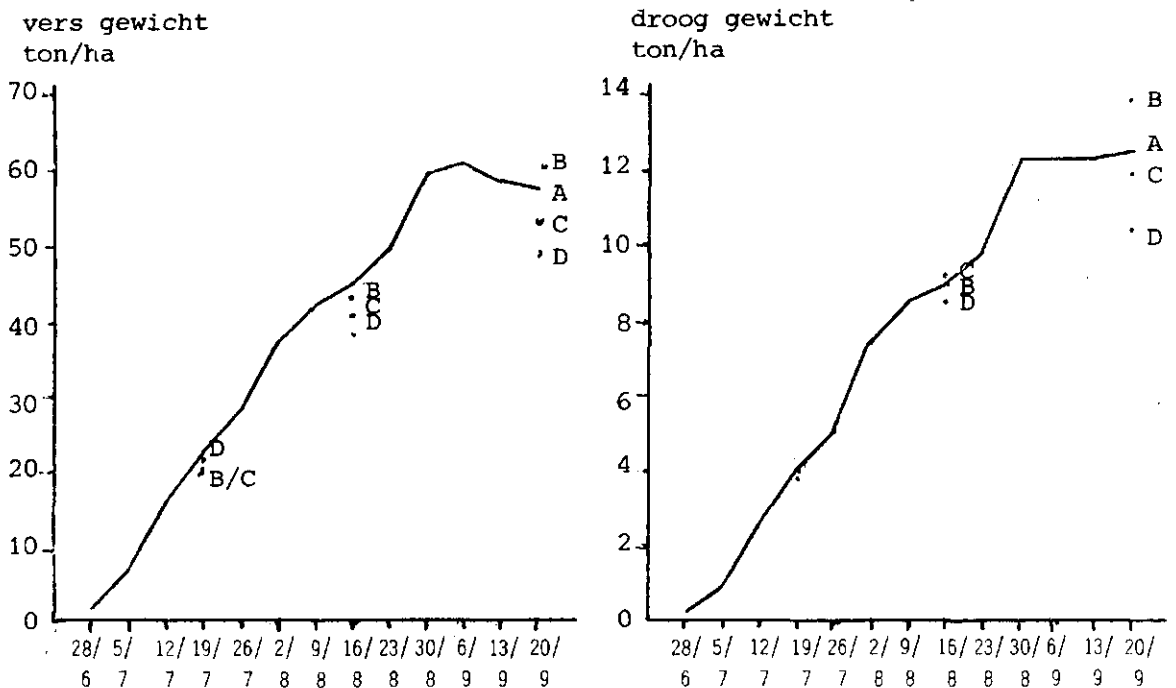


Fig. 10 Het groeiverloop van de objecten A, B, C en D (vers- en drooggewicht)

De verschillende objecten werden op 20 september geoogst. De opbrengst (ton/ha), de markt bare opbrengst en het onderwatergewicht (basis 5 kg) worden weergegeven in tabel 7. De sortering bij de eind oogst (in %) wordt in tabel 8 weergegeven. De verschillen in opbrengst tussen de objecten A en B zijn niet groot. Object C is duidelijk lager en de laag-

ste opbrengst heeft object D. In vergelijking met de niet-beregende objecten hebben de beregende iets hogere opbrengsten. De onderwatergewichten vertonen slechts weinig verschillen.

Wat de sortering betreft kan worden opgemerkt, dat de verschillen tussen de objecten niet groot zijn. Object D vertoont de minst gunstige sortering. In 1977 is doorwas vrijwel niet voorgekomen.

Tabel 7 De aardappelopbrengst (ton/ha) op 20 september, marktbaar opbrengst en onderwatergewicht (basis 5 kg)

Object	Veldge- was (ton/ha)	Marktbaar opbrengst (ton/ha)	Onderwater- gewicht
A	57,5	51,7	402,8
A2*	65,3	58,1	402,1
A3*	62,2	55,6	395,7
B	61,3	55,6	416,0
B2*	64,4	57,3	398,3
B3*	62,9	54,4	395,3
C	51,7	46,1	429,4
D	49,2	43,4	393,3

* = beregend

Tabel 8 De sortering in procenten bij de eind oogst

Object	< 28 mm	28-35 mm	35-45 mm	45-55 mm	55-70 mm	> 70 mm
A, los niet verdicht	2,6	6,0	22,2	45,0	23,2	1,0
B, matig verdicht	2,1	5,7	17,2	41,2	31,7	2,1
C, sterk verdicht	2,2	7,1	22,9	41,3	24,0	2,6
D, ploegzool	3,0	9,0	28,3	38,6	20,0	1,0

5 BEREKENINGSPROCEDURE TER BEPALING VAN DE VOCHTLEVERANTIE VOOR EEN DRIETAL PERIODEN IN 1977

5.1 De vochtleverantie van de grond aan het gewas

De hoeveelheid opneembaar water in de grond voor de plant hangt af van de vochtspanning (Ψ) van het water in de grond, de dikte van de be-wortelbare zone en de capillaire aanvoer.

De onttrekking van vocht door de plant in de doorwortelde zone, de capillaire aanvoer en de vochtspanning hangen nauw met elkaar samen. Wanneer de onttrekking groot is, bijvoorbeeld op een dag met een grote verdamping, dan neemt het vochtgehalte in de doorwortelde zone af en daardoor neemt de vochtspanning toe.

De vochtspanning vormt tevens de drijvende kracht voor de capillaire opstijging. De in figuur 11 geschetste profiel vindt geen stroming plaats (z.g. evenwichtsprofiel), omdat de zuigkracht die in dit profiel bestaat als gevolg van gradiënt in de vochtspanning, wordt gecompenseerd door de zwaartekracht (Bolt, 1972).

Wanneer ergens in het profiel vocht wordt onttrokken, dan stijgt de pF. Het evenwicht tussen vochtspanning en zwaartekrachte potentiaal wordt dan hersteld door een opwaartse stroming. Dit betekent ook, dat capillaire aanvoer al begint bij betrekkelijk lage pF-waarden en niet dan pas als de grond bijna is uitgedroogd.

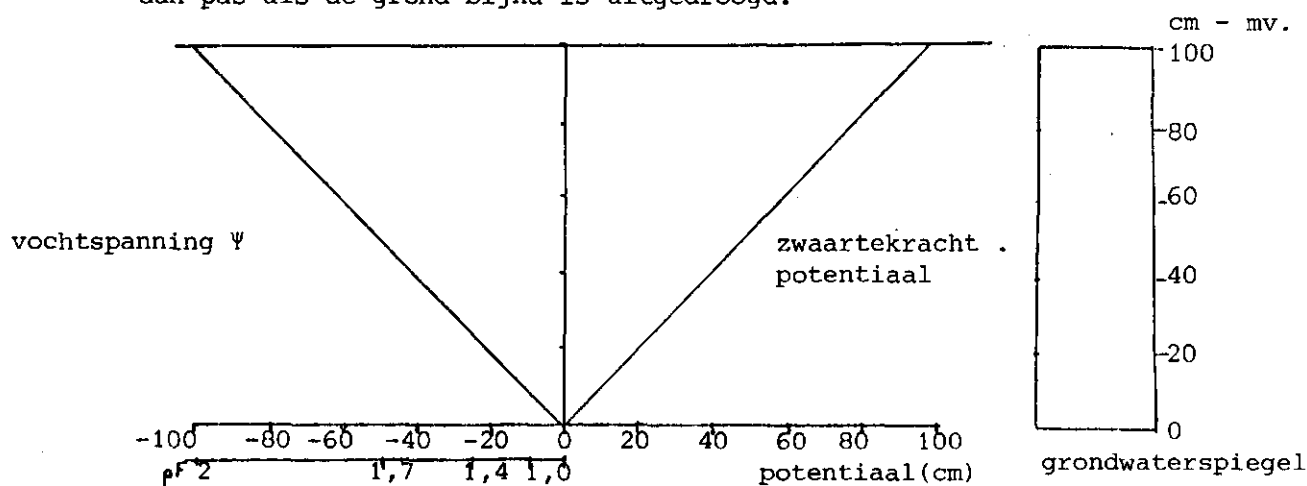


Fig. 11 Evenwichtsprofiel met grondwaterstand op één meter

In het voorgaande is uiteengezet, dat de wortelgroei in verdichte bodemlagen stagneert. Hierdoor wordt ook de hoeveelheid beschikbaar water beperkt. Wanneer toch voldoende water capillair aangevoerd kan worden, dan kunnen ook de door verdichtingen ondiep wortelende gewassen over voldoende water beschikken.

De hoeveelheid opneembaar vocht hangt af van:

1. de dikte van de bewortelbare zone
2. de hoeveelheid vocht in deze bewortelbare zone
3. de hoeveelheid vocht die via capillaire opstijging wordt aangevoerd naar de onderkant van de bewortelbare zone.

Bij het uitvoeren van berekeningen kiest men veelal een dikte van de bewortelbare zone, waarin zich 80, 90 of 100% van de wortels bevindt (effectieve bewortelingszone). De onttrekking van vocht uit deze zone is meetbaar door b.v. wekelijks per 10 cm laagdikte vochtbemonsteringen uit te voeren. De capillaire opstijging wordt uit de bij de grond behorende stijgcurves afgelezen.

5.2 De verdamping

Wanneer de totale hoeveelheid beschikbaar vocht uit onttrekking + capillaire opstijging voor een bepaalde periode bekend is, kan dit vergeleken worden met de verdamping in de betreffende periode. Voor de gewasverdamping (E_p) geldt bij benadering $E_p = f \cdot E_o$, waarin E_o de verdamping van een vrij wateroppervlak is. De factor f is de reductiefactor, hier gegeven voor verschillende perioden tijdens het groeiseizoen (tabel 9).

Tabel 9 De factor f uit $E_p = f \cdot E_o$ voor aardappelen (Hellings, 1971)

Maand	Mei			Juni			Juli			Augustus		
Decade	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
f	0,5	0,5	0,0	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7

5.3 De vochtleverantie via capillaire opstijging

Zowel de capillaire opstijging als de bodemvochtkarakteristieken (pF-curve) hangen af van de granulaire samenstelling, de dichtheid en de poriëngrootteverdeling in de bodem. Daarom is het nodig voor de berekening van de capillaire opstijging te beschikken over de gegevens van de zuigspanning aan de onderkant van de bewortelbare zone, de dikte van deze zone, de grondwaterstand en de stijgcurve behorende bij het desbetreffende type grond. Deze stijgcurve, die het verband geeft tussen zuigspanning en capillaire stijghoogte, wordt afgeleid uit de $K-\Psi$ curve van de grond. De $K-\Psi$ relatie, die het verband weergeeft tussen doorlatendheid en zuigspanning, wordt bepaald aan ongestoorde ringmonsters met behulp van de hetelucht-methode (Arya, 1975).

Van het bodemverdichtingsproefveld te Lelystad zijn voor het seizoen 1976 door Van Loon (P.A.G.V.) en Bouma (Stiboka) berekeningen gemaakt

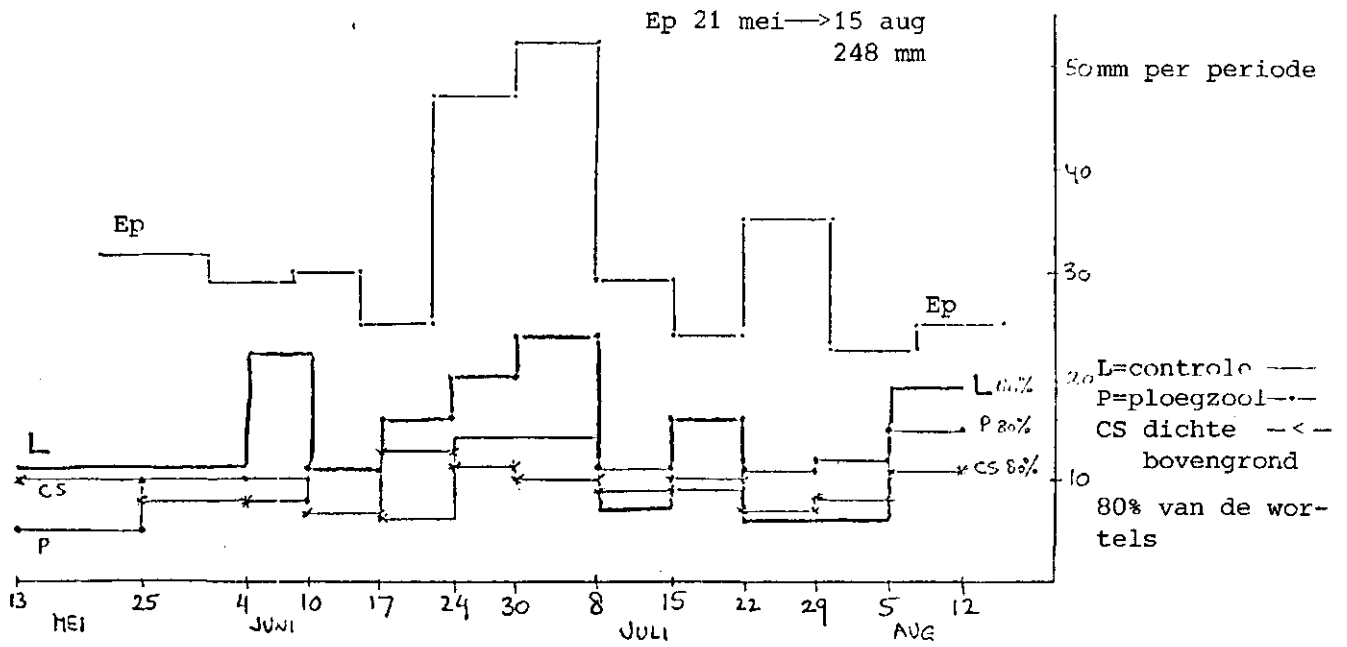


Fig. 12 De gewasverdamping (Ep) en de vochtleverantie voor drie objecten bij 80% effectieve bewortelingsdiepte gedurende het groeiseizoen 1976

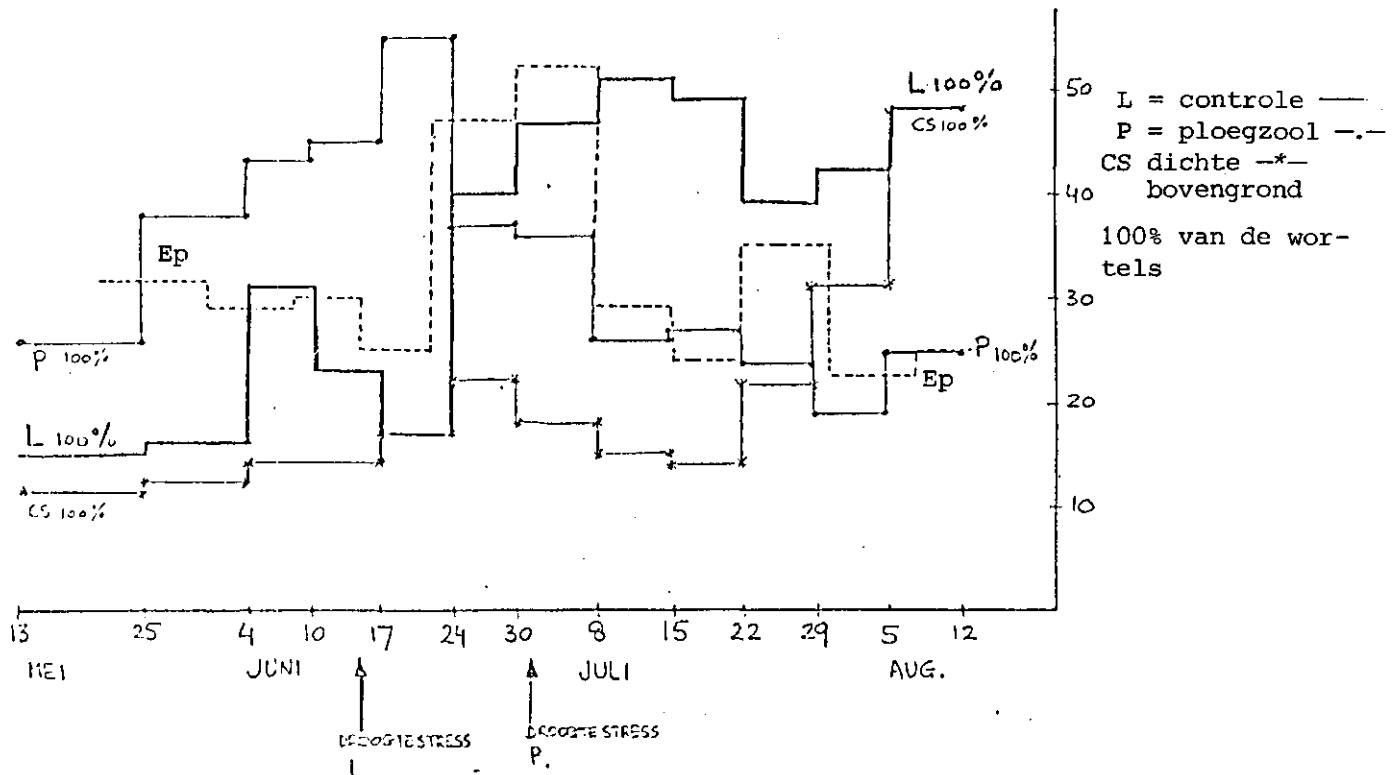


Fig. 13 De gewasverdamping (Ep) en de vochtleverantie voor drie objecten bij 100% effectieve bewortelingsdiepte gedurende het groeiseizoen 1976

over deze capillaire nalevering in relatie tot de gewasgroei (Boone et al., 1978). De figuren 12 en 13 die door hen ter beschikking zijn gesteld, tonen de gewasverdamping, bij benadering $E_p = f \cdot E_0$ en de vochtleverantie, berekend uit onttrekking + capillaire nalevering voor twee effectieve bewortelingsdieptes, resp. 80 en 100% gedurende het groeiseizoen van 1976. Uit figuur 12 blijkt, dat wanneer we een effectieve bewortelingsdiepte met 80% van het aantal wortels veronderstellen er te weinig vochtleverantie plaatsvindt om de verdamping te compenseren. Dit is niet in overeenstemming met de gewasreactie. Figuur 13 geeft een passender beeld. Op het niet verdichte object L overtreft aanvankelijk de verdamping de vochtaanvoer, omdat door de lossere grond de capillaire aanvoer niet toereikend is. Naarmate de beworteling dieper komt, neemt de vochtleverantie toe en heeft het niet verdichte object L geen vochttekort meer.

Het sterk verdichte object CS heeft tot eind juli vochttekort, pas wanneer de beworteling door de verdichte lagen dringt, wordt de vochtleverantie groter en herstelt dit gewas zich. Het object P (met ploegzool) vertoont aanvankelijk een vlotte groei, maar zodra de wortels de verdichtingen bereikt hebben, treedt ernstig vochttekort op. Dit vochttekort is van blijvende aard, omdat de wortels er niet in slagen door de verdichtingen te dringen.

Deze resultaten van 1976 waren aanleiding om ook voor 1977 een dergelijke berekening te maken. Hierbij dient men te bedenken, dat de weersomstandigheden in 1977 totaal verschillen van 1976. Het jaar 1976 werd gekenmerkt door zeer weinig neerslag, veel zon en grote verdamping (4 à 7 mm per dag tegen 2 à 4 mm per dag in 1977). De neerslag in 1977 bedroeg te Lelystad in de maanden juni 48 mm (normaal 54 mm), juli 35 mm (normaal 77 mm) en augustus 100 mm (normaal 84 mm). Het aantal uren zon te De Bilt bedroeg in juni 119 uren (normaal 223 uren), in juli 184 uren (normaal 199 uren), en in augustus 129 uren (normaal 186 uren).

Voor de berekening van de capillaire opstijging wordt uitgegaan van een gesloten doorwortelde zone; d.w.z. er vindt geen transport van water naar beneden plaats. Bij regenval vindt soms een toeneming van het vochtgehalte in de doorwortelde zone plaats. Wanneer deze b.v. 10 mm is en de neerslag 20 mm, verdeeld over drie buien, waarbij per bui 2 mm verdampt, dan is 14 mm in de grond gedrongen en dus 4 mm opgenomen.

Voor de berekening van de capillaire opstijging van het proefveld in 1977 zijn van de verschillende bodemhorizonten ringmonsters genomen.

Uit deze monsters werden met behulp van de heteluchtmethode (Arya, 1975) K-Ψ cursus afgeleid.

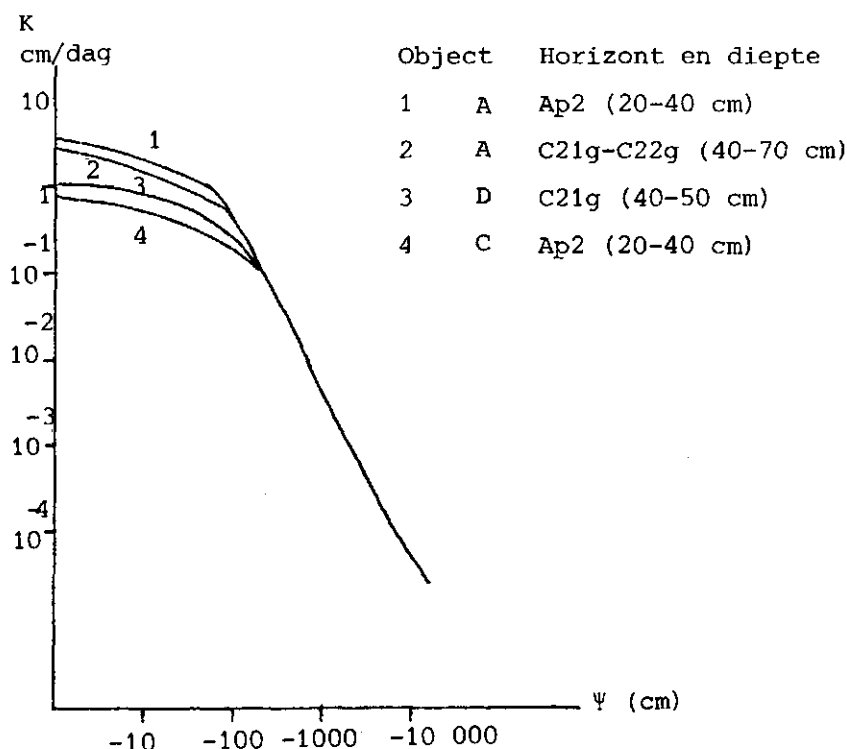


Fig. 14 Capillair geleidingsvermogen in afhankelijkheid van de zuigspanning

De verschillen tussen de objecten in figuur 14 zijn niet groot. Waarschijnlijk komt dit, omdat de verdichtingen weinig effect hebben op die poriën, die het belangrijkste zijn voor de capillaire opstijging. Uit de K-Ψ curve kan met de formule:

$$Z_{Hn} = \int_{H_{n-1}}^{H_n} \frac{\Delta H}{1 + \frac{V}{K}} dH$$

waarin:

Z = stijghoogte (cm)

V = stijgsnelheid (cm/dag)

K = gemiddelde doorlatendheid (cm/dag)

de stijgcurve voor de betreffende grond worden berekend. Dit heeft geleid tot de stijgcurves, weergegeven in figuur 15. Uiteraard is ook in deze curves het verschil tussen de objecten niet groot. Voor de ondergrond (C23g) is de stijgcurve van 1976 gebruikt (fig. 16)

Voor drie perioden van een week is de vochtleverantie berekend. Deze perioden zijn zo gekozen, dat er geen neerslag bij de berekening betrokken hoeft te worden. De perioden zijn: 16-23 juni, 7-14 juli en 28 juli - 4 augustus.

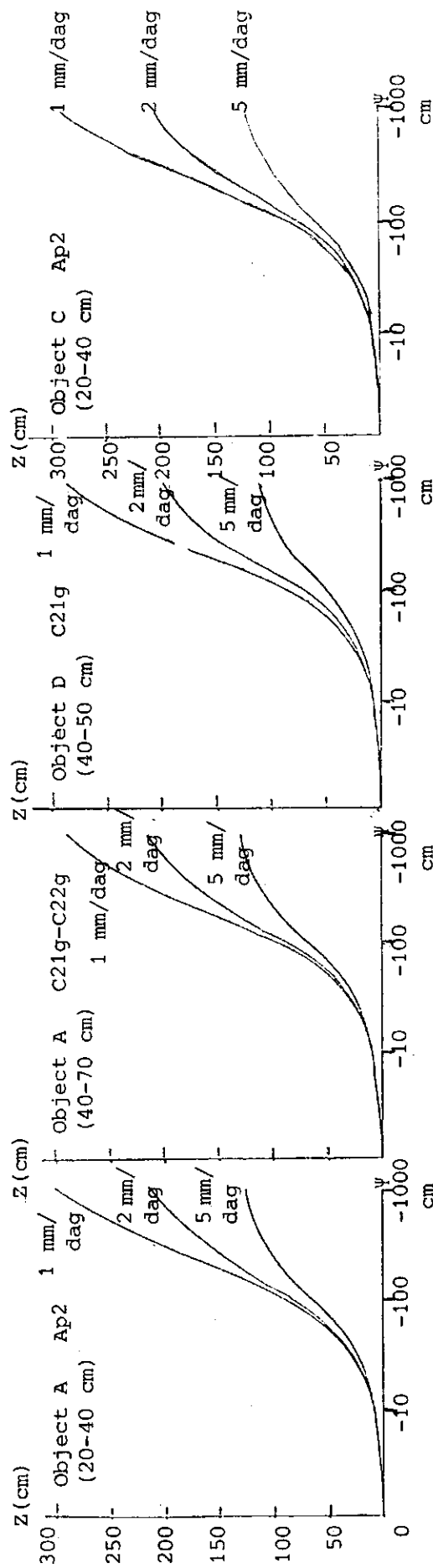


Fig. 15 Relatie tussen de hoogte boven de grondwaterspiegel (z) en de zuigspanning voor verschillende capillaire stijgsnelheden v (mm/dag)

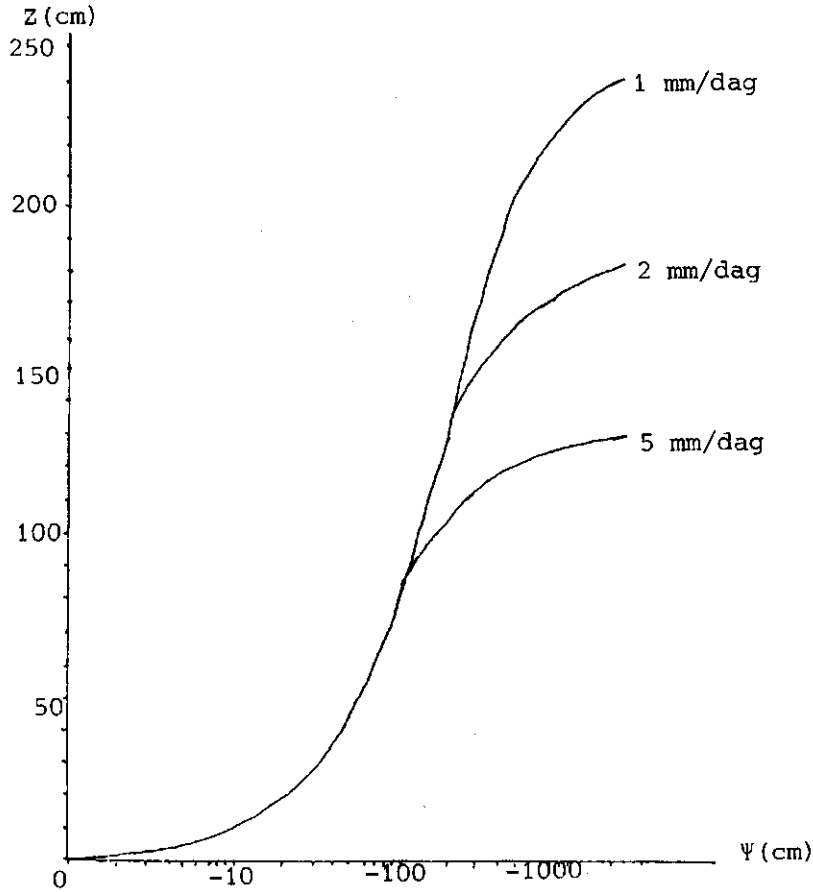


Fig. 16 Stijgcurve van de ondergrond (C23g) in 1976

5.4 De vochtleverantie in drie perioden

Periode 16-23 juni 1977

De grondwaterstand was in deze periode 119 cm - mv. De verdamping E_p bedroeg 15 mm. De onttrekking uit de bewortelbare zone bedroeg voor de verschillende objecten 12 à 16 mm, afhankelijk van de bewortelingsdiepte. Uit de berekeningen blijkt, dat voor de gekozen periode elk van de objecten voor elke aangenomen effectieve bewortelingszone geen vochttekort is geweest. Dit was in overeenstemming met de vlotte gewasgroei in die perioden op alle objecten (blz. 34).

Periode 7-14 juli 1977

De grondwaterstand was in deze periode 152 cm - mv. De verdamping E_p bedroeg 31 mm. De onttrekking uit de bewortelbare zone bedroeg, af-

hankelijk van de bewortelingsdiepte, 2 tot 10 mm.

Omdat in deze periode de verdamping tweemaal zo groot was als in de periode 16-23 juni en omdat de grondwaterstand dieper was, waardoor de capillaire opstijging verminderde, zijn de verdamping en de vochtleverantie dicht bij elkaar gekomen. De 80% aanname geeft goede uitkomsten. Het gewas op de verdichte objecten had zichtbaar vochttekort. Volgens de berekening was er nog net genoeg (blz. 35).

Periode van 28 juli-4 augustus 1977

De grondwaterstand was in deze periode 180 cm - mv. De verdamping E_p bedroeg 20 mm. De onttrekking uit de bewortelbare zone bedroeg, afhankelijk van de bewortelingsdiepte, 2 tot 12 mm.

Ook in deze periode liggen verdamping en vochtleverantie in mm/dag niet ver uit elkaar. Bij object D lijkt het erop, dat de 100% aanname de beste is; het gewas leed inderdaad aan zeer ernstig vochtgebrek (blz. 36).

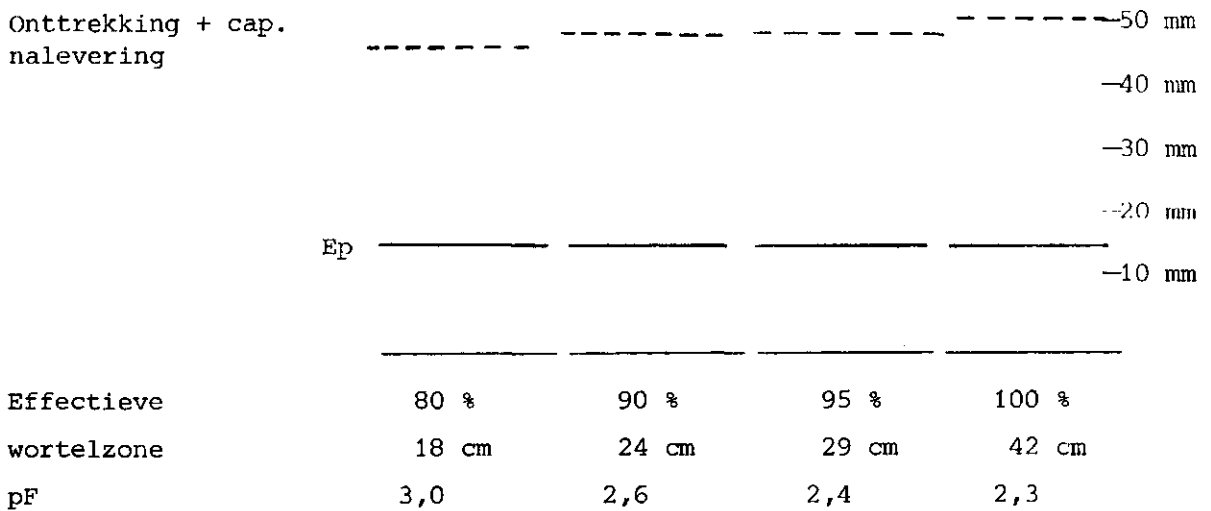
5.5 Bespreking

Het groeiseizoen in 1977 is gekenmerkt door twee natte perioden, nl. één vanaf de pootdatum tot in de tweede helft van juni en de andere na half augustus. De tussenliggende periode was vrij droog. Tot half juni waren de bodemfysische groeiomstandigheden in de verdichte lagen van object B en vooral van object D uiterst slecht, niet alleen door lage luchtgehalten en hoge indringingsweerstanden, maar vooral door het zeer geringe gehalte aan zuurstof van de bodemlucht. Hiermee in overeenstemming was de zeer ondiepe beworteling op de objecten B en C bij de eerste bewortelingsopname, nl. twee maanden na het poten. Op deze slechte beworteling kon de mechanische weerstand toen nog weinig invloed uitgeoefend hebben.

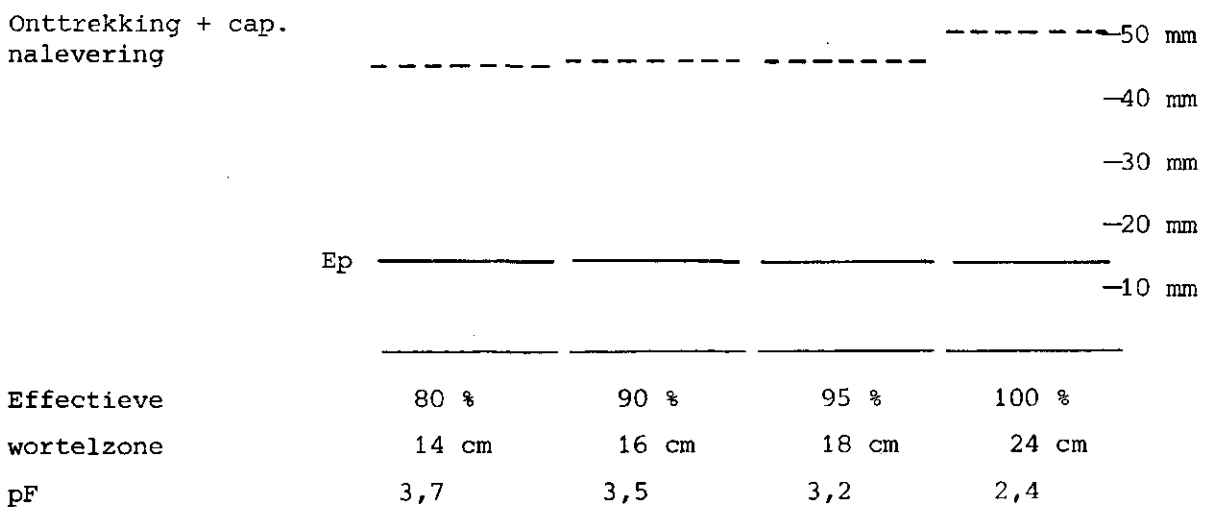
De gasdiffusie in de ploegzool van object D was in de natte perioden beter dan die in de verdichte lagen van de objecten B en C. In de ploegzool kon de luchthuishouding toen slechts een geringe invloed op de beworteling uitgeoefend hebben. De indringingsweerstand zowel op 20 april als op 30 augustus was in de ploegzool groot, nl. groter dan in de verdichte lagen van objecten B en C. Deze weerstandmetingen zijn alleen in natte perioden uitgevoerd. In de drogere periode (half juni tot half augustus) moeten de weerstanden veel hoger geweest zijn. De dieptegroei van de beworteling op object D is in die periode dan ook vrijwel volledig tot stilstand gekomen. De bewortelingsdiepte bleef beperkt tot aan de ploegzool.

Periode van 16-23 juni 1977

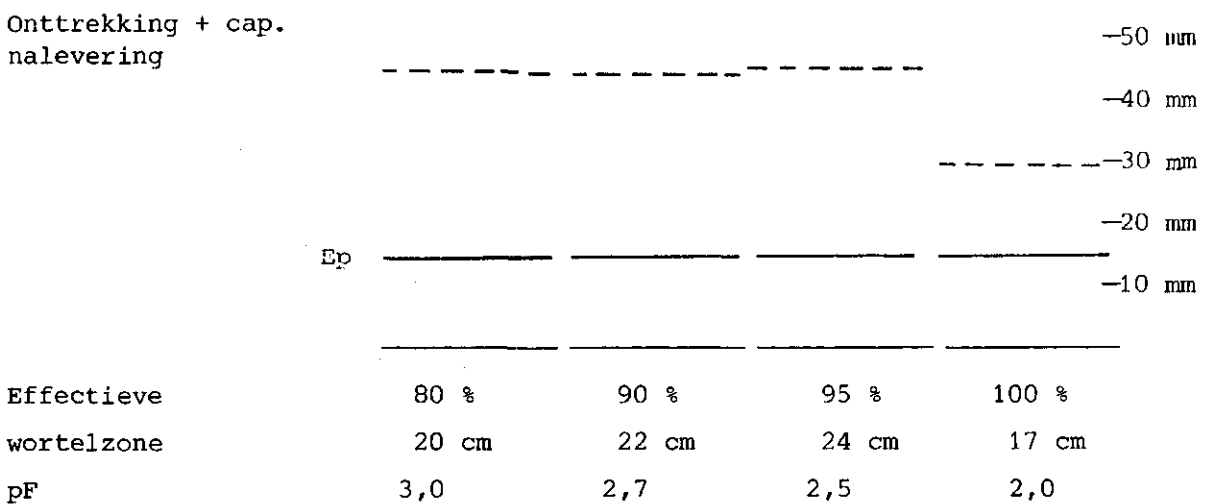
Object: A (niet verdicht)



Object: C (sterk verdicht)



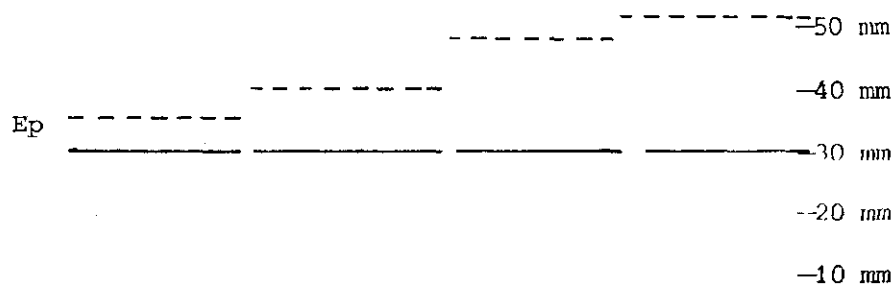
Object : D (ploegzool)



Periode van 7 juli - 14 juli, 1977

Object: A (niet verdicht)

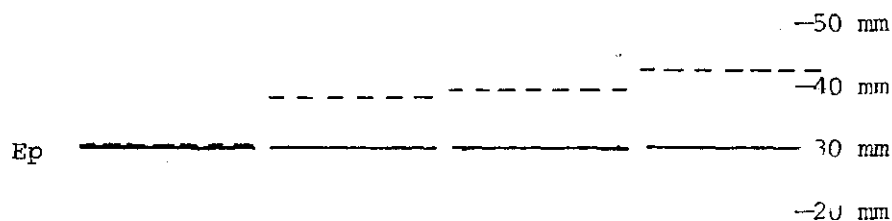
Onttrekking + cap.
nalevering



Effectieve	80 %	90 %	95 %	100 %
wortelzone	23 cm	33 cm	38 cm	57 cm
pF	4,0	4,0	4,0	3,0

Object: C (sterk verdicht)

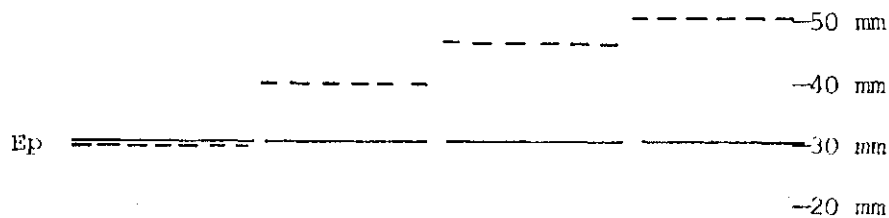
Onttrekking + cap.
nalevering



	80 %	90 %	95 %	100 %
wortelzone	15 cm	20 cm	23 cm	30 cm
pF	3,8	3,8	3,7	3,6

Object: D (ploegzool)

Onttrekking + cap.
nalevering

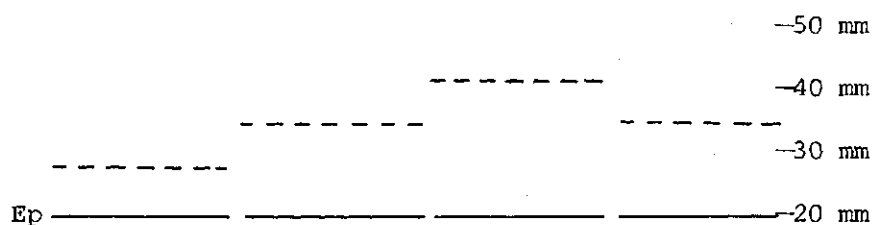


Effectieve	80 %	90 %	95 %	100 %
wortelzone	15 cm	34 cm	42 cm	47 cm
pF	3,8	3,5	2,7	2,6

Periode van 28 juli - 4 augustus 1977

Object: A (niet verdicht)

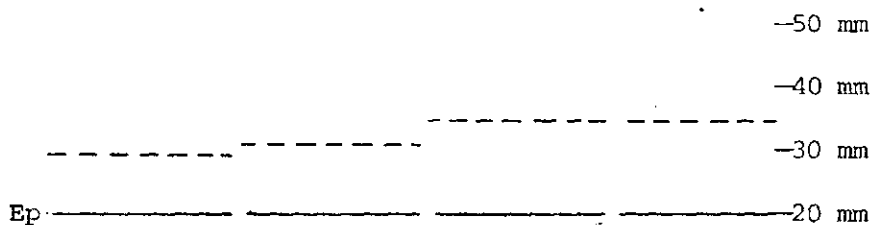
Otttrekking + cap.
nalevering



Effectieve	80 %	90 %	95 %	100 %
wortelzone	40 cm	50 cm	59 cm	77 cm
pF	3,6	3,6	2,9	2,4

Object: C (sterk verdicht)

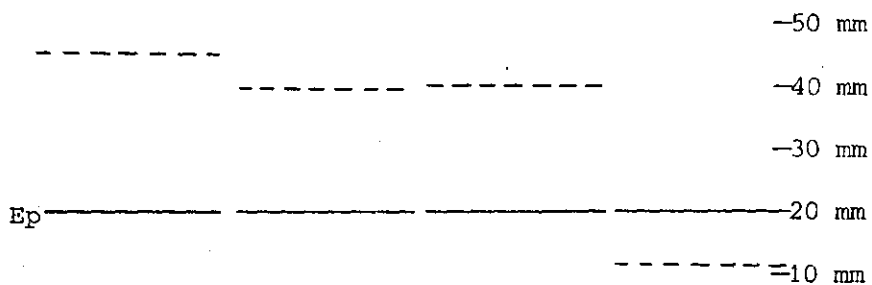
Otttrekking + cap.
nalevering



Effectieve	80 %	90 %	95 %	100 %
wortelzone	26 cm	36 cm	40 cm	52 cm
pF	3,8	3,6	2,9	2,2

Object D: (ploegzool)

Otttrekking + cap.
nalevering



Effectieve	80 %	90 %	95 %	100 %
wortelzone	37 cm	44 cm	47 cm	60 cm
pF	4,0	2,9	2,9	2,0

Ook in de tweede helft van augustus (tweede natte periode) was de luchthuishouding in de verdichte lagen van object B en in nog sterke mate van object C verre van optimaal. Waarschijnlijk heeft dit het vroeger afsterven van het gewas op die objecten beïnvloed.

Beschouwen we de vochtleverantie aan het gewas, dan lijkt op het eerste gezicht dat het overschot aan vocht groot is. Berekenen we dit per dag, dan komen we tot een hoeveelheid van 1 à 3 mm. Het blijft evenwel moeilijk om een continu proces als capillaire opstijging te "bepalen" met behulp van fysische wetmatigheden. Als gevolg van capillaire opstijging zal in deze grond niet gemakkelijk luchttekort ontstaan. Een toename van het vochtgehalte doet immers de pF-dalen, waarmee de drijvende kracht voor de capillaire opstijging vermindert.

Uit het onderzoek blijkt dat het uitvoeren van regelmatige vochtbemonsteringen een betere benadering geeft om de veranderingen in het vochtgehalte te vervolgen dan de wekelijkse benaderingen. Ook het meten van de vochtspanning ter plaatse, als dit betrouwbare gegevens oplevert, verdient meer aanbeveling dan het terugrekenen van de vochtspanning uit de pF-curve. De sterke heterogeniteit van de grond bemoeilijkt zowel de bepaling van de pF-curve als de bepaling van de stijgcurves. Bij homogene profielen, zoals vele klei- en zavelgronden in het zuidwestelijk- en noordelijk zeeleigebied zouden dergelijke berekeningen wel goede resultaten kunnen opleveren, b.v. bij het opstellen van vochtbalansen.

Hoe het ook zij, uit dit onderzoek blijkt, dat de opdrachtigheid van de kalkrijke zavelgrond in Lelystad zo goed is, dat men kan spreken van een "ondergrondse beregeningsinstallatie". Bovendien is deze voor de boer geheel gratis.

Gezien de hoge opbrengsten lijkt het niet uitgesloten, dat er een behoorlijke stikstofleverantie vanuit de ondergrond door het opstijgende water plaatsvindt. Wanneer de capillaire aanvoer gedurende het groeiseizoen 250 mm bedraagt, komt dit neer op een hoeveelheid bodemvocht van $2500 \text{ m}^3/\text{ha}$. Bevat de bodemoplossing b.v. 100 ppm aan N, dan zou dit een stikstofleverantie kunnen betekenen van $2500 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 250 \text{ kg/ha}$.

6 SAMENVATTING

Om de invloed na te gaan van verdichte lagen in en onder de bouwvoor op de wortelontwikkeling, de vochtvoorziening en de opbrengst van consumptie-aardappelen is in 1977 een proefveld aangelegd op zware zavelgrond te Lelystad, onderverdeeld in objecten met losse niet verdichte bovengrond, een matig verdichte bovengrond, een sterk verdichte bovengrond en een verdichting onder de bouwvoor (ploegzool).

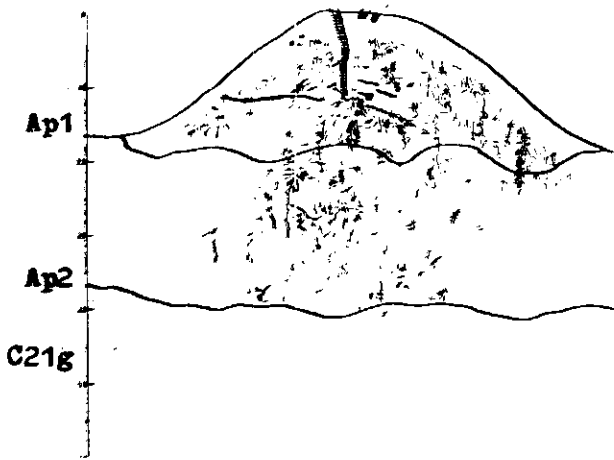
Het is gebleken, dat de wortelgroei stagneert op de aangebrachte verdichtingen door de hogere indringingsweerstanden en de lagere luchtgehaltes. Nadat de wortels door de verdichte lagen zijn verdrongen, neemt de achterstand in groeisnelheid echter sterk af. De ploegzool blijkt voor de wortels vrijwel ondoordringbaar te zijn; het gewas vertoont dan al vroeg afstervingsverschijnselen als gevolg van vochttekort, waardoor de knolopbrengst bij de eind oogst het laagst uitkomt.

Berekeningen over de vochtvoorziening laten zien, dat de objecten bijna altijd over voldoende vocht hebben kunnen beschikken. Alleen in perioden met hoge verdamping komen de objecten met een sterk verdichte bovengrond en die met een ploegzool in moeilijkheden. Dit is in overeenstemming met de gewasreactie.

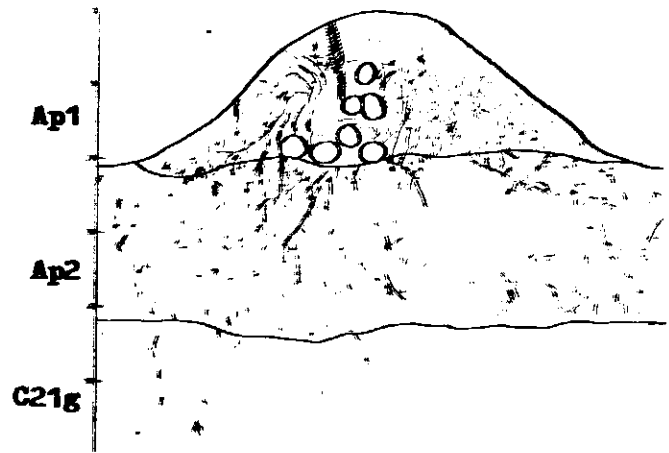
7 LITERATUUR

- | | | |
|---|------|--|
| Arya, L.M., D.A. Farrell
en G.R. Blake | 1975 | A field study of soil water depletion patterns in presence of growing soybean roots. I Determination of hydraulic properties of the soil. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 39: 420-430. |
| Bakker, H. de en J.
Schelling | 1966 | Systeem van bodemclassificatie voor Nederland; de hogere niveaus, Wageningen. |
| Bolt, G.H. e.a. | 1972 | Bodemnatuurkunde (college dictaat). |
| Boone, F.R., J. Bouma,
C.D. van Loon and
L.A.H. de Smet | 1978 | A case study on the effect of soil compaction on potato growth in a loamy sand soil 1. Physical measurements and rooting patterns. 2. Potato plant responses. Stiboka Reprint no. 138. Wageningen. |
| Bouma, J. | 1977 | Soil Survey and the study of water in unsaturated soil. Soil Survey papers, no. 13, Wageningen. |
| Hellings, A.J. | 1971 | Het verband tussen waterverbruik en opbrengst bij gewassen met duidelijk te onderscheiden gevoelige perioden. C.A.D. voor Bodemaangelegenheden in de Landbouw. Wageningen. |
| Ovaa, I. en G.A. van
Soesbergen | 1978 | Het effect van een diepe grondbewerking, op de wortelontwikkeling van akkerbouwgewassen op een kalkrijke zavelgrond. Stiboka. Tussentijds verslag nr. 4 van project 092.34. Wageningen. |
| Reijmerink, A. | 1964 | Een verbeterde methode voor bewortelingsonderzoek. Meded. Dir. Tuinbouw 27. 1. p. 42-49. |
| Rijtema, P.E. | 1969 | Soil Moisture Forecasting. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. Nota 513, Wageningen. |
| Soesbergen, G.A. van en
Th.C. Vos | 1972 | Een penetrograaf voor toegepast bodemkundig onderzoek. Cultuurtechnisch Tijdschrift jrg. 12, nr. 3. |

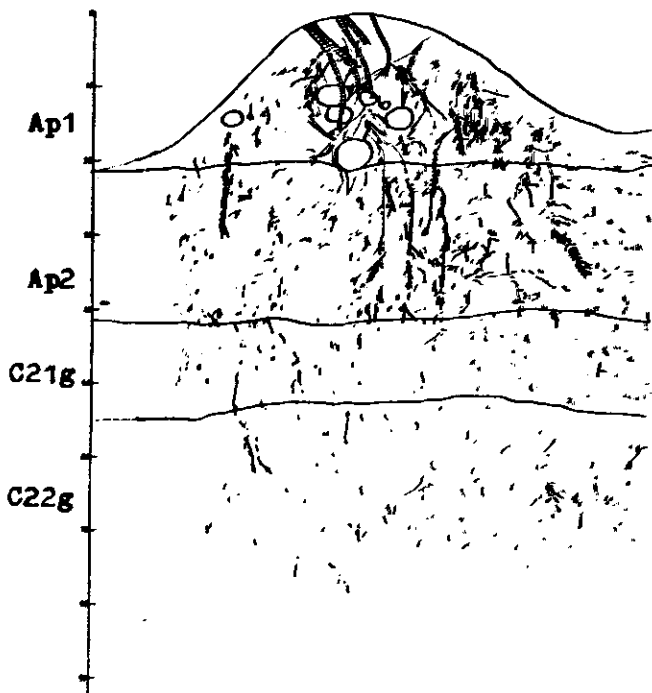
Opname: 21-6-1977



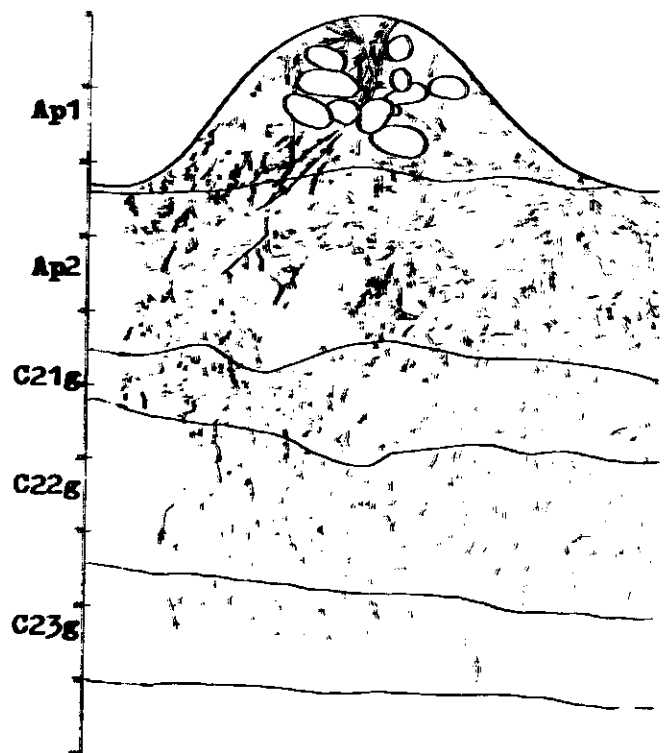
Opname: 6-7-1977



Opname: 27-7-1977



Opname: 30-8-1977

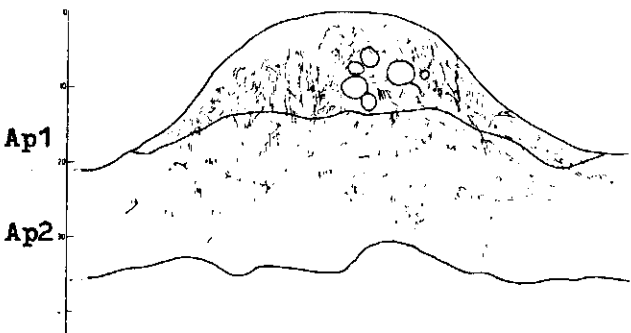
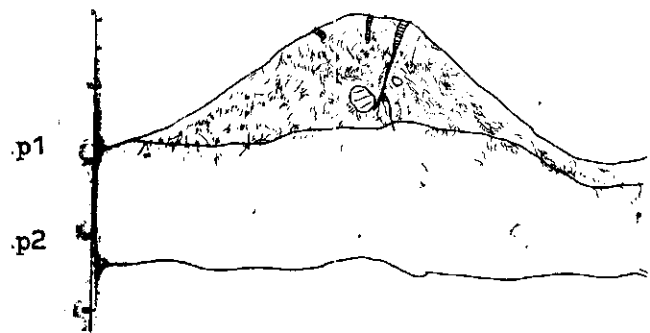


Bijl. 1 Wortelbeelden van aardappelen; niet verdichte bovengrond, object A

Opname: 21-6-1977

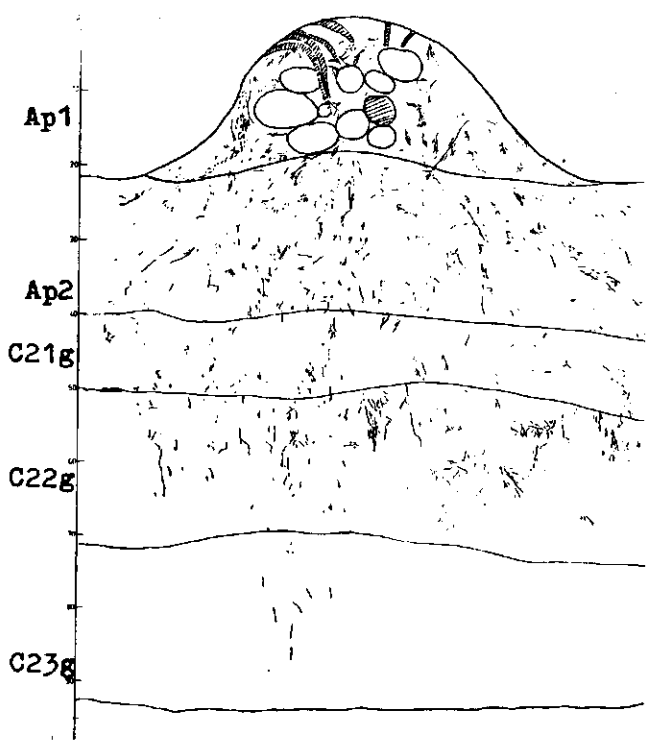
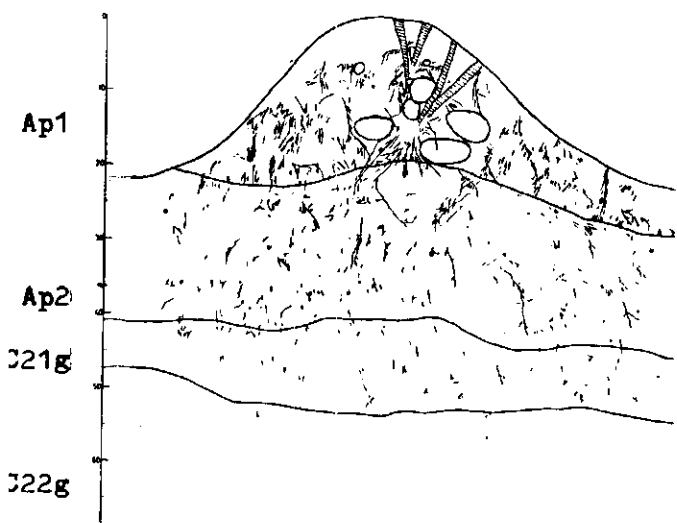
- 41 -

Opname: 6-7-1977



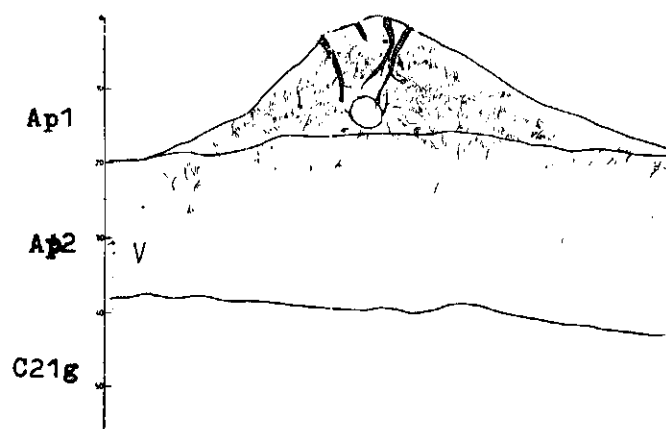
Opname: 27-7-1977

Opname: 30-8-1977

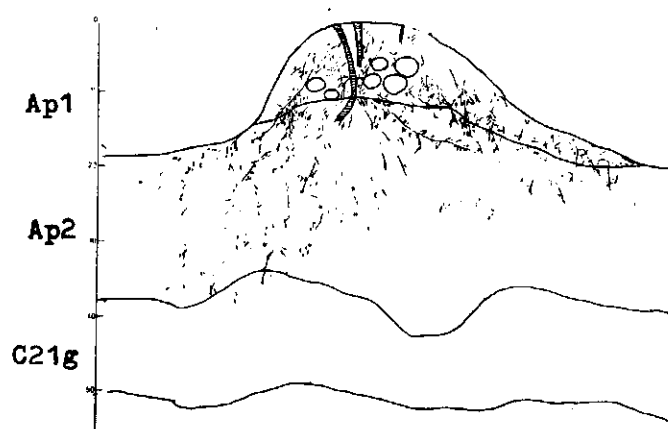


Bijl. 2 Wortelbeelden van aardappelen; matig verdichte bovengrond, object B

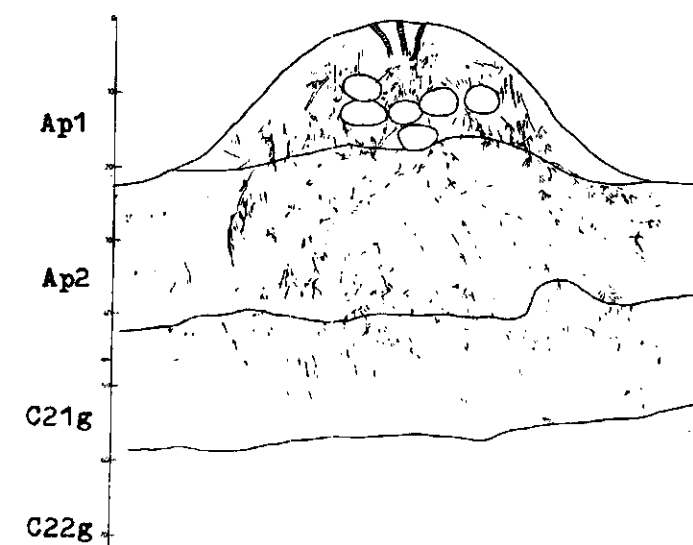
Opname: 21-6-1977



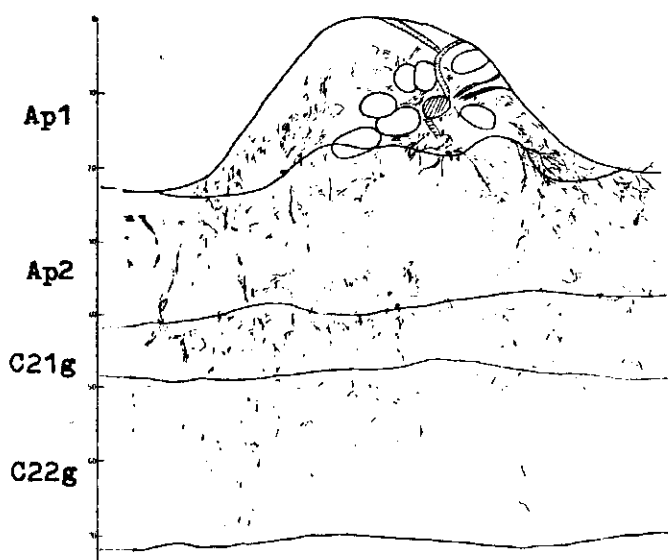
Opname: 6-7-1977



Opname: 27-7-1977



Opname: 30-8-1977

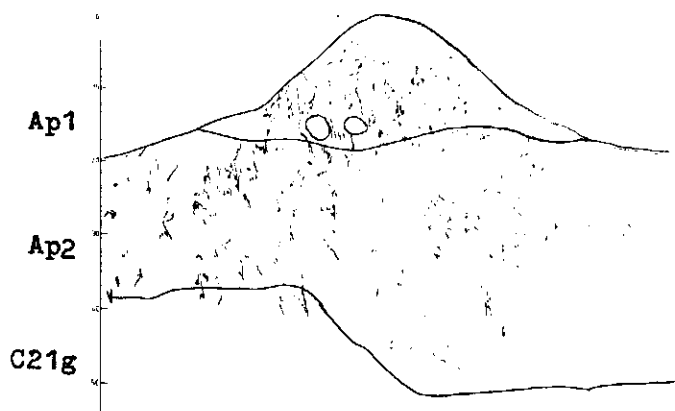
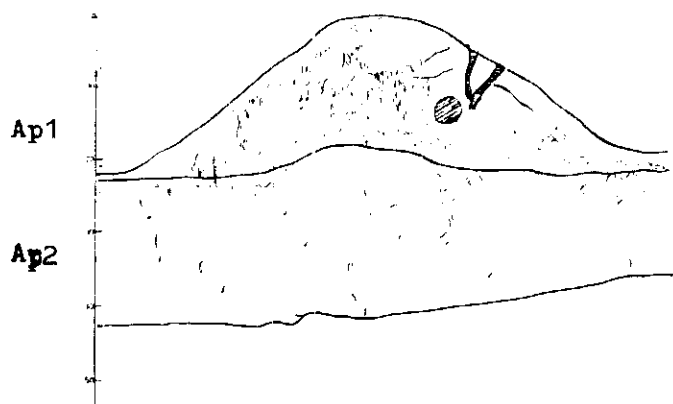


Bijl. 3 Wortelbeelden van aardappelen; sterk verdichte bovengrond, object C

Opname: 21-6-1977

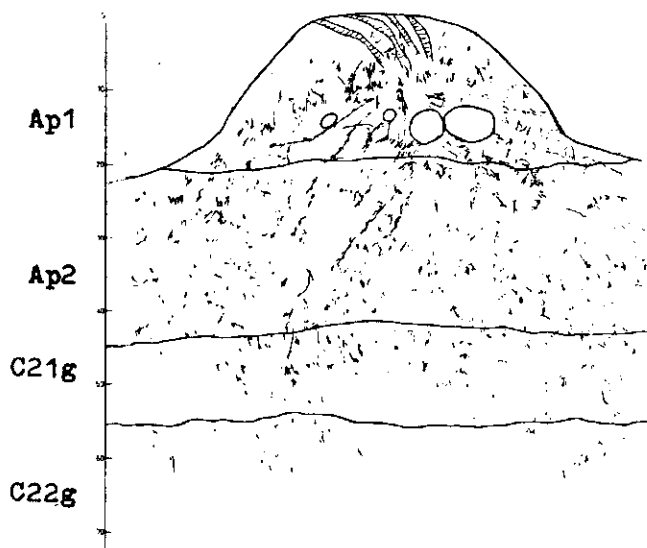
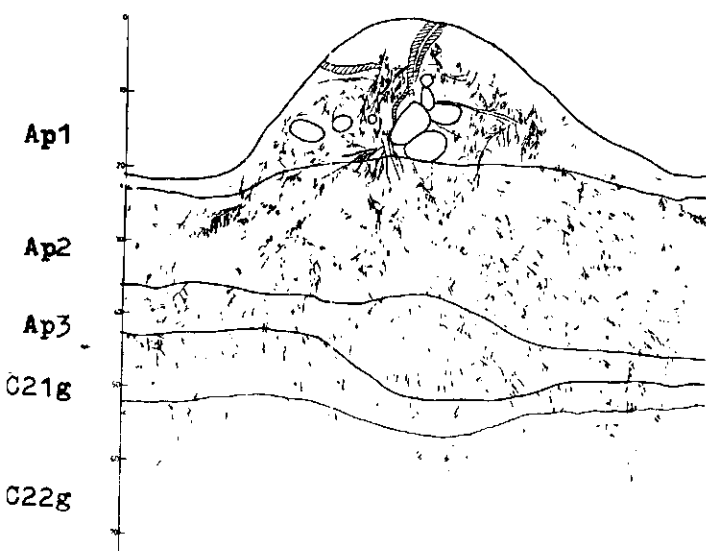
- 43 -

Opname: 6-7-1977



Opname: 27-7-1977

Opname: 30-8-1977



bijl. 4 Wortelbeelden van aardappelen; sterke verdichting van de grond onder de bouwvoor object D (ploegzool)

VERSCHEENEN INTERNE MEDEDELINGEN

1. T. Vis (1971): Een inventariserend onderzoek naar de gebruiksmogelijkheden van verschillende gronden voor de aanleg van kampeerterreinen.
2. C. Hoekstra (1971): Voorstel tot wijziging van de indeling van de macrostructuren.
3. G.J.W. Westerveld en J.A. v.d. Hurk (1971): Verslag van een bodemkundige studiereis naar het Bundesland Nordrhein-Westfalen.
4. G.A. van Soesbergen en Th.C. Vos (1971): Een penetrograaf voor toegepast bodemkundig onderzoek.
5. H.C. van Heesen, P. van der Sluijs en A.J. Krabbenborg (1972): Vochtleverantie door zandgronden.
6. T. Vis en H.G.M. Geenen (1972): Plasvorming op kampeerterreinen en geschiktheid van de bodem voor intensief recreatief gebruik.
7. J.M. Schrijver (1972): Tekenmaterialen en -apparatuur.
8. A.J. Krabbenborg (1973): Standaard pF-curven van fijnzandige zandgronden.
9. A. Reijmerink (1973): Verslag van een bodemkundige studiereis naar Braunschweig-Völkenrode, Hannover-Buchholz en Emden-Riepe.
10. P. van der Sluijs (1973): Vochtleverantie en beworteling van de grond.
11. J.G. Vrieling (1973): Vegetatiekartering ten behoeve van de bodemgeschiktheidsbeoordeling voor houtsoorten.
12. L.A.H. de Smet (1973): Bodemgesteldheid, vruchtwisseling en bodemziekten.
13. G. Ebbers en C. Hamming (1973): Hydrologisch onderzoek Ruurlo, deel I.
14. L.A.H. de Smet (1973): Bodemgesteldheid actuele en potentiële bodemgeschiktheid voor akkerbouw van de veenkoloniën.
15. W.J.M. te Riele (1973): Werkwijze bij het drainage vooronderzoek in ruilverkavelingsgebieden.
16. L.A.H. de Smet (1973): Bodemverdichting en de invloed hiervan op de plantengroei.
17. G. Ebbers en C. Hamming (1978): Hydrologisch onderzoek Ruurlo. De GHG's en GIG's van "natter deel" en "droger deel" bij de Gt's III en V in open zandgronden.
18. W.J.M. v.d. Voort (1973): Literatuurstudie over kalkverlopen in rivierklei.
19. A.A. de Veer (1973): Landschapskartering in het kader van opdrachtprojecten.
20. C. v. Wallenburg en P. v.d. Sluijs (1973): Indringingsweerstand, grondwaterstand en dichtheid van de bovengrond van grasland op veengronden en eerdgronden in Noord Holland.
21. Th. v. Egmond (1973): Vegetatie en draagkracht van grasland op veengronden en eerdgronden in Noord Holland.
22. B.H. Steeghs (1973): Bossen en parken.

23. W.J.M. van der Voort (1973): "Tiel" en "Gorkum" in het Land van Maas en Waal (Een onderzoek bij Ewijk en Deest).
24. H.C. van Heesen, P. van der Sluijs en A.J. Krabbenborg: Het bergend vermogen van zandgronden.
25. Interne Studiegroep "Grassportvelden". De bodemopbouw in verband met aanleg en onderhoud van grassportvelden.
26. H. van het Loo (1974): Grafieken ter bepaling van de hoeveelheid koolzure kalk en fosfaat bij de voorraadbemesting.
27. J.A. Gast (1974): Een rapportage-systeem volgens de U.S. Soil Survey. Een rapportage-systeem voor bodemgesteldheidskarteringen en bodemgeschiktheidsbepalingen t.b.v. planologische ontwikkelingen volgens de opzet van de U.S. Soil Survey (Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture).
28. J.A. Gast (1974): Een rapport-vorm volgens de U.S. Soil Survey. Rapport Helmond - nieuwe opzet.
29. H.C. van Heesen en P. van der Sluijs (1974): De vochtleverantie van een grond aan het gewas.
30. W.J.M. van der Voort (1974): De bodemkundige variatie binnen twee enkelvoudige kaarteenheden (Rn44C en Rd90A op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000).
31. D. Daniels en L.A.H. de Smet (1974): Bodemverdichtingen en cultuurtechnische ingrepen op een lichte zavelgrond.
32. P. van der Sluijs (1975) : Vochttransport in verticale richting met constante snelheid.
33. K. de Kreij (1975): Anthropogene verdichtingen bij enkeerd-, moderpodzol- en vorstvaaggronden.
34. H. van het Loo (1975): Berekening en aflezing met behulp van een nomogram van zakking volgens de formule van Terzaghi.
35. J.F. Bannink (1975): Determinatietabel voor de vegetatietypen in naaldboutbossen, loofhoutbossen en gemengde bossen en een praktische indeling van heidevegetaties.
36. H.L. Kanters (1975): Gegevens over pH-KCl waarden van zandgronden in Zuid-Nederland.
37. I. Ovaa, m.m.v. C.v.Wallenburg (1976): De vergraven gronden in Zeeland. Deel 1 - Onderzoek naar de karteerbaarheid van bodemgesteldheid en grondwatertrap.
38. G.A.Vos (1976): Opname van grondwaterstanden t.b.v. de kartering en documentatie van grondwatertrappen op kaartblad 19 Oost - Alkmaar.
39. D.A. Eilander (1976): Systematische kaartcontrole.
40. Mevr. A.M. Huygen-van Os m.m.v. Drs.Ir. F.F. Abell (1976): Lijst van Amerikaanse publikaties, kaarten, folders, enz. op het gebied van bodem, water, toepassingen van bodemkaarten, landbouwonderwijs en voorlichting. Periode 1934-1975.
41. J. de Buck (1976): De perceelsbreedte in veengebieden in relatie met de grondwaterstand en de stevigheid van de bovengrond.

42. J.G.C. van Dam (1977): Een beperkt literatuuronderzoek naar bepalingenwijzen van het droog volumegewicht, naar de invloed van verschillende factoren op het droog volumegewicht en naar de invloed van het droog volumegewicht op fysische eigenschappen van de grond, de bewortelmogelijkheden en opbrengst van gewassen.
43. F.J. Stuurman (1977): Comparison between the soil map and the description of gradients in the soil and vegetation.
44. J.C. Pape (1977): Interpretation of soil maps for ecological purposes.
45. J.C. Pape (1977): Nederland "Manmade". Voordracht voor het Seminar Milieukunde van de afdeling Onderwijs van het Nederlands Instituut voor Praeventieve Geneeskunde T.N.O.
46. I. Ovaa (1977): De Vergraven Gronden in Zeeland. Deel II. Onderzoek naar de bouwvoorslemp, gewasontwikkeling en enkele fysische en chemische aspecten van de grond.
47. L.A.H. de Smet (1977): Het 89e V.D.L.U.F.A.-congres in Aken (Dld.) van 19 tot 24 september 1977. Verslag van bijgewoonde voordrachten over bodemkundig-, plantenteeltkundig- en bemestingsonderzoek.
48. A. Reijmerink en G.A. van Soesbergen (1977). Bewortelings-, grondbewerkings- en bodemkundig onderzoek bij enkele instituten van de Georg-August Universiteit te Göttingen.
Verslag van een studiereis van 23 - 28 mei 1977.
49. P.J. van der Eijk (1977). De invloed van verdichtingen op de vochtleverantie, beworteling en opbrengst van consumptieaardappelen op zavelgrond in 1977.