

NOTA 858 ^I

mei 1975

or Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

NN31545.0858

HET EFFECT VAN HET LOSMAKEN VAN EEN PLOEGZOOI

ir.

lemmen

1 EK

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-
middelen, 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 onder-
zoek nog niet is afgesloten.

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

JSN 197312-01

I N H O U D

	Blz.
1. INLEIDING	1
2. THEORIE	2
2.1. De vocht karakteristiek	2
2.2. Het capillair geleidingsvermogen	4
3. DE BEPALINGEN	6
3.1. De monstername	6
3.2. De voorbereiding van de bepaling van de ($\Psi - \theta$)- en de ($K - \Psi$)-relatie	7
3.3. Bepaling van de $\Psi - \theta$ relatie	8
3.4. Het capillair geleidingsvermogen	14
3.5. Bepaling van de dichtheden	17
4. VERWERKING VAN DE MEETGEGEVENS	18
4.1. Stationaire regenval	18
4.2. Verloop van de uitzakking	21
5. SAMENVATTING	29
LITERATUUR	30

1. INLEIDING

In het najaar van 1974 zijn in het zuidwestelijk zeeleigebied moeilijkheden opgetreden bij de oogst van landbouwprodukten. Deze problemen hebben zich ook in andere delen van het akkerbouwgebied in Nederland voorgedaan, maar in aanzienlijk mindere mate. De produkten, die niet of slechts moeizaam konden worden geoogst, waren voornamelijk aardappelen, suikerbieten en uien.

De oogstproblemen werden veroorzaakt door het gedurende lange tijd nat blijven van de bouwvoor. De vochttoestand van de grond wordt bepaald door aan- en afvoer van water. Wat betreft aanvoer zijn vooral intensiteit, duur en verdeling van de neerslag van belang. De afvoer van deze neerslag wordt bepaald door de verdamping, de stroming van maaiveld naar grondwater, de drainafvoer, de slootafvoer, en tot slot door de capaciteit van het gemaal of de sluis, waardoor het water op het buiten water wordt geloosd.

De neerslag blijkt zeer extreem te zijn geweest (SCHARRINGA, 1975). De maanden september, oktober en november waren alle drie nat, iets wat in de laatste 75 jaar nog niet is voorgekomen. De totale neerslag in deze drie maanden bedroeg in het zuidwesten van ons land 103 % meer dan in een normaal jaar. Met uitzondering van de 2e decade van september en de 1e decade van november is het nauwelijks een dag droog geweest.

Uit het onderzoek van BOELS en WIND (1975) blijkt dat er op 40 % van de onderzochte percelen een zogenaamde ploegzool (druklaag) werd aangetroffen die de afvoersnelheid kan beperken. Uit het onderzoek naar de werking van de drainage is naar voren gekomen dat deze niet optimaal functioneerde. De gemiddelde verhouding tussen de berekende drainafvoer bij een grondwaterstand van 50 cm - maaiveld en de maatgevende afvoer (7 mm/etm.) is 45 %. Hoewel de drainage dus

bepaald niet optimaal functioneerde, blijkt uit de voornoemde onderzoeken dat ook bij een goede drainage het aantal werkbare dagen bij deze regenintensiteit nauwelijks groter zou zijn geweest. Verder is gebleken dat de capaciteit van de gemalen ruimschoots voldoende is en dat ze slechts incidenteel op topcapaciteit hebben gewerkt. De conclusie is dan ook dat de meest limiterende factor de afvoer van maaiveld naar grondwater moet zijn geweest. Om na te gaan of de voornoemde conclusie juist is, is een nader onderzoek verricht. Van een slechts ten dele gerooid aardappelperceel zijn 3 monsters genomen van de ploegzool en van 2 hieronder liggende lagen. Van deze monsters is een deel van de vochtspanningskarakteristiek bepaald (tot $+ pF 2$) en vervolgens is het capillair geleidingsvermogen berekend. Met een analytisch model is nagegaan in hoeverre de aanwezigheid van een ploegzool invloed heeft uitgeoefend op het aantal werkbare dagen in de herfst van 1974.

2. THEORIE

2.1. D e v o c h t k a r a k t e r i s t i e k

Het verband tussen vochtspanning (Ψ , negatief in de onverzadigde zone) en vochtgehalte (θ) is een continue functie (fig. 1).

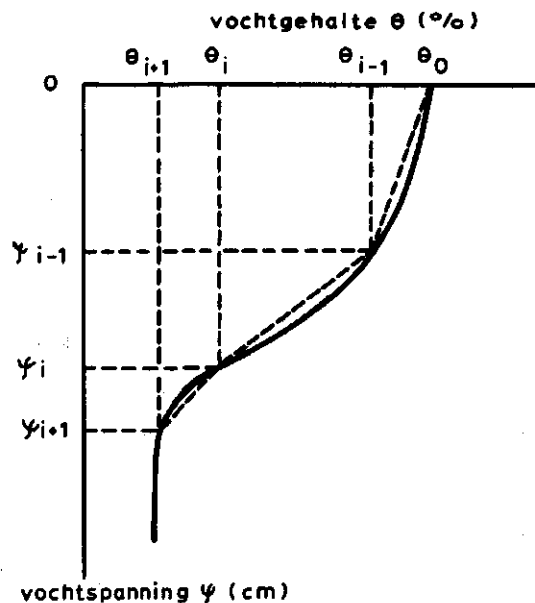


Fig. 1. Verband tussen vochtspanning en vochtgehalte

De continue functie kan worden benaderd door een lijnstukkencurve. Door de keuze van zo klein mogelijke intervallen wordt de continue functie goed benaderd. Voor het verband tussen de vochtspanning en het vochtgehalte geldt voor een vochtspanningstraject $\Psi_i > \Psi > \Psi_{i+1}$ de volgende vergelijking (BOELS, 1973):

$$\theta = \theta_i + \beta_i (\Psi - \Psi_i) \quad (1)$$

De onbekende grootheid β (richtingscoëfficiënt van de curve) kan worden bepaald uit de verandering van vochtspanning en vochtinhoud tengevolge van verdamping uit het monster. Als het verloop van de vochtspanning op verschillende diepten z en op verschillende tijdstippen t bekend is en als de gemeten gewichtsverandering tengevolge van verdamping gelijk is aan $\Delta G(t)$ cm water en als bovendien geldt dat de grootheid β gelijk is aan β_i voor een traject $\Psi_i > \Psi > \Psi_{i+1}$ dan is:

$$\Delta G(t) = \int_{t_1}^{t_2} \int_{z=-D}^{z=0} \beta_i \cdot \Psi(z, t) \cdot dz \cdot dt, \quad (2)$$

hierin is:

D : hoogte van het monster (cm)

$\Delta G(t)$: gewichtsverandering tussen t_1 en t_2 ($t_2 > t_1$)

De integraal is de som van de oppervlakten tussen de functies $\Psi(z, t_1)$ en $\Psi(z, t_2)$ vermenigvuldigd met β . De waarde van β is afhankelijk van het traject waarin Ψ valt.

Noemen we in fig. 2 het gearceerde oppervlak $A(i, t)$ dan kan de integraal geschreven worden als:

$$\Delta G(t) = \sum_{i=0}^{n-1} A(i, t) \cdot \beta_i \quad (3)$$

Met vergelijking (3) is het mogelijk om uit meerdere vochtspanningsmetingen een aantal vergelijkingen op te stellen waaruit β_i als onbekende grootheid is op te lossen.

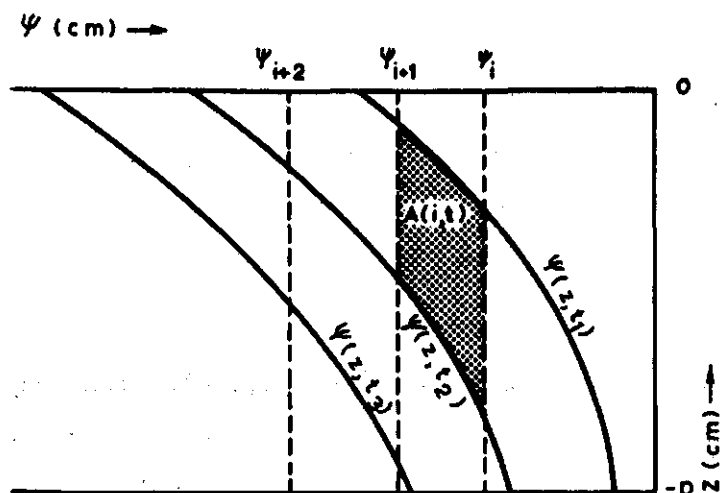


Fig. 2. Vochtspanningsverdeling op verschillende tijdstippen en verschillende diepten

2.2. Het capillair geleidingsvermogen

Voor het verband tussen vochtspanning en vochtgehalte geldt in een traject $\psi_i \geq \psi \geq \psi_{i+1}$ vergelijking (1). Voor de vochtinhaltsverandering in een willekeurige doorsnede geldt (één-dimensionale stroming):

$$\frac{d\theta}{dt} = - \frac{dV}{dz} \quad (4)$$

De vergelijking van Darcy luidt:

$$V = -K \left(\frac{d\psi}{dz} + 1 \right) \quad (5)$$

Combinatie van de vergelijkingen (1), (4) en (5) geeft:

$$\beta(\psi) \frac{d\psi}{dt} = \left(\frac{d\psi}{dz} + 1 \right) \frac{dK}{dz} + K \left(\frac{d^2\psi}{dz^2} \right) \quad (6)$$

Gediscretiseerd voor een doorsnede i (zie fig. 3) luidt vergelijking (6):

$$\beta(\Psi) \frac{\Psi(i,t+\Delta t) - \Psi(i,t)}{\Delta t} = \left(\frac{-\Psi(i,t)}{\Delta z} + \frac{\Psi(i+1,t)}{\Delta z} + \frac{\Delta z}{\Delta t} \right) \left(\frac{K(\Psi(i+1,t))}{\Delta z} - \frac{K(\Psi(i,t))}{\Delta z} \right) + \frac{\Psi(i+1,t) + \Psi(i-1,t) - 2\Psi(i,t)}{\Delta z^2} \cdot K(\Psi(i,t)) \quad (7)$$

Uit vergelijking (7) kan $K(\Psi(i,t))$ worden opgelost:

$$K(\Psi(i,t)) = \frac{\Delta z^2}{\Psi(i-1,t) - \Psi(i,t) - \Delta z} \left\{ \beta(\Psi) \frac{\Psi(i,t+\Delta t) - \Psi(i,t)}{\Delta t} - K(\Psi(i+1,t)) \frac{\Psi(i+1,t) - \Psi(i,t) + \Delta z}{\Delta z^2} \right\} \quad (8)$$

Door veel vochtspanningsprofielen te bepalen worden met vergelijking (8) een groot aantal vergelijkingen verkregen met $K(\Psi(i,t))$ en $K(\Psi(i+1,t))$ als onbekenden, die hieruit door vereffening zijn te bepalen voor verschillende vochtspanningen. De berekening van $K(\Psi(i,t))$ gaat als volgt (zie fig. 3).

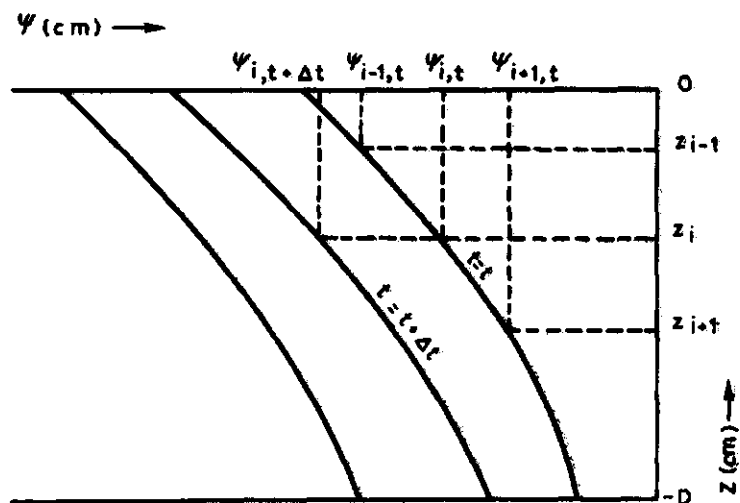


Fig. 3. Bepaling van het capillair geleidingsvermogen

Voor een gekozen vochtspanning $\Psi(i,t)$ wordt de plaats z_i in het monster bepaald, waar deze vochtspanning op tijdstip t voorkomt. Evenzo wordt een $\Psi(i+1,t)$ gekozen en de bijbehorende hoogte z_{i+1} bepaald.

Het verschil in hoogte Δz tussen z_i en z_{i+1} wordt opgeteld bij z_i , dit geeft z_{i-1} . Voor z_{i-1} wordt op tijdstip t de vochtspanning $\Psi(i-1, t)$ berekend. Verder wordt voor de hoogte z_i de vochtspanning bepaald op tijdstip $t + \Delta t$. Door de bij het traject waarin $\Psi(i, t)$ valt, behorende β in te vullen in vergelijking (8) ontstaat een verband tussen $K(\Psi(i, t))$ en $K(\Psi(i+1, t))$. Door deze handelingen voor verschillende tijdstippen te herhalen ontstaan een aantal vergelijkingen waaruit $K(\Psi(i, t))$ en $K(\Psi(i+1, t))$ door vereffening zijn te berekenen.

3. DE BEPALINGEN

3.1. De monstername

De monsters zijn genomen op een slechts ten dele geroid aard-appelperceel ten N.W. van Kruiningen in de polder Nieuw Olzende. De keuze van het perceel is bepaald door de aanwezigheid van een verdichte laag en het voorkomen van oogstproblemen, ondanks een goed werkende drainage. De grond was een zware zavel met weinig humus en met in het gehele profiel schelpen. Op het perceel werden alleen plassen aangetroffen in de treksporen. De monsters zijn genomen tussen de aardappelruggen en midden tussen de drains. Visueel was er sprake van een dichte laag, terwijl de ondergrond een veel poreuzere indruk maakte. De monsters zijn genomen volgens de zogenaamde 'krik-methode' (fig. 4). Er wordt een constructie gemaakt van 2 grondankers en hier dwars doorheen weer een stang. Een aan de onderzijde geopend blik van 16 cm doorsnede wordt op de grond geplaatst met hierboven op een krik. Met de krik wordt het blik langzaam de grond ingedrukt. Bij deze handelingen is grote voorzichtigheid vereist om zodoende vervorming van blik, dus verstoring van het monster, te voorkomen. Nu wordt de grond rond het blik verwijderd. De monsters zijn op drie verschillende plaatsen genomen en zijn \pm 20 cm hoog (de hoogte van het blik is 25 cm). Tevens zijn op één plek ringmonsters genomen op respectievelijk 0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50 en 50-60 cm diepte, met op elke diepte 3 monsters om het droogvolumegewicht te bepalen.

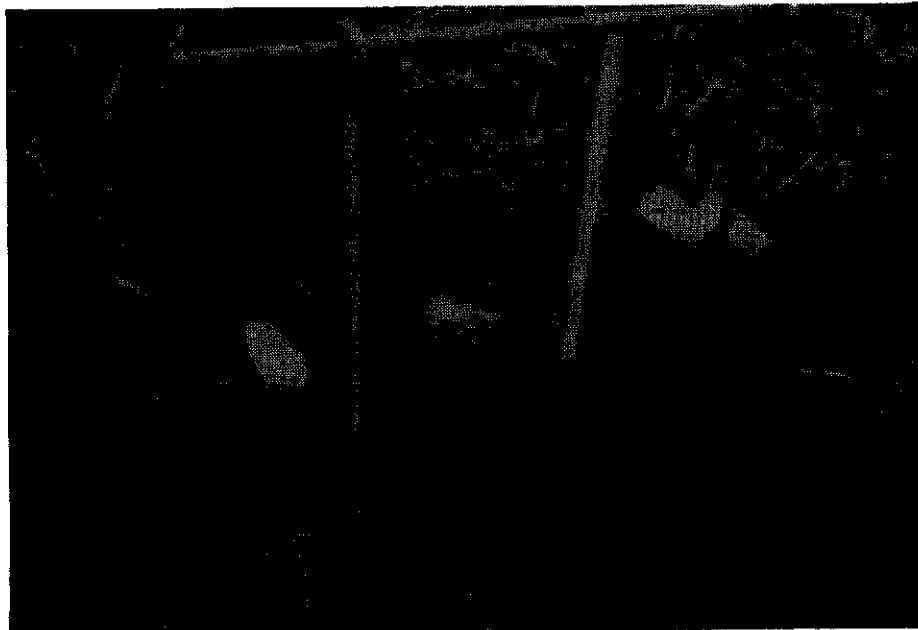


Fig. 4. De zogenaamde 'krikmethode'

3.2. D e v o o r b e r e i d i n g v a n d e b e p a l i n g v a n d e $(\Psi - \theta)$ - e n d e $(K - \Psi)$ - r e l a t i e

De monsters zijn in het laboratorium geplaatst op een zandbed, dat verzadigd was met water. Hierdoor konden de monsters van onderaf vocht opnemen totdat er geen vochtverplaatsing meer optrad en er sprake was van evenwicht. Tegelijkertijd is voor ieder monster een stellage gemaakt, bestaande uit een plateau met hier overheen een draagarm. Aan de voorkant van het plateau werd een plank aangebracht, waarop de manometers plus een maatverdeling werden bevestigd. Aan de uiteinden van de manometers werden de tensiometers aangebracht. Deze tensiometers hadden een doorsnede van 1,5 mm en een lengte van $\pm 2,5$ cm.

Per monster zijn 6 tensiometers aangebracht. Dit is gebeurd door in de wand van het blik een gaatje te boren ter grootte van de nylon-slang. Voordat de tensiometers zijn aangebracht in de blikken is eerst

gecontroleerd of de aansluitingen water- en luchtdicht waren. Zowel de aansluitingen van de tensiometers in de nylonslangen als van de manometers in het blik zijn afgedicht met lijm. Als manometervloeistof is ontlucht water gebruikt. Vervolgens zijn de tensiometers zo zorgvuldig mogelijk geplaatst op 0,5 cm; 1,5 cm; 3,0 cm; 8,0 cm en 14,0 cm beneden de bovenkant van het monster en op 1,0 cm boven de onderkant van het monster.

Nadat zich in het monster op het zandbed een evenwicht had ingesteld kon de eigenlijke meting beginnen. De meetopstelling is aangegeven in fig. 5.



Fig. 5. De meetopstelling

3.3. B e p a l i n g v a n d e $\psi - \theta$ r e l a t i e

Nadat zich in de grond een evenwicht had ingesteld is het monster vanuit het zandbed op het plateau geplaatst, zodat de eigenlijke meting kon beginnen.

Nadat het deksel van het blik was verwijderd en de stand van de manometer was genoteerd, is de hele stelling gewogen op een balans. Door de verwijdering van het deksel kon de verdamping beginnen. Van tijd tot tijd werden de handelingen van aflezen en wegen herhaald. 's Nachts werd de verdamping stopgezet door het deksel weer op het blik aan te brengen, 's ochtends werd het deksel weer verwijderd. De verdamping is definitief gestopt toen de vochtspanning in de bovengrond op -100 cm was gekomen. Als voorbeeld zijn in tabel 1 de gemeten vochtspanningen weergegeven van monster 5 (N.B. De tensiometer op 8 cm diepte heeft niet goed gefunctioneerd).

Tabel 1. Verloop van gewichtsverandering en vochtspanning met de tijd

Tijd na start v.d. meting (min)	Gewichts- verandering (grammen)	Vochtspanningen in de tensiometers op				
		0,5	1,2	2,7	14,0	19,4 cm-mv
0	0	- 20,625	- 19,50	- 17,45	- 5,375	- 1,925
945	10,25	- 22,175	- 20,925	- 19,775	- 8,25	- 2,625
1465	24,75	- 36,00	- 28,25	- 34,175	- 12,15	- 3,30
2385	26,50	- 36,825	- 31,90	- 32,375	- 18,30	- 4,575
2900	41,00	- 48,225	- 38,675	- 44 875	- 21,45	- 5,50
3825	44,50	- 47,45	- 41,525	- 42,10	- 27,225	- 5,55
4350	57,25	- 62,85	- 50,075	- 60,30	- 30,60	- 6,625
5375	60,75	- 61,25	- 53,875	- 55,475	- 37,075	- 8,70
5710	68,50	- 71,175	- 59,35	- 66,425	- 39,05	- 9,425
8140	73,25	- 68,475	- 63,10	- 64,10	- 49,975	- 14,85
8630	85,50	- 83,70	- 63,65	- 80,975	- 51,80	- 17,025
9570	89,50	- 86,675	- 64,175	- 83,325	- 57,65	- 18,325
9985	97,25	-100,325	- 64,50	- 94,85	- 60,00	- 19,50

Voor de bepaling van de onbekende grootte β moeten de tensiometer-aflezingen eerst nog gecorrigeerd worden voor de weerstand van de tensiometers. Deze correcties zijn nodig omdat er een zekere vertraging optreedt in de reactie van de tensiometer op een verandering

van de vochtspanning in de grond. Voor grotere tensiometers zal de reactietijd geringer zijn dan bij kleine tensiometers. Is de vochtspanning in de grond Ψ en in de tensiometer h , dan geldt voor de veranderingssnelheid van de potentiaal in de tensiometer bij een diameter d van de manometer:

$$\frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{dh}{dt} = \frac{1}{W}(\Psi - h) \quad (9)$$

Dan is de vochtspanning in de grond dus:

$$\Psi = h + \frac{\pi d^2}{4} \cdot W \cdot \frac{dh}{dt} \quad (10)$$

Elke tensiometer-aflezing h dient dus nog te worden gecorrigeerd met $\frac{\pi d^2}{4} \cdot W \frac{dh}{dt}$. Daarom is er een verband nodig tussen $\frac{dh}{dt}$ en $\frac{\pi d^2}{4} \cdot W$. Dit verband kan bepaald worden door in een evenwichtstoestand, dus als $\Psi = h$, het manometerbeen bijvoorbeeld 10 cm op te trekken en dan de reactie hierop van de tensiometer uit te zetten tegen de tijd. Hierbij wordt aangenomen, dat de vochtspanning in het monster constant blijft. Door nu de veranderingssnelheid $\frac{dh}{dt}$ uit te zetten tegen $(\Psi - h)$ kan de correctie worden bepaald. Een voorbeeld hiervan is tabel 2 en fig. 6.

Tabel 2. Verloop van de tensiometer-aflezing, bij een kunstmatig zuigspanning verschil, met de tijd

$\Psi = - 77,525 \text{ cm} \quad \Psi - h = 15 \text{ cm}$			
Tijd (min)	Manometer-aflezing (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/uur)	$(\Psi - h)$ (cm)
0	- 62,525	-	- 15,00
60	- 62,90	- 0,375	- 14,625
120	- 63,225	- 0,325	- 14,30
180	- 63,475	- 0,25	- 14,05
240	- 63,725	- 0,25	- 13,80
300	- 63,925	- 0,20	- 13,60

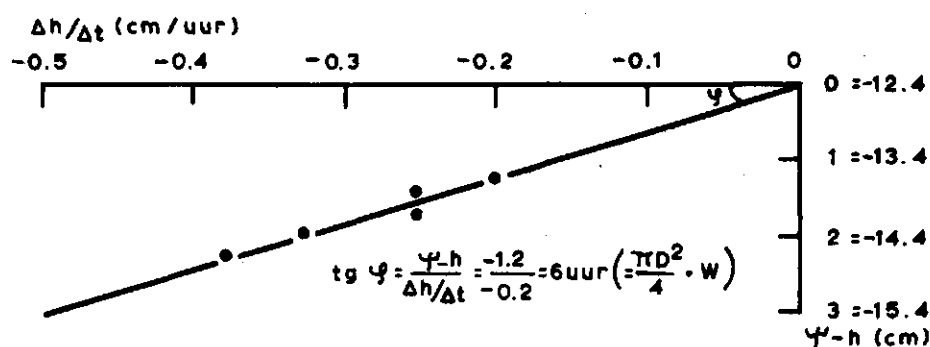


Fig. 6. Correctie van de tensiometer-aflezing van de tensiometer op 0,5 cm-mv van monster 5

Voor alle tensiometers zijn de correcties bepaald. Hierbij bleek dat er nogal forse verschillen voorkwamen. Een voorbeeld van deze gecorrigeerde tensiometer-aflezings is aangegeven in tabel 3.

Tabel 3. Correcties van de tensiometer-aflezings

Tensiometer: 0,5 cm-mv monster 5						
Tijd na start (min)	Manometer-aflezing (cm)	Vershil Δh in cm	Tijdverloop Δt , uren	$\Delta h / \Delta t$ (cm/uur)	Correctie $\Delta h / \Delta t \times 6$	Vochtspanning (cm)
0	- 20,625	0	0	-	-	- 20,63
945	- 22,175	- 1,55	15,75	-0,0984	- 0,59	- 22,77
1465	- 36,00	-13,825	8,67	-1,5964	- 9,58	- 45,58
2385	- 36,825	- 0,825	15,33	-0,0538	- 0,32	- 37,15
2900	- 48,225	-11,40	8,58	-1,3287	- 7,97	- 56,20
3825	- 47,45	+ 0,775	15,42	+0,0503	+ 0,30	- 47,15
4350	- 62,85	-15,40	8,75	-1,7600	-10,56	- 73,41
5375	- 61,25	+ 1,60	17,08	+0,0937	+ 0,56	- 60,69
5710	- 71,175	- 9,925	5,58	-1,7787	-10,67	- 81,85
8140	- 68,475	+ 2,70	40,50	+0,0667	+ 0,40	- 68,08
8630	- 83,70	-15,325	8,17	-1,8758	-11,25	- 94,95
9570	- 86,675	- 2,975	15,67	-0,1899	- 1,14	- 87,82
9985	-100,325	-13,65	6,92	-1,9725	-11,84	-112,17

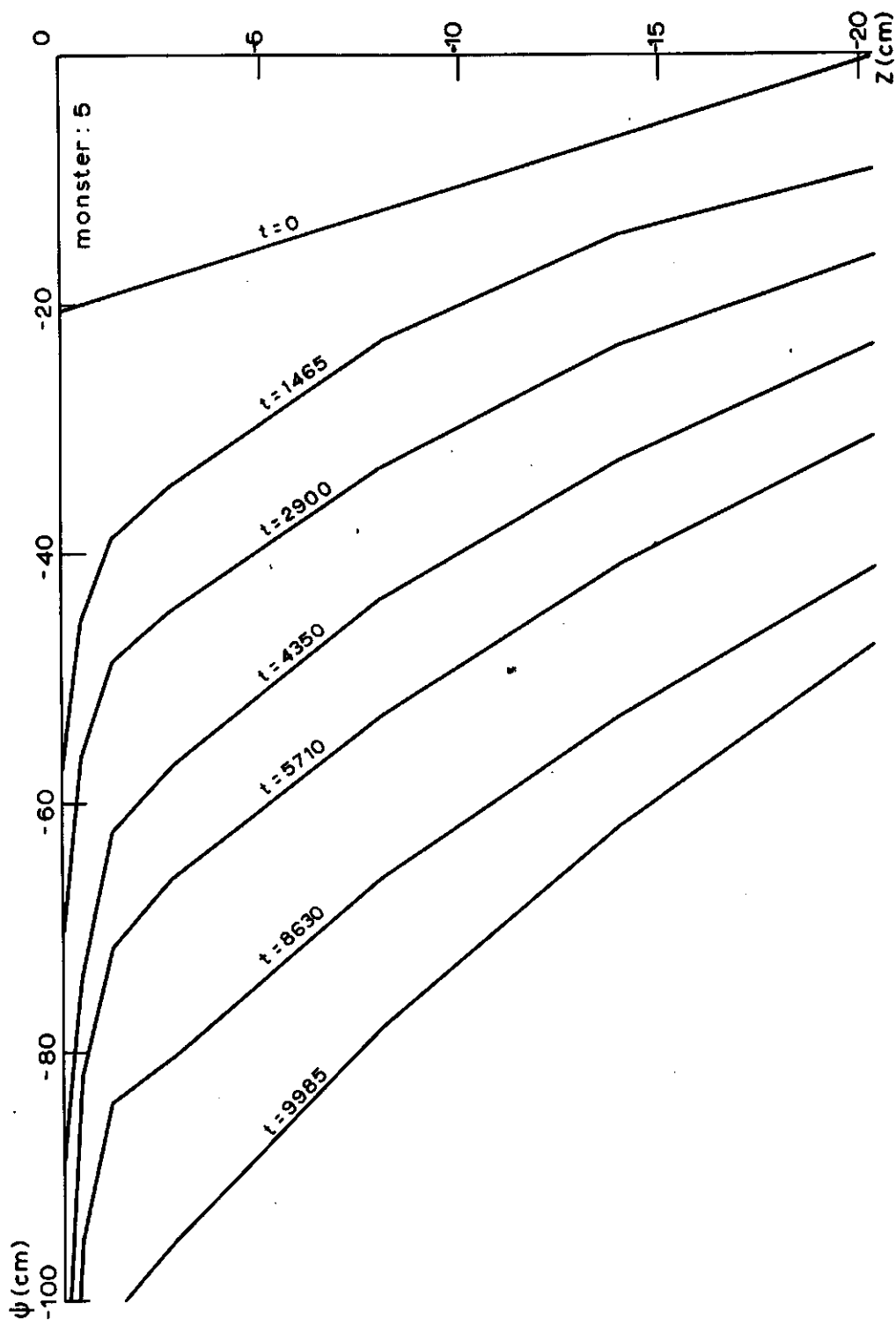


Fig. 7. Vochtspanningsprofielen

Vervolgens zijn de gecorrigeerde waarden van alle aan het eind van de dag gedane aflezingen uitgezet tegen de lengte van het monster (zie fig. 7). De resultaten van elk van de monsters zijn aangegeven in de grafieken van bijlage 1.

Vervolgens zijn de oppervlakten bepaald die door de curven tussen 2 bepaalde vochtspanningen worden gevormd (tabel 4).

Tabel 4. Verloop van de oppervlakten, gevormd door de vochtspanningscurven, met de tijd

Tijd na start (min)	Oppervlakten (cm ²) gevormd door de vochtspanningscurven tussen			Gewichts- verlies (gr)
	$\Psi = 0$ en $\Psi = -40$ cm	$\Psi = -40$ en $\Psi = -80$ cm	$\Psi = -80$ en $\Psi = -120$ cm	
1465	232,8	7,5	-	24,75
2900	395,1	35,3	-	41,00
4350	529,4	126,0	1,5	57,25
5710	594,9	270,0	8,3	68,50
8630	622,9	444,2	23,6	85,50
9985	622,9	591,3	99,9	97,25

Hieruit zijn de voor verschillende vochtspanningstrajecten geldende β 's met vergelijking (3) berekend. Voor de bepaling van β moet het gewichtsverlies ($\Delta G(t)$) gedeeld worden door de oppervlakte van het monster. De gevonden β 's uit tabel 5 zijn:

$$0 \geq \Psi \geq -40 \text{ cm: } \beta = 5,3 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$-40 \geq \Psi \geq -80 \text{ cm: } \beta = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$-80 \geq \Psi \geq -120 \text{ cm: } \beta = 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

Met deze gevonden waarden van β kon een deel van de ($\Psi - \theta$)-relatie worden berekend. Voor monster 5 is dit verband weergegeven in fig. 8. Aangezien het vochtgehalte bij verzadiging onbekend was, is de vochtspanning uitgezet tegen het luchtgehalte.

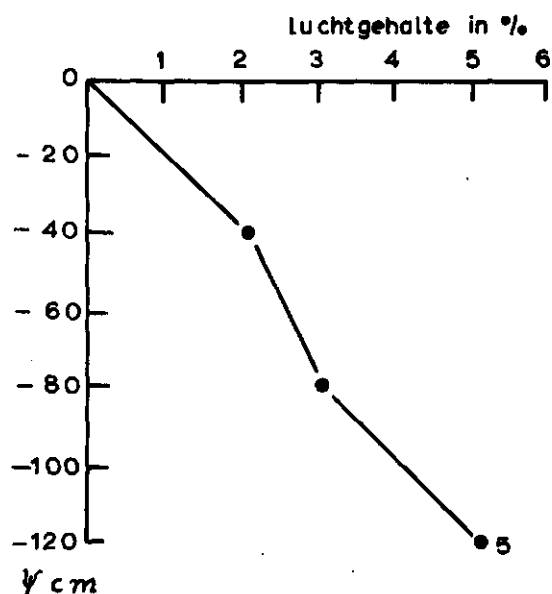


Fig. 8. Verband tussen vochtspanning en luchtgehalte voor monster 5

3.4. Het capillair geleidingsvermogen

Het capillair geleidingsvermogen is bepaald zoals in 2.2 is beschreven. Van monster 5 zijn de resultaten van de berekening in tabel 5 weergegeven.

Tabel 5. Verband tussen vochtspanning en capillair geleidingsvermogen voor monster 5

Vochtspanning (cm)	Capillair geleidingsvermogen (cm.etm ⁻¹)
-30,00	$6,7 \cdot 10^{-2}$
-40,00	$3,5 \cdot 10^{-2}$
-55,00	$1,4 \cdot 10^{-2}$
-70,00	$5,1 \cdot 10^{-3}$

Het verband tussen vochtspanning en capillair geleidingsvermogen kan weergegeven worden door (RIJTEMA, 1965):

$$K = K_0 \cdot e^{\alpha\psi} \quad (11)$$

Met vergelijking (11) zijn voor elk monster K_0 en α bepaald. De gemiddelde waarden van α en K_0 per laag van alle monsters zijn aangegeven in tabel 6. Dat de keuze van vergelijking (11) gerechtvaardigd is blijkt uit fig. 9.

Tabel 6. Waarden van K_0 en α per laag

	K_0 (cm.etm ⁻¹)	α (cm ⁻¹)
Ploegzool (0-20 cm)	0,12	0,03
Laag 1 (20-40 cm)	0,77	0,064
Laag 2 (40-60 cm)	0,22	0,064

Van een aantal monsters is de verzadigde doorlatendheid bepaald. De resultaten van deze bepalingen zijn weergegeven in tabel 7. Hieruit blijkt dat er een goede overeenkomst bestaat tussen K_0 en de gemeten verzadigde doorlatendheid. De gevonden waarden van K_0 en α zijn kleiner, respectievelijk groter dan de door RIJTEMA (1969) genoemde waarden voor een sandy loam

Tabel 7. Verschil tussen K_0 en gemeten verzadigde doorlatendheid

	K_0 (cm.etm ⁻¹)	Verzadigde doorlatendheid (cm.etm ⁻¹)
Ploegzool (0-20 cm)	0,12	0,1
Laag 1 (20-40 cm)	0,77	1,0
Laag 2 (40-60 cm)	0,22	0,2

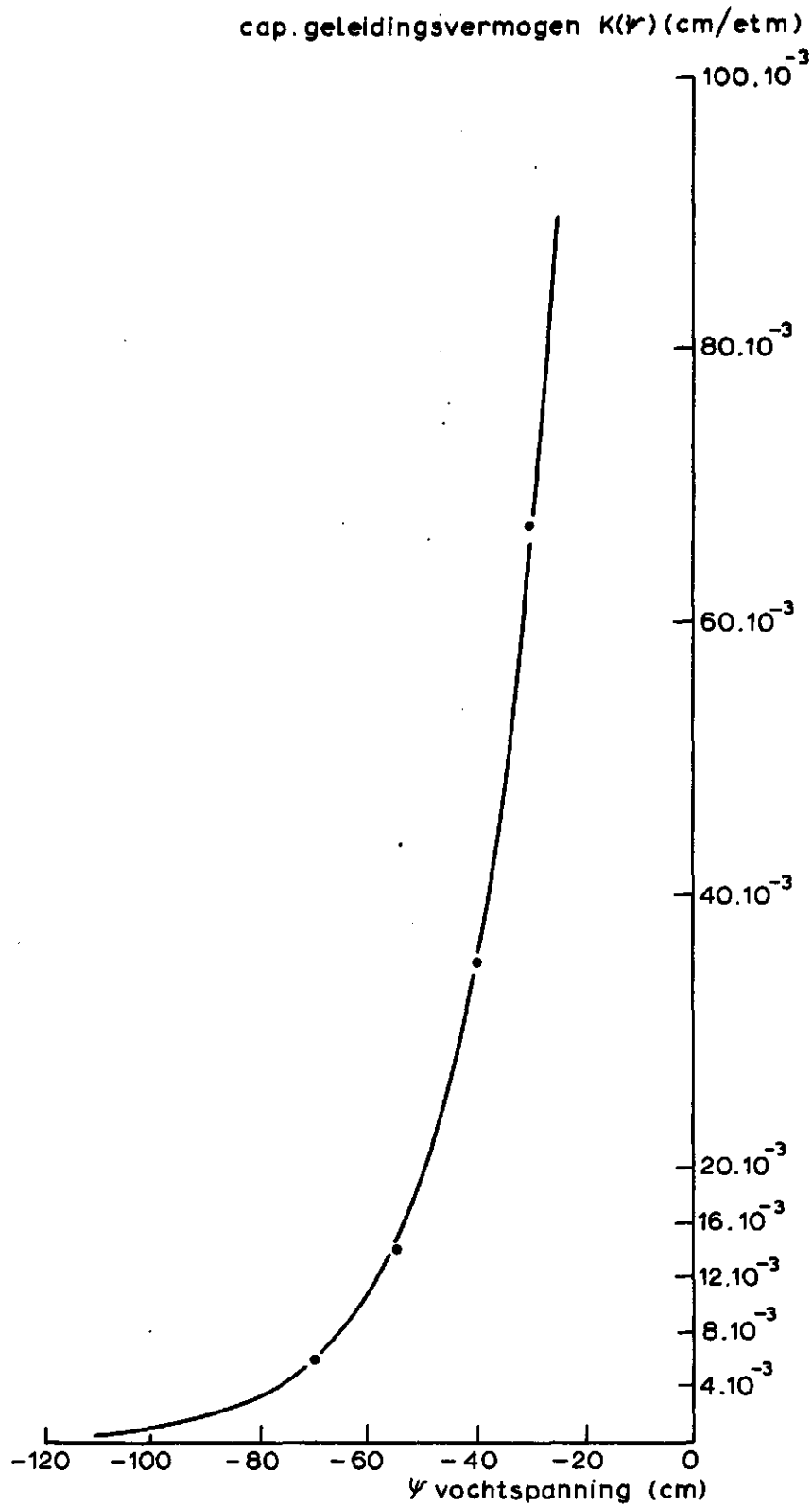


Fig. 9. Verband tussen vochtspanning en capillair geleidingsvermogen (monster 5)

3.5. B e p a l i n g v a n d e d i c h t h e d e n

De dichtheden zijn bepaald aan de hand van volume monsters, die tegelijkertijd met de grote monsters genomen zijn. Per laag zijn 3 monsters genomen op respectievelijk 0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50 en 50-60 cm diepte onder de bouwvoor. De resultaten van de bepalingen zijn aangegeven in tabel 8. Hieruit blijkt dat de dichtheid van de laag 0-20 cm beduidend groter is dan die van de eronder liggende lagen. Er is een verband tussen de dichtheid, de vochtspanning en het luchtgehalte (fig. 10). Overigens valt op dat bij grote dichtheid, ook bij kleine vochtspanningen (-100 cm) het luchtgehalte zeer gering is (< 4 %)

Tabel 8. Dichtheden per horizont van 10 cm

Diepte onder bouwvoor (cm)	Dichtheid (g/cm ³)
0-10	1,50
10-20	1,54
20-30	1,40
30-40	1,40
40-50	1,23
50-60	1,19

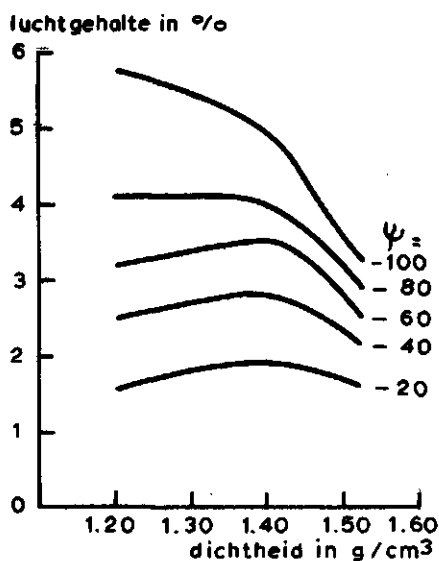


Fig. 10. Verband tussen dichtheid, vochtspanning en luchtgehalte

4. VERWERKING VAN DE MEETGEGEVENS

4.1. Stationaire regenval

Teneinde de invloed van een stationaire regenval op de vochtspanningen aan het maaiveld te bepalen, is uitgegaan van een meerlagensysteem. Het profiel is opgebouwd gedacht uit een bouwvoor, een ploegzool en een goed doorlatende ondergrond (zie fig. 11).

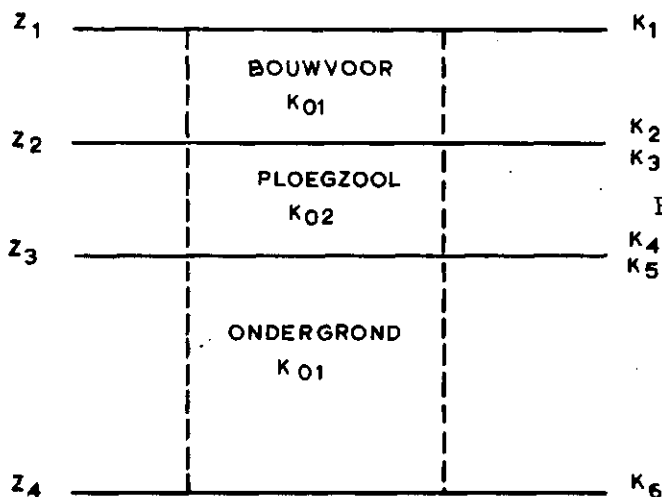


Fig. 11. Opbouw van een meerlagensysteem

Voor zowel de bouwvoor als de ondergrond wordt dezelfde verzadigde doorlatendheid K_{01} aangenomen. In de ploegzool is de verzadigde doorlatendheid gelijk aan K_{02} . De vergelijking van Darcy luidt (vergelijking (5)):

$$v = -K \left(\frac{d\psi}{dz} + 1 \right) \quad (5)$$

Volgens vergelijking (11) geldt:

$$K = K_0 \cdot e^{\alpha\psi} \quad (\text{voor } \psi < 0) \quad (11)$$

Combinatie van de vergelijkingen (5) en (11) geeft:

$$v = - \frac{1}{\alpha} \frac{dK}{dz} - K \quad (12)$$

Aangezien bij een stationaire toestand V over het gehele profiel constant is, geldt:

$$\alpha \int_{z_1}^{z_2} dz = - \int_{K_1}^{K_2} \frac{1}{V + K} dK \quad (13)$$

oftewel

$$- \alpha(z_2 - z_1) = \ln \frac{V + K_2}{V + K_1} \quad (14)$$

Hieruit volgt:

$$K_1 = (V + K_2) \cdot \exp \alpha(z_2 - z_1) - V \quad (15)$$

Op analoge wijze is afgeleid:

$$K_5 = (V + K_6) \cdot \exp \alpha(z_4 - z_3) - V \quad (16)$$

$$K_4 = \frac{K_{02}}{K_{01}} \cdot K_5 \quad (17)$$

$$K_3 = (V + K_4) \cdot \exp \alpha(z_3 - z_2) - V \quad (18)$$

$$K_2 = \frac{K_{01}}{K_{02}} \cdot K_3 \quad (19)$$

$$K_6 = K_{01} \quad (20)$$

Invullen van de vergelijkingen (16)/(20) in vergelijking (15) geeft:

$$K_1 = \left\{ \left(1 - \frac{K_{01}}{K_{02}}\right) \cdot \exp \alpha(z_2 - z_1) - \left(1 - \frac{K_{01}}{K_{02}}\right) \cdot \exp \alpha(z_3 - z_1) - 1 \right\} V \\ + V \cdot \exp \alpha(z_4 - z_1) + K_{01} \cdot \exp \alpha(z_4 - z_1) \quad (21)$$

Vergelijking (21) is op te lossen als $\Psi < 0$ is. Is namelijk $\Psi \geq 0$ dan geldt vergelijking (11) niet meer, maar geldt $K = K_{01}$, dus

verzadigde stroming. Door de geringe waarde van de verzadigde doorlatendheid van de ploegzool ($0,1 \text{ cm. etm}^{-1}$) kunnen zich hier in bepaalde gevallen deze problemen voordoen. Er wordt dan een schijngrondwaterspiegel gevormd die tot aan het maaiveld kan reiken. Als er een schijngrondwaterspiegel gevormd wordt, moet de vochtspanning stap voor stap berekend worden. Er wordt dan uitgegaan van de grondwaterspiegel. Dan wordt de vochtspanning berekend aan de onderzijde van de ploegzool. Vervolgens de vochtspanning aan de bovenzijde van de ploegzool, dus aan de onderzijde van de bouwvoor en tenslotte de vochtspanning aan het maaiveld.

In tabel 9 zijn de vochtspanningen weergegeven zoals die zijn berekend op de voorbeschreven wijze.

Tabel 9. Vochtspanningen aan het maaiveld bij stationaire regenval op een grond met ploegzool

Neerslag V (cm)	Vochtspanningen a.h. maaiveld bij grondwaterstanden van				
	-200 cm	-100 cm	- 50 cm	- 40 cm	- 36 cm
-0,1	-27,63	-27,43	-24,11	-21,68	-11,05
-0,2	-15,95	-15,77	-10,40	- 5,96	- 1,50
-0,3	- 6,72	- 6,59	- 3,60	- 0,40	plas-
> -0,4	Plasvorming op het maaiveld				vorming

Hierbij is uitgegaan van verschillende regenintensiteiten en grondwaterstanden. Aangenomen is dat α voor het gehele profiel dezelfde waarde heeft, namelijk $0,06 \text{ cm}^{-1}$. Verder is gesteld dat:

$$K_{01} = 1,0 \text{ cm. etm}^{-1}$$

$$K_{02} = 0,1 \text{ cm. etm}^{-1}$$

$$z_2 - z_1 = -25 \text{ cm}$$

$$z_3 - z_1 = -35 \text{ cm}$$

$$z_4 - z_1 = \text{variabel, } z_4 \text{ is de diepte van de grondwaterspiegel.}$$

Ter vergelijking is ook de vochtspanning aan het maaiveld berekend, bij een constante neerslag, van een profiel waarin geen ploeg-

zool voorkomt. Het profiel is een homogeen profiel met overal dezelfde waarde van K_{01} , namelijk $K_{01} = 1,0 \text{ cm. etm}^{-1}$. Berekening van de vochtspanning is mogelijk met:

$$K_1 = V(\exp \alpha(z_2 - z_1) - 1) + K_{01} \cdot \exp \alpha(z_2 - z_1) \quad (22)$$

De gegevens van deze berekeningen zijn aangegeven in tabel 10.

Tabel 10. Vochtspanningen aan het maaiveld bij stationaire regenval op een grond zonder ploegzool

Neerslag V (cm)	Vochtspanningen a.h. maaiveld bij grondwaterstanden van				
	-200 cm	-100 cm	- 50 cm	- 40 cm	- 36 cm
-0,1	-38,38	-38,01	-32,21	-28,43	-26,51
-0,2	-26,82	-26,66	-23,80	-21,66	-20,50
-0,3	-20,07	-19,97	-18,23	-16,87	-16,09
-0,4	-15,27	-15,21	-14,07	-13,15	-12,61
-0,5	-11,55	-11,51	-10,47	-10,11	- 9,73
-0,6	- 8,51	- 8,49	- 7,97	- 7,54	- 7,28
-0,7	- 5,94	- 5,93	- 5,59	- 5,31	- 5,14
-0,8	- 3,72	- 3,71	- 3,51	- 3,35	- 3,25
-0,9	- 1,76	- 1,75	- 1,66	- 1,59	- 1,54

Uit vergelijking van tabel 9 en 10 blijkt duidelijk dat de ploegzool sterk belemmerend werkt op de afvoer van de neerslag. Weliswaar is op gronden zonder ploegzool ook geen bewerkbaarheid te verwachten bij een constante neerslag, maar het verschil in vochtspanning is toch wel groot. Ook de diepte van de grondwaterstand is duidelijk van belang voor de vochtspanning aan het maaiveld.

4.2. Verloop van de uitzakking

Het verloop van de vochtspanning aan maaiveld onder invloed van regenval en verdamping is met een eenvoudig analytisch model berekend.

Voor deze benaderingswijze is gekozen omdat op korte termijn aanpassing van een computerprogramma aan een meerlagensysteem onmogelijk was en dat aanpassing van het hydraulisch model van Wind op technische problemen is gestoten.

Voor de berekening van de uitzakking wordt een profiel opgebouwd uit 2 lagen gedacht, namelijk een bouwvoor en de ondergrond (zie fig. 12).

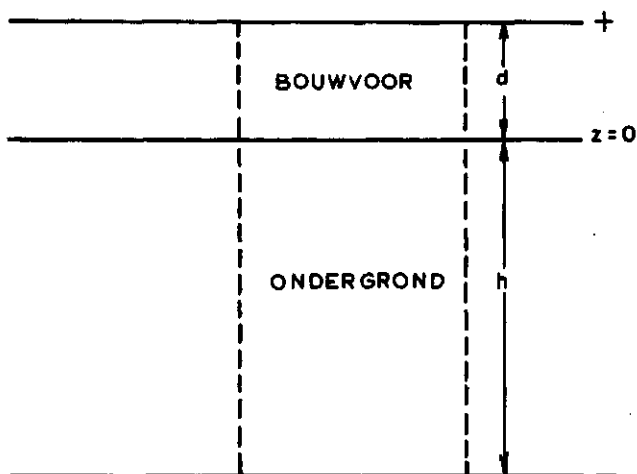


Fig. 12. Opbouw van het uitzakkingsprofiel

In dit profiel geldt dat de stroomsnelheid naar de ondergrond door het vlak $z = 0$ is:

$$V = \beta \cdot d \cdot \frac{d\Psi}{dt} + N, \quad (23)$$

hierin is $N = \int$ neerslag + verdamping.

Tevens geldt volgens Darcy:

$$V = -K \left(\frac{d\Psi}{dz} + 1 \right) \quad (24)$$

Als aangenomen wordt dat de ondergrond steeds verzadigd blijft dan geldt daar:

$$\frac{d\Psi}{dz} = \frac{\Psi}{-h}, \quad (25)$$

hierin is Ψ de vochtspanning in het vlak $z = 0$.

Vergelijking (25) kan derhalve geschreven worden als:

$$v = -K \left(\frac{\psi - h}{-h} \right) \quad (26)$$

Verder geldt voor de drainafvoer:

$$v = -A(h - H_0), \quad (27)$$

hierin is A de drainage-intensiteit en H_0 de draindiepte ten opzichte van het $z = 0$ -vlak. Combinatie van de vergelijkingen (26) en (27) geeft:

$$\frac{K}{A}(\psi - h) = H_0 h - h^2$$

$$\text{dus: } h^2 - \left(\frac{K}{A} + H_0 \right) h + \frac{K}{A} \psi = 0 \quad (28)$$

Oplossen van h geeft:

$$h = \frac{\left(\frac{K}{A} + H_0 \right) \pm \sqrt{\left(\frac{K}{A} + H_0 \right)^2 - 4 \frac{K}{A} \psi}}{2} \quad (29)$$

Aangezien voor $\psi = 0$, moet gelden $h = 0$, luidt de oplossing van h:

$$h = \frac{\left(\frac{K}{A} + H_0 \right) - \sqrt{\left(\frac{K}{A} + H_0 \right)^2 - 4 \frac{K}{A} \psi}}{2} \quad (30)$$

Invullen van vergelijking (30) in (23) geeft:

$$\frac{1}{\left(\frac{AH_0 - K - 2N}{2} \right) + \sqrt{\left(\frac{AH_0 + K}{2} \right)^2 - K A \psi}} d\psi = \frac{1}{\beta \cdot d} dt \quad (31)$$

Stel nu $x = \left(\frac{AH_0 + K}{2} \right)^2 - K A \psi$ dus is

$$dx = -A \cdot K \cdot d\psi \quad \text{oftewel: } d\psi = -\frac{1}{A \cdot K} dx \quad (32)$$

$$\text{Stel verder: } B = \frac{AH_0 - K - 2N}{2} \quad (33)$$

Invullen van (32) en (33) in vergelijking (31) geeft:

$$\frac{-1}{B + \sqrt{x}} \cdot dx = \frac{A \cdot K}{\beta \cdot d} \cdot dt \quad (34)$$

Stel verder $x = y^2$, dan is $dx = 2ydy$, dan wordt (34):

$$\frac{-Y}{B + Y} dy = \frac{A \cdot K}{2\beta \cdot d} dt \quad (35)$$

$$\text{Dus ook: } \frac{-B - Y + B}{B + Y} dy = \left(\frac{B}{B + Y} dy - dy \right) = \frac{A \cdot K}{2 \cdot \beta \cdot d} dt \quad (36)$$

Opgelost luidt de onbepaalde integraal:

$$\left[B \cdot \ln(B + Y) - Y \right] = \left[\frac{AK}{2\beta d} \cdot t \right] \quad (37)$$

$$\text{Voor } t = t_0, Y_0 = \left\{ \left(\frac{AH_0 - K}{2} \right)^2 - AK \psi_0 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (38a)$$

$$t = t, Y_t = \left\{ \left(\frac{AH_0 + K}{2} \right)^2 - AK \psi_t \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (38b)$$

De oplossing luidt dus:

$$t - t_0 = \frac{2\beta d}{A \cdot K} \cdot \left[\left(\frac{AH_0 - K - 2N}{2} \right) \cdot \ln \left\{ \frac{\frac{AH_0 - K - 2N}{2} + \sqrt{\frac{AH_0 + K}{2}^2 - AK\psi_t}}{\frac{AH_0 - K - 2N}{2} + \sqrt{\frac{AH_0 + K}{2}^2 - AK\psi_{t-1}}} \right\} \right. \\ \left. + \sqrt{\left(\frac{AH_0 + K}{2} \right)^2 - AK\psi_{t-1}} - \sqrt{\left(\frac{AH_0 + K}{2} \right)^2 - AK\psi_t} \right] \quad (39)$$

Voor de berekening van de uitzakkingstijd zijn de volgende veronderstellingen gemaakt. De dikte van de bouwvoor is 25 cm en het grondwater bevindt zich in de uitgangstoestand aan de onderkant van de bouwvoor. De vochtspanning aan maaiveld is dan -25 cm. Bij het invul-

len van vergelijking 2(39) dient rekening te worden gehouden met de voor een bepaald traject geldende β . De drains bevinden zich op 100 cm-m.v., dus $H_0 = -75$ cm. De berekeningen zijn uitgevoerd voor gronden met en zonder ploegzool. Voor gronden zonder ploegzool is de doorlaatfactor gesteld op $1,0 \text{ cm.etm}^{-1}$. Voor de bepaling van de doorlaatfactor voor gronden met ploegzool is gebruik gemaakt van vergelijking (40):

$$\frac{x_1 + x_2}{K_{\text{totaal}}} = \frac{x_1}{K_1} + \frac{x_2}{K_2}, \quad (40)$$

hierin zijn x_1 en x_2 de dikte van een horizont met respectievelijk doorlaatfactor K_1 en K_2 . Als waarde voor $K_{\text{tot.}}$ is $0,3 \text{ cm.etm}^{-1}$ berekend.

In fig. 13 is de uitzakkingstijd, dit is de tijd die nodig is om na beëindiging van de regenval, aan het maaiveld een zekere vochtspanning te krijgen, weergegeven. Dit is gebeurd voor gronden met en zonder ploegzool bij wisselende drainage-intensiteiten (A). In dit geval is dus $N = 0$.

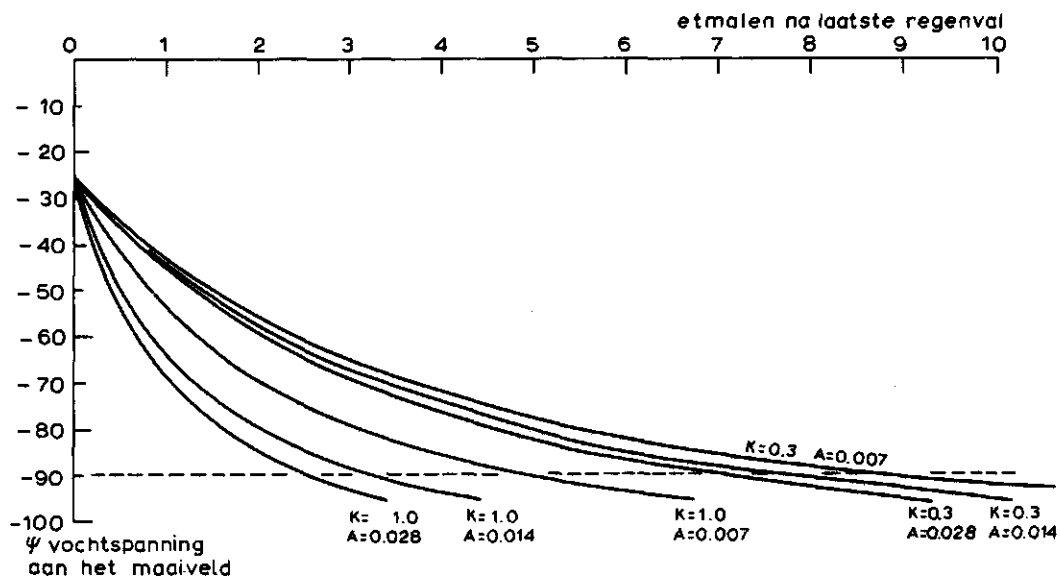


Fig. 13. Verloop van de vochtspanning na beëindiging van de regenval

Als aangenomen wordt dat de grond bewerkbaar is bij een vochtspanning van -90 cm, dan blijkt uit fig. 13 duidelijk het enorme verschil in tijd, waarna de grond weer bewerkbaar is, voor gronden met ploegzool en voor gronden zonder ploegzool. Zelfs bij een zeer goede drainage ($A = 0,028$) is op gronden met een ploegzool nog meer tijd vereist dan op gronden zonder ploegzool met een slechte drainage ($A = 0,007$). Overigens valt op, dat het goed werken van de drainage niet van ondergeschikt belang is, want tussen een goede en een slechte drainage bedraagt het verschil in uitzakkingstijd + 2 etmalen, een niet gering aantal.

Vervolgens is om het model te toetsen nagegaan hoe de vochtspanning aan maaiveld reageert op neerslag en verdamping. De uitkomsten van deze berekeningen zijn vergeleken met de uitkomsten van het hydraulisch model van Wind.

Voor het verloop van de vochtspanning is de dag ingedeeld in 5 gedeelten, zodat $t - t_0 = 0,2$ etm. Vergelijking (39) gaat nu over in:

$$\begin{aligned} & \frac{A.K}{10 \beta.d.} \cdot \sqrt{\left(\frac{AH_0 + K}{2}\right)^2 - AK\psi_{t-1}} + \left(\frac{AH_0 - K - 2N}{2}\right) \cdot \ln \left\{ \left(\frac{AH_0 - K - 2N}{2}\right) + \right. \\ & + \sqrt{\left(\frac{AH_0 + K}{2}\right)^2 - AK\psi_{t-1}} = \left(\frac{AH_0 - K - 2N}{2}\right) \cdot \ln \left\{ \left(\frac{AH_0 - K - 2N}{2}\right) + \right. \\ & + \sqrt{\left(\frac{AH_0 + K}{2}\right)^2 - AK\psi_t} - \sqrt{\left(\frac{AH_0 + K}{2}\right)^2 - AK\psi_t} \end{aligned} \quad (41)$$

Stel:

$$B = \left(\frac{AH_0 - K - 2N}{2}\right) + \sqrt{\left(\frac{AH_0 + K}{2}\right)^2 - AK\psi_t} \quad (42)$$

Dan is:

$$\psi_t = \frac{-1}{A.K} \left[\left\{ B - \left(\frac{AH_0 - K - 2N}{2}\right) \right\}^2 - \left(\frac{AH_0 + K}{2}\right)^2 \right] \quad (43)$$

Invullen in vergelijking (41) geeft:

$$\ln \frac{B}{\left(\frac{AH_0 - K - 2N}{2}\right) + \sqrt{\left(\frac{AH_0 + K}{2}\right)^2 - AK\psi_{t-1}}} =$$

$$\left[\frac{AK}{10 \beta.d.} \cdot \sqrt{\left(\frac{AH_0 + K}{2}\right)^2 - AK\psi_{t-1}} + \sqrt{\left(\frac{AH_0 + K}{2}\right)^2 - AK\psi_t} \right] \cdot \frac{2}{AH_0 - K - 2N} \quad (44)$$

Met de vergelijkingen (43) en (44) is de waarde voor ψ_t door iteratie te vinden.

Voor de periode 11/15 september 1974 is de vochtspanning aan het maaiveld berekend. De resultaten zijn weergegeven in fig. 15. In deze periode was de verdeling van neerslag en verdamping als weergegeven in fig. 14.

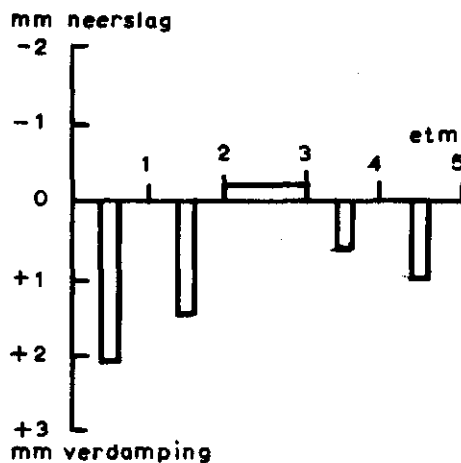


Fig. 14. Verloop van neerslag en verdamping van 11/15 september 1974

Er is een grond genomen met een ploegzool en een drainage-intensiteit van $A = 0,014$. Tevens is in fig. 15 het verloop van de vochtspanning weergegeven zoals die is bepaald met het hydraulisch model. Uit fig. 15 blijkt dat het analytisch model een benadering is van het werkelijke vochtspanningsverloop en dat de in fig. 13 weergegeven resultaten bruikbaar zijn.

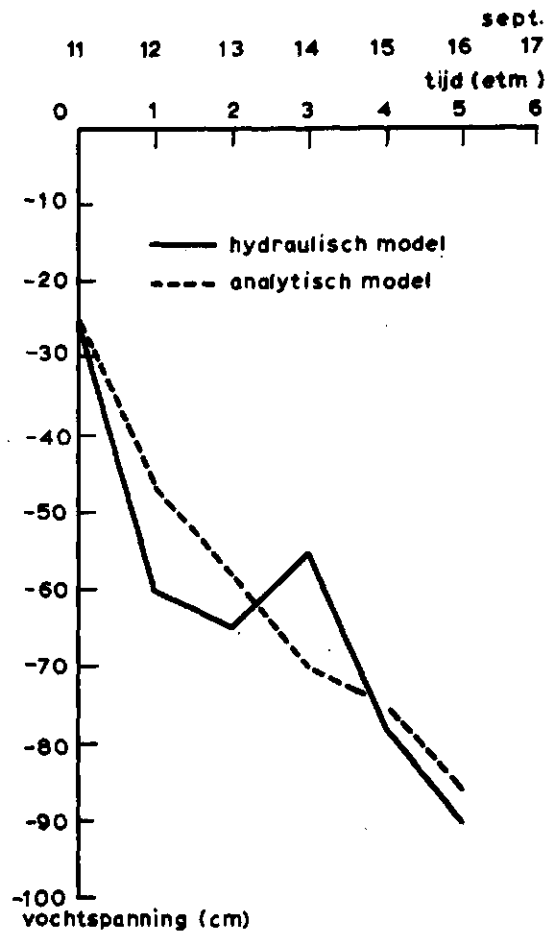


Fig. 15. Verloop van vochtspanning aan maaiveld van 11/15 sept. 1974 door analytisch en hydraulisch model berekend

Hoewel er duidelijk een negatieve invloed door een ploegzool wordt uitgeoefend op de vochtspanning aan het maaiveld zijn de gevolgen hiervan, voor de oogstproblemen van de herfst van 1974, vrij gering geweest. Het najaar van 1974 is namelijk extreem nat geweest met slechts de 2e decade van september en de 1e decade van november als droge perioden. Door de extreme regenval kon de vochtspanning slechts zelden dalen tot beneden de werkbaarheidsgrens van -100 cm. Het negatieve effect van een ploegzool heeft dan ook nauwelijks een rol gespeeld. Het is zelfs zo dat plaatselijk de aanwezigheid van een ploegzool de berijdbaarheid gunstig heeft beïnvloed, doordat over de ploegzool gereden kon worden.

Uit het onderzoek verricht naar het langdurig effect van diepe grondbewerking (HAVINGA e.a., 1973) blijkt dat voor lichte zavel waarbij een op 35 cm diepte liggende laag een begindichtheid van meer dan $1,55 \text{ g/cm}^3$ heeft, een langdurig effect is te verwachten. Hoewel deze onderzoeken gelden voor lichte zavel, mag voor deze zware zavel met een dichtheid van $1,52 \text{ g/cm}^3$ waarschijnlijk geen langdurig effect van diepe grondbewerking worden verwacht.

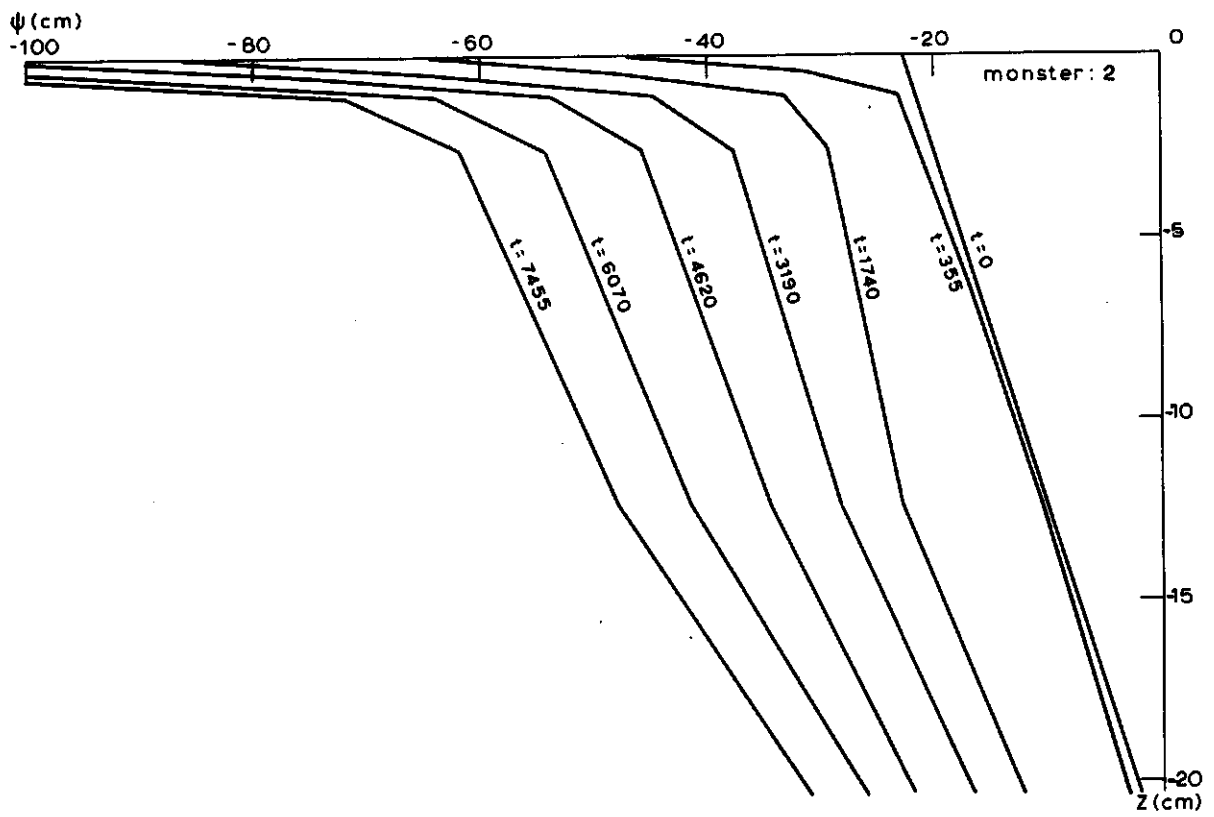
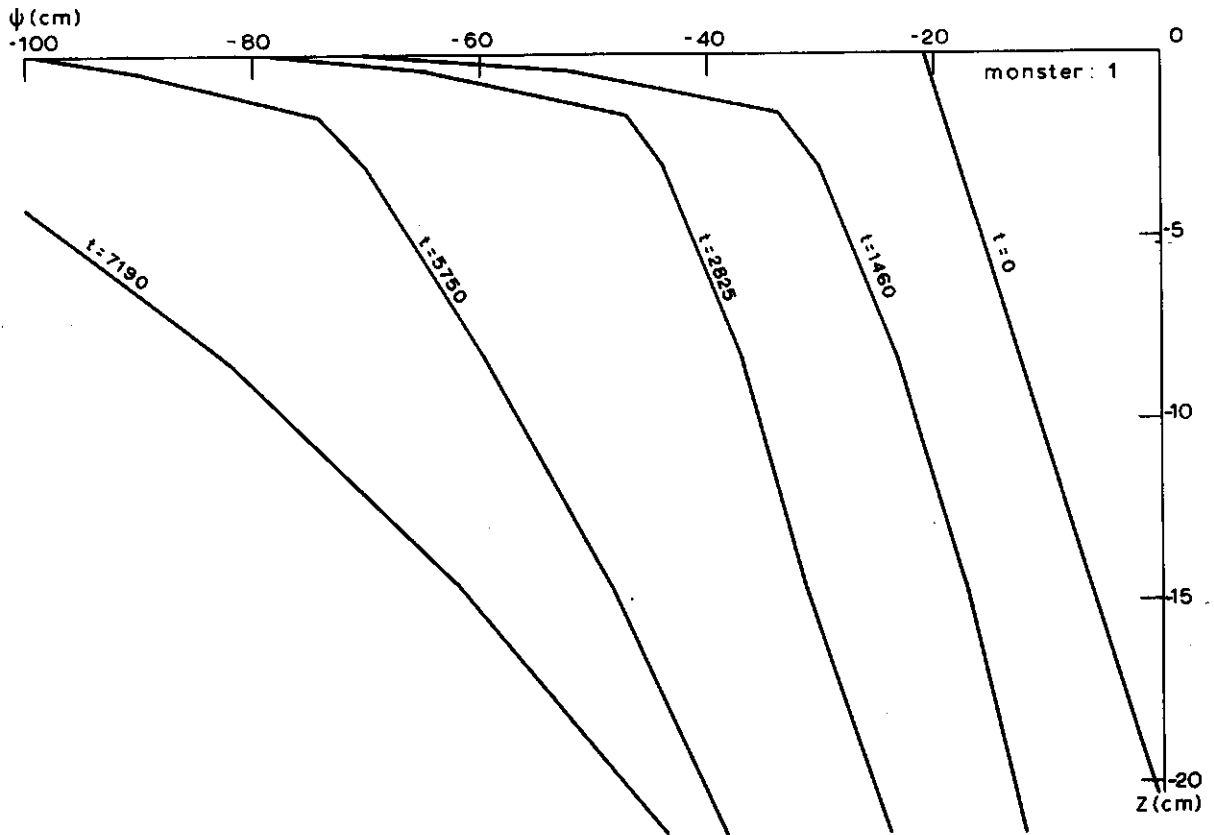
5. SAMENVATTING

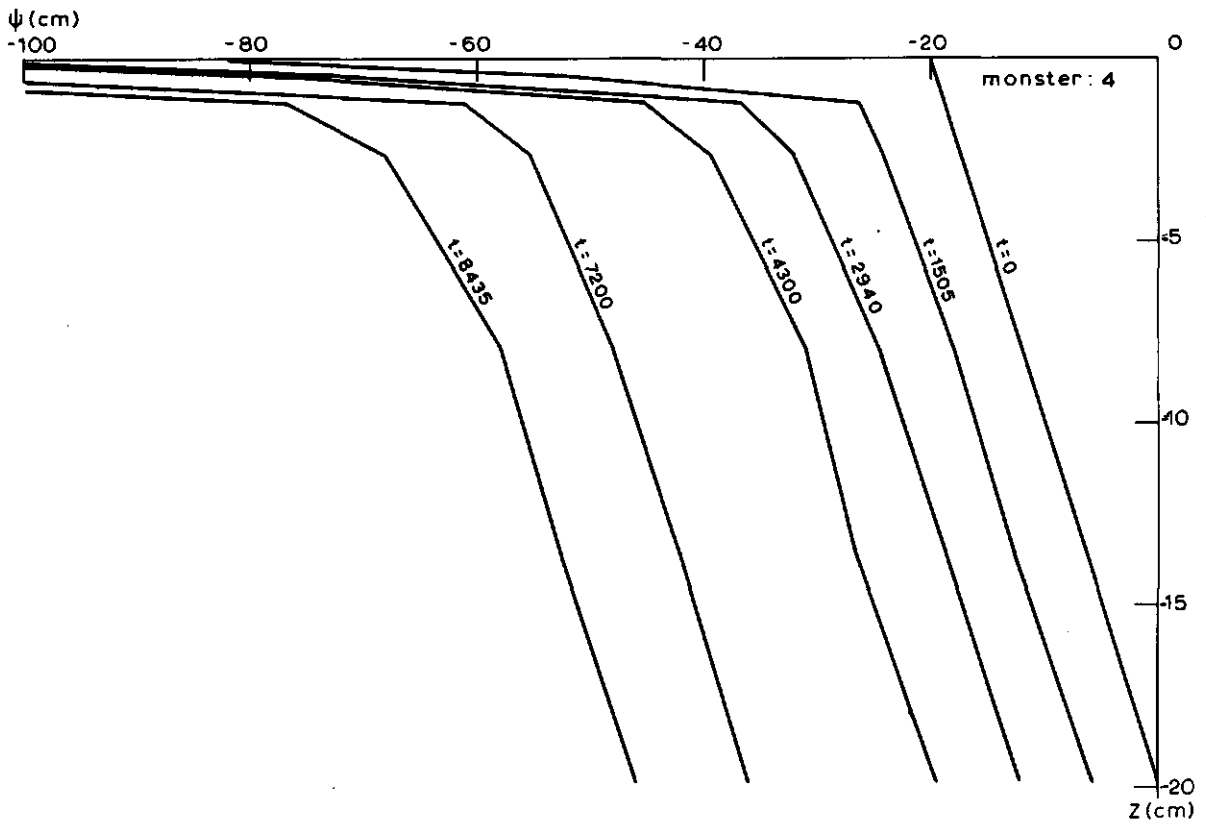
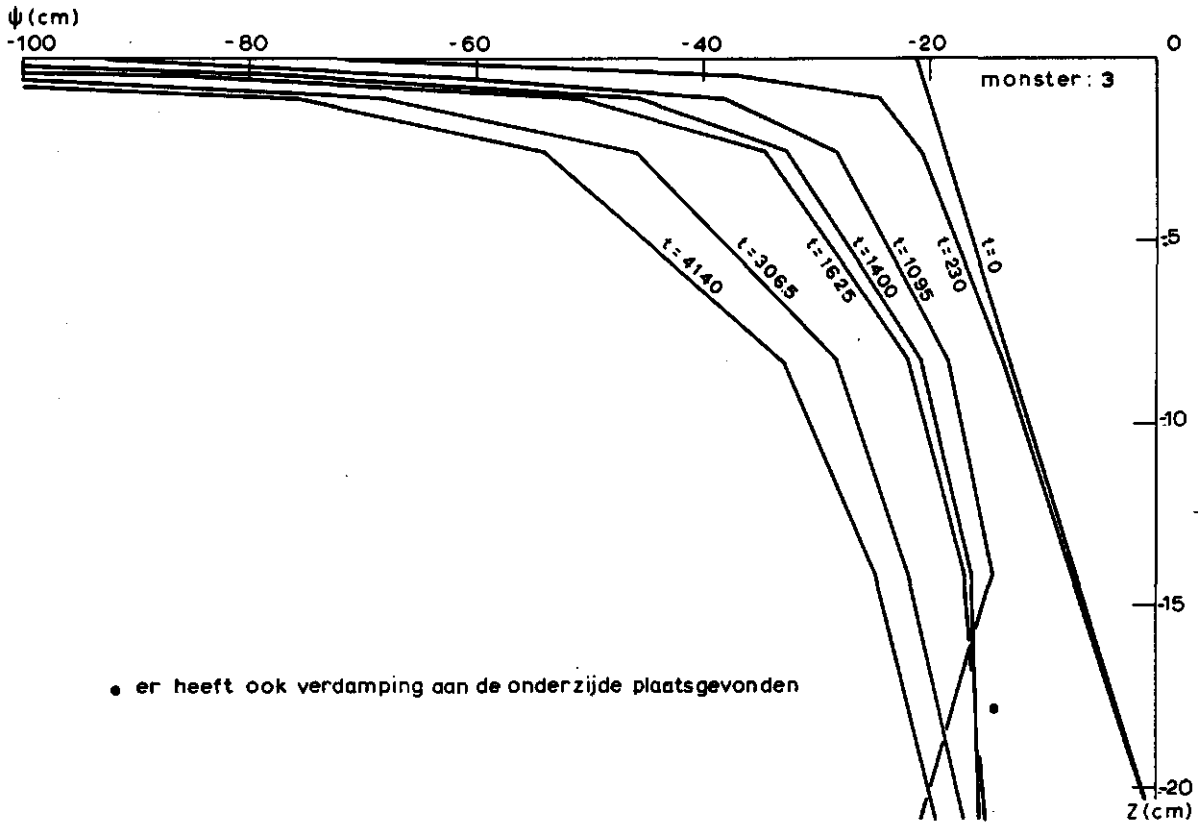
In het najaar van 1974 hebben zich in het zuidwestelijk zeeleigebied moeilijkheden voorgedaan bij de oogst van landbouwprodukten, met name aardappelen, suikerbieten en uien. De problemen zijn veroorzaakt door een extreme neerslag zoals die de laatste 75 jaar nog niet was voorgekomen. De aanwezigheid van een ploegzool, wat op 40 % van de percelen het geval is, heeft een duidelijk negatieve invloed op het aantal werkbare dagen. Ondanks deze negatieve invloed van een ploegzool kan niet gesteld worden dat de aanwezigheid van een ploegzool als hoofdoorzaak van de oogstmoeilijkheden dient te worden aangegeven. De enorme regenval is er de belangrijkste oorzaak van dat zich oogstproblemen hebben voorgedaan, want ook op percelen zonder ploegzool is het aantal werkbare dagen zeer gering geweest, vanwege het geringe aantal aaneengesloten droge dagen. Wel kan gesteld worden dat in jaren dat er in het najaar een normale neerslaghoeveelheid valt de oogst bemoeilijkt zal worden op percelen met een ploegzool ten opzichte van percelen zonder ploegzool.

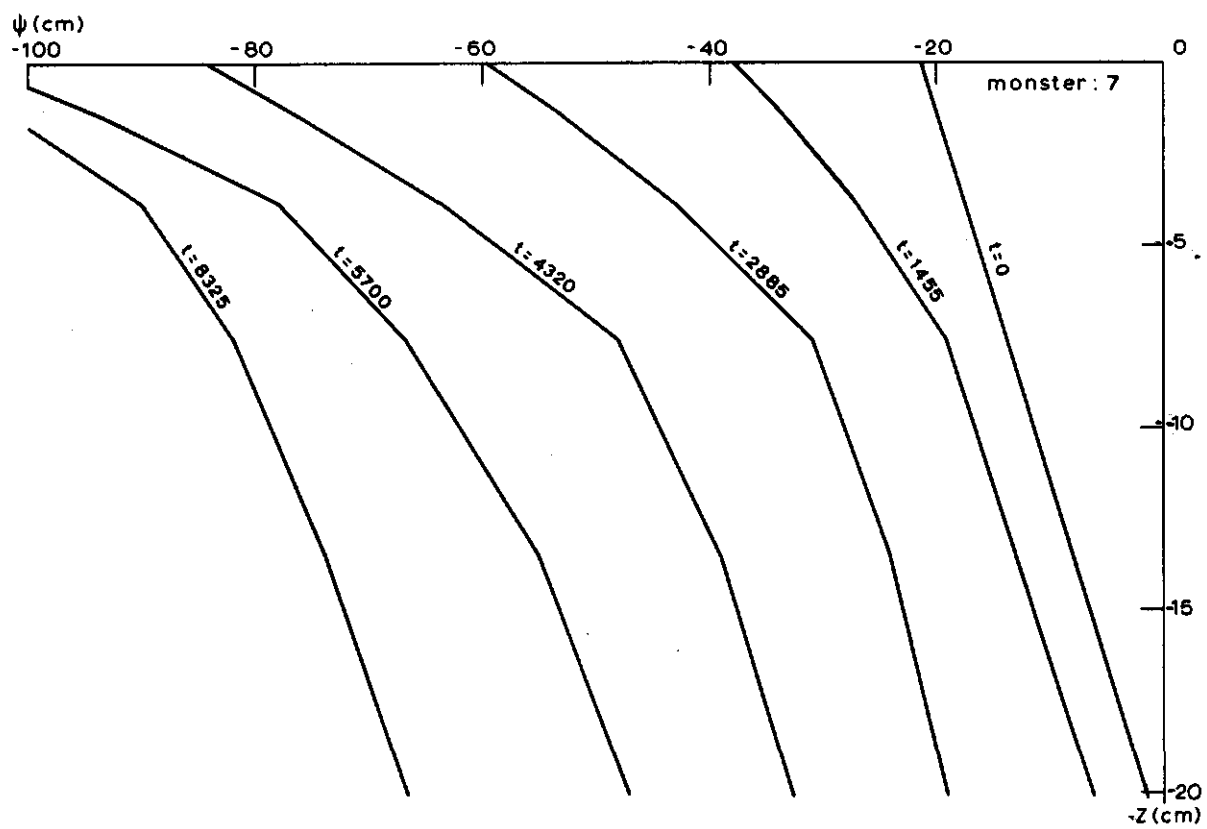
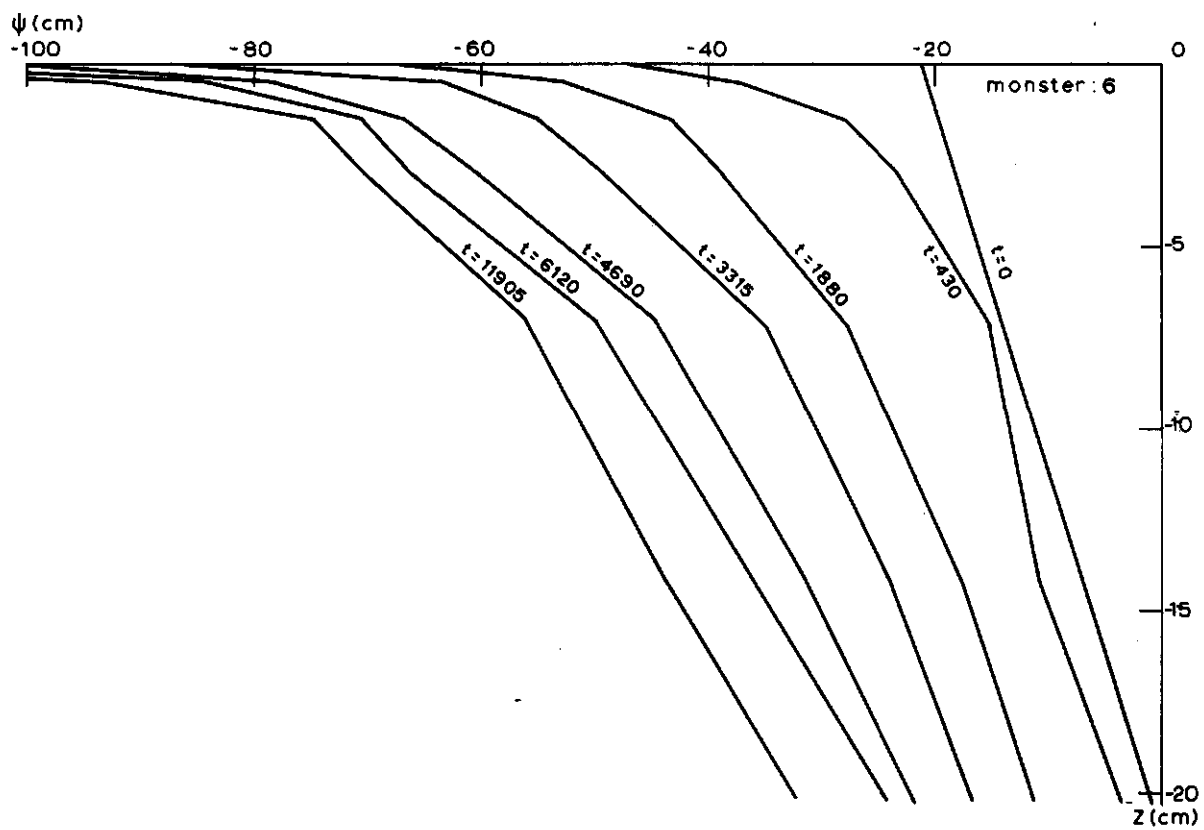
Van het losmaken van een ploegzool mag een gunstig effect worden verwacht, maar geen langdurig effect. Door regelmatig de ploegzool los te maken kunnen in de toekomst problemen voorkomen worden, niet alleen bij de oogst maar ook bij de voorjaarsontwikkeling.

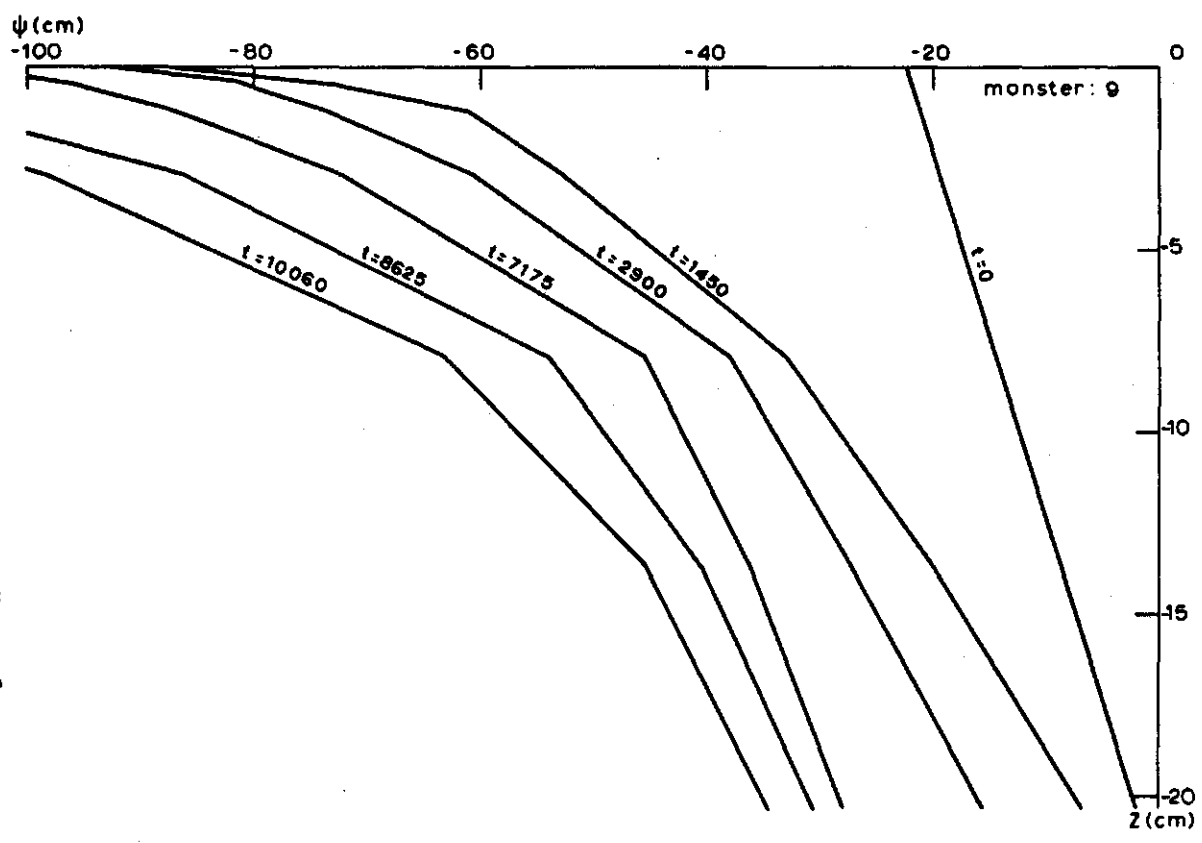
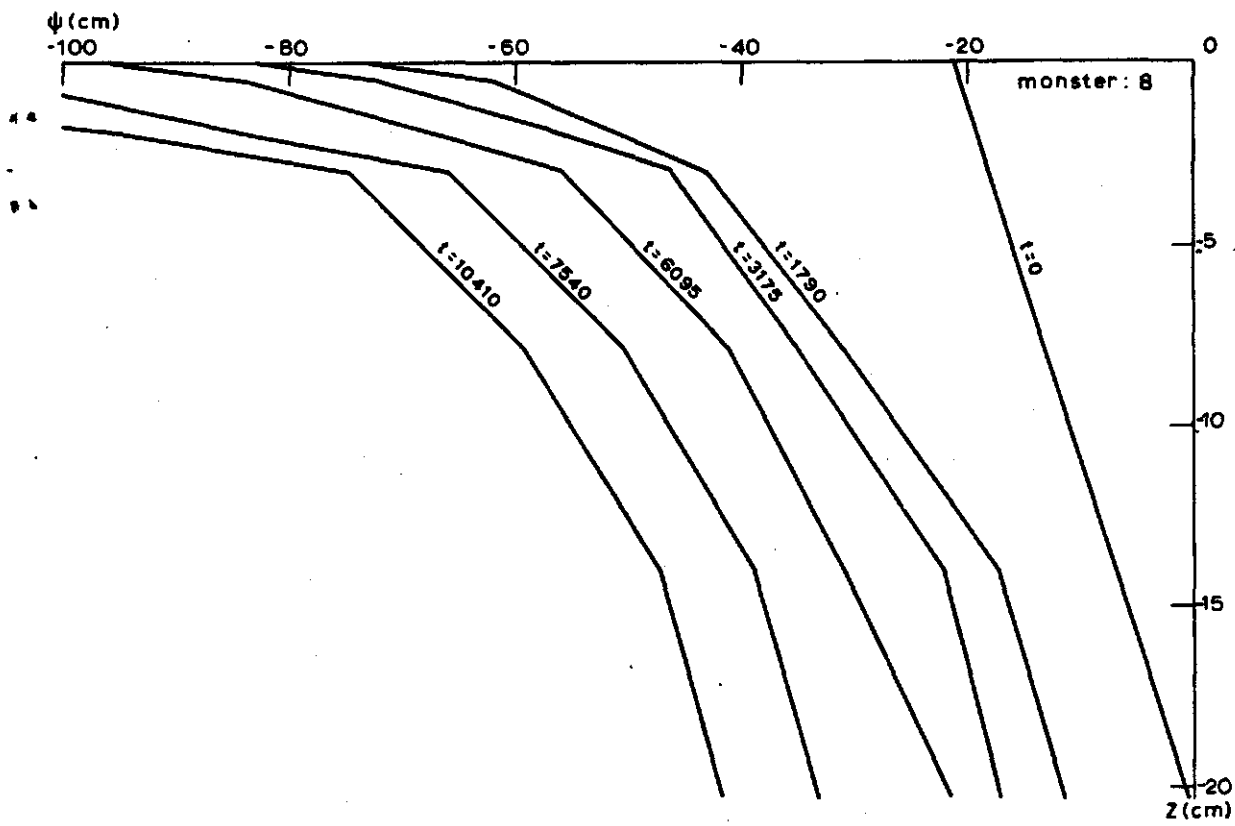
LITERATUUR

- BOELS, D. (1973). Bepaling van het capillair geleidingsvermogen en een deel van de pF-curve in een proefopstelling van het RID, Nota 742 ICW.
- en G.P. WIND (1975). Oogstproblemen in het najaar van 1974 in verband met onvolkomenheden in bodem- en ontwateringstoestand. Cult.Techn.Tijdschrift, apr./mei 1975.
- HAVINGA, L. en C.J.B. van GREUNINGEN (1973). Langdurig effect van diepe grondbewerking. Nota 762 ICW.
- KROON, J.C. (1974). Vooronderzoek naar automatisering van de bepaling van de pF-curve en het capillair geleidingsvermogen, scriptie L.H.
- RIJTEMA, P.E. (1965). An analysis of actual evapotranspiration. Agr. Res. Report No. 659 Pudoc, Wageningen.
- (1969). Soil moisture forecasting; Nota 513 ICW.
- SCHARRINGA, M. (1975). De natte herfst 1974. Landbouwkundig Tijdschrift.





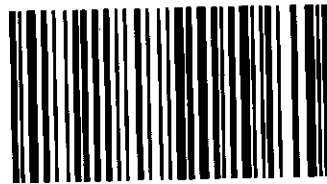






WAGENINGEN UR
For quality of life

Wageningen UR library
P.O.Box 9100
6700 HA Wageningen
the Netherlands
www.library.wur.nl



10000910162822