

NN31545.0742

NOTA 742^I

juni 1973

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

BEPALING VAN HET CAPILLAIR GELEIDINGSVERMOGEN
EN EEN DEEL VAN DE PF-CURVE IN EEN
PROEFOPSTELLING VAN HET R.I.D.

ir D. Boels



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 193532-01

I N H O U D

	Blz.
1. INLEIDING	1
2. DE PROEFOPSTELLING	2
2.1. Schatting van het capillair geleidingsvermogen	2
2.2. Bepaling vochtspanningsverdeling boven de stijgende grondwaterspiegel	4
2.3. Correctie op de tensiometer aflezingen	5
2.4. Bepaling van een deel van de pF-curve	7
3. BEWERKING MEETGEGEVENS	8
3.1. Discussie	15
LITERATUUR	17
LIJST VAN GEBRUIKTE SYMBOLEN	18

1. INLEIDING

In het kader van het onderzoek ten behoeve van de drinkwaterwinning in de Veluwe, heeft het RID te Vogelenzang een proef opgezet om verschillende aspecten van de infiltratie te bestuderen. Deze proef omvat een infiltratie vanuit een cirkelvormig bassin in een cylinder grond. De mogelijke infiltratiesnelheden in afhankelijkheid van de kwaliteit van het water worden bestudeerd.

Vochtspanningen op verschillende dieptes onder het infiltratiepunt worden gemeten. Met betrekking tot de vochtspanningsmeting heeft het ICW het RID van advies gediend. Indien de pF-curve van de grond bekend is, is het mogelijk om het luchtgehalte af te leiden uit de vochtspanningsmetingen. De zuurstofdiffusie hangt samen met het luchtgehalte (DASBERG and BAKKER, 1970) zodat de maximale zuurstofdiffusie kan worden benaderd.

Daaruit wordt de maximaal toelaatbare verontreiniging met organisch materiaal van het infiltratiewater of de maximale infiltratiesnelheid bij een bepaalde verontreiniging afgeleid. Voor de vaststelling van die infiltratiesnelheid moet het verband bekend zijn tussen de vochtspanning en de doorlatendheid en tussen vochtspanning en luchtgehalte. Getracht is om uit de gegevens, die tijdens het bevochtigen van de grond in de cylinders zijn verzameld, de gewenste verbanden af te leiden.

Deze gegevens bestonden uit vochtspanningsmetingen op verschillende hoogten in de cylinders en meting van de hoeveelheid water die in de cylinders stroomde. Deze metingen waren elke 10 minuten verricht.

2. DE PROEFOPSTELLING

Een tweetal cylinders, hoogte ± 6 m, diameter 2 m, werden gevuld met zand, dat afkomstig was uit een groeve bij Elspeet.

Vanaf de bovenkant van de grondkolom gerekend, werden tensiometers op dieptes van 0,15; 0,45; 1,00; 1,55; 2,55 en 3,55 m aangebracht.

De manometers bestonden uit met water gevulde plexigum buizen met een inwendige diameter van 0,3 cm.

2.1. Schatting van het capillair geleidingsvermogen

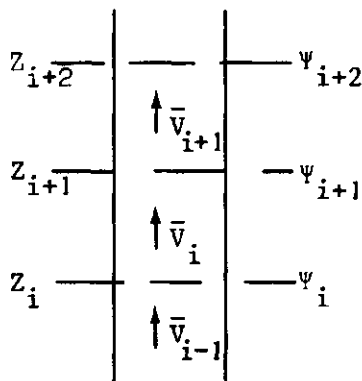


Fig. 1. Schematische weergave van stroming in de onverzadigde zone

Tijdens de bevochtiging van de grond in de cylinders, vindt er een vochttransport plaats vanuit de verzadigde grond naar de onverzadigde grond.

De stroomsnelheid neemt in de onverzadigde zone af, tengevolge waarvan het vochtgehalte toeneemt.

De stroomsnelheid is:

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

Verder is volgens RIJTEMA (1965):

$$K = K_0 e^{\alpha\psi} \quad (2)$$

De gemiddelde stroomsnelheid in een traject $Z_i \rightarrow Z_{i+1}$ wordt gevonden door (1) te integreren voor

$$\{Z, \psi | (Z_i < Z < Z_{i+1}; \psi_i < \psi < \psi_{i+1})\}$$

Voor $Z_{i+1} - Z_i = d$ is:

$$\bar{v}_i = \frac{K_i - K_{i+1}}{e^{\alpha d} - 1} - K_{i+1} \quad (3)$$

De veranderingssnelheid van de vochtinhoud in de laag ($Z_{i+1} - Z_i$) is:

$$\frac{\Delta\theta_i}{\Delta t} = - \frac{\bar{V}_i - \bar{V}_{i-1}}{Z_{i+1} - Z_i} \quad (4)$$

Het capillair geleidingsvermogen kan worden gevonden door uit 2, 3 en 4 de waarde van α op te lossen.

Nu is $\Delta t = \frac{(Z_{i+1} - Z_i)}{V_t}$, zodat:

$$\bar{V}_i = \bar{V}_{i-1} - \Delta\theta_i V_t \quad (5)$$

Voor $\bar{V}_{i-1} = V_o$, geldt: (invullen van 2 en 3 in 5)

$$e^{\alpha d} \left(\frac{V_o}{K_o} - \Delta\theta_o \cdot \frac{V_t}{K_o} + e^{\alpha\psi_1} \right) = \frac{V_o}{K_o} - \Delta\theta_o \cdot \frac{V_t}{K_o} + 1 \quad (6)$$

De waarde van α kan uit 6 worden opgelost. Wel moet het verschil in vochtgehalte bij verzadiging en vochtspanning ψ_1 bekend zijn, evenals V_o , V_t en K_o .

a. V_o is de infiltratiesnelheid en wordt afgeleid uit de per tijds-eenheid toegevoerde hoeveelheid water, $Q \text{ l.min}^{-1}$ en het oppervlak van de doorsnede van de cylinder $A = \frac{\pi}{4} D^2$

$$V_o = \frac{4 \cdot 10^3}{\pi D^2} \cdot Q \quad (7)$$

b. V_t is de stijgsnelheid van de waterspiegel. Deze wordt bepaald uit de verticale afstand tussen twee tensiometers en de tijdsduur tussen de momenten waarop de gemeten vochtspanningen juist gaan veranderen:

$$V_t = \frac{S}{t_2 - t_1} \quad (8)$$

- c. $\Delta\theta_0$ wordt uit de pF-curve bepaald. Daar geen pF-curve van de grond in de cylinders bekend was is voor de bepaling van $\Delta\theta_0$, de pF-curve van ongeroerde monsters uit de zandgroeve bij Elspeet gebruikt.
- d. K_0 wordt gelijk geacht aan de verzadigde doorlatendheid. Deze wordt in het verzadigd traject bepaald uit V_0 en de gradiënt van de vochtspanning:

$$K_0 = \frac{V_0}{\left(\frac{d\psi}{dz} + 1\right)} \quad (9)$$

De vochtspanningen boven de waterspiegel worden tijdens de opstijging van de waterspiegel gemeten.

De waarde van α wordt gevonden door voor een aantal waarden de linkerterm in verg. 6 te berekenen en deze grafisch tegen α uit te zetten.

De beste waarde van α is die, die behoort bij de berekende waarde van de rechterterm in verg. 6.

2.2. Bepaling vochtspanningsverdeling boven de stijgende grondwaterspiegel

De vochtspanning op een bepaalde diepte wordt met een tensiometer geregistreerd. Dit is een registratie in een tijdschaal.

De hoogteligging van de waterspiegel ten opzichte van de tensiometer kan op elk tijdstip worden bepaald.

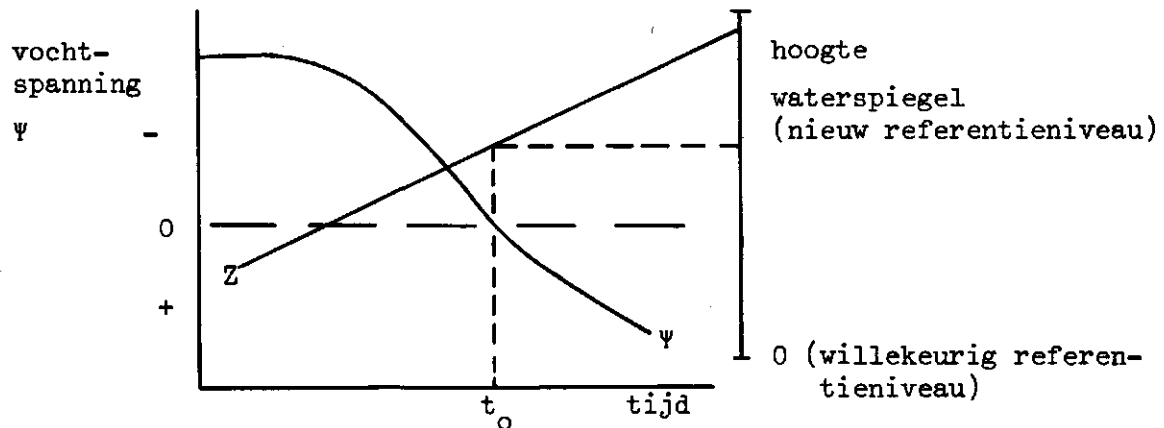


Fig. 2. Schematisch verloop van de vochtspanning in de tijd en de stijging van de grondwaterspiegel

Daartoe wordt de gemeten vochtspanning tegen de tijd uitgezet. Voorts wordt de plaatshoogte van de grondwaterspiegel ten opzichte van een willekeurig gekozen referentieniveau tegen de tijd uitgezet (de stijgsnelheid van de waterspiegel is bekend).

Dit referentieniveau wordt nu zodanig verschoven, dat de lijn Z de lijn Ψ snijdt, op het tijdstip waarop de vochtspanning juist 0 is. De plaatshoogte van de grondwaterspiegel op tijdstip t_0 stellen we 0.

Vervolgens wordt de vochtspanning tegen de plaatshoogte van de grondwaterspiegel uitgezet. Hiermee is de vochtspanningsverdeling boven de waterspiegel (maar ook daar beneden) bekend.

2.3. Correctie op de tensiometer aflezingen

De vochtspanningen werden gemeten met een tensiometer, voorzien van een met water gevulde manometer. Zodra de vochtspanning in de grond verandert, stroomt er water uit of naar de tensiometer om in de tensiometer eenzelfde vochtspanning te krijgen als er buiten heerst. Stel de vochtspanning buiten de tensiometer is Ψ cm, die in de tensiometer is h . Indien de diameter van de manometer d is, geldt voor de veranderingssnelheid van de potentiaal in de tensiometer:

$$\frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{dh}{dt} = \frac{1}{W}(\Psi - h) \quad (10)$$

De vochtspanning in de grond is dus:

$$\Psi = h + \frac{\pi d^2}{4} \cdot W \cdot \frac{dh}{dt} \quad (11)$$

Elke tensiometer aflezing dient dus gecorrigeerd te worden. Daartoe is een verband nodig tussen $\frac{dh}{dt}$ en $\frac{\pi d^2}{4} \cdot W$.

In fig. 3 is deze relatie voor tensiometers in de twee cylinders weergegeven. Die voor cylinder IV is op het laboratorium van het ICW bepaald, die voor cylinder 2 is uit de meetgegevens afgeleid. Voor de bepaling van deze relaties zij verwezen naar KASTANEK (1971).

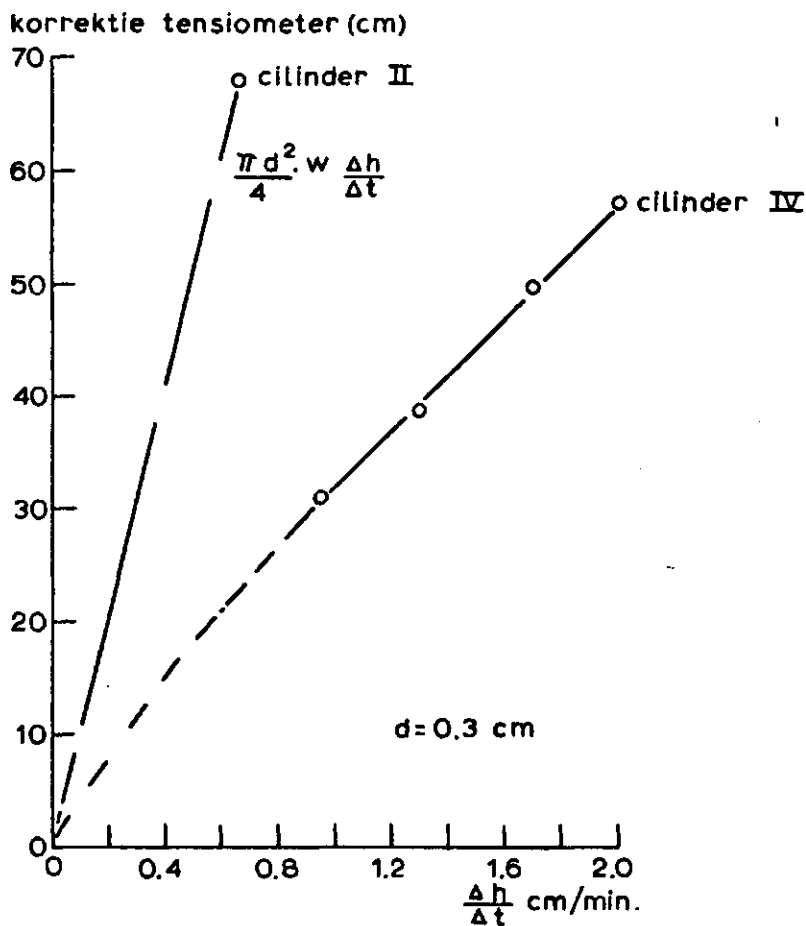


Fig. 3. Correctie tensiometer aflezingsen

2.4. Bepaling van een deel van de pF-curve
vochtspanning ψ

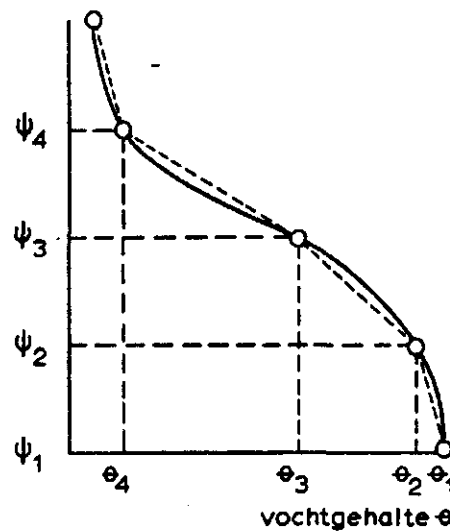


Fig. 4. Verband vochtspanning en vochtgehalte

Een verband tussen de vochtspanning en vochtgehalte kan door een lijnstukkencurve (fig.) worden benaderd. Elke lijnstuk heeft een bepaalde helling. Er bestaat dan een lineair verband tussen vochtspanning en vochtgehalte:

$$\theta_j - \theta_{j+1} = \beta_j (\psi_j - \psi_{j+1})$$

of:

$$\beta_j = \frac{\theta_j - \theta_{j+1}}{\psi_j - \psi_{j+1}} \quad (12)$$

De verg. 4 kan nu worden geschreven als

$$\frac{d\theta}{dz} = \beta \frac{d\psi}{dz} = - \frac{dV}{dz} \quad (13)$$

Waarin $\beta = f(\psi)$ en

$$\beta = - \frac{dV/dz}{d\psi/dz} \quad (14)$$

In elk traject $Z_i \rightarrow Z_{i+1}$ boven de waterspiegel is de gemiddelde

stroomsnelheid te berekenen uit: 5. De verandering van de snelheid in dat traject kan worden benaderd met:

$$\frac{\Delta V_i}{\Delta Z} \approx \frac{\bar{V}_{i-1} - V_i}{\Delta Z} \quad (15)$$

De veranderingssnelheid van de vochtspanning in het traject $z_i \rightarrow z_{i+1}$ kan worden benaderd door:

$$\frac{\Delta \Psi}{\Delta t} \approx \frac{\Psi_i - \Psi_{i+1}}{\Delta Z} \cdot V_t \quad (16)$$

De richtingscoëfficiënt van de rechte, die voor het traject $\Psi_i - \Psi_{i+1}$ het verband tussen vochtspanning en vochtgehalte weergeeft is dus:

$$\beta_i = - \frac{\bar{V}_i - V_{i-1}}{(\Psi_i - \Psi_{i+1}) \cdot V_t} \quad (17)$$

De vorm van de lijnstukkencurve in fig. is hiermee wel te berekenen, het beginpunt van de curve ($\Psi = 0, \theta = \theta_0$) echter niet. Het luchtgehalte tussen $\Psi = 0$ en $\Psi = \Psi_i$ is echter wel te bepalen ($= \sum \Delta \theta_{i-1}$)

3. BEWERKING MEETGEGEVENS

Voor de schatting van α en een deel van de pF-curve zijn de meetgegevens gebruikt van tensiometers die op een diepte van 100; 155; 2,55 en 3,55 m onder het oppervlak waren aangebracht. Het verloop van de gemeten zuigspanningen is gemiddeld. Dit gemiddeld verloop is gecorrigeerd op de veranderingssnelheid, zodat een gemiddeld verloop van de zuigspanningen in de grond wordt verkregen (tabel 1 en 2). De afstand S , tussen de tensiometers, de stijgsnelheid V_t van de waterpiegel en de filtersnelheid in de verzadigde zone V_0 zijn berekend en in tabel 1 en 2 weergegeven.

Tabel 1. Cylinder 2

Δt	$t_0 = 0$	Tensio- meter 11	Tensio- meter 10	Tensio- meter 9	Tensio- meter 7	Gemiddeld	$\frac{\Delta h}{\Delta t}$	Correctie cm	ψ cm	hoogte t.o.v. water- spiegel
0	- 48,7	- 50,5	- 41,5	- 35,8	- 44,1		0	- 44	15,0	
10	- 46,0	- 47,5	- 41,0	- 35,4	- 42,5		0,16	+ 16	8,0	
20	- 41,5	- 43,5	- 37,5	- 33,6	- 39,0		0,35	+ 36	1,3	
30	- 36,5	- 37,5	- 33,5	- 30,4	- 34,5		0,45	+ 46	5,4	
40	- 29,8	- 32,0	- 28,5	- 26,3	- 29,2		0,53	+ 54	12,8	
50	- 23,5	- 25,2	- 22,7	- 21,5	- 23,2		0,60	+ 61	19	
60	- 16,4	- 18,0	- 16,5	- 16,0	- 16,7		0,65	+ 66	26	
70	- 8,6	- 12,1	- 10,0	- 11,0	- 10,4		0,63	+ 64		
80	- 0,5	- 6,1	- 3,2	- 5,2	- 3,8		0,66	+ 67		
90	7,2	1,2	3,0	0,8	3,1		0,69	+ 70		
100	16,5	8,8	10,0	6,7	10,5		0,74	+ 75		
110				13,0						
120										
S cm		100	100	55						
$V_t = \frac{S}{\Delta t}$ cm/min		0,625	0,769	0,611	0,671					
V_o cm/min		0,135	0,174	0,159	0,154					
Totaal geïnfiltereerde hoeveelheid, liters		681	1390	1840						
Bergingscoëfficiënt $\mu = \frac{V_o}{V_t}$		0,216	0,226	0,260	0,230					

Tabel 2. Cylinder 4

Δt	Tensio-				h	$\frac{\Delta h}{\Delta t}$	Correctie cm	ψ cm	Hoogte t.o.v. water- spiegel
	t ₀ = 0 meter 11	t ₀ = 120 meter 10	t ₀ = 280 meter 9	t ₀ = 380 meter 8					
0	- 44,0	- 43,8	- 40,5	- 46,7	- 43,8		- 44	+ 26,84	
10	- 44,0	- 43,8	- 40,5	- 46,7	- 43,8	0		+ 20,13	
20	- 42,9	- 42,0	- 39,7	- 39,3	- 41,0	0,28	- 29	+ 13,42	
30	- 35,1	- 34,4	- 34,9	- 30,4	- 33,7	0,73	- 9	+ 6,71	
40	- 26,8	- 26,2	- 28,7	- 22,5	- 26,0	0,77	0	0	
50	- 17,2	- 17,0	- 23,5	- 14,0	- 17,9	0,81	+ 9	- 6,71	
60	- 7,8	- 8,0	- 16,3	- 6,7	- 9,7	0,82	+ 17	- 13,42	
70	3,5	- 1,0	- 10,3	1,1	- 1,7	0,80	+ 25	- 20,13	
75		2,0							
80	13,7		- 3,4	7,8	5,8		+ 32	- 26,84	
90			3,8						
100			10,0						
Geinfil- treerde hoeveel- heid, l	0	809,5	1613,5	2100,6					
S cm		100	100	55					
$V_t = \frac{S}{\Delta t}$ cm/min		0,833	0,625	0,55	0,671				
V_o cm/min		0,215	0,160	0,155	0,176				
Bergingscoëfficiënt									
$\mu = \frac{V_o}{V_t}$		0,258	0,256	0,282	0,262				

Het verloop van de vochtspanning onder en boven de waterspiegel is bepaald en weergegeven in grafiek 5.

a. Schatting α

De gegevens, nodig voor de bepaling van α zijn in tabel 3 weergegeven.

Tabel 3. Basisgegevens voor de berekening van α

	v_o	v_t	K_o	ψ_1	d	$\Delta\theta_o$
Cylinder 2	0,154	0,671	0,160	- 7,0	2,5	0,028
Cylinder 4	0,176	0,671	0,704	- 3,5	2,5	0,017

De waarde van $A = e^{\alpha d} \left\{ \frac{v_o}{K_o} - \Delta\theta_o \frac{v_t}{K_o} + e^{\psi_1} \right\}$ voor verschillende waarden

van α is:

	$\alpha = 0,1$	0,2	0,3	0,4
Cylinder 2	1,725	1,803	2,052	2,468
Cylinder 4	1,202	1,201	1,232	1,301

In fig. 6a en 6b is A tegen α uitgezet.

Bij de waarde $\left(\frac{v_o}{K_o} - \Delta\theta_o \frac{v_t}{K_o} + 1 \right)$ hoort een $\alpha = 0,22$ voor cylinder 2 en een $\alpha = 0,3$ voor cylinder 4.

Het verband tussen doorlatendheid en vochtspanning is in fig. 7a en 7b weergegeven. De doorlatendheid is weergegeven als m/etm^{-1} .

b. Bepaling luchtgehalte bij verschillende vochtspanningen

De zone boven de waterspiegel wordt ingedeeld in laagjes van 2,5 cm. In elk laagje wordt de gemiddelde stroomsnelheid berekend met formule 2 en 3. Vervolgens wordt de richtingscoëfficiënt van de verschillende lijnstukken van de pF-curve berekend met formule 17. Daarna wordt het verschil in vochtgehalte bij de opeenvolgende vochtspanningen berekend met formule 17. Het luchtgehalte bij een bepaalde vochtspanning is gelijk aan het verschil in vochtgehalte bij verzadiging en het vochtgehalte bij die vochtspanning.

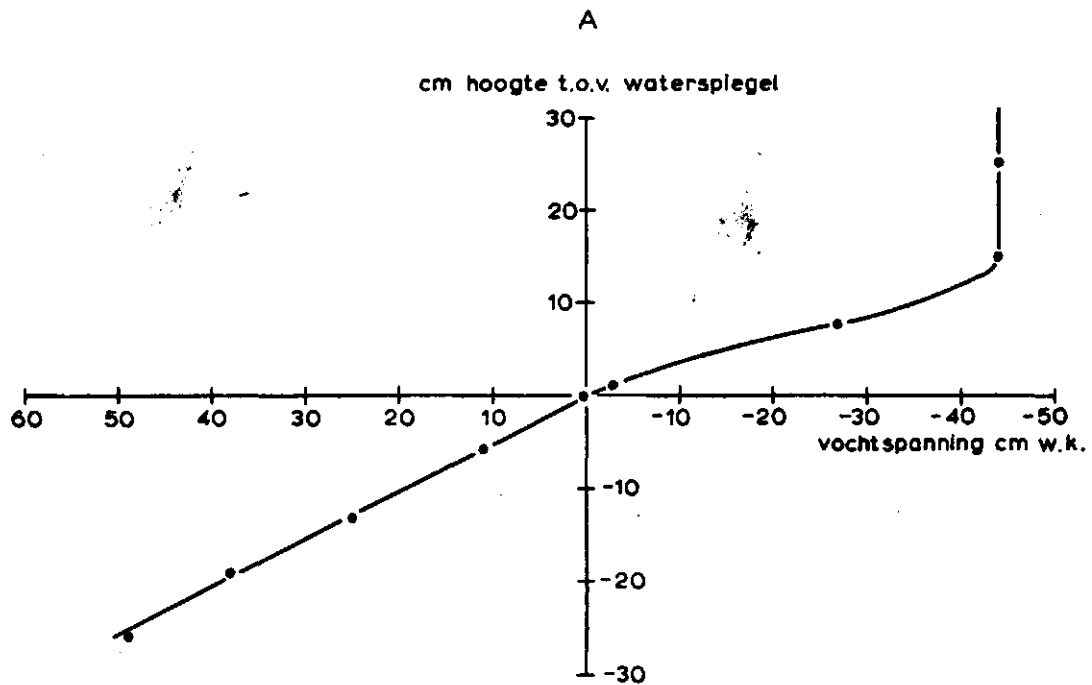


Fig. 5a. Verloop vochtspanning onder en boven de waterspiegel
cylinder 2

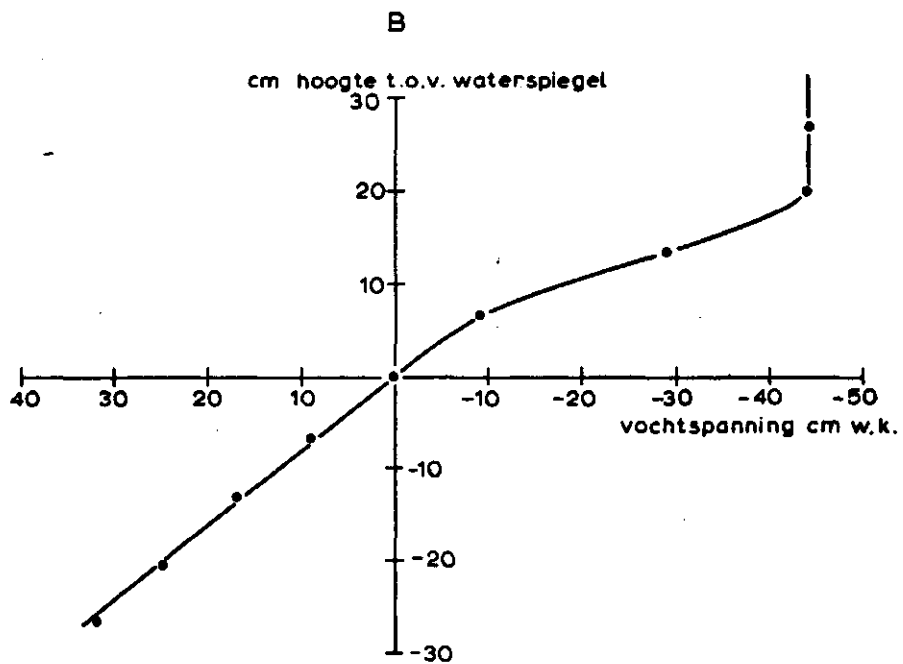


Fig. 5b. Verdeling van de vochtspanning onder en boven de waterspiegel
cylinder 4

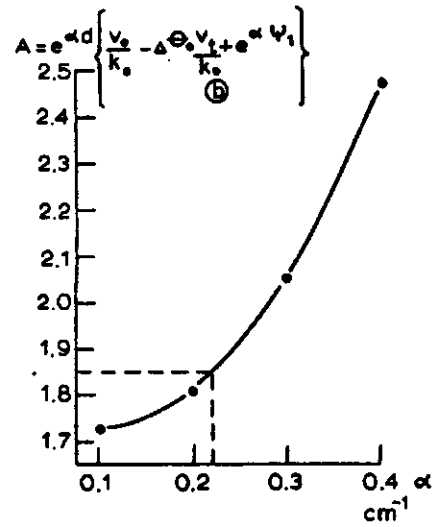
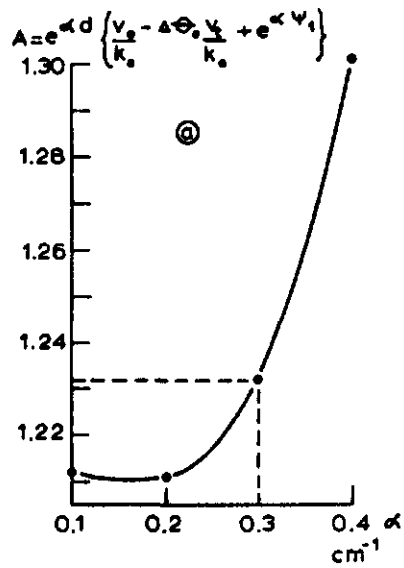


Fig. 6. Verband tussen A en α
 a-cylinder 4
 b-cylinder 2

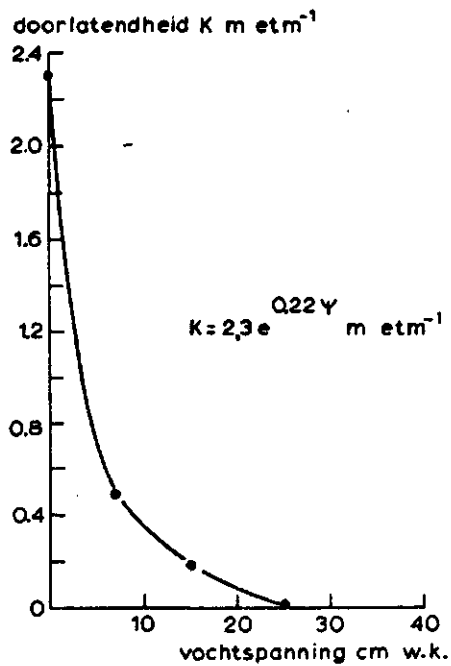


Fig. 7a. Verband doorlatend-
 heid vochtspanning
 cylinder 2

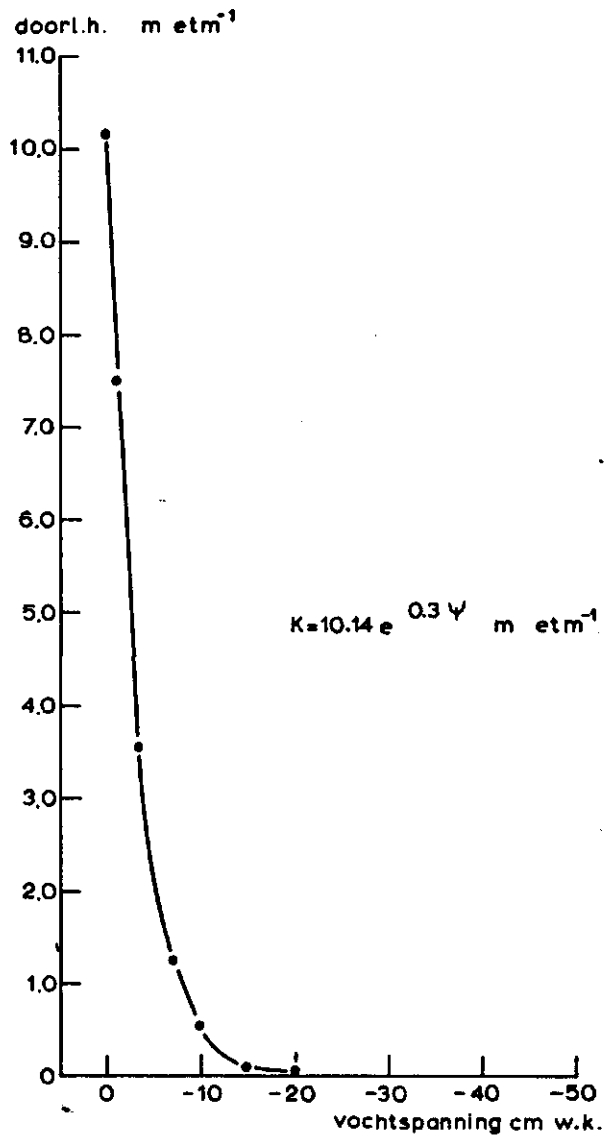


Fig. 7b. Verband doorlatendheid
 vochtspanning
 ketel IV

In tabel 4 en 5 zijn de berekeningen voor de twee cilindres weergegeven.

Tabel 4. Berekening verband vochtspanning luchtgehalte in cilinder 4 voor $\alpha = 0,3$

i	Z_i	ψ_i	\bar{v}_i	β_i	$\Delta\theta_i$	Luchtgehalte
0	0	0	0,176			0
1	2,5	- 3,5	0,163	0,0055	0,019	0,019
2	5,0	- 7,0	0,058	0,0447	0,156	0,175
3	7,5	- 11,5	0,034	0,0079	0,036	0,211
4	10,0	- 18,0	0,018	0,0037	0,024	0,235
5	12,5	- 26,0	0,003	0,0028	0,022	0,257
6	15,0	- 34,0	0,00002	0,0006	0,004	0,261
7	17,5	- 40,5	0,0000006		$\rightarrow 0$	
8	20,0	- 44,0	$\rightarrow 0$			

In grafiek 8a is het verband tussen luchtgehalte en vochtspanning weergegeven.

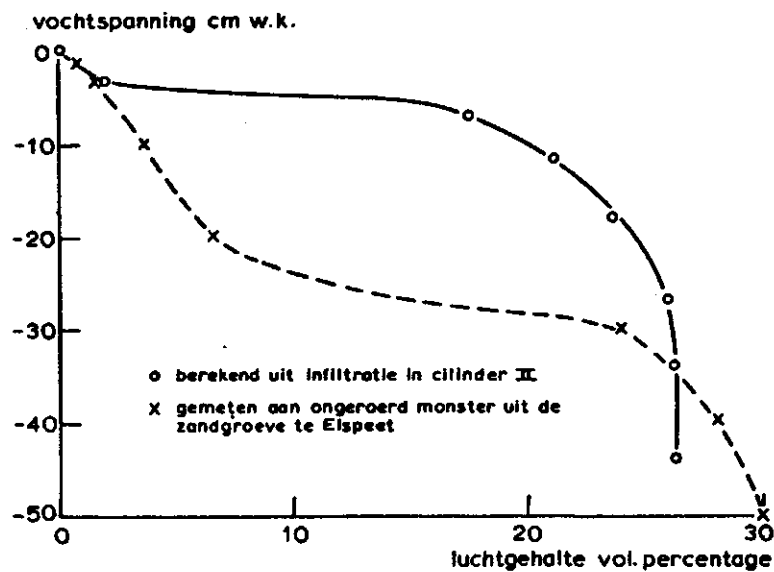


Fig. 8a. Verband tussen luchtgehalte en vochtspanning, cilinder 4

Tabel 5. Berekening verband vochtspanning-luchtgehalte in cylinder 2
voor $\alpha = 0,22$

i	Z_i	ψ_i	\bar{v}_i	β_i	$\Delta\theta_i$	Lucht- gehalte
1	0	0	0,154			
2	2,5	- 7,0	0,118	0,0077	0,054	0
3	5,0	- 15,0	0,033	0,0159	0,127	0,054
4	7,5	- 25,0	0,007	0,0039	0,039	0,181
5	10,0	- 35,0	0,0007	0,0009	0,009	0,220
6	12,5	- 41,5	0,00006	0,00014	0,0009	0,2294
7	15,0	- 55	$\rightarrow 0$			0,231

In grafiek 8b is het verband tussen luchtgehalte en vochtspanning in cylinder 2 weergegeven.

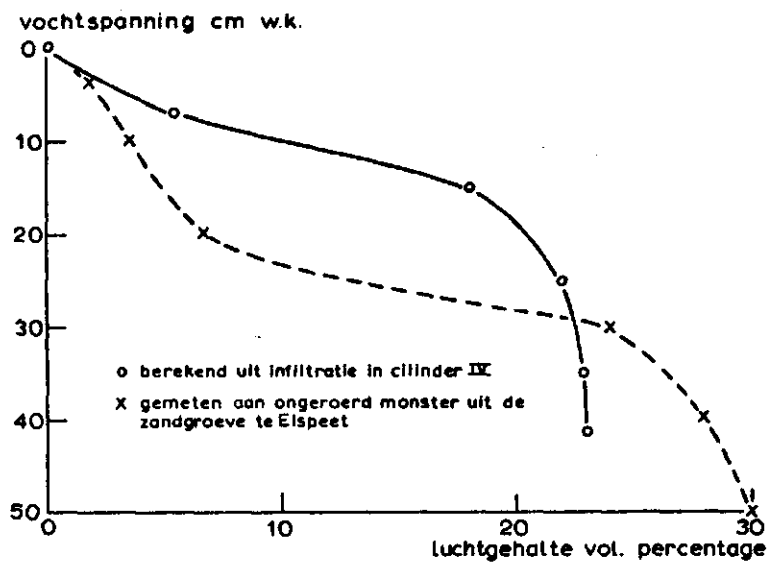


Fig. 8b. Verband tussen luchtgehalte en vochtspanning, cylinder 2

3.1. Discussie

Het luchtgehalte in de nog niet extra bevochtigde grond kan ook worden bepaald uit de bergingscoëfficiënt. Dit luchtgehalte was vlak voor de infiltratie op elke diepte vrijwel gelijk, daar de vochtspan-

ningen vrijwel op elke diepte gelijk waren. De bergingscoëfficiënt is gelijk aan het luchtgehalte aan het oppervlak (BOELS en WIEBING, 1972), en in dit geval gelijk aan het luchtgehalte op elke diepte. De bergingscoëfficiënt is gedefinieerd als:

$$\mu = \frac{V_o}{V_t} \quad (18)$$

Deze is in cylinder 2 0,23 en in cylinder 4 0,26. Deze waarden tonen goede overeenstemming met de berekende luchtgehalte bij - 44 cm W.K., de heersende vochtspanning voor de infiltratie.

De berekende pF-curve wijkt af van de gemeten pF-curve (zie fig. 8a en b). Dit kan twee oorzaken hebben. Zo kan hier sprake zijn van een hysteresisverschijnsel. Dit verschijnsel houdt in dat het vochtgehalte bij een bepaalde vochtspanning bij bevochtiging lager is dan het vochtgehalte bij die vochtspanning tijdens wateronttrekking. De berekende pF-curve heeft betrekking op een grond die bevochtigd wordt. De gemeten pF-curve werd verkregen door de monsters eerst te verzadigen en er daarna water aan te onttrekken.

De tweede oorzaak kan hierin gelegen zijn dat aangenomen is dat de formule $K = K_o e^{\alpha\psi}$ geldig is in het vochtspanningstraject $0 < \psi < - 45$ cm. Deze aanname is niet geheel juist. Volgens RIJTEMA (1969) geldt dit verband voor grove zandgronden in het vochtspanningstraject $- 10 < \psi < - 80$ cm.

Het gevolg van deze aanname is dat er in het traject $0 < \psi < - 10$ te lage stroomsnelheden berekend zijn. Dat resulteert derhalve in een te groot vochtverschil bij $\psi = 0$ en $\psi = - 10$ cm.

De berekende verzadigde doorlatendheid: $10,14 \text{ m etm}^{-1}$, in cylinder 4 is in overeenstemming met de door Rijtema gevonden waarde voor grof zand ($11,2 \text{ m etm}^{-1}$). De voor cylinder 4 berekende waarde van $\alpha = 0,3 \text{ cm}^{-1}$ is aan de hoge kant (Rijtema: $0,22 \text{ cm}^{-1}$). De voor cylinder 2 berekende waarde van $\alpha: 0,22 \text{ cm}^{-1}$ is met de gemeten waarde door Rijtema in overeenstemming. De berekende verzadigde doorlatendheid: $2,3 \text{ m etm}^{-1}$ in cylinder 2 lijkt aan de te lage kant. Waarschijnlijk is de uit de meetgegevens afgeleid correctiecurve voor de

gemeten vochtspanningen in cylinder 2 niet geheel juist. Een minder steilverlopende correctiecurve (zie fig. 3) leidt tot geringere correcties. Daardoor zou dan het vochtspanningsverloop onder de waterspiegel (fig. 5) minder steil zijn, waardoor de berekende verzadigde doorlatendheid groter uitvalt.

Samengevat kan worden gesteld dat de voor cylinder 4 berekende verbanden tussen doorlatendheid en vochtspanning en tussen luchtgehalte en vochtspanning bruikbaar zijn. Te meer nog omdat het hier gaat om geroerde grond, waardoor α groter kan zijn dan voor deze gronden door Rijtema wordt genoemd.

De voor cylinder 2 berekende verbanden dienen met enige reserve te worden bekeken. Een nader onderzoek aan deze cylinder is noodzakelijk.

LITERATUUR

- BOELS, D. en R. WIEBING, 1972. Het diepe drainage proefveld te Hornhuizen. Nota 703. ICW Wageningen.
- DASBERG, S. and J.W. BAKKER, 1970. Characterizing soil aeration under changing soil moisture conditions for bean growth. *Agronomy Journal* 62.6.
- KASTANEK, F., 1971. Numerical simulation technique for vertical drainage from a soil column. *J. of Hydrology* 14, 213-232.
- RIJTEMA, P.E., 1965. An analysis of actual evapotranspiration. *Agr. Res. Report No. 659*. Pudoc, Wageningen.
- 1969. Soil moisture forecasting. Nota 513, ICW Wageningen.

LIJST VAN GEBRUIKTE SYMBOLEN

α	Konstante in formule van Rijtema	cm^{-1}
β	Richtingscoëfficiënt van pF-curve	-
d	Binnendiameter van manometer	cm
D	Binnendiameter van cylinder	cm
e	Natuurlijk grondtal	-
h	Vochtspanning in de tensiometer	cm
K	Doorlatendheid	cm min^{-1}
S	Verticale afstand tussen twee tensiometers	cm
μ	Bergingscoëfficiënt	-
Ψ	Vochtspanning in de grond	cm
Q	Infiltratiedebiet	$l \text{ min}^{-1}$
t_2	Tijdstip waarop een tensiometer juist een verandering in vochtspanning aangeeft	min
θ	Volume vochtgehalte	$\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$
$\Delta\theta_i$	Vershil in vochtgehalte bij vochtspanning Ψ_i en Ψ_{i+1}	-
V	Stroomsnelheid	cm min^{-1}
V_o	Stroomsnelheid in verzadigde grond	cm min^{-1}
V_t	Stijgsnelheid waterspiegel	cm min^{-1}
\bar{V}_i	Gemiddelde stroomsnelheid tussen Z_i en Z_{i+1}	cm min^{-1}
W	Stromingsweerstand in tensiometer en manometer	min cm^{-2}
Z	Hoogte boven referentievlak	cm