

ICW nota 1783

mei 1987

**ALTERRA**  
Wageningen Universiteit & Research centre  
Omgevingswetenschappen  
Centrum Water & Klimaat  
*Team Integraal Waterbeheer*



nota

— instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, wageningen —

## WATERRETENTIE-METINGEN VOLGENS DE DRUKEVENWICHT-METHODE

G. J. Veerman

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

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

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

I N H O U D

	blz.
SAMENVATTING	
1. INLEIDING	1
2. MATERIAAL EN METHODEN	2
3. PROEFNEMINGEN EN RESULTATEN	5
4. DISCUSSIE	12
LITERATUUR	13

## SAMENVATTING

In deze nota is een methode beschreven voor een bepaling van een gedeelte van de waterretentiekarakteristiek (onderdrukken van 0 tot circa 150 cm waterkolom). De methode is een combinatie van bestaande methoden en beschrijft een eenvoudige en snelle manier om onttrekking en opname van water uit een grondmonster met de daarbij behorende onderdruk te meten.

In tegenstelling tot vaak toegepaste methoden, waarbij een gefixeerde onderdruk wordt aangelegd, verandert bij de hier beschreven methode de aangelegde onderdruk. De onderdruk vermindert afhankelijk van de hoeveelheid water die uit het monster stroomt en vice versa.

Door deze tegenkoppeling zal de tijd, die nodig is om evenwicht te bereiken tussen het watergehalte van het grondmonster en de onderdruk belangrijk korter worden; van enkele maanden bij gefixeerde onderdruk tot maximaal enkele dagen met de tegenkoppeling.

Behalve desorptie-curven zijn ook adsorptie-curven nauwkeurig en in redelijk korte tijd te bepalen. De methode leent zich daarom goed voor het meten van hysteresisverschijnselen.

**ALTERRA**  
Wageningen Universiteit & Research centre  
Omgevingswetenschappen  
Centrum Water & Klimaat  
*Team Integraal Waterbeheer*

## 1. INLEIDING

Waterretentiekarakteristieken van bodemonsters geven het verband aan tussen het watergehalte van de bodem en de energietoestand van het bodemwater. Het is van belang deze karakteristieken op een betrouwbare en zo mogelijk snelle manier te bepalen.

Veel bepalingmethoden starten met grondmonsters die verzadigd zijn met water. Het water wordt weer aan de grondmonsters onttrokken door ze op een filter te zetten. De onderdruk van het filter wordt successievelijk op van te voren vastgestelde punten gefixeerd. Deze methoden vergen veel tijd, daar de druk in het grondmonster de gefixeerde onderdruk asymptotisch nadert. Daarom wordt in het algemeen alleen een karakteristiek bepaald van grondmonsters waaraan water is onttrokken.

Een veel toegepaste methode om in het laboratorium de waterkarakteristiek vast te stellen is de zogenaamde 'zandbak'-methode (STAKMAN et al., 1969). Bij deze methode kunnen een groot aantal (ca. 50) grondmonsters tegelijk worden doorgemeten. Om de veranderingen in het watergehalte te kunnen vaststellen, moeten de monsters regelmatig worden gewogen. Ze worden daarvoor van het filter gehaald en het contact tussen het water in het monster en het water in het filter wordt verbroken.

Wateronttrekking uit grondmonsters kan ook volumetrisch worden gemeten. Voor elk monster is dan een afzonderlijk filter nodig, maar het voordeel is dat het monster op het filter kan blijven staan. De waterverplaatsing kan worden gemeten in een buret, waarin het water-niveau op dezelfde afstand gehouden wordt ten opzichte van het monster. Dit wordt gerealiseerd door de buret te verplaatsen (BAKER et al., 1974).

Aan de toepasbaarheid van alleen de desorptie-karakteristiek kan worden getwijfeld, omdat onder veldomstandigheden de grond soms water afstaat (desorptie), soms water opneemt (adsorptie). Omdat de water-retentiekarakteristiek een functie is van de poriëncontinuïteit en van de poriëngrootteverdeling, kan bij eenzelfde energietoestand van het grondwater het watergehalte bij desorptie afwijken van het watergehalte bij adsorptie (VAN BOHEEMEN et al., 1984). Dit is bekend als het 'hysteresis'-verschijnsel.

Door combinatie van bestaande bepalingmethoden (BAKER et al., 1974 en SU and BROOKS, 1980) is het mogelijk een opstelling te realiseren, waarin de verplaatsing van water naar en van een grondmonster wordt gemeten. Deze waterverplaatsing verandert de ingestelde onderdruk zodanig dat de veranderingen worden tegengewerkt. Door deze tegenkoppeling kan de bepaling belangrijk sneller worden uitgevoerd. Dit geldt zowel voor een grondmonster dat water opneemt als voor een die water afstaat.

Met de introductie van een dergelijke methode wordt het mogelijk om de hysteresis van gronden binnen een redelijke tijd te onderzoeken.

## 2. MATERIAAL EN METHODEN

De opstelling (fig. 1) bestaat uit een gesinterd glasfilter, dat kan worden verbonden met een wijde en een nauwe buis (een buret en een capillair). De buizen zijn naast elkaar op een paneeltje bevestigd, dat langs een verticale stang op en neer kan worden geschoven. Het filter kan eveneens op en neer worden geschoven langs een tweede verticale stang.

Het gesinterde glasfilter is Duran borosilicaat-glas met porie-nummer G4 (poriëndiametertraject 160-250 micron).

De maximaal haalbare onderdruk voor dit filter is 150 cm waterkolom. Bij grotere onderdrukken komt er lucht door het filter.

De verschuivingen maken het mogelijk diverse onderdrukken in te stellen. (Om visuele metingen te verrichten in de meetbuizen is het om praktische redenen aan te bevelen, het paneeltje met buret en capillair niet te verschuiven.) Onder buret en capillair zijn drie 3-wegkranen (Hamilton HV 86727) onder elkaar op het paneeltje bevestigd.

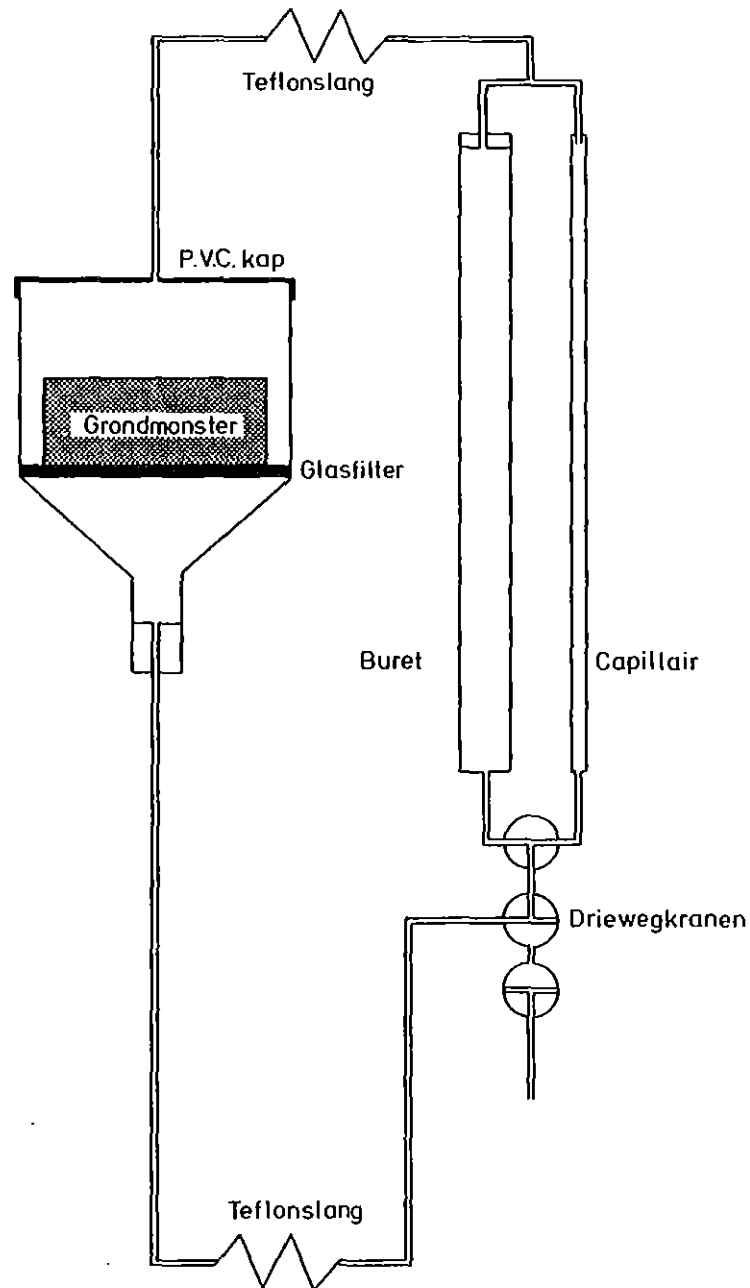


Fig. 1. Schematische voorstelling van de opstelling voor het bepalen van waterretentiekarakteristieken.

Een grondmonster staat op een gesinterd glasfilter. De onderdruk wordt ingesteld door het in hoogte verstellen van het filter ten opzichte van de buret en het capillair. Watergehalte veranderingen van het grondmonster worden gemeten in de buret. Voor het snel bereiken van evenwicht wordt alleen het capillair aangesloten. Zie tekst voor verdere details.

Hierdoor zijn alle gewenste verbindingen tussen filter, buret en capillair te realiseren en is er een aftappunt voor overtollig water aanwezig.

Als verbindingsslang tussen de verschillende onderdelen is teflon-slang toegepast, dat met behulp van kleine stukjes polytheenslang op de pilaartjes van de kraantjes is bevestigd.

Teflon (p.t.f.e.) verliest in tegenstelling tot veel andere kunststofslangen (zoals b.v. nylon en pvc) geen water door diffusie (VEERMAN, 1987).

Als op het filter een grondmonster is geplaatst, zal bij wateronttrekking uit het monster het niveau in de meetbuis stijgen. De ingestelde onderdruk wordt dan kleiner. Maar als de onderdruk kleiner wordt, wordt minder water onttrokken. Dit is de tegenkoppelende werking, waardoor de evenwichtssituatie tussen het watergehalte van het grondmonster en de onderdruk op een snellere manier wordt bereikt.

De waterverplaatsing kan gemeten worden in buizen van verschillende diameter. In een wijde buis zal een bepaalde waterverplaatsing minder invloed hebben op de onderdruk dan in een capillaire buis.

Bij de start, na het instellen van een bepaalde onderdruk, wordt een grotere waterverplaatsing verondersteld dan naderhand. Er wordt daarom eerst gemeten in een buret en wanneer het waterniveau in de buret nog maar weinig verandert, wordt gemeten in een capillaire buis (SU and BROOKS, 1980).

Er mag geen water verloren gaan door verdamping, daarom is de bovenkant van het filter afgesloten met een pvc-kap, die met een teflonslang is verbonden met de bovenkant van buret en capillair.

Om de waterniveau's te kunnen aflezen is een maatband aangebracht tussen de buret en het capillair. Het nulpunt van de maatband is op hetzelfde hoogte aangebracht als het onderste afleespunt van de buret. Dit niveau komt overeen met de bovenkant van het glassinter filter.

De proeven zijn uitgevoerd met een matig grove, verstoorde zandgrond (Lemelerveld 110 cm-maaiveld).

Het filter wordt verzadigd met water; tussen filter en meetbuizen mogen geen luchtbellens aanwezig zijn.

Een pvc-cylinders wordt gevuld met zand en op het filter gezet (tussen zand en filter geen doekje).

De gebruikte pvc-cylinder heeft een inwendige diameter van 84 mm en een hoogte van 24 mm. De cylinder is gevuld met 23 mm zand; het volume van het zandmonster is derhalve  $127,5 \text{ cm}^3$ . Het volumegewicht is  $1,600 \text{ g/cm}^3$ .

In de meetbuizen kan afgelezen worden met een nauwkeurigheid van 1 mm. De buret heeft een inhoud van  $50 \text{ cm}^3$ . 1 mm aflezing in de buret komt overeen met  $99,21 \text{ mm}^3$ .

In het capillair (inwendige diameter 2,52 mm) is 1 mm aflezing  $5 \text{ mm}^3$ . De resolutie van de meting in de buret is 0,08 vol.%  $((99,21/1000) \times (100/127,5))$  en in het capillair 0,004 vol.%  $((5/1000) \times (100/127,5))$ . De nauwkeurigheid van het gehele systeem wordt voornamelijk bepaald door de aflezing van de buret. Deze is dus ongeveer 0,1 volume%.

### 3. PROEFNEMINGEN EN RESULTATEN

Uitgegaan is van een met water verzadigd monster (39,0 vol.% water). De verzadiging vindt plaats door vanuit de buret en door het filter water aan te voeren. Het water wordt door het monster afgestaan als het filter naar boven wordt geschoven. Tijdens de proef heeft dit plaats gevonden in stappen van 10 cm. De tijdsduur voor deze proef was circa 1 dag (30 min. insteltijd op elke stap; d.w.z. 5 min. op buret en capillair en 25 min. alleen op het capillair). Bij een onderdruk van meer dan 150 cm slaat het filter door.

Vanuit de grootste onderdruk is het filter weer stapsgewijs naar beneden geschoven. Het blijkt dat voor elke stap ongeveer 1 dag gewacht moet worden tot er evenwicht is bereikt. De op deze manier bepaalde adsorptie- en desorptiecurve zijn weergegeven in figuur 2.

Evenwichtsinstellingen werden bemoeilijkt door de temperatuurfluctuaties in het laboratorium. Temperatuurverschillen hebben invloed op de oppervlaktetenspanning van het water en daardoor ook op de capillaire krachten in het monster. Bij temperatuursverhoging neemt de oppervlaktetenspanning van het water af en wordt de capillaire opstijging in het monster kleiner. Het gevolg is dat het monster water afstaat. De mate waarin dit plaats vindt is op de volgende manier te verduidelijken. Hierbij is uitgegaan van een temperatuur van  $20^\circ\text{C}$ .



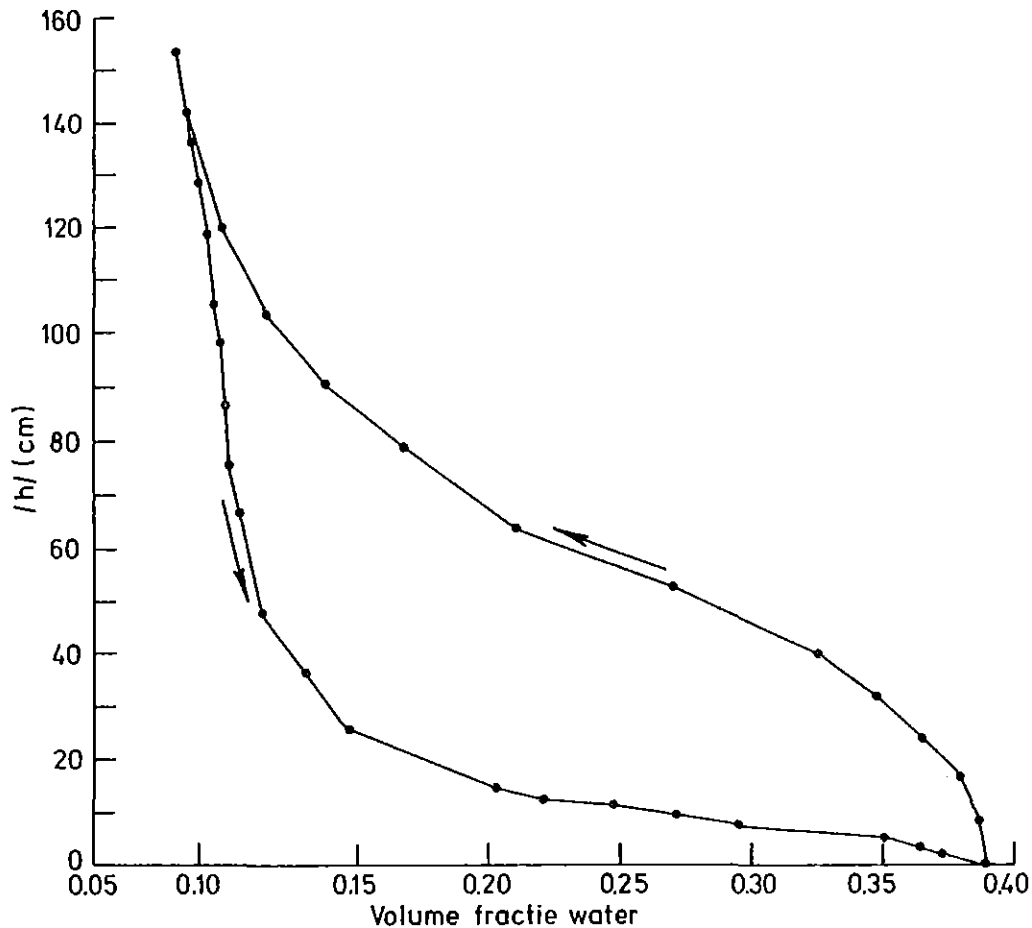


Fig. 2. Desorptie- en adsorptiecurven van een verstoord zandmonster. De aangegeven punten zijn de evenwichtstoestanden tussen watergehalte en onderdruk. De pijlen geven de richting aan van het verloop van het experiment

Een grondmonster is, sterk vereenvoudigd, voor te stellen met alleen verticale poriën van constante diameter. De diameter van de poriën die tot een bepaalde onderdruk zijn gevuld met water is dan te berekenen met  $h=4\sigma/\rho g d$ , waarin:  $h$  is de capillaire opstijging,  $\sigma$  is de oppervlaktespanning van water,  $\rho$  is de dichtheid van water,  $g$  is de versnelling van de zwaartekracht en  $d$  is de diameter van de porie.

Als een onderdruk van bijvoorbeeld 50 cm wordt aangelegd aan de onderkant van een grondmonster van 2,3 cm hoogte, dan is een gedeelte van de poriën geheel leeg, een gedeelte gedeeltelijk gevuld en een deel geheel gevuld. De poriën die bij die onderdruk net leeg zijn, hebben een diameter die correspondeert met een capillaire opstijging van 50 cm. De poriën die nog net geheel gevuld zijn, hebben een diameter die correspondeert met een capillaire opstijging van 52,3 cm.

Wij vereenvoudigen het model verder tot alleen poriën met een diameter corresponderend met de gemiddelde capillaire opstijging van 51,15 cm. Dit zijn dus half gevulde poriën met een diameter van 0,05812 mm en een totaal volume van 0,061 mm<sup>3</sup>. Bij een vergroting van de aangelegde onderdruk met 1,15 cm worden deze half gevulde poriën dus geheel leeg gezogen. Uit figuur 2 blijkt dat het monster dan circa 0,005 vol. fractie water afstaat. Dat is 0,6375 cm<sup>3</sup>. Het aantal poriën met gemiddelde diameter van 0,05812 mm bedraagt dan 20902. Bij een temperatuurstijging in het monster van 0,1°C zal de capillaire stijghoogte 0,1 mm afnemen. Totaal wordt door het monster 20902 x 0,00265 x 0,1 = 5,539 mm<sup>3</sup> water afgestaan. Het waterniveau in een meetbuis met een diameter van 2,5 mm stijgt daardoor circa 1 mm.

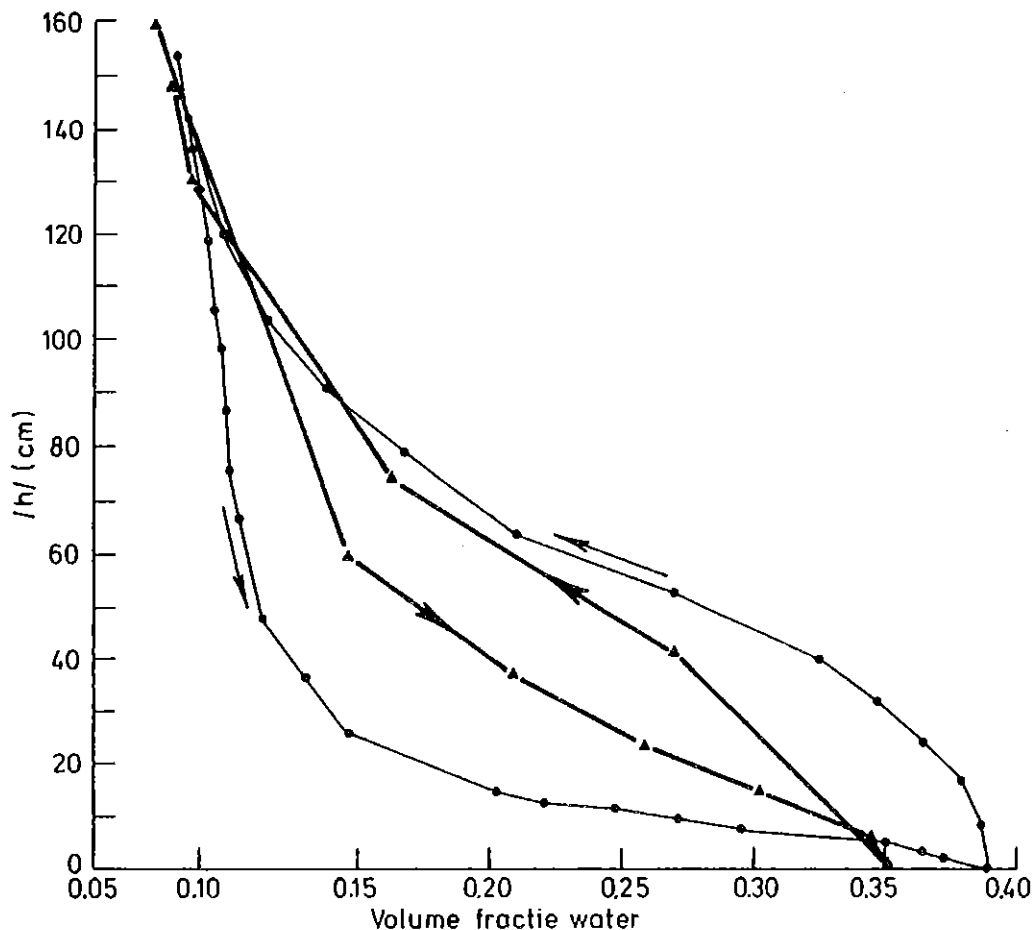


Fig. 3. Desorptie- en adsorptiecurven, wanneer grote drukstappen worden ingesteld. De adsorptie-curve is eerst bepaald, daarna de desorptie-curve. De getrokken lijnen verbinden de punten waarop evenwicht tussen watergehalte en onderdruk is bereikt. Deze curven zijn ingepast in de curven van figuur 2, die met dunne lijnen zijn aangegeven.

Wordt water opgenomen in grote drukstappen dan loopt de adsorptiecurve duidelijk afwijkend (fig. 3). Er wordt meer water opgenomen dan bij de bepaling met kleine stappen. Dit is te verklaren uit het feit, dat bij grote drukstappen de aangelegde onderdruk eerst meer vermindert dan bij kleine drukstappen, zodat grote poriën gevuld kunnen worden. Bij het bereiken van evenwicht, en dus weer bij grote onderdruk, zullen deze poriën door hysteresis niet meer leeglopen. Bij desorptie met grote drukstappen gebeurt het omgekeerde. Bepaalde poriën vullen zich niet meer bij het bereiken van de evenwichtsdruk, zodat er meer water wordt afgestaan dan bij het desorptie met kleine drukstappen.

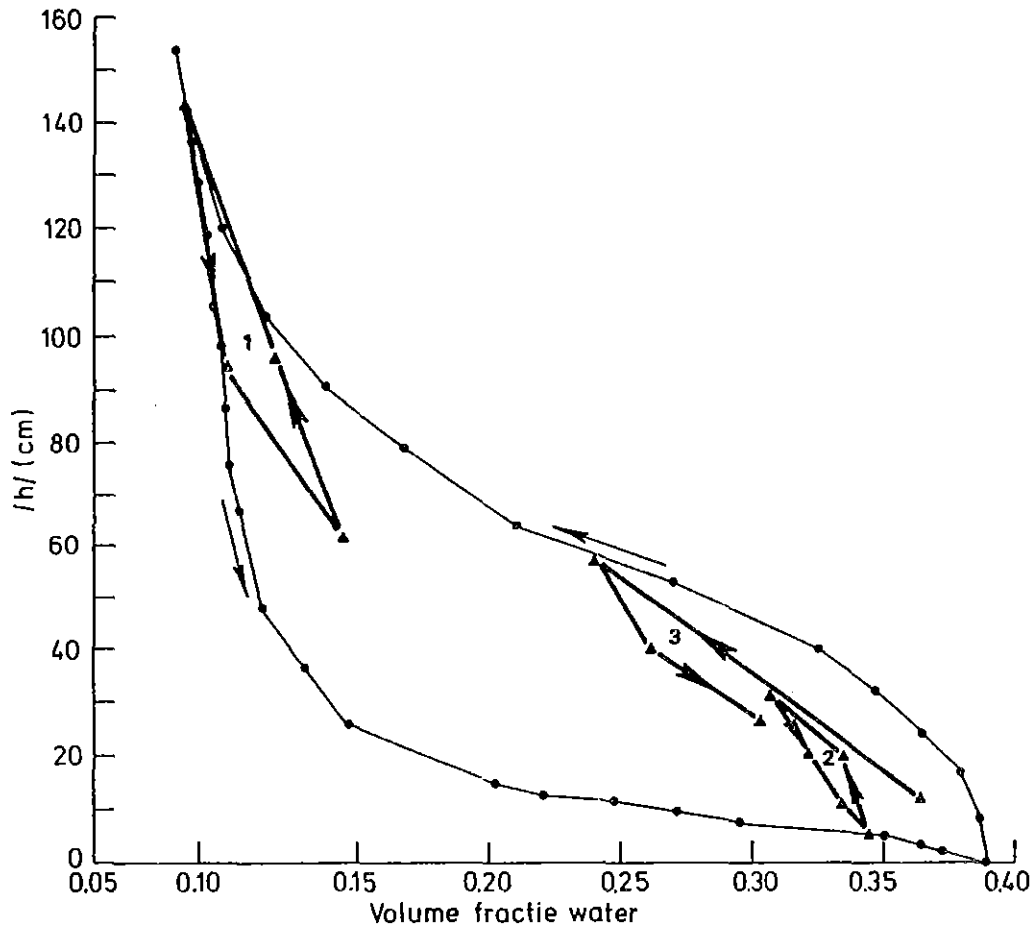
Door desorptie van verzadiging naar 150 cm zuigspanning wordt ongeveer dezelfde situatie bereikt als voor de adsorptie. Dit kan worden veroorzaakt omdat op dit punt de waterretentiekarakteristiek erg steil loopt en dus de gevoeligheid voor hysteresisverschijnselen kleiner wordt.

Het watergehalte bij verzadiging is na adsorptie met grote drukstappen lager dan met kleine stappen. Dit kan veroorzaakt zijn door ingesloten lucht.

Vervolgens is over kleine trajecten water opgenomen en water afgestaan. Hierbij is waar te nemen dat deze 'hysteresis-lussen' steeds binnen de totale desorptie- en adsorptiecurven liggen (fig. 4).

De tijd die nodig is om tot evenwicht te komen, is meestal toch wat langer dan ogenschijnlijk wordt gedacht. In figuur 5 is te zien wat de invloed is van de insteltijd. Hierbij is alleen in het capillair gemeten. Nadat een onderdruk is ingesteld, zullen onderdruk en bijbehorend watergehalte rechtlijnig veranderen. Kleine waterverplaatsingen geven relatief grote drukveranderingen.

Hoewel het meeste water al na 1 minuut is verplaatst, blijkt toch dat er tenminste een dag moet worden gewacht voordat het evenwicht is bereikt. Inpassing van figuur 5 in figuur 2 laat bij 'verzadiging' van het monster een afwijking zien (fig. 6). Dit kan veroorzaakt zijn door ingesloten lucht omdat, wanneer in het capillair wordt gemeten, grote drukstappen worden ingesteld (zie ook figuur 3).



**Fig. 4. Hysteresis verschijnselen.** In deze figuur zijn de resultaten van drie experimenten weergegeven (ingepast in de curven van fig. 2). Curve 1 is een adsorptiekarakteristiek met evenwichtsstappen op 147 cm, 94 cm en 60 cm, gevolgd door desorptie met evenwicht op 60 cm, 95 cm en 143 cm waterkolom. Curve 2 gaat uit van een evenwichtstoestand bij 5 cm waterkolom, waarna desorptie plaats vindt met evenwicht op 19 cm en 30 cm. Vervolgens wordt water opgenomen met evenwicht op 21 cm, 11 cm en 5 cm. Curve 3 is een desorptie van 12 cm naar 57 cm, gevolgd door adsorptie naar evenwicht op 40 cm en 26 cm.

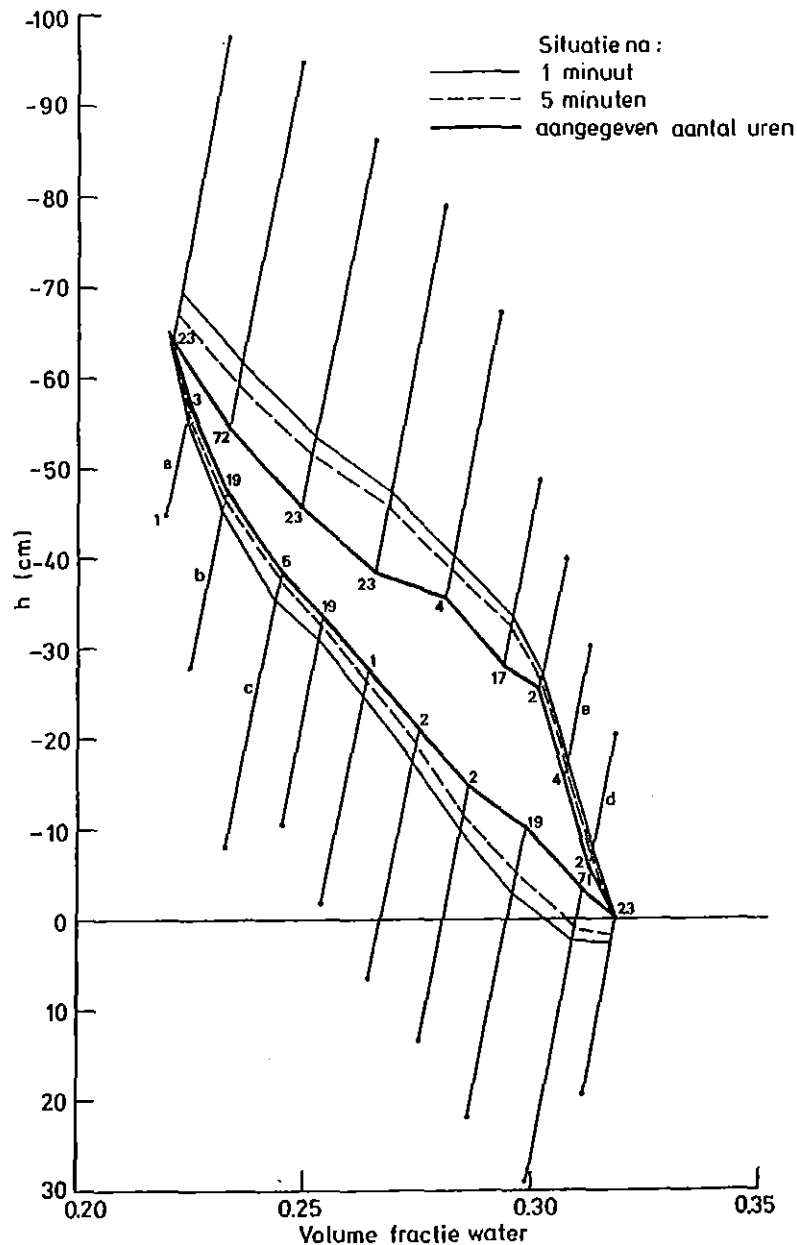


Fig. 5. Tijdsduur tot 'evenwicht' bij de bepaling van een waterretentiekaracteristiek (desorptie en adsorptie) van het zandmonster. Watergehalte veranderingen en onderdrukken zijn alleen gemeten in een capillaire buis

Desorptie. Er is uitgegaan van een evenwichtssituatie bij 65 cm waterkolom. Als de onderdruk wordt verlaagd naar 45 cm (punt 1), neemt het monster water op. De onderdruk neemt daarvoor toe en de samenhang tussen watergehalte en onderdruk verschuift langs lijn a. Deze samenhang is op drie punten aangegeven; na 1 minuut, na 5 minuten en na evenwicht. De onderdruk

is hierna verlaagd na 28 cm waarna het monster weer water opneemt. Onderdruk en watergehalte veranderen zoals lijn b aangeeft. Hier is eveneens de situatie na 1 minuut, na 5 minuten en bij evenwicht aangegeven. De tijdsduur tot evenwicht is in uren bij de respectievelijke punten gezet. Vervolgens wordt de onderdruk verlaagd naar 8 cm, waarna lijn c ontstaat. Op deze manier is stapsgewijs verder gewerkt tot een evenwicht wordt bereikt bij 0 cm onderdruk (watergehalte 31,9 vol.%). Adsorptie. Uitgaande van het laatst verkregen evenwicht is een onderdruk aangelegd van 20 cm. Het monster staat water af. De onderdruk neemt hierdoor af en het verband tussen watergehalte en onderdruk beweegt zich langs lijn d. Ook nu is de situatie na 1 minuut, na 5 minuten en bij evenwicht afgebeeld. De onderdruk is vervolgens op 30 cm gebracht en wordt het verband tussen watergehalte en onderdruk weergegeven door lijn e. Totaal is in 9 stappen het watergehalte van 31,9 vol.% afgenomen naar 22,1 vol.% en de onderdruk verhoogd van 0 cm naar 64 cm waterkolom. Door zowel bij adsorptie als bij desorptie de situaties na 1 minuut, na 5 minuten en bij 'evenwicht' met elkaar te verbinden, wordt een beeld gegeven van de invloed van de tijd op het ontstaan van de waterretentieken.

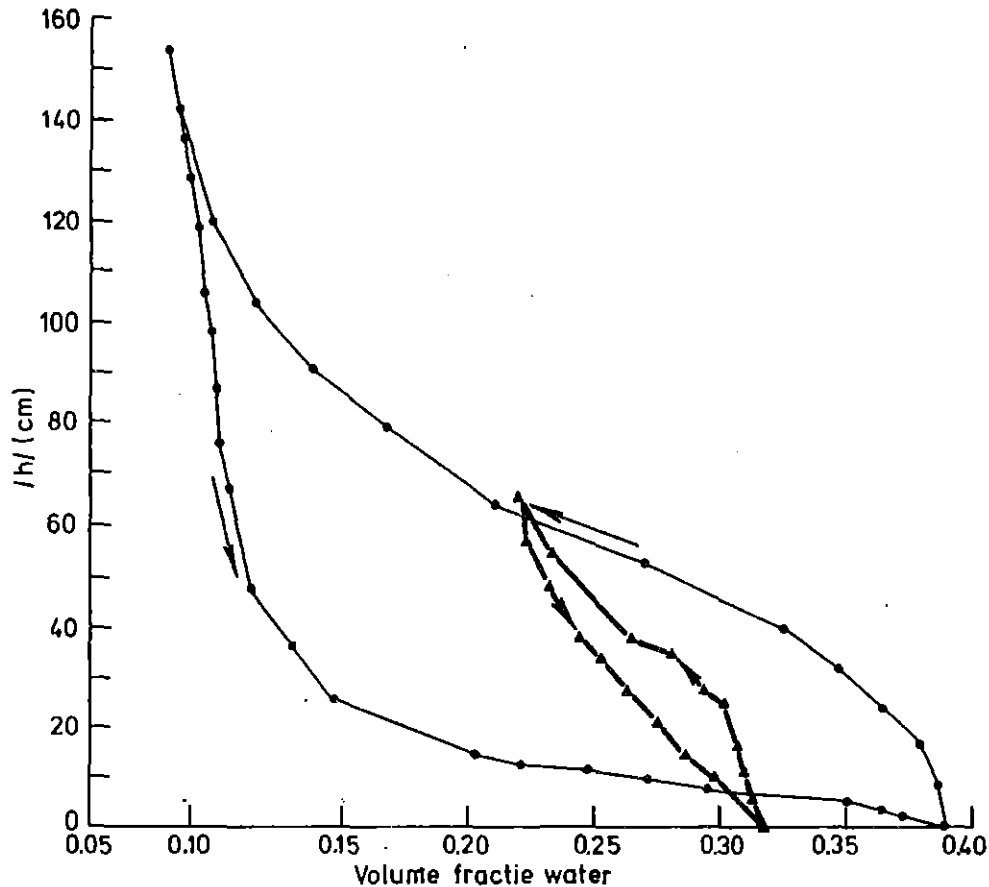


Fig. 6. De waterretentiekarakteristieken van figuur 5 ingepast in figuur 2 (dunne lijnen)

#### 4. DISCUSSIE

Waterretentiekarakteristieken zijn met de beschreven methode in het traject van 0 tot 150 cm onderdruk op een eenvoudige en snelle manier te bepalen. Door filters te gebruiken met een kleinere poriëndiameter zullen metingen kunnen worden gedaan tot hogere onderdrukken. Met een gesinterd glasfilter G5 bijvoorbeeld kan gemeten worden tot een onderdruk van circa 250 cm.

Er kan heel gevoelig worden gemeten als in een capillair wordt afgelezen. In tegenstelling tot de methoden met gefixeerde onderdruk (insteltijd tot evenwicht van enkele maanden) kan in 1 dag evenwicht worden bereikt tussen watergehalte van het grondmonster en de onderdruk.

De beschreven methode is daarom zeer geschikt om zowel desorptie- als adsorptiecurven te bepalen. De methode kan een belangrijke hulp zijn voor de bestudering van het hysteresis-verschijnsel.

Omdat temperatuurschommelingen grote invloed hebben op de nauwkeurigheid van de bepaling, zal een bepaling alleen goed kunnen worden uitgevoerd als de temperatuur constant is.

Het waterniveau en de aangelegde onderdruk kunnen elektronisch worden gemeten, waardoor de bepaling zich goed leent voor automatisering.

De stapgrootte bij de bepaling is van invloed op het verloop van de curve. Het lijkt raadzaam om daarom de stapgrootte vrij klein te houden (bv. 10 cm), om de verkregen karakteristieken te kunnen vergelijken met resultaten verkregen onder veldomstandigheden.

Het onderzoek zal worden voortgezet aan niet verstoorde grondmonsters in een goed geconditioneerde omgeving.

#### LITERATUUR

- BAKER, F.G., P.L.M. VENEMAN and J. BOUMA. Limitations of the instantaneous profile method for field measurements of unsaturated hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38, 1974, blz. 885-888.
- BOHEEMEN, P.J.M. VAN and H. HUMBERT. Sprinkling of grassland. II. Fundamentals of soil water flow at the experimental field. Nota 1540. Wageningen, ICW, 1984, 50 pp.
- STAKMAN, W.P., G.A. VALK and G.G. VAN DER HARST. Determination of soil moisture retention curves I. Sand-box apparatus (3rd revised edition). Wageningen, ICW, 1969, 19 pp.
- SU, C. and R.H. BROOKS. Water retention measurements for soils. Journal of the Irrigation and Drainage Division, June 1980, pp. 105-112.
- VEERMAN, G.J. Waterverlies en drukverlies uit kunststofslangen. Wageningen, ICW, 1987, (in voorbereiding).