

NN31545.1658



nota

instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, wageningen

IJKING VAN EEN CAPACITIEVE BODEMVOCHTMETER

dr. J.M. Halbertsma

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 onderzoek nog niet is afgesloten.

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

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS



0000 0125 4198

13 DEC 1985

ISN 237400-02

## I N H O U D

	Blz.
SAMENVATTING	
1. INLEIDING	1
2. MATERIAAL EN METHODEN	3
3. RESULTATEN EN DISCUSSIE	5
REFERENTIES	9

## SAMENVATTING

Capacitieve opnemers voor de bepaling van het bodemvochtgehalte zijn in het fysisch laboratorium geijkt. De ijkings zijn verricht ten behoeve van het restwarmteproject, waarvoor bij het PAGV te Lelystad proefvelden zijn aangelegd. Dit project wordt uitgevoerd in een samenwerkingsverband tussen diverse instituten die de gewasreacties op bodemverwarming onderzoeken. Het gecombineerde water- en warmtetransport wordt door het ICW onderzocht.

De ijking is uitgevoerd voor 7 opnemers bij 22 verschillende vochtgehalten. Het verband tussen het vochtgehalte van de bodem en de aanwijzing van de bodemvochtmeter is in het algemeen niet lineair en niet dezelfde voor verschillende gronden.

Trefwoorden: bodemvochtgehalte - capacitieve meting - ijking in het laboratorium

## 1. INLEIDING

Rest- en afvalwarmte, dat met het koelwater vrijkomt bij vrijwel alle industriële activiteiten, wordt meestal via het oppervlaktewater geloosd. Een mogelijkheid om deze warmte nuttig te kunnen gebruiken wordt onderzocht in een proef bij het Proefstation voor Akkerbouw en Groenteteelt in de Volle Grond (PAGV) te Lelystad. Aan dit onderzoek nemen het CABO, het IB, het ICW, het IMAG, het Proefstation Boomkwekerij, het Proefstation Fruitteelt, het PAGV en de Vakgroep Natuur- en Weerkunde van de LH deel. Het aandeel van het ICW betreft het onderzoek naar het gecombineerde transport van water en warmte in de grond. De projectleiding berust bij het PAGV.

Voor de proef worden diverse gewassen op drie proefvelden, van elk 40 are, geteeld. Twee velden worden verwarmd met behulp van een ingegraven buizenstelsel, één veld wordt niet verwarmd. De temperatuur van het water in de buizen is in één veld constant 20°C en varieert in het andere verwarmde veld tussen 12°C in het voorjaar en 25°C in de zomer. Deze situaties simuleren respectievelijk het gebruik van rest- en afvalwarmte.

Verhoging van de bodemtemperatuur kan leiden tot de volgende positieve effecten met betrekking tot gewassen:

- verlenging van het teeltseizoen en verkorting van de teeltduur, dus verhoging van de produktie;
- versnelling van de kieming en de opkomst;
- verbetering van de kwaliteit;
- verbetering van de mogelijkheden tot planning van de groei door regelmatigere ontwikkeling van de gewassen.

Bovendien moet er met minder positieve effecten rekening worden gehouden zoals:

- een toename van de gewasverdamping;
- een versnelde afbraak van de organische stof in de bodem;
- een verandering in de ziektedruk op de gewassen.

Doel van het restwarmteproject is onder andere de bovenstaande effecten te kwantificeren en na te gaan in hoeverre de hoge investeringen voor de aanleg van het buizenstelsel rendabel gemaakt kunnen worden door de verwachte hogere opbrengsten van de gewassen.

De bodemtemperatuur wordt enerzijds bepaald door de resultante van het netto stralingsaanbod, de warmtestroom door de bodem, de energieonttrekking door verdamping, de energieuitwisseling tussen bodem en atmosfeer en de energieafgifte van het verwarmingssysteem en anderzijds door de fysische parameters van de bodem die de opslag en het transport van warmte bepalen. Deze parameters, zoals de warmtegeleidings- en de warmtevereffeningscoëfficiënt, zijn sterk afhankelijk van het vochtregime in de bodem. Kennis van het vochtgehalte in het gehele bodemprofiel is noodzakelijk voor de bestudering van het gecombineerde warmte- en watertransport.

Het vochtgehalte van de bodem wordt in deze proefvelden automatisch gemeten met behulp van capacitieve opnemers. De opnemers en de bijbehorende registratie-apparatuur zijn door de TFDL ontwikkeld (HILHORST, 1984; PLOEGAERT, 1983). Het meten van het bodemvochtgehalte met behulp van capacitieve sensoren werkt volgens het principe van het meten van de capaciteit van een condensator met grond als diëlektricum. De relatieve permittiviteit (of diëlektriciteitsconstante) van de bodemdeeltjes is klein (variërend van 4 tot 12) ten opzichte van die van water (80 bij 20°C). Vochtveranderingen van de bodem geven dus een relatief grote verandering van de relatieve permittiviteit en dus van de gemeten capaciteit. Dit principe is al vrij lang bekend en toegepast voor de meting van het vochtgehalte van de bodem (DE PLATER, 1955; KURAZ et al., 1970; SMITH-ROSE, 1934; TURSKI and MALICKI, 1974).

De registratie van het gemeten vochtgehalte vindt bij het voor het PAGV ontwikkelde systeem plaats door middel van een HP-85 computer. De meetgegevens worden opgeslagen op band en kunnen tegelijkertijd worden afgedrukt en afgelezen.

Het verband tussen het vochtgehalte van de bodem en de aanwijzing van de bodemvochtmeter is in het algemeen niet lineair en niet dezelfde voor verschillende gronden. Voor elke grondsoort dient dus een ijkcurve beschikbaar te zijn.

Deze nota beschrijft de ijking van de capacitieve bodemvochtmeter voor zeven grondmonsters in het fysisch laboratorium ten behoeve van het afvalwarmteproject.

## 2. MATERIAAL EN METHODEN

De ijking van de capacitieve bodemvochtmeter is uitgevoerd voor zeven niet verstoorde grondmonsters, die horizontaal op diepten tussen 5 en 150 cm onder het maaiveld zijn genomen (zie tabel 1). Voor het afvalwarmteproject is één plek in object C van het proefterrein van de PAGV bij Lelystad bemonsterd. De monsters zijn gestoken in PVC ringen met een lengte van 10 cm en een binnendiameter van 13 cm.

Tabel 1. Beschrijving van de zeven grondmonsters waarvan is gegeven: Positie onder het maaiveld, droog volumegewicht, volumetrisch vochtgehalte aan het begin en het einde van het experiment en een beknopte beschrijving. De monsterbeschrijving is in het veld door P. Nocolai gedaan. De bovenste afzettingen tot 30 cm diepte zijn vergraven, die daaronder sterk gelaagd. Beneden 45 cm beginnen de Almere afzettingen, waarbij de lagen beneden 100 cm nog gereduceerd zijn

nr	Monster diepte (cm)	Dicht- heid (kg/m <sup>3</sup> )	Vochttraject		Omschrijving
			start (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	eind (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	
1	5	1379	0,40	0,04	1/2 zand + 1/4 silt + 1/8 lutum, bouwvoor, Ym afzetting
2	15	1383	0,38	0,04	als 1, deels bouwvoor, Ym afzetting
3	30	1378	0,38	0,05	2/3 zand + 1/10 silt, gemengde Ym en Zu afzetting
4	45	1320	0,45	0,04	1/2 zand + 1/4 silt, gemengde Zu en Al afzetting
5	60	1321	0,49	0,05	2/3 zand + 1/5 silt + 1/10 lutum, Al afzetting
6	75	1324	0,48	0,04	als 5, iets meer zand + dunne lutum flensjes
7	150	1150	0,56	0,07	geheel gereduceerd, zeer fijn zand + lutum + sporen veen

Ym = IJsselmeer

Zu = Zuiderzee

Al = Almere

De grondmonsters zijn gedurende 2 dagen verzadigd en zijn daarna opgesteld in een geconditioneerde ruimte ( $T = 20^{\circ}\text{C}$ , rel. vochtigheid 50%). Twee capacitieve vochttopnemers zijn in de monsters geplaatst. Eén van de sensoren is verbonden met het meet- en registratiesysteem van de bodemvochtmeter. De andere sensor is aangesloten op een oscillator en meetbrug ter bepaling van de capaciteit en elektrische geleiding. Hiermee worden de eigenschappen van het meetsysteem gecontroleerd (HALBERTSMA en HILHORST, 1985). Bovendien is in het midden van elk monster een naald geplaatst ter bepaling van de warmtegeleidingscoëfficiënt (HALBERTSMA, 1985). De monsters kunnen aan de bovenzijde vrij verdampen. Afdekken van de monsters om een homogene vochtverdeling te krijgen heeft geen significante invloed op de aflezing van de capacitieve vochtmeter. Door weging wordt de gewichtsafname bepaald. Na afloop van de metingen wordt de grond uit de ringen verwijderd en gedurende 24 uur gedroogd bij  $105^{\circ}\text{C}$ , waarna het vochtgehalte op nul wordt gesteld. De grondmonsters worden gewogen en de vochtgehalten gedurende de metingen worden uit de gewichtsaftnamen berekend. De mogelijke fout in het zo bepaalde vochtgehalte is  $\pm 0,015 \text{ m}^3/\text{m}^3$ . De metingen zijn gedurende 1,5 maand twee of drie maal per week gedaan, daarna wekelijks. Na 82 dagen zijn de metingen beëindigd; bijna alle monsters hadden toen een vochtgehalte lager dan  $0,05 \text{ m}^3/\text{m}^3$ .

De bodemvochtmeter is zo afgeregeld dat een in de lucht gehouden capacitieve sensor een uitslag van 0,00 en een in water gehouden sensor een uitslag van  $1,00 \text{ m}^3/\text{m}^3$  geeft. Bij deze afregeling geeft de aflezing een ruwe indicatie van het volumetrisch vochtgehalte (fractie) van de bodem.

Bij elk van de uiteindelijk 22 verschillende gravimetrisch bepaalde vochtgehalten is de aanwijzing van de capacitieve vochtmeter afgelezen. Deze gegevens zijn in de PDP 11/23 laboratorium-computer gevoerd. Een verdere gegevensreductie werd verkregen door met behulp van multi-pele regressie analyse (regressie van de aanwijzing van de vochtmeter op het gravimetrisch bepaalde vochtgehalte) een tweede graadskromme door de gegevens te schatten (VAN DER GRINTEN en LENOIR, 1973; blz. 412-430). Hiervoor is programmatuur ontwikkeld waarbij gebruik is gemaakt van het SSP programmapakket (DEC, 1975). In fig. 1 zijn voorbeelden van twee series metingen gegeven.

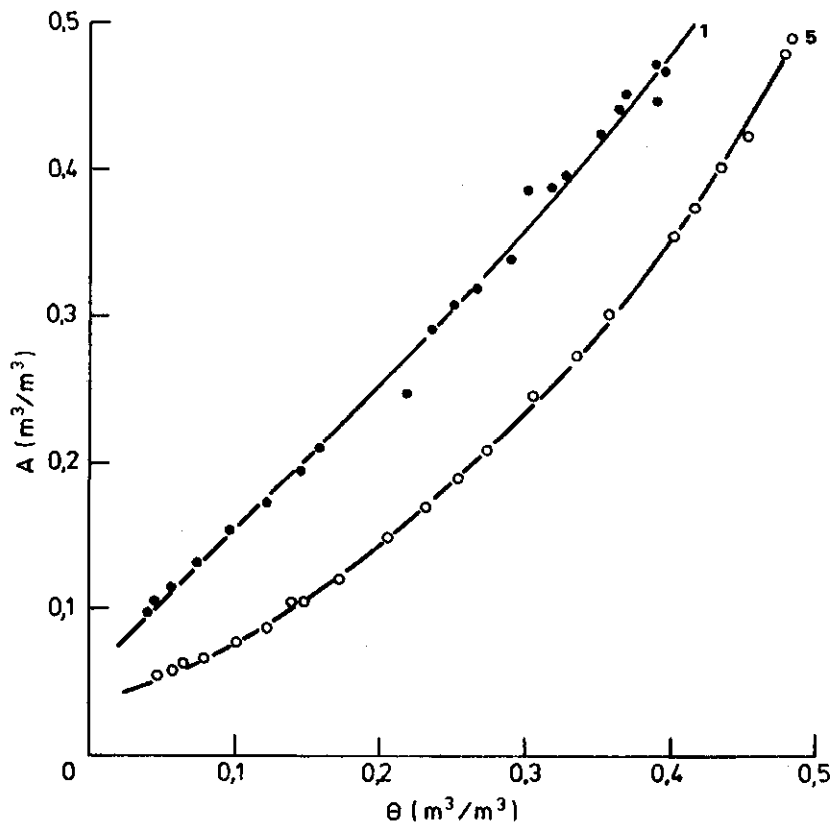


Fig. 1. Voorbeelden van twee series metingen. De aanwijzing  $A$  van de bodemvochtmeter (grondmonster 1 (rondjes) en 5 (kruisjes) van tabel 1) is als functie van het gravimetrisch bepaalde vochtgehalte uitgezet. De berekende tweede orde regressiecurven door de meetpunten zijn eveneens weergegeven

### 3. RESULTATEN EN DISCUSSIE

De capacatieve bodemvochtmeter is geijkt voor zeven grondmonsters van het proefveld van de PAGV te Lelystad. De aanwijzingen van de vochtmeter zijn afgelezen voor de grondmonsters bij 22 verschillende gravimetrisch bepaalde vochtgehalten. Het verband tussen de aflezing van de vochtmeter en het gravimetrisch bepaalde vochtgehalte is in het algemeen niet lineair. Dit verband kan goed worden benaderd door een tweede graadskromme:

$$A = a_0 + a_1\theta + a_2\theta^2 \quad (1)$$



met A de aanwijzing van de vochtmeter ( $m^3/m^3$ ),  $\theta$  het volumetrisch vochtgehalte ( $m^3/m^3$ ) en  $a_0$ ,  $a_1$  en  $a_2$  constanten.

De resultaten van deze benadering zijn gegeven in tabel 2 en fig. 2.

De standaard deviatie van de residuën  $\sigma_r$  is een maat voor de afwijkingen tussen de meetpunten en de met een tweede graadskromme benaderde ijkcurven.

Voor mogelijke afwijkingen kan een soort 99% betrouwbaarheidsgebied worden geconstrueerd. Dit betrouwbaarheidsgebied strekt zich uit van  $3 \sigma_r$  boven de ijkcurve tot  $3 \sigma_r$  daaronder. De kans dat een aflezing buiten dit gebied valt is kleiner dan 1%. Dit houdt voor de praktijk in dat bij een bepaalde aflezing van de vochtmeter het vochtgehalte van bijvoorbeeld monster 5 maximaal  $0,01 m^3/m^3$  afwijkt en van monster 7 maximaal  $0,07 m^3/m^3$ .

Bij een ideale bodemvochtmeter verloopt het verband tussen de aanwijzing A en het vochtgehalte  $\theta$  lineair volgens de vergelijking  $A = \theta$ . Uit fig. 2 blijkt dit bij de ijkcurven niet het geval te zijn. De ijkcurven voor de grondmonsters verschillen onderling en vertonen in het algemeen een niet lineair verband. De afwijkingen tussen een ijkcurve en het ideale gedrag ( $A=\theta$ ) kan oplopen tot een vochtgehalteverschil van  $0,1 m^3/m^3$ . De afwijkingen tussen de meetpunten en de ijkcurven daarintegen zijn in het algemeen klein.

Tabel 2. Tweede orde benadering van de relatie van de aanwijzing A van de capaciteieve bodemvochtmeter met het gravimetrisch bepaalde vochtgehalte (fractie). Voor de grondmonsters zijn de coëfficiënten van vergelijking (1) ( $A=a_0+a_1\theta+a_2\theta^2$ ) gegeven met de standaard deviatie van de residuën ( $\sigma_r$ ), welke een maat is voor de afwijking van de meetpunten tot de geschatte functie

Monster	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$\sigma_r$
1	0,06	0,88	0,37	0,007
2	0,07	0,67	0,65	0,010
3	0,07	0,22	2,13	0,010
4	0,01	1,02	0,53	0,017
5	0,04	0,24	1,35	0,003
6	0,04	0,52	0,81	0,004
7	0,02	1,03	0,12	0,023

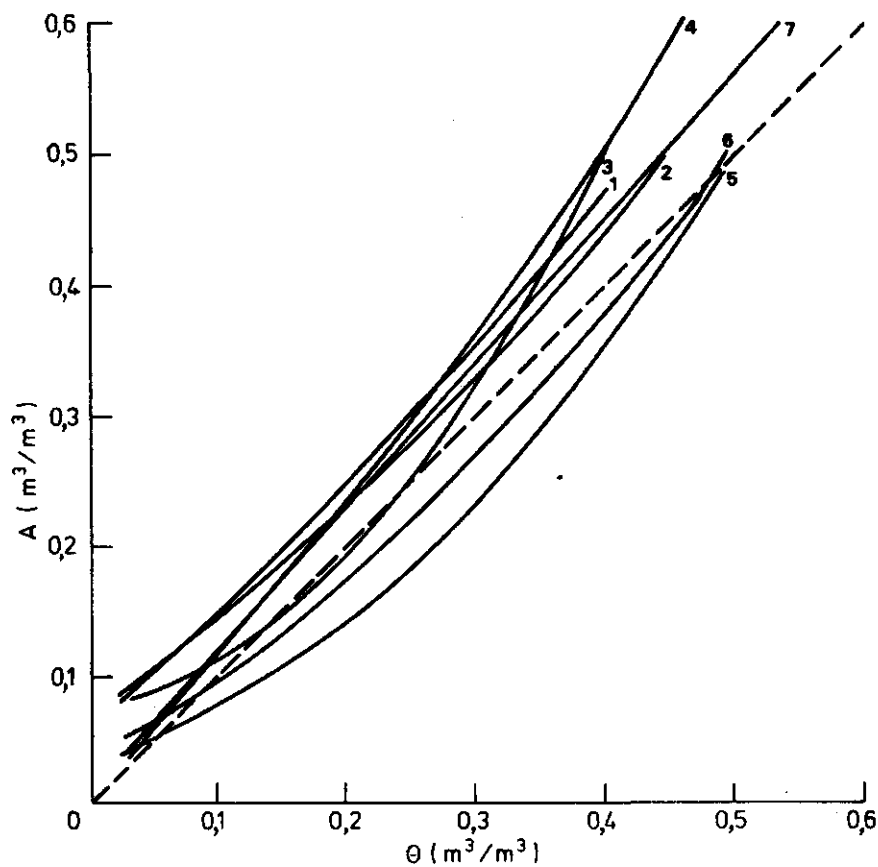


Fig. 2. De verbanden tussen de aanwijzing  $A$  van de capacitieve bodemvochtmeter en het gravimetrisch bepaalde vochtgehalte  $\theta$  van zeven grondmonsters. De nummering van de krommen komt overeen met de monsternummers uit de tabellen 1 en 2. In de figuur is de rechte  $y = x$  als een onderbroken lijn aangegeven

HALBERTSMA en HILHORST (1985) gaan in meer detail in op de eigenschappen van de capacitieve vochtmeter en de mogelijke oorzaken van het verschil in ligging tussen de zeven ijkcurven en de afwijkingen van het ideale gedrag.

Voor het terugrekenen van de veldmetingen is het gewenst het vochtgehalte  $\theta$  uit te drukken als functie van de aanwijzing  $A$  van de vochtmeter. Dit kan met de vergelijking:

$$\theta = \left( \frac{A}{a_2} + \frac{a_1^2}{4a_2^2} - \frac{a_0}{a_2} \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{a_1}{2a_2} \quad (2)$$

met  $a_0$ ,  $a_1$  en  $a_2$  de coëfficiënten uit vergelijking (1). Vergelijking (2) kan herschreven worden als:

$$\theta = (a_3 A + a_4)^{\frac{1}{2}} - a_5 \quad (3)$$

De coëfficiënten  $a_3$ ,  $a_4$  en  $a_5$  zijn voor de grondmonsters gegeven in tabel 3.

Conclusie: De in het laboratorium bepaalde ijkcurven kunnen met een tweede graadskromme worden beschreven. De afwijkingen in het vochtgehalte van de meetpunten tot de daaruit bepaalde ijkcurve variëren voor de verschillende grondmonsters van 0,01 tot 0,07 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. Toetsing in het veld - waarbij gebruik wordt gemaakt van de ijkcurven en een andere methode ter bepaling van het vochtgehalte - is noodzakelijk voor de bepaling van de haalbare nauwkeurigheid van de capacitieve bodemvochtmeter onder praktijkomstandigheden.

Tabel 3. Het berekende verband tussen het vochtgehalte  $\theta$  en de aanwijzing A van de capacitieve bodemvochtmeter volgens vergelijking (3) ( $\theta = (a_3 A + a_4)^{\frac{1}{2}} - a_5$ )

Monster	$a_3$	$a_4$	$a_5$
1	2,86	1,24	-1,19
2	1,54	0,16	-0,52
3	0,47	-0,03	-0,05
4	1,88	0,89	-0,96
5	0,74	-0,02	-0,09
6	1,23	0,05	-0,32
7	8,60	19,45	-4,43

## REFERENTIES

- DEC, 1975. RT-11 Scientific subroutines package. Reference manual No. DEC-11-ARSMA-A-D. Digital Equipment Corporation, Maynard, Massachusetts.
- GRINTEN, P.M.E.M. VAN DER en J.M.H. LENOIR, 1973. Statistische procesbeheersing. Prisma-technica 50. Het Spectrum, Utrecht
- HALBERTSMA, J.M., 1985. Meting van de warmtegeleidingscoëfficiënt met de niet stationaire naaldmethode. Nota 1615, ICW, Wageningen.
- en M.A. HILHORST, 1985. Eigenschappen van de capacitieve grondvochtmeter. Nota ICW (in voorbereiding).
- HILHORST, M.A., 1984. A sensor for the determination of the complex permittivity of materials as a measure for the moisture content. In: Sensors & actuators (ed. P. Bergveld) pp 79-84. Kluwer Technical Books, Deventer.
- KURAZ, V., M. KUTILEK and I. KASPAR, 1970. Resonance-capacitance soil moisture meter. Soil Sci. 110: 278-279.
- PLATER, C.V. DE, 1955. A portable capacitance-type soil moisture meter. Soil Sci. 80: 391-395.
- PLOEGAERT, P.G.F., 1983. Dutch Patent No. 173.099.
- SMITH-ROSE, R.L., 1934. Electrical measurements on soil with alternating currents. J. Inst. Elect. Engin. 75: 221-237.
- TURSKI, R. and M. MALICKI, 1974. A precise laboratory meter of a dielectric constant of soil of a different moisture. Polish J. Soil Sci. 7: 71-79.