

ENIGE ERVARINGEN BIJ HET METEN VAN
VOCHTGEHALTEN MET BEHULP VAN NEUTRONEN

INHOUD

I. INLEIDING	3
II. DE WAARNEMINGEN	3
III. DE MEETFOUT	5
IV. DE IJING	8
V. DE BEMONSTERINGSFOOT	10
VI. DE KWETSBAARHEID VAN DE APPARATUUR EN ZIJN VERVANGING	12
VII. SAMENVATTING	14
SUMMARY	16
LITERATUUR	19

I. INLEIDING

In 1959 werd door de Directie Waterhuishouding en Waterbeweging van de Rijks-waterstaat een begin gemaakt met de aanschaffing van de voor de nucleaire vochtmeting benodigde apparatuur. Het betrof hier de d/M-gauge, gefabriceerd door de Nuclear-Chicago Corporation.

Over de fysische achtergronden van het gebruik van deze apparatuur geven BOLT (1958) en vooral RIJTEMA (1959) waardevolle inlichtingen uit literatuurstudie. RIJTEMA geeft bovendien ook enige opmerkingen met betrekking tot de beperkingen van de bruikbaarheid van het apparaat en verder een vrij uitgebreide literatuuropgave.

De betreffende apparatuur kent twee typen sondes, één voor dieptemetingen en één voor oppervlaktemetingen. Met beide sondes werden in het najaar van 1959 in de Rottegatpolder de metingen begonnen. De Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek (13e verslag, 1960) doet over het gebruik van deze apparatuur verschillende mededelingen en geeft ijkingscurven voor beide sondes, geldig voor de kleigronden in de Rottegatpolder.

Buiten de Rottegatpolder werden met bedoelde apparatuur vochtmetingen verricht in verschillende grondtypen. Hierbij zijn gegevens verzameld die gebruikt zijn voor de ijking van de verschillende sondes.

Hieronder is een samenvatting gegeven van de resultaten van het onderzoek voor zover zij op dieptemetingen betrekking hebben. Over metingen met de oppervlaktesonde zijn nog te weinig gegevens beschikbaar.

II. DE WAARNEMINGEN

De metingen werden verricht in de volgende grondtypen:

1. humusarm duinzand,
2. hoge niet-lemige grove zandgrond met een humeuze bovengrond ter dikte van ca. 40 cm en een humusgehalte van 8 à 10%,
3. middelhoog zwak-lemig middelfijnzandig oud bouwland met een humeuze bovengrond ter dikte van 30 à 50 cm en een humusgehalte van 5 à 7%,
4. lage lemige zandgrond met een humeuze bovengrond ter dikte van ca. 30 cm en een humusgehalte van 10 à 12%,
5. stroomruggrond met 30 à 60% slib ter dikte van 100 à 120 cm op een zandondergrond.

De metingen werden grotendeels verricht in naadloze stalen buizen met een inwendige en uitwendige diameter van respectievelijk 40 en 44,5 mm en een lengte van 150 cm.

Op alle grondtypen werden twee buizen geplaatst. In de gronden genoemd onder 1 tot en met 4 op onderlinge afstand van enige meters, in de stroomruggrond op onderlinge afstand van ongeveer 50 m. In de grove zandgrond stond een buis in een beregend en een in een niet-beregend proefveldje.

Gemeten werd met intervallen van 10 of 20 cm vanaf een diepte van 20 cm onder maaiveld. De metingen bestonden uit tellingen van de impulsen ten gevolge van optredende botsingen over een tijdsduur van een minuut en werden in duplo uitgevoerd. Wanneer het verschil tussen de beide tellingen groter was dan 2% van de eerste telling, werd een derde telling verricht.

Voor de ijking van de meetapparatuur werden enige malen onmiddellijk na de metingen op dezelfde diepte vochtbemonsteringen verricht. Om praktische redenen werd dit niet altijd met de ringmonsterboor op korte afstand van de meetbuis gedaan, maar vaak met de gutsboor op iets grotere afstand er vandaan. De buis kon in zulke gevallen bij de volgende meting op dezelfde plaats weer gebruikt worden. Het nemen van monsters vlak bij de buis beïnvloedt namelijk latere metingen met de neutronen-sonde, aangezien een gat in de grond hetzelfde effect als een droge plek geeft. De gewichtsprocenten vocht in de gutsboormonsters werden in volume-procenten omgerekend met behulp van de volumegewichten van de ringmonsters die op dezelfde diepten werden genomen.

Verschillende malen werden na elkaar metingen met twee verschillende sondes in dezelfde buis op dezelfde diepte verricht met het doel dezelfde grondmonstergegevens voor een tweede ronde te kunnen gebruiken. Hieronder wordt gemakshalve onderscheid gemaakt tussen sonde A en sonde B, met een standaardtelling van respectievelijk 4900 en 5140 impulsen per minuut, een gemiddelde over de tijd waarover de ijkingsbemonsteringen werden verricht.

Het is uiteraard nadelig voor de ijking geweest dat geen van de gronden in de zomer van 1960 tot grote uitdroging is gekomen. In verband hiermede is het een voordeel geweest dat een van de buizen in een proefveld van het Instituut stond, waar de bodem tegen regen werd afgeschermd. Hier trad wel een belangrijke vochtonttrekking op.

Uit de literatuur blijkt dat er reden is om te verwachten dat de ijkingscurven voor de verschillende grondsoorten niet gelijk zullen zijn (zie o.a. VAN BAVEL, NIELSEN en DAVIDSON, 1961).

De resultaten voor de verschillende grondtypen zullen daarom afzonderlijk worden weergegeven. Voor het duinzand is dit niet mogelijk omdat er te weinig variatie in het vochtgehalte voorkwam.

Voor de ijking van de apparatuur dienen slechts de resultaten van de tellingen en de vochtbemonstering die op hetzelfde grondvolume betrekking hebben met elkaar gecorreleerd te worden. Aan deze eis is niet volledig te voldoen. De telling heeft namelijk betrekking op het vochtgehalte in een bolvormig volume waarin het statistisch gewicht van het vochtgehalte naar de buitenkant toe afneemt. De doorsnede van deze bol is echter niet bekend en is ook niet constant. Aangezien het bovendien praktische moeilijkheden oplevert om de laagsgewijze bemonstering zeer gedetailleerd uit te voeren zal het meestal niet mogelijk zijn om het bij de telling behorende grondvolume in de laagsgewijze bemonstering nauwkeurig terug te vinden. Een zo goed mogelijke benadering hiervan wordt gezocht door het gemiddelde van de tellingen op een diepte van, bijvoorbeeld, 40 cm onder maaiveld te vergelijken met het gemiddelde van de laagsgewijze bepaalde vochtgehalten op diepten van 30, 40 en 50 cm. Wanneer het vochtgehalte lineair met de diepte verandert zal dit gemiddelde overeenkomen met het gemiddelde vochtgehalte in een laag met dezelfde dikte als de doorsnee van de gemeten bol. In het andere geval ontstaan afwijkingen.

III. DE MEETFOUT

In de figuren 1 en 2 is voor grondtypen, die bij de ijking waren betrokken, afzonderlijk de correlatie weergegeven tussen het laagsgewijs met sonde A bepaalde aantal impulsen per minuut en het daarbij behorend vochtgehalte. Het bepaalde aantal impulsen is hierbij omgerekend op eenzelfde standaardtelling, namelijk van 4900 impulsen per minuut in het afschermdende omhulsel.

Voor alle figuren geldt dat bij het vaststellen van de samenhang tussen de uitgezette grootheden rekening moet worden gehouden met een variantie, die ten gevolge van waarnemingsfouten optreedt. Alleen dan, wanneer de waarnemingen op de ordinaat een zeer grote betrouwbaarheid bezitten vergeleken met die op de abscis, kan men de regressielijn van y op x berekenen, in het omgekeerde geval die van x op y .

Wanneer beide waarnemingen een zekere onbetrouwbaarheid bezaten dan werd de schatting van de samenhang verkregen door de regressielijn te berekenen volgens de methode van Lindley, die door DE JONGE (1958) in het kort wordt aangegeven.

Deze methode maakt gebruik van de verhouding tussen de varianties van de enkele waarnemingen van y en die van x . Deze factor is van betekenis voor de waarde van a en b in de regressievergelijking en levert een lijn op die tussen de regressielijn van y op x en die van x op y in ligt. Vooral wanneer de spreiding op de coördinaten gering is, zoals in de figuren 1 en 2, heeft deze methode veel waarde.

De variantie van de enkele waarneming van de coördinaten kan worden berekend uit de duplo-waarnemingen van de telling en de triplo's van de vochtbemonstering met de formule $S = \sqrt{\sum d^2/2n}$ waarin de teller de som is van de kwadraten van de verschillen tussen de herhalingen en de noemer het totale aantal waarnemingen. De grootheid S geeft de fout aan van de uitgezette grootheden.

Voor wat betreft de waarneming met de sonde A is in tabel 1 de uit duplo-waarnemingen berekende S van de verschillende gronden aangegeven,

TABEL 1. Analysefouten van sonde A voor de verschillende grondtypen

Grondtype	$S = \sqrt{\frac{d^2}{2n}}$	Analysefout	
		in procenten van de gemiddelde telling	als volume percentage vocht
2	52	2,49	0,25
3	85	1,9	0,57
4	75	1,25	0,50
5	117	1,76	0,65

Soil type	$S = \sqrt{\frac{d^2}{2n}}$	percentage of mean	percentage by volume
		count rate	of moisture
Error of analysis			

TABEL 1. Error of analysis of probe A for the different soil types

De analysefout valt voor de verschillende sondes niet gelijk uit. Dit blijkt uit de berekening van S uit de waarnemingen die met beide sondes in dezelfde buizen en op dezelfde diepte in de verschillende grondtypen werden verricht (tabel 2).

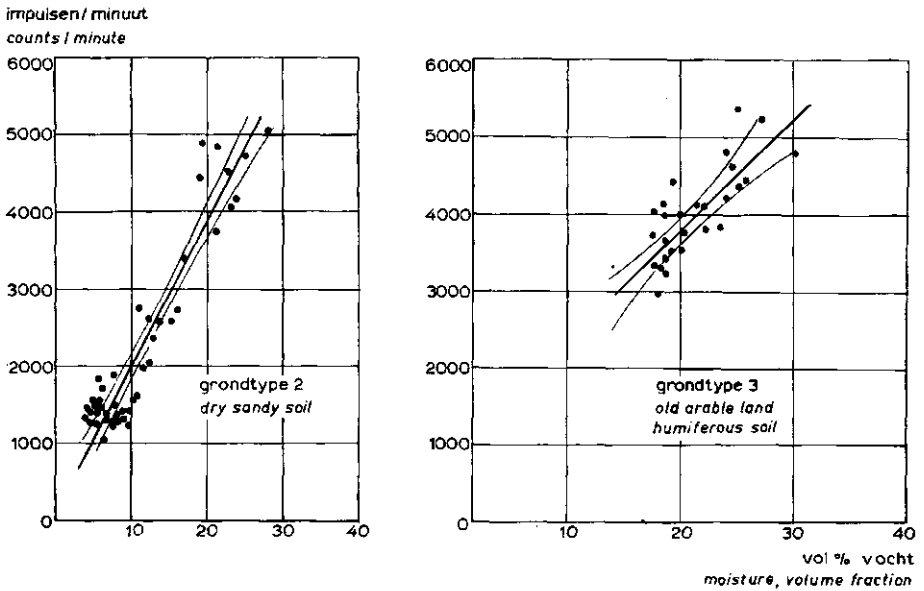


FIG. 1. Samenhang tussen de intensiteit van langzame neutronen (impulsen/minuut) en het volumepercentage vocht in twee grondtypen. De gebogen lijnen geven de begrenzing van de 95% betrouwbaarheidsintervallen van de beste schattingen aan
Count rate as dependent upon moisture content for a probe with standard count of 4900 cpm. Confidence limits for a probability of 95% have been drawn

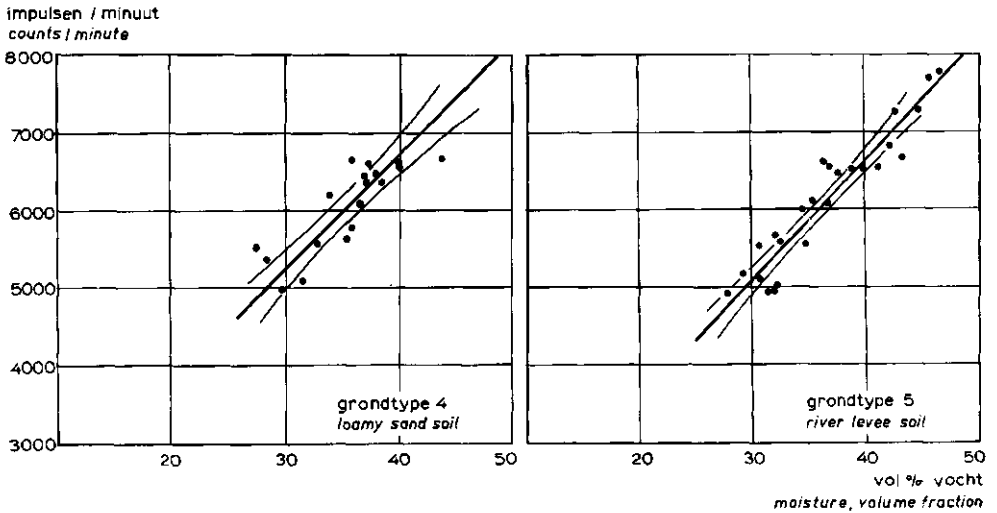


FIG. 2. Samenhang tussen de intensiteit van langzame neutronen (impulsen/minuut) en het volumepercentage vocht in twee grondtypen. De gebogen lijnen geven de begrenzing van de 95% betrouwbaarheidsintervallen van de beste schattingen aan
Count rate as dependent upon moisture content for a probe with standard count of 4900 cpm. Confidence limits for a probability of 95% have been drawn

TABEL 2. Vergelijking van de analysefouten van sonde A en sonde B bij metingen onder gelijke omstandigheden

Sonde	$S = \sqrt{\frac{d^2}{2n}}$	Analysefout in procenten van de gemiddelde telling
A	103	2,40
B	89	1,86

Probe	$S = \sqrt{\frac{d^2}{2n}}$	Error of analysis in per cent of meant count rate
-------	-----------------------------	---

TABLE 2. Comparison of the errors of analysis of probe A and probe B in measurements under the same circumstances

Uit deze cijfers blijkt dat de reproduceerbaarheid van de meting wat minder groot is dan in de literatuur wordt opgegeven. Daar vindt men namelijk regelmatig circa 1% genoteerd voor de statistische meetfout bij 10000 tellingen. Deze statistische fout is omgekeerd evenredig met het aantal tellingen en bedraagt, in procenten uitgedrukt $1/\sqrt{n}$ wanneer n het aantal tellingen aangeeft. Dit betekent dat voor de grondtypen in tabel 1 bij de gegeven gemiddelde uitslag, een fout in procenten van de gemiddelde telling behoort van respectievelijk 2,22; 1,5; 1,28 en 1,23%, in tabel 2 een fout van 1,54 respectievelijk 1,45%. De fout die bij de ijking werd gevonden, ligt dus als geheel iets hoger dan de statistische meetfout. Dit zal het gevolg zijn van het feit dat deze ijking onder veldcondities plaatsvond, waarbij een groter gebrek aan homogeniteit van de vochtverdeling bestond dan bij de ijkings op de bereide monsters waarvan in de literatuur de resultaten worden vermeld. Overigens is de meetfout, uitgedrukt in volumepercenten vocht, klein.

Wat betreft de vochtbemonstering, was het aantal genomen monsters per grondtype te klein om aan afzonderlijk berekende fouten grote betekenis toe te kennen. Voor de vier grondtypen gemiddeld, bedroeg de S voor het enkele monster 2%, dat is 7,9% van het gemiddeld waargenomen vochtgehalte.

Het grote verschil in aard van beide vergeleken vochtbepalingsmethoden komt duidelijk naar voren. Bij de vochtbemonstering in meervoud heeft men immers zowel met analysefouten als met een bemonsteringsfout te maken, aangezien men niet tweemaal hetzelfde monster kan nemen. De variatie in het vochtgehalte van plek tot plek komt dus in de fout van de enkele waarneming tot uiting. Met het apparaat voor nucleaire vochtmeting meet men steeds hetzelfde monster zodat alleen een bepalingfout aanwezig zal zijn.

IV. DE IJKING

Rekening houdende met de hierboven gegeven waarnemingsfouten van sonde A, is in de figuren 1 en 2 de regressielijn volgens LINDLEY bepaald. Voor de variantie van y in de figuren is daartoe aangenomen $1/\sqrt{2}$ maal de fout van de enkele waarneming, voor die van x , $1/\sqrt{9}$ maal de fout van de enkele waarneming; y is immers het gemiddelde van 2 waarnemingen, x echter van 9.

De gevonden lijnen zijn in de figuren 1 en 2 ingetekend en in figuur 3 bijeen gebracht (duinzand komt niet in deze figuren voor daar, zoals reeds vermeld, te weinig variatie in het vochtgehalte werd gevonden). Voor alle diagrammen geldt dat de groepen punten, die op de meting op 20 cm diepte betrekking hebben, ten opzichte van de groepen punten, die metingen op grotere diepte weergeven, geen afwijkende ligging heeft.

In de figuren 1 en 2 zijn eveneens de boven- en benedengrenzen van de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de beste schattingen aangegeven. De breedte van dit interval is nogal veranderlijk, voornamelijk in die gevallen waarin de spreiding van de coördinaten klein is. De kleinste breedte verschilt in de figuren echter niet veel. Hieruit zou kunnen volgen, dat wanneer men over voldoende ijkingswaarnemingen had beschikt, of wanneer de verschillende ijkingslijnen in feite benaderingen van één geldige ijkingslijn zijn, men uitgaande van de tellingen per minuut op deze ijkingslijn een beste schatting voor het vochtgehalte vindt, die in 95% van het aantal gevallen geen grotere fout zal hebben dan $1 \text{ à } 1\frac{1}{2}$ volume-procent.

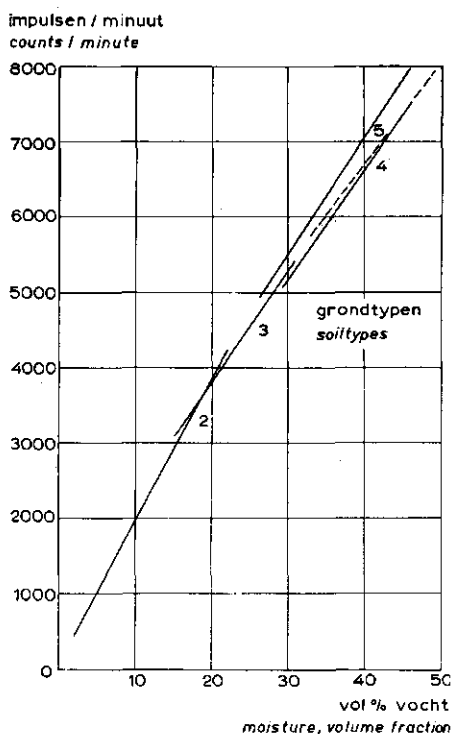


FIG. 3. Regressielijnen, berekend volgens Lindley, voor de samenhang tussen impulsen per minuut en volumepercenten vocht op vier verschillende grondtypen

Lindley's regression lines relating count rates and volume percentages of moisture in different soil types

----- Dezelfde samenhang van de kleigronden in de Rottegatpolder, vastgesteld door de Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek

----- Calibration curve for heavy clay soils, according to the Working Committee on Evapotranspiration

Het lijkt op grond van figuur 3 een voor de hand liggende conclusie dat voor zandgronden (2, 3 en 4) met één ijkingslijn kan worden volstaan. Deze lijn zou dan enigszins gebogen zijn, zodat bij lage vochtgehalten een gegeven verschil hierin door een groter aantal tellingen per minuut zou worden geregistreerd dan bij hoge vochtgehalten. Lijn 5, die voor de kleigrond wordt gevonden, wijkt af van die van de zandgronden. Bij eenzelfde percentage bodemvocht ligt de telling iets hoger. De helling van de lijn wijkt vrijwel niets af. Het bestaan van een verschil tussen metingen op zand- en op kleigronden is in overeenstemming met opvattingen die men in de literatuur tegenkomt.

De in figuur 3 gegeven lijnen vallen niet samen met de ijkingscurve die voor de kleigronden in de Rottegatpolder in Groningen door de Werkcommissie voor Verdampingsonderzoek wordt gegeven. De helling hiervan is kleiner. Wanneer men echter de resultaten van één van de vier ijkingsbemonsteringen, die hiervoor afzonderlijk in vijf verschillende buizen werden verricht, bekijkt (bijlage 5.5.22, Werkcommissie, 1960), dan valt de heterogeniteit van deze groep waarnemingen op. Voor de afzonderlijke buizen zouden vermoedelijk onderling afwijkende ijkingslijnen kunnen worden gegeven.

Het is van belang om te weten, wanneer aan de verschillende ligging van twee ijkingslijnen, gevonden uit een beperkt aantal waarnemingen, een wezenlijke betekenis moet

impulsen / min van sonde B
standaardtelling: 5140 cpm
counts / minute, probe B
Standard count: 5140 cpm

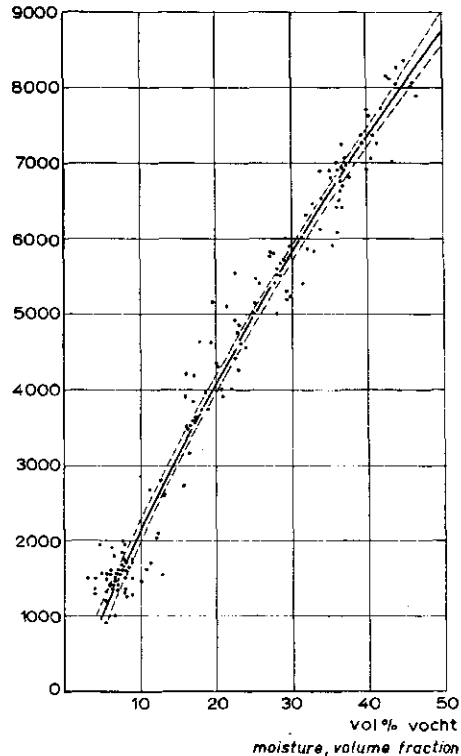


FIG. 4. Gemeenschappelijke ijkingslijn voor alle genoemde grondtypen, geldig voor een dieptesonde met een standaardtelling van 5140 impulsen per minuut. De onderbroken lijnen geven de begrenzing van de 95% betrouwbaarheidsintervallen van de beste schatting aan

Calibration curve for the mentioned different soil types. Confidence limits for a probability of 95% are drawn

worden toegekend. Om dit vast te stellen kan de toets van Student worden toegepast op de constanten a en b in de regressievergelijkingen. Voor de lijnen in figuur 2, die onderling het sterkst verschillen (zie fig. 3, lijn 4 en 5), zijn de nodige berekeningen uitgevoerd.

Het blijkt dat voor deze gronden de beste schattingen vallen binnen elkaars 95% betrouwbaarheidsintervallen. De verschillen tussen de lijnen zijn daarom niet significant. Dat voor de beide grondtypen eenzelfde ijkingslijn zou gelden is hiermee echter niet aangetoond. Hiervoor zou een veel groter aantal waarnemingen beschikbaar moeten zijn. Zolang dit niet het geval is, heeft het zin om uit alle beschikbare gegevens één ijkingslijn te berekenen die voorlopig kan worden beschouwd als de beste ijkingslijn die voor alle grondtypen gegeven kan worden.

Op grond van waarnemingen in buizen met afwijkende binnen- en/of buitendiameter moet het voorbehoud worden gemaakt dat deze ijkingslijn wellicht alleen geldt voor buizen met een binnen- en buitendiameter van respectievelijk 40 en 44,5 mm.

Voor het berekenen van deze lijn zijn de tellingen van sonde A omgerekend op het niveau van sonde B met behulp van de factor die hiervoor werd vastgesteld. In VI wordt deze omrekening besproken. De omgerekende gegevens van sonde A en die van sonde B tezamen beslaan nu een zodanig groot traject op de beide coördinaten dat volstaan is met het doorrekenen van de functie:

$$y = a + b_1x + b_2x^2$$

Het toepassen van de F-toets van FISHER toont aan dat de hypothese, dat de regressiecoëfficiënten in deze vergelijking de waarde nul hebben, moet worden verworpen met een overschrijdingskans voor de berekende waarde van de regressiecoëfficiënten van minder dan 0,1%. De functie is dus duidelijk kromlijniig.

In figuur 4 is de berekende regressielijn weergegeven voor sonde B met een standaardtelling van 5140 impulsen per minuut. De regressiecoëfficiënten b_1 en b_2 bedragen respectievelijk 0,200 en 3,846 met een standaardafwijking van respectievelijk $\pm 0,042$ en $\pm 0,337$. De begrenzing van de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van de beste schattingen is aangegeven. De breedte van dit interval is klein en varieert binnen de gemeten uitersten tussen 1,14 en 0,46 volumepercenten vocht.

De multiële correlatie-coëfficiënt is berekend op 0,986 zodat 97% van de spreiding van het vochtgehalte is verklaard.

V. DE BEMONSTERINGSFOUT

Eerder werd er al op gewezen dat bij herhaalde nucleaire vochtmeting in dezelfde buis alleen de meetfout van het apparaat tot uiting komt. Deze fout is vergelijkbaar met de analyse-fout bij de vochtbemonstering, want het is de fout die gemaakt wordt bij de waarnemingen aan hetzelfde monster. Omdat herhaling aan hetzelfde monster bij nucleaire vochtmeting mogelijk is, is de totale fout van de enkele waarnemingen met het neutronen-apparaat kleiner dan bij vochtbemonstering met ringen het geval zal zijn. Hierbij introduceert men immers het verschil in vochtgehalte, dat tussen vlakbij elkaar gelegen monsterplekken kan bestaan, in de fout van de enkele waarnemingen en vindt de som van een analysefout en een bemonsteringsfout.

Voor de waardering van de apparatuur voor nucleaire vochtmeting, behoeft de kleine

analysefout niet van doorslaggevende betekenis te zijn. De waarnemingen in een bepaalde buis hebben immers betrekking op een zeer plaatselijke situatie en zijn daarom van beperkte betekenis. Meestal zal men gegevens verzamelen over een groter areaal, bijvoorbeeld een proefveld. Men zal dan ook te maken krijgen met een horizontale variatie in het vochtgehalte terwijl een gemiddelde wordt gevraagd. Ook bij nucleaire vochtmeting zal men dan met een bemonsteringsfout te maken krijgen omdat dit gemiddelde berekend moet worden uit waarnemingen in meer dan één buis. Als deze bemonsteringsfout groot blijkt te zijn, wordt de betekenis van de kleine analysefout van het apparaat geringer.

Doordat in een aantal gevallen een tweetal buizen in hetzelfde grondtype was opgesteld, was het mogelijk om van de grootte van de bemonsteringsfout van het apparaat een indruk te krijgen. Daartoe werden de aantallen impulsen per minuut, die op dezelfde diepte in de duplobuizen werden gemeten, met elkaar vergeleken. Wanneer tussen de metingen in deze buizen een regelmatig verschil bestond, is daarmee rekening gehouden. Laat men dit na, dan komt een werkelijk verschil in vochthoudend vermogen van de grond als meet- en bemonsteringsfout tot uiting.

Wanneer de totale fout uit vergelijkbare waarnemingen is afgeleid kan de bemonsteringsfout berekend worden, daar de analysefout van de enkele waarneming reeds bekend is. Deze krijgt door de factor $\sqrt{2}/\sqrt{2}$, hetzelfde gewicht als de totale fout, daar deze laatste gevonden is uit het verschil van twee laaggemiddelden die berekend zijn uit twee enkele waarnemingen. De bemonsteringsfout is de wortel uit het verschil tussen de vierkantswortels van de analysefout (gegeven in III) en van de totale fout. Voor het gebruikte apparaat vindt men de cijfers in tabel 3.

TABEL 3. Fouten in de vochtbepaling met een neutronenapparaat, in procenten van de gemiddelde telling

Grondtype	Totale fout	In analyse	In bemonstering
3	7,5	1,9	7
4	6,5	1,25	6,3
5a	7,3	1,76	7,1
5b	5,9	1,76	5,6

<i>Soil type</i>	<i>Total error</i>	<i>In analysis</i>	<i>In sampling</i>
------------------	--------------------	--------------------	--------------------

TABEL 3. *Errors in the moisture determination with a neutron apparatus, in per cent of mean count rate*

Het is van belang na te gaan hoe deze cijfers uitvallen voor de vochtbemonstering. Daartoe werden vlak om de duplo-buizen monsters in drievoud gestoken. Vergelijking van de overeenkomstige laaggemiddelden levert tevens de som van de analyse- en bemonsteringsfout op. Dit totaal wordt gevonden in het verschil van twee laaggemiddelden, die berekend zijn uit drie vochtbepalingen. De analysefout van het enkele monster krijgt dan door de factor $\sqrt{2}/\sqrt{3}$ hetzelfde gewicht als de totale fout. De bemonsteringsfout kan echter alleen berekend worden als men deze analysefout kent.

Om aan deze eis zo goed mogelijk te voldoen werd van gronden met verschillende vochtgehalte een hoeveelheid van 10 liter grondig gemengd, waarna per object 10 monsters werden genomen. Uit de vochtgehalten van deze monsters kan bij scherpe benadering de analysefout van de vochtbepaling berekend worden. Hij bedroeg voor

het traject van 6 tot 40 gewichtsprocenten vocht, 2,25% van het gemiddeld vochtgehalte.

De fouten in de vochtbemonstering vindt men in tabel 4.

TABEL 4. Fout in de vochtbepaling door vochtbemonstering, in procenten van het gemiddelde vochtgehalte

Grondtype	Totale fout	In analyse	In bemonstering
1 t/m 5 / 1 to 5 incl.	11,3	2,25	11,1
<i>Soil type</i>	<i>Total error</i>	<i>In analysis</i>	<i>In sampling</i>

TABLE 4. Error in the moisture determination by soil sampling, in per cent of the mean moisture content

Het blijkt dat de analysefout van de vochtbemonstering zich verhoudt tot die van de meetfout van het apparaat voor nucleaire vochtmetingen als 1,45:1.

De verschillende cijfers vallen voor de getoetste apparatuur dus aanzienlijk gunstiger uit dan voor de gewone vochtbemonstering. Men mag hierin het effect zien van het verschil in volume grond, dat door de beide methodes in het onderzoek wordt betrokken.

VI. DE KWETSBAARHEID VAN DE APPARATUUR EN ZIJN VERVANGING

De ervaring die met het ijken van de apparatuur werd opgedaan, heeft geleerd, dat de huidig bestaande kwetsbaarheid (voorlopig?) een groot nadeel moet worden geacht. Zolang voldoende vakkennis of technische uitrusting voor het verrichten van reparaties of het vervangen van onderdelen ontbreekt, is het continue verloop van een lange serie waarnemingen niet gegarandeerd. Defecten aan de apparatuur blijken langdurige onderbrekingen, op willekeurige tijden, tengevolge te kunnen hebben. Een ander nadeel is, dat vervangen van de sonde een nieuwe ijking noodzakelijk maakt.

Door de sondes, die in ons land beschikbaar zijn of zullen komen, op elkaar te ijken zou slechts één ervan op het vochtgehalte geijkt behoeven te worden en gecontroleerd moeten blijven. Bij defecten aan een sonde zou dan de serie metingen met een van de andere sondes kunnen worden voortgezet, waardoor de continuïteit van de metingen gegarandeerd zou worden. De mogelijkheid hiertoe hangt er echter van af, in hoeverre de metingen van een bepaalde sonde gereproduceerd kunnen worden door een andere.

De vervangbaarheid van de sondes kan beoordeeld worden door na elkaar in dezelfde buizen en op dezelfde diepten met twee sondes metingen in tweevoud te doen en de hieruit voor de afzonderlijke sondes berekende laaggemiddelden met elkaar te vergelijken. In figuur 5 zijn een aantal vergelijkbare meetresultaten tegen elkaar uitgezet. De lijn die de samenhang tussen de metingen van beide sondes aangeeft kan nauwkeurig worden berekend. Bij deze berekeningen zijn twee gevallen waarin een zeer grote en onverklaarbare afwijking aanwezig was, niet meegerekend. Vermoedelijk zijn deze ontstaan door foutieve aflezing of verschrijving. Aangenomen is dat de lijn door de oorsprong gaat.

impulsen / min van sonde A
 standaardtelling: 4900 cpm
 counts / minute, probe A
 Standard count: 4900 cpm

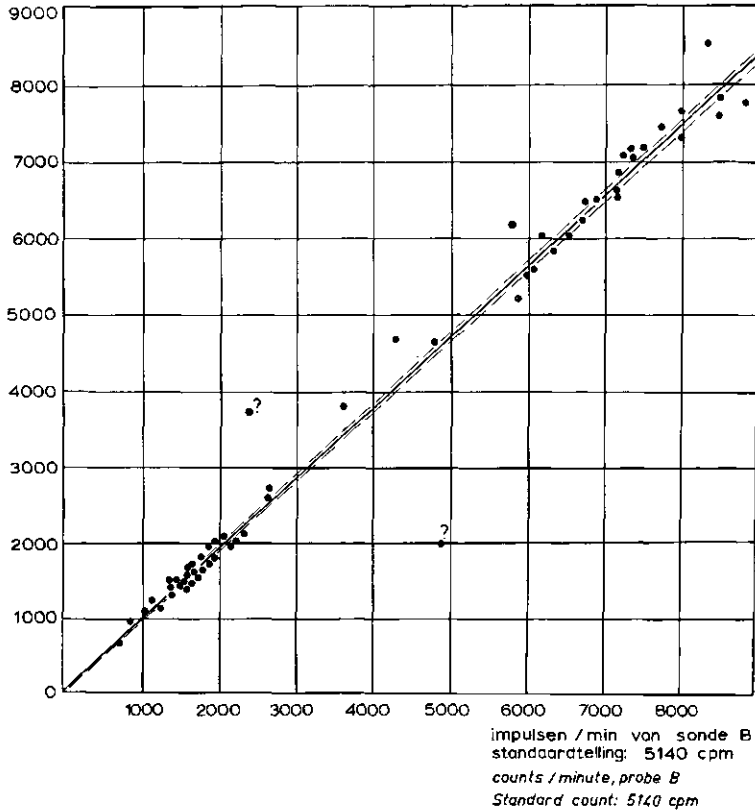


FIG. 5. Samenhang tussen de resultaten van metingen die met verschillende sondes op gelijke diepte in dezelfde buizen zijn gedaan

- ? = zeer grote en onverklaarbare afwijkingen, vermoedelijk ontstaan door foutieve aflezing of verschrijving
 - begrenzing van de 95% betrouwbaarheidsintervallen van de beste schattingen
- Equivalence of simultaneous count rates with different probes at the same depth in the same access tubes*
- ? = outlying values, supposed to be faulty readings or notations
 - confidence limits with a probability of 95%

Er blijkt tussen de metingen van beide sondes een regelmatig verschil te bestaan. Dit was te verwachten daar de standaardmetingen van beide sondes niet gelijk waren. Bovendien vertonen de afzonderlijk vergelijkbare gemiddelden echter nog toevallige verschillen.

De beste schatting voor de factor, waarmee het aantal impulsen per minuut dat met sonde B wordt geregistreerd, kan worden omgerekend in het aantal dat bij gebruik van sonde A zou zijn geteld, bedraagt 0,9498 met een standaardafwijking van 0,00425.

Dit betekent dat in slechts 5% van het aantal gevallen, de beste schatting van de omgekeerde telling meer dan 8,5 per 1000 impulsen per minuut van de werkelijkheid zal afwijken.

Wanneer men het regelmatig verschil dat tussen de metingen met beide sondes bestaat, met de gevonden omrekeningsfactor verrekent dan kan uit de resterende toevallige verschillen tussen de twee laaggemiddelden (die berekend werden uit de twee enkele waarnemingen met de verschillende sondes) een vervangingsfout berekend worden. Deze zal groter zijn dan de meetfout van de enkele waarneming, daar het niet mogelijk zal zijn om behalve de meetfout alle toevallige fouten uit de vergelijking te weren.

Uit tabel 5 blijkt dat de vervangingsfout toeneemt naarmate het aantal impulsen per minuut lager ligt.

TABEL 5. Fouten in de telling bij vervanging van sonde B door sonde A, in procenten van gemiddelde telling van sonde B

Gemiddelde telling	Vervangingsfout	Analysefout	Restfout
1871	8,6	2,9	8,1
2645	6,0	2,2	5,6
5598	4,2	1,27	4,0
6362	4,6	1,2	4,4
6520	1,6	1,05	1,2

<i>Mean count rate</i>	<i>Error of substitution</i>	<i>Error of analysis</i>	<i>Remaining error</i>
------------------------	------------------------------	--------------------------	------------------------

TABEL 5. *Errors in the count rate when substitution, probe A for probe B, in per cent of mean rate with probe B*

De vervangingsfout is groter dan de analysefout, die in dit geval is berekend als het gemiddelde van de fouten van de enkele waarneming van de beide sondes. Door de factor $\sqrt{2}/\sqrt{2}$ behoudt dit gemiddelde hetzelfde gewicht als de vervangingsfout. Het gedeelte van de vervangingsfout dat niet door de analysefout verklaard wordt, is in tabel 5 de restfout genoemd. Dat de vervangingsfout en de restfout toenemen naarmate de grond droger is zou erop wijzen dat het vocht hierin bij uitdroging onregelmatiger verdeeld wordt, waardoor het botsen van neutronen in sterkere mate een toevalsverschijnsel is.

VII. SAMENVATTING

Uit de meetresultaten met de apparatuur voor nucleaire vochtmeting van de Nuclear-Chicago Corporation op vijf verschillende grondtypen, bleek dat de nauwkeurigheid van deze bepalingmethode bij gebruik in het veld minder groot is dan wanneer dezelfde bepaling in het laboratorium wordt uitgevoerd in monsters met gehomogeniseerde vochtverdeling. Het gebrek aan homogeniteit van de grond in situ geeft minder grote reproduceerbaarheid van de meting dan speciaal bereide standaardmonsters.

De nauwkeurigheid van de methode blijkt echter toch groter te zijn dan die van vochtbemonstering. Zowel de fout van de vochtbepaling aan één monster als de bemonsteringsfout, is bij vochtbemonstering groter dan bij gebruik van het neutronen-apparaat. Hierin is dan nog niet tot uiting gebracht dat het door vochtbemonstering niet mogelijk is om vlak boven of onder het grondwatervlak het vochtgehalte goed te bepalen, aangezien bij het nemen van het monster al verlies van water optreedt.

Met een neutronen-apparaat kan men onder het grondwatervlak even goed meten als erboven, wat bijvoorbeeld voor het bepalen van poriënvolumes van betekenis kan zijn.

Er blijkt geen reden te zijn om als vaststaand aan te nemen dat, althans voor zand- en kleigronden, verschillende ijkinglijnen gelden. Het is mogelijk een ijkinglijn te berekenen die een zeer goede aanpassing vertoont aan de waarnemingen op zeer verschillende grondtypen.

Wanneer men verder de bekende voordelen zoals de snelheid van de bepaling en het belang van het minimum aan beschadiging van gewas en grond in aanmerking neemt, wordt de nucleaire vochtmeting onder bepaalde voorwaarden een belangrijk nieuw hulpmiddel. De voorwaarde is dat men wel langdurig op dezelfde plaats de veranderingen in de vochttoestand van de grond wil kennen, waarbij echter veel details in de verticale variatie op een gegeven tijdstip niet van groot belang zijn.

De mogelijkheid om series waarnemingen op hetzelfde object, met verschillende sondes gemeten, in elkaar om te rekenen, blijkt te bestaan. Men moet dan echter met een wat minder goede vergelijkbaarheid van de resultaten van de verschillende metingen rekening houden en zal dus alleen wanneer dat onvermijdelijk is tot een dergelijke afwisseling of vervanging overgaan. Dit geldt dringender naarmate het aantal tellingen van het apparaat waarop de vochtbepaling berust, kleiner is. Bij droge gronden zal men de duur van de meting dus moeten verlengen.

Het zou aanbeveling verdienen wanneer in ons land verscheidene exemplaren van deze apparatuur beschikbaar waren, waarvan er steeds één goed geijkt zou moeten zijn. Een snelle toetsing van een herstelde meter zou dan weinig moeite kosten.

Een afspraak tot samenwerking zou met weinig moeite zijn tot stand te brengen. Deze zou zowel de ijking als de routine-meting moeten betreffen. Het bezwaar van het uitvallen van één van de sondes zou dan snel kunnen worden opgevangen. Een dergelijke samenwerking zou de bruikbaarheid van de hier te lande aanwezige apparatuur sterk doen toenemen.

SUMMARY

THE FIELD CALIBRATION OF NEUTRON-PROBES

In the course of the last two years, data have been collected for the calibration of neutron-probes for measuring the moisture content of soils. The neutron-probes used, were the centered-source type designated P-19 and manufactured by the Nuclear-Chicago Corporation. The apparatus is the property of the Section Water Management and Water Movement of the Ministry of Transport and Public Works. Calibrating was done by the Institute for Land and Water Management Research of the Ministry of Agriculture.

The calibration was carried out in the following types of soil:

1. dune sand
2. dry sandy soil
3. old arable land; humiferous soil
4. loamy sand
5. river levee soil

Neutron count rates were determined by counting two times during one minute in steel access tubes, 1.575 inches ID and 1.752 OD. When the difference between the first and the second reading was over 2% of the first reading, a third reading was made.

In all soil types two access tubes several feet apart were used. Only in soil type 5, the distance between the tubes was approximately 150 feet.

For calibration purposes, soil sampling with an auger was carried out several times immediately after determining the neutron count rates. The volume fraction of water in subsequent layers of the soil was determined, using cylindrical samples of a 100 cc volume. Near the access tube, four samples were taken in each four inch layer and the soil was oven-dried to 105°C.

Some of the countings with the probe called A, were repeated by using an other probe of the same type, called probe B. The standard count for the probes in the paraffin and lead shield is 4900 counts per minute for probe A and 5140 for probe B.

For calibration purposes the count rates have to be compared with results of soil sampling in the same volume of soil which is involved in the measurement with the neutron probes. For practical reasons count rates were correlated with the mean moisture content of the layer at the depth of counting and that of the layers four inches above and below it.

Figures 1 and 2 show the relation for probe A between count rates and moisture contents according to soil sampling for the mentioned soil types with the exception of soil type 1. In dune sand, differences were too small to be of any significance for constructing a calibration curve. Regression lines in figures 1 and 2 have been determined with LINDLEY'S formula because, when the range on the coordinates is small and both variates are subject to error, these errors should be taken into account.

In table 1 the error of count rating with probe A is shown. It appears from table 2 that in this respect there is a difference between the two probes. The found errors were larger than those mentioned in literature. According to literature one should expect an error of count rating of $1/\sqrt{n}$ in which n represents the count rate. The found difference in error may be explained, however, from the fact that the calibrations referred

to in literature were usually carried out on prepared samples. In this way the error is determined for more homogeneous samples than when calibrating is done under field conditions.

The error in a single observation in moisture determination by soil sampling was approximately 8% of the mean moisture content. This is four or five times as high as the error in the single observation when count rating. This is caused by the fact that soil sampling with the auger gives an error of analysis as well as an error of sampling. One cannot take the same sample twice, while with a neutron-probe one can repeat indefinitely an observation of the same soil block.

In figures 1 and 2 confidence limits for a probability of 95% have been drawn. The confidence intervals are of rather different values because of the small range of the variates. The determined regression lines are given in figure 3. A calibration curve for a heavy clay soil has been added. This last mentioned curve has been constructed by the Working Committee on Evapotranspiration (WERKCOMMISSIE, 1959).

It is important to know, whether the available data make it probable that for different soil types different calibration curves should be applied, or that a single curve can be used. Determination of the experimental errors shows that the differences between the curves in figure 3 are not significant. The number of available data is still too small, however, to prove that one calibration curve should suffice for all soil types. Nevertheless the curve, which is shown in figure 4, has been determined for all data, collected with both probes. To that end, countings with probe A were brought on a level with those of probe B. It will be shown that this is admissible.

A test for the linearity of regression of the curve in figure 4, proves that the calibration of the tested probes is not linear. There is an increased sensitivity at the lower moisture contents. Confidence limits for a probability of 95% are given. The confidence intervals are small and lie between 0.72 and 0.23 per cent by volume of moisture. The multiple correlation coefficient is 0.986

With respect to the errors of the variates further remarks may be made. One may distinguish between an error of analysis – the deviation between the readings on the same sample – and the error of sampling – the deviation between the readings of an absolutely accurate method on samples at different places in the same layer.

Sampling with the auger yields data influenced by both sources of error. Count rating with a neutron probe in an access tube gives different readings on the same volume of soil. This produces an error of analysis. When the moisture contents are determined for a large area and two or more access tubes are considered to be necessary, the readings for the separate tubes will show both sources of error.

Because in most cases two access tubes were used, it was possible to calculate the error of sampling for count rating by comparing readings at the same depth in the tubes which were about ten feet apart. Systematical deviations, caused by slight differences in the soil, were eliminated. The error of sampling was determined, the error of analysis being known from consecutive readings in the same tube. The results are given in table 3.

The same differentiation was made for the determination of moisture content by sampling. The error of analysis was approximated by determining the percentage of moisture in ten samples taken from a carefully mixed quantity of soil and repeating this in volumes of soils with various moisture contents. Over a range in moisture content from 6 to 40% by volume, this error was 2.25% of the mean moisture content. In table 4 the errors in the determination of moisture content by soil sampling are given.

It appears that the determination with the neutron-probe is, in this respect, a far more reliable method than soil sampling.

A drawback of the neutron-probe apparatus is that when it fails it is difficult to repair, when technical facilities, especially in the field of electronics, are not at one's disposal. During the testing the neutron-probes have been repeatedly out of commission and repair took a considerable amount of time. When several probes are available it is therefore advisable to determine how their count rates are related. When this relation is known, calibrating only one probe on soil samples is calibrating them all, which saved a considerable amount of time. Moreover, when a probe was in repair the series of observations could be continued using another one. This, however, introduced a third error, to be called the error of substitution and which describes the difference in reading between two probes when the errors of analysis and of sampling are accounted for. This error of substitution can be deduced from the moisture data which have been collected at the same depths in the same access tubes and at the same time, with two separate probes.

In figure 5 count ratings with probe A are correlated with those of probe B. There is a linear regression and there is a systematical difference between the two probes. The best estimate of the factor to reduce the level of count rating with probe B to that of probe A is 0.9498 with a standard error of 0.00425. The factor 0.9498 is equal to the ratio between the standard count of the probes and is related with the strength of the neutron sources.

When systematical differences are eliminated by applying the mentioned factor, there still remains a random scatter which can be regarded as representing the error of substitution. From tabel 5 it appears that this error exceeds the error of analysis in proportion with the count rates. When the latter are small, so when the soil is dry, the error of substitution is the largest. It is sensible to presume that in a drying soil the distribution of moisture is becoming less homogeneous and the impacting of neutrons on hydrogen molecules is varying more and more due to the diminishing chance.

The conclusion of the investigation made is, that the neutron-probe is a satisfactory implement.

Field calibration of neutron-probes is a much better procedure than calibration on prepared volumes of soil. It gives a deeper insight into the nature of the errors involved and shows that measuring moisture contents with a neutron-probe is more accurate than soil sampling.

This can be added to other, well-known, advantages, such as it being a non-destructive determination and very much suited for small plots. This makes the neutron scattering method a valuable new device, at least when knowledge of the detailed horizontal stratification of soil moisture is not required. Up to the present there are no indications that the count rates depend on the nature of the soil. It proved to be possible to determine a non-linear calibration curve that reasonably fits all moisture data from the mentioned soil types at different depths.

The apparatus has proved to be rather vulnerable. It is, however, possible to substitute a defect probe during an experiment. When this is necessary, especially when working in dry soils, knowledge of the error of substitution is of importance.

LITERATUUR

- BAVEL, C. H. M. VAN, D. R. NIELSEN and J. M. DAVIDSON. 1961. Calibration and characteristics of two neutron moisture probes. *Soil Sci. Am. Proc.* 35,5: 329-334.
- BOLT, G. H. 1958. De bepaling van het vochtgehalte en het volumegewicht van de bodem met behulp van neutronen en gamma-stralen. *Landbouwkundig Tijdschrift* 70, extra nummer mei 1958: 282-286.
- JONGE, H. DE. 1958. Inleiding tot de medische statistiek I. Nederlands Instituut voor praeventieve Geneeskunde, Verhandeling XLI, Leiden.
- RITTEMA, P. E. 1959. Enige fysische achtergronden bij het gebruik van radio-actieve stoffen voor het bepalen van het vochtgehalte in de grond. Rapport 6 I.C.W. 23 p.
- WERKCOMMISSIE voor Verdampingsonderzoek. 1960. 13e Verslag. 86 p.

