

OVER DEN INVLOED VAN REGENVAL
OP DEN GRONDWATERSTAND

DOOR

J. H. THAL LARSEN.





Over den invloed van regenval op den grondwaterstand

door

J. H. Thal Larsen.

Zoals thans wel in ruimen kring bekend zal zijn, werd in de winterbijeenkomst van de Kon. Ned. Mij. voor Tuinbouw en Plantkunde te Rotterdam op 21 Februari 1929 door den tuinbouwconsulent te Lisse Ir. K. VOLKERSZ een belangrijke mededeeling gedaan aangaande waargenomen grondwaterstandsverschijnselen op het terrein achter de Tuinbouwwinterschool ter plaats. Die mededeeling is in extenso opgenomen in het verslag van de genoemde bijeenkomst in het orgaan der Mij., het weekblad van 9 Maart d.a.v., zoomede een korte toelichting door mij ter vergadering gegeven om de besproken verschijnselen te verklaren. Daar mij dit verslag eerst later toevallig onder de oogen kwam en die toelichting onjuist bleek te zijn weergegeven, zond ik een rectificatie in, die in het nummer van 25 Mei werd opgenomen.

Nagenoeg tegelijkertijd verscheen in „Water en Gas” van 31 Mei van de hand van Dr. Ir. J. A. HEYMANN, Scheikundige bacterioloog der Gemeente waterleidingen van Amsterdam, een verhandeling over deze aangelegenheid onder den titel van „Eigenaardige ervaringen opgedaan bij het meten van grondwaterstanden” en daarna in „Der Kulturtechniker” van Juli/Aug. 1.1. Heft No. 4 een artikel van den Kultur- und Vermessungs-Ingenieur CHR. MEZGER, getiteld „Versuche ueber den Einflusz der Grundluft auf die Bewegung und Verteilung der Bodenfeuchtigkeit”. Hij is ook de auteur van de door Dr. HEYMANN in zijn artikel genoemde publicatie in de „Gesundheitsingenieur”, van 1926.

Aangezien t.o.v. een primaire factor in de vorenbedoelde, hieronder nader te behandelen verschijnselen, n.l. den invloed van regenval op den toestand van de lucht in den grond daaronder, wel overeenstemming van meening bestaat, maar de hydrologische interpretatie van de beide auteurs daarentegen op een dwaalspoor leidt en deze juist, niet alleen essentieel, maar ook voor land- en tuinbouw van beteekenis is, eischen de verschijnselen te Lisse een nadere beschouwing aan de hand van eenige markante perioden uit het jaar 1926, waarvan de grafische voorstellingen door Ir. VOLKERSZ welwillend ter beschikking werden gesteld. Schrijver dezer regelen had gehoopt dit artikel tevens met afbeeldingen van het terrein in kwestie en van de gebezigde zelf-registreerende peilbuizen te kunnen verrijken, maar meent thans met deze publicatie niet langer te mogen wachten.

Voor den lezer, die van de hiervoor genoemde verhandelingen nog geen kennis mocht hebben genomen, moge aangaande de omstandigheden te Lisse het volgende dienen.

De aanleiding tot het onderzoek naar grondwaterstanden in den proefschooltuin was, dat aan een onveranderlijkheid van den grondwaterstand in die omgeving getwijfeld werd. Als proefveld diende een terrein, waarlangs een smalle vaart loopt, die met de Ringvaart van den Haarlemmermeerpolder op ongeveer 1½ K.M. afstand daarvan in verbinding staat. De grondsoort

is een tamelijk grove zandgrond, waarvan men de samenstelling in het Weekblad nauwkeurig vindt opgegeven. Het terrein ligt op 10—20 cM. min. A.P. en 1 M. daar beneden, derhalve op ongeveer 1,20 M. min. A.P., bevindt zich een veenlaag van wisselende dikte, welke hier en daar plaatselijk ontbreekt, doch in de onmiddellijke omgeving een aanzienlijke dikte heeft. De normale waterstand werd bevonden op ongeveer 55 cM. min. A.P. voor te komen.

Van April 1923 af werden door middel van verticaal in den grond geplaatste, geglazuurde Grèsbuizen van 20 cM. diam., welke boveinde met een deksel werd afgedekt om rechtstreeksche verdamping zooveel mogelijk tegen te gaan en waarvan het onderende met een jute zak werd omwikkeld, de waterstanden waargenomen op afstanden van 5, 20 en 35 M' van de voornoemde sloot af. De groote en snelle schommelingen in deze waterstanden, terwijl de invloed van den stand van het slootwater uiterst gering was gebleken, deden de wenschelijkheid inzien van het gebruik van zelfregistreerende grondwaterstandspeilbuizen, zoomede van een zelfregistreerende regenmeter, ten einde het verloop van de grondwaterstanden, de slootwaterstanden en den regenval volledig te leeren kennen.

De peilbuizen zijn thans voor de benedenhelft geperforeerde, rood koperen cylinders van 30 cM. middellijn en 70 cM. tot 1 M. hoog. De zelfregistreerende peilschalen, waarvan de grafieken ter illustratie van dit artikel dienen, zijn een peilschaal aan de sloot, een peilbuis op $7\frac{1}{2}$ M' en een op 15 M' afstand van deze sloot.

De grafieken zijn direct fotografisch gereproduceerd, terwijl die van den regenval eerst op gelijke tijdschaal zijn overgeteekend. Alleen daar waar bij de 2de peilbuis de stift boven de aanvankelijk gebezigde, niet voldoende breede papierstrook uit was gelopen, is het waarschijnlijke beloop met een stippellijn duidelijk zichtbaar bijgeteekend.

In de eerste plaats valt op te merken, dat de vlotters in de peilbuizen inderdaad, zooals bij de aanvankelijke termijnwaarnemingen reeds was geconstateerd, bij geringen regenval groote schommelingen vertoonen, die niet in eenig aanwijsbaar verband staan tot de slootwaterstanden en ook niet onder den invloed daarvan kunnen hebben gestaan; aangezien een plotse linge stijging — bijv. in den namiddag van 26—27 Oct. — van de vlotter met een dalende slootwaterstand blijkt te kunnen samengaan.

Voorts blijkt, dat de waterstand in de peilbuizen nagenoeg gelijktijdig omhoog gaat, zoodra de regen gevallen is en wel in sterk vergrootte mate, vergeleken bij de regenhoogte en daarna dalingen vertoont, die veel minder steil verlopen. Die rijzingen belopen in de beschouwde gevallen het 25- tot 40-voud van de regenhoogten, maar kunnen tot meer dan het 60-voudige oploopen.

Wat hieruit nu primair valt te concludeeren en waarover ook geen verschil van meening bestaat, is, dat de regen door capillaire werking in den bodem dringt en de zich daaronder bevindende lucht als 't ware met een deksel afsluit en eenigermate samendrukt.

Dat dit inderdaad het geval is, hebben de proeven van MEZGER en HEYMANN aangetoond (waarover straks nader) en blijkt ook uit de door schrijver dezer op andere wijze ingerichte proeven, waarvan de afbeeldingen

het oogenblik weergeven, dat de luchtspanning het grootst was, nl. dat de watermanometer zijn hoogsten stand had bereikt.

Zooals uit die afbeeldingen te zien is, werd een glazen buis (inw. diam. 4 cM.) met grond gevuld en wel in het eerste geval met een zavelgrond uit Groningen en in het 2de geval met een zandgrond uit Lisse. Die grond werd gedurende eenige minuten regelmatig geschud en daarna voorzichtig aangestampt, zoodat een vrijwel homogene toestand in de geheele kolom als eindtoestand kon worden aangenomen.

Aan de buis is een S-vormig gebogen, 5 mM. wijde buis gesmolten, waarin tot ongeveer halve hoogte in de beide beenen van het U-vormige stuk gekleurd water werd gegoten.

Boven op de buis werd een regentoestelletje geplaatst, bestaande uit een metalen huls met een perforeerden bodem, van boven afgesloten met een caoutchouc stop, waar een glazen buis doorheen was gebracht, van een stopkraan voorzien. Boven deze kraan was een schaalverdeeling aangebracht zoodanig, dat het volume tusschen elke 2 deelstreepen overeenkwam met dat van een mM. hoogte in de metalen cylinder. Door middel van de stop werd het regenapparaatje in een bak met water zoodanig gevuld, dat het geheel met water was opgevuld en alle luchtballen waren verwijderd.

Hiermede werd in beide gevallen, door openen van de kraan, een regen van 6 mM. op den grond in de buis neergedruppeld. De indringing van het vocht was duidelijk waarneembaar en verliep in de zavel gelijkmatiger dan in het zand, zooals de foto's ook doen zien. Bij de zavel bedroeg die indringing tenslotte 4 cM.; bij het zand was zij te onregelmatig om te kunnen worden bepaald.

Onmiddellijk na het begin van de capillaire indringing steeg het water in de manometer, waarvan de verschillende standen tegelijk met den tijd

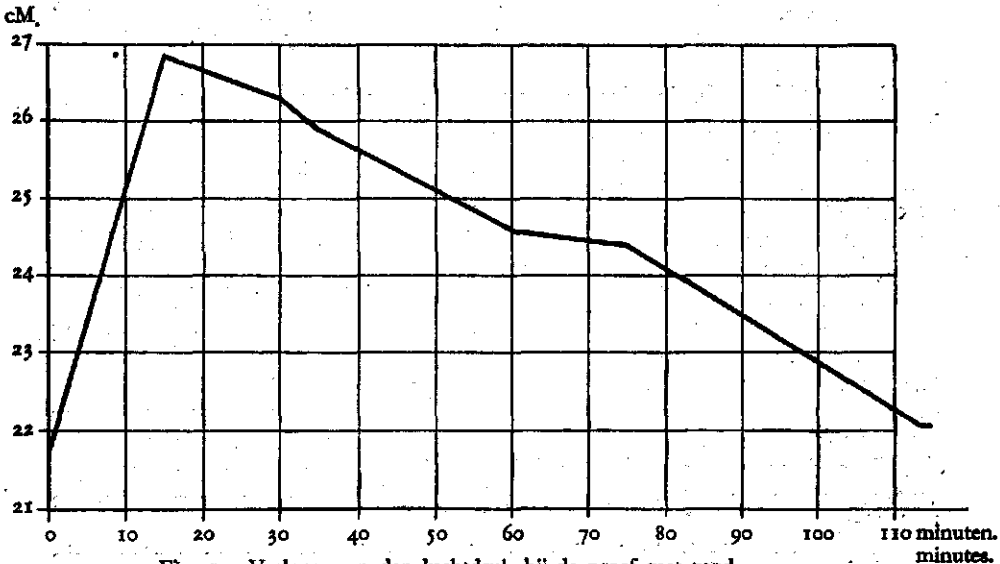


Fig. 1. Verloop van den luchtdruk bij de proef met zand.
Curve of the air-pressure in the test with sand.

werdén opgenomen. Het verloop van de snelle stijging en langzame daling is in de bijgaande grafische voorstellingen fig. 1 en 2 weergegeven.

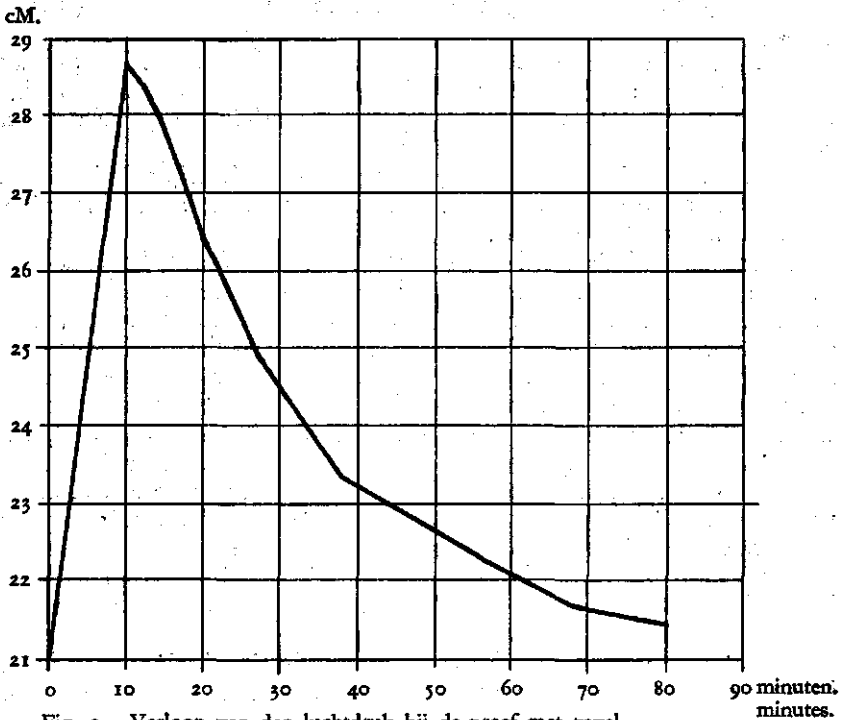


Fig. 2. Verloop van den luchtdruk bij de proef met zavel.
Curve of the air-pressure in the test with sandy clay soil.

Reeds tijdens de indringing van het water in den bodem ziet men lucht ontwijken, welk verschijnsel later toeneemt. Een nauwkeurig verband tusschen de fijnheid van de grondsoort, de diepte van indringing en de teweeg gebrachte overdruk zou reeds hierom niet zijn na te gaan, maar ook moest van een kwantitatieve proef bij voorbaat worden afgezien, omdat voor het onderzoek dan over nauwkeurig bepaalde fracties in de vereischte hoeveelheden moest kunnen worden beschikt.

Alleen valt uit de beide grafieken op te merken, dat de lucht bij de zavel sneller en meer werd samengedrukt dan in het zand; het eerste als gevolg van de sterkere capillaire werking in nauwere ruimten, het tweede voornamelijk doordat bij de zavel de lucht moeilijker ontwijkt dan door het zand. Dat een regenval van slechts eenige mM. een merkbare samendrukking van de lucht tengevolge kan hebben, is daardoor mogelijk, dat die geringe hoeveelheid regen bij de indringing slechts de poriënruimten vult, waardoor het afsluitende deksel vele malen dikker is dan de regenhoogte bedraagt.

Wanneer nu de lucht in den grond tengevolge van regen eenigermate wordt samengedrukt, wat zal daarvan hydrologisch dan het gevolg zijn?

X Volgens MEZGER en HEYMANN zou het rijzen van den waterstand in de peilbuizen plaats vinden onder rechtstreekschen invloed van den verhoogden luchtdruk, op de zelfde wijze als in piëzometrische buizen bij een onder druk stroomende vloeistof en HEYMANN neemt uit de te voren genoemde publicatie van MEZGER in de Gesundheitsingenieur van 1926, ter ondersteuning van zijn opvatting, het daarin voorkomende citaat over van den Russischen onderzoeker OTOTZKI: „dasz das Steigen der Brunnengewässer nicht vom verstärkten Wasserzufluss im Wasserhorizont abhängt, sondern hervorgerufen ist durch den erhöhten Druck der Bodenluft, oder mit andern Worten gesagt, jeder Brunnen oder jedes geborte Loch ist nur eine Art von manometrischer oder piëzometrischer Röhre.” En verderop schrijft HEYMANN: „Beide onderzoekers komen ook tot de conclusie, dat de door de capillaire werking in het leven geroepen *afwijkingen* tusschen de waterstanden in de peilbuizen en de *werkelijke grondwaterstand* (cursiveeringen van schrijver dezer) des te belangrijker zullen zijn, naarmate de afstand van het phreatisch oppervlak tot het maaiveld kleiner is.”

Om duidelijk te kunnen maken, dat deze interpretatie onjuist is en welke verklaring hiertegenover moet worden gesteld, zal het noodig zijn ons eerst eens rekenschap te geven van den toestand, waarin het niet-artesische grondwater zich bevindt.

Maaiveld.

L

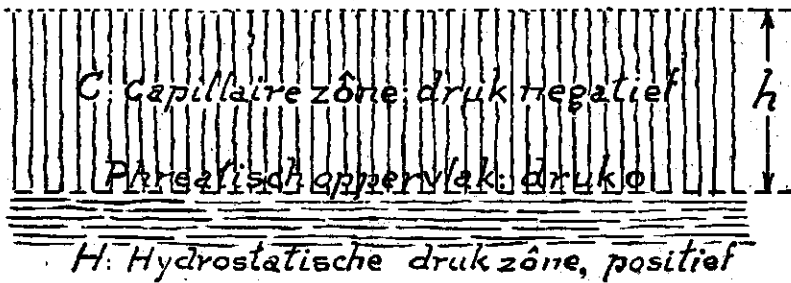


Fig. 3.

Van een zône H uit, fig. 3, waarin het grondwater onder hydrostatischen, of algemeener onder hydraulischen druk verkeert, stijgt het water door de capillaire werking in het capillaire celwerk omhoog tot een hoogte h , waarbij de oppervlaktespanning in de menisci, die de bovengrens dezer capillaire zône C vormen, evenwicht maakt met de zwaartekracht, d. i. het gewicht van de vloeistofkolommetjes met een hoogte h . In deze zône, door Dr. Ir. J. VERSLUYS ¹⁾ de capillaire zône in engeren zin genoemd, heerscht dus een druk kleiner dan de atmosferische druk, d. i. een negatieve druk. Daar beneden bevindt zich het water zooals gezegd onder hydrostatischen, d. i.

¹⁾ Capillaire verschijnselen in den bodem.

een positieven druk en er tusschenin is het grensoppervlak gelegen, waar een druk o heerscht en dat tegenwoordig in de wetenschappelijke terminologie het phreatisch oppervlak wordt genoemd. Het is dit oppervlak, dat met den grondwaterstand overeenkomt en waarmede het water in een gegraven put of in een standpijp zich gelijkstelt, wanneer het niet mede onder artesische condities verkeert.

Voor de onderwerpelijke beschouwing nemen we aan, dat zich aanvankelijk boven de capillaire zône C in den grond alleen lucht bevindt. Valt nu over een uitgestrektheid van beteekenis eenige regen en wordt deze door de capillaire werking in den grond gezogen, dan ontstaat in die zône een verhoogde luchtdruk, stel gelijk h_1 waterdruk (meer dan de atmosferische druk). Het zal duidelijk zijn dat de evenwichtstoestand tusschen het waterdeksel en het phreatisch oppervlak in dat zelfde oogenblik verbroken wordt, aangezien de oppervlaktespanning in de menisci nu evenwicht moet maken met een drukking er boven gelijk h_1 waterdruk en het gewicht er beneden van de vloeistofkolom der capillaire zône. Er zal dus weer evenwicht zijn, wanneer beide te zamen gelijk zijn aan de capillaire stijghoogte h van de grondsoort. Dit beteekent, dat het phreatisch oppervlak over een hoogte h_1 stijgt; hierbij voltrekt zich een *statische* verandering, d.w.z. een verandering waarmede geen verplaatsing van water gepaard gaat. Van af dit oogenblik dringt het water uit de zône beneden het gestegen phreatisch oppervlak de peilbuizen binnen totdat de waterstand daarin met het phreatisch oppervlak gelijk staat. Het zijn deze schommelingen, die door de zelfregistreerende peilschalen te Lisse worden opgeteekend. Wij hebben hier dus wel degelijk met grondwaterstanden te doen.

Maar hoe is MEZGER en met hem HEYMANN dan tot de hier te voren gewraakte opvatting gekomen, zal men vragen.

In zijn desbetreffend artikel in „Water en Gas” is de proef van laatstgenoemde beschreven en met een afbeelding toegelicht. Een met grond gevulde cylinder wordt over een geringe hoogte met water gevuld, dat het phreatisch water in den bodem moet nabootsen. Met dit phreatisch water staat een peilbuis door middel van een horizontaal omgebogen einde in hydrostatische verbinding. Bovenin is in den grond een met water gevulde manometerbuis gestoken, waarvan het ondereinde boven de capillaire stijghoogte van de grondsoort reikt. Wordt nu het grondoppervlak beregend, dan leest men in de manometerbuis de druk af, waaronder de lucht onder het waterdeksel komt te staan en tegelijkertijd ziet men in de peilbuis het water stijgen. HEYMANN heeft met deze inrichting den toestand in den grond wel benaderend nagebootst, — hetgeen, zooals nader zal blijken, met MEZGER niet het geval is — maar met dit toestel is niettemin alleen de verhoogde luchtdruk boven de capillaire zône aangetoond en niet waar het phreatisch oppervlak zich bevindt. In de schets is dit oppervlak wel aangegeven, maar deze voorstelling berust niet op waarneming, alleen op praemisse. De stand van het phreatisch oppervlak, dat de grens vormt tusschen een negatieve en een positieve drukzône, is niet direct waarneembaar en kan alleen worden nagegaan aan een vrije waterspiegel in een communicerend buisje. Zoolang boven het phreatisch oppervlak nog een *negatieve* drukzône aanwezig is, kan van een vloeistof onder druk natuurlijk geen kwestie zijn. Aangezien nu de

oppervlaktespanning, die het water in den grond doet dringen, geen overdruk in de luchtzone daar beneden kan veroorzaken die grooter is dan de capillaire stijghoogte van de grondsoort, d.w.z. daar h_1 hoogstens gelijk kan zijn aan h , kan de vloeistof tengevolge van capillair indringend water niet onder druk komen te staan, zoo als MEZGER en HEYMANN veronderstellen.

De proef van MEZGER, op bladz. 348 e. v. van het voornoemd nummer van „Der Kulturtechniker” beschreven, is zoo ingericht, dat de dwaling sterker in 't oog springt dan bij die van HEYMANN. MEZGER vulde n.l. zijn cylinder

- tot 25 cM. hoogte met grof grind,
- van 25—30 cM. hoogte met fijn grind,
- van 30—36 cM. hoogte met grof zand,
- van 36—118 cM. hoogte met fijn kwartzand.

De bodem van dezen cylinder werd slechts zoover met water gevuld, dat het boven de aanmonding van de ter zijde, evenals bij HEYMANN's proef, aangebrachte peilbuis reikte. Dit komt dus hierop neer, dat, aangezien in het grove grind geen capillaire opstijging plaats vindt, de waterspiegel in deze grindlaag een *vrije waterspiegel* is, maar geen phreatisch oppervlak, zooals die in den bodem voorkomt. Op dezen vrijen waterspiegel nu komt na berekening van het oppervlak de gecomprimeerde lucht te drukken en dan ziet MEZGER in de stijging van het water tegelijkertijd in de peilbuis en in de, aan de tegenovergestelde zijde van den cylinder aangebrachte manometer de bevestiging van zijn meening, dat ook het phreatisch niveau in den bodem evenals deze waterspiegel tengevolge van de indringing van regenwater onder een verhoogde druk komt te staan.

Uit een noot op bldz. 346 echter blijkt, dat deze auteur, die in zijn meergenoemde artikel overigens toont zich van de capillaire verschijnselen bij het „hangende” en „zwevende” water terdege rekenschap te hebben gegeven, nog onbekend is met de beteekenis van het phreatisch oppervlak, zooals die door VERSLUYS voor 't eerst principieel wordt vastgesteld. Immers luidt die aantekening: „Unter natürlichen Grundwasserstand ist hier im Gegensatz zu der in Brunnen oder Bohrlöchern beobachteten Spiegellage, der Brunnenwasserstand, durchweg der Stand des Grundwassers im *geschlossenen Erdreich* zu verstehen”.

De hiervoor uiteengezette hydrologische interpretatie van de waarnemingen te Lisse vindt een bevestiging in de waarnemingen van Dr. H. Bos in een kas van het proefveld voor Cultuurcontrole (Proefstation voor Zaadcontrole) te Wageningen. Deze kas is 25 M. breed en 50 M. lang. Ongeveer in het midden is een peilschaal voor het waarnemen van den grondwaterstand geplaatst. De eenmaal daags genoteerde waarnemingen¹⁾, welke door Dr. Bos werden gepubliceerd in de „Verslagen van landbouwkundige onderzoekingen der Rijkslandbouwproefstations” No. XXXII, 1927, geven uiteraard geen doorlopend verband weer tusschen den regenval buiten de kas en de schommelingen van den grondwaterstand daar binnen, maar Dr. Bos

¹⁾ Deze waarnemingen vormen geen zelfstandig doel, doch dienen alleen als middel ter controle op de ontwikkeling van karakteristieke raskenmerken bij wortelgewassen.

heeft dat verband niettemin persoonlijk meermalen geconstateerd. Hier zien wij dus onder een oppervlakte van $25 \times 50 \text{ M}^2$, waarop geen regen valt en waaronder dan ook geen lucht wordt samengedrukt, de grondwaterstand evenzeer tengevolge van regenval op en neer gaan, waaruit, naar ik meen, de onhoudbaarheid der hypothese van de opstijging van het water in de peilbuizen, als gevolg van een op het phreatisch oppervlak uitgeoefenden overdruk, ten overvloede nog eens kan blijken.

Het spreekt wel van zelf, dat de hier beschouwde verschijnselen zich het duidelijkst in een zandgrond voordoen en nauwelijks of in het geheel niet merkbaar zijn in een zware leem- of kleigrond. Van den grond in het proefveld voor Cultuurcontrole schrijft Dr. Bos: „Het bestaat geheel uit zand, wat meer samenhangend dan dat van den Veluwrand zelf; de bovenlaag is door jarenlange cultuur (als wei-, bouw- en tabaksland) tot op eene diepte van 60 à 80 cM. sterk humeus geworden.”

Verder zal het duidelijk zijn, dat de schommelingen van den grondwaterstand kleiner zullen zijn naarmate de afstand van het phreatisch oppervlak tot het maaiveld grooter is.

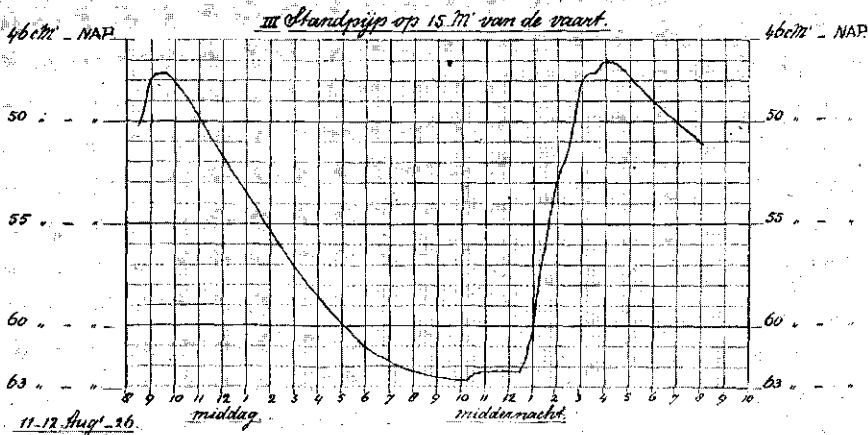
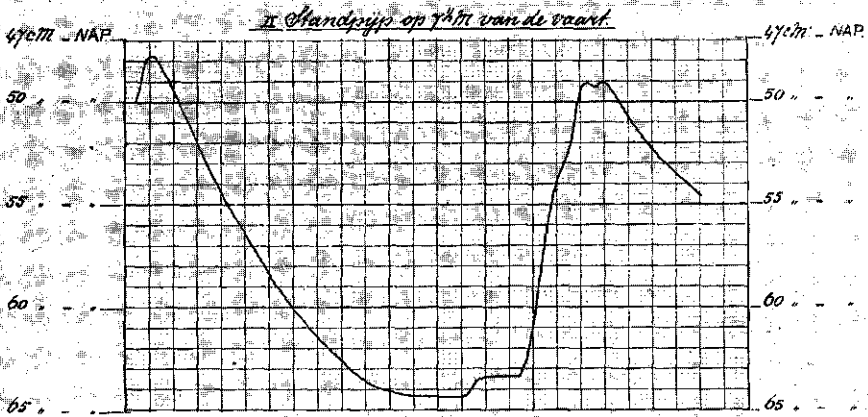
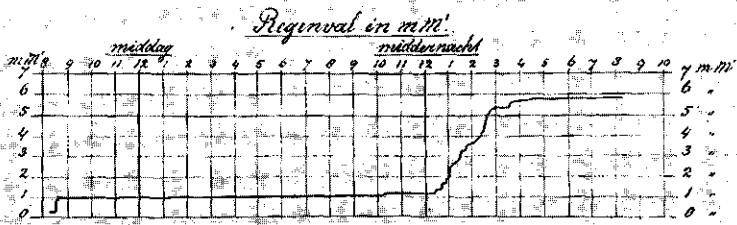
Aangaande de uiteenlopende verhoudingen, welke de rijzingen van den grondwaterstand tot de regenhoogten in de grafieken vertoonen, valt het volgende op te merken.

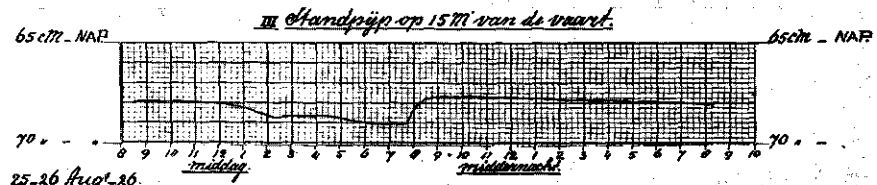
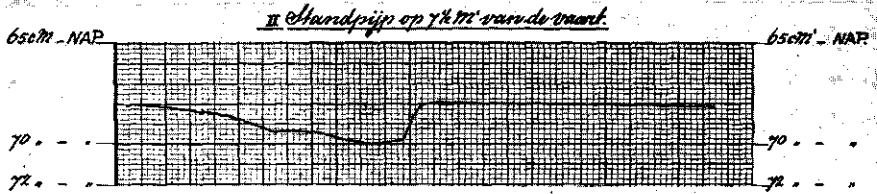
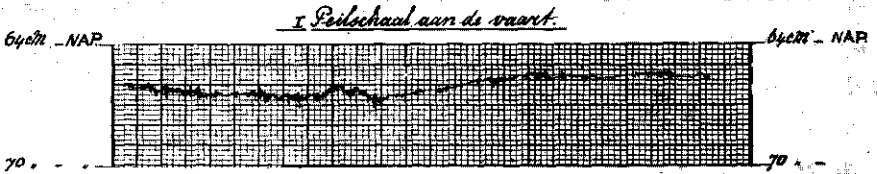
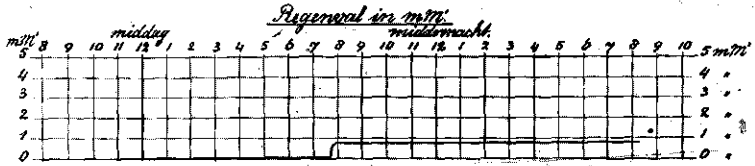
- 1^o. Die verhoudingen zijn in de wintermaanden het grootst. Dit is een gevolg van de grootere viscositeit van een vloeistof bij lage temperaturen, d. w. z. van de grootere oppervlaktetenspanning en dus ook van de sterkere capillaire indringing.
- 2^o. Zij zijn over het algemeen grooter bij geringen regenval, d. w. z. bij toenemende regen rijst de grondwaterstand in mindere mate. De capillaire indringing van het regenwater neemt af naarmate de spanning van de lucht toeneemt en houdt geheel op, zoodra die druk gelijk is aan de capillaire stijghoogte. Het water blijft dan aan de oppervlakte staan, totdat er lucht kan ontwijken.

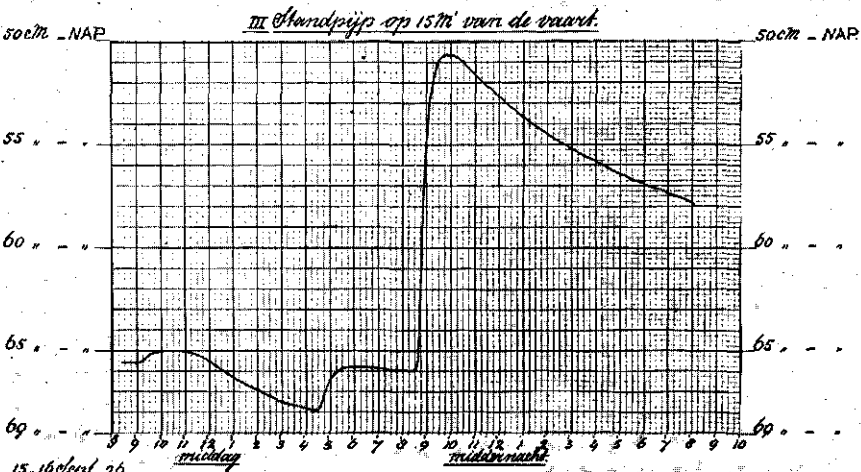
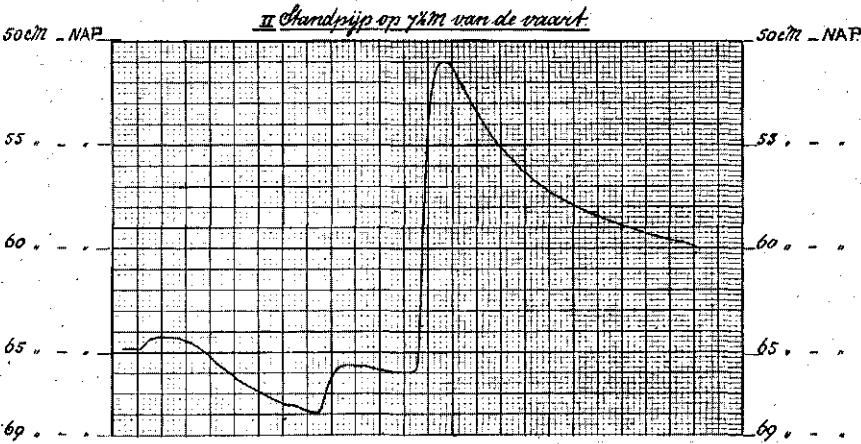
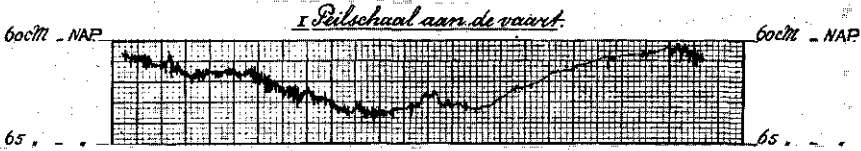
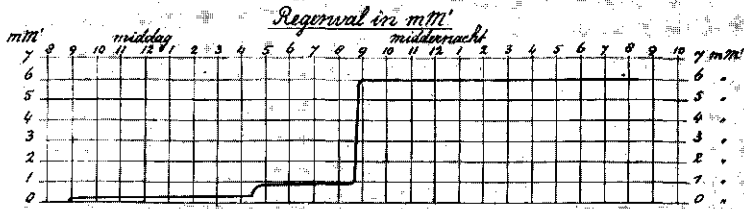
Nauwkeurig beschouwd is de zaak een weinig anders. Vooreerst dient dan het gewicht van de reeds ingezogen waterkolom mede in rekening te worden gebracht. Voorts zal men na kennisneming van het proefschrift van Dr. Ir. J. H. ENGELHARDT ¹⁾ kunnen inzien, dat de druk van de lucht niet altijd de zelfde spanning zal bereiken, daar de capillaire werking eerst haar maximum bereikt, wanneer het waterdeksel een dikte van 2 cM. heeft bereikt. Dit zijn evenwel finessen, die volledigheidshalve worden aangestipt, maar die voor het begrip van het essentieele der kwestie van secundair belang zijn.

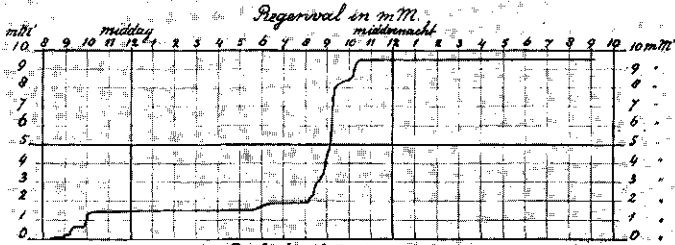
Inmiddels zal het duidelijk zijn geworden, waarom de beschouwde verschijnselen van zoo groot praktisch belang kunnen zijn. Immers, wanneer het phreatisch oppervlak reeds bij indringing van geringe hoeveelheden regen betrekkelijk aanzienlijk rijst, dan zullen de plantenwortels daarvan, zij het

¹⁾ Bijdrage tot de kennis van capillaire verschijnselen in verband met de heterogeniteit van den grond. 1928.



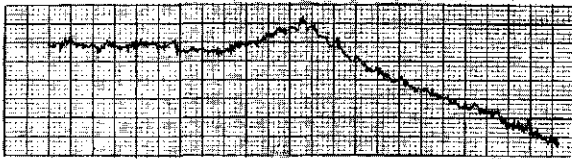






64m - NAP
65. - .

I. Peilbuisel over de vaart.



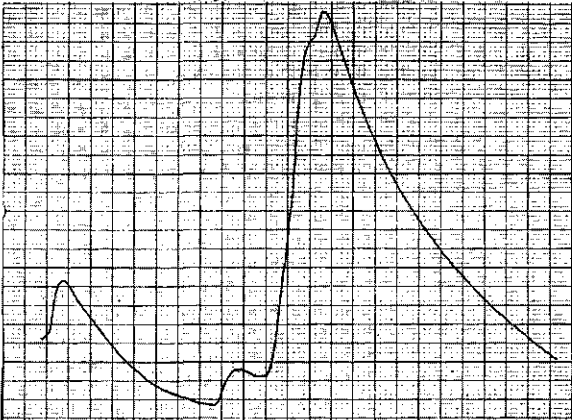
64m - NAP
65. - .

70. - .
72. - .

70. - .
72. - .

40m - NAP

II. Stroompijp op 7m van de vaart.



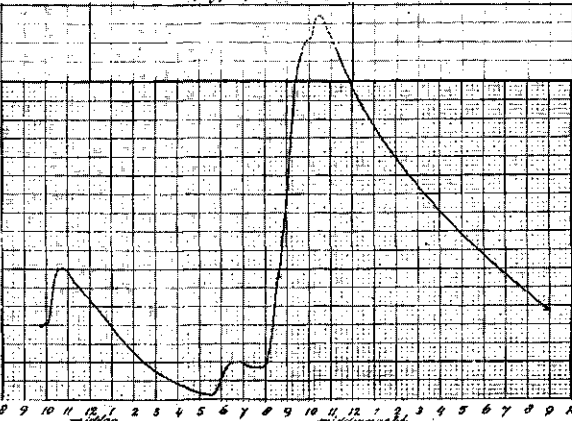
40m - NAP

45. - .
50. - .
55. - .
60. - .
63. - .

45. - .
50. - .
55. - .
60. - .
63. - .

36m - NAP

III. Stroompijp op 15m van de vaart.



36m - NAP

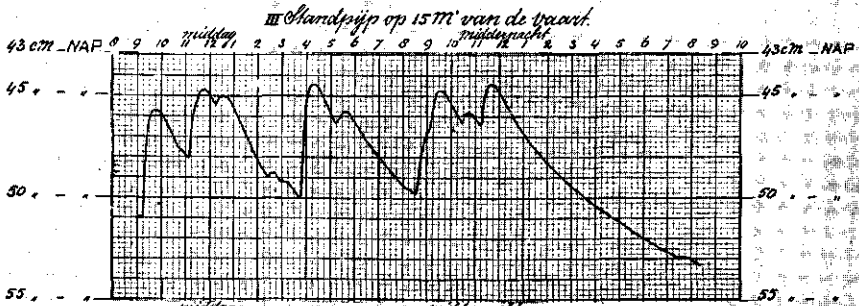
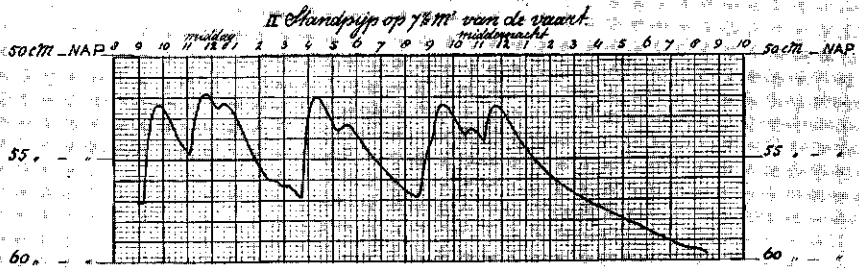
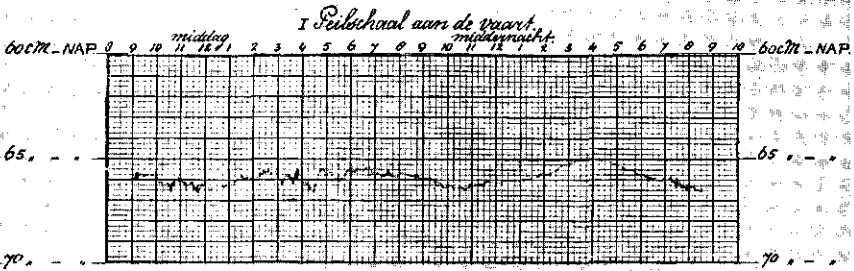
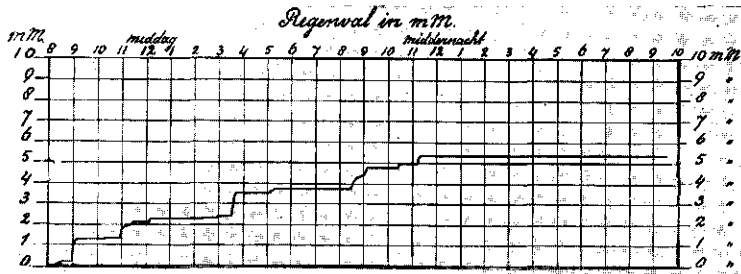
40. - .
45. - .
50. - .
55. - .
57. - .

40. - .
45. - .
50. - .
55. - .
57. - .

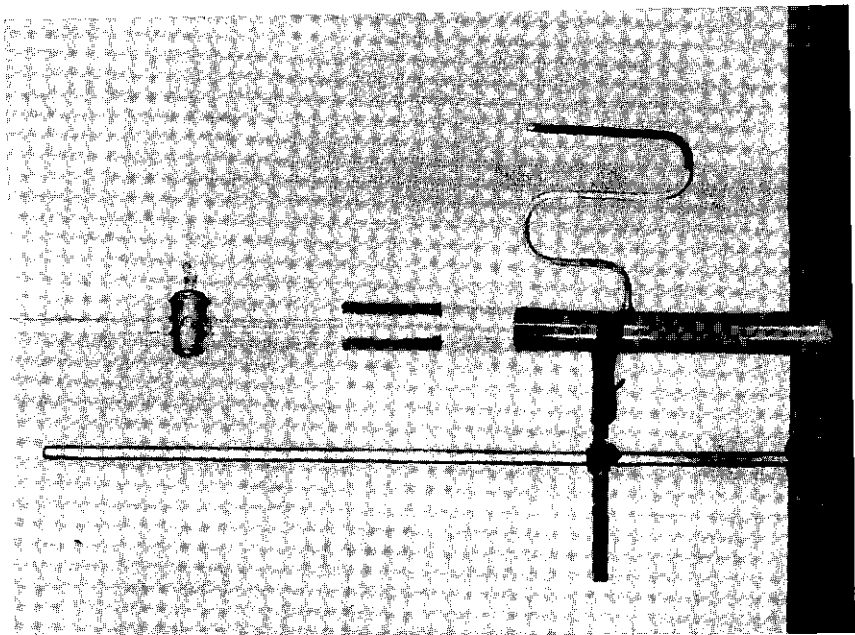
11-12 Oct. '26

midday

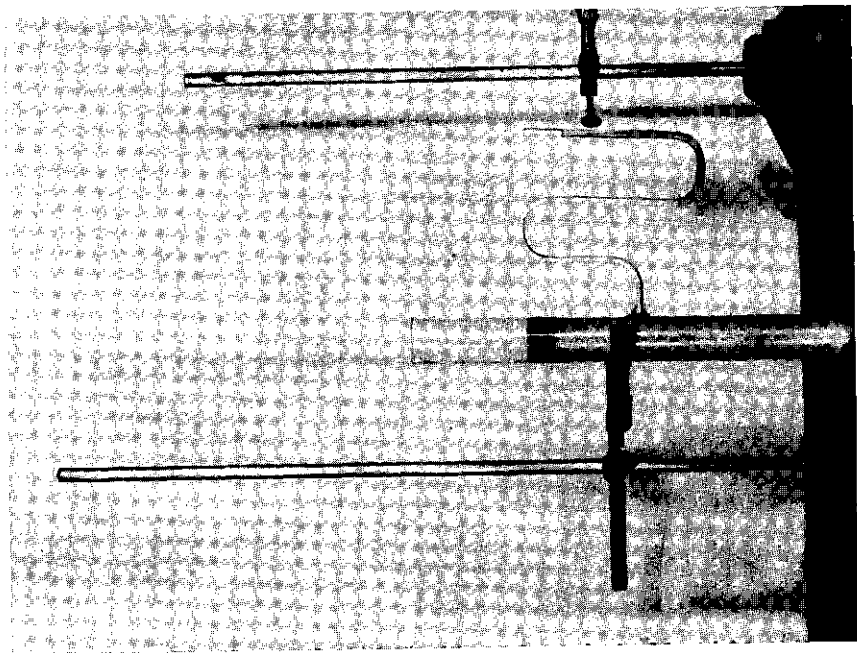
middernacht



18-19 Oct. 26.



Luchtdruk bij de proef met zavel.
Air-pressure in the test with sandy clay soil.



Luchtdruk bij de proef met zand.
Air-pressure in the test with sand.

gedurende korten tijd, kunnen profiteeren, en wellicht zou in de bloembollenstreek, waar volgens mededeelingen van kweekers de roekeloze onttrekking van drinkwater aan onze duinen den grondwaterstand aanmerkelijk heeft verlaagd, kunnen worden nagegaan of door kunstmatig beregenen over een voldoende groote oppervlakte in tijden van abnormale droogte, zooals in den afgelopen zomer, gunstige resultaten zouden zijn te verkrijgen. Insnijdingen zooals diepe greppels en slooten zullen daarbij in het proefveld m. h. o. op het ontsnappen van lucht niet mogen voorkomen.

Ook werpen de verschijnselen een nieuw licht op de condensatietheorie van VOGLER, waaraan wellicht meer praktische beteekenis zal moeten worden toegekend dan tot dusverre is geschied. Dit zou door waarnemingen tevens van den vochtigheidstoestand van de lucht te Lisse kunnen worden nagegaan.

LEGEND TO THE GRAPHS.

1. Rainfall in mm
Noon Midnight
 2. Gauge-scale at canal-side. New Amsterdam Ordnance Datum
 3. Standpipe at $7\frac{1}{2}$ metres from canal
 4. " " 15 " " "
-

On the influence of rain-water on the groundwater-level

by

J. H. Thal Larsen.

Tests of the groundwater-level on the experimental plots of the Horticultural Winter School at Lisse (situated between Haarlem and Leiden), commenced in April 1923, revealed such an entirely unexpected variability that the correctness of these observations, which had been carried out two or three times a day, was doubted, and the number was increased in the summer of the same year. As these resulted in a confirmation of the phenomenon that the groundwater-level may display considerable fluctuations in a short time, and that these are connected with the weather conditions, and especially with the rainfall, the necessity was felt of continuing the investigation with the aid of recording level gauges, so that an accurate idea of this connection might be obtained.

For testing purposes a plot was selected at a short distance from the dunes, alongside of which runs a small canal communicating with the *Ringvaart*, the catchwater basin of the *Haarlemmermeer* polder, at a distance of about 1 mile from that point. The soil is a fairly coarse sandy soil. The ground is about 10—20 centimetres below the Amsterdam ordnance datum, and 1 metre lower, i. e. about 1.20 metres below Amsterdam ordnance datum, there is a layer of peat-soil of varying thickness, interrupted here and there but of considerable thickness in the immediate vicinity. The normal water-level is found to be at about 55 centimetres below Amsterdam ordnance datum.

The first tests in 1923 were carried out by means of glazed baked earthenware pipes of 20 centimetres diameter, placed vertically in the ground, and the upper end of which was covered with a wooden lid, in order to counteract direct evaporation as far as possible; the lower end was enveloped in a jute sack. In the case of the recording apparatus now in use, the gauge pipes are copper cylinders of 30 centimetres diameter, and 70 centimetres to 1 metre high, perforated along the lower half. One of them is at the side of the ditch, and two at a distance of respectively $7\frac{1}{2}$ and 15 metres from it.

The graphs, which show a few noteworthy periods from the year 1926, have been directly reproduced photographically, whilst those of the rainfall have first been re-drawn to the same time-scale. Where, in the case of the 2nd gauge-pipe, the pen had left the strip of paper, which at first was not wide enough, the probable course has been made clearly visible by means of a dotted line.

In the first place it is to be noted that the floats in the gauge-pipes, as already noticed in the original periodic tests, do, in fact, display great fluctuations with a slight rainfall, which have no demonstrable connection with the level of the water in the canal, and cannot have been influenced by this, inasmuch as a sudden rise of the float — e. g. in the afternoon of the 26th and 27th Oct. — is found to be possible with a falling ditchwater-level.

It is further seen, that the water level in the gauge-pipes rises practically simultaneously as soon as rain has fallen, and to a greatly increased extent

compared with the height of the rainfall, and then again falls much less steeply. These rises are, in the cases under consideration, from 25 to 40 times as great as the rainfall, but may be more than 60 times as great.

The conclusion which is primarily to be drawn from this, and about which there is no difference of opinion, is that the rain penetrates into the ground by means of capillary action, and shuts off, as it were, the air beneath it with a lid, and to a certain extent compresses it.

That this is actually the case has been shown by MEZGER's ¹⁾ and HEYMANN's ²⁾ tests, of which more below, and it is also seen by the test arranged by the present writer in another way, the illustrations of which show the moment when the air tension was greatest, viz., when the water manometer had reached its highest position.

As may be seen from these illustrations, a glass tube (diam. 4 cm) was filled with soil, in the first case with sandy clay soil from Groningen, and in the second with a sandy soil from Lisse. This soil was regularly shaken for a few minutes, and then carefully rammed down, so that a practically homogeneous condition in the entire column may be assumed to be the final state.

An S-shaped tube, 5 mm wide, was fused onto the tube, and into this coloured water was poured about halfway up the legs of the U-shaped piece.

On top of the pipe a rain-gauge was placed; this consisted of a metal case with a perforated bottom, closed at the top by means of a rubber stopper through which was passed a glass tube fitted with a stop-cock. Above this cock a scale had been fitted in such a way that the volume between every two marks agreed with that of a height of one mm. in the metal cylinder. By means of the stop-cock the rain-gauge was filled under water in such a way as to be entirely filled with water and free from airbubbles.

With this a rain of 6 mm was in both cases allowed, by opening the tap, to drop down on to the bottom of the pipe. The penetration of the moisture was clearly perceptible, and was more regular in the sandy clay soil than in the sand, as may also be seen from the photos. In the case of the sandy clay soil the penetration finally amounted to 4 cm; in that of the sand it was too irregular to admit of being determined.

Immediately after the commencement of the capillary penetration the water rose in the manometer, the different levels of which were taken simultaneously with the time. The course of the rapid rise and slow fall is shown in the accompanying graphs fig. 1 and 2.

Even during the penetration of the water into the soil the air is seen to escape, which phenomenon increases later. For this reason alone it would be impossible to find any exact connection between the fineness of the soil, the depth of the penetration, and the super-pressure induced, but the idea of a quantitative test had also to be abandoned from the start, since it would in that case have been necessary to have the requisite quantities of accurately determined fractions to enable the tests to be carried out.

1) „Der Kulturtechniker“ July/Aug. 1929 „Versuche ueber den Einfluss der Grundluft auf die Bewegung und Verteilung der Bodenfruchtigkeit“.

2) „Water en Gas“ May 1929 „Eigenaardige ervaringen opgedaan bij het meten van grondwaterstanden“ („Peculiar experiences about the variability of groundwater-level“).

The only thing that is to be noticed from the graphs is that in the case of the sandy clay soil the air is compressed more rapidly and to a greater extent than in the sand; the former being due to the stronger capillary action in smaller spaces, the latter principally to the fact that in the case of the sandy clay soil the air escapes with greater difficulty than through the sand. That a rainfall of only a few mm can result in an appreciable compression of the air is possible owing to the fact that the slight quantity of rain, on penetrating the soil, fills the pore-spaces only, so that the lid which shuts off the air is a great many times as thick as the amount of rainfall.

If, now, the air in the ground is compressed to some extent owing to rain, what will, hydrologically speaking, be the consequence of this?

According to MEZGER and HEYMANN the rise of the water level in the gauge-pipes takes place under the direct influence of the increased air-pressure, in the same way as in piézometric tubes into which a liquid flows under pressure, and HEYMANN, in support of his view, borrows from MEZGER's above-mentioned article in the „Gesundheitsingenieur” of 1926 the quotation from the Russian investigator OTOTZKI: „dass das Steigen der Brunnengewässer nicht vom verstärkten Wasserzufluss im Wasserhorizont abhängt, sondern hervorgerufen ist durch den erhöhten Druck der Bodenluft, oder mit andern Worten gesagt, jeder Brunnen oder jedes gebohrte Loch ist nur eine Art von manometrischer oder piézometrischer Röhre.” („that the rising of the well-water does not depend on the increased influx of water in the water level, but is produced by the increased pressure of air in the soil, or in other words, every well or bored hole is merely a sort of manometric or piézometric pipe”). And further on HEYMANN writes „Both investigators also come to the conclusion that the *discrepancy* between the water-levels in the gauge-pipes and the *actual water-levels* (the present writer's italics) produced by the capillary action will be the more considerable as the distance from the phreatic surface to the mowing-field is smaller.”

To show clearly that this interpretation is incorrect and what explanation must be advanced in its stead, it will be necessary first to realise the condition in which non-artesian ground-water is.

Out of a zone H, fig. 3, in which the ground-water is under hydrostatic, or more generally speaking under hydraulic pressure, the water rises by capillary action in the capillary cellular system to a height h , the surface tension in the menisci which form the upper limit of this capillary zone C forming an equilibrium with the gravitation, i.e. the weight of the liquid columns with a height h . In this zone, called by Dr. J. VERSLUYS¹⁾ „the capillary zone in the narrow sense”, there is thus a pressure smaller than the atmospheric pressure, i.e., a negative pressure. Below this is the water, as has been said, under hydrostatic, i.e. a positive pressure, and between the two is situated the boundary surface, in which there is zero pressure, and which is known in scientific terminology as the phreatic surface. This is the surface which corresponds to the level of ground-water, and with which the water in a hole that has been dug or in a stand-pipe agrees, except when it is also under artesian conditions.

¹⁾ Capillaire verschijnselen in den bodem (Capillary phenomena in the soil).

For our present purpose we will assume that initially there is only air in the soil above the capillary zone C. Now if rain falls over an area of any

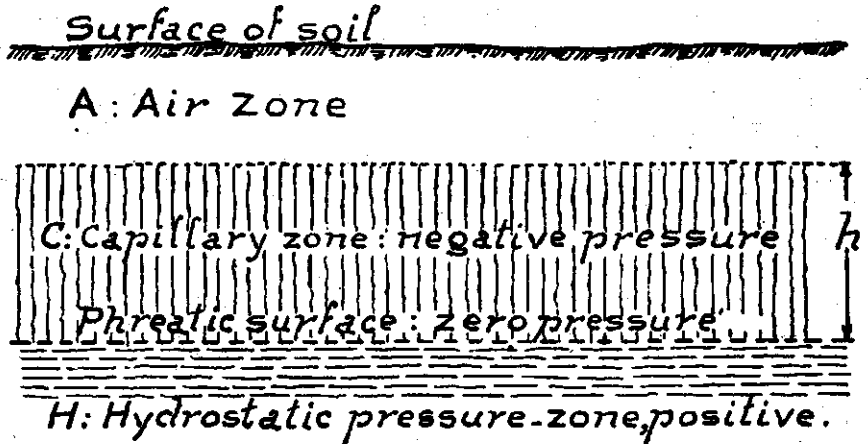


Fig. 3.

importance and is sucked into the soil by capillary action, then a heightened air-pressure is produced in that zone, say equal to h_1 water pressure (more than the atmosphere pressure). It will be obvious that the state of equilibrium between the water-lid and the phreatic surface is at that same moment destroyed, seeing that the surface tension in the menisci now has to form an equilibrium with a pressure above it equal to h_1 water-pressure and the weight below it of the column of liquid of the capillary zone. There will thus again be equilibrium when both together are equal to the capillary rise h of the kind of soil. This means that the phreatic surface rises through a height h_1 ; at the same time a *static* change occurs, i.e. a change which is not accompanied by any displacement of water. From this moment onward the water from the zone below the risen phreatic surface penetrates into the gauge-pipes until the water-level in them is on a level with the phreatic surface. These are the fluctuations which are shown by the recording level-scales at Lisse. We thus really have to deal in this case with groundwater-levels.

But how then, it will be asked, did MEZGER, and with him HEYMANN, reach the view here challenged?

In his article on the subject in „Water en Gas”, the latter’s test is described with an explanatory illustration. A cylinder filled with soil is to a small height filled with water which is intended to take the place of the phreatic water in the soil. A gauge-pipe is connected hydrostatically with this phreatic water by means of one end which is bent horizontally. At the top a manometer filled with water is inserted in the soil, its lower end reaching above the capillary rise of the kind of soil. When rain falls on the soil surface, the pressure under which the air under the water-lid comes to be is read off on the manometer, and at the same time the water is seen to rise in

the gauge-pipe. With this arrangement HEYMANN has imitated approximately the hydrological state of the soil — which, as will be seen later, is not the case with MEZGER — but with this apparatus, nevertheless, only the heightened air-pressure above the capillary zone has been shown, and not where the phreatic surface is to be found. This surface is shown in the sketch, but this is based not on observation but on a premiss. The position of the phreatic surface is to be found. This surface is shown in the sketch, but this is based not on observation but on a premiss. The position of the phreatic surface, which forms the boundary between a negative and a positive pressure-zone, is not directly observable and can only be seen by a free water-surface in a communicating tube. So long as there is a *negative* pressure-zone above the phreatic surface it is of course impossible to speak of a fluid under pressure. And as the surface-tension which makes the water penetrate into the soil, cannot cause an excess of pressure in the air-zone beneath it that is greater than the capillary rise of the particular kind of soil, i.e. since h_1 can at the most be equal to h , the fluid cannot, owing to the capillary penetration of water, come to be under pressure, as supposed by MEZGER and HEYMANN.

MEZGER's test, described on p. 348 et seq. of the above-mentioned number of „Der Kulturtechniker”, is so arranged that the error is more striking than in that of HEYMANN. MEZGER filled his cylinder:

- to a height of 25 cm with coarse gravel,
- from 25 to 30 cm with fine gravel,
- from 30 to 36 cm with coarse sand,
- from 36 to 118 cm with quartz sand.

The bottom of this cylinder was only filled so far as to reach to a point somewhat above the mouth of the gaugepipe, which, as in HEYMANN's test, was fixed on at the side. This is equivalent to saying that, in view of the fact that there is no capillary rise in coarse gravel, the water-surface in this layer of gravel is a *free watersurface*, but not a phreatic surface, such as occurs in the soil. After rain has fallen on the surface the compressed air begins to press upon this free water-surface, and then MEZGER sees in the rise of the water simultaneously in the gauge-pipe and in the manometer which is fitted on the opposite side of the cylinder, the confirmation of his opinion that both the phreatic level in the soil and this water-surface come to be under pressure owing to the penetration of rain-water.

From a note on p. 346, however, this writer — who, in the article already more than once mentioned, shows that he has not failed to take into account the capillary phenomena in „hanging” and „floating” water — is still unaware of the significance of the phreatic surface, which was first laid down in principle by VERSLUYS. For this note says: „Unter natürlichem Grundwasserstand ist hier im Gegensatz zu der in Brunnen oder Bohrlöchern beobachteten Spiegellage, der Brunnenwasserstand, durchweg der Stand des Grundwassers im *geschlossenen Erdreich* zu verstehen”. („By natural groundwater-level is here to be understood, not the water-surface observed in wells or borings, the wellwater-level, but the level of the ground-water in the unopened soil”).

The hydrological interpretation of the observations made at Lisse set forth above is confirmed by the observations of Dr. H. Bos in a hot-house at the Experimental Station for the Checking of Seeds at Wageningen. This hot-house is 25 metres wide and 50 metres long. About in the middle is a gauge-scale for the observation of the groundwater-level. The observations, noted once a day, which were published by Dr. Bos in the „Verslagen van landbouwkundige onderzoekingen der Rijkslandbouwproefstations” (Reports of agricultural investigations of the State Agricultural Experimental Stations) N^o. XXXII, 1927, naturally do not show a continuous connection between the rainfall outside the frame and the fluctuations of the groundwater level inside it, but Dr. Bos has nevertheless on more than one occasion personally noted such a connection. Here, therefore, we again see the groundwater-level, under a surface of 25 × 50 sq. mtrs, on which no rain falls and under which therefore no air is compressed, likewise rising and falling in consequence of rainfall, which, I think, may be taken amply to demonstrate the untenability of the hypothesis of the rising of the water in the gauge-pipes as a result of the pressure exerted on the phreatic surface.

It is obvious that the phenomena under consideration appear most distinctly in a sandy soil, and are almost or quite imperceptible in a heavy loam or clay soil. Of the soil in the experimental plot Dr. Bos writes: „It consists entirely of sand, somewhat more cohesive than that of the Veluwe itself; the upper layer has, owing to years of culture (as meadow, crop, and tobacco land), become strongly humous to a depth of from 60 tot 80 cm.”

It will further be evident that the fluctuations of the groundwater-level will be smaller according as the distance from the phreatic surface to the mowing-field is greater.

With regard to the divergent ratios which the rises of the groundwater level with respect to the rainfalls show in the graphs, the following is to be noted:

1. These ratios are greatest in the winter months. This is a result of the greater viscosity of a liquid with low temperatures, i.e. of the greater surface-tension, and thus also of the stronger capillary penetration.

2. They are in general greater with a slight rainfall, i.e. with increasing rainfall the groundwater-level rises to a smaller extent. The capillary penetration of the rainwater decreases according as the tension of the air increases, and ceases entirely immediately that pressure is equal to the capillary rise. The water then remains on the surface until air can escape from it. On close examination the matter is found to be a little different. In the first place the weight of the column of water already absorbed must be taken into account. Furthermore, as is shown by Dr. J. H. Engelhardt's article ¹⁾ in Soil Research, Vol. I (1929), N^o. 4, the pressure of the air will not always reach the same tension, since the capillary action only reaches its maximum when the water-lid has attained a thickness of 2 cm. These are, however,

¹⁾ Some contributions to the knowledge of capillary phenomena in connection with the heterogeneity of the soil. 1928.

details, which have merely been called attention to for the sake of completeness, but which are of secondary importance for an understanding of the essential question.

Meanwhile it will have become evident why the phenomena under consideration may be of such great practical importance. For when the phreatic surface rises to a comparatively great extent on the penetration of slight quantities of rain, then the plant-roots will be able to benefit by this, even if only for a short time, and it might be possible to ascertain whether, in bulbgrowing districts, where, according to the statements of cultivators, the reckless drawing of drinking-water from our dunes has appreciably lowered the level of the ground-water, favourable results might be obtained by means of artificial rainfall over a sufficiently large area. Cuttings such as deep trenches and ditches will in that case have to be prevented in the experimental fields in view of the escape of air.

The phenomena also throw a new light on Vogler's condensation theory, to which perhaps more practical importance will have to be attributed than has hitherto been done. This could be ascertained at the same time by means of observations of the moisture-content of the air at Lisse.
