

RIJKSPROEFSTATION VOOR ZAADCONTROLE WAGENINGEN.

De grondwaterstand op het proefveld voor Cultuur- contrôle te Wageningen van 1921—1927

DOOR

Dr. H. BOS.

(Ingezonden 13 Mei 1927).

In het *Landbouwkundig Tijdschrift* van 1924, blz. 54 en volgende, gaf ik eene beschrijving van eene eenvoudige peilschaal, door mij ontworpen, en aangebracht op het proefveld voor Cultuurcontrôle, ten einde een overzicht te krijgen over het verloop van den grondwaterstand gedurende de vegetatietijden der verschillende planten. En wel, omdat deze stand invloed zou kunnen hebben op den graad van ontwikkeling der karakteristieke raskenmerken, vooral wat de wortelgewassen betreft. In twijfelachtige gevallen moet hij bij echtheidsbeoordeeling als corrigeerende factor in rekening kunnen worden gebracht. De hiermede verkregen gegevens dienen dus alleen als middel, niet als zelfstandig doel. Maar misschien hebben ze toch ook als zoodanig eenige waarde, omdat er in deze richting nog zoo weinig onderzoek is gedaan.

Het gaat hier om den stand van het water, dat niet meer capillair tusschen of geabsorbeerd aan de aarddeeltjes wordt vastgehouden, maar als vrij water samenvloeit in de grootere of kleinere holten, en zich dus in een gegraven kuil tot een plasje verzamelt. Ik versta dit in het vervolg onder „grondwater”. Als de natuurlijke afvoer door den grond heen, niet kunstmatig (of door overstroming der lagere landen) wordt tegengehouden, stijgt het dus niet als een wel boven het omgevende water uit. Toch is het oppervlak niet constant; ook is het water gewoonlijk niet in rust, maar stroomt of sijpelt langzamer of sneller, al naar de helling en de doorlatendheid der ondergelegen aardlagen, evenals dat van een rivier, naar lager gelegen plaatsen. Het wordt steeds weer aangevuld door den zakkenden neerslag ter plaatse zelf en door navloeiing van uit hooger gelegen plaatsen over watertegenhoudende of bemoeilijkende lagen heen. De boven dit wateroppervlak gelegen aarde blijft tot op bepaalde hoogte (afhanke-

2034677

lijk van aard en structuur van den grond) door capillaire werking vochtig. Vaak sluiten deze vochtige lagen zonder overgang aan bij de hooger gelegene, die hun „hangend water” steeds aanvullen uit den plaatselijken neerslag en dan het overschot daarvan dus ook aan den grondwaterstroom kunnen afgeven. In droge jaren kan tusschen hangwater en capillair opstijgingswater eene scheiding ontstaan; op doorlatende, hooger gelegen, gronden bestaat deze scheiding dikwijls als eene droge of althans drogere aardlaag. Vooral dan, wanneer de grondoppervlakte humusrijker is dan de daaronder gelegene en dus den karigen neerslag vasthoudt. Onder „grondwater” versta ik dus geen „welwater”; dit laatste stroomt van hooger gelegen plaatsen onder minder doorlatende lagen heen, en treedt door in deze aanwezige natuurlijke of aangebrachte openingen als bron of wel te voorschijn. Het is oorspronkelijk evenzeer van atmosferischen neerslag afkomstig, maar meestal van verder verwijderde plaatsen, waar het grondwater door plaatselijke afbreking der tegenhoudende laag kan doorzakken en zich met het reeds dieper aanwezige welwater vereenigen. Evenzeer kan ook het onder groteren druk staande welwater door dergelijke openingen het grondwater spijzigen. Het vormt dan als het ware een bron, welke onder de bodemoppervlakte blijft.

Bovenstaande uiteenzetting heeft echter slechts de waarde van een schema.

Over de onderaardsche waterbeweging bestaan nog weinig gegevens. En toch zijn deze van uitermate veel belang, in het bijzonder in dezen tijd, nu de Zuiderzeedemping en de plannen van Amsterdam t. o. van eventueel drinkwateraanvoer uit den Veluwe-bodem aan de orde zijn. Daarom meende ik, hoewel overigens leek op dit gebied, geen onnut werk te doen met de uitkomsten van mijn thans over 5½ jaar loopende grondwater-peilschaalwaarnemingen mede te deelen. Misschien vinden zij, die meer deskundig zijn, er iets in, wat hun dienen kan.

Het proefveld, waarvan de grondwaterdiepte wordt genoteerd, ligt op ongeveer een kwartier gaans ten Westen van de Veluwe-helling Wageningen—Bennekom, eigenlijk dus reeds in de Geldersche Vallei, ofschoon het nog flauw naar het Oosten afloopt. (De Oost—West loopende greppels voeren het water in Oostelijke richting af.) Het bestaat geheel uit zand, wat meer samenhangend dan dat van den Veluwerand zelf; de bovenlaag is door jarenlange cultuur (als wei-, bouw- en tabaksland) tot op eene diepte van 60 à 80 cm. sterk humeus geworden.

De Cultuurchef van dit proefveld, de Heer J. DE MINK, die dagelijks den grondwaterstand noteert, maakt van het verloop daarvan maandelijks eene grafische voorstelling, zoodat, mocht het noodig zijn, voor elk gewas de stand gedurende zijn groeiperiode met één oogopslag is te overzien. Dezen winter kwam hij op het denkbeeld, over het afgelopen jaar de maandgemiddelden van die waterstanden uit te rekenen en in teekening te brengen, zoodat over het heele jaar de drogere en nattere perioden van den grond te voorschijn traden. Daar mij dit belangrijk voorkwam, verzocht ik hem, deze methode ook toe

te passen op de aantekeningen van de voorafgaande jaren, van Juni 1921 af. Na dit bekende droge jaar is de grond immers slechts langzamerhand op verhaal gekomen; de grafiek zou dit duidelijk kunnen illustreeren, en in details nader aantonen. Als de horizontale bovenlijn dan de bodemoppervlakte beteekent, kon men meteen eene plastische voorstelling van de schommelingen, op $\frac{1}{10}$ van de ware grootte, krijgen, dus een zeer leesbaar overzicht. (Zie figg. 3, 4, 5.)

Dit plan kwam tot uitwerking. De maandgemiddelden werden uit de dagwaarnemingen opgemaakt, waarbij de Zondagsstand (die niet apart kan worden genoteerd, omdat er niemand op het terrein woont) werd gerekend halverwege tusschen den Zaterdag- en Maandagstand in te zijn, tenzij door plotselingen neerslag, alleen op den Zondag, het rationeeler was, dezen dag met den Zaterdag gelijk te stellen. Het instrument is opgesteld in een warenhuis, naar beide zijden ongeveer 12 M. van den open grond verwijderd. De neerslag ter plaatse heeft dus een korten tijd, maar stellig slechts enkele uren, noodig, om de peilschaal te bereiken. Plotselinge stijgingen, ten gevolge van gieten, welke trouwens slechts hoogstens een half etmaal aanhouden, worden uitgeschakeld; de dagen van gieten staan steeds genoteerd.

Met de aantekening was 1 Juni 1921 een aanvang gemaakt. Reeds toen was de waterstand laag; vervolgens stond van midden Juli tot in het begin van October de vlotter op den bodem van de peilbuis (1,5 M) en was de stand dus niet aan te geven; misschien was er geen eigenlijk vrij grondwater aanwezig. In den daarop volgenden winter steeg het nog niet tot 70 cm., daalde vervolgens weer, enz. Duidelijk blijkt verder jaarlijks de hoogste stand in den winter, meestal iets na, maar ook wel (1923) iets voor Nieuwjaar, terwijl de laagste in Juli of Augustus, een enkele maal in Juni of September, valt. Hoe het eerste, droge jaar nog nawerkte, blijkt in de grafiek (fig. 5) uit de tot in 1925 eerst ophoudende stijging van maximale en minimale standen. In de laatste dagen van 1925 en het begin van 1926 met zijne overstromingen (waardoor de afvoer werd stopgezet) steeg het tot 40 cm. beneden het bodemvlak, waarbij natuurlijk ook de bovenste laag wel doorweekt was, maar niet met vrij grondwater. In de maandelijksche omrekening worden dergelijke uitersten weggewerkt door de lagere standen van voorafgaande of volgende dagen. Februari 1926 biedt een geringer dagmaximum, maar het hoogere gemiddelde wordt hier veroorzaakt door een grooter aantal dagen van zeer hoogen stand.

In het algemeen blijkt stijging of daling van het grondwater onafhankelijk van den stand van den een half uur gaans verwijderden Rijn. Bij heftige overstromingen, zooals in 1925/26 of bij groote droogte moge er eenig verband bestaan (vanzelfsprekend bij doorbraken of overspoelingen van waterkeeringen en door het opdringen van het rivierwater in de waterlossingen), — als geringere schommelingen samengaan, lijken zij meestal meer als gevolgen van dezelfde omstandigheden op te treden dan onderling als oorzaak en gevolg. Ook de invloed op het welwater is van de zijde van den Rijn nul of althans niet

groot; ofschoon de bronnen van de Wageningsche Waterleiding 20—25 M. beneden het Rijn-oppervlak liggen, dat slechts enkele honderden Meters er van is verwijderd, veranderen kwaliteit en waarschijnlijk kwantiteit van het bronwater niet met den Rijnstand. Iets anders is het, dat in tijden van groote droogte over aanzienlijke uitgestrektheid ook de wellen gelijk met den rivierstand slinken. Beide moeten het ten slotte van den neerslag hebben, maar zullen eveneens meestal niet in een direct verband van oorzaak en gevolg staan.

De hoogte van het grondwater is afhankelijk van aanvoer en verlies. De aanvoer zijnerzijds weer van den neerslag, zoowel van de plaatselijke als van dien in hooger gelegen streken, en, voor zoover dezen laatsten betreft, vooral van den loop der ondergrondse stroomingen. De afvoer evenzeer van dezen loop, en verder van het waterverbruik ten gevolge van de onmiddellijke verdamping en van de wateronttrekking door de plantenwortels.

Van al deze factoren blijft de richting der stroomingen op een bepaald punt althans binnen zekere hoogte-grenzen van den waterstand allicht vrij gelijk, is stellig niet aan periodieke wisselingen onderhevig. De neerslaghoeveelheden wisselen in onze streken wel zoodanig, dat men van gemiddeld regenrijkere en regenarmere maanden kan spreken, maar zij vertoonen geen periodiciteit, als in de tropen; men zie bijv. de grafieken, waarop de regenval is voorgesteld. Uit deze grafieken blijkt echter wel de regelmatige zomer- en winterschommeling van den grondwaterstand. Deze kan derhalve alleen aan de wisseling in het *waterverlies* worden toegeschreven. Dat de laagste stand zich, althans in een grondstuk van ligging, bodemkarakter en gebruik als mijn proefveld, in Juli en Augustus voordoet, is begrijpelijk: de directe verdamping aan het bodemoppervlak kan dan wegens de hoogere temperatuur nog zeer groot zijn, en de meeste cultuurplanten hebben hun maximale loof- en worteluitbreiding, dus ook haar sterkste uitputtingsvermogen bereikt ¹⁾, zoodat het neerslagswater reeds in de bovenste lagen sterk zal worden aangesproken en het grondwater er minder door wordt gevoed. Bij cultuurplanten met diepgaande wortels zal dit laatste integendeel zelf nog belangrijke hoeveelheden moeten afstaan. Op overeenkomstige manier leiden deze overwegingen tot het begrijpen van de maximumstanden in het midden van den winter. Afgezien nog van de mogelijkheid van een bevroren of door sneeuw bedekten bodem, wordt reeds door lagere temperatuur en geringeren dagduur het waterverlies aan de oppervlakte beperkt, evenals door het ontbreken van loof- en wortelmassa's ²⁾

Het lag voor de hand, ook den invloed van de neerslagshoeveelheden op den grondwaterstand na te gaan. Deze worden niet op het proefveld zelf opgenomen, maar wel bij het natuurkundig laboratorium van Prof. Dr. D. VAN GULIK, op een afstand van ruim een K.M.

1) Het is de vraag, in hoeverre een streek van graanlanden met navrucht hierin zwakkere schommelingen zal aanwijzen, of eene andere periodiciteitsverdeling, omdat de sterkst puttende werking der wortels in andere tijden valt.

2) In dit opzicht kan weiland of met wintergranen bedekte bodem verschil maken met kalen akkergrond.

hemelsbreedte; men mag dus deze gegevens met niet al te groote kans op fouten tot vergelijking gebruiken. Zij zijn op de grafiek door respectieve ordinaten onder de waterstandslijn aangeduid in ware millimeter-grootte, geven dus ook weer eene plastische voorstelling.

De invloed van dien regenval op den grondwaterstand is maar niet zoo af te lezen, omdat de laatste ook van andere factoren van winst en verlies afhangt, welke de besproken jaarlijksche schommelingen teweeg brengen. Ware, met inachtneming van gemiddelden regelval en temperatuurveranderingen een lijn van deze schommelingen als gemiddelde te ontwerpen ¹⁾, dan zouden de afwijkingen van deze lijn in bepaalde jaren op overschotten en tekortkomingen van deze twee laatste factoren zijn terug te brengen. De grafische voorstelling van deze afwijkingen in een zeker jaar (dus een vlakker lijn) zou dan kunnen worden vergeleken met de afwijkingen van de twee factoren: neerslag- en verdampingsgrootte (de laatste slechts te schatten naar de temperaturen, ev. vochtigheidstoestanden) ²⁾.

Van deze twee factoren heeft op korten termijn de neerslag den grootsten invloed, als zijnde de in intensiteit sterkst afwisselende. Minder als maandgemiddelden van waterstand en regentotalen, dan als dagstanden en dagtotalen vergelijkbaar, is er kans, dien invloed te benaderen. Te dien einde heb ik van een paar korte perioden met plotselingen neerslag den dagelijkschen regenval met de grondwaterstandverandering vergeleken.

Ten eerste: 11 Juli—9 Augustus 1923 (fig. 3). Het begin van Juli was heet en droog; de van 19 Juni af steeds dalende waterstand was op 15 Juli tot 129 cm. teruggebracht. Op 15 Juli 's middags bracht een geweldig, over het geheele land uitbarstend onweer 23 mm. regenval; stijging van het grondwater met 5 cm. was het direct gevolg. De beide volgende dagen brachten echter, zonder regenval, nog eene stijging van 10 cm. Uit den aard van de bui, een plasregen, waarvan het water voor een groot deel door greppels wegvloeide, kon, den bodemaard in aanmerking genomen, deze laatste dm. alleen veroorzaakt zijn door water, dat als grondstroom van hooger gelegen plaatsen werd aangevoerd; daar deze twee volgende dagen plaatselijk slechts een paar mm. directen neerslag gaven. Desgelijks gaven de vrij groote neerslagen van 24 en 25, en de nog weer grootere van 29 Juli en 1 Augustus op dezelfde wijze nà hun directen invloed eene voortgezette stijging, die enkele dagen aanhield. Telkens komt de

1) De gegevens van 5 à 6 jaren geven wel een algemeen denkbeeld omtrent den loop van deze lijn, maar zijn absoluut onvoldoende voor de opstellen van een gemiddelde. Bovendien overwegen in deze jaren een paar met abnormaal geringen neerslag, waardoor de betrouwbaarheid nog extra zou verminderen.

2) Stel, dat zulk eene jaarlijksche schommeling werd uitgedrukt door de gemiddelde maandcijfers *A*, en dat in een bepaald jaar die cijfers *B* bedroegen, dan zou de lijn, door *C* voorgesteld, met die van den regenval en van de temperatuur moeten worden vergeleken, om een verband te vinden.

A. 50, 55, 58, 65, 70, 80, 95, 110, 100, 80, 65, 52.

B. 48, 50, 55, 70, 77, 90, 110, 110, 90, 85, 62, 55.

C. +2, +5, +3, -5, -7, -10, -15, 0, +10, -5, +3, -3.

top van de grondwaterstijging een paar dagen achter den grooten regenval aan; bij (plaatselijk) gieten in het warenhuis, dus dicht bij de peilschaal is echter zulk een hoogste stand in enkele uren bereikt. Deze voortgezette stijging moet dus het gevolg zijn van den aanvoer van in hogere streken gevallen water. Dat die toevoer niet nog langer aanhield, zal gekomen zijn, doordat de overal uitgedroogde grond in zijn bovenlaag veel water vasthield, dus betrekkelijk weinig aan den grondstroom afstond, en de bui ook niet lang duurde.

Een tweede voorbeeld is October 1926 (fig. 4). Van 6 tot 16 October stijgt de peilschaal geleidelijk, zich daarbij niet storende aan een paar regenlooze dagen in die tijdsruimte. De regenlooze dagen 11 en 14 geven geen daling, maar integendeel nog stijging, dus veroorzaakt door aangevoerd water. De stijging op 16 houdt waarschijnlijk verband met ter plaatse zelf gevallen water, die op 26 is daarvoor te sterk en te lang aanhoudend.

Zoo bleef ook gedurende 4 dagen, 19 t/m 24 Maart 1927 de hoogte onveranderd op 74 cm., terwijl er geen regen was gevallen. ¹⁾

Zulke dagstatistieken maken dus waarschijnlijk, dat de grondwaterstand op het proefveld nog enkele dagen stijgt ten gevolge van aangevoerd water, nadat de plaatselijke neerslag ook op haar beurt reeds weggevloeid moet zijn uit den bodem. De invloed van neerslag in hogere streken zal soms op geringeren afstand daarvan duidelijker spreken dan op grooteren, omdat een langere stroombodem meer water absorbeert of naar beneden doorlaat en dus den stroom kan verzwakken of zelfs doen doodloopen, vooral na eene voorafgaande droge periode. Anderzijds, wanneer de peilschaal in een hoofdbedding is geplaatst, is bij grootere stroomlengte de kans op aanzienlijker aanvoer door bijvloeiden, ook weer grooter.

De boven beschreven „nawerking” van den regenval op den waterstand wordt minder sterkend, zoodra de grafiek betrekking heeft op maandelijksche gemiddelden en totalen. Toch zal nog wel blijken, dat na langdurige droogte-perioden het water der hogere streken langeren tijd aldaar voor eigen gebruik zal worden benut dan anders, en de lagere landen minder ten goede komen. Is dan de hoeveelheid neerslag nog slechts gering, dan zullen de lager gelegen streken, die aan hun plaatselijken neerslag plus een kwantum toestroomend grondwater gewend waren (en waarop de culturen waren ingericht) het meer ontgelden dan de hogere, die voor hun doen allicht water genoeg krijgen en in hun bovenlagen vasthouden. Hoe weinig na het droge jaar 1921 de grondwaterstroom nog aanvulde, ziet men zelfs aan de maandgrafiek van 1922, waar de daling van het grondwater reeds

1) Op 1 Juni, den dag van den stormramp in O. Gelderland, was des morgens 8 uur de stand 97 c.M.; na de sterke middagbui, om 4 uur, tot 92 c.M. gerezen. Deze stijging houdt echter grootendeels nog verband met een in de voormiddaguren reeds voorafgegane bui. Te half zes 88 (gevolg van de middagbui). Het water heeft dus in korten tijd de minstens 12 M. afstand naar de beschutte peilschaal in den grond afgelegd. De volgende dag 7 uur 's morgens 73, half zes 's avonds 72. Deze laatste stijging (88 — 72 = 16 c.M.) kan moeilijk het gevolg zijn alleen van het plaatselijk gevallen water, dat in de 2 buien 33 m.M. bedroeg, en waarvan het grootste deel boven de aarde door greppeltjes wegvloeide.

begint in Maart, terwijl de plaatselijke regenval nog gelijk bleef. Ook in 1923 volgen de daling van den waterstand in Februari, Maart en April en de stijging in Mei nog direct alleen den plaatselijken regenval. Vergelijk hiermee 1926, waar, na den grooten regenval van December 1925, deze afneemt, maar de waterstand nog 2 maanden door blijft stijgen en later de Mei-regenval door eene stijging in Juni wordt gevolgd. Voor deze feiten kan allicht het overschot van hoogerop gevallen water verantwoordelijk worden gesteld. In Januari 1926 werd door de overstroming der lagere landen een verdere afvoer van den grondwaterstroom bemoeilijkt, welke echter zelf nog steeds bleef aanvoeren. Eene eigenlijke *studie* van deze gevallen zou de uitwerking van de grafiek tot de dagelijksche perioden vereischen.

In het bovenstaande heb ik veronderstellingen geopperd, die stellig aan critiek onderhevig zullen zijn; men beschouwe ze dus ook alleen als werkhypothesen, die aan een later eventueel grooter aantal gegevens moeten worden getoetst. Wil men over de grondwaterstromen met meer zekerheid kunnen oordeelen, dan dient dit aantal gegevens nog zeer toe te nemen. Het gezegde in 't kort samengevat en aangevuld, luidt:

1. Het staat vast, dat er in den stand van het grondwater jaarlijksche schommelingen voorkomen, waarbij de winter de hoogste, de middenzomer de laagste standen aanwijst, onafhankelijk van de neerslagsverdeeling over het jaar. Deze schommeling staat in verband met het grootere waterverlies in de zomermaanden door verdamping.
2. Behalve deze groote schommeling, treedt (zie grafiek 5) ook nog al vaak na eenige daling in den nawinter, eene zwakkere stijging in de maanden April, Mei of Juni op, soms niet samenvallende met neerslagvermeerdering. In het voorjaar 1922, na het droge jaar, bleef deze stijging uit. Deze bocht in de waterstandslijn is niet zoo regelmatig als die sub 1 en niet op eene bekende oorzaak met waarschijnlijkheid terug te voeren.
3. Na langdurige strenge droogte stijgt de grondwaterstand tegelijk met of onmiddellijk na den regenval, maar daalt na het ophouden daarvan ook weer bijna dadelijk. Terwijl bij voldoende vochtgehalte van den grond in den omtrek, de stijging ook na het einde van den regenval, enkele dagen, misschien ook wel nog langeren tijd in de lagere streken, voortduurt, waarschijnlijk ten gevolge van aanvoer van boven.
4. Van het droge jaar 1921 af nemen tot den zomer 1926 zoowel zomer- als winteruitersten van den grondwaterstand in hoogte toe. De invloed van de droogte strekt zich dus nog over 4 volgende jaren uit.
5. Vermoedelijk is de stand van het grondwater, althans op eenigen afstand, slechts zwak afhankelijk van dien van den Rijn. (Dit vermoeden is door mij niet gecontroleerd met Rijnstandcijfers). Waar er desniettemin overeenkomst blijkt, is dit eerder aan

gelijken invloed van de omstandigheden toe te schrijven, tenzij door overstromingen de afvoer van het grondwater naar de rivier wordt stopgezet, of zelfs een tegenaanvoer plaats heeft. Wel is uitgemaakt, dat de stand van het welwater niet (of nauwelijks) met dien van den Rijn samenhangt.

6. De wisselingen van den waterstand in aan- of afvoerende slooten of boezems, zullen steeds aan die van het grondwater in den omtrek voorafgaan. Aan- en afvoer hebben immers veel minder wrijving en worden eventueel niet gehinderd door absorptie onderweg. Het phaseverschil tusschen de schommelingen in den grond en in de nabij gelegen boezems hangt af van den afstand en van de doorlatendheid van den grond. Zoo is het zelfs mogelijk, dat een schommelingsphase van den boezem in den bodem geheel verloopt en dus wordt overgesprongen.

Van het lengterichtingsverloop, zoowel als van de overdwarse en verticale uitbreiding der onderaardsche stroomingen, is weinig bekend, al zal dit weinige ook heel wat meer zijn dan Schrijver er van weet. Aan een paar van onze Geldersche beken is het in den grond verdwijnend gedeelte door verbinding der punten van verdwijning en wederverschijning met eenige zekerheid wel aan te geven. De beek, die onder den top van den Zijpenberg (Beekhuizen bij Velp) ontspringt, wordt na kort verloop onzichtbaar en komt weer voor den dag in het zgn. „Kleigat”, niet heel ver boven het Hotel Beekhuizen. Dat de lijn, die beide punten verbindt, ook de hoofdrichting van den ondergrondschen stroom is, blijkt uit het feit, dat vroeger over een kort gedeelte daarvan langs den grintweg de beek zich weer vertoonde, om opnieuw te verzinken. Iets dergelijks heeft plaats met oorsprong en voortzetting van de beek, die onder aan den Zilverberg (ten Zuiden van Wolfhezen) geboren wordt, maar het slechts tot een klein, langwerpige plasje brengt, weer ophoudt, en na een klein hiaat van enkele honderden meters tusschen Duno- en Valkeniersboschgebied langs het tegenwoordige „Hevea-dorp” naar het Zuiden stroomt. Een derde voorbeeld vinden wij in de beide oorsprongen der Wolfhezensche beek, dicht onder den spoordijk Arnhem—Ede, boven Hoog-Wolfhezen, welke misschien hun water danken aan dat van de wateren op de „Lichtenbeek” aan den Amsterdamschen Straatweg bij Arnhem, die uitmonden in een vijver zonder zichtbaren afloop. Hier is de afstand tot den nieuwen oorsprong al wat langer, en wordt het doortrekken van de richtingslijn wat meer problematisch.¹⁾ In deze gevallen zou misschien nog de onderlinge samenhang door het ingieten van fluoresceerende of kleurstoffen bevattende vloeistoffen zijn aan te toonen. Maar voor grondwaterstromen van grootere lengte, en die hun richting niet door een of meer bovenaardsche gedeelten als wellen manifesteren, gaat dat niet.

Toch zou het van belang zijn, ook uit een landbouwkundig oogpunt, om over de richting en den omvang der grondwaterstrooming beter

1) Deze drie voorbeelden slaan eigenlijk meer op welwater- dan grondwaterstromen, zij het dan ook op geringe diepte.

georiënteerd te worden, dus antwoord te kunnen krijgen op de vraag: waar komt het grondwater in een bepaald stuk land oorspronkelijk van daan, en in hoeverre kan dus bij droogte nog op geregelden toevoer worden gerekend.

Het grondwater, dat in de lagere streken ten Westen van de Veluwe op betrekkelijk geringe diepte onder de oppervlakte zich voortschuift, is allicht van den neerslag van de Neder-, misschien zelfs van de Hooge Veluwe afkomstig. Maar uit welke richting en van welken afstand komt de hoofdmassa? Misschien zou eene oriëntering daaromtrent kunnen worden afgeleid uit vergelijking van den regenval op de hoogere en grondwaterstijging in het lagere gedeelte. Tijden van algemeen regenval of droogte zijn daarvoor minder geschikt; de eerste niet, omdat het moeilijk wordt het effect van plaatselijk gevallen en van uit hoogere streken aangevoerd water uit elkaar te houden; de tweede hebben het bezwaar, dat de neerslag in den bovengrond wordt vastgehouden en dus geen waterstroom afgeeft. Maar er is, vooral in den zomer, kans genoeg, dat de neerslag over het Veluwaterrein uit zeer plaatselijke buien valt, dat bijv. Oosterbeek of Ede plasregens krijgen, en in Wageningen geen drop of hoogstens een stofregentje valt (bijv. niet zelden in 1921). Stel nu, dat het aangevoerde water van mijn proeftuin in hoofdzaak afkomstig is van de omgeving van Ede, dan zal bij een plasregen in die buurt (en niet *hier*) het grondwater na of gedurende bijv. twee dagen, daarvan het effect ondervinden. Maar vindt het zijn oorsprong in Apeldoorns omgeving, dan zal bij een bui aldaar deze tijd langer moeten duren of later moeten beginnen; blijft het effect geheel uit, dan kan het een argument zijn voor de stelling, dat wij geen grondwater meer uit die richting krijgen, 't zij omdat de stroom onderweg verloopt, 't zij, dat hij direct een anderen kant uitgaat. Een aantal regenmeters op hoogere en een aantal grondwatermeters (en regenmeters) op lagere punten, kunnen een samenhang zichtbaar maken. Grootere afstanden tusschen hoog en laag, zouden door plaatsing van een tusschengelegen watermeter moeten worden verdeeld, volgens een door den Heer DE MINCK geopperd denkbeeld. De Veluwe met haar grillig afgebroken leemlagen, waardoor plotseling een grondwaterstroom naar het welwater kan worden aangevoerd of het laatste den eersten spijzigt, kan in dit opzicht eigenaardige verrassingen geven.

Aan deskundigen op dit gebied worde overgelaten, na te gaan of zulk eene methode overweging verdient. Het kan best zijn, dat een leek, als schrijver dezes, bezwaren over het hoofd ziet, die de methode reeds van begin af tot onvruchtbaarheid doemen, — of met reeds verkregen wetenschap onbekend is, waardoor zij overbodig wordt. Daar echter de directe meting van den grondwaterstand en zijn verloop nog slechts zelden is ter hand genomen, meen ik, dat althans de kans op iets nieuws niet is uitgesloten, en heb daaruit den moed geput een denkbeeld ter verdere uitwerking te lanceeren.

Wageningen, Mei 1927.

Kurzer Auszug.

Schematisch kann man das sich im Boden ruhende und strömende Wasser unterscheiden in: 1. *Oberflächewasser*, herkömmlich von den örtlichen Niederschlägen; 2. *Grund- oder Bodenwasser*, dass die tieferen kleinen Räume zwischen den Erdkörnchen und -partien ausfüllt, beim Graben in das Grabloch zusammenfließt und sich stützt auf mehr oder weniger zurückhaltenden Bodenschichten; 3. *Quellwasser*, das unter einer undurchdringlichen Bodenschicht weiterirrt und oft unter Druck von Oben steht, von wo es her kam. Oft sind diese drei mehr weniger verbunden. N^o. 1 hat Neigung weiter in den Boden hinab zu sinken, bleibt aber ganz oder teilweise in den oberen Schichten hängen. N. 2 steigt kapillar empor und verbindet sich deshalb oft mit N^o. 1. N^o. 3 kann sich mit N^o. 2 verbinden, entweder durch Löcher in der abwehrenden Schicht, oder dadurch, dass diese nicht ganz undurchlässig ist.

Seit Juni 1921 habe ich im Boden meines Versuchsfeldes einen Wassermesser für das Bodenwasser eingraben lassen, dessen Stand täglich notiert wird. Ziel ist ursprünglich nur, am Ende Vegetationszeit eines Gewächses nachschlagen zu können, in wie weit der Wasserstand Einfluss auf Wachstum und Form hätte üben können. Nun aber jetzt Notierungen von $5\frac{1}{2}$ Jahren vorliegen, hat es sein Interesse die Schwankungen des Niveaus ans Licht zu bringen. Fig. 5 gibt davon ein Bild in der Zick-Zack linie, aus den Monatsmitteln konstruiert, ein Bild, das auch eine plastische Vorstellung gibt, auf $\frac{1}{10}$ reduziert, wenn man die Abszisse von 0 dm. sich als Bodenoberfläche denkt. Er geht daraus hervor, dass der höchste Stand immer im Winter, der tiefste im Hochsommer erreicht wird. Im Sommer 1921 stand der Schwimmer während ein Paar Monate ganz auf dem Boden des Rohres. Wie dieses trockne Jahr nachwirkte, sieht man an der bis 1925 noch immer fortgesetzten Steigung der Minima und Maxima.

Sowohl der Stand des Boden- als des tieferen Quellwassers scheint nicht (oder nur wenig?) von dem des ziemlich nahen Rheinflusses (2 à 3 K.M.) beeinflusst zu werden, obwohl in nassen, wie in extra trocknen Jahren beide durch übereinstimmende Ursachen einermaszen gleichen Schritt halten.

Der Stand des Bodenwassers hängt ab vom Zufuhr und vom Verlust. Zufuhr sowohl von Seiten der örtlichen Niederschläge als von den unterirdischen Strömungen aus höheren Regionen. Verlust durch Abströmung nach tieferen Stellen und durch Verdunstung, sowohl direkt an der Erdoberfläche als durch Verbrauch seitens der Vegetation. Von diesen Faktoren kann nur die Verdunstung die regelmässige Abwechselung von tieferen Sommer- und höheren Winterständen herbeiführen; die Niederschlagsmengen, welche ja auch zugleich die Ursachen der Strömungen sind, wechseln zwar ab, doch zeigen nicht diese regelmässigen Schwankungen.

Es lag aber auch auf der Hand den Einfluss der Niederschlagsmengen auf den Wasserstand nachzuspüren. Die Notizen in einer

Entfernung von etwa 1 K.M. dem Regenmesser entnommen, wurden dafür herbeigezogen. Es sind durch Ordinaten die monatlichen Totalen angedeutet in wahrer Höhe.

Man kann aber den direkten Einfluss der örtlichen Niederschläge schwierig vom indirekten, durch Zufuhr von Oben, unterscheiden, wenn man nur die monatlichen Totalen mit den Monatsdurchschnitten des Wasserstandes vergleicht, weil dabei die Effekte von örtlichem und entferntem Niederschlag in den Wasserstandszahlen vermischt werden. Besser ist dafür brauchbar der tägliche Gang beider. Aus den Graphiken zweier Monate (mit starker Abwechslung von Niederschlägen) ist ersichtlich, dass die Wassersteigung nach Aufhörung des Regens wenigstens noch ein Paar Tage anhält. Solch eine Steigung ist also nicht nur dem lokalen Niederschlag, sondern auch der Nachwirkung aus höhern Gegenden zuzuschreiben. In 1923 dauert diese Steigung nicht so lange wie in 1926, wo z.B. die niederschlaglosen Tage 11 und 14 Oktober ganz überbrückt werden. Aber in 1923 hatte der Boden noch nicht seine normale Feuchtigkeit zurück gewonnen, der Wasserstrom verlief sich eher, durch stärkere Absorption, unterwegs. Sogar an den Monatsstatistiken macht sich doch auch dieser Unterschied merkbar, sei es auch in mehr verwischter Form. In 1922 fängt schon in März das Bodenwasser dauernd zu zu fallen an, während die örtliche Niederschlagsmenge sich noch gleich bleibt. Auch in 1923 folgen der Fall von Februar, März und April und die Steigung in Mai noch ohne „Nachwirkung“ den örtlichen Regenmengen; in 1926 jedoch wirkt die Letzte auch noch nach, wenn auch die Regenmenge abnimmt; nach Dezember 1925 währt die Steigung noch zwei Monate, auch als die Ueberschwemmungen wieder zurück gelaufen waren. Die Bahnen der unterirdischen Wasserbewegung waren jetzt wieder ganz mit Wasser gesättigt.

Die Schwankungsphasen im Niveau der offenen Abfuhrkanäle oder Graben sind wegen des geringeren Widerstandes denen des Bodens immer voraus; die letzteren werden auch öfters verwischt, da sie weniger plötzlich auftreten.

Man weiss noch nicht viel von den unterirdischen Strömungen, von ihrer Richtung, ihrer horizontalen und vertikalen Ausbreitung, ihren Zusammenfließungen und Verzweigungen. Um der Kenntniss dieser Verhältnisse etwas näher zu treten, wäre es vielleicht nützlich, an höheren Orten, von welchen die Wasserströme ausgehen, Regenmesser auf zu stellen, in niedern Lagen Bodenwasserstandsmesser, und bei ausschliesslich örtlichen, heftigen Niederschlägen (wie im Sommer öfters auftreten) auf den Höhen, zu beobachten, mit welchen Steigungsarten des Bodenwassers diese korrespondieren.

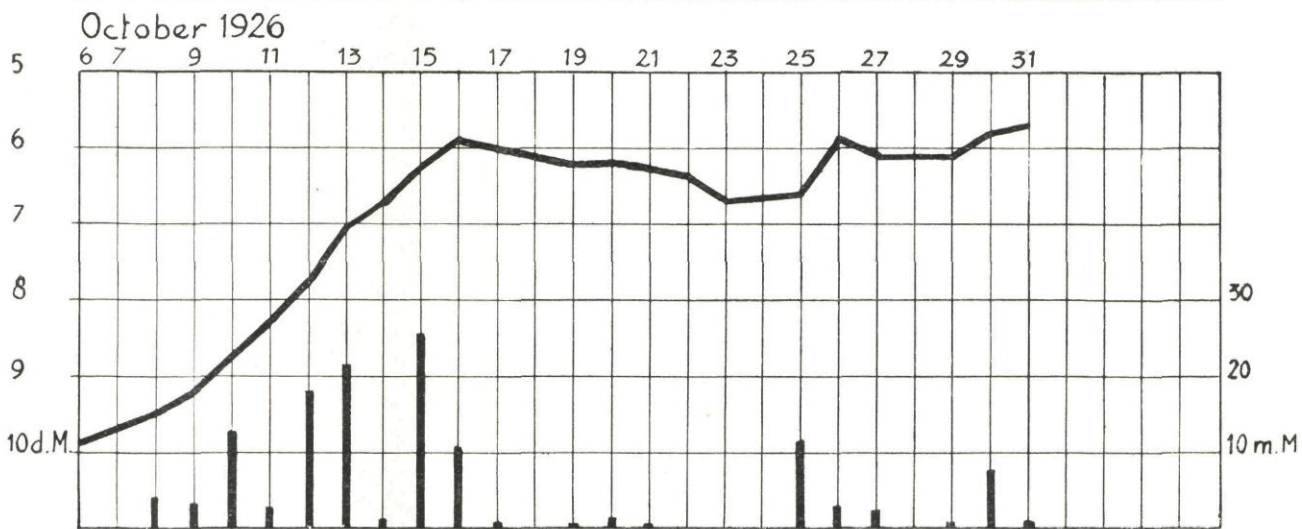
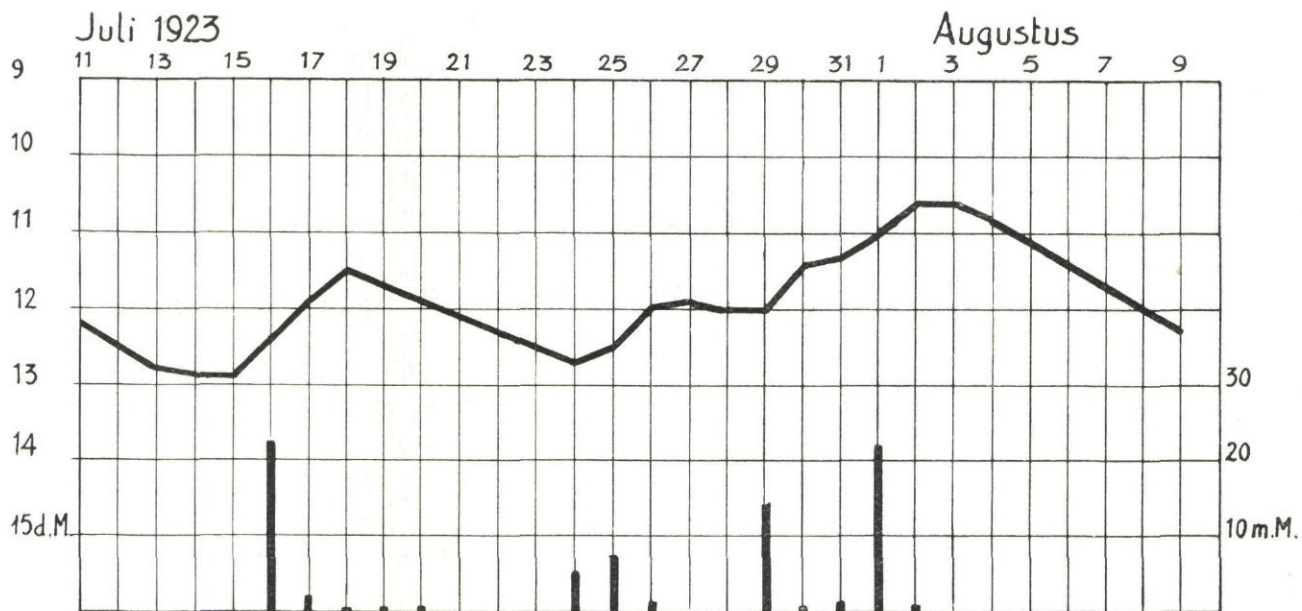


Fig. 3 en 4.

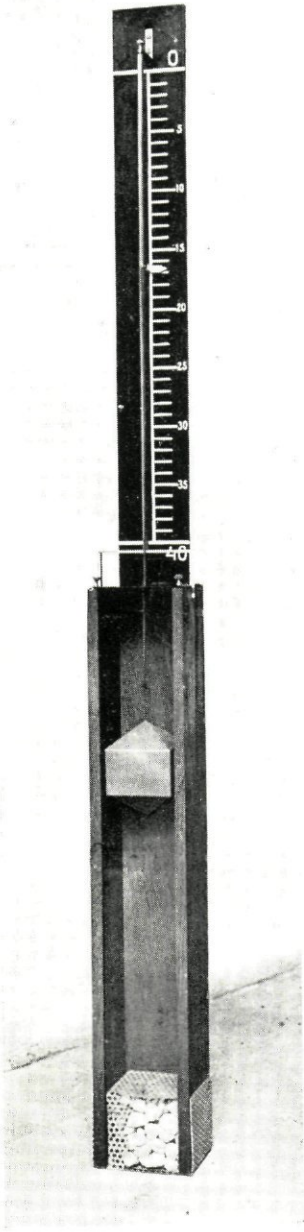


Fig. 1.

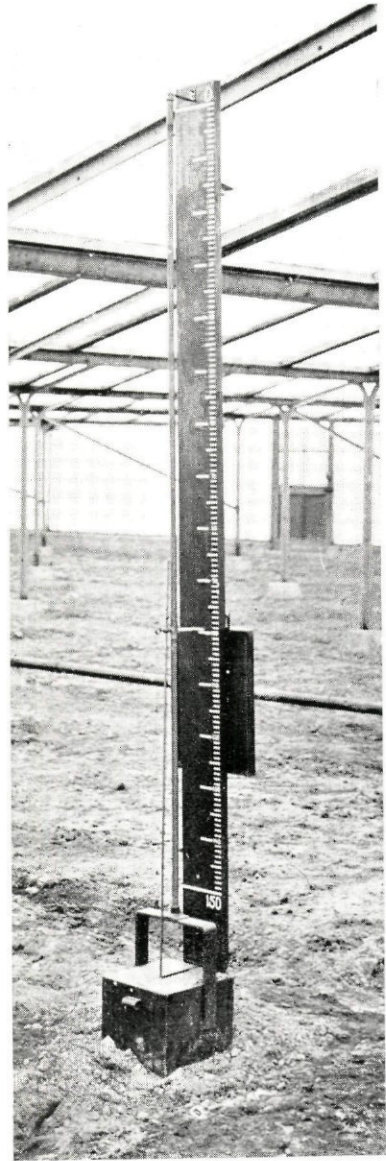
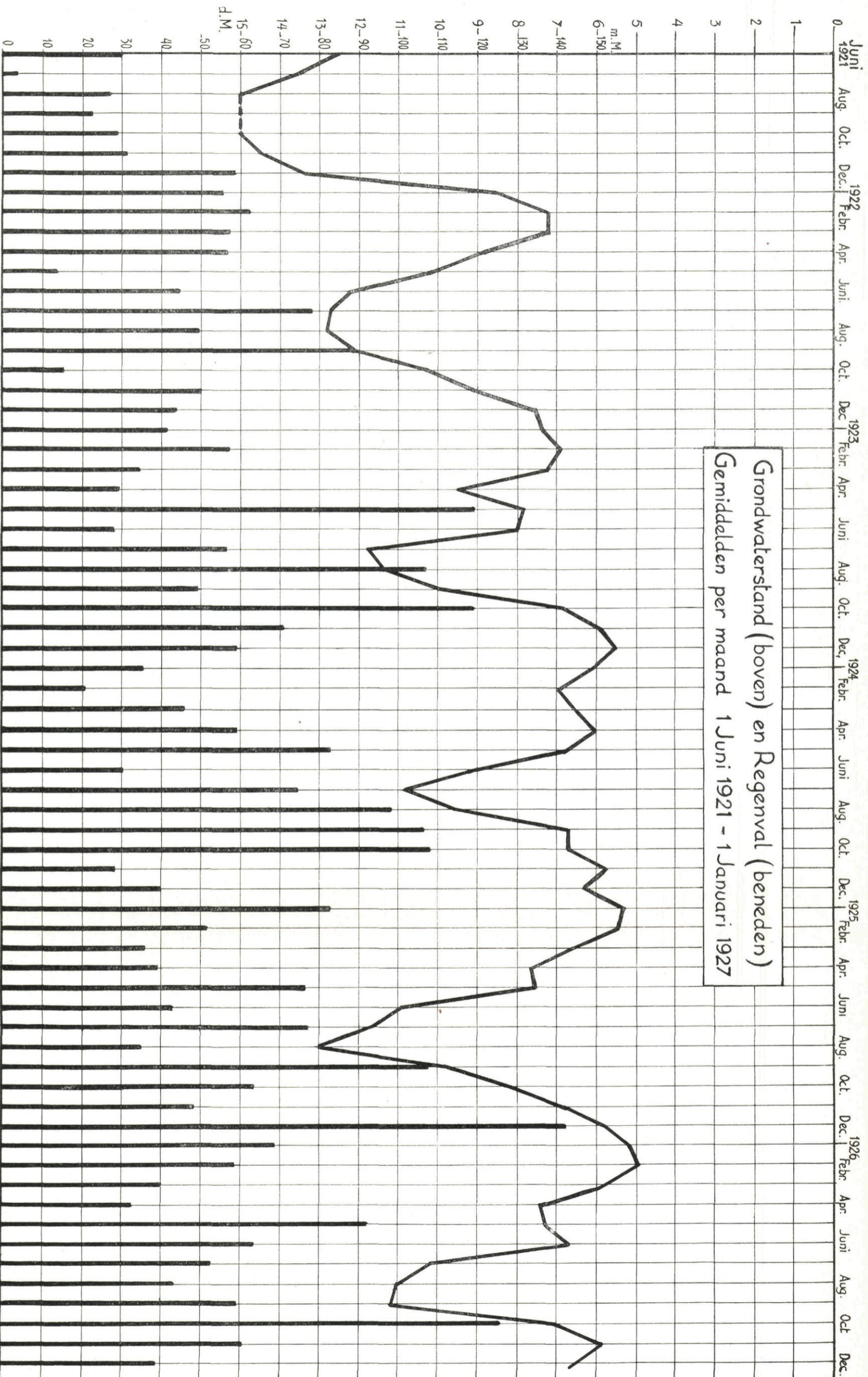


Fig. 2.

Figuurverklaring.

- Fig. 1. Model grondwaterstandsmeter, in verkorte afmetingen. De voorwand van den koker en een deel van het grintfilter weggelaten. (Bij het instrument zelf is de bodem van den vlotter niet vlak, maar piramidaal, gelijkvormig met den top).
- Fig. 2. Grondwaterstandsmeter, in het warenhuis voor „Cultuurcontrole” te Wageningen opgesteld.
- Fig. 3. Grondwaterstand en regenval van 11 Juli—9 Aug. '23. Op 15 Juli (Zondag) in den namiddag, na een hittegolf een geweldige onweer over groote uitgestrektheid, de regenhoeveelheid daarvan is op 16 Juli genoteerd.
- Fig. 4. Hetzelfde voor 6—31 Oct. '26. Het effect van den regenval houdt langer aan, en door het in October geringere verdampingsverlies, en doordat thans de hooger gelegen streken beter met water verzadigd waren dan in 1923 en dus meer grondwater naar de lagere lieten afstroomen.
- Fig. 5. Verloop van grondwaterstand en regenval te Wageningen van Juni '21 tot Januari '27, volgens maandgemiddelden. De stippellijn in '21 duidt aan, dat de vlotter in zijn laagst bereikbaren stand stond. Duidelijk is de periodieke afwisseling van zomer- en wintertoestand en de $3\frac{1}{2}$ jaar aanhoudende stijging van maxima en minima na het uitdrogende jaar 1921.
-



Grondwaterstand (boven) en Regenval (beneden)
 Gemiddelden per maand 1 Juni 1921 - 1 Januari 1927

Fig. 5.