

## BODEMKUNDIG INSTITUUT GRONINGEN.

BIJDRAGEN TOT DE KENNIS VAN EENIGE NATUURKUNDIGE  
GROOTHEDEN VAN DEN GROND. \*)

2. DE DOORLATENDHEID, DE MAXIMALE CAPILLAIRE STIJGHOOGTE, DE  
HOEVEELHEID HANGWATER, DE GROOTHEID  $\mu$  VAN PORCHET EN HET  
SPECIFIEK OPPELVAK. DE METHODEN TER BEPALING VAN DEZE GROOTHEDEN  
EN HUN ONDEBLING VERBAND,

DOOR

S. B. HOOGHOUDT.

(Ingezonden 5 Februari 1934).

## HOOFDSTUK I.

## INLEIDING.

Overziet men de grondsoorten, zooals deze in ons land voorkomen en voor ons van belang zijn, dan kan men deze, — wat hun structuur in natuurlijke toestand betreft —, in twee groote groepen verdeelen. Tot de eene groep behooren dan die gronden (in 't vervolg gronden van de eerste soort genoemd), die een structuurlooze ligging — afgezien van de bouwvoor — hebben of althans zeer sterk benaderen. Tot de tweede groep zijn dan die gronden (in 't vervolg gronden van de tweede soort genoemd) te rekenen, die wel in hun natuurlijke ligging een bepaalde structuur bezitten; deze laatste kan dan in hoofdzaak macro (scheuren, wortelgangen) of in hoofdzaak micro (voorkomen van secundaire korrels) zijn.

Tot de eerste groep behooren in 't algemeen de zandgronden en tot de tweede groep de zavel- en kleigronden, waarbij natuurlijk overgangen tusschen beide groepen bestaan. Zeer dichte kleigronden, (z.g. knikgronden en misschien ook rivierkleigronden) kunnen mogelijkerwijze bijv. reeds sterk tot de eerste groep naderen en omgekeerd zandgronden met zeer veel humus tot de tweede groep.

Bezien we nu de mogelijkheid van het verrichten van onderzoekingen van meer, wat men noemt, physischen aard, dan zal het toch duidelijk zijn, dat bepalingen van z.g. physische constanten van den grond (bijv. doorlatendheid, maximale capillaire stijghoogte enz.) — voor zoover ze sterk van den structuur

\*) De eerste bijdrage, handelende over de doorlatendheid van den grond voor water, het volumegewicht van den grond en de luchtcapaciteit van den grond volgens КОРЕЦКЫ, van de hand van Dr. D. J. HISSINK en Dr. S. B. HOOGHOUDT, is opgenomen in de *Verlagen van Landbouwkundige Onderzoekingen*, n°. 37 B, blz. 101—190.

van den grond afhangen — in het laboratorium met het doel deze later op den grond in zijn natuurlijke ligging toe te passen, alleen zin hebben voor die gronden, die ook in hun natuurlijke ligging een éénkorrelstructuur bezitten. In het laboratorium is men immers — ter wille van de reproduceerbaarheid en andere factoren — vrijwel steeds genoodzaakt bij de bepalingen de gronden in den éénkorrelstructuur te brengen. Ook, wanneer dat niet gedaan wordt en den grond een van de éénkorrelstructuur afwijkende structuur gegeven wordt, kunnen de in dezen grond bepaalde fysieke constanten toch niet op de grond in zijn natuurlijke ligging worden toegepast, daar het verband tusschen de structuur van den grond bij de bepalingen in het laboratorium en de structuur van den grond in zijn natuurlijke ligging onbekend is. Voor gronden, die ook in de natuur een éénkorrelstructuur bezitten of dit voldoende benaderen is dit geheel anders. De ligging van de deeltjes wordt dan voor de verschillende constanten in voldoende mate vastgelegd door het volumegewicht of, wat hetzelfde is, door het porienvolume. Fysieke constanten, in dergelijke gronden in het laboratorium bepaald, kunnen nu omgerekend worden op de omstandigheden, zooals die bij de betreffende gronden in de natuur voorkomen. Noodzakelijk is daarbij voor iedere constante te weten, hoe deze met de factoren, die de natuurlijke omstandigheden beschrijven — zooals het porienvolume, de temperatuur, enz. — samenhangen, daar anders geen omrekening kan plaats vinden.

Ter voorkoming van een verkeerd begripen van het bovenstaande wordt er hierbij op attent gemaakt, dat het niet mijn bedoeling is te zeggen, dat ieder onderzoek ter bepaling van fysieke constanten in het laboratorium van gronden van de tweede soort minder gewenscht is. In de eerste plaats vallen immers die constanten er buiten, die onafhankelijk of voldoende onafhankelijk van de structuur zijn, terwijl onderzoekingen van constanten, waarbij deze afhankelijkheid wel bestaat van groot belang kunnen zijn voor de bestudeering van het formulair verband met de verschillende factoren, die deze constanten beheerschen. Zoo kunnen bijv. genoemd worden een doorlatendheidsbepaling voor water van een Elstraer kleigrond door ZUNKER (1) en een doorlatendheidsbepaling voor lucht van een grond in kruimelstructuur door KOZENY (2). *De verkregen constanten in de betreffende gronden kan men echter niet omrekenen op de structuur van deze gronden in hun natuurlijke ligging*, waarop ook KOZENY verschillende keeren de nadruk heeft gelegd (zie bijv. de onder noot 2 genoemde publicatie). Bij deze gronden van de tweede soort moeten de betreffende constanten ter plaatse worden bepaald. Verschillende methoden daartoe zijn door mij genoemd in een verslag eener in December 1931 gemaakte studiereis naar Breslau, Praag en Zurich (3).

Aan den anderen kant moet bij de toepassing van op het laboratorium

bepaalde constanten voor gronden die ook in hunne natuurlijke ligging een éénkorrelstructuur bezitten, wel bedacht worden, dat ook nu verschillende onderzoekingen ter plaatse onontbeerlijk zullen blijven, met name een studie van het profiel voor de bestudeering van de heterogeniteit (ook vooral in horizontale richting), van het porienvolume, waarvoor in verschillende gevallen een bepaling van het vochtgehalte van de genomen grondmonsters voldoende is en van de temperatuur van het grondwater, waardoor de viscositeit en dergelijke constanten voldoende bepaald worden. Ook al zal bij het onzerzoek ter plaatse verschillende malen kunnen blijken, dat men beter doet de in het laboratorium bepaalde constanten — na omrekening op de omstandigheden, zooals die in den grond in zijn natuurlijke ligging voorkomen — toch niet zonder verdere contrôle te gebruiken (bijv. sterke heterogeniteit van den grond), zoo zullen deze constanten toch de afzonderlijke grondsoorten in het profiel zeer goed karakteriseeren. In vele andere gevallen zullen echter deze constanten ook rechtstreeks kunnen worden toegepast.

## HOOFDSTUK II.

### DE GEKOZEN CONSTANTEN EN HET BELANG VAN DE KENNIS DAARVAN AAN ENKELE VOORBEELDEN VERDUIDELIJKT.

Voor gronden van de eerste soort, die ook in hun natuurlijke ligging de éénkorrelstructuur bezitten — dus in 't algemeen voor zandgronden — zijn de doorlatendheid, de maximale capillaire stijghoogte (feitelijk dezelfde grootheid wordt ook wel „maximale negatieve capillariteitsdruk” (4) genoemd) en de grootheid  $\mu$  van PORCHET met de daarmede samenhangende hoeveelheid „hangwater”, zeker de belangrijkste constanten.

De doorlatendheid wordt gewoonlijk gedefinieerd door de doorlatendheidscoëfficiënt  $K$  uit de bekende wet van DUPUIT-DARCY:

$$Q = K \frac{h}{l} F = KIF, \quad (1)$$

waarin  $Q$  de hoeveelheid water aangeeft, die per tijdseenheid door een kolom grond van de doorsnede  $F$  en de lengte  $l$  is gestroomd, terwijl  $h$  het drukverschil aan de uiteinden van de kolom grond voorstelt, uitgedrukt in de lengte van een kolom water.

Onder

$$I = \frac{h}{l}, \quad (2)$$

wordt het verval verstaan (zooals we later zullen zien is deze definitie onvolledig).

Afgezien van de bijvoeging „maximale” dient men onder de stijghoogte te verstaan de afstand tusschen het capillair en het phreatisch oppervlak (dus met de dimensie lengte ( $l$ )) en onder den negatieven capillariteitsdruk, den

druk van de menisci in de capillairen, uitgedrukt in dynes/cm<sup>2</sup> en met de dimensie's van een druk ( $m l^{-1} t^2$ ). In Nederland geeft men dezen druk echter meestal aan in grammen (technische stelsel) en verstaat men er ook hier de lengte van een kolom water onder, die door de menisci kan worden gedragen. Daar de dichtheid van het water gelijk gesteld kan worden aan 1.—krijgt laatstgenoemde grootheid weer practisch de dimensie van lengte ( $l$ ). Om verwarring te voorkomen lijkt het mij gewenscht iedere grootheid de juiste dimensie's te geven en in 't algemeen de naam „capillaire stijghoogte” te gebruiken, daar meestal toch de *lengte* of beter gezegd een hoogteverschil wordt bedoeld.

Onder de constante  $\mu$  van PORCHET (5) is te verstaan het volume-percentage van den grond, waaruit het water bij daling van het capillair oppervlak (6) is gevloeid. Onder hangwater ( $W_{ha}$ ) de resteerende hoeveelheid water, uitgedrukt in grammen water per 100 gram droge stof of in volume-procenten. In het laatste geval is blijkbaar (bij volkomen verzadiging):

$$P = \mu + W_{ha}, \quad (3)$$

waarin dus P het porienvolume voorstelt.

Het lijkt mij onnoodig hier nog eens het belang van goede, betrouwbare doorlatendheidsbepalingen aan te toonen. In haast iedere publicatie op dit terrein wordt de wenschelijkheid daarvan betoogd. Ook het belang van de bepaling van de maximale capillaire stijghoogte is door verschillende onderzoekers naar voren gebracht. Zij geeft immers den afstand tusschen het phreatisch- en capillair-oppervlak aan en daarmee het gebied, waarin de grond geheel of vrijwel geheel verzadigd is met water. In de tweede plaats beteekent deze grootheid de diepte, waartoe het phreatisch oppervlak onder het maaiveld kan dalen, zonder dat het vochtgehalte practisch daalt. Is bijv. de maximale capillaire opstijging van een zandgrond 2 m en bevindt het phreatisch oppervlak zich op de hoogte van het maaiveld (de menisci in de capillairen zijn dus platte vlakken), dan zal bij daling van het phreatisch oppervlak tot juist 2 m onder het maaiveld het vochtgehalte in alle lagen van 0—200 cm onder het maaiveld constant zijn gebleven, wanneer alle capillairen althans een maximale stijghoogte van 2 m water hebben. Er is immers niets anders gebeurd, dan dat de menisci van platte vlakken overgegaan zijn tot halve bollen; zij zijn overigens niet van plaats veranderd. *Afgezien van de uiterst kleine hoeveelheid water, die daarbij moet verdwijnen* is geen waterverplaatsing opgetreden. Nu zijn in gronden — ook in zandgronden — de capillairen nooit alle precies even wijd; de wijdere capillairen met een kleinere maximale stijghoogte dan van 2 m zullen gedeeltelijk leegloopen en hierdoor zal in de bovenste laag het vochtgehalte wel iets dalen. Is echter de daling van het phreatisch oppervlak zoodanig, dat de stand

onder het maaiveld 10 à 20 % kleiner is dan de maximale capillaire stijghoogte, dan zal de daling van het vochtgehalte zeer klein zijn. De benodigde waterafvoer (door afstroming of door verdamping) om den grondwaterstand in een dergelijken zandgrond sterk te doen dalen is dan ook zeer gering en dit is dan ook de verklaring, waarom de grondwaterstand in een zandgrond in een droge periode zeer sterk daalt, wanneer hij bij het begin van de droge periode vrijwel gelijk was aan het maaiveld of althans zeer hoog was en natuurlijk geen invloed van sloten of greppels aanwezig is. Dit effect werd het eerst waargenomen bij grondwaterstandsmetingen in zandgronden van Afdeling I van den Wieringermeerpolder en is daarom het Wieringermeereffect genoemd. Ook is dit de verklaring van het feit, waarom in fijnere zandgronden met een groote maximale capillaire stijghoogte (bijv. van 3 m en meer) de grondwaterstand in den zomer en in den winter zoo sterk verschillend is, terwijl het vochtgehalte — indien de wateropname door de planten in drogere perioden althans niet te groot wordt — in alle lagen toch vrijwel gelijk blijft, zooals geregelde vochtbepalingen en andere proeven in gronden van een ontwateringsproefveld nabij Eindhoven hebben uitgewezen (7). Ook nu is immers de waterverplaatsing door de daling van den grondwaterstand op zich zelf zeer gering, daar de menisci een zeer lange kolom water kunnen dragen. Voor een onderzoek naar den invloed van wateronttrekking, hetzij door diepliggende kanalen, hetzij door waterleidingen, is bovenstaande kwestie bijv. ook van belang; waarop later nog even zal worden teruggekomen.

Uitvoerige onderzoekingen zijn door mij in 1931 met twee typen zandgronden, nl. met een Eindhovens zand (samenstelling ongeveer gelijk aan B 4174 — 81) en een zand uit den Wieringermeerpolder (B 5674), uitgevoerd, waardoor de juistheid van het bovenstaande bewezen werd. Deze onderzoekingen werden uitgevoerd in van onderen gesloten bussen van  $\pm$  15 cm diameter en 50 en 110 cm lengte. Zij werden met de zandgronden gevuld, waarbij water en zand gewogen werd, zoodat volumegewicht, poriegehalte en lucht- en watergehalte precies bekend waren. In het midden bevond zich telkens een geperforeerde koperen buis, die omwonden was met een soort grove linnenstof om het binnendringen van zandkorrels te voorkomen. De doorsnede van de koperen buis bedroeg soms 1,0, soms 3,0 cm. Tenslotte was het mogelijk deze cylindere met goed sluitende deksels af te sluiten, zoodat verdamping in dit geval was uitgesloten. Werd dit niet gedaan, dan kon door weging van de cylindere bij het begin en het eind van de proef nagegaan worden, hoeveel water verdampt was. De resultaten van deze onderzoekingen, die ter gelegener tijd met andere onderzoekingen gepubliceerd zullen worden, hebben het bovenmedegedeelde volkomen bevestigd. De hoeveelheid water, die verdampen moet om den grondwaterstand onder de op de vorige bladzijde ge-

noemde omstandigheden sterk te doen dalen, is uitermate gering, zooals zoowel uit het gewichtsverlies van de bussen als uit de bepalingen van het vochtgehalte in de verschillende lagen bleek. Een daling van het vochtgehalte in de bovenste laag kon niet of nauwelijks worden aangetoond. De hoeveelheid water, die, na een daling van den grondwaterstand over een groote lengte, bleek te zijn verdampt, was dan ook vrijwel gelijk aan den inhoud van de grondwaterstandsbuis tusschen den begin- en eindstand van den waterspiegel in deze buis. Het water, dat uit het bovenste laagje zand verdampt, wordt dus door capillaire opzuiging van water uit de grondwaterstandsbuis weer aangevuld. Hoe kleiner de diameter van deze buis is, hoe sneller de waterstand in de grondwaterstandsbuis daalt (dit werd ook experimenteel gevonden).

Zoodra echter de grondwaterstand in de grondwaterstandsbuis dieper onder het maaiveld staat dan de maximale capillaire stijghoogte bedragen kan, wordt de zaak geheel anders. De menisci, die tot op dit moment zich nog op de hoogte van het maaiveld bevinden, moeten nu in de capillairen dalen, daar zij een langere kolom water niet kunnen dragen. De capillairen zullen nu bij het maaiveld beginnen leeg te loopen; het capillair oppervlak begint te dalen en ongeveer evenveel als het phreatisch oppervlak. Ook het vochtgehalte begint in deze laag te dalen, zoodat nu voor een betrekkelijk kleine daling van den grondwaterspiegel (bijv. door verdamping of door afvoer van water) veel water moet worden verwijderd.

Bij een daling van het capillair oppervlak onder het maaiveld zal echter ook een bepaalde hoeveelheid water in den grond boven dat capillair oppervlak achterblijven. Deze hoeveelheid water, die dus in den grond is achtergebleven is de som van het hygroscopisch-, pendulair-, sejunctie-water, enz. en is het beste aan te geven met den naam „Hangwater” ( $W_{ha}$ ). Deze hoeveelheid hangwater is aan te geven in grammen water per 100 gram droge stof of beter nog in volumeprocenten. De ruimten, waaruit het water bij een daling van het preatisch- en daarmee van het capillair-oppervlak is verdwenen, wordt dus aangegeven door de constante  $\mu$  van PORCHET, waarvoor naar het begin van dit Hoofdstuk kan worden verwezen (zie ook vergelijking 3).

Alvorens nu met enkele voorbeelden nog op het belang van de kennis van de constanten  $\mu$  en  $W_{ha}$  te wijzen, mag nog de opmerking worden gemaakt, dat de kennis van de maximale stijghoogte van zandgronden ook daarom van belang is, omdat bij optredende regen na een droge periode het regenwater niet naar diepere lagen zal afzakken, zoolang de grondwaterstand minder diep onder het maaiveld staat als de maximale stijghoogte kan bedragen. Fijnere zandgronden als bijv. de z.g. „Eindhovensche” zullen daardoor veel minder hinder hebben van droge perioden, hetgeen door de ervaringen op deze gronden dan ook wordt bevestigd.

De hoeveelheid hangwater stelt ons nu in staat een indruk te krijgen van de maximale hoeveelheid water, welke in droge perioden in den grond achterblijft, wanneer de grondwaterstand dieper dan de maximale capillaire stijghoogte onder het maaiveld is gezonken. Deze hoeveelheid is voor fijnere zandgronden in 't algemeen grooter dan voor grovere zandgronden. Worden vochtbepalingen in verschillende lagen van den grond gedaan, dan stelt de hoeveelheid hangwater ons in staat na te gaan in hoeverre nog capillair verband aanwezig is en dus in hoeverre bijv. nog capillaire opstijging van water kan plaats vinden als aanvulling van het verdampde of door de planten opgenomen water. Is het vochtgehalte grooter dan  $W_{ha}$ , dan zijn nog des te meer capillairen gevuld, naarmate het vochtgehalte hooger is.

De constante  $\mu$  van PORCHET is van belang om een indruk te krijgen van de waterverplaatsing bij veranderenden grondwaterstand. Het zal duidelijk zijn dat voor tal van berekeningen de kennis van deze constante noodig is. Vaak neemt men — bij zandgronden althans — hiervoor het porievolumen aan, maar, zooals uit de later te beschrijven resultaten van  $W_{ha}$  bepalingen zal blijken, kunnen hierdoor groote fouten worden gemaakt.

Van bijzonder belang is deze constante voor het verkrijgen van een juist inzicht in de beteekenis van grondwaterstandswaarnemingen op ontwateringsproefvelden en vooral om een juist beeld te krijgen van de waarde en de foutengrenzen van grondwaterstandsmetingen, waarover door mij voor den Groningschen Landbouwkundigen Kring op 7 Maart 1932 een voordracht werd gehouden. Dit komt duidelijk naar voren, wanneer men bedenkt, dat vele belangrijke constanten met behulp van grondwaterstandsmetingen — in samenhang met andere waarnemingen — kunnen worden bepaald (zie bijv. de in noot 3 genoemde literatuur). Ook voor het verkrijgen van een inzicht in het gedrag van gronden, kunnen grondwaterstandsmetingen van zeer groot belang zijn, zooals op het ontwateringsproefveld B 45 in de Wieringermeer zeer duidelijk is gebleken.

Grondwaterstanden bepaalt men nu met behulp van in den grond gebrachte over een meer of minder groote lengte geperforeerde buizen, die van onderen, gewoonlijk zijn afgesloten en al dan niet voorzien zijn van een omwindsel van jute of een dergelijk materiaal om het binnendringen van gronddeeltjes te voorkomen. Het grondwater dringt deze buizen binnen tot een bepaalden stand (grondwaterstand) onder het maaiveld en men zegt nu gewoonlijk zonder meer, dat de waterstand in de buis overeenkomt met den stand van het phreatisch oppervlak (ook wel grondwaterspiegel genoemd) in den grond. Iets dergelijks neemt men aan, wanneer met soortgelijke buizen de druk van het water in een bepaalde laag (gewoonlijk een goed doorlatende zandlaag) bepaald wordt (eigenlijk zijn het dan piezometers of potentiaalimeters en geen

grondwaterstandsbuizen); ook dan zegt men gewoonlijk zonder meer dat de afstand van het wateroppervlak in de buis tot de betreffende laag de druk en daarmee de potentiaal van het water in deze laag aangeeft. Beperken we ons tot grondwaterstandsbuizen (van piezometers kunnen analoge opmerkingen gemaakt worden) en noemen we het mogelijke verschil in ligging tusschen het wateroppervlak in den grondwaterstandsbuis en het phreatisch oppervlak in den grond (die in dit geval verbonden zijn door een gebogen vlak, waarvan de verticale doorsnede een kromme is; in 't vervolg „hangkromme” genoemd), de *traagheid* van de gebruikte buizen, dan zal het duidelijk zijn, dat de traagheid van deze buizen (de geperforeerde buis + jute omkleedsel is zelf goed doorlatend voor water) in denzelfden grond des te grooter is, naarmate de doorsnede grooter is en *in verschillende gronden bij de zelfde buis*, naarmate de constante  $\mu$  van PORCHET en de doorlatendheid kleiner is. Dit wordt direct duidelijk, wanneer men bedenkt, dat het grondwater, dat vrij uit den grond in de buis kan vloeien, wanneer bijv. door een regenval het phreatisch niveau verhoogd wordt, afkomstig is uit den grond in den naasten omtrek van de buis. Hoe grooter dus de constante  $\mu$  is, des te grooter is de beschikbare hoeveelheid water in de naaste omgeving van de buis en des te grooter is deze hoeveelheid in verhouding tot het volume van de grondwaterstandsbuis, die door het water moet worden opgevuld en des te kleiner is dus de kans voor het optreden van een hangkromme van het phreatisch oppervlak in den grond naar het wateroppervlak in de buis. In dezelfde richting werkt een grootere doorlatendheid van den grond, terwijl de traagheid ook des te kleiner is, naarmate het geperforeerde gedeelte van de buis, dat onder den grondwaterspiegel ligt of kan komen te liggen, langer is.

Zet men in denzelfden grond (homogeniteit vooropgesteld) op voldoende afstand van elkaar, zoodat zij elkaar niet kunnen beïnvloeden, een reeks grondwaterstandsbuizen, die alleen hierin verschillen, dat de diameter steeds opklimt, dan zal — uitgaande van den kleinsten diameter (bijv. 0,75 à 1 cm) — de waterstand in de buizen tot een bepaalden diameter onder invloed van de elkaar opvolgende perioden van regen en droogte steeds vrijwel gelijk zijn; vanaf een bepaalden diameter worden de verschillen steeds grooter en tenslotte geeft de waterstand in de buis in 't geheel niet meer de ligging van den grondwaterspiegel in den grond aan, evenmin bijv. als deze stand gewoonlijk door den waterstand in een sloot of kanaal wordt aangegeven. In deze laatste gevallen treedt een hangkromme van het wateroppervlak in de buis naar het phreatisch oppervlak (grondwaterspiegel) in den grond op of omgekeerd. Welk type buis men in bepaalde gevallen kan en mag gebruiken moet voor ieder geval afzonderlijk bepaald worden. Een gewoonlijk voldoende indruk van de traagheid van de gebruikte buizen verkrijgt men door bij hooge water-



standen het water uit de buizen te pompen (of bij lage standen de buis vol water te gieten) en den tijd na te gaan die voor de weder instelling van den waterstand noodzakelijk is. Tegelijk vormen deze methoden een goede contrôle op eventueele verstopping. Uit het bovenstaande volgt, dat men in zeer dichte kleigronden (bijv. knikgronden) van voldoende dikte geen grondwaterstand bepalen kan met behulp van grondwaterstandsbuizen, daar ook bij den kleinsten diameter de hoeveelheid, in de naaste omgeving van de buis, beschikbaar water door de zeer kleine  $\mu$ -waarde altijd klein is ten opzichte van het volume van de grondwaterstandsbuis, terwijl bovendien de doorlatendheid van een dergelijken grond zeer klein is. Kan men in een dergelijken grond dus theoretisch misschien nog van een grondwaterstand spreken, zoo heeft men toch geen methode om deze experimenteel te bepalen. In het zelfde geval, ofschoon in veel mindere mate, verkeert men bij zandgronden, wanneer de grondwaterstand zich bevindt tusschen het maaiveld en een diepte onder het maaiveld, die gelijk is aan de maximale capillaire opstijging van den betreffenden zandgrond. Zooals reeds eerder is opgemerkt, is de waterverplaatsing bij een verandering van den grondwaterstand ook dan zeer klein; uit het feit echter, dat niet alle capillairen dezelfde diameter hebben en dus altijd nog wel enkele zullen leegloopen bij dalende grondwaterstanden, kan worden afgeleid, dat bij gebruik van buizen van een niet te grooten diameter, de traagheid nog wel te verwaarloozen zal zijn, hetgeen ook weer door de boven beschreven pompproeven moet worden uitgemaakt. Het zal duidelijk zijn, dat dit vraagstuk, vooral bij fijne zandgronden met een groote maximale capillaire stijghoogte van belang is.

Ook bij de studie van eventueele wateronttrekking door diep in het profiel insnijdende kanalen of door het aanleggen van pompstations voor waterleidingen zijn deze constanten van groot belang. Door het Bodemkundig Instituut wordt in samenwerking met Ir. J. F. L. KRÜGERS, Consulnt bij het Rijksbureau voor Ontwatering, de eventueele invloed van de wateronttrekking op het vochtgehalte van den grond door het diep in het profiel insnijdende nieuw gegraven kanaal nabij Eindhoven bestudeerd. De grond bestaat hier grootendeels uit zeer fijne zandgronden, waarvan enkele monsters (N<sup>o</sup>. 4170—77 tot 4188—95) ook voor de in de volgende Hoofdstukken beschreven onderzoekingen gebruikt zijn. Ook hier is ons de studie van bovengenoemde constanten van groot nut geweest, waarop ook reeds eerder is gewezen. Toen immers bleek, dat de maximale capillaire stijghoogten van de onderzochte zandmonsters vrijwel steeds meer dan 3 m water bedroegen, was een geregeld onderzoek naar de veranderingen van het vochtgehalte onder invloed van verschillende omstandigheden als droge en natte perioden,

plantengroei, enz. noodzakelijk, daar uit het voorgaande duidelijk zal zijn, dat een vrij groote daling van den grondwaterstand op zichzelf, vrijwel geen verandering van het vochtgehalte kan beteekenen, en dus de wateropname door de platen, eventueele aanvulling daarvan door de capillaire opstijging en door den regen, bestudeerd moesten worden (8).

Ook voor de kwestie van het infiltratie vraagstuk van water in zandgronden zijn de doorlatendheid en de maximale capillaire opstijging voor de bepaling van den juisten afstand van de watervoerende greppels of van het waterpeil in de greppels van veel belang \*). Het lijkt me verder niet moeilijk door middel van infiltratie in voldoende homogene zandgronden, die op niet te groote diepte (bijv. 1 m) een ondoorlatende kleilaag bezitten met behulp van grondwaterstandsmetingen *de hoeveelheid water te berekenen, die door verdamping en, of opname door de planten in droge perioden wordt opgenomen.* \*\*) Hiervoor moet de doorlatendheid van den grond bekend zijn en daar deze grond tot de eerste soort behoort, kan zij op de in Hoofdstuk III beschreven wijze exact worden bepaald. In plaats van met potproeven kan hier de bepaling van deze belangrijke grootheden onder volkomen natuurlijke omstandigheden worden uitgevoerd, terwijl de grootte van het terrein feitelijk onbegrensd is. Feitelijk is het daarbij noodzakelijk de hydrodynamische formules, die bij de berekeningen moeten worden toegepast, onder exacte bekende omstandigheden te controleeren, waarvoor met modellen en zandgronden (de hydrodynamische formules gelden voor alle grondsoorten, dus ook voor gronden van de 2de soort) moet worden gewerkt, daar in modellen alleen alle omstandigheden exact vastgelegd kunnen worden, en zoo noodig naar eigen inzicht kunnen worden veranderd, terwijl in zandgronden met de in deze publicatie aangegeven methoden de benoodigde constanten exact kunnen worden bepaald. Met behulp van een model is op het Bodemkundig Instituut reeds begonnen met een zorgvuldige contrôle van de formule's voor de berekening van de doorlatendheidsconstanten (dus voor gronden van de tweede soort) uit de snelheid van opstijging in boorgaten, waaruit eerst het grondwater tot een bepaalden stand is uitgepompt. De aldus gecontroleerde formule's, waarvoor in 't algemeen de formule's en hun uitbreidingen voor heterogene gronden in aanmerking komen, die ik in de in noot 3 aangehaalde publicatie vluchtig heb besproken, zijn dan te gebruiken voor betrouwbare bepalingen van belangrijke physische constanten als doorlatendheid in gronden van de tweede soort.

\*) Dit is bij toepassing van deze grootheden op de infiltratie proefvelden in de Wieringermeerpolder gebleken. Met behulp van de op het laboratorium bepaalde doorlatendheidscoëfficiënten kon b.v. een dagelijksch watergebruik gedurende de infiltratieperiode berekend worden (gemiddeld 4 mm per dag), dat uitstekend overeenkomt met de waarden, die daarvoor op andere wijze (inlaat van water in een bepaalden polder) is kunnen worden bepaald, enz.

\*\*) Zie noot \*).

Tenslotte zijn de genoemde constanten, waarbij het ook in het volgende hoofdstuk besproken specifiek oppervlak ( $U_{cm}$ ) genoemd kan worden, van belang zoowel voor een karakteristiek van de zandgronden als uit een oogpunt van materialen kennis.

Bovenstaande uiteenzetting moge voldoende zijn om het belang van de kennis van de besproken constanten en hun exacte bepalingmethode (d.w.z. onder opgave van de mogelijke foutengrenzen) naar voren te brengen.

In hoeverre ik hierin geslaagd ben, moge uit de volgende Hoofdstukken blijken, waarin dan de verschillende factoren behandeld zullen worden, die deze constanten beïnvloeden.

Tenslotte kan hier nog de opmerking worden gemaakt, dat deze constanten behoreen tot wat men de reële constanten zou kunnen noemen, waarmede bedoeld wordt, dat men ze in het C.G.S. stelsel kan uitdrukken en hun beteekenis nauwkeurig kan aangeven in tegenstelling met zooveel andere als bijv. de hygroscopiciteit, de moisture equivalent, enz.

### HOOFDSTUK III.

SAMENHANG VAN DE DOORLATENDHEID, DE MAXIMALE CAPILLAIRE STIJGHOOGTE, DE CONSTATE  $\mu$  VAN PORCHET EN DE HOEVEELHEID „HANGWATER” MET DE VOOR DEZE GROOTHEDEN VAN BELANG ZIJNDE FACTOREN, VOORAFGEGAAN DOOR EEN AFZONDERLIJKE BESPREKING VAN DE BETEKENIS VAN HET Z.G. „SPECIFIEK OPPERVLAKE” EN DE BEREKENING DAARVAN UIT DE MECHANISCHE SAMENSTELLING.

#### A. HET SPECIFIEK OPPERVLAKE.

Het zal duidelijk zijn, dat de bovengenoemde constanten in meerdere of mindere mate zullen afhangen van hun mechanische samenstelling. De bepaling van de mechanische samenstelling komt meestal neer op het bepalen van de hoeveelheid organische stof, de koolzure kalk, het keukenzout-gehalte en op het onderverdeelen van de gronddeeltjes naar de grootte in verschillende fractie's, waarvan men het gehalte aan deeltjes onder een bepaalde grootte tesamen het kleigehalte noemt (Op ons instituut onder  $16 \mu$ ). Afhankelijk van de voorbewerking wordt daarbij de organische stof en de koolzure kalk al dan niet bij deze onderverdeling naar korrelgrootte verwijderd. De op het Bodemkundig Instituut gevolgde methode (Uitgegaan wordt van 10 Gr. grond, terwijl een voorbewerking met HCl en  $H_2O_2$  wordt toegepast.) is beschreven door den directeur van dit Instituut in de „Verslagen van Landbouw-

kundige Onderzoekingen" (9). Hierin is sedert een gedeeltelijke wijziging gekomen, waardoor de methode van deze bepaling in groote trekken aldus is geworden, dat de deeltjes kleiner dan  $16 \mu$  met slibeylinders volgens ATTERBERG wordt afgeslibd, waarna het grovere materiaal (de z.g. zandfractie van  $16-2000 \mu$ ), na gedroogd te zijn, door een Rotap Schud- en Zeefmachine in 12 fractie's wordt onderverdeeld.

De mechanische samenstelling van den grond wordt nu echter door zooveel factoren bepaald, dat zonder vermindering van dit aantal factoren het vrijwel onmogelijk is de samenhang tusschen al deze factoren en genoemde physische constanten na te gaan. Dit is slechts goed mogelijk, wanneer de mechanische samenstelling door één cijfer wordt uitgedrukt. Verschillende onderzoekers hebben daartoe een poging gedaan. Kortheidshalve moge hier met de opmerking worden volstaan, dat tenslotte ZUNKER (10) een grootheid, „het specifiek oppervlak", heeft ingevoerd, waarvoor door hem, zooals verder zal blijken, een methode ter berekening is gegeven, die zeer goed bruikbaar is gebleken.

De beste definitie van het specifiek oppervlak luidt volgens de in noot 10 genoemde publicatie aldus: Het specifiek oppervlak is een getal, dat aangeeft, hoeveel maal de som van de oppervlakken van de deeltjes van de beschouwde grond grooter is dan de som van de oppervlakken van dezelfde gewichtshoeveelheid van een grond van juist 1 cm korreldoorsnede (en feitelijk ook van gelijken korrelvorm en gelijk specifiek gewicht). Volgens deze definitie is het specifiek oppervlak ( $U_{cm}$ ) een zuiver getal, dus dimensieloos. Volgens een vroegere definitie, die volgens een der laatste publicatie's van ZUNKER (11) niet de voorkeur verdient, kan het verband tusschen de werkzame korreldoorsnede ( $d_w$ ) en het specifiek oppervlak worden voorgesteld door de betrekking:  $U_{cm} = \frac{1}{d_w}$ , waardoor  $U_{cm}$  de dimensie ( $l$ ) krijgt.

Door het invoeren van bovengenoemde zeefmethode voor de zandfractie is het mogelijk het specifiek oppervlak van deze zandfractie te berekenen, daar de hieronder genoemde, door ZUNKER afgeleide, betrekking de berekening van het specifiek oppervlak van een fractie van deeltjes tusschen bepaalde korrelgrootten mogelijk maakt, wanneer de uiterste grenzen van deze fractie's niet te veel uiteen liggen. Door de onderverdeling van de zandfractie in 12 fractie's worden fractie's verkregen, waarbij dit het geval is. Deze betrekking luidt:

$$U_{cm} = \frac{0.4343}{\log. d_1 - \log. d_2} \left( \frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1} \right), \quad (4)$$

waarin  $d_1$  de grootste en  $d_2$  de kleinste diameter van de deeltjes (uitgedrukt in cm) van de beschouwde fractie en  $\log. d_1$  en  $\log. d_2$  de gewone logarithmen van de korreldoorsneden voorstellen.

Volgens de reeds eerder genoemde methode voor de bepaling van de mechanische samenstelling kan het specifiek oppervlak van de z.g. kleifractie (deeltjes kleiner dan  $16 \mu$ ) niet berekend worden. Deze fractie wordt wel is waar nog onderverdeeld in 2 fractie's, nl. deeltjes van  $2-16 \mu$  en kleiner dan  $2 \mu$ . De fractie van  $2-16 \mu$  zou in elk geval voor de toepassing van vergelijking 4 nog verder onderverdeeld moeten worden, hetgeen uiterst bezwaarlijk is met het oog op den daartoe benodigden tijd. Hetzelfde geldt ook voor de fijnste fractie, waarvan bovendien de onderste grens van de grootte van de deeltjes niet bekend is. Voor de beschouwde gronden is dit niet zoo belangrijk, daar uit het onderstaande zal blijken, dat gronden met reeds een klein gehalte aan de kleifractie een structuur vertoonen (het voorkomen van secundaire korrels), waardoor de bepaling van bovengenoemde constanten in het laboratorium, met het doel ze later toe te passen op deze gronden in hun natuurlijke structuur, waardeloos wordt. Ook de invloed van de organische stof (in het vervolg „humus” genoemd) op het specifiek oppervlak is niet te berekenen, terwijl volgens de bovengenoemde methode voor de bepaling van de mechanische samenstelling ook de verdeling van de verschillende koolzure kalk deeltjes over de verschillende fractie's niet wordt bepaald. Dit laatste zou men kunnen verbeteren door de gronden niet met HCl voor te bewerken. In verband met feit, dat de invloed van het kleigehalte en het humusgehalte op  $U_{cm}$  toch niet te berekenen is, werd er echter van afgezien de gebruikelijke methode van het mechanisch onderzoek te veranderen.

Uit het bovenstaande volgt dan ook, dat een grond alleen dan volledig door  $U_{cm}$  van de zandfractie zal worden gekarakteriseerd, wanneer het klei-, het humus- en koolzure kalkgehalte te verwaarloozen klein is. Is dit niet het geval, dan wordt de grond nu in elk geval gekarakteriseerd door slechts 4 cijfers, nl. het klei-, het humus-, het koolzure kalkgehalte en het specifiek oppervlak van de zandfractie. Deze laatste grootte dient op 100 % van de zandfractie te worden omgerekend, tenzij het klei-, het humus- en het koolzure kalkgehalte blijft beneden de later aan te geven maximale grenzen.

Verder dient er wel om te worden gedacht, dat de zeefmethode, evenals alle andere methoden, nooit zuivere fracties geeft, maar fractie's, die wel is waar voor een zeer groot gedeelte uit deeltjes van de aangegeven afmetingen bestaan, maar die toch nog altijd een klein gedeelte bevatten, dat feitelijk in een grovere- of in een fijnere fractie thuis behoort, waarop later zal worden teruggekomen.

Tenslotte zij nog vermeld, dat de fractie's, waarin de zandfractie van  $16-2000 \mu$  is onderverdeeld, zijn:  $16-43 \mu$ ,  $43-74 \mu$ ,  $74-104 \mu$ ,  $104-147 \mu$ ,  $147-208 \mu$ ,  $208-295 \mu$ ,  $295-417 \mu$ ,  $417-589 \mu$ ,  $589-833 \mu$ ,  $833-1168 \mu$ ,  $1168-1651 \mu$  en  $1651-2000 \mu$ .

## B. DE DOORLATENDHEID.

De doorlatendheid van den grond wordt gewoonlijk gedefinieerd, zooals reeds in Hoofdstuk II is opgemerkt, door de doorlatendheidscoëfficiënt K uit de bekende wet van DUPUIT-DARCY:

$$Q = K \frac{h}{l} F = K I F \quad (5)$$

Hierin geeft Q de hoeveelheid water aan, die per tijdseenheid door een kolom grond van de doorsnede F en de lengte l is gestroomd, terwijl h het drukverschil aan de uiteinden van de kolom grond voorstelt, uitgedrukt in de lengte van een kolom water.

Onder

$$I = \frac{h}{l} \quad (6)$$

wordt het verval verstaan.

Deze definitie is onvoldoende; ook dan, wanneer we den grond alleen zouden willen beschouwen in zijn natuurlijke ligging ter plaatse, zooals dit bijv. steeds bij gronden van de 2de soort geschiedt. In dit geval is er namelijk nog één factor, nl. de viscositeit van het water, waardoor de doorlatendheid nog vrij sterk kan wisselen. Daar de viscositeit van het grondwater, door de geringe hoeveelheid opgeloste zouten, voldoende bepaald wordt door de temperatuur van het water, moet bovengenoemde definitie in dit geval nog worden aangevuld door de vermelding van de temperatuur, waarbij de bepaling is geschied of door de doorlatendheidscoëfficiënten, zooals we verder onder zullen zien, op een bepaalde temperatuur (bijv. 10° C.) om te rekenen. Totaal onvoldoende is deze doorlatendheidscoëfficiënt gedefinieerd, wanneer men voor gronden van de eerste soort uit de op het laboratorium bepaalde doorlatendheidscoëfficiënt een conclusie wil trekken over de doorlatendheid van den grond in zijn natuurlijke ligging, daar verschil in dichtheid van ligging (porievolume) een grooten invloed op de doorlatendheid uitoefent. \*)

Door verschillende onderzoekers is getracht een formule te ontwikkelen, waardoor het verband tusschen de doorlatendheid en de haar bepalende factoren kwantitatief wordt uitgedrukt en waardoor te gelijk een betere definitie van de doorlatendheidscoëfficiënt mogelijk is. Literatuur opgaven

---

\*) Is bijv. in een bepaalden grond in het laboratorium een K-coëfficiënt bepaald van 10 m/24 uur bij  $p = 40$  Vol. % en  $t = 20^\circ$  C., dan is deze K-coëfficiënt, wanneer  $p$  van dezen grond in de natuurlijke ligging eens 30 Vol. % en  $t = 5^\circ$  C. was, 2,06 m/24 uur of dus  $\pm 5$  maal kleiner.

vindt men daarover in het artikel van ZUNKER in deel VI van het „Handbuch der Bodenlehre” (zie noot 10); zoo ook in „Erdbaumechanik” van TERZAGHI (12), enz. In dit artikel meen ik van een literatuurbespreking te kunnen afzien.

In den allerlaatsten tijd is er echter juist een uiterst belangrijke discussie over het juiste formulair verband tusschen ZUNKER (13) en KOZENY (14) geweest, welke als volgt kan worden samengevat:

Door ZUNKER was, gedeeltelijk theoretisch gedeeltelijk empirisch, een formule afgeleid, welke als volgt luidde:

$$Q = \frac{\mu h}{\eta l U_{cm}^2} \cdot \left( \frac{p_o}{1-p} \right)^2 \cdot F \quad (7)$$

Hierin stelt  $Q$  de hoeveelheid door den grond gevloeid water in  $\text{cm}^3/\text{per sec}$ . voor,  $\eta$  de viscositeit van de door den grond stroomende vloeistof in  $\text{cm}^{-1} g \text{ sec}^{-1}$ ,  $h$  het drukverschil in  $\text{cm}^2$  water van  $4^\circ \text{C}$ . of in grammen per  $\text{cm}^2$  aan de uiteinden van de  $l$   $\text{cm}$  lange kolom grond,  $F$  de doorsnede van de kolom grond in  $\text{cm}^2$ ,  $p$  het totaal porienvolume,  $p_o$  het spanningsvrije en lucht-vrije of z.g. werkzaam porienvolume (15) en  $U_{cm}$  het specifiek oppervlak. In de factor  $\mu$ , door ZUNKER „Formelbeiwert” genoemd, komt de invloed van de vorm en de ligging van de gronddeeltjes op de ware lengte van de stroombanen, de aard van de stroomingsbeweging en de invloed van de stroomsnelheid op de dikte van de geadsorbeerde waterlaag om de deeltjes tot uiting. Deze factor, oorspronkelijk door ZUNKER voorgesteld als een zuiver getal (dimensieloos), is dus feitelijk nog geen constante, maar bleek voor glad, kogelvormig glasschrot ongeveer 2,3 te zijn, voor een scherpkantig zand 1,4 en voor plaatvormige gronddeeltjes (glimmerplaatjes) met een tegen de vlakke zijde gerichte stroombeweging 0,5.

Nu is de formule 7 te splitsen in de zuivere wet van DUPUIT-DARCY, nl.:

$$Q = K \frac{h}{l} F, \quad (8)$$

waarin  $\frac{h}{l} = I$  het verval voorstelt en de zuivere doorlatendheidsfactor van DUPUIT-DARCY:

$$K = \frac{\mu}{\eta U_{cm}^2} \cdot \left( \frac{p_o}{1-p} \right)^2 \quad (9)$$

KOZENY (zie noot 14) merkt hierover nu terecht op, dat de doorlatendheidscoëfficiënt  $K$  volgens vergelijking 9 nooit de dimensie's van snelheid ( $lt^{-1}$ ) kan hebben, onafhankelijk van het feit of men  $U_{cm}$  als een zuiver getal voorstelt, dan wel volgens de definitie  $U_{cm} = \frac{1}{d_w}$  de dimensie ( $l$ ) geeft, wanneer althans  $\mu$  een zuiver getal is. Nu heeft de coëfficiënt  $K$  de dimensie van snel-

heid, wanneer het verval  $I = \frac{h}{l}$  een zuiver getal is, hetgeen men het beste inziet door de wet van DUPUIT-DARCY aldus te schrijven:

$$V = \frac{Q}{F} = K I. \quad (10)$$

Door KOZENY is dan langs theoretische weg een formule afgeleid, die wel aan deze voorwaarde voldoet en waarbij dus de coefficient K wel de dimensie's van snelheid heeft. Deze formule luidt, wanneer voor enkele factoren de door ZUNKER gebruikte letteraanduidingen worden gebruikt, als volgt:

$$Q = \frac{\rho g h_s}{36 c \eta l U_{cm}^2} \cdot \frac{p_0^3}{(1-p)^2} \cdot F \quad (11)$$

Behalve de reeds eerder genoemde factoren, stelt  $\rho$  de dichtheid van het water voor,  $g$  de versnelling van de zwaartekracht,  $h_s$  het hoogteverschil van de vloeistofspiegels in de drukbuizen aan de uiteinden van de grondkolom  $l$ , uitgedrukt in cm (dus met de dimensie ( $l$ )) en  $c$  een getallenfactor (zuiver getal).

Uit deze vergelijking 11 volgt voor de coefficient K;

$$K = \frac{\rho g}{36 c \eta U_{cm}^2} \cdot \frac{p_0^3}{(1-p)^2}, \quad (12)$$

wanneer het verval tenminste wordt voorgesteld door  $I = \frac{h_s}{l}$  of dus dimensieloos wordt genomen.

In een volgend artikel merkt ZUNKER (zie noot 13) hierover terecht op, dat in de door hem gebruikte formule het verval  $I$  een andere beteekenis heeft, nl.:

$$I = \frac{h}{l} = \frac{\rho h_s}{l}, \quad (13)$$

waarin de letters de reeds eerder genoemde factoren voorstellen. De factor  $h$  is dus het drukverschil in cm water van  $4^\circ \text{C}$ . of in grammen per  $\text{cm}^2$  (technische stelsel) aan de uiteinden van een  $l$  cm lange kolom grond. De factor  $h$  is dus een druk met de dimensie's van een druk of ook, volgens ZUNKER, van kracht (17) en niet een hoogteverschil met de dimensie's van een lengte. De KOZENYSCHES formule geldt volgens ZUNKER alleen dan, wanneer de vullingsvloeistof in de drukbuizen dezelfde dichtheid heeft als die van de stroomingsmassa. (Ofschoon dit laatste mij volkomen juist toelijkt, kan toch reeds worden opgemerkt, dat de doorlatendheidsbepalingen vrijwel uitsluitend betrekking hebben op de doorlatendheid voor water en aan de bovenstaande voorwaarde dan reeds van zelf is voldaan (temperatuursverschillen in het water kunnen verwaarloosd worden), terwijl overigens hieraan — bijv. bij



een verschillend zoutgehalte van het water — door een eenvoudige omrekening toch steeds voldaan kan worden.)

Ook in deze reeks publicatie's merkt ZUNKER op (zie noot 13), dat de K-coëfficiënt uit de vergelijking van DUPUIT-DARCY een andere waarde verkrijgt, naarmate de aard of de temperatuur (viscositeit) van de door den grond stroomende vloeistof of gas (de bovengenoemde formule's gelden ook voor gassen) een andere is. Om de doorlatendheidscoëfficiënt alleen van den grondsoort en ligging en niet meer van de stroomingsmassa afhankelijk te maken, stelt ZUNKER voor te schrijven:

$$K = \frac{K_{oo}}{\eta}, \quad (14)$$

waardoor de vergelijking van DUPUIT-DARCY overgaat in:

$$V = \frac{K_{oo}}{\eta} \cdot \frac{h}{l} \quad (15)$$

en waarin volgens ZUNKER K gelijk is aan:

$$K_{oo} = \frac{\mu_o}{U_{cm}^2} \cdot \left( \frac{p_o}{1-p} \right)^2 \quad (16)$$

Uit de vergelijking 15 volgt, dat wanneer aan  $h$  de dimensie kracht ( $m \ l \ t^{-2}$ ) gegeven wordt,  $K_{oo}$  dimensieloos wordt ( $\eta$  heeft de dimensie's ( $m \ l^{-1} \ t^{-1}$ ) en  $V$  ( $l \ t^{-1}$ )). Volgens vergelijking 16 is dus ook  $\mu_o$  dimensieloos (zuiver getal), wanneer  $U_{cm}$  dimensieloos is. Geeft men echter aan  $h$  de dimensie's van een druk ( $m \ l^{-1} \ t^{-2}$ ), hetgeen m.i. juister is, dan krijgt  $K_{oo}$  de dimensie's ( $l^{-2}$ ), terwijl  $\mu_o$  alleen dimensieloos blijft, wanneer men aan  $U_{cm}$  de dimensie ( $l^{-1}$ ) geeft, hetgeen, naar ZUNKER opmerkt, minder aan te bevelen is. Verder is de factor  $\mu_o = g\mu$ , waarin  $\mu$  de oorspronkelijk gebruikte factor (zie vergelijking 7) in de vergelijking van ZUNKER voorstelt.

Op grond van de vergelijking van Poisseuille (18) zijn nu door ZUNKER langs theoretische weg 2 formule's afgeleid, welke beide theoretisch mogelijk zijn en die alleen hierin verschillen, dat de factor  $p_o$  in de 2de en in de 4de macht hierin voorkomen, nl.:

$$Q = \frac{g h}{72 m \eta l U_{cm}^2} \cdot \frac{p_o^2}{(1-p)^2} \cdot F \quad (17)$$

en

$$Q = \frac{g h}{72 m \eta l U_{cm}^2} \cdot \frac{p_o^4}{(1-p)^2} \cdot F \quad (18)$$

Behalve de reeds eerder genoemde factoren, beteekent  $m$  hier een zuiveren, doch onbekenden, getallen factor.

Vergelijken we deze formule nog eens met de door KOZENY voorgestelde formule, nl.:

$$Q = \frac{g h_s \varrho}{36 c \eta l U_{cm}^2} \cdot \frac{p_0^3}{(1-p)^2} \cdot F \quad (19)$$

dan is er, — afgezien van de getallenfactor en afgezien van het feit, dat in de formule van KOZENY de factor  $\varrho$  voorkomt, hetgeen, zooals we later zullen zien, een kwestie is van het kiezen van dimensie's van de coefficient K —, geen ander verschil tusschen de bovenstaande formule's dan dat resp. de factor  $p_0$  in de formule's in de 2de, de 4de en 3de macht voorkomt.

Onder verwijzing naar de oorspronkelijke literatuur zou ik nu de opmerking willen maken, dat het m.i. nog niet vast staat aan welke formule de voorkeur dient te worden gegeven. ZUNKER geeft de voorkeur aan vergelijking 17, terwijl KOZENY op grond van de door ZUNKER verrichte bepalingen, m.i. niet ten onrechte, meent de meerdere juistheid van formule 19 te hebben aangetoond.

Alvorens deze formule's nog eens wat nader te bezien, dient eerst te worden uitgemaakt, welke dimensie's men aan de doorlatendheidscoefficient K wil geven. Naar het mij voorkomt, dient men rekening te houden met de dimensie's, die men in andere takken van wetenschap aan de coefficient K geeft. Algemeen nu wordt aan de coefficient K de dimensie's van een snelheid ( $l t^{-1}$ ) gegeven. Het lijkt mij dan ook het beste de coefficient K deze dimensie's te laten behouden, hetgeen overigens zeer goed mogelijk is, terwijl bovendien alle factoren in het C.G.S. stelsel kunnen worden aangegeven.

Beschouwen we immers nog eens de oorspronkelijke formule van DUPUIT-DARCY

$$V = \frac{Q}{F} = K \frac{h}{l}, \quad (20)$$

dan heeft dus K de dimensie's van snelheid, wanneer aan  $h$ , zooals reeds eerder is opgemerkt, de dimensie's van lengte wordt gegeven. Naar mijn meening heeft  $h$  echter de dimensie's van een druk ( $m l^{-1} t^{-2}$ ). In dit geval krijgt echter het verval, indien het verval I gelijk  $\frac{h}{l}$  wordt gesteld, de dimensie's ( $m l^{-2} t^{-2}$ ) en K de dimensie's ( $m^{-1} l^3 t$ ).

Nu is echter  $h$  in het C.G.S. stelsel gelijk aan:  $h = \varrho g h_s$  dynes/cm<sup>2</sup>. Hierin heeft  $\varrho$ , als de dichtheid, de dimensie's ( $m l^{-3}$ ),  $g$ , als de versnelling van de zwaartekracht, de dimensie's ( $l t^{-2}$ ) en  $h_s$ , als het hoogteverschil van de waterspiegels in de drukbuizen aan de uiteinden van de beschouwde kolom grond, de dimensie's ( $l$ ).

Schrijven we de vergelijking van DUPUIT-DARCY als volgt:

$$V = \frac{Q}{F} = K \varrho g \frac{h_s}{l} \quad (21)$$

en schrijven voor  $K \varrho g = K^1$  dan gaat vergelijking 21 over in:

$$V = \frac{Q}{F} = K^1 \frac{h_s}{l} = K^1 I \quad (22)$$

*In vergelijking 22 heeft nu  $K^1$  de dimensie's van snelheid ( $l t^{-1}$ ) en wordt het verval  $I$  in dit geval dimensieloos.*

Ontleden we nu de vergelijking van KOZENY (N°. 19) in de vergelijking 22 en in

$$K^1 = \frac{g \varrho}{36 c \eta U_{cm}^2} \cdot \frac{p_o^3}{(1-p)^2} \quad (23)$$

dan zal het duidelijk zijn, dat de vergelijking 23 voor praktische toepassing nog wel iets vereenvoudigd kan worden. In de eerste plaats kan men voor  $\frac{g \varrho}{36 c}$  geschreven worden  $\mu$  ( $\mu$  is hier dus niet dimensieloos), daar  $g$  practisch een constante is. Daar verder het water in de meeste gevallen slechts zeer weinig electrolyten bevat, kan  $\varrho = 1$ .— worden gesteld (zelfs voor zout water met 3 % NaCl is de fout toch nog slechts 2 % en kan vrijwel steeds verwaarloosd worden), terwijl  $g$  ook practisch een constante is. Hierdoor wordt ook  $K^1$  daarvan practisch onafhankelijk. Bij toepassing van deze vergelijking voor gassen, zal men echter  $K^1$  ook op een bepaalde dichtheid moeten omrekenen, hetgeen hier verder buiten beschouwing zal worden gelaten, daar de doorlatendheid voor water verreweg het belangrijkste is. Vergelijking 23 gaat daarbij over in de onderstaande vergelijking, waarin  $K^1$  maar weer door de letter  $K$  is vervangen, nl.:

$$K = \frac{\mu}{\eta U_{cm}^2} \cdot \frac{p_o^3}{(1-p)^2} \quad (24)$$

Het zal duidelijk zijn, dat men voor de vergelijkingen 17 en 18 tot soortgelijke formule's komt, wanneer men de coefficient  $K$  de dimensie's van snelheid geeft; alleen komt de factor  $p_o$  hierin in de 2de en de 4de macht voor. Laten we echter de vergelijking, waarin  $p_o$  in de 4de macht voorkomt, verder buitenbeschouwing, dan is formule 17 te vereenvoudigen tot de vergelijking 9, waarin de factor  $\mu$  natuurlijk een andere waarde heeft dan in vergelijking 24.

Wanneer nu, zooals verder onder zal blijken, op grond van uitvoerige onderzoekingen kan worden gezegd, dat, voor Nederlandsche zandgronden althans, aan de formule 24 de voorkeur dient te worden gegeven, dan zijn we nu ook in staat de doorlatendheidsfactor  $K$  beter te definiëren. Wil men

immers de foutengrenzen van de bepalingmethoden onderzoeken, hetgeen absoluut noodzakelijk is en waaraan nog vrijwel geen aandacht is besteed, en wil men deze coëfficiënten als karakterestieke constanten van den grond beschouwen, dan moeten de K-coëfficiënten steeds worden omgerekend op een bepaalde temperatuur (viscositeit) van het water en op een bepaald porienvolume. Voor deze temperatuur werd 10° C. gekozen (gemiddelde jaarlijksche temperatuur van het grondwater in de laag van 0—1,25 m) en voor het porienvolume 35 Vol. %, daar in de meeste gevallen de dichtheid van ligging van zandgronden varieert tussehen 30 en 40 % en gemiddeld ongeveer 35 Vol. % bedraagt. *Aan de definitie volgens de wet van DUPUIT-DARCY dient te worden toegevoegd, dat de temperatuur van het water 10° C. en het porienvolume 35 Vol. % is, waarbij nog kan worden opgemerkt, dat  $p_0 = p$  te stellen is, daar het hier zandgronden betreft en dus het gedeelte van het porienvolume, dat voor de streaming van het water niet in aanmerking komt, zeer klein is en verwaarloosd kan worden \**).

De omrekeningsformule voor de K-coëfficiënt, bepaald bij een temperatuur van  $t^\circ$  C. (viscositeit  $\eta$ ) een een porienvolume  $p$ , op een temperatuur van het water van 10° C. (viscositeit  $\eta_{10}$ ) en een porienvolume van 35 Vol. %, kan, indien vergelijking 24 wordt gebruikt, geschieden volgens de vergelijking:

$$K_{10/35} \text{ (Kozeny)} = K \cdot \frac{\eta (1-p)^2 (0.35)^3}{\eta_{10} (0.65)^2 p^3} \quad (25)$$

Wordt daarentegen, met ZUNKER, vergelijking 9 aangenomen, dan is de omrekeningsformule:

$$K_{10/35} \text{ (Zunker)} = K \cdot \frac{\eta}{\eta_{10}} \cdot \left\{ \frac{0.35 (1-p)}{0.65 p} \right\}^2 \quad (26)$$

Om nu uit te maken aan welke van de genoemde formule's de voorkeur moet worden gegeven, heeft de omrekening steeds volgens vergelijking 25 en 26 plaats gehad.

Tenslotte moet nog worden opgemerkt, dat de factor  $\mu$  in de vergelijking 9 en natuurlijk eveneens in de vergelijking 24 geen constante is, maar, zooals ZUNKER voor de factor in de vergelijking 9 heeft gevonden, nog vrij sterk varieeren, daar deze factor afhangt van de vorm van de deeltjes en bovendien, bij hetzelfde materiaal (dus gelijkblijvende korrelvorm), van de vorm van de holle ruimten.

Bij de bepaling van de fout van de bepalingmethode van de doorlatendheidscoëfficiënt, zal de grootte van de fout ook — naast de gewone fouten-

\*) In gronden van de 2de soort en in alle gevallen, waarbij de doorlatendheid wordt bedoeld in de natuurlijke ligging van den grond, moet K alleen op een temperatuur van 10° C. worden omgerekend.

bronnen — afhangen van de afwijking veroorzaakt door een verschillende vorm van de holle ruimten.

Wil men de formule's 9 en 24 gebruiken om de K-coëfficiënt te berekenen uit de mechanische samenstelling, d.w.z. dus uit  $U_{cm}$ , wanneer van te voren de factor  $\mu$  op een andere wijze is bepaald, dan moet dus in de eerste plaats worden nagegaan of de factor  $\mu$  voor de Nederlandsche zandgronden voldoende constant is, hetgeen, zooals later zal blijken, het geval is gebleken te zijn. Overigens zal het duidelijk zijn, dat de berekening van de doorlatendheidscoëfficiënt met een niet te groote fout alleen mogelijk zal zijn bij gronden met weinig klei, humus en koolzure kalk, daar  $U_{cm}$  alleen te berekenen is voor de eigenlijke zandfractie van 16—2000  $\mu$ .

### C. DE MAXIMALE CAPILLAIRE STIJGHOOGTE.

Afgezien van de bijvoeging „maximale”, dient men dus, zooals ook reeds eerder werd opgemerkt, onder de stijghoogte te verstaan de afstand tusschen het capillair- en het phreatisch oppervlak (dus met de dimensie ( $l$ )) en onder den negatieven capillariteitsdruk, den druk van de menisci in de capillairen, uitgedrukt in dynes/cm<sup>2</sup> (C.G.S. stelsel) en met de dimensie's van een druk ( $ml^{-1}t^2$ ). In Nederland geeft men dezen druk echter meestal aan in grammen (technische stelsel) en verstaat er ook hier de lengte van een kolom water onder, die door de menisci kan worden gedragen. Daar de dichtheid van water gelijk gesteld kan worden aan 1,— krijgt laatstgenoemde grootheid weer practisch de dimensie van lengte ( $l$ ). Om verwarring te voorkomen lijkt het mij dan ook gewenscht iedere grootheid de juiste dimensie's te geven en in 't algemeen de naam „capillaire stijghoogte” te gebruiken, daar meestal toch een lengte of een hoogteverschil wordt bedoeld.

Door verschillende onderzoekers is geprobeerd om de, deze grootheid bepalende, factoren op te sporen en in een formule vast te laggen. Door ZUNKER (19) is een formule afgeleid, steunende op de door MITSCHERLICH gevonden betrekking, dat voor iedere doorsnede — dus ook voor het capillair systeem van den grond — geldt:

$$\frac{Q_g}{O_g} = \frac{d}{2} = \frac{a^2}{200 H} \quad (27)$$

Hierin stelt  $Q_g$  de hoeveelheid capillair water voor in cm<sup>3</sup> per gram grond,  $O_g$  het oppervlak van de capillairen in cm<sup>2</sup> per gram grond,  $d$  de diameter of doorsnede van de capillairen,  $a^2$  de capillariteitsconstante in mm<sup>2</sup> en  $H$  de maximale capillaire stijghoogte in cm.

Ter wille van het nagaan van het feit of in de tenslotte verkregen formule de capillaire stijghoogte nog wel de dimensie van lengte heeft, wordt deze

afleiding van ZUNKER hier nog eens behandeld en daarbij tevens iets uitgebreid.

Daar het capillaire water alleen aanwezig is in het spanningsvrije- en lucht-vrije porienvolume, is de hoeveelheid capillair water  $Q_g$ , als  $V_g$  het volumegewicht voorstelt, gelijk aan:

$$Q_g = \frac{P_o}{V_g} \quad (28)$$

$$\text{Daar verder } V_g = (1-p) \varrho, \quad (29)$$

waarin  $\varrho$  de dichtheid van den grond voorstelt, is

$$Q_g = \frac{P_o}{(1-p) \varrho} \quad (30)$$

Neemt men nu verder aan, dat de gronddeeltjes bolvormig zijn, dan is, als  $U_r$  het specifiek oppervlak van den grond voorstelt ten opzichte van een zelfde hoeveelheid grond met deeltjes van den straal  $r$ ,

$$O_g = \frac{3}{r \varrho} \cdot U_r \quad (31)$$

Substitueeren we vergelijking 31 en 30 in vergelijking 27 dan ontstaat:

$$H = 0,015 a^2 \cdot \frac{1-p}{p_o} \cdot \frac{1}{r} \cdot U_r \quad (32)$$

Is  $U_r$  een zuiver getal (de beste definitie van  $U$ ), dan heeft  $H$  de dimensie van lengte ( $l$ ), hetgeen natuurlijk zoo blijft, wanneer we het specifiek oppervlak definiëren ten opzichte van deeltjes van 1 cm doorsnede. In dit geval gaat vergelijking 32 over in:

$$H = 0,03 a^2 \frac{1-p}{p_o} \cdot U_{cm} \quad (33)$$

$$\text{Daar nu } a^2 = \frac{200 d}{\varrho g}, \quad (34)$$

waarin  $\alpha$  de oppervlaktetension in dyne's/cm (dimensie's  $(mt^2)$  of  $\frac{(mlt^2)}{l}$ ) en  $\varrho$  en  $g$  de bekende factoren voorstellen, kunnen we vergelijking 33 ook schrijven als:

$$H = \frac{6z}{\varrho g} \cdot \frac{1-p}{p_o} \cdot U_{cm} \quad (35)$$

Hierbij kan nog worden opgemerkt, dat de gronddeeltjes niet steeds een vorm hebben, die de bolvorm nabij komt. Het lijkt mij dan ook beter bij de invoering van het specifiek oppervlak een factor  $\beta$  in te voeren, die van den vorm van de deeltjes en eveneens van den vorm van de holle ruimten en

van den vorm van de horizontale doorsnede van deze ruimten (bij een zelfde  $p$ ) afhangt. Vergelijking 33 en 35 gaan daarbij resp. over in:

$$H = 0,03 \alpha^2 \beta \frac{1-p}{p_0} \cdot U_{cm} \quad (36)$$

en

$$H = \frac{6 \alpha \beta}{\rho g} \cdot \frac{1-p}{p_0} \cdot U_{cm} \quad (37)$$

Ook door andere onderzoekers als TERZAGHI (20) e.a. zijn dergelijke formule's afgeleid, die in hoofdzaak met de bovenstaande overeenkomen.

Voor praktische doeleinden zijn in deze formule's wel eenige vereenvoudigingen aan te brengen. Daar immers zoowel de oppervlakte spanning  $\alpha$  als de dichtheid  $\rho$  van het water slechts weinig met de temperatuur veranderen, kunnen we deze praktisch als constant opvatten, tenzij door de opgeloste stoffen, die op de dichtheid  $\rho$  een te verwaarloozen invloed uitoefenen, de oppervlaktetenspanning te sterk zou veranderen om deze factor als een constante te mogen beschouwen. Inderdaad is bij de later te bespreken proefnemingen gebleken, dat  $\alpha$  door sporen humus vrij sterk wordt veranderd. Daar echter iets grootere hoeveelheden deze invloed vrijwel niet meer versterken en bij groote hoeveelheden humus toch geen berekening van  $H$  met behulp van de gegeven formule's en van  $U_{cm}$  kan plaats vinden, kunnen we in natuurlijke zandgronden waarin altijd iets humus aanwezig is,  $\alpha$  wel weer als een constante opvatten; zij het ook, dat  $\alpha$  hier een andere waarde heeft dan in gronden, waaruit de humus eerst zorgvuldig is verwijderd. Daar nu ook  $g$  praktisch een constante is, kunnen we voor  $\frac{6 \alpha \beta}{\rho g}$ , voor praktische doeleinden, schrijven:

$$\frac{6 \alpha \beta}{\rho g} = a = \text{constant} \quad (38)$$

waardoor dus formule 37 overgaat in:

$$H = a \cdot \frac{1-p}{p_0} \cdot U_{cm} \quad (39)$$

Voor  $p_0$  is ook nu weer  $p$  te schrijven. Bevat de grond lucht, dan moet dit niet van het poriënvolume  $p$  worden afgetrokken, zooals dat bij de doorlatendheidsbepalingen geschiedt. De doorsnede van de capillairen, waarin water aanwezig is, wordt daardoor immers niets verkleind.

Ook nu is het noodzakelijk voor de bepaling van de foutengrenzen van de bepalingsmethoden, om de gevonden capillaire stijghoogten alle om te rekenen op een zelfde poriënvolume. Onder de maximale capillaire stijghoogte is dan ook in deze gevallen te verstaan de afstand tusschen het capillair- en het phreatisch oppervlak, wanneer het poriënvolume 35 % bedraagt. In dit

geval wordt  $H$  ook een constante voor de betreffende grondsoort. De omrekeningsformule, die voor de omrekening van de constante  $H$  (bij een poriënvolume  $p$ ) in de constante  $H_{35}$  (bij een poriënvolume van 35 %) wordt gebruikt is de volgende:

$$H_{35} = H \cdot \frac{0,65 p}{0,35 (1 - p)} \quad (40)$$

Evenals bij de doorlatendheid is besproken is ook voor formule 39 voor de Nederlandsche zandgronden na te gaan in hoeverre de factor  $a$  inderdaad als een constante kan worden opgevat, daar anders geen berekening van  $H$  uit de mechanische samenstelling — dus uit  $U_{cm}$  — mogelijk is.

Tenslotte zij hier nog eens de nadruk gelegd op het feit, dat bovengenoemde formule niet kan dienen om voor gronden van de 2<sup>de</sup> soort de, in het laboratorium bepaalde, constanten op de omstandigheden, zooals die op het veld voorkomen, om te rekenen, daar deze gronden een bepaalde structuur hebben (zie ook Hoofdstuk I). De bepaling van deze grootheid in de laatstgenoemde gronden moet in de natuurlijke ligging van den grond geschieden en is zeker verre van eenvoudig.

#### D. DE GROOTHEID $\mu$ VAN PORCHET EN DE HOEVEELHEID HANGWATER.

Onder de grootheid  $\mu$  van PORCHET is te verstaan het volume-percentage of gedeelte van den grond, waaruit bij daling van het capillair oppervlak (6) het water is gevloeid. Onder het hangwater ( $W_{ha}$ ) is te verstaan de resterende hoeveelheid water, uitgedrukt in grammen water per 100 gram droge stof of in volume procenten. In het laatste geval is dus blijkbaar, bij volkomen verzadiging met water:

$$p = \mu + W_{ha}, \quad (41)$$

waarin  $p$  het poriënvolume voorstelt.

Voor de grootheid  $\mu$  van PORCHET is, voor zoover mij bekend, nooit geprobeerd na te gaan door welke factoren deze constante wordt bepaald en met name niet hoe (en of) deze factor samenhangt met het specifiek oppervlak en het poriënvolume. Voor de hoeveelheid hangwater is dit iets anders, in zoverre voor, op zeer veel methoden en onder vaak zeer verschillende omstandigheden verkregen, watercapaciteiten de samenhang tusschen genoemde grootheden en factoren althans geprobeerd is na te gaan, zij het ook, dat een formulair verband niet is opgesteld of niet is kunnen worden opgesteld. Hierbij moet echter uitdrukkelijk worden opgemerkt, dat door mij de hoeveelheid hangwater in samenhang is gebracht met de grootheid  $\mu$  van PORCHET volgens vergelijking 41.



De bepalingmethoden van genoemde grootheden kunnen zich richten op de bepaling van  $\mu$ , waardoor, daar  $p$  bekend is, ook  $W_{ha}$  bekend is of op de bepaling van  $W_{ha}$ , waardoor  $\mu$  bekend is.

Een rechtstreeksche bepaling van de grootheid  $\mu$  is natuurlijk door dezen onderzoeker zelf (21) aangegeven. Een bezwaar van deze methode, waarbij tegelijkertijd ook de doorlatendheidscoëfficiënt en de capillaire stijghoogte worden bepaald, is, dat zij alleen goed toe te passen is op gronden met een kleine capillaire stijghoogte, daar anders de grondkolommen zoo lang zouden moeten worden genomen, dat hiermede slechts nog zeer moeizaam is te werken. Deze methode behoort dus tot de zoogenaamde grondkolommen-methode.

Ook de grootheid  $W_{ha}$  is met de grondkolommen-methode te bepalen door in een voldoende lange, totaal met water verzadigde, kolom grond het phreatisch- en daarmede het capillair oppervlak voldoende te laten dalen en het vocht gehalte in de boven het capillair oppervlak gelegen lagen te bepalen. Uit den aard der zaak heeft deze methode dezelfde bezwaren als de door PORCHET aangegeven methode.

Er is echter ook een andere methode mogelijk om  $W_{ha}$  te bepalen, die het bovengenoemde bezwaar niet heeft. De wijze, waarop ik mij de uitvoering van deze bepaling gedacht had, bleek ongeveer dezelfde te zijn, als door ZUNKER (22) voor de bepaling van een soort watercapaciteit, die met  $W_{ha}$  vrijwel overeenkomt, is aangegeven. Hierop werd mij door Prof. ZUNKER bij mijn bezoek aan zijn laboratorium in December 1931 attent gemaakt.

De resultaten van deze bepalingen kunnen dus gebruikt worden om na te gaan in hoeverre voor deze grootheid door ZUNKER een samenhang met het specifiek oppervlak en andere factoren is gevonden, daar alle grootheden, die van belang kunnen worden geacht, nauwkeurig bepaald zijn. Voor een juist begrip van het onderstaande moge worden opgemerkt, dat deze methode in principe hierop neerkomt, dat onder een oorspronkelijk volkomen met water verzadigde grond een luchtverdunning wordt aangebracht, waardoor het vrije capillaire water (=  $\mu$  van PORCHET) uit den grond wordt gezogen en de hoeveelheid water, die achterblijft, gelijk te stellen is aan  $W_{ha}$ . Het zal duidelijk zijn, dat de onderdruk steeds grooter moet zijn dan de capillaire stijghoogte of, beter gezegd, dan de negatieve capillariteitsdruk van den grond. Ook moet deze grond zich bovendien volkomen in een één-korrelstructuur bevinden, daar, door het optreden van scheuren, enz. relatief veel wijdere kanaaltjes dan de feitelijke poriën voorkomen, waardoor veel kans bestaat, dat de onderdruk te gering blijft om het water uit de feitelijke poriën te zuigen, daar de lucht natuurlijk vooral door de relatief wijdere scheuren, enz. wordt aangezogen. Bij het gebruiken van een onderdruk, die hoogstens ongeveer 1030 cm water kan bedragen, kunnen dus alleen gronden in een éénkorrelstructuur volgens

deze methode worden onderzocht, die een kleinere capillariteitsdruk hebben dan 1030 cm water (duidelijkshalve werd hier de capillariteitsdruk en de onderdruk in het Technische stelsel uitgedrukt). Gebruikt men echter een *overdruk* in plaats van een onderdruk, waarbij de overdruk natuurlijk boven de kolom grond is aan te brengen, dan kunnen ook fijnere gronden — echter alleen in een éénkorrelstructuur — worden onderzocht.

Het komt mij nu voor, dat ZUNKER het bovenstaande niet duidelijk heeft ingezien, hetgeen hieruit reeds blijkt, dat ZUNKER met de onderdrukmethode (afzuigmethode) bepalingen in gronden heeft gedaan, nl. in het z.g.n. „Bleichsand”, „Schluffsand” en „Sandiger Lehm”, waarvan de capillaire stijghoogte bij benadering volgens de formule 30*b* van ZUNKER — resp. 1090-, 1080- en zelfs 4550 cm is geweest. In den laatstgenoemden grond is het in elk geval onmogelijk met deze methode een bepaling te verrichten. Dat door dezen grond nog wel lucht is kunnen worden gezogen, moet veroorzaakt zijn door aanwezige- of tijdens de bepaling ontstane scheurtjes of andere kanaaltjes met een kleinere capillariteitsdruk dan ongeveer 1030 cm water.

Afgezien van de bepaling van deze grootte in bovengenoemde 3 gronden, blijkt uit de op blz. 141, van de in noot 22 genoemde literatuur, aangegeven afbeelding, dat door ZUNKER een samenhang tusschen de door hem bepaalde watercapaciteit en het specifiek oppervlak is gevonden. Een formule, die deze samenhang aangeeft, is door hem echter niet aangegeven. Voor zoover ik zelf heb kunnen nagaan, blijkt de door ZUNKER gevonden watercapaciteit ongeveer evenredig te zijn met  $\log U_{cm}$ ; een eventueele invloed van het poriënvolume is uit deze bepalingen niet af te leiden.

Zonder op de resultaten van de door mij verrichte bepalingen te veel te willen vooruit loopen, zou ik hier toch de opmerking willen maken, dat door mij geen voldoende nauwkeurig verband tusschen  $W_{ha}$  en  $U_{cm}$  kon worden bepaald om hierop een formule te kunnen aangeven, ofschoon wel in ruwe trekken  $W_{ha}$  toeneemt met een stijgend specifiek oppervlak en wel evenredig met  $\sqrt{U_{cm}}$  blijkt te zijn.

Tenslotte moeten nog eenige opmerkingen worden gemaakt in verband met de z.g.n. grondkolommen-methode. Deze methode lijkt mij de beste methode, zoowel voor de bepaling van de watercapaciteit als voor de capillaire stijghoogte daar hier de omstandigheden vrijwel gelijk zijn aan die in de natuur. Hierbij wordt uitgegaan van een volkomen met water verzadigde kolom grond, die geen of practisch geen lucht meer bevat en waarbij is zorg gedragen, dat uit de bovenste lagen geen water kan verdampen. Zooals reeds is opgemerkt, heeft deze methode dit bezwaar, dat zij alleen is toe te passen voor gronden met

een kleine capillaire stijghoogte. In dit onderzoek is zij dan ook alleen toegepast als een contrôlemiddel op de andere methode voor de bepaling van  $W_{ha}$  en van de capillaire stijghoogte.

Door ZUNKER wordt nu echter in zijn reeds meermalen aangehaald artikel in het „Handbuch der Bodenlehre” de grondkolommen methode als principieel onjuist verworpen. Bij de bespreking van de resultaten van de onderzoekingen met langere kolommen grond, zooals bijv. door WOLLNY en KING zijn verricht, merkt ZUNKER op blz. 131 op: „Den Einflusz des aufsitzenden Kapillarwassers auf die volle Wasserkapazität hat schon MAYER erkannt, wenn gleich er die Bedeutung des unteren Abschlusses der Bodensäule noch nicht richtig gewürdigt und die entsprechende Folgerung nicht gezogen hat, *dasz die Methode der Bodensäulen als Normalmethode unbrauchbar ist*”.

Zoekt men nu verder onder „aufsitzenden Kapillarwasser”, blz. 125, dan grondvest ZUNKER deze opvatting blijkbaar voornamelijk op het volgende: Heeft men een glazen buis van voldoende lengte (grooter dan de capillaire opstijging), van onderen afgesloten door een groflinnen lap en gevuld met een, met water verzadigde, zandgrond en laat men het water uit dezen kolom grond vrij in de lucht uitdruppelen, waarbij het linnen lapje dus gewoon met de lucht in aanraking is, dan zal de lengte van de capillair verzadigde laag (aufsitzenden Kapillarwasser) grooter, gelijk of kleiner kunnen zijn dan de maximale capillaire stijghoogte bedraagt. Dit zou afhangen van het feit of de menisci aan het ondereinde van de kolom grond resp. concaaf, vlak of convex zijn.

De door ZUNKER genomen experimenten, die op blz. 123 beschreven zijn, lijken mij niet erg overtuigend, daar de lucht nooit geheel uit den grond te verwijderen is door op de kolom grond water te brengen. Dit luchtgehalte kan door optredende spanningsverschijnselen bovengenoemde resultaten van deze proefnemingen verklaren. Daarom heb ik eenige nieuwe experimenten genomen, die hier onder kort beschreven zullen worden.

Twee glazen buizen van 45 cm lengte en een doorsnede van ongeveer 9,5 cm<sup>2</sup>, van onderen afgesloten door een groflinnen lapje, werden precies op dezelfde wijze gevuld met zand tot 1 cm onder den bovenrand, waarbij het poriënvolume ook in beide buizen vrijwel gelijk was, nl. 36,3 Vol. % in buis I en 35,4 Vol. % in buis II. In beide buizen werd nu het zand met water verzadigd door dit van onderen te laten opstijgen, waardoor de lucht kon ontwijken. Buis I werd nu in een statief zoodanig vastgeklemd, dat het water, dat uit den grond sijpelt vrij in de lucht kan uitstroomen, terwijl bij buis II het ondereinde nog juist in water reikt. Door de buizen van boven af te sluiten met kurken, waardoor glasbuisjes met fijn uitgetrokken punten gestoken waren, werd de verdamping tot een minimum beperkt.

De volgende dag was uit de kleur van het zand heel duidelijk te zien tot

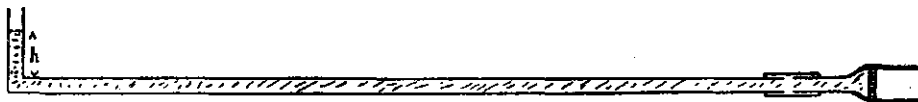
hoever het zand nog verzadigd was met water. Voor buis I was dit het geval tot een hoogte van 24,5 cm en voor buis II tot een hoogte van 25,0 cm boven den onderkant van de buis. Binnen de foutengrenzen zijn deze hoogten gelijk. Bovendien zijn ze gelijk aan de maximale capillaire stijghoogte van het onderzochte zand en komen goed overeen met de waarde, die met een later te bespreken methode (z.g.n. methode zonder luchtonderdruk) is bepaald, nl. 23 cm onder de omstandigheden van den grond in de buizen. Uit de bepalingen van de vochtgehalten van laag tot laag kon dit nog nader worden bevestigd, daar boven de aangegeven hoogten boven den onderkant der buizen het vochtgehalte in beide buizen met een scherpe sprong daalde, nl. van een vochtgehalte van 17 gram in 100 gram natten grond in de laag, gelegen op 22,5—25 cm hoogte boven den onderkant van de buizen tot 7,0 gram in de lagen van 25—28,5 cm boven den onderkant van de buizen.

■ Hieruit kan dan ook reeds de conclusie getrokken worden, dat de door ZUNKER bedoelde menisci *niet* gevormd worden, maar dat een samenhangend watervlies over de totale doorsnede ontstaat, waarvan de tegendruk (positief of negatief) kan worden verwaarloosd.

Een nog scherper bewijs daarvoor geeft de volgende proef:

Een lange glasbuis van ongeveer 6 mm doorsnede werd op 10 cm van zijn eene uiteinde rechthoekig omgebogen. Aan het einde van het lange stuk van 145 cm lengte werd door middel van een gummislangetje een micro Jena glasfilter bevestigd, waarvan het poreuze plaatje een doorsnede had van 1 cm en waarvan de poriën een maximale stijghoogte bleken te hebben van 100 cm. De glasbuis werd nu met zijn lange einde horizontaal op een tafel geplaatst, terwijl het korte, rechthoekig omgebogen eind van 10 cm lengte loodrecht omhoog stond, als in figuur I verder is verduidelijkt.

FIGUUR I.



Het horizontaal gedeelte werd nu geheel gevuld met water; het poreuze plaatje werd met een doek aan den buitenkant afgedroogd, waarna in het verticale gedeelte van de buis voorzichtig water werd gebracht, totdat de hoogte ongeveer 9,5 cm was. Onmiddellijk vloeide echter water door de poreuze plaat en het water bleef hierdoor vloeien, totdat  $h$  (in 10 minuten) nul was geworden, ook al werd ieder druppeltje direct door een doek weggezogen (de doek beroerde de poreuze plaat natuurlijk niet). Een herhaling van deze proef gaf het zelfde resultaat.

Ook uit deze proef volgt m.i. overtuigend, dat geen menisci in de afzonderlijke poriën gevormd worden, maar één samenhangend watervlies, waarvan de tegendruk kan worden verwaarloosd. Hieruit volgt tevens, dat de constante  $\mu$  van PORCHET, de maximale capillaire stijghoogte  $H$ , evenals trouwens de doorlatendheid, volgens de reeds aangegeven methode van PORCHET juist worden bepaald, ondanks het feit, dat hier meestal het water uit den grond in de lucht uitvloeit.

Verder moet nog worden opgemerkt, dat in de kolom grond, zooals in Hoofdstuk V nog eens zal worden aangetoond, boven het capillair oppervlak het vochtgehalte niet direct constant is. Wel is waar treedt boven het capillair oppervlak een vrij scherpe daling in het vochtgehalte op; het vochtgehalte in de verschillende lagen daalt vanaf het capillair oppervlak naar hoger gelegen lagen nog iets om op wel is waar reeds vrij korten afstand boven het capillair oppervlak een constante waarde ( $W_{ha}$ ) te krijgen, die overeenkomt met de in den grond op andere wijze bepaalde  $W_{ha}$ -cijfers. Alleen het laatste vochtgehalte  $W_{ha}$  is een voor den grond constante grootte en deze wordt dan ook bepaald. Dit heeft echter tot gevolg, dat men bij de toepassing van de aldus bepaalde constante  $W_{ha}$  en dus ook van  $\mu$  op gronden van de eerste soort in de natuurlijke omstandigheden, op de ligging van het phreatisch oppervlak en daarmee van het capillair oppervlak (in normale omstandigheden — mits het phreatisch oppervlak zich op minstens  $H$  cm onder het maaiveld bevindt —  $H$  cm hooger) moet letten. Is het phreatisch oppervlak juist  $H$  cm onder het maaiveld en daalt dit oppervlak, dan zal  $\mu$  in dit geval iets kleiner zijn dan de waarde, die op het laboratorium werd bepaald, daar immers meer water in de laag grond boven het capillair oppervlak achterblijft dan  $W_{ha}$  aangeeft. Bevindt het phreatisch oppervlak zich echter op een iets grotere diepte onder het maaiveld, dan zal  $\mu$  weer overeenkomen met de  $\mu$ -waarde, die in het laboratorium bepaald is. De fout, die men maakt door de in het laboratorium bepaalde  $\mu$ -waarde toe te passen, ook wanneer de grondwaterstand zich juist op  $H$  cm onder het maaiveld bevindt, is echter niet groot en kan meestal verwaarloosd worden.

Iets anders treedt op, wanneer de grondwaterstand zich op een kleinere diepte dan  $H$  cm onder het maaiveld bevindt. Nemen we bijv. eens een homogene grond in oogenschouw, om hier niet ter zake zijnde complicatie's uit te sluiten, dan zal de grond boven het phreatisch oppervlak, onafhankelijk van den stand van het phreatisch oppervlak, vrijwel geheel verzadigd blijven met water, zolang het phreatisch oppervlak zich op een geringere diepte dan  $H$  cm onder het maaiveld bevindt (zie ook Hoofdstuk I). Bij daling van het phreatisch oppervlak gebeurt er immers niets anders dan dat de kromming van de

menisci in de capillairen sterker worden. Deze menisci veranderen niet van plaats, uitgezonderd dan die in enkele grovere capillairen, welk aantal toeneemt, naarmate het phreatisch oppervlak meer een stand van  $H$  cm onder het maai-veld nadert. Bij hooge standen is de effectieve  $\mu$ -waarde dan ook zeer klein, terwijl zij bij dalende standen eerst langzaam en tenslotte snel toeneemt, totdat op voldoende diepte deze waarde gelijk is aan de op het laboratorium bepaalde  $\mu$ -waarde, nl. als  $\mu = p - W_{na}$ .

Zuiver theoretisch, maar m.i. wel interessant, is nog de volgende kwestie: Daar de hoeveelheid hangwater  $W_{na}$  met de toenemende fijnheid van den grond in groote lijnen voortdurend stijgt en dus de factor  $\mu$  van PORCHET (bij constante  $p$ ) en daarmee dus de hoeveelheid vrij capillair water voortdurend afneemt, kan bij zware kleigronden (in een éénkorrelstructuur) en bij een niet te groot poriënvolume  $\mu = 0$  worden; d.w.z.  $W_{na} = p$ . Dit zou beteekenen, dat in dien grond geen vrij capillair water meer aanwezig is. Van een capillaire stijghoogte kan dan ook niet meer gesproken worden. Blijft de vergelijking 39 gelden, dan is, daar  $p_0$  (of  $\mu$ ) nul is, deze in elk geval oneindig groot. De doorlatendheid van een dergelijke grond is volgens vergelijking 24 nul en daardoor eveneens de capillaire stijgsnelheid. In zeer zware gronden in een zeer dichte ligging zal deze toestand in de natuur in elk geval sterk benaderd worden. In overeenstemming hiermede bleek de capillaire stijgsnelheid in een zeer fijn gepoederden zeer zwaren kleigrond zeer klein, ofschoon niet nul, te zijn.

#### HOOFDSTUK IV.

##### A. BESCHRIJVING VAN DE WIJZE VAN UITVOERING VAN DE BEPALING VAN DE DOORLATENDHEID, DE MAXIMALE CAPILLAIRE STIJGHOOGTE, DE HOEVEELHEID HANGWATER EN DE CONSTATE $\mu$ VAN PORCHET.

###### I. DE DOORLATENDHEIDSBEPALING.

###### a. *Beschrijving van het gebruikte apparaat.*

De doorlatendheidsbepalingen zijn uitgevoerd met ongeveer hetzelfde apparaat als door ZUNKER (23) in zijn artikel in het „Handbuch der Bodenlehre“ is beschreven. Dit zelfde apparaat is ook met succes toegepast door SCHÖNWÄLDER (24). Een korte beschrijving van het gebruikte apparaat volgt hieronder, waarbij te gelijker tijd gewezen zal worden op de veranderingen, die in het apparaat van ZUNKER zijn aangebracht.

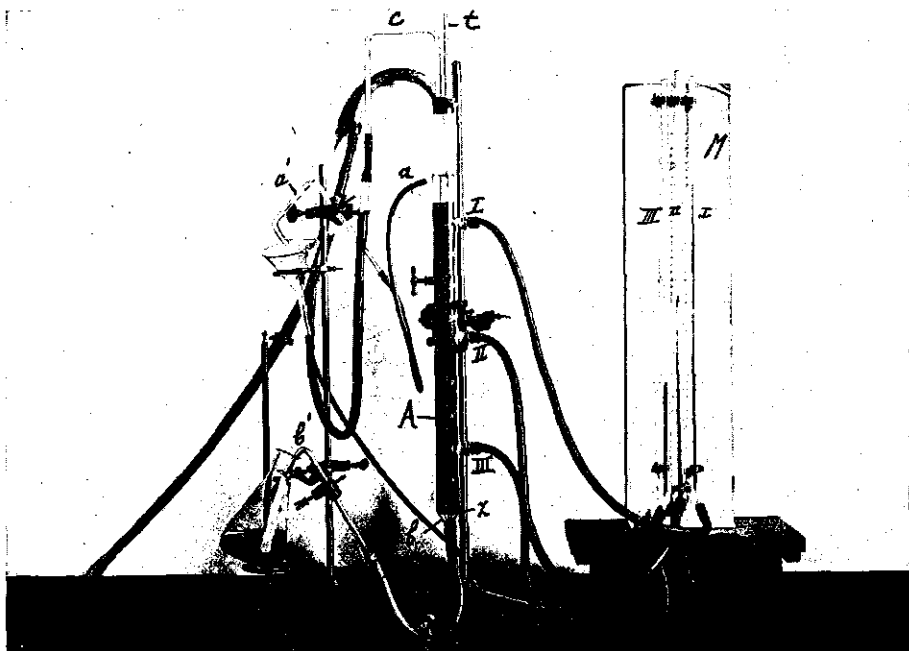


FIGURE 2.

Het eigenlijke apparaat A (zie figuur 2) bestaat uit een glazen buis van 1 mm wandsterkte en ongeveer 7,1 cm<sup>2</sup> inwendige doorsnede. Deze buis loopt van onderen conisch toe in een buis (b) van 1 cm uitwendige diameter. Op ongeveer 10 cm boven het punt, waar de buis conisch begint toe te loopen en — zoo nauwkeurig mogelijk — 15 en 30 cm daarboven, zijn 3 zijbuizen (I, II en III) aangesmolten van ongeveer 1,5 cm lengte, 1,7 cm uitwendige- en 1,5 cm inwendige diameter. Hierin zijn met behulp van glycerine en loodglit koperen buisjes gekit van ongeveer 1,3 cm uitwendige diameter, 1 mm wandsterkte en 2,5 cm lengte. Aan den binnenkant van de glasbuis zijn deze buisjes afgesloten door ingesoldeerde, rondgebogen, koperen plaatjes, waarvan de straal van de ronding gelijk is aan die van buis A en waarin zich in het midden, loodrecht op de lengte-as van buis A, een sleuf bevindt van 1 cm lengte en 1 mm breedte. De onderlinge afstanden van de middens van de sleuven zijn zoo precies mogelijk 15,0 cm van elkaar verwijderd (hoogstens 0,5 mm verschil). Op ongeveer 10 cm boven de zijbuis I aan den anderen kant is nog een ongeveer 2 cm lang buisje (a) gesmolten.

Buis A is van boven voorzien van een dubbeldoorboorde kurk, waarin voor de vrije toetreding van de lucht een gleuf is gesneden. Door de eene boring is een tot op 0,1° C. af te lezen thermometer gestoken en door de andere boring een tweemaal rechthoekig omgebogen buis, die aan het uiteinde onder de kurk kort 180° is omgebogen en hier trompetvormig is verwijfd.

Vanaf ongeveer 5 cm onder zijbuis III tot aan het zijbuisje a is buis A van een calibreering voorzien, waarbij tot op 3 cc direct de inhoud is af te lezen en door schatting tusschen 2 deelstreepen tot ongeveer 0,5 cc. Deze calibreering en de middelste drukbuis zijn de verbeteringen, die aan het apparaat van ZUNKER zijn aangebracht.

De zijbuizen I, II en III kunnen door middel van gummislangen verbonden worden met de gelijknamige glazen buizen van de manometer M (zie figuur II, waarnaar ook voor een verdere toelichting kan worden verwezen).

Tenslotte kan nog worden opgemerkt, dat alle gebruikte apparaten van te voren zorgvuldig zijn gecontroleerd en uitgemeten.

#### *b. Vulling van het apparaat en uitvoering van de bepaling.*

Nadat het geheele apparaat goed is gedroogd, worden de 3 koperen zijbuisjes gevuld met droge glaswol om binnendringen van den grond te voorkomen. In de buis wordt nu een van te voren goed uitgegloeid rond koperen zelfplaatje van een iets kleinere diameter dan buis A en met openingen van 0,5 mm gebracht, waarvan de buitenste rand iets naar binnen is omgeslagen. Hierop wordt met behulp van een lange stok een zoo wijd mogelijk uitgeoorde



gummikurk geduwd, waarom een grof linnen gaasje is geslagen. De doorlatendheid van zeefplaatje + gaasje is grooter dan die van de te onderzoeken grond, daar hier anders een groot drukverlies kan optreden (de juistheid van de bepaling wordt hierdoor overigens niet beïnvloed).

Met behulp van een langgesteelde trechter — om ontmenging van den grond te voorkomen — wordt nu de, van te voren zorgvuldig gemengde, grond in het apparaat gebracht, totdat ongeveer 5 cc van het gecalibreerde gedeelte met den grond is gevuld, waarna  $200 \times$  met den onderkant van de buis op de tafel wordt geklopt. Het zandoppervlak in de buis wordt nu zoo goed mogelijk horizontaal gemaakt, waarna de stand van dit oppervlak wordt afgelezen en genoteerd. Nu wordt voorzichtig uit een, met de te onderzoeken grond gevulde en gewogen, Erlenmeyer grond op dit oppervlak gebracht, zoodat de scheiding tusschen de eerst- en de later ingevulde zandgrond zoo goed mogelijk zichtbaar blijft. Is de buis tot ongeveer  $\frac{1}{4}$  van het gecalibreerde gedeelte gevuld, dan wordt  $200 \times$  op de tafel geklopt. Uit de Erlenmeyer wordt nu een laagje grond van 1 à 2 cm dikte op den grond in buis A gebracht, waarna dit laagje met behulp van een stevige koperdraad wordt vermengd met het bovenste laagje van den reeds aanwezigen grond. Hierdoor wordt de vorming van lagen in den grond tusschen de drukbuizen I en III, waarop het tenslotte aankomt, vermeden. De buis wordt nu op dezelfde wijze verder gevuld tot het oppervlak van den grond zich op 1 à 1,5 cm onder het zijbuisje a bevindt.

De zijbuisjes I, II en III worden nu met de leege, overeenkomstige manometerbuizen verbonden, evenals buis b onderaan buis A met het waterreservoir (of hier met de kraan van de leiding voor gedestilleerd water), waarna men het water van onderen in den grond laat opstijgen, waardoor de lucht — behalve soms in fijne zandgronden met veel humus —, volledig wordt verwijderd. Zoodra de geheele kolom grond verzadigd is met water, wordt de toevoerslang van het waterreservoir door een schroefkraan afgesloten. Buis A wordt nu van boven gesloten door een gummikurk en uit de klem van het statief genomen. De gummislang wordt bij het ondereinde van buis b omgeslagen, waarna met dit gedeelte zoo lang op de tafel wordt geklopt, totdat het zandoppervlak in de buis niet meer daalt; eventueel wordt nog wat nieuwe grond uit de Erlenmeyer toegevoegd. Ziet men luchtbelletjes in de kolom grond, dan worden deze verwijderd door de buis schuin te houden, zoodat de betreffende luchtbelletjes zich aan den bovenkant bevinden, waarna met een stevige koperdraad een kanaaltje in de zandkolom wordt geboord, waardoor de belletjes kunnen ontwijken. Daarna wordt de grond in de buis weer aangestampt.

Is alles in orde, dan worden eventuele luchtballen in de verbindingsslangen naar den manometer zorgvuldig verwijderd. Buis A wordt nu in zijn gewonen

stand in de klem van het statief teruggebracht, het zandoppervlak van de zandkolom zoo goed mogelijk horizontaal gemaakt en de stand van dit oppervlak afgelezen. Ook wordt nu nagegaan of het scheidingsvlak onder zijbuis III tusschen het eerst ingebrachte kolommetje grond en de latere kolom grond nog is gedaald. Gewoonlijk bedroeg dit ongeveer 0,5 cc, waarmede dan ook de inhoud van de kolom grond, waarvan de grond afkomstig was uit de met grond gevulde en gewogen Erlenmeyer, werd vergroot. Door deze Erlenmeyer nu terug te wegen kan uit de afname van het gewicht — in aanmerking genomen het vochtgehalte van den luchtdrogen grond — het volume-gewicht en, met behulp van het specifiek gewicht van den grond, het poriënvolume van de beschouwde kolom grond worden berekend.

Nadat buis a en b met gummislangetjes verbonden zijn met de tweemaal omgebogen buisjes a' en a', waarin zich in de bovenste knik een gaatje bevindt om hevelwerking te voorkomen, en ook de buis c met een gummislang verbonden is met het waterreservoir kan de meting beginnen. Hiertoe wordt de kraan van het waterreservoir zoover geopend, tot het water ongeveer 1 cm boven het zijbuisje staat en het water met een fijn straaltje uit de buis a' stroomt. Met behulp van een dikke, stevige koperdraad wordt de bovenste 1 cm dikke laag van de grondkolom omgeroerd, totdat het water boven de zandkolom helder is geworden, waarna men de watertoevoer zoover afsluit, totdat het water nog slechts druppelsgewijs uit buis a' komt. Doet men dit niet, dan kan dit bovenste laagje door de bezinkende fijnere deeltjes een veel kleinere doorlatendheid krijgen dan de overige kolom grond, waardoor van het beschikbare verval een veel te groot deel wordt afgenomen. Mocht dit laagje door het uitspoelen van de fijnere deeltjes een grootere doorlatendheid krijgen dan elders in de kolom grond, zoo hindert dit niets, daar alleen de doorlatendheid van den grond tusschen de spleten in de zijbuisjes I/III gemeten wordt.

Zoolang de klemkraan de gummislang tusschen de buizen b en b' nog sluit, staat het water in alle drie manometerbuizen even hoog. Wordt nu echter deze klemkraan verwijderd dan beginnen de vloeistofspiegels in de manometerbuizen II en III te dalen, terwijl de stand in buis I vrijwel gelijk blijft. Er wordt nu zoo lang gewacht, totdat de stand van de waterspiegels in de manometerbuizen niet meer verandert. De hiertoe benoodigde tijd is zeer verschillend. Voor grovere zandgronden is dit ongeveer 10 minuten, terwijl bij de fijnste zandgronden de nacht over moet worden gewacht. In vele gevallen kan men den benoodigden tijd voor deze instelling belangrijk verkorten door uit de manometerbuizen zooveel water te laten vloeien tot de vloeistofspiegels ongeveer den stand hebben, die ze in verband met den stand van buis b' zullen bereiken. Hebben de vloeistofspiegels in de manometerbuizen zich ingesteld,

dan wordt de stand daarvan genoteerd evenals de temperatuur van het water. Onder het buisje b' wordt nu een gewogen Erlenmeyer geplaatst en op het zelfde moment een stophorloge in werking gesteld. Zoodra zich een behoorlijk weegbare hoeveelheid water in de Erlenmeyer heeft verzameld, wordt opnieuw de temperatuur afgelezen evenals de stand van de waterspiegels in de manometerbuizen, waarna de Erlenmeyer op de volle minuut onder het buisje b' wordt weggenomen en gewogen. Het buisje b' wordt nu op een hooger stand in het statief bevestigd, waarna men weer de waterspiegels in de manometerbuizen zich laat instellen, enz.

Afhankelijk van de grootte van de doorlatendheid wordt een bepaling vericht bij 4, 3, 2, verschillende standen of bij een gelijkblijvende stand van het buisje b' of m.a.w. bij 4, 3, 2 verschillende grootten van het verval of bij een gelijk blijvend verval. De bepaling is nu afgeloopen.

De minimum hoeveelheid, die nog behoorlijk weegbaar is, kan in verband met de verdamping, enz. op 1 à 2 gram in 2 uur tijd worden gesteld; bij nog kleinere hoeveelheden wordt de bepaling te onnauwkeurig. De kleinste doorlatendheidscoëfficiënt, die op zich zelf bij het grootste verval met dit apparaat nog met voldoende nauwkeurigheid te meten is, bedraagt dan ook 0,01 à 0,02 m/24 uur. Zooals later zal blijken hebben we dan ook ongeveer de grens bereikt, waarbij de doorlatendheidsbepalingen in het laboratorium nog zin hebben, daar gronden met een dergelijke kleine doorlatendheid reeds neiging hebben tot het doen ontstaan van een microstructuur.

Tenslotte kan nog worden opgemerkt, dat nog vele andere methoden van vulling (25) zijn toegepast, die echter alle minder goede resultaten hebben gegeven. Een middel om dit te controleeren vormt daartoe de middelste drukbuis II. Bij volkomen homogene vulling moet immers het hoogteverschil tusschen de waterspiegels in de manometerbuizen II en III en I en II gelijk zijn. Dit is echter bij geen enkele methode van vulling te bereiken. De kleinste verschillen traden echter op met de beschreven methode, waarbij ook de best kloppende duplobepalingen werden verkregen. Een volkomen homogene vulling is dus niet of bij toeval te bereiken.

Deze in zekeren zin optredende heterogeniteit van de vulling zal dus een zekere fout in de bepaalde K-waarde veroorzaken. De eenigste methode om de grootte-orde van deze fout — naast die van later te noemen of reeds genoemde foutenbronnen — te leeren kennen zijn herhalingen van de bepaling met een geheel nieuwe vulling van buis A, waarbij de K-coëfficiënten moeten worden omgerekend op een temperatuur van het water van 10° C. en een porievolume van 35 Vol. %. De afwijking van deze bepalingen van de gemiddelde  $K_{10/35}$ -coëfficiënt geeft dan de mogelijke fout aan, die bij toepassing van deze gemiddelde  $K_{10/35}$ -coëfficiënt kan optreden.

c. *Berekening van den doorlatendheidscoëfficiënt.*

Als voorbeeld van de wijze van berekening van de doorlatendheidscoëfficiënt en van de omrekening van deze factor op een temperatuur van het water van 10° C. en een porienvolume van 35 Vol. %, moge de bepaling met den grond B 1125 dienen.

Gebruikt werd apparaat n°. 5. Het volume van de kolom grond bedroeg na correctie 248,5 cc en het gewicht aan droge stof was 427,3 gram. Het volumegewicht was dus  $\frac{427,3}{248,5} = 1,719$ . Het soortelijk gewicht van den grond bedroeg 2,648 en dus het porienvolume  $100 - \frac{1,719}{2,648} \cdot 100 = 35,1$  Vol. %.

De resultaten van de verschillende metingen zijn nu in de tabel I opgenomen.

De temperatuur van het water en dus de dichtheid is overal dezelfde, hetgeen dus beteekent, dat het verval volgens de door mij voorgestelde definitie ( $h_s : l$ ) bij de eerste meting bijv. bedroeg 27,86 : 29,90. Een correctie voor de dichtheid van het water en een omrekening van de gewogen hoeveelheid water in cc is niet noodig.

Bij de toepassing van de reeds eerder genoemde formule:  $Q_{\text{sec}} = K \frac{h_s}{l} F$  of als  $Q'$  de hoeveelheid doorgelooft water in  $t$  seconden voorstelt:  $\frac{Q'}{t} = \frac{K h_s}{l} F$  of  $K = \frac{Q' l}{h_s t F}$ , blijkt, dat bij het gebruik van hetzelfde apparaat verschillende factoren constant blijven ( $l$  en  $F$ ). Drukken we in het vervolg de doorgelooft hoeveelheid water uit in cc (= grammen) en de tijd in minuten, dan is dus de constante van Apparaat n°. 5 wanneer te gelijker tijd  $K$  wordt uitgedrukt in m/24 uur:

$$A_5 = \frac{1440 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4 \cdot 29,90}{7,12} = 61,38,$$

waardoor bovenstaande formule overgaat in:

$$K = \frac{Q \cdot A_5}{t \cdot h_s} \quad (42)$$

Met behulp van vergelijking 42 zijn nu de  $K$ -waarden bij ieder verval berekend. Daar de veranderingen in de temperatuur gedurende de geheele bepaling zeer gering zijn, kan gerust direct het gemiddelde van de berekende  $K$ -waarde en van de temperatuur berekend worden.

TABEL 1.

Meting.	Mano- meter- buis.	Stand waterspiegel in cm.				Gemid- delde tempe- ratuur in °C.	Hoeveel- heid door- gelopen water in grammen.	Tijd, waarin water doorloopt in minuten.
		Begin.	Eind.	Gemid- deld.	Vershil.			
Eerste	I	11,55	11,50	11,53	15,36	17,2	65,4	15
Meting	II	— 3,80	— 3,85	— 3,83				
	III	—16,35	—16,30	—16,33				

Vershil I/III 27,86

$$K = \frac{65,4 \cdot A_5}{15 \cdot 27,86} = 9,48 \text{ M/24 uur.}$$

Tweede	I	12,20	12,20	12,20	12,60	17,1	71,2	20
Meting	II	— 0,40	— 0,40	— 0,40				
	III	—10,45	—10,45	—10,45				

Vershil I/III 22,65

$$K = \frac{71,2 \cdot A_5}{20 \cdot 22,65} = 9,51 \text{ M/24 uur.}$$

Derde	I	13,45	13,45	13,45	7,95	16,7	49,2	22
Meting	II	5,5	5,5	5,5				
	III	— 1,0	— 1,0	— 1,0				

Vershil I/III 14,45

$$K = \frac{49,2 \cdot A_5}{22 \cdot 14,45} = 9,34 \text{ M/24 uur.}$$

Vierde	I	11,35	11,35	11,35	15,50	16,8	86,5	20
Meting	II	— 4,15	— 4,15	— 4,15				
	III	—16,65	—16,65	—16,65				

Vershil I/III 28,0

$$K = \frac{86,5 \cdot A_5}{20 \cdot 28,0} = 9,35 \text{ M/24 uur.}$$

Bij het gegeven voorbeeld is de gemiddelde K-waarde 9,29 m/24 uur bij 17° C. en een porienvolume van 35,1 Vol. %. Deze wordt nu zoowel met behulp van vergelijking 25 als 26 omgerekend op een temperatuur van het water van 10° C. en een porienvolume van den grond van 35,0 Vol. %. Voor  $K_{10/35}$  (KOZÉNY) werd berekend 7,72 m/24 uur en voor  $K_{10/35}$  (ZUNKER) 7,74 m/24 uur. Dat het verschil tusschen deze K-coëfficiënten hier zoo gering is, komt, doordat het porienvolume bij de waarnemingen bijna 35 Vol. % bedroeg. Deze verschillen blijven in het algemeen echter klein, daar het porienvolume meestal tusschen 30 en 40 % blijft.

Verder zien we, dat de doorlatendheidscoëfficiënt vrijwel constant blijft, d.w.z. onafhankelijk is van het gebruikte verval is. Dit werd steeds gevonden, waaruit dus tevens nog eens blijkt, dat de wet van DUPUIT-DARCY voor de onderzochte gronden met voldoende benadering juist is. Tevens volgt hieruit, dat het luchtgehalte in de kolom grond te verwaarloozen klein is. Bevat de grond een niet te verwaarloozen hoeveelheid lucht, dan zal de doorlatendheidscoëfficiënt in verloop van tijd niet constant blijven, maar langzaam afnemen, zooals o.a. door SCHÖNWÄLDER (26) en ook op ons instituut is waargenomen.

Tenslotte moet nog worden opgemerkt, dat de invloed van de glaswand van het apparaat, zooals door ZUNKER op blz. 155 in het „Handbuch der Bodenlehre” is aangegeven, in aanmerking moet worden genomen. Daartoe moet het oppervlak van den glaswand bij het totaal oppervlak van de gronddeeltjes worden opgeteld. Noemt men  $U'_{cm}$  het gecorrigeerde specifiek oppervlak van het zand en  $U_{cm}$  het niet gecorrigeerde, dan is

$$U'_{cm} = U_{cm} \cdot \frac{2}{3(1-p)e}, \quad (43)$$

waarin  $p$  het porienvolume en  $e$  de inwendige doorsnede van het gebruikte apparaat in cm voorstelt. Deze correctie komt dus hierop neer, dat men de bepaalde K-coëfficiënt met behulp van het gecorrigeerde specifiek oppervlak ( $U'_{cm}$ ) omrekend op de doorlatendheidscoëfficiënt, die bepaald zou zijn in een apparaat van oneindig groote doorsnede. Daar echter hier de kleinste doorsnede van de gebruikte apparaten ongeveer 3 cm was en het porienvolume op 35 % kan worden gesteld, is dus de correctie van het specifiek oppervlak hoogstens ongeveer 0,35. Daar het grofste zand, dat onderzocht werd een specifiek oppervlak van ongeveer 18,0 had, bedraagt de correctie slechts hoogstens 2 %. Deze correctie is te verwaarloozen, daar aan de bepaling van  $U_{cm}$  uit de resultaten van de zeefanalyse fouten van dezelfde grootte-orde zijn verbonden, afgezien nog van het feit, dat ook de invloed van de kleine hoeveelheden klei, humus en koolzure kalk moeten worden verwaarloosd bij het aanbrengen van deze correctie.

## II. DE BEPALING VAN DE MAXIMALE CAPILLAIRE STIJGHOOGTE.

### a. Beschrijving van de gebruikte apparaten.

Oorspronkelijk werd gebruik gemaakt van eenzelfde soort apparaat, als door ENGELHARDT (zie noot 4) in zijn proefschrift is beschreven. Reeds spoedig bleek echter, dat het noodzakelijk was ook het porienvolume van den onderzochten grond onder de omstandigheden van de bepaling te weten. Daarom werden de afmetingen van den capillarimeter zoodanig gekozen, dat met voldoende benadering het volumegewicht en daaruit, met behulp van het specifiek gewicht, het porienvolume kon worden berekend.

Met behulp van dit apparaat werd op twee verschillende manieren de capillaire stijghoogte gemeten met de bedoeling na te gaan, welke methode de beste resultaten geeft.

Daar nu voor beide boven aangegeven methoden dezelfde capillarimeter wordt gebruikt, moge deze het eerst beschreven worden. Deze capillarimeter bestaat uit twee vernikkelde koperen ringen, die gedeeltelijk ineen geschroefd worden en waartusschen een zeefplaatje met openingen van  $\frac{1}{2}$  mm doorsnede en een grof linnen gaasje zijn vastgeklemd. Voor de luchtdichte afsluiting zijn de ringen op de plaats, waar ze ineen geschroefd zijn, verwarmd en met pizeine bedekt, waardoor ook de schroefgang gevuld wordt en een luchtdichte afsluiting absoluut verzekerd is. De bovenste ring heeft een inwendigen doorsnede van precies 2,26 cm en een hoogte van precies 5 cm, zoodat de inhoud boven het linnenlapje  $20,0 \text{ cm}^3$  is. In de onderste ring is met behulp van zegellak een glasbuis (a) gekit van een vorm als in figuur 3a en 3b is aangegeven.

Hierbij moet nog worden opgemerkt, dat de maximale capillaire stijghoogte van zeefplaatje + gaasje natuurlijk kleiner moet zijn dan de stijghoogte van de grofste van de te onderzoeken gronden.

De beschrijving van de verdere apparatuur, die bij de bepaling volgens de eerste- of tweede methode is gebruikt, volgt hieronder.

#### *Eerste methode of methode zonder luchtonderdruk.*

Alvorens de gebruikte apparatuur nader te beschrijven, moge eerst even in het kort het principe, waarop de methode berust, worden aangegeven. Bevestigt men aan den capillarimeter een gummislang en vult deze met water, terwijl de capillarimeter boven het linnen lapje op een later te bespreken manier gevuld wordt met den te onderzoeken grond, dan zal, wanneer het ondereinde van de gummislang zich in een bak met water bevindt, er lucht, bij een steeds toenemende hoogte van den capillarimeter boven den waterspiegel in den bak, onder het zeefplaatje verschijnen op het moment, dat de negatieve capillari-

teitsdruk van den grond gelijk is aan het gewicht van de kolom water ( $H\rho$  dyne's/cm<sup>2</sup>), gemeten in loodrechten richting tusschen den onderkant van de kolom grond in den capillarimeter en het wateroppervlak in den bak. De maximale capillaire stijghoogte is gelijk aan de *lengte* van deze kolom water in cm. Het verband tusschen de capillaire stijghoogte ( $H$ ) en den negatieven capillariteitsdruk ( $P$ ) is immers:

$$P = H \rho g \text{ dyne's/cm}^2, \quad (44)$$

De uitvoering van deze methode is nu zoodanig verbeterd, dat de bepalingen gemakkelijk en snel verloopen. Zooals uit figuur 3a blijkt, is de capillarimeter hier met behulp van een lange gummislang verbonden met een glazen vat B, dat als waterreservoir dienst doet. Zoowel de capillarimeter als het glazenvat B, zijn voorzien van een koperen beugel, waarin pennen zijn bevestigd, die op hun beurt loopen tusschen koperen rails, die op een houten raamwerk zijn bevestigd. Aan den capillarimeter is verder een koperen ketting bevestigd op een wijze als figuur 3a dit verder aangeeft.

Deze ketting loopt over een katrol aan de onderzijde van den verbindingsbalk tusschen de 3 lijsten van het raamwerk (op de figuur niet zichtbaar). Door middel van deze ketting kan de capillarimeter gemakkelijk worden opgetrokken en op elke gewenschte hoogte worden vastgezet.

Ook het glazen vat B kan op verschillende hoogten worden vastgezet. Hiertoe zijn op gelijken afstand gaatjes in de rails geboord, waardoor pennen kunnen worden gestoken.

Op den capillarimeter is verder nog een reep koper met een pijlvormige punt gesoldeerd. Deze punt loopt over een schaalverdeeling, waardoor het hoogteverschil tusschen den onderkant van de kolom grond en het wateroppervlak in het vat B gemakkelijk kan worden afgelezen.

Verder kunnen, zooals in figuur 3a te zien is, twee bepalingen te gelijker tijd worden verricht.

Tenslotte kan nog worden opgemerkt, dat met dit apparaat practisch geen grootere stijghoogten kunnen worden gemeten dan 3 m.

#### *Tweede methode of methode met luchtonderdruk.*

Het principe van deze methode is in wezen niet zeer verschillend van de eerst besproken methode. De onderdruk in het water aan den onderkant van de kolom grond wordt hier niet verkregen door het gewicht van een kolom water, maar — afgezien dan van een kleine kolom water — door een luchtonderdruk, zooals uit de beschrijving zonder meer duidelijk zal zijn.

Aan de buis a van den capillarimeter A is met behulp van een stukje gummislang een glasbuisje b (zie figuur 3b) bevestigd, dat van onderen in een niet te



fijne punt is uitgetrokken. Buis a van den capillarimeter is door de eene boring van een gummikurk gestoken, die een cylindrisch glazen vat B luchtdicht kan afsluiten. Door de andere boring is een rechthoekig omgebogen glazen buisje gestoken, dat met een vacuumslang verbonden is met een eveneens rechthoekig omgebogen glasbuisje e. Dit glasbuisje e bevindt zich in één van de 4 boringen van een gummikurk, die een eveneens cylindrisch glazen vat luchtdicht afsluit (de kraan in buis e is niet noodzakelijk). In de andere boringen bevinden zich: een rechthoekig omgebogen kraanbuisje f, dat met een vacuumslang verbonden is met een open kwikmanometer m; een rechte kraanbuis d en een omgebogen kraanbuis c. Deze laatste is met een vacuumslang verbonden met de terugslagflesch van een waterstraalpompe. Op de sleutel van de glaskraan van buis c is een lange ijzeren pen bevestigd, waardoor deze kraan zeer langzaam kan worden geopend. Tenslotte kan nog worden opgemerkt, dat vat B zoodanig in een klem aan een statief is bevestigd, dat dit vat met den capillarimeter gemakkelijk  $180^\circ$  kan worden gedraaid.

*b. Uitvoering van de bepaling.*

Eerste methode.

Een kleine Erlenmeyer wordt met een hoeveelheid, goed gemengden, grond gevuld en gewogen. De capillarimeter A (figuur 3a) wordt nu uit de rails genomen en enkele cm's hooger dan het waterreservoir B in een klem aan een statief op de werktafel bevestigd. De gummislang en het waterreservoir B worden nu gevuld met gedestilleerd water, waarbij de uiterste zorg moet worden gedragen, dat geen lucht in de gummislang achterblijft. Brengt men nu het reservoir B in een hooger stand, dan stijgt het water door het zeefplaatje, en linnen lapje tot in de bovenste ring van den capillarimeter A op. Ook nu moet men zich er van overtuigen, dat geen lucht onder het zeefplaatje meer aanwezig is (capillarimeter afsluiten en  $180^\circ$  omdraaien). Is geen lucht meer aanwezig, dan wordt in den capillarimeter een weinig grond gebracht. Het water zakt nu door het laagje grond weg; de kolom water onder de zeefplaat breekt echter niet af, daar de capillariteitsdruk van het laagje grond nu in elk geval groot genoeg is. Bij kleine hoeveelheden wordt nu de grond uit den Erlenmeyer in het apparaat gebracht en telkens met een ijzeren stampertje aangestampt, totdat de grond geheel bevochtigd is. De laatste hoeveelheden worden voorzichtig in het apparaat gebracht en aangestampt, totdat het apparaat precies gevuld is. De Erlenmeyer wordt nu teruggewogen, waardoor het gewicht van de hoeveelheid luchtdroge grond en het volume van de grondkolom (20,0 cm) bekend zijn. Hieruit is dus het volumegewicht en het porievolumen van den grond te berekenen.

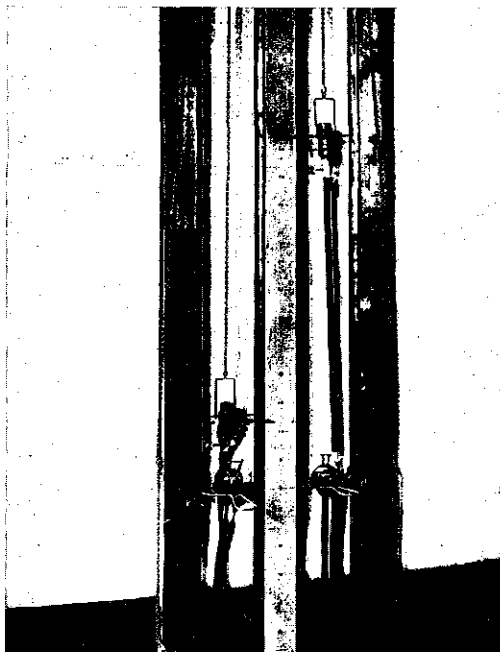


FIGURE 3a.

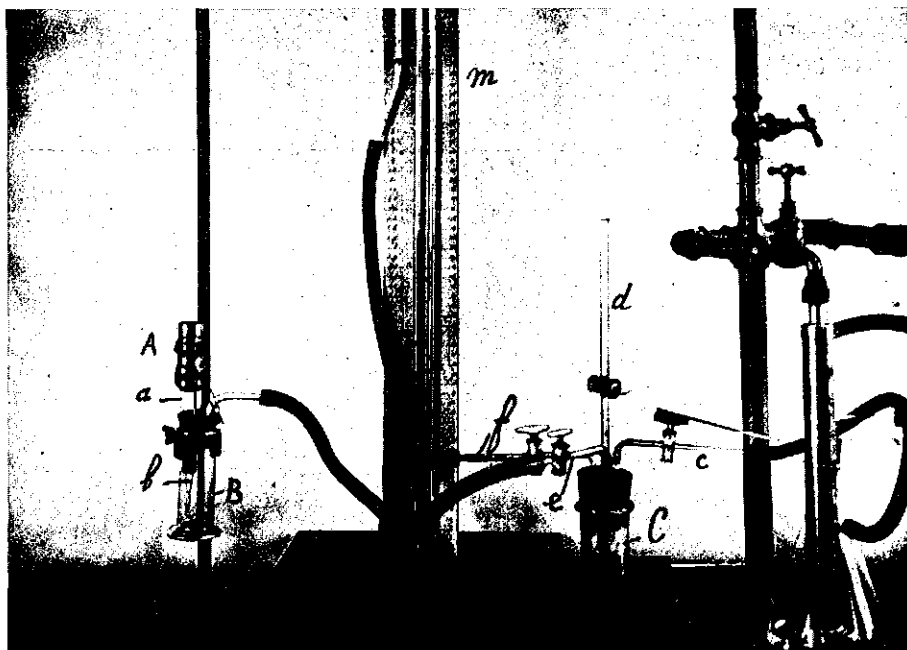


FIGURE 3b.

De capillarimeter wordt nu weer in de rails aan de koperen ketting gehangen, waarna de capillarimeter tot een bepaalde hoogte wordt opgetrokken.

Al naar de grofheid van den te onderzoeken grond is het hoogteverschil tusschen de capillarimeter en het wateroppervlak in het reservoir B bij het begin van de bepaling verschillend evenals de tijd, die tusschen 2 verschillende standen wordt gewacht, voordat de stand van den capillarimeter weer wordt verhoogd. Schat men de stijghoogte bijv. op 100 cm, dan kan de beginstand van den capillarimeter direct op 50 cm boven het wateroppervlak in vat B worden genomen, enz.

In grovere zandgronden verhoogt men dezen stand telkens 1 à 2 cm en behoeft daartusschen telkens slechts kort te wachten; voor middelmatig grove zandgronden verhoogt men den stand telkens 5 cm en wacht eenige minuten, terwijl voor de fijnere zandgronden de stand telkens met 10 cm wordt verhoogd en 5 tot 10 minuten wordt gewacht, voordat de stand wordt verhoogd, enz., totdat er lucht onder het zeefplaatje verschijnt.

Het gemiddelde hoogteverschil in cm, resp. tusschen den laatsten- en den voorlaatsten stand van den capillarimeter en het wateroppervlak in vat B, geeft de capillaire stijghoogte aan.

De grootste maximale capillaire stijghoogte, die met dit apparaat kan worden bepaald, is, zooals reeds eerder werd opgemerkt, 300 cm. Voor fijnere gronden lijkt mij voor praktische toepassingen, de opmerking „capillaire stijghoogte meer dan 3 m” voldoende. In de eerste plaats bevindt zich het phreatisch oppervlak gewoonlijk op een geringere diepte dan 3 m onder het maaiveld (zie in dit verband Hoofdstuk II), terwijl bovendien gronden met een stijghoogte van meer dan 3 m reeds zoo fijn zijn, dat men zich de vraag moet stellen of deze gronden zich in de natuurlijke omstandigheden nog wel in een éénkorrelstructuur bevinden.

Wil of moet men de stijghoogte van dergelijke fijne gronden in een éénkorrelstructuur toch bepalen, zoo moet de tweede methode of beter nog een methode met *luchtoverdruk*, worden gebruikt.

#### Tweede methode.

De capillarimeter A wordt voorzien van het buisje b. Dit buisje b wordt met behulp van een gummislang verbonden met een glazen trechter. De gummislang en trechter worden nu met water gevuld, waarna de capillarimeter op precies dezelfde wijze gevuld wordt, als onder de beschrijving van de uitvoering van de eerste methode is aangegeven.

De gevulde capillarimeter (buis a en b zijn dus met water gevuld) wordt nu weer met de gummikurk op vat B (figuur 3b) geplaatst. De kranen in buis c en d worden nu gesloten, terwijl de andere geopend blijven, waarna de water-

straalpompe in werking wordt gesteld. Door nu de kraan in buis c zeer weinig te openen, kan men den onderdruk in vat B zeer langzaam laten oploopen. Zoodra deze onderdruk een halve cm kwik bedraagt, wordt de capillarimeter met vat B 180° omgedraaid, zoodat het buisje b naar boven gericht is.

Bij de meer grovere gronden laten we nu den onderdruk continue verder toenemen, totdat een regelmatige reeks gasbelletjes in het buisje b begint op te stijgen. De onderdruk, die van tijd tot tijd wordt afgelezen, wordt nu voor het laatst genoteerd. Het gemiddelde van de laatste en op één na laatste aflezing wordt nu voor de berekening van de maximale capillaire stijghoogte gebruikt.

Bij fijnere gronden wordt zoo nu en dan eenige minuten de kraan in buis c gesloten om het evenwicht in de zandkolom te laten instellen.

Is de onderdruk nu  $n$  cm kwik, wanneer de luchtbelletjes beginnen op te stijgen, en nemen we voor het specifiek gewicht van kwik 13,6 aan, t. o. z. van zuiver water, dan zal de maximale negatieve capillariteitsdruk bedragen:

$$P = (13,6 \ n-h) \ g \ \rho \ dyne's/cm^2, \quad (45)$$

waarin  $h$  de lengte van de kolom water is, die zich boven de kolom grond in buis a en b bevindt. Daar verder  $P = H\sigma g$  is dus:

$$H = 13,6 \ n-h \ cm \quad (46)$$

Bij deze methoden voor de bepaling van de maximale capillaire stijghoogte moeten enkele opmerkingen worden gemaakt.

Wordt volgens de tweede methode de stijghoogte bepaald van fijne zandgronden, dan begint niet als bij de grovere zandgronden bij een bepaalden onderdruk een regelmatige reeks luchtbelllen in de buisjes a en b op te stijgen, maar beginnen vanaf een bepaalden onderdruk nu en dan eenige luchtbelletjes op te stijgen. Sluit men nu kraan c eenigen tijd en laat men daarna de onderdruk verder oploopen, dan is het zeer goed mogelijk, dat pas bij een veel hooger onderdruk weer luchtbelletjes beginnen op te stijgen. Deze luchtbelletjes zijn dus waarschijnlijk niet door de kolom grond heengezogen, maar afkomstig van de, in de kolom grond bij de vulling achtergebleven, lucht of van de oorspronkelijk in het water opgeloste lucht. Bij een toenemenden onderdruk komt er tenslotte een punt, waarbij de luchtbelllen blijven opstijgen, ook nadat de kraan c eenigen tijd gesloten is geweest. Uit dezen onderdruk werd in deze gevallen  $H$  berekend. Het behoeft echter geen betoog, dat deze bepaling van grootere maximale capillaire stijghoogten (reeds bij een stijghoogte van 4 m kunnen dergelijke verschijnselen optreden), niet erg nauwkeurig meer is; zij het dan ook, dat met veel oefening nog wel niet te ver uiteenwijkende duplo's zijn te verkrijgen.

De critiek door ZUNKER (27) op deze bepalingsmethode uitgeoefend, lijkt

mij dan ook juist. Volgens dezen onderzoeker is het absoluut noodzakelijk de lucht uit deze fijnere gronden en uit het gebruikte water te verwijderen of een andere methode toe te passen. Naar mijn meening laat zich bij gronden met een grootere stijghoogte dan 3 à 4 m dan ook reeds met voordeel een methode met luchtverdring gebruiken, zooals bijv. door ZUNKER (zie noot 27) is beschreven. In dit geval zal een gering luchtgehalte in het water of in de kolom grond in den capillarimeter niet hinderen.

In de tweede plaats is door ENGELHARDT (zie noot 4) uitvoerig nagegaan, welken invloed de dikte van de kolom grond in den capillarimeter op de grootte van den negatieve capillariteitsdruk en dus ook op de maximale capillaire stijghoogte uitoefent. Hierbij bleek, dat bij voldoende dikte (groter dan ongeveer 20 mm) van de kolom grond de capillariteitsdruk constant bleef. Deze druk werd door hem de *maximale* negatieve capillariteitsdruk genoemd. De verklaring van dezen constanten maximalen capillariteitsdruk lijkt mij juist. Vanaf een bepaalde dikte van de kolom grond vormen alleen menisci in die capillairen het capillair oppervlak, die een capillariteitsdruk hebben, die gelijk is aan den maximalen druk. Bij dunnere lagen vormen echter ook menisci in wijdere capillairen het capillair oppervlak, waardoor de te bepalen capillariteitsdruk kleiner wordt. Opgemerkt moet worden, dat uit de uitkomsten van de grondkolommen methode het waarschijnlijk wordt, dat ook bij voldoende dikte van de grondkolom toch nog enkele menisci in enkele fijnere capillairen met een grooteren capillariteitsdruk tot het capillair oppervlak behooren. De mogelijkheid van de vorming van dergelijke menisci is echter zoo gering, dat ook bij een toenemende dikte van de grondkolom toch het capillair oppervlak *niet geheel* door deze menisci kan worden gevormd (zie Hoofdstuk V, sub D).

In verband hiermede kan worden opgemerkt, dat, daar bij de door mij gebruikte apparaten de grondkolom 5 cm dik is, zeker de maximale negatieve capillariteitsdrukken en dus ook de maximale capillaire stijghoogten worden bepaald.

Tenslotte kan nog worden opgemerkt, dat er ook hier een invloed van het wandoppervlak (doorsnede apparaat) op  $U_{cm}$  en dus op de maximale stijghoogte optreedt. Ook hier kan echter deze invloed, om dezelfde reden als bij de doorlatendheidsbepaling is beschreven, worden verwaarloosd.

### III. DE BEPALING VAN DE HOEVEELHEID HANGWATER EN VAN DE FACTOR $\mu$ VAN PORCHET.

#### a. Beschrijving van de gebruikte apparaten.

Het eigenlijke apparaat (zie figuur 4) bestaat uit een soort cilindrische koperen trechter A met zeefplaatje waarin de te onderzoeken grond wordt

gebracht en een afzuigbuis B. De trechter heeft een wandsterkte van  $\pm 2$  mm, het cilindrische gedeelte is uitwendig ongeveer 10 cm lang en heeft een inwendige doorsnee van 5,05 cm of 20,0 cm<sup>2</sup>. Op het conische gedeelte rust een rond koperen zeefplaatje (openingen  $\pm 1$  mm) van ongeveer dezelfde diameter als het cilindrische gedeelte. De lengte van het cilindrische gedeelte is zoodanig, dat de afstand van de bovenkant van het zeefplaatje tot den bovenrand van den cylinder overal juist 9,80 cm is. De steel van de trechter A gaat door de boring van een gummikurk, die past op de afzuigbuis B van een stevig glas. Deze buis B heeft een lengte van  $\pm 17$  cm en een inwendige doorsnee van  $\pm 2,5$  cm en is tot een werkelijke inhoud van 50 cm<sup>3</sup> gecalibreerd, waarbij ieder 0,5 cm<sup>3</sup> rechtstreeks kan worden afgelezen en daar tusschen tot 0,1 cm<sup>3</sup> kan worden geschat. Het zijbuisje van de buis B is verbonden met de terugslagflesch van een waterstraalpomp. De trechter, die bevestigd is in een klem van een zwaar soort statief, is door een gummikurk afgesloten, die in het midden van een boring is voorzien, waarin zich een rechthoekig omgebogen glasbuis bevindt. Door middel van een gummislang is dit buisje verbonden met een gewone waschflesch C, deze weer achtereenvolgens met 2 zeer intensief werkende waschfleschjes D en E, terwijl deze laatste weer verbonden is met vat F van een vorm, zooals gewoonlijk voor droogtoren gebruikt wordt. Hier bevat echter het bovenste gedeelte glaskogeltjes (3 mm doorsnede) en het onderste gedeelte gedestilleerd water, dat zich ook in de waschfleschjes C, D en E bevindt. De glaskogeltjes worden zoo nu en dan bevochtigd met water.

Bij het inwerking stellen van de waterstraalpomp, wordt de lucht dus door vat F en de waschflesch E, D en C aangezogen, waardoor zij verzadigd wordt met waterdamp en dus verdamping van water uit den grond in den koperen trechter zoo klein mogelijk is.

Bij het apparaat behoort verder nog een koperen en een ijzeren stamper. De koperen stamper bestaat uit een schijf koper van precies 0,95 cm dikte en van een iets kleinere diameter dan van het cilindrisch gedeelte van den trechter A. Op deze schijf koper is in het midden een koperen steel stevig bevestigd. De zware ijzeren stamper bestaat eenvoudig uit een cilindrisch stuk ijzer, dat van onderen vlak is afgedraaid.

#### *b. Uitvoering van de bepaling.*

Op het zeefplaatje in den trechter A worden 2 passende schijfjes filtreerpapier (n<sup>o</sup>. 602 van de firma CARL SCHLEICHER en SCHÜLL) gebracht. Deze schijfjes worden, evenals de binnenwand van den trechter, goed met water bevochtigd, waarna met waterdamp verzadigde lucht door het apparaat wordt gezogen. Druppelt geen water meer uit den trechter in buis B, dan wordt de

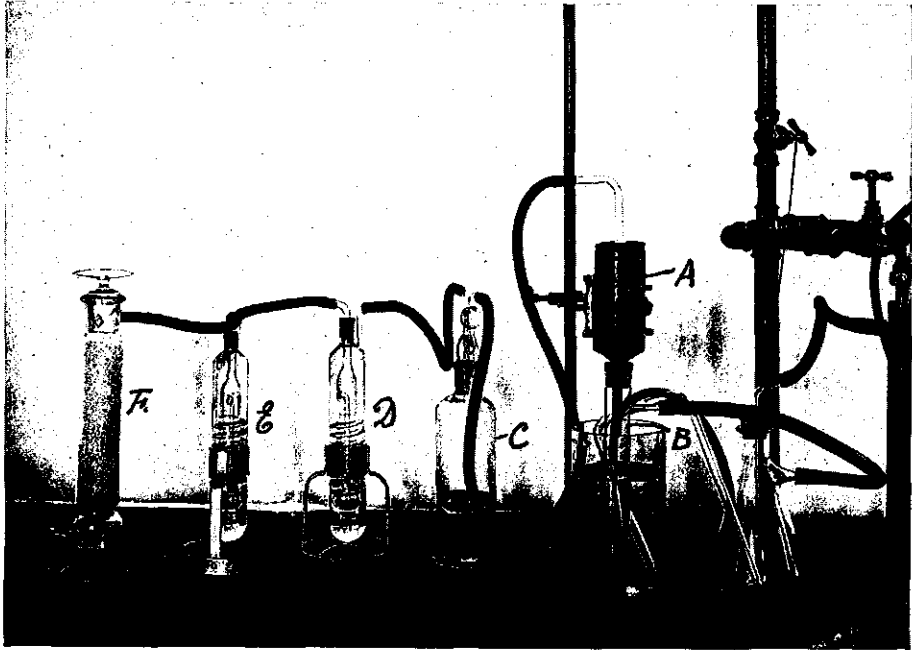


FIGURE 4.

buis B door een schoon en droog exemplaar vervangen, waarna 200,0 gram luchtdroge grond bij gedeelten in den trechter wordt gebracht onder voortdurend aanstampen met den zwaren stamper. Is alle grond in den trechter gebracht, dan wordt bij fijne gronden 60,0 cm<sup>3</sup> en bij grovere 50,0 cm<sup>3</sup> gedestilleerd water op den grond in den trechter gebracht. Zoodra het water door het zand begint te druppelen, wordt de waterstraalpompe eerst slechts gedeeltelijk, later geheel opengedraaid. In vrijwel alle gevallen wordt onmiddellijk lucht door den grond gezogen. Zoodra het water nog slechts druppelsgewijs uit den steel van den trechter vloeit, wordt de waterstraalpompe afgezet en de grond met den zwaren stamper 100 × aangestampd; het opgevangen water in de afzuigbuis B wordt afgelezen en de waterstraalpompe weer in werking gesteld. Na 10 minuten (fijnere gronden) of na 5 minuten (grovere gronden) wordt de waterstraalpompe weer afgezet, de grond weer 100 × aangestampd en ook nu de hoeveelheid, in buis B, opgevangen water afgelezen, enz. Hiermede wordt voortgegaan, totdat na 2 opeenvolgende afzuigperioden de hoeveelheden opgevangen water niet meer dan ten hoogste 0,2 à 0,5 cc van elkaar verschillen. De grond wordt nog eens 100 × aangestampd. Het oppervlak van het zand wordt nu met behulp van den koperen stamper glad gemaakt, waarna de gemiddelde hoogte van den stamper tot den bovenrand van den trechter wordt bepaald. Hierdoor is dus de lengte van de kolom grond en dus de inhoud bekend en kan, daar ook het gewicht bekend is, het volumegewicht en het poriëgehalte worden berekend. Ook de temperatuur van den grond en van het water om buis B wordt nu afgelezen, waarna in een zoo groot mogelijk gedeelte van den grond het vochtgehalte bij 105° C. wordt bepaald. Dit zelfde vochtgehalte kan ook berekend worden uit de opgevangen hoeveelheid water in de afzuigbuis B in verband met de op den luchtdrogen grond gebrachte hoeveelheid water, zooals verder onder in een voorbeeld zal worden toegelicht.

Om verder de verdamping van water uit de afzuigbuis B, waarin bij fijnere gronden een vrij groote onderdruk kan optreden, zooveel mogelijk tegen te gaan, is buis B geplaatst in een vat met koud water, dat zoo nu en dan wordt vernieuwd. Dit neemt niet weg, dat er toch meestal nog wel een kleine hoeveelheid water is verdampt. Dit blijkt uit het feit, dat het vochtgehalte, dat rechtstreeks in den grond na afloop van de bepaling werd bepaald, gewoonlijk iets kleiner is dan uit de hoeveelheid, in buis B opgevangen, water werd berekend. De verschillen blijven echter klein en zijn zelden meer dan 0,5. Wordt nu het gemiddelde van beide vochtbepalingen genomen, dan wordt de invloed der verdamping vrijwel geëlimineerd, daar de invloed van de verdamping op de beide vochtbepalingen juist tegengesteld is.



Als voorbeeld van het verloop van een bepaling moge een bepaling van de hoeveelheid hangwater, enz. bij het grondmonster N. O. 31—56 dienen.

Toegevoegd werd 50 cc water. Na de eerste keer afzuigen was opgevangen 36,5 cc water; na de tweede keer 38,7 cc; na de derde keer 39,5 cc en na de vierde keer 39,7 cc. In den grond is achtergebleven  $50 - 39,7 = 10,3$  cc = 10,3 gram water. Het vochtgehalte van den luchtdrogen grond was 0,21 % en dus het vochtgehalte van den natten grond na het afzuigen  $100 \left( 10,3 + \frac{0,21}{100} \cdot 200 \right)$ ;  $(200 + 10,3) = 5,1$  %. Door de rechtstreeksche bepaling van het vochtgehalte was gevonden 4,7 %; gemiddeld dus 4,9 %. De hoeveelheid hangwater in Vol. % is dus  $\frac{167 \cdot 4,9}{95,1} = 8,6$  % en dus de factor  $\mu$  van PORCHET  $37,3 - 8,6 = 28,7$  %. Het volumegewicht van den grond was nl. 1,67 en het porienvolume 37,3 %.

## B. BESCHRIJVING VAN HET UITGANGSMATERIAAL MET EEN VOORAFGAANDE BESPREKING VAN DE REPRODUCEERBAARHEID EN VAN DE BETEKENIS VAN DE ZEEFANALYSE.

### I. REPRODUCEERBAARHEID EN BETEKENIS VAN DE ZEEFANALYSE; BETEKENIS VAN DE ZEEFFRACTIE'S VOOR DE CONTRÔLE VAN DE FORMULE'S VOOR DE DOORLATENDHEID VAN GRONDEN, ENZ.

Voor de contrôle van de in Hoofdstuk III besproken formule's komen zeker in de eerste plaats gronden of materiaal in aanmerking, die geen klei, humus of koolzure kalk bevatten, daar in dit geval de mogelijkheid bestaat het specifiek oppervlak uit de zeefanalyse te berekenen. Het meest komen daarvoor in aanmerking de fractie's, zooals deze bij het zeven worden verkregen. Deze fractie's bevatten immers geen klei, humus en koolzure kalk en bestaan bovendien uit deeltjes, die in korrelgrootte niet sterk van elkaar verschillen, waardoor een zeer homogene ligging van de deeltjes bij de bepalingen is te verwachten. Ook de invloed van het porienvolume is met dit materiaal zeer goed na te gaan.

Zoodra dan ook aan het eind van 1931 vaststond, dat met dit onderzoek zou worden begonnen, werden de bij de zeefanalyse verkregen fractie's in afzonderlijke flesschen bewaard. Bij het begin van dit onderzoek in Augustus 1932 was zodoende van de meest voorkomende fractie's een voldoende hoeveelheid voorradig.

Natuurlijk werden deze fractie's voor het begin van dit onderzoek nog eens gezeefd, waarbij dus 10 gram werd afgewogen en gedurende 20 minuten

met de schud- en zeefmachine, zooals bij alle analyse's, werd gezeefd. Verwacht werd, dat bijv. van de fractie 43—74  $\mu$  de geheele 10 gram zich op de zeef met openingen van 43  $\mu$  zou bevinden. Dit bleek echter niet alleen bij deze, maar bij geen van de onderzochte fractie's het geval te zijn. Om dit verder te onderzoeken werden verschillende contrôleproeven uitgevoerd.

In de eerste plaats werd geprobeerd de fractie's op deze wijze te „zuiveren”, dat telkens 50 gram van de betreffende fractie gedurende 20 minuten werd gezeefd. Begonnen werd met de fractie van 16—43  $\mu$  en de resultaten in tabel 2 laten reeds zien, dat in elk geval volkomen reproduceerbare analyse's met 50 gram uitgangsmateriaal verkregen kunnen worden.

TABEL 2.

*Fractie 16—43  $\mu$ . N°. I. Gemiddelden van de 2 zeefstellen  
(50 gram grond, 20 minuten gezeefd).*

N°. Bepaling.	Zee fractie's in procenten.				
	16—43	43—74	74—104	104—147	147—208
1	87,4	12,0	0,4	0,1	0,1
2	86,7	12,8	0,3	0,1	0,1
3	85,5	14,1	0,3	0,1	—
4	86,5	13,2	0,3	—	—
Gemiddeld	86,5	13,0	0,3	0,1	0,1

OPMERKING. Volgens deze analyse is het specifiek oppervlak  $U_{cm}$ , 368,1.

Om nu de vraag te beantwoorden, welke beteekenis aan het gehalte aan de fractie 43—74  $\mu$ , die dus feitelijk niet in de fractie 16—43  $\mu$  mag voorkomen, moet worden gehecht, werd de som van deze fractie's van alle bepalingen nog eens gezeefd, waarbij telkens het materiaal, dat op de zeef met openingen van 43  $\mu$  bleef liggen — dus telkens de fractie 43—74  $\mu$  — opnieuw gedurende 20 minuten werd gezeefd. Uit de verkregen resultaten volgt, dat het gehalte van de fractie 43—74  $\mu$  na iedere analyse terugloopt. Beginnende met 59,081 gram bleef tenslotte na 10 maal zeven nog slechts 12,490 gram over, terwijl er verder niet aan valt te twijfelen, dat, wanneer nog langer op deze manier doorgezeefd was, tenslotte in 't geheel geen fractie 43—74  $\mu$  zou zijn overgebleven. Bedenkt men verder, dat deze fractie 43—74  $\mu$  uit de oorspronkelijke fractie 16—43  $\mu$  gezeefd was, dan volgt hieruit, dat vermenging van de

oorspronkelijke fractie met andere fractie's — die immers ook een verklaring van deze verschijnselen zou kunnen geven —, niet heeft plaats gehad, hetgeen ook nog verder onder bewezen zal worden. Blijkbaar moet de oorzaak gezocht worden in het feit, dat het een kwestie van trefkans, mede in verband met de vorm van de deeltjes, is of een deeltje er op blijft liggen, dan wel de betreffende zeef passeert. Dit volgt ook uit het feit, dat bij de eerste analyse van de fractie 43—74  $\mu$  (afkomstig uit de opnieuw gezeefde fractie 16—43  $\mu$ , toch nog altijd gehalten aan fractie 74—104  $\mu$  en zelfs nog aan grovere fractie's worden gevonden.

Op zich zelf was het ook denkbaar, dat gedurende het zeven een zekere versplintering is opgetreden. Dat dit in elk geval gedurende den tijd, dat gewoonlijk gezeefd wordt (20 min.) niet het geval is, volgt overtuigend uit het volgende experiment met het grondmonster N°. Wm. 460. Dit grondmonster werd in 8-voud op de gewone wijze geslibd (zie Hoofdstuk III) en daarna door beide zeefstellen gedurende 5, 10, 15 en 20 minuten gezeefd. Uit de resultaten, die in tabel 3 zijn medegedeeld, volgt, dat geen versplintering van eenige beteekenis heeft plaats gevonden, daar de uitkomsten van de analyse gelijk blijven.

TABEL 3.

*Grondmonster N°. Wm. 460. Gemiddelden van de 2 zeefstellen  
(10 gram grond), 20 minuten gezeefd.*

Zeef tijd in minuten.	Zeef fractie's in procenten.									
	16— 74.	74— 104.	104— 147.	147— 208.	208— 295.	295— 417.	417— 589.	589— 833.	833— 1168.	1168— 1651.
5	1,5	3,1	13,6	40,4	26,8	12,5	1,7	0,2	0,1	0,1
10	1,2	2,7	14,1	39,3	27,0	13,5	1,8	0,3	0,1	—
15	1,2	2,6	13,5	39,9	27,6	13,2	1,7	0,3	—	—
20	1,5	3,1	16,0	40,2	25,8	11,7	1,5	0,2	—	—

OPMERKING. Deze grond is in 8-voud geslibd en telkens door beide zeefstellen resp. 5, 10, 15 en 20 minuten gezeefd.

De volgende proef, die nu voor de hand lag, was deze om uitgaande van een gewone fractie, bijv. van 43—74  $\mu$  (N°. IV), deze 5 minuten te zeeven

(48) B. 48.

en daarbij het op de zeef met openingen van  $43 \mu$  achtergebleven materiaal telkens opnieuw 5 minuten te zeven. enz. Daar uit de resultaten, die in tabel 3 zijn medegedeeld, volgt, dat gedurende 20 minuten en dus zeer waarschijnlijk ook gedurende 25 minuten geen versplintering van beteekenis is opgetreden, moet dus een vermindering van de hoeveelheid achtergebleven materiaal op de zeef met openingen van  $43 \mu$  na elke volgende analyse te wijten zijn aan den verschillende korrelvorm van de deeltjes en niet aan versplintering. Ook moet, wanneer na afloop van de 5 analyse's alle fractie's van de laatste 4 (tabel 4, zeefstel I; de fractie's van de eerste analyse waren door een misverstand weggegooid) of van alle 5 analyse's (tabel 4, zeefstel II) weer zorgvuldig gemengd worden, dezelfde analyse als de 2de, resp. de oorspronkelijke worden verkregen. Uit de resultaten, die in tabel 4 zijn vermeld, volgt, dat inderdaad de hoeveelheid materiaal, die op de zeef met openingen van  $43 \mu$  blijft liggen, nog afneemt.

TABEL 4.

*Fractie 43—74. N°. IV. Gezeefd gedurende 5 minuten.*

Hoeveelheid materiaal in grammen.	Zeefstel N°.	Zeeffractie's in procenten.							Opmer- kingen.
		16— 43.	43— 74.	74— 104.	104— 147.	147— 208.	208— 295.	295— 417 en groo- ter.	
10,000	1	2,5	76,6	20,0	0,6	0,1	0,1	0,1	Oorspronke- lijk fractie IV.
7,661	1	1,8	92,7	5,3	—	0,1	0,1	—	
7,084	1	1,4	93,5	4,9	—	0,1	—	0,1	
6,624	1	1,3	96,6	2,0	—	—	—	0,1	
6,384	1	0,9	97,7	1,2	—	0,1	0,1	—	
7,638	1	1,6	93,1	4,7	0,1	0,2	0,2	0,1	fractie 43— 74 $\mu$ ; 6.248 Opnieuw ge- mengd.
10,000	2	2,1	85,0	12,1	0,4	0,1	0,1	0,2	Oorspronke- lijk fractie IV.
8,516	2	1,0	94,1	4,7	—	0,1	0,1	—	
8,014	2	0,7	93,6	5,1	—	0,2	0,4	—	
7,546	2	0,6	96,8	2,4	—	0,1	0,1	—	
7,312	2	0,6	97,7	1,5	—	0,1	0,1	—	
10,082	2	1,9	82,0	14,2	0,6	0,6	0,4	0,3	Fractie 43— 74 $\mu$ ; 7,151. Opnieuw ge- mend.
10,000	gem. 1 en 2	2,3	80,8	16,1	0,5	0,1	0,1	0,1	

Ook blijkt na menging van alle fractie's weer ongeveer dezelfde resultaten te worden verkregen; de analyse resultaten geven zelfs een grooter gehalte aan grover materiaal aan (men lette op de overeenkomst tusschen de resultaten van de cursiefgedrukte analyse's, voorzover ze met hetzelfde zeefstel zijn uitgevoerd).

Uit bovenstaande proefnemingen volgt dan ook, dat versplintering niet optreedt of althans voor de gebruikte zeef tijd (20 min.) kan worden verwaarloosd en dat de van een bol afwijkende korrelvorm de oorzaak is van het feit, dat in de oorspronkelijke fractie's, zooals ze uit honderden analyse's van verschillende grondmonsters verzameld zijn, bij hernieuwde zeefanalyse nog gehalten aan grovere en fijnere fractie's worden gevonden.

Tenslotte is met de fractie 43—74  $\mu$  (N<sup>o</sup>. IV) nog eens nagegaan, hoe de resultaten van de zeefanalyse veranderen bij het gebruiken van een verschillende zeef tijd. Bij het grondmonster N<sup>o</sup>. Wm 480 (tabel 3) hebben we gezien, dat de uitkomsten van de analyse hierdoor niet worden beïnvloed, d.w.z. althans niet, wanneer tot 20 minuten werd gezeefd. In een grondmonster zijn echter de deeltjes over verschillende korrelgrootten verdeeld, die meer uiteenloopen dan van een fractie, waar de korrelgrootten zeer dicht bij die van de openingen in de betreffende zeven liggen. De invloed van den zeef tijd op de uitkomsten van de analyse komt hier dan ook zeer verscherpt tot uiting. De resultaten van dit onderzoek zijn in tabel 5 medegedeeld.

TABEL 5.

*Fractie 43—74 N<sup>o</sup>. IV. Gezeefd met 10 gram materiaal gedurende een verschillenden tijd.*

*Gemiddelden van zeefstel I en II.*

Tijd in minuten.	Zeeffractie's in procenten.							
	16— 43.	43— 74.	74— 104.	104— 147.	147— 208.	208— 295.	295— 417.	417— 589.
5	2,3	80,9	16,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1
10	3,3	81,8	14,3	0,6	—	—	0,1	0,1
15	3,7	82,9	12,8	0,5	0,1	—	0,1	—
20	3,5	84,6	11,4	0,4	0,1	0,1	0,1	—
25	4,0	83,9	11,6	0,4	—	0,1	0,1	—
30	5,3	83,3	11,0	0,4	0,1	—	—	—

$U_{em}$  berekend uit de analyse met 20 minuten zeef tijd, is 179,3.

Hieruit blijkt, dat inderdaad de resultaten van de zeefanalyse iets veranderen met den zeeftijd en wel, zooals te verwachten was, met een langeren zeeftijd naar grootere gehalten aan fijnere fractie's worden verschoven. De resultaten van de zeefanalyse's hangen dus nog wel eenigszins van de zeefduur af, zij het ook, dat bij de gewone grondmonsters (tabel 3) deze invloed op de procentische gehalten aan de verschillende fractie's zeer klein is; de samenstelling van iedere fractie afzonderlijk echter, kan daardoor wel veranderen.

Ook de hoeveelheid van het uitgangsmateriaal is van belang, daar ook hierdoor de kans, dat een deeltje door de openingen in de betreffende zeven heengaat, wordt beïnvloed. Daar de zeven echter groot zijn (oppervlak ruim 300 cm<sup>2</sup>) zal het duidelijk zijn, dat de resultaten met 5 of 10 gram uitgangsmateriaal niet veel verschillend zullen zijn, hetgeen zelfs bij fractie's het geval bleek te zijn; vergelijk de resultaten van de analyse van n°. III van de fractie 295—417 $\mu$  (5 gr.) met de analyse n°. II (10 gr.) van dezelfde fractie's (zie tabel 6). Deze analyse's zijn gelijk, ofschoon de fractie's verzameld zijn uit de analyse's van verschillende grondmonsters. Nemen we echter 50 gram uitgangsmateriaal, dan treedt reeds een duidelijk verschil op, waarbij — zooals te verwachten was — bij 50 gram uitgangsmateriaal grootere gehalten aan grovere fractie's werden gevonden; zie de resultaten van de analyse van fractie 16—43  $\mu$  n°. I met 50 gram (tabel 3) en met 10 gram (tabel 6).

Uit het bovenstaande volgt dus, dat, voor het onderzoek naar de geldigheid van de formule's voor de doorlatendheid, enz., het principieel onjuist zou zijn de fractie's, zooals ze door het verzamelen uit honderden analyse's van verschillende grondmonsters zijn ontstaan, te zuiveren, door deze nog eens te zeven en alleen de goede fractie's samen te voegen, *daar hiermede het verband met de resultaten van de zeefanalyse van de oorspronkelijke grondmonsters totaal zou worden verbroken*. Wel blijkt echter uit het voorgaande, dat het noodzakelijk is aan de eenmaal gekozen hoeveelheid uitgangsmateriaal (10 gr.) en de gekozen zeefduur (20 minuten) vast te houden.

Uit het bovenstaande is dus gebleken, dat de fractie's niet volkomen zuiver zijn, d.w.z., dat zij ook deeltjes bevatten met een gemiddeld kleinere- en een gemiddeld grootere doorsnede dan de aangegeven grenzen (bijv. 43—74  $\mu$  enz.). Dit is ook met een microscopische methode (28) nagegaan; waarbij echter voor dit onderzoek geen correctie van de resultaten voor de 3de afmeting is aangebracht. Hieruit bleek, dat wel is waar het grootste gedeelte binnen de aangegeven grenzen viel, maar dat de fractie's ook inderdaad deeltjes met gemiddeld grootere- en kleinere doorsneden bevatten. Hetzelfde bleek echter ook bij de zandfractie's van de slibanalyse volgens ATTERBERG en volgens KOPECKY het geval te zijn, terwijl hier de afwijkingen gemiddeld

grooter waren dan bij de zeefmethode. Deze microscopische methode is zeer tijdroovend, zoodat er van werd afgezien na te gaan of inderdaad de grovere- of resp. de fijnere fractie's bij een hernieuwde analyse van een bepaalde fractie bestaan uit deeltjes met een meer of minder van den bolvorm afwijkende vorm.

Belangrijker dan het bovenstaande is het feit, of de reproduceerbaarheid van de analyse voldoende groot is, wanneer eenzelfde werkwijze steeds wordt gevolgd, daar immers dan de uitkomsten van de analyse's karakterestieke gegevens voor de betreffende gronden vormen. Dat de reproduceerbaarheid voldoende is, volgt uit de resultaten van de geregelde maandelijksche analyse's van 3 standaard monsters, n°. B 5168, B 5172 en B 5173. De resultaten daarvan zijn de volgende: Het gemiddeld specifiek oppervlak van de zandfractie van B 5168 van 18 bepalingen was 32,5; de grootste afwijking van dit gemiddelde bedroeg 2,0 of 6,1% van het gemiddeld specifiek oppervlak. Voor B 5172 zijn deze cijfers resp. 162,8 en 3,0 of 1,8 % en voor B 5173 resp. 56,8 en 2,7 of 4,8 %. Bedenkt men, dat behalve de eigenlijke zeeffout, ook nog de gewone fout voor de heterogeniteit van het grondmonster — hoe goed gemengd ook — hierbij is inbegrepen, dan is de reproduceerbaarheid van de zeefanalyse op zich zelf zeer goed te noemen, terwijl zij ook met inbegrip van de fout voor de heterogeniteit zeker voldoende is.

Nog scherper komt de reproduceerbaarheid van de zeefanalyse op zich zelf naar voren door de hernieuwde analyse van de zeeffractie's. De fractie's n°. I, II en III geven vrijwel steeds dezelfde analyse resultaten bij een hernieuwd zeven, zooals uit tabel 6 blijkt; vergelijk ook nog het specifiek oppervlak uit tabel 5 van n°. IV van de fractie 43—74  $\mu$  met het specifiek oppervlak van de andere nummers van deze fractie.

Zie tabel 6 op bladz. 268 tot 271.

De afwijkingen van „ $U_{cm}$  uit de fractie's" (zie hier onder) zijn zelfs kleiner dan bij de maandelijksche analyse's van de standaardmonsters, ofschoon in het laatste geval steeds dezelfde monsters werden onderzocht. Hieruit volgt, dat de afwijkingen, verkregen bij de maandelijksche analyse's van de standaardmonsters voor een belangrijk gedeelte zijn veroorzaakt door de overblijvende heterogeniteit van de grondmonsters, ook na het meest zorgvuldig mengen. *Verder volgt hieruit, dat de reproduceerbaarheid van de zeefanalyse voortreffelijk is.* Tenslotte kan hieruit worden besloten, dat, daar de resultaten van de analyse's ook afhangen van den korrelvorm, de gemiddelde vorm van de deeltjes van de Nederlandsche zandgronden en met name, het percentage, dat een van den bolvorm afwijkende vorm heeft, blijkbaar vrij constant is.

*Samengevat blijkt dus, dat de reproduceerbaarheid van de zeefanalyse zeker voldoende is. Noodzakelijk is daarbij, dat steeds met eenzelfde hoeveelheid materiaal*

*de bepalingen worden verricht en dat ook steeds de zeefduur dezelfde blijft. Vastgehouden werd dan ook aan 10 gram materiaal, waarvan ook steeds bij de slib-analyse volgens ATTERBERG (zie Hoofdstuk III) werd uitgegaan en een zeefduur van 20 minuten.*

Kan men dus aannemen, dat de reproduceerbaarheid van de zeefanalyse voldoende groot is, absoluut juiste fractie's, die dus alleen deeltjes bevatten met afmetingen, die tusschen de aangegeven grenzen liggen, worden niet verkregen. Dit heeft tot gevolg, dat als men het specifiek oppervlak van een fractie volgens vergelijking 4 (zie Hoofdstuk III) zonder meer berekent —in 't vervolg „ $U_{cm}$  berekend” genoemd —, men waarden verkrijgt, die niet absoluut juist zijn (geldigheid van vergelijking 4 uit andere oogpunten vooropgesteld). Toch is het, zooals reeds eerder is opgemerkt, beslist noodzakelijk het specifiek oppervlak in te voeren. Men kan nu echter 2 methoden volgen om bovengenoemde moeilijkheden te ontgaan.

#### Eerste methode:

Uit tabel 6 volgt, dat bij hernieuwde analyse van de fractie's de samenstelling constant blijft. Vergelijkenderwijze kan daarom worden aangenomen, dat de fractie's, die bij deze hernieuwde analyse uit de oorspronkelijke fractie verkregen worden, absoluut juist zijn, zoodat voor deze fractie's „ $U_{cm}$  berekend” kan worden aangenomen. Het specifiek oppervlak van de oorspronkelijke fractie is dan op dezelfde manier uit te rekenen, als reeds vroeger in Hoofdstuk III voor de geheele zandfractie is aangegeven. Dit specifiek oppervlak van de fractie zal in het vervolg „ $U_{cm}$  uit fractie's” genoemd worden. Deze methode heeft het nadeel, dat het specifiek oppervlak van deze fractie's niet geheel constant blijft (zie tabel 6, kolom 12). Zoolang dezelfde zeefstellen worden gebruikt, is dit niet zoo erg; zoodra echter de zeven vernieuwd moeten worden is dit anders, daar de samenstelling van de verkregen fractie's altijd iets verandert en daarmede ook „ $U_{cm}$  uit de fractie's”. Hiermede zouden echter ook de tabellen ongeldig worden, die voor een snelle berekening van het specifiek oppervlak van de zandfractie (16—2000  $\mu$ ) van grondmonsters beslist gemaakt moeten worden en waarin tot op tienden van procenten voor iedere fractie afzonderlijk het specifiek oppervlak is aangegeven.

#### Tweede methode:

Hierbij is aangenomen, dat de fractie's, zooals die dus uit honderden analyse's van verschillende grondmonsters verzameld kunnen worden, geheel juist zijn, hetgeen vergelijkenderwijze eveneens toelaatbaar is. In dit geval zijn de specifieke oppervlakken eenvoudig de „ $U_{cm}$  berekend”-waarden (zie



TABEL 6.

*Analyse voor zee fracties. Gemiddelde van de*

Fractie.	Bepaling N <sup>o</sup> .	Zelffracties				
		16—43	43—74	74—104	104—147	147—208
16—43 $\mu$ U ber. 397,0	I	90,3	9,6	0,1	—	—
	II 1 }	90,8	9,0	0,1	0,1	—
	II 2 }	91,5	8,3	0,1	0,2	—
	Gem. II, 1 en 2	91,2	8,7	0,1	0,2	—
	III 1 }	91,1	8,6	0,1	0,1	0,1
	III 2 }	89,1	10,6	0,1	0,1	0,1
	Gem. III, 1 en 2	90,1	9,6	0,1	0,1	0,1
43—74 $\mu$ U ber. 179,5	I	4,6	83,4	12,0	—	—
	II 1 }	5,3	83,0	11,6	0,1	—
	II 2 }	5,1	82,9	11,8	0,2	—
	Gem. II, 1 en 2	5,2	83,0	11,7	0,2	—
	III 1 }	5,5	85,6	8,5	0,3	0,1
	III 2 }	3,7	87,6	8,2	0,4	0,1
	Gem. III, 1 en 2	4,6	86,6	8,4	0,4	0,1
74—104 $\mu$ U ber. 114,5	I	0,5	14,4	74,5	10,6	—
	II 1 }	0,3	9,5	68,1	20,4	1,7
	II 2 }	0,4	9,2	69,7	19,1	1,6
	Gem. II, 1 en 2	0,4	9,4	68,9	19,8	1,7
	III 1 }	0,2	10,7	80,3	5,7	0,1
	III 2 }	0,2	11,0	83,0	5,7	0,1
	Gem. III, 1 en 2	0,2	10,9	81,7	5,7	0,1
104—147 $\mu$ Uiber. 81,3	I	0,3	0,3	7,8	77,0	14,6
	II 1 }	0,2	0,6	15,4	76,3	7,4
	II 2 }	0,4	0,7	15,3	76,6	6,9
	Gem. II, 1 en 2	0,3	0,7	15,4	76,4	7,2
	III 1 }	0,1	0,5	12,6	81,2	5,6
	III 2 }	0,1	0,7	11,4	82,5	5,3
	Gem. III, 1 en 2	0,1	0,6	12,0	81,9	5,4

(54) B. 54.

2 zeejstellen (10 gram; gedurende 20 minuten).

in procenten:				U <sub>em</sub> uit fracties.	Afwijking in % v/h gem. van 2 duplo bep.	Afwijking in % v/h gem. van de drie fracties.
208—295	295—417	417—589	589—833			
—	—	—	—	375,8	—	0,1
—	—	—	—	376,8	—	—
—	—	—	—	378,4	—	—
—	—	—	—	377,6	0,2	0,4
—	—	—	—	377,3	—	—
—	—	—	—	372,9	—	—
—	—	—	—	375,1	0,6	0,3
—	—	—	—	181,7	—	0,6
—	—	—	—	183,4	—	—
—	—	—	—	182,8	—	—
—	—	—	—	183,1	0,2	0,2
—	—	—	—	185,5	—	—
—	—	—	—	181,7	—	—
—	—	—	—	183,6	1,0	0,4
—	—	—	—	121,8	—	3,1
—	—	—	—	113,8	—	—
—	—	—	—	114,3	—	—
—	—	—	—	114,1	0,2	3,4
—	—	—	—	116,6	—	—
—	—	—	—	120,3	—	—
—	—	—	—	118,5	1,6	0,4
—	—	—	—	80,3	—	4,3
0,1	—	—	—	85,8	—	—
0,1	—	—	—	86,7	—	—
0,1	—	—	—	86,3	0,5	2,9
—	—	—	—	85,1	—	—
—	—	—	—	84,8	—	—
—	—	—	—	85,0	0,2	1,3

Fractie.	Bepaling N <sup>o</sup> .	Zee fracties				
		16—43	43—74	74—104	104—147	147—208
147—208 $\mu$ Uber. 57,5	I	0,2	0,2	0,1	4,0	84,8
	II 1 }	0,2	0,1	0,1	13,1	81,0
	II 2 }	0,5	0,2	0,2	13,3	81,5
	Gem. II, 1 en 2	0,4	0,2	0,2	13,2	81,3
	III 1 }	0,1	0,1	0,1	14,9	82,1
	III 2 }	0,1	0,1	0,1	14,4	82,3
	Gem. III, 1 en 2	0,1	0,1	0,1	14,7	82,2
208—295 $\mu$ U ber. 40,6	I	0,1	0,2	0,1	0,2	6,3
	II 1 }	0,2	0,1	0,1	0,4	14,5
	II 2 }	0,4	0,2	0,1	0,4	15,8
	Gem. II, 1 en 2	0,3	0,2	0,1	0,4	15,2
	III 1 }	0,3	0,2	0,1	0,4	17,1
	III 2 }	0,3	0,2	0,1	0,3	14,7
	Gem. III, 1 en 2	0,3	0,2	0,1	0,4	15,9
295—417 $\mu$ U ber. 28,7	I	0,2	0,2	0,1	0,1	0,5
	II 1 }	0,2	0,1	0,1	0,2	2,2
	II 2 }	0,3	0,2	0,1	0,3	2,2
	Gem. II, 1 en 2	0,3	0,2	0,1	0,3	2,2
	III 1 }	0,3	0,1	0,1	0,1	0,3
	III 2 }	0,3	0,1	0,1	0,1	0,3
	Gem. III, 1 en 2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,3
417—589 $\mu$ U ber. 20,3	I	0,2	0,1	0,1	0,1	0,4
	II 1	0,4	0,2	0,1	0,1	0,2
	III	0,4	0,3	0,1	0,2	0,3

OPMERKING. De analyses van nummer III van de fracties 295—417  $\mu$  en 417—589  $\mu$  zijn met behulp van 5 gram materiaal uitgevoerd. Nummer II van de fracties is 2 maal geslibd (uitgezonderd fractie 417—589  $\mu$ ) en wel voordat met de bepalingen van de doorlaatbaarheid werd begonnen (II<sub>1</sub>) en na afloop van deze bepalingen (II<sub>2</sub>). Uit de resultaten volgt, dat de analyseresultaten daardoor niet zijn veranderd. Nummer III van de fracties (uitgezonderd fractie 417—589  $\mu$ ) is in viervoud uitgevoerd; telkens zijn de

in procenten:				U <sub>cm</sub> uit fracties.	Afwijking in % v/h gem. van 2 duplo bep.	Afwijking in % v/h gem. van de drie fracties.
208—295	295—417	417—589	589—833			
10,7	—	—	—	57,6	—	3,8
5,5	—	—	—	60,5	—	—
4,2	0,1	—	—	61,9	—	—
4,9	0,1	—	—	61,2	1,1	2,2
2,7	—	—	—	61,1	—	—
3,0	—	—	—	60,9	—	—
2,9	—	—	—	61,0	0,2	1,8
90,8	2,3	—	—	42,2	—	3,4
81,3	3,4	—	—	43,7	—	—
80,4	2,7	—	—	44,9	—	—
80,9	3,1	—	—	44,3	1,4	1,4
78,7	3,2	—	—	44,7	—	—
79,7	4,7	—	—	44,4	—	—
79,2	4,0	—	—	44,6	0,4	2,1
8,3	89,5	1,1	—	30,9	—	0,9
9,5	85,1	2,6	—	31,1	—	—
10,4	84,3	2,2	—	32,0	—	—
10,0	84,7	2,4	—	31,6	1,4	1,3
9,3	87,8	2,0	—	31,1	—	—
7,7	88,9	2,5	—	30,8	—	—
8,5	88,4	2,3	—	31,0	0,5	0,6
0,6	6,9	89,7	1,9	22,1	—	3,9
0,4	11,2	85,9	1,5	23,3	—	1,3
0,7	10,0	86,9	1,1	23,5	—	2,2

gemiddelden van de zeefstellen I en II resp. onder de nummers III<sub>1</sub> en III<sub>2</sub> vermeld. U<sub>cm</sub> (12de kolom) is hier berekend onder de veronderstelling, dat de afzonderlijke fracties nu geheel goed zijn (eerste methode). Deze U<sub>cm</sub>-waarde zal in het vervolg worden aangeduid als „U<sub>cm</sub> uit fracties”. Met „U ber.” (eerste kolom) is het specifiek oppervlak bedoeld, dat eenvoudig volgens vergelijking 4 (zie Hoofdstuk III) onder de veronderstelling berekend is, dat de fractie geheel zuiver is (tweede methode).

tabel 6 eerste kolom), die dus eenvoudig door toepassing van vergelijking 4 zijn verkregen. Evenals bij de eerste methode komen dus de mogelijke constante afwijkingen van de werkelijk bestaande specifieke oppervlakken tot uiting in de grootte van de z.g. constanten van de formule's voor doorlatendheid (de factor  $\mu$ ) en voor de maximale capillaire stijghoogte (de factor  $a$ ). De tabellen voor het snel kunnen berekenen van het specifiek oppervlak van de zandfractie blijven echter ook bij het in gebruik nemen van nieuwe zeefstellen onveranderd; alleen moeten de z.g. constanten in bovengenoemde formule's opnieuw worden bepaald \*), hetgeen echter ook bij de eerste methode het geval is. Aan de tweede methode is dan ook de voorkeur gegeven, ondanks het feit, dat de z.g. constanten voor de verschillende fractie's afzonderlijk, in de bovengenoemde formule's, bij het volgen van de eerste methode van berekening van  $U_{cm}$ , minder van elkaar afwijken, dan wanneer de tweede methode wordt gevolgd. Deze constanten geven echter ook, wanneer de tweede methode wordt gevolgd, voldoende kleine afwijkingen. Dat overigens de eerste methode iets kleinere afwijkingen zou geven, was ook vooruit te voorspellen, daar men kon aannemen, dat de typische fouten van iedere zeef afzonderlijk reeds grootendeels in het „ $U_{cm}$  uit de fractie's” tot uiting zijn gekomen.

## II. BESCHRIJVING VAN DE ONDERZOCHE GRONDMONSTERS EN HUN MECHANISCHE SAMENSTELLING.

Behalve de reeds in deel I van dit Hoofdstuk besproken fractie's van de zeefanalyse, werden ook nog ruim 100 oorspronkelijke grondmonsters onderzocht. Niet altijd was hiervan een voldoende hoeveelheid voorhanden, zoodat niet in alle monsters de doorlatendheid is bepaald. Deze monsters zijn zooveel mogelijk gekozen uit verschillende typen zandgronden van zeer verschillende herkomst en samenstelling. Ook zijn de monsters zooveel mogelijk zoodanig uitgekozen, dat tevens grondmonsters met een toenemend gehalte aan klei, humus en koolzure kalk werden onderzocht. Dit is immers ten zeerste gewenscht om de invloed van deze stoffen op de mogelijkheid van toepassing (in verband met het optreden van een structuur) en op de nauwkeurigheid van de bepalingmethoden nader te onderzoeken en om de maximale gehalten aan deze stoffen te leeren kennen, waarbij nog de fysische constanten uit de formule's berekend kunnen worden. Ook de vraag of de betreffende z.g. constanten in de formule's voor de doorlatendheid enz. al dan niet veranderen, wanneer een gering klei-, humus- en koolzure kalk gehalte optreedt, kan hierdoor nader worden onderzocht.

\*) Tenzij de resultaten voor de analyse's gelijk zijn (zeven steeds bij dezelfde Firma bestellen en zoonoodig uitzoeken).

Een gedeelte van de onderzochte grondmonsters is afkomstig uit de collectie grondmonsters, die reeds langen tijd op het Bodemkundig Instituut aanwezig waren. De andere grondmonsters zijn meestal afkomstig uit bemonsteringen, die voor bepaalde doeleinden in den laatsten tijd zijn uitgevoerd. Hierbij kan verder nog worden opgemerkt, dat de grondmonsters meestal op een glasplaat aan de lucht zijn gedroogd; dit met het oog op mogelijke irreveribele veranderingen van de humus- en kleicolliden nà het indrogen.

Gewoonlijk was van het betreffende grondmonster niet een voldoende hoeveelheid aanwezig, dat iedere afzonderlijke bepaling met het oorspronkelijke monster kon worden uitgevoerd, maar moest het grondmonster opnieuw worden gedroogd. De bepaling van de maximale capillaire stijghoogte met de methode zonder luchttonderdruk en de eerste bepaling van de doorlatendheid zijn echter steeds in de oorspronkelijke grondmonsters uitgevoerd. Uit het feit, dat de invloed van het opnieuw drogen van het reeds eenmaal gebruikte monster — met het oog op het uitspoelen van klei en humus en de mogelijkheid van irreversibele overgangen van de klei- en humuscolliden — op de doorlatendheid en op de bepaling van de hoeveelheid hangwater niet te merken is en in elk geval binnen de foutengrenzen van de bepaling valt, volgt dus, dat blijkbaar de invloed van eventueel opgetreden irreversibele overgangen van de humus- en kleicolliden bij indroging op de grootte van de physische constanten te verwaarloozen klein is. Ook het uitspoelen van de klei en humus treedt blijkbaar niet in een zoo merkbare mate op, dat de grootte van de physische constanten daardoor verandert. Om te onderzoeken of de samenstelling van de grondmonsters nà afloop van alle bepalingen ook is veranderd werd een 10-tal monsters na afloop van de bepalingen nog eens geanalyseerd. Uit de resultaten is gebleken, dat deze samenstelling vrijwel dezelfde is gebleven.

Verder moet nog worden opgemerkt, dat schrijver dezes zich er zeer goed van bewust is, dat nog niet alle typen van Nederlandsche zandgronden zijn onderzocht. Dit is echter voor de bepalingsmethode en haar foutengrenzen van geen beteekenis, *wel daarentegen voor de berekening van de physische constanten van gronden met weinig klei, humus en koolzure kalk met behulp van de betreffende formule's en het specifiek oppervlak, enz.*, daar de korrelvorm van deze nieuwe typen af kan wijken van de gemiddelden korrelvorm van de onderzochte grondmonsters en de z.g. constanten in de formule's van de doorlatendheid, enz., daarvan iets afhangen (zie Hoofdstuk III). Daar echter het onderzochte aantal typen reeds vrij groot is, zal vermoedelijk ook voor nog niet onderzochte typen van zandgronden de gemiddelde korrelvorm dezelfde blijven. Voor zandgronden niet uit Nederland afkomstig, kan dit echter anders zijn. Berekening van de physische constanten is dan ook bij

dergelijke monsters alleen geoorloofd, wanneer door enkele rechtstreeksche metingen de juistheid van deze constante ook voor deze gronden bevestigd wordt, afgezien van het feit, dat bij het gebruik van andere zeefstellen deze constanten ook kunnen veranderen (zie deel I van dit Hoofdstuk en Hoofdstuk VI) en opnieuw moeten worden bepaald.

Uit een oogpunt van bezuiniging is er van afgezien een in details tredende beschrijving van herkomst der grondmonsters te geven, afgezien dan van een korte beschrijving, die hieronder volgt: B 504; loopzand van een slempig perceel te Watwerd. B 1125—1135; 11 monsters van eenige zandverstuivingen op de Veluwe. B 4170—4195; 6 monsters uit de buurt van Eindhoven (ontwateringsproefveld). B 4718—4753; 19 monsters uit de polder De Zijpe. B 5172 en 5173; 2 standaardmonsters uit de Wieringermeer polder, resp. z.g. „Goed zand” en „Slecht zand”. B 5184—5192; 7 monsters van een tweetal diepboringen in de Haarlemmermeerpolder uit lagen van 8.— tot 31.5 m ÷ N.A.P. B 5223; z.g. teelaarde, gebruikt voor een sportterrein te G. B. 5227—5238; 5 monsters afkomstig uit een aantal plekken in de Haarlemmermeerpolder. B 5324—5427; 7 bollengronden uit Lisse en omstreken. B 5510; rivierzand. B 5673; heidezand uit Drenthe. B 5674; nog een monster „goed zand” uit de Wm-polder. Ia.—Id; 4 mengmonsters afkomstig van het infiltratie proefveld op kavel A 69 in den Wm-polder. N.O.P. 187 tot en met 37—66; 7 monsters uit de toekomstige N.O.-polder Wm 1474—1777; 4 monsters afkomstig uit diepboringen in den Wm-polder uit lagen van 5.1—7.0 m ÷ N.A.P. B 5813—5815; 3 monsters uit Terschelling. B 5840a—5840e; en B 5840 en 5841; 7 monsters, gebruikt voor het uitzoeken van geschikte gronden voor nieuwe proefnemingen (B 5840a, b, c en 5841 zijn z.g. schuurzanden; oorsprong resp.: onbekend, Blijham, Stadskanaal en Stadskanaal. B 5840d is een monster rivierzand; 5840e evenals 5840 zijn Emszanden.). B 6102 en 6103; resp. Fluvioglaciale zandgrond uit Stroe en Praeglaciale zandgrond uit Bergsham. In den allerlaatsten tijd zijn nog enkele zandgronden onderzocht, die zooveel mogelijk nog in de verschillende tabellen zijn opgenomen, nl.: 6 Praeglaciale Fluviotiele zandgronden uit Heesum (B 5897—5919); 6 Fluvioglaciale zandgronden uit Asselt (B 5924—5943) en 4 Postglaciale Fluviotiele zandgronden uit Merkelo (B 5944—5974).

In tabel 26 aan het slot van dit artikel zijn tenslotte van de onderzochte grondmonsters het klei-, humus-, koolzure kalk- en het NaCl-gehalte met het specifiek oppervlak van de zandfractie op zich zelf en omgerekend op een grond bestaande uit 100 % van deze zandfractie vermeld.

## HOOFDSTUK V.

BESCHRIJVING VAN DE RESULTATEN MET DE FRACTIE'S VAN  
DE ZEEFANALYSE; CONTRÔLE VAN DE FORMULE'S VOOR  
DE DOORLATENDHEID, ENZ.

## A. DE DOORLATENDHEID.

Zooals in het tweede gedeelte van Hoofdstuk IV werd medegedeeld, vormen de fractie's van de zeefanalyse, zooals ze uit de analyse van honderden verschillende grondmonsters verzameld zijn, het beste materiaal voor de contrôle van de formule's voor de doorlatendheid, enz. De voordeelen boven gewone grondmonsters zijn, in 't kort herhaald deze, dat de fractie's geen klei humus, of koolzure kalk bevatten en bestaan uit deeltjes, waarvan de korreldoorsneden niet te ver uiteenloopen. Verder zal — door 2 serie's, van elkaar onafhankelijke, fractie's te onderzoeken, die dus elk verzameld zijn uit de zeefanalyse van honderden verschillende grondmonsters — kunnen worden nagegaan of de gemiddelde korrelvorm van de Nederlandsche zandgronden voldoende constant blijft, hetgeen dus moet blijken uit een voldoende constant blijven van de factor  $\mu$  in de formule's voor de doorlatendheid, enz., daar dit laatste zeker noodzakelijk is, zal men bij de berekening van de doorlatendheid behoorlijke resultaten kunnen verwachten.

De omstandigheid, dat de fractie's niet geheel zuiver zijn, d.w.z. ook deeltjes bevatten met gemiddelde doorsneden, die kleiner resp. grooter zijn dan de aangegeven grenzen van de betreffende fractie, maakt echter, dat het specifiek oppervlak in absoluten zin slechts bij benadering volgens vergelijking 4 is te berekenen. In relatief opzicht kan men het specifiek oppervlak door het feit, dat de resultaten van de zeefanalyse's zeer goed reproduceerbaar zijn, voldoende leeren kennen — waarvoor 2 methoden zijn aangegeven — zij het ook, dat daardoor, zooals reeds in Hoofdstuk IV, deel B is aangegeven, de grootte van de factor  $\mu$  in de formule's voor de doorlatendheid, enz. niet meer absoluut is, maar iets afhangt van de grootte van het (constante) verschil tusschen het, op de eerste- of op de tweede methode berekend, specifiek oppervlak en het werkelijk bestaand specifiek oppervlak. Dit heeft dus tot gevolg, dat voor ieder nieuw zeeftoestel deze factoren opnieuw met behulp van de fractie's moeten worden bepaald, tenzij natuurlijk het onderlinge verschillen in uitkomsten tusschen de betreffende zeefstellen voldoende klein is, hetgeen zeker gewoonlijk het geval zal zijn, wanneer de zeefstellen van de zelfde fabriek zijn.

De resultaten van de duplobepalingen, met 2 reeksen onafhankelijke fractie's verkregen, zijn in tabel 7 medegedeeld. Uit deze tabel blijkt, dat de grofste fractie, waarmede bepalingen zijn gedaan, de fractie 295—417  $\mu$  is.



TABEL 7.

*Resultaten van de doorlatendheids*

Fractie.	U <sub>cm</sub>		Apparaat.	Temperatuur.	Volumegewicht.	Poriëngelichte.
	berekend.	uit fracties.				
						<i>Fracties</i>
16—43 $\mu$	397,0	375,8	4	17,4°	1,525	43,0
			6	18,6°	1,518	43,3
43—74 $\mu$	179,5	181,7	5	18,5°	1,537	42,4
			5	17,7°	1,532	42,8
16—74 $\mu$		257,8	6	17,7°	1,596	40,0
			5	17,9°	1,644	38,3
74—104 $\mu$	114,5	121,8	6	16,5°	1,572	40,7
			5	16,0°	1,597	39,8
104—147 $\mu$	81,28	80,3	5	16,8°	1,655	37,6
			6	16,5°	1,644	38,0
147—208 $\mu$	57,48	57,6	6	16,8°	1,666	37,2
			5	18,1°	1,690	36,3
208—295 $\mu$	40,58	42,2	5	16,5°	1,697	35,9
			6	16,7°	1,673	36,8
295—417 $\mu$	28,65	30,9	6	17,3°	1,667	37,0
			5	17,1°	1,717	35,1
						<i>Fracties</i>
16—43 $\mu$	397,0	376,8	8	16,8°	1,504	43,8
			5	17,9°	1,520	43,2
43—74 $\mu$	179,5	183,4	5	16,3°	1,506	43,5
			8	16,5°	1,532	42,5
74—104 $\mu$	114,5	113,8	5	17,0°	1,574	40,6
			8	16,8°	1,591	40,0
104—147 $\mu$	81,28	85,8	5	18,1°	1,572	40,7
			8	18,0°	1,589	40,1
147—208 $\mu$	57,48	60,5	8	15,8°	1,619	38,9
			8	17,1°	1,617	39,0
208—295 $\mu$	40,58	43,7	5	16,5°	1,651	37,8
			5	17,2°	1,662	37,2
295—417 $\mu$	28,65	31,1	5	15,4°	1,687	36,2
			8	17,0°	1,699	35,8
16—43 +	324,8	312,3	5	18,5°	1,566	41,4
43—74 $\mu$			5	19,0°	1,566	41,4
2 op 1						
16—43 +	252,0	247,9	8	18,4°	1,568	41,2
43—74 $\mu$			8	18,9°	1,564	41,4
1 op 2						

*bepalingen met de fracties.*

K bepaald.	K Zunker omger. op 10° C en 35% Por.	Ge- middelde.	Afwijking v/h gem. in % v/h. gem.	K Kozeny omger. op 10°C en 35% Por.	Ge- middelde.	Afwijking v/h gem. in % v/h gem.	
<i>No. I.</i>							
0,41	0,17			0,14			
0,43	0,16	0,165	3,0	0,13	0,135	3,7	
2,22	0,95			0,78			
2,48	1,05	1,00	5,0	0,86	0,82	4,9	
0,89	0,47			0,41			
0,71	0,43	0,45	4,4	0,39	0,40	2,5	
4,31	2,23			1,92			
3,50	2,02	2,13	5,1	1,78	1,85	3,8	
7,56	5,03			4,68			
7,11	4,61	4,82	4,4	4,25	4,47	4,8	
13,22	9,10			8,56			
12,85	9,04	9,07	0,3	8,72	8,64	0,9	
22,45	17,43			16,99			
21,76	15,55	16,49	5,6	14,79	15,89	6,9	
39,62	27,39			25,91			
34,74	28,45	27,92	1,9	28,37	27,14	4,5	
Gem. afwijking (ZUNKER)			3,7	Gem. afwijking (KOZENY)			4,0
<i>No. II.</i>							
0,49	0,19			0,15			
0,51	0,21	0,20	5,0	0,17	0,16	6,2	
2,89	1,19			0,78			
2,40	1,07	1,13	5,3	0,72	0,75	4,0	
5,00	2,57			2,22			
4,72	2,57	2,57	0	2,25	2,24	0,7	
7,73	3,83			3,29			
7,25	3,79	3,81	0,5	3,31	3,30	0,6	
12,05	7,37			6,63			
12,88	7,55	7,46	1,2	6,78	6,71	1,1	
23,44	15,46			14,32			
22,98	15,65	15,56	0,6	14,72	14,52	1,4	
38,56	30,02			20,02			
37,07	28,64	29,33	2,3	28,00	28,51	1,8	
0,69	0,32			0,27			
0,66	0,30	0,31	3,0	0,26	0,265	1,9	
1,00	0,47			0,39			
1,00	0,46	0,465	1,1	0,39	0,39	0	
Gem. afwijking (ZUNKER)			2,1	Gem. afwijking (KOZENY)			2,0

Van de grovere fractie's werd bij de zeefanalyse slechts uiterst weinig materiaal verzameld, daar het gehalte aan deze fractie zelfs bij de grofste van de onderzochte zandgronden nog niet hoog was. Van deze grovere fractie's is echter — gezien het gering percentage — gerust dezelfde factor in de formule's aan te nemen als voor de fractie's kleiner dan  $417\mu$  werd bepaald. Verder is de fractie  $16-74\mu$  van de eerste reeks practisch op te vatten als een mengsel van de fractie's van  $16-43\mu$  en  $43-74\mu$ ; de verhouding daarvan is echter niet bekend, zoodat „ $U_{cm}$  ber.” niet bekend is. Wel is natuurlijk „ $U_{cm}$  uit fractie's” bekend, daar ook deze fractie opnieuw is gezeefd (zie tabel 6). Bij de toepassing van de 2de methode voor de berekening van  $U_{cm}$  (tabel 86) is voor deze fractie aangenomen dat  $U_{cm\text{ber.}} = U_{cm}$  uit fractie's.

Bij de tweede reeks fractie's (N°. II) kan nog worden opgemerkt, dat ook mengfractie's van de fractie  $16-43\mu$  en  $43-74\mu$  zijn onderzocht, waarvan de mengverhouding bekend was en waarvan dus zoowel „ $U_{cm}$  ber.” als „ $U_{cm}$  uit fractie's” berekend kon worden. Deze mengfractie's werden gemaakt om enkele bepalingen te kunnen doen in materiaal met een specifiek oppervlak tusschen die van de fractie  $16-43\mu$  en  $43-74\mu$  in, daar bij de bepalingen met de fijnste fractie ( $16-43\mu$ ) de lucht slechts door bijzondere voorzorgen geheel of althans practisch geheel te verwijderen is (zie Hoofdstuk IV, deel Ia) en bij de eerste serie althans de lucht niet voldoende bij het onderzoek is verwijderd, waarop later zal worden teruggekomen.

In tabel 7 zijn verder aangegeven de K-waarden, zooals die zijn bepaald en zooals die met behulp van de vergelijking van ZUNKER (N°. 26) en van KOZENY (N°. 25) op een temperatuur van het water van  $10^\circ\text{C}$ . en van het porienvolume van 35 % zijn omgerekend. Hierbij is steeds aangenomen, dat  $p_0 = p$ , hetgeen in elk geval een zeer kleine fout veroorzaakt, daar het vochtgehalte in luchtdroge toestand kleiner is dan 0,1 %. Tenslotte werd ook de gemiddelde  $K_{10/35}$ -waarde van de duplobepalingen aangegeven, alsmede de afwijking van het gemiddelde in procenten van het gemiddelde.

De grootte van deze afwijking zal iets kunnen zeggen over de meerdere juistheid van de formule van KOZENY dan wel van die van ZUNKER. Hierbij moet echter worden opgemerkt, dat de factoren  $\mu$  in deze formule's eenigszins van den korrelvorm van de holle ruimten afhangen. De korrelvorm is bij duplobepalingen natuurlijk dezelfde; een verschil in de vorm van de holle ruimten kan echter ook eenigszins uiteenlopende duplobepalingen geven, die dus op zichzelf niets met het gebruik van den factor  $\left(\frac{p_0}{1-p}\right)^2$  of  $\frac{p_0^3}{(1-p)^2}$  te maken hebben. Ook spreekt het vanzelf, dat aan de bepalingmethode fouten kleven, die veroorzaakt worden door b.v. kleine wisselingen in de temperatuur of in het verval gedurende de meting, enz. Alleen

de som van laatst genoemde fouten (principeel te verbeteren) en van de afwijkingen tengevolge van de verschillende vorm van de holle ruimten en mogelijk nog afwijkingen door andere dergelijke oorzaken (principeel niet te verbeteren, daar de vorm van de holle ruimten niet in de formule in rekening is te brengen en bij duplobepalingen in het laboratorium wel verschillend kan zijn evenals in den grond in zijn natuurlijke ligging) kan op deze wijze worden nagegaan.

Uit tabel 7 blijkt nu, dat de gemiddelde afwijking volgens ZUNKER en volgens KOZENY — voor de eerste reeks resp. 3,7 en 4,0 % en voor de 2de reeks fractie's resp. 2,1 en 2,0 % — practisch gelijk zijn; voor iedere fractie afzonderlijk blijkt echter, dat nu eens de afwijking volgens ZUNKER, dan weer volgens KOZENY de kleinste is. Zooals we later zullen zien, werd een soortgelijk resultaat verkregen bij de bepalingen van de K-waarden van de grondmonsters. Hieruit volgt dus, dat de afwijkingen tengevolge van een verschillenden vorm van de holle ruimten bij duplobepalingen en de eigenlijke fouten van de bepaling zelf gering zijn. Tevens volgt hieruit, dat het zeker niet geoorloofd is om uit bepalingen van slechts één of enkele grondmonsters of fractie's tot de meerdere juistheid van één van beide formules te besluiten. In de tweede plaats moet opgemerkt worden, dat de besproken verschillen alleen dan meer bewijzend zijn, wanneer het porienvolume in de duplobepalingen voldoende uiteenloopt. Het porienvolume van de duplobepalingen van iedere fractie afzonderlijk, loopt daarvoor te weinig uiteen; wel is dit het geval — evenals natuurlijk voor de invloed van  $U_{cm}$  — wanneer alle fracties van een reeks met elkaar vergeleken worden. De fijnste fractie's hebben immers een porienvolume van  $\pm 43$  % en de grovere van om en bij de 35 % (29). Rekenen we voor iedere fractie afzonderlijk den factor  $\mu$  uit en bepalen nu het gemiddelde van dezen factor van alle fractie's van iedere reeks en de afwijking voor iedere fractie van den gemiddelden factor  $\mu$  van alle fractie's in procenten van dezen gemiddelden factor, dan zal de gemiddelde afwijking van alle fractie's meer kunnen leeren, temeer dat daarbij tenslotte reeds 17 onafhankelijke fractie's zijn onderzocht.

Het resultaat van deze berekeningen is medegedeeld in tabel 8a en b. Uitgegaan werd daarbij van de gemiddelde  $K_{10/35}$ -waarden, zooals die uit de duplobepalingen, na omrekening zoowel volgens de vereenvoudigde formule van KOZENY als volgens de vergelijking van ZUNKER, uit de oorspronkelijke bepalingen verkregen werden. Deze waarden zijn in de 2de en 8ste kolom van tabel 8a en in de 2de en 7de kolom van tabel 8b aangegeven. Voor de omrekening van den factor K in m/24 uur moet in de genoemde vergelijkingen een omrekeningsfactor 864 in den teller worden ingevoerd. Deze vergelijkingen zijn in den kop van de tabellen aangegeven.

TABEL 8a. *Het specijtek oppervlak berekend volgens de eerste methode.*

Fractie in $\mu$	Berekening van de constanten uit de vereenvoudigde vergelijking volgens KOZENY:				Berekening van de constanten uit de vereenvoudigde vergelijking volgens ZUNKER:			
	$K$ cm/sec. = $\frac{\mu}{\eta} \cdot \frac{p_0^3}{(1-p)^3} \cdot U^2$ cm	$V$ $\mu$	Afwijking van $V$ $\mu$ in % v/h gem. $V$ $\mu$	$U$ cm	$K$ cm/sec. = $\frac{\mu}{\eta} \cdot \frac{p_0^3}{(1-p)^3} \cdot U^2$ cm	$V$ $\mu$	Afwijking van $V$ $\mu$ in % v/h gem. $V$ $\mu$	$U$ cm
16-43	0,135	1,685	—	223,0	0,165	1,102	—	341,0
43-74	0,32	2,008	0,7	90,5	1,90	1,312	4,6	135,5
74-104	1,85	2,023	0	60,2	2,13	1,234	2,3	94,9
104-147	4,47	2,070	2,3	38,8	4,82	1,273	1,4	63,08
147-208	8,64	2,065	2,1	27,9	9,07	1,253	0,2	45,99
208-295	15,89	2,049	1,3	20,6	16,49	1,237	1,4	34,11
295-417	27,14	1,968	2,7	15,7	27,92	1,179	6,1	26,21
16-74	0,40	1,980	2,1	130,2	0,45	1,248	0,5	206,5
Gemiddeld . . .		2,023	1,6		Gemiddeld . . .	1,255	2,4	
		dus $\mu$ gem. = 4,093				dus $\mu$ gem. = 1,575		
Eerste reeks fracties.								
16-43	0,16	1,840	4,5	204,8	0,20	1,217	2,9	309,7
43-74	0,75	1,939	0,6	94,6	1,13	1,407	12,3	130,3
74-104	2,24	1,853	3,9	61,4	2,57	1,317	5,1	86,4
104-147	3,30	1,902	1,3	45,1	3,81	1,208	3,6	71,0
147-208	6,71	1,915	0,7	31,6	7,46	1,193	4,9	50,7
208-295	14,52	2,033	5,4	21,5	15,56	1,245	0,6	35,1
295-417	28,51	2,020	5,1	15,4	29,33	1,215	3,0	25,6
16-43 + 43-74	0,265	1,963	1,8	159,1	0,31	1,256	0,2	248,7
(2 op 1)								
16-43 + 43-74	0,39	1,890	2,0	131,2	0,465	1,221	2,6	203,1
(1 op 2)					Gemiddeld . . .	1,253	3,9	
		dus $\mu$ gem. = 3,717				dus $\mu$ gem. = 1,750		
Tweede reeks fracties								
16-43	0,16	1,840	4,5	204,8	0,20	1,217	2,9	309,7
43-74	0,75	1,939	0,6	94,6	1,13	1,407	12,3	130,3
74-104	2,24	1,853	3,9	61,4	2,57	1,317	5,1	86,4
104-147	3,30	1,902	1,3	45,1	3,81	1,208	3,6	71,0
147-208	6,71	1,915	0,7	31,6	7,46	1,193	4,9	50,7
208-295	14,52	2,033	5,4	21,5	15,56	1,245	0,6	35,1
295-417	28,51	2,020	5,1	15,4	29,33	1,215	3,0	25,6
16-43 + 43-74	0,265	1,963	1,8	159,1	0,31	1,256	0,2	248,7
(2 op 1)								
16-43 + 43-74	0,39	1,890	2,0	131,2	0,465	1,221	2,6	203,1
(1 op 2)					Gemiddeld . . .	1,253	3,9	
		dus $\mu$ gem. = 3,717				dus $\mu$ gem. = 1,750		

Opmerking: Voor  $p_0$  werd steeds  $p$  genomen. De gemiddelde factor  $\mu$  volgens KOZENY is  $\frac{4,093 + 3,717}{2} = 3,905$  en volgens ZUNKER  $\frac{1,575 + 1,570}{2} = 1,573$ .

In tabel 8a is het specifiek oppervlak berekend volgens de eerste methode (zie Hoofdstuk IV, deel B) en is aangegeven in kolom 6 en 12 van tabel 8a.

In de 3de en 9de kolom van deze tabel is de breuk  $\frac{U_{cm}}{\sqrt{\mu}}$  aangegeven. Deze is immers uit te rekenen door in de vergelijkingen de waarde van den factor  $\frac{p^3}{(1-p)^2}$  resp.  $\left(\frac{p}{1-p}\right)^2$  in te vullen. Wordt nu in deze breuk voor  $U_{cm}$  ingevuld „ $U_{cm}$  uit fractie's", dan is dus voor iedere fractie  $\sqrt{\mu}$  bekend. Deze zijn resp. aangegeven in kolom 4 en 10. Ook het gemiddelde van  $\sqrt{\mu}$  van alle fractie's alsmede de afwijkingen in procenten van de gemiddelde waarde van  $\sqrt{\mu}$  (kolom 5 en 11) zijn voor iedere fractie berekend.

Uit tabel 8a blijkt dus, dat de waarde van  $\sqrt{\mu}$  van de verschillende fractie's slechts weinig uiteenloopt. Dit geldt zoowel voor  $\sqrt{\mu}$  volgens de berekening met de formule van KOZENY als met de formule van ZUNKER. Alleen de fractie 16—43  $\mu$  van de eerste reeks vertoont een groote afwijking. Zooals reeds eerder is opgemerkt ligt de oorzaak in het feit, dat de lucht niet volledig verwijderd is. Daar deze berekeningen plaats vonden, lang nadat de bepalingen waren verricht, was het niet meer mogelijk de bepaling in deze fractie te herhalen. De met deze fractie (n<sup>o</sup>. I) verkregen waarden zijn dan ook buiten beschouwing gelaten.

Bij een vergelijking van de gemiddelde afwijkingen van  $\sqrt{\mu}$  van alle fractie's van iedere reeks valt op, dat de gemiddelde afwijkingen wel is waar slechts gering zijn, maar dat deze volgens de vergelijking van ZUNKER berekend, gemiddeld voor beide reeksen fractie's grooter zijn dan de gemiddelde afwijking berekend volgens de vergelijking van KOZENY. Hieruit volgt, dat, daar ook het porienvolume sterk verschilt, aan de formule van KOZENY volgens deze bepalingen de voorkeur dient te worden gegeven. Verder zien we, dat de gemiddelde  $\mu$ -waarden (volgens beide formule's) voor de reeksen fractie's slechts zeer weinig verschillen. Daar deze factoren op zich zelf afhangen van den korrelvorm, blijkt hieruit dat deze korrelvorm gemiddeld genomen bij de onderzochte grondmonsters vrijwel constant is (gezien het feit, dat ook de fractie's n<sup>o</sup>. III — zie tabel 6 — dezelfde uitkomsten bij de hernieuwde analyse geven, zal dit ook voor de 3de reeks fractie's het geval zijn). Voor ieder grondmonster afzonderlijk kan de vorm van de deeltjes en daardoor dus  $\mu$  meer of minder sterk afwijken van den gemiddelden korrelvorm, resp. den gemiddelden factor  $\mu$ . De afwijkingen van  $\sqrt{\mu}$  voor iedere fractie afzonderlijk van den gemiddelden  $\sqrt{\mu}$  factor zijn — de berekeningen volgens de vergelijking van ZUNKER kunnen verder buiten beschouwing gelaten worden — hoogstens 5,4 % geweest, hetgeen dus wil zeggen, dat de factor  $\mu$  van iedere fractie afzonderlijk tot ruim 10 % van den gemiddelden factor kan afwijken.

Tenslotte kan nog worden opgemerkt, dat met behulp van den *gemiddelden* factor  $\sqrt{\mu}$  en de waarde van de breuk  $\frac{U_{cm}}{\sqrt{\mu}}$  voor iedere fractie  $U_{cm}$  berekend kan worden. Dit beteekent, dat de afwijking van iedere fractie afzonderlijk wordt weggemaakt, waardoor dus bij eventueele berekeningen van de doorlatendheid uit de formule, waarvan de factor  $\mu$  dus nu bekend is, bij gebruikmaking van deze specifieke oppervlakken van iedere fractie gemiddeld kleinere verschillen tusschen de door berekening en door rechtstreeksche bepaling verkregen waarden zijn te verwachten. Deze specifieke oppervlakken zijn dan ook „ $U_{cm}$  gecorrigeerd” genoemd en zijn in de 7de en 13de kolom opgenomen. Zie tabel 8a op bladz. 280.

Beschouwen we nu de resultaten, waarbij voor de berekening van het specifiek oppervlak de tweede methode is gevolgd, dan valt op (tabel 8b), dat ook nu bij de toepassing van de vergelijking van KOZENY kleinere gemiddelde afwijkingen worden verkregen dan bij de toepassing van de vergelijking van ZUNKER. De verkregen afwijkingen zijn volgens deze methode voor de berekening van  $U_{cm}$  echter hoger dan volgens de eerste methode, ofschoon, volgens de vergelijking van KOZENY berekend, deze verschillen klein blijven. Toepassing van de 2de methode voor de berekening van het specifiek oppervlak heeft dan ook zeker geen bezwaar bij de toepassing van de vergelijking van KOZENY.

Beschouwen we nu bij de toepassing van de vergelijking van KOZENY de afwijkingen van  $\sqrt{\mu}$  (4de kolom) dan zien we, dat deze in de mengfractie van de 2de reeks, nl.  $\frac{2}{3}$  fractie 16—43  $\mu$  en  $\frac{1}{3}$  fractie 43—74  $\mu$ , de grootste afwijking van 7,8 % bereikt of dus voor den factor  $\mu$  rond 15 %. Dit beteekent dus, dat bij de latere berekening van de doorlatendheid uit de formule, die dus moet luiden:

$$K_{cm/sec} = \frac{3,713}{\eta} \cdot \frac{p_o^3}{(1-p)^2} \cdot \frac{1}{U^2}, \quad (47)$$

of als we de factor K in m/24 uur uitdrukken:

$$K_{m/24 \text{ uur}} = \frac{3,713 \cdot 864}{\eta} \cdot \frac{p_o^3}{(1-p)^2} \cdot \frac{1}{U_{cm}^2} = \frac{3208,-}{\eta} \cdot \frac{p_o^3}{(1-p)^2} \cdot \frac{1}{U_{cm}^2}, \quad (48)$$

tusschen de rechtstreeks bepaalde- en de berekende  $K_{10/35}$ -factoren afwijkingen tot 15 % kunnen optreden, zij het ook, dat, daar de grond uit deeltjes bestaat, die over meerdere fractie's verdeeld zijn, deze afwijking meestal veel kleiner kan zijn.

Gedeeltelijk is in de genoemde afwijking al verwerkt de afwijking, die

TABEL 8b.

*Het specifiek oppervlak berekend volgens de tweede methode.*

Fractie in $\mu$	Berekening van de constante uit de vereenvoudigde vergelijking volgens KOZENY:			Berekening van de constante uit de vereenvoudigde vergelijking volgens ZUNCKER:			
	$K \text{ cm/sec.} = \frac{\mu}{\eta} \cdot \frac{p_0^3}{(1-p)^3} \cdot U^3 \text{ cm}$	$\frac{U \text{ cm}}{\sqrt{\mu}}$	Afwijking van $\frac{U}{\sqrt{\mu}}$ in % v/h gem. $\sqrt{\mu}$	$K \text{ cm/sec.} = \frac{\mu}{\eta} \cdot \frac{p_0^3}{(1-p)^3} \cdot U^3 \text{ cm}$	$\frac{U \text{ cm}}{\sqrt{\mu}}$	Afwijking van $\frac{U}{\sqrt{\mu}}$ in % v/h gem. $\sqrt{\mu}$	
16-43	0,185	223,0	1,780	0,165	341,0	1,164	
43-74	0,82	90,5	1,983	1,00	188,5	1,296	
74-104	1,85	60,2	1,816	2,18	94,9	1,207	
104-147	4,47	38,8	2,095	4,82	63,08	1,289	
147-208	8,64	27,9	2,060	9,07	45,99	1,280	
208-295	15,89	20,6	1,970	16,49	34,11	1,100	
295-417	27,14	15,7	1,825	27,92	26,21	1,093	
16-74	0,40	180,2	1,980	0,45	206,5	1,348	
		Gemiddeld	1,961		Gemiddeld	1,225	
			4,1			4,4	
			dus $\mu$ gemiddeld = 3,846			dus $\mu$ gemiddeld = 1,501	
1) Voor de fractie 16-74 $\mu$ werd voor $U \text{ cm}$ „berekend” de waarde $U \text{ cm}$ „fractie” ingevoerd.							
		Eerste reeks fracties.				Tweede reeks fracties.	
16-43	0,16	204,8	1,938	0,20	309,7	1,282	
43-74	0,75	94,6	1,897	1,18	180,3	1,377	
74-104	2,24	61,4	1,862	2,57	86,4	1,325	
104-147	8,30	45,1	1,802	9,81	71,0	1,145	
147-208	6,71	31,6	1,819	7,46	50,7	1,134	
208-295	14,52	21,5	1,887	15,56	35,1	1,156	
295-417	28,51	15,4	1,860	29,33	25,6	1,119	
16-43 + 43-74 (2 op 1)	0,265	159,1	2,041	0,31	248,7	1,806	
16-43 + 43-74 (1 op 2)	0,39	181,2	1,920	0,465	203,1	1,241	
		Gemiddeld	1,892		Gemiddeld	1,282	
			dus $\mu$ gemiddeld = 3,590			dus $\mu$ gemiddeld = 1,518	
Opmerking: Voor $p_0$ werd steeds $p$ genomen. De gemiddelde factor $\mu$ volgens KOZENY is $\frac{3,846 + 3,580}{2} = 3,713$ en volgens ZUNCKER $\frac{1,501 + 1,518}{2} = 1,510$ .							
In de eerste reeks werd voor de fractie 16-74 $\mu$ aangenomen, dat $U \text{ cm}$ ber. = $U \text{ cm}$ uit fracties.							



afhankelijk is van den vorm van de holle ruimten, daar de gemiddelden van de duplobepalingen voor bovengenoemde berekeningen zijn gebruikt. Nemen we verder de afwijking in aanmerking, die kan optreden, doordat de gemiddelde korrelvorm van de Nederlandsche zandgronden wel is waar constant blijft — ook nu is de gemiddelde factor  $\mu$  van de eerste reeks fractie's practisch gelijk aan die van de 2de reeks — maar voor iederen zandgrond afzonderlijk toch meer of minder daarvan kan afwijken en dat verder geringe hoeveelheden klei, humus en koolzure kalk verwaarloosd moeten worden, daar de invloed daarvan op  $U_{cm}$  niet in cijfers is uit te drukken, dan volgt hieruit, dat bij de berekening uit formule 48 afwijkingen met de rechtstreeksche bepalingen zouden kunnen voorkomen, die niet onbelangrijk zijn. Door ZUNKER is nu, zooals in Hoofdstuk III reeds is besproken, bepaald, dat de factor  $\mu$  in zijn formule voor „glattes kuglisches Glasschrot” 2,3 was, voor „Fluszsande 1,6 en voor „scharfkantige Sande” 1,4 (voor plaatvormige deeltjes was  $\mu$  onder bepaalde omstandigheden 0,5; dit kan echter buiten beschouwing worden gelaten, daar plaatvormige deeltjes in onze zandgronden hoogstens tot een gering percentage voorkomen), terwijl door mij met behulp van de vergelijking van ZUNKER een factor  $\mu$  van rond 1,5 werd gevonden (30). Hierbij moet worden opgemerkt, dat deze factor  $\mu$  geen absolute waarde heeft, door het feit, dat de fractie's niet absoluut zuiver zijn, waardoor de factor  $\mu$  eenigszins van de gebruikte zeven afhangt. Ofschoon hieruit dus niet te besluiten is, dat de gemiddelde korrelvorm van de Nederlandsche zandgronden tusschen die van de door ZUNKER onderzochte „Fluszsande” en „scharfkantige Sande” inligt (daar de berekende  $U_{cm}$ , volgens welke methode dan ook berekend, wel in eerste benadering met de absolute  $U_{cm}$ -waarde overeenkomt, is het verschil nooit erg groot) is hieruit toch wel in eerste benadering de mogelijke afwijkingen van den factor  $\mu$  aan te geven, daar de invloed van de zeven op de grootte van den factor  $\mu$  relatief klein is. Deze afwijking zal immers voor glad kogelvormig materiaal hoogstens 50 % hooger kunnen zijn, terwijl deze afwijking, gezien het feit, dat een zandgrond nooit geheel uit gladde kogelvormige deeltjes bestaat, voor de Nederlandsche zandgronden zeker kleiner zal zijn. Ook de andere oorzaken voor het optreden van afwijkingen tusschen de berekende — en rechtstreeksch bepaalde —  $K_{10/35}$ -waarden mede in aanmerking genomen — deze afwijkingen hebben een relatief kleineren invloed — is te verwachten, dat de totale afwijkingen tusschen de berekende- en de rechtstreeksch bepaalde K-factoren kleiner dan 50 % zullen zijn; voor die gronden althans, die zoo kleine gehalten aan klei, humus en koolzure kalk hebben, dat deze verwaarloosd kunnen worden. Hoe groot deze afwijkingen werkelijk zijn, zal in het volgende hoofdstuk bij de behandeling van de verkregen resultaten met de grondmonsters worden uiteengezet.

In den aanvang van dit hoofdstuk werd reeds medegedeeld, dat alleen de bepalingen van die grondmonsters iets zouden kunnen leeren over de meer of mindere juistheid van de formule van KOZENY of van ZUNKER, die bij de duplobepalingen een voldoende verschillend porienvolume hebben gehad. Deze verschillen zijn veel kleiner dan bij iedere reeks fractie's tusschen de bepalingen bij de fijnste en de grofste fractie's zijn opgetreden en zij zijn te gering om hieruit de meer of mindere juistheid van één van deze formule's af te leiden. Om dit in te zien zijn, evenals bij de fractie's, de K-factoren omgerekend op  $p = 35\%$  en een temperatuur van het water van  $10^\circ \text{C.}$ , terwijl ook nu de afwijkingen in procenten van de gemiddelde  $K_{10/35}$ -waarden berekend zijn. In tabel 9 zijn deze afwijkingen aangegeven, die bij de bepaling van 58 daarvoor geschikte grondmonsters (de zandmonsters uit Heelsum, Asselt en Merkelo zijn hierin niet meer verwerkt; de resultaten veranderen daardoor echter niet) zijn opgetreden. Deze werden in 2 gedeelten verdeeld. In het eene gedeelte van de monsters is het porienvolume bij de duplobepalingen meer dan  $1\%$  verschillend geweest (een 35-tal), en in het andere gedeelte van de monsters is dit verschil minder dan  $1\%$  geweest (een 23-tal). Uit de resultaten blijkt, dat in beide collectie's monsters de gemiddelde afwijking, volgens de formule van KOZENY berekend, grooter is dan volgens de formule van ZUNKER, ofschoon de verschillen klein zijn.

Zie tabel 9 op bladz. 286.

Dit blijft zoo, wanneer die bepalingen beschouwd worden, waarvan de afwijkingen kleiner zijn dan  $10\%$ , resp. kleiner zijn dan  $5\%$  (zie onderaan in tabel 9), zij het ook, dat de verschillen reeds zeer klein worden (binnen de afwijkingmogelijkheden door andere oorzaken), wanneer de bepalingen met afwijkingen grooter dan  $10\%$  worden weggelaten. Bedenkt men, dat bij de grootere afwijkingen andere oorzaken, als vooral een andere vorm van de holle ruimten bij de duplobepalingen of zooals bij het grondmonster N. O. P. 196 de geringe doorlatendheid (0,02) — de bepalingen worden dan onzeker — een rol spelen en deze dus voor het beoogde doel beter kunnen worden weggelaten, dan volgt hieruit, dat *uit de bepalingen met de grondmonsters niet tot de meerdere juistheid van een van de beide formule's kan worden besloten.*

Overigens kan nog worden opgemerkt, dat evenals bij de afzonderlijke fractie's, soms de formule van ZUNKER soms die van KOZENY kleinere afwijkingen geeft. In verband met het feit, dat dit ook bij de afwijking van den factor  $\sqrt{\mu}$  voor iedere fractie afzonderlijk is opgetreden, volgt, dat waarschijnlijk voor sommige grondmonsters of fractie's de formule van ZUNKER iets beter is, voor andere grondmonsters of fractie's daarentegen de formule van KOZENY beter is. Gemiddeld genomen, is echter de formule van KOZENY

TABEL 9.

*Afwijkingen in procenten van het gemiddelde van de duplobepalingen van de grondmonsters.*

Poriënvolume verschilt meer dan 1 %.						Poriënvolume verschilt minder dan 1 %.					
N <sup>o</sup> . grond- mon- ster.	Afwijking in % van het gemiddelde.		N <sup>o</sup> . grond- mon- ster.	Afwijking in % van het gemiddelde.		N <sup>o</sup> . grond- mon- ster.	Afwijking in % van het gemiddelde.		N <sup>o</sup> . grond- mon- ster.	Afwijking in % van het gemiddelde.	
	KOZE- NY.	ZUN- KER.		KOZE- NY.	ZUN- KER.		KOZE- NY.	ZUN- KER.		KOZE- NY.	ZUN- KER.
1125	3,6	0,9	5337	7,4	5,7	1127	2,6	1,3	5324	0,8	1,2
1128	4,8	2,0	5346	1,1	3,8	1130	1,2	1,2	5369	2,9	2,3
1132	1,1	1,4	5407	0,6	3,7	1134	1,1	0,0	Ic	7,0	7,2
1135	6,1	4,5	5427	4,0	0,7	5673	2,5	2,4	Id	1,1	1,1
5674	15,0	7,8	Ia	3,9	0,2	5223	0,0	0,6	5168	0,4	0,4
5188	2,5	3,9	Ib	6,9	3,8	5235	9,7	9,8	5172	11,8	11,4
5192	2,3	4,1	5173	2,8	6,4	5236	2,0	1,4	1475	1,9	1,7
4737	4,5	2,2	187	2,5	4,3	5184	0,5	0,0	5840a	7,1	5,7
4738	18,2	14,5	196	23,5	20,0	5189	3,5	5,2	5840b	10,0	11,4
4749	7,9	7,5	31—56	5,8	0,6	5190	0,7	0,3	5840c	5,0	3,5
4750	0,3	1,3	5511	1,6	3,0	5191	1,6	1,4	5840d	3,4	3,2
4752	4,4	3,0	1474	3,0	1,3	4751	7,4	6,9			
4753	3,1	0,1	1476	15,0	13,8						
5330	0,8	1,4	1477	1,8	5,6						
5333	1,8	4,9	5840e	3,6	1,8						
5813	10,9	12,4	5840	4,7	3,2						
5814	0,3	4,5	5841	2,9	3,8						
5815	0,7	2,4									
Totaal	88,3	78,8		91,1	81,7	Totaal	32,8	30,5		51,4	49,1
<p>Gemiddelde afwijking volgens KOZENY 5,1 % en volgens ZUNKER 4,6 %. Beschouwen we alleen de resultaten met afwijkingen kleiner dan 10 % (30 van de 35) dan zijn deze getallen resp.: KOZENY 3,2% en ZUNKER 3,1 %; voor afwijkingen kleiner dan 5 % (23 van de 35) zijn deze getallen resp.: KOZENY 2,5 % en ZUNKER 2,5 %.</p>						<p>Gemiddelde afwijking volgens KOZENY 3,7 % en volgens ZUNKER 3,5 %. Beschouwen we alleen de resultaten met afwijkingen kleiner dan 5 % (15 van de 23) dan zijn deze getallen resp. KOZENY 1,5 % en ZUNKER 1,2 %.</p>					

voor Nederlandsche zandgronden beter, hetgeen dus alleen uit de resultaten met de 2 reeksen fractie's is af te leiden; deze fractie's zijn echter bij de zeefanalyse verzameld uit totaal misschien wel 1000 verschillende grondmonsters.

#### B. DE MAXIMALE CAPILLAIRE STIJGHOOGTE.

Evenals bij de contrôle van de formule's voor de doorlatendheid vormen de fractie's om dezelfde redenen ook hier het aangewezen materiaal voor de contrôle van de formule voor de maximale capillaire opstijging.

In tabel 10a zijn de resultaten vermeld, zooals die met de eerste reeks fractie's met de methode zonder- en met luchtonderdruk zijn verkregen. Evenals bij de doorlatendheidsbepalingen zijn ook hier enkele mengfractie's onderzocht en wel om soortgelijke redenen als dit bij de doorlatendheidsbepalingen is geschied. De grofste fractie, die onderzocht is, is de fractie 417—598  $\mu$ , dus een nog grovere fractie dan bij de doorlatendheidsbepalingen, hetgeen mogelijk is door het feit, dat voor deze bepalingen veel minder materiaal wordt gebruikt. Evenals bij de doorlatendheidsbepalingen werden ook hier op soortgelijke wijze de rechtstreeks bepaalde maximale capillaire stijghoogten ( $H_{\max}$ -waarden) omgerekend op een porienvolume van 35 % volgens vergelijking (40) en de gemiddelde  $H_{35}$ -waarden ( $p_0 = p$ ), evenals de afwijkingen van de duplobepalingen van de gemiddelde  $H_{35}$ -waarde, en de gemiddelde afwijking van alle fractie's uitgerekend.

Uit deze tabel blijkt, dat de afwijkingen van de duplobepalingen zeer klein zijn, zij het ook, dat ze voor de bepalingmethode volgens de methode met luchtonderdruk iets hoger zijn. Belangrijker dan dit verschil is echter de omstandigheid, dat de methode zonder luchtonderdruk steeds lagere waarden geeft dan de methode met luchtonderdruk, ofschoon het verschil niet altijd groot is. Zooals later bij de bespreking van de resultaten met de grondmonsters zal worden aangegeven, geeft ook daàr de methode zonder luchtonderdruk vrijwel steeds lagere waarden, waarbij de oorzaak van de uitzonderingen waarschijnlijk gezocht moet worden in toevallig optredende grotere afwijkingen, daar de verschillen tusschen beide methoden dan ook nog klein zijn. Hoe echter de verklaring van het optreden van deze 9 uitzonderingen ook mag zijn, zeker is, dat de methode met luchtonderdruk meestal te hooge waarden levert. Het zal verder duidelijk zijn, dat het op zichzelf wel mogelijk is, dat beide methoden te hooge waarden geven; er bestaat echter geen reden — dezelfde capillarimeters werden gebruikt — om aan te nemen, dat met de methode zonder luchtonderdruk te lage waarden zouden worden gemeten. Hier wordt immers de onderdruk bepaald door het gewicht van een kolom water, waarbij

TABEL 10.

Fractie n°. I.	Maximale capillaire opstijging in cm water (H max.):															
	U <sub>cm</sub>		Methode zonder luchtonderdruk.						Methode met luchtonderdruk.							
	ber.	uit trac.	Temp. H <sub>2</sub> O.	H max. bepaald.	Vol. gew.	Porten geh.	H ber. op P = 0,35.	Gem.	Rout op t gem.	Temp. H <sub>2</sub> O.	H max. bepaald.	Vol. gew.	Porten geh.	H ber. op P = 0,35.	Gem.	Rout op t gem.
16—43 μ . . . . .	397,0	375,8	18°	264	1,55	42,1	356	359	0,9	16°	292	1,61	39,9	360	360	0
43—74 μ . . . . .	179,5	181,7	18°	268	1,55	42,1	362	359	0,9	16°	288	1,60	40,2	360	360	0
16—74 μ . . . . .	—	257,8	16°	121	1,54	41,9	167	164	1,5	16°	121	1,57	41,1	174	166	5,1
74—104 μ . . . . .	114,5	121,8	16°	192	1,63	38,9	227	239	4,8	16°	242	1,70	36,1	254	257	1,2
104—147 μ . . . . .	81,28	80,3	19°	215	1,64	38,5	250	112	5,3	18°	104	1,56	37,0	260	128	5,5
147—208 μ . . . . .	57,48	57,6	17°	83	1,57	40,8	106	81	1,8	18°	93	1,56	41,2	121	87	4,6
208—295 μ . . . . .	40,58	42,2	19°	63	1,61	39,3	79	57	0,9	18°	77	1,62	38,9	83	67	3,0
295—417 μ . . . . .	28,65	30,9	20°	48	1,62	38,9	57	39	2,6	18°	57	1,64	38,1	65	40	1,2
417—598 μ . . . . .	20,28	22,1	17°	35	1,65	37,8	38	27	3,7	19°	30	1,68	36,6	38	31	1,6
16—43 + 43—74 μ	288,3	283,2	19°	26	1,68	36,5	28	19	2,6	19°	21	1,70	35,7	24	23	6,5
50 + 50 % . . . . .	233,9	233,4	17°	25	1,70	35,7	26	19	2,6	18°	20	1,69	36,0	21	23	6,5
16—43 + 43—74 μ	233,9	233,4	20°	203	1,61	39,7	248	242	2,7	18°	204	1,58	40,8	261	261	0,2
25 + 75 % . . . . .	342,6	338,1	20°	157	1,65	38,2	235	200	0,2	18°	180	1,61	39,4	217	217	0
16—43 + 43—74 μ	342,6	338,1	18°	168	1,63	39,0	200	200	0,2	19°	188	1,65	38,3	217	217	0
75 + 25 % . . . . .	—	—	18°	243	1,62	39,3	292	293	0,2	19°	265	1,67	37,4	294	306	3,7
			Gem. 18°	248	1,63	38,9	293	Gem. 2,3		Gem. 18°	252	1,59	40,4	317	Gem. 2,7	

(74) B. 74.

de lengte van de kolom — zoo noodig — gemakkelijk slechts met 1 cm kan worden vergroot door de capillarimeter 1 cm op te trekken. Bij de methode met luchtonderdruk is dat niet mogelijk, hetgeen duidelijk zal zijn, wanneer bedacht wordt, dat een vergrooing van den onderdruk met 1 mm kwik overeenkomt met een verhooging van de capillaire stijghoogte met 1,36 cm en uit de beschrijving van deze bepalingmethode wel is na te gaan, dat zeer gemakkelijk een iets te groote luchtonderdruk kan worden afgelezen op het moment, dat de luchtbelletjes doorbreken. Zooals we in sub d van dit hoofdstuk zullen zien komen dan ook de  $H_{\max}$ -waarden, bepaald volgens de methode zonder luchtonderdruk, beter overeen met de  $H_{\max}$ -waarde, bepaald volgens de grondkolommethode, dan dit voor de methode met luchtonderdruk het geval is. Bovendien hebben, zooals reeds in Hoofdstuk IV is uiteengezet, bepalingen van de maximale capillaire stijghoogte boven 3 m om verschillende redenen — o.a. door de omstandigheid, dat deze gronden reeds zoo fijn zijn, dat gevaar

TABEL 10 $\beta$ .

Fractie N $^{\circ}$ . II in $\mu$ 's.	Max. capillaire opstijging in em water (H max.).								Fout op het ge- mid- delde.
	$U_{em}$		H max. Methode zonder luchtonderdruk.						
	bere- kend.	uit frac- ties.	Temp. H $_2$ O.	H max. be- paald.	Vol- gew.	Poriën- ge- halte.	H ber. op P = 0,35.	Ge- mid- delde.	
16—43	397,0	376,8	18 $^{\circ}$	252	1,60	40,2	315		
				255	1,61	39,9	314	315	0,2
43—74	179,5	183,4	18 $^{\circ}$	118	1,55	41,8	157		
				113	1,53	42,6	156	157	0,3
74—104	114,5	113,8	19 $^{\circ}$	68	1,52	42,7	94		
				70	1,54	42,3	95	95	0,5
104—147	81,28	85,8	20 $^{\circ}$	63	1,56	41,2	80		
				63	1,56	41,2	80	80	0
147—208	57,48	60,5	19 $^{\circ}$	43	1,57	40,8	55		
				46	1,59	40,0	54	55	0,9
208—295	40,58	43,7	15 $^{\circ}$	33	1,64	38,1	38		
				31	1,61	39,2	37	38	1,3
295—417	28,65	31,1	15 $^{\circ}$	23	1,67	36,9	25		
				23	1,69	36,1	24	25	0,2
16—43 + 43—74 2 op 1	324,8	316,4	18 $^{\circ}$	220	1,64	38,6	257		
				220	1,64	38,6	257	257	0
16—43 + 43—74 1 op 2	252,0	250,0	18 $^{\circ}$	155	1,61	39,7	190		
				160	1,63	38,9	189	190	0,3
		gem.	18 $^{\circ}$			gemiddeld			0,4

voor de mogelijkheid van het optreden van een microstructuur bestaat, waardoor de bepalingen in het laboratorium hun waarde voor deze gronden onder natuurlijke omstandigheden verliezen — voor de practijk zeker geen waarde. Alleen uit een theoretisch oogpunt voor het nagaan van het feit of ook voor fijnere gronden *in een eenkorrelstructuur* vergelijking 39 nog geldig is, zijn dergelijke metingen van beteekenis. Om redenen, die ook in genoemd hoofdstuk zijn uiteengezet, verdient het dan echter aanbeveling voor dat doel *een methode met luchtoverdruk* toe te passen.

Bij de bepalingen van de 2de reeks fractie's, waarvan de resultaten in tabel 10b zijn medegedeeld en waarbij ook enkele mengfracties werden onderzocht, werd er dan ook van afgezien bepalingen met behulp van de methode met lucht-  
onderdruk uit te voeren.

TABEL 11.

*Maximale capillaire stijghoogte.*

Fractie of mengsel.	$U_{cm}$ uit frac- ties.	$H_{bep.}$ bij $P=$ 35 %.	$a$ bere- kend.	Fout van $a$ op ge- mid- delde $a$ in %.	$U_{cm}$ bere- kend.	$H_{max.}$ $P =$ 35 %.	$a$	Fout van $a$ op ge- mid- delde $a$ in %.
<i>Eerste reeks fracties.</i>								
16—43 $\mu$	375,8	359	0,514	4,3	397,0	359	0,487	2,0
43—74 $\mu$	181,7	164	0,486	1,4	179,5	164	0,492	1,2
74—104 $\mu$	121,8	112	0,495	0,4	114,5	112	0,527	5,8
104—147 $\mu$	80,3	81	0,543	10,1	81,28	81	0,537	7,8
147—208 $\mu$	57,6	57	0,533	8,1	57,48	57	0,534	7,2
208—295 $\mu$	42,2	39	0,498	1,0	40,58	39	0,518	4,0
295—417 $\mu$	30,9	27	0,471	4,5	28,65	27	0,508	2,0
417—589 $\mu$	22,1	19	0,463	6,1	20,28	19	0,505	1,4
16—74 $\mu$	257,8	239	0,499	1,2	—	239	—	—
16—43 $\mu$ + 43—74 $\mu$ (1 : 3)	230,2	200	0,468	5,1	233,9	200	0,460	7,6
16—43 $\mu$ + 43—74 $\mu$ (1 : 1)	278,8	242	0,467	5,3	288,3	242	0,452	9,2
16—43 $\mu$ + 43—74 $\mu$ (3 : 1)	327,3	293	0,482	2,2	342,6	293	0,461	7,4
	Gemiddeld bij 18,0° C		0,493	4,1	Gemiddeld bij 18,0° C		0,498	5,1

Fractie of mengsel.	$U_{cm}$ uit frac- ties.	$H_{bep.}$ bij $P =$ 35 %.	$a$ bere- kend.	Fout van $a$ op ge- mid- delde $a$ in %.	$U_{cm}$ bere- kend.	$H_{max.}$ $P =$ 35 %.	$a$	Fout van $a$ op ge- mid- delde $a$ in %.
---------------------	-----------------------------------	----------------------------------	-----------------------	---	----------------------------	------------------------------	-----	---

## Tweede reeks fracties.

16—43 $\mu$	376,8	315	0,450	1,5	397,0	315	0,427	8,4
43—74 $\mu$	183,4	157	0,461	0,9	179,5	157	0,471	1,1
74—104 $\mu$	113,8	95	0,450	1,5	114,5	95	0,447	4,1
104—147 $\mu$	85,8	80	0,502	9,8	81,28	80	0,530	13,7
147—208 $\mu$	60,5	55	0,490	7,2	57,48	55	0,515	10,5
208—295 $\mu$	43,7	38	0,468	2,4	40,58	38	0,504	8,2
295—417 $\mu$	31,1	25	0,433	5,2	28,65	25	0,470	0,1
16—43 $\mu$ + 43—74 $\mu$ (1 : 2)	247,9	190	0,413	9,6	252,0	190	0,406	12,9
16—43 $\mu$ + 43—74 $\mu$ (2 : 1)	312,3	257	0,443	3,1	324,8	257	0,426	8,6
	Gemiddeld bij 18,0° C		0,457	4,6	Gemiddeld bij 18,0° C		0,466	7,6

$$\text{Gemiddelde } a : \frac{0,493 + 0,457}{2} = 0,475$$

bij 18,0° C.

$$\text{Gemiddelde } a : \frac{0,498 + 0,466}{2} = 0,482$$

bij 18,0° C.

Zoals we uit de tabel zien, zijn ook nu de afwijkingen van het gemiddelde van de duplobepalingen evenals het gemiddelde van deze afwijkingen zeer klein. De grootste afwijking tusschen duplobepalingen van beide reeksen fractie's bedroeg met de methode zonder luchtonderdruk 5,3 % voor de fractie n°. I 74—104  $\mu$ . Bij de gewone grondmonsters treden echter, zooals in het volgende hoofdstuk besproken zal worden, grootere afwijkingen op, waarvan de oorzaak zoowel in de heterogeniteit als in een verschillenden vorm van de holle ruimten of beter van de doorsnede van die holle ruimten is te zoeken. Evenals bij de doorlatendheidsbepalingen zijn deze afwijkingen bij duplobepalingen dan ook de som van gewone fouten (principeel te verbeteren) van de bepalingsmethode en van afwijkingen, waarvan de oorzaak niet kan worden weggenomen (principeel niet te verbeteren).

Met behulp van de gemiddelde  $H_{35}$ -waarden van de duplobepalingen is nu de factor  $a$  in de vergelijking (39) uitgerekend, waarbij ook nu weer de berekening in het eene geval met „ $U_{cm}$  uit fractie's" en in het andere geval met



„ $U_{cm}$  berekend” is uitgevoerd. In tabel 11 zijn de resultaten van deze berekeningen aangegeven.

Hieruit blijkt in de eerste plaats, dat in iedere reeks fractie's de factor  $a$  in de formule van  $H_{max}$  voor alle afzonderlijke fractie's vrijwel constant blijft. De afwijkingen van de gemiddelde constante zijn niet groter dan bij de doorlatendheidsconstante (maximaal 13,7 %) en bovendien zonder bepaalde lijn. Hieruit volgt dus, dat, daar zowel  $U_{cm}$  als  $p$  in de verschillende fractie's zeer verschillend zijn geweest, de formule het verband met  $U_{cm}$  en  $p$  voldoende juist aangeeft (bij duplobepalingen van de gewone monsters is het onderscheid in  $p$  te gering, om hieruit het verband met  $p$  na te gaan).

In de tweede plaats blijkt hieruit, dat de gemiddelde afwijking van den factor  $a$ , berekend met behulp van „ $U_{cm}$  ber.” niet veel groter is dan met „ $U_{cm}$  uit fractie's”. Voor de berekening van de maximale capillaire opstijging kan dus evengoed van „ $U_{cm}$  ber.” worden uitgegaan, hetgeen, gezien de voordeelen, die deze tweede methode voor de berekening van het specifiek oppervlak biedt (zie Hoofdstuk IV B), dan ook in het vervolg steeds is geschied.

In de derde plaats zijn de gemiddelde  $a$ -waarden van beide onafhankelijke reeksen niet erg verschillend, waaruit dus blijkt, dat de gemiddelde korrelvorm van de Nederlandsche zandgronden voldoende constant blijft, hetgeen dus in overeenstemming is met de resultaten van de doorlatendheidsbepalingen in dit opzicht. Evenals bij de berekening van den doorlatendheidsfactor was te verwachten, dat bij de berekening van de maximale capillaire stijghoogten uit de formule, die dus moet luiden :

$$H = 0,482 \cdot \frac{1-p}{p_0} \cdot U_{cm} \quad (49)$$

binnen niet al te wijde grenzen (als  $\pm$  bij de doorlatendheid) overeenstemming tusschen de berekende- en de experimenteel bepaalde waarden (ook de korrelvorm is hier van invloed) is te verwachten, zij het ook, dat de foutengrens ook hier moeilijk is aan te geven en experimenteel moet worden bepaald. Het bleek echter, dat ook bij gronden met zeer weinig klei, humus of koolzuurkalk, deze overeenstemming niet bestond, maar dat de berekende waarden vrijwel steeds hooger waren dan de experimenteel bepaalde. De eenige verklaring daarvoor is te zoeken in de omstandigheid, dat voor gewone grondmonsters de factor  $a$  een andere waarde heeft of m.a.w., daar de gemiddelde korrelvorm niet verandert, de oppervlaktespanning door de geringe hoeveelheid humus, die wel in alle grondmonsters, maar niet in de fractie's aanwezig is, vrij sterk wordt verlaagd. Het bewijs voor de juistheid van deze veronderstelling zal bij de bespreking van de resultaten met de grondmonsters in het volgende hoofdstuk worden medegedeeld.

Tenslotte is het de moeite waard na te gaan in hoeverre de waarde van de constante  $a$  van vergelijking 49 overeenkomt met de constante zooals deze door ZUNKER is aangegeven, d.w.z. in hoeverre de factor  $\beta$  in formule 37 één

nadert. Daar immers  $a = \frac{6\alpha}{\rho g}$  is dus, bij  $18^\circ \text{C}$ . en  $\beta = 1$ , deze factor  $a = 0,45$ .

Deze factor, die dus zuiver theoretisch is afgeleid en geldig is voor bolvormige deeltjes komt zeer dicht bij  $a$ , zooals deze experimenteel is bepaald, nl. op rond 0,48, zij het ook, dat wel bedacht moet worden, dat de zeven mede iets de grootte van deze constante bepalen (31). Bij gebruik van dezelfde zeven is dus  $\beta$ , waarin zoowel de afwijking van den bolvorm als de eigen invloed van de zeven tot uiting komt, hier  $\frac{0,48}{0,45} = 1,07$ . Hieruit kan dus niet worden afgeleid — ge-

zien den eigen invloed van de zeven — dat de gemiddelde korrelvorm van de Nederlandsche zandgronden vrijwel den bolvorm nadert, ofschoon dit wel waarschijnlijk is. Wel is waar is bij de doorlatendheidsbepalingen voor den factor  $\mu$  van ZUNKER 1,5 gevonden, terwijl ZUNKER voor glad kogelvormig materiaal 2,3 bepaalt; men moet echter niet vergeten, dat ook de aard van het oppervlak (glad-ruw) een zekeren invloed uitoefent en bovendien ook de zeven hun eigen invloed op de grootte van  $\mu$  doen gelden. Uit microscopische metingen, die nog zeer weinig in aantal zijn, werd nu voor de verhouding van de 3 loodrecht op elkaar staande grootste doorsneden gevonden  $7,5 : 5,1 : 4$  en het wil mij voorkomen, dat de gemiddelde korrelvorm van Nederlandsche zandgronden (ellipsoïd, die de bolvorm nadert) niet veel daarvan verwijderd is.

#### C. DE HOEVEELHEID HANGWATER EN DE CONSTANTE $\mu$ VAN PORCHET; AFHANKELIJKHEID VAN HET SPECIFIEK GEWICHT VAN HET SPECIFIEK OPPERVLAKE.

Evenals bij de doorlatendheid en de maximale capillaire stijghoogte vormen ook hier, om dezelfde redenen als daar, de fractie's het aangewezen materiaal voor het nagaan van het al of niet aanwezig zijn van een formulair verband van deze grootheden met verschillende factoren, waarbij vooral de factor  $U_{cm}$  de belangrijkste is.

De resultaten van deze bepalingen zijn voor de eerste en tweede reeks fractie's (waaronder ook enkele mengfractie's) medegedeeld resp. in tabel 12a en 12b. Hierin zijn in de 4de en 5de kolom resp de temperaturen van het water in de afzuigreageerbuis en in den grond aangegeven en in de 6de en 7de kolom resp. de vochtgehalten op 100 gram natten grond, zooals ze door drogen van den grond, na het afzuigen, in de stoof bij  $105^\circ \text{C}$ . en uit de hoeveelheid opgevangen water in de afzuigreageerbuis zijn bepaald, terwijl in de 8ste kolom

TABEL 12a.

*Eerste reeks fractie's.*

Fractie.	Volume gew.	Porien Vol. P.	Temp. H <sub>2</sub> O.	Temp. grond.	Vocht per 100 gram natten grond.			Afwijking in %.	W <sub>na</sub> gr. dr. stof.	Vochtgeh. in Vol. % = W <sub>na</sub> .	$\mu = P - W_{na}$ .	Σ. g.
					Stoof.	Na. afzuigen.	Gem.					
16—43 $\mu$ . . .	1,56	41,7	17°	17°	6,30	6,67	6,49	—	7,12	10,8	30,9	
	1,56	41,7	16°	17°	6,81	6,80	6,80	2,3	—	11,4	30,3	2,677
Gemiddeld. . .	1,56	41,7	16,5°	16,5°	6,55	6,74	6,65	—	—	11,1	30,6	
16—74 $\mu$ . . .	1,66	37,7	18°	19°	5,05	5,36	5,20	—	5,84	9,1	28,6	
	1,66	37,7	17°	19°	5,87	5,85	5,86	6,0	—	10,3	27,4	2,666
Gemiddeld. . .	1,66	37,7	17,5°	19°	5,46	5,61	5,33	—	—	9,7	28,0	
43—74 $\mu$ . . .	1,61	39,6	14°	17°	4,22	4,31	4,26	—	4,47	7,2	32,4	
	1,60	40,0	14°	17°	4,29	4,31	4,30	0,5	—	7,2	32,8	2,664
Gemiddeld. . .	1,61	39,8	14°	17°	4,25	4,31	4,28	—	—	7,2	32,6	
74—104 $\mu$ . . .	1,60	39,7	18°	20°	3,73	3,61	3,67	—	3,88	6,1	33,6	
	1,60	39,7	18°	20°	3,80	3,80	3,80	1,8	—	6,3	33,4	2,652
Gemiddeld. . .	1,60	39,7	18°	20°	3,77	3,71	3,74	—	—	6,2	33,5	
104—147 $\mu$ . . .	1,64	38,2	17°	20°	3,39	3,19	3,29	—	3,41	5,6	32,6	
	1,63	38,5	17°	20°	3,38	3,24	3,31	0,3	—	5,6	32,9	2,652
Gemiddeld. . .	1,64	38,4	17°	20°	3,38	3,22	3,30	—	—	5,6	32,8	
147—208 $\mu$ . . .	1,65	37,8	17°	20°	2,86	2,68	2,77	—	2,89	4,7	33,1	
	1,66	37,4	17°	20°	2,95	2,68	2,82	0,9	—	4,9	32,5	2,651
Gemiddeld. . .	1,66	37,6	17°	20°	2,91	2,68	2,80	—	—	4,8	32,8	
208—295 $\mu$ . . .	1,71	35,5	17°	20°	2,32	2,24	2,28	—	2,34	4,0	31,5	
	1,71	35,5	17°	20°	2,32	2,24	2,28	0	—	4,0	31,5	2,648
Gemiddeld. . .	1,71	35,5	17°	20°	2,32	2,24	2,28	—	—	4,0	31,5	
295—417 $\mu$ . . .	1,71	35,3	18°	20°	2,03	2,01	2,02	—	2,15	3,6	31,7	
	1,72	35,0	17°	20°	2,25	1,87	2,06	1,0	—	3,7	31,3	2,645
Gemiddeld. . .	1,72	35,2	17,5°	20°	2,14	1,94	2,04	—	—	3,7	31,5	
417—589 $\mu$ . . .	1,70	35,6	17°	19°	2,14	2,05	2,10	—	2,24	3,6	32,0	
	1,69	36,0	15°	16°	2,25	2,21	2,23	3,2	—	3,9	32,1	2,642
Gemiddeld. . .	1,70	35,8	16°	17,5°	2,20	2,13	2,16	—	—	3,8	32,0	
16—43 $\mu$ ) . . .	1,65	38,2	17°	16°	5,32	5,44	5,38	—	5,64	9,4	28,8	
43—74 $\mu$ ) . . .												
1 op 1 ) . . .	1,65	38,2	16°	17°	4,87	5,21	5,04	3,3	—	8,8	29,4	2,670
Gemiddeld. . .	1,65	38,2	16,5°	16,5°	5,10	5,32	5,21	—	—	9,1	29,1	
								Gem. 1,9				

TABEL 126.

## Tweede reeks fractie's.

Fractie.	Volume gew.	Porien Vol. P.	Temp. H <sub>2</sub> O.	Temp. grond.	Vocht per 100 gram natten grond.			Afwijking in %.	W <sub>na</sub> gr. dr. stof.	Vochtgeh. in Vol. % = W <sub>na</sub> .	μ = P — W <sub>na</sub> .	S. gr.
					Stoof.	Na afzuigen.	Gem.					
43—74 μ . . .	1,55	41,8	18°	17°	4,24	4,48	4,36	—	4,65	7,1	34,7	2,664
	1,55	41,8	18°	17°	4,55	4,48	4,51	1,7	—	7,3	34,5	
Gemiddeld. . .	1,55	41,8	18°	17°	4,40	4,48	4,44	—	—	7,2	34,6	
74—104 μ . . .	1,55	41,5	13°	15°	4,85	5,21	5,03	—	5,32	8,2	33,3	2,652
	1,56	41,2	14°	15°	4,92	5,16	5,04	0,1	—	8,3	32,9	
Gemiddeld. . .	1,56	41,4	13,5°	15°	4,89	5,19	5,04	—	—	8,3	33,1	
104—147 μ . . .	1,58	40,4	14°	14°	3,89	4,03	3,96	—	4,00	6,5	33,9	2,652
	1,58	40,4	14°	14°	3,37	3,94	3,66	3,9	—	6,0	34,4	
Gemiddeld. . .	1,58	40,4	14°	14°	3,63	3,99	3,81	—	—	6,3	34,1	
147—208 μ . . .	1,61	39,3	14°	15°	4,53	4,76	4,64	—	4,72	7,8	31,5	2,651
	1,61	39,3	15°	15°	4,20	4,53	4,37	3,0	—	7,4	31,9	
Gemiddeld. . .	1,61	39,3	14,5°	15°	4,37	4,64	4,50	—	—	7,6	31,7	
208—295 μ . . .	1,63	38,4	16°	16°	3,57	3,85	3,71	—	3,62	6,3	32,1	2,648
	1,63	28,4	18°	18°	3,22	3,28	3,25	6,6	—	5,5	32,9	
Gemiddeld. . .	1,63	38,4	17°	17°	3,40	3,56	3,48	—	—	5,9	32,5	
295—417 μ . . .	1,68	36,5	15°	15°	2,97	3,15	3,06	—	3,08	5,3	31,2	2,645
	1,69	36,1	16°	16°	2,72	3,15	2,93	2,2	—	5,1	31,0	
Gemiddeld. . .	1,69	36,3	15,5°	15,5°	2,85	3,15	3,00	—	—	5,2	31,1	
16—43 + ) . . .	1,56	41,6	18°	17°	6,65	6,54	6,60	—	6,67	11,0	30,6	2,672
43—74 μ ) . . .			15°	14°	5,65	6,23	5,94	5,3	—	9,9	31,7	
2 op 1 ) . . .			16,5°	15,5°	6,15	6,39	6,27	—	—	10,4	31,2	
Gemiddeld. . .	1,56	41,6	16,5°	15,5°	6,15	6,39	6,27	—	—	10,4	31,2	
16—43 + ) . . .	1,59	40,4	17°	18°	5,00	5,44	5,22	—	5,50	8,8	31,6	2,668
43—74 μ ) . . .			16°	14°	4,99	5,44	5,22	0	—	8,8	31,2	
1 op 2 ) . . .			16,5°	16°	5,00	5,44	5,22	—	—	8,8	31,4	
Gemiddeld. . .	1,60	40,2	16,5°	16°	5,00	5,44	5,22	—	—	8,8	31,4	
							Gem. 2,8					

het gemiddelde van de bovengenoemde vochtgehalten is aangegeven. Ook is voor iedere fractie het gemiddelde van alle waarnemingen en dus ook het gemiddelde vochtgehalte van de duplobepalingen uitgerekend, terwijl in de 9de kolom de afwijkingen van de duplobepalingen in procenten van het gemiddelde zijn vermeld. Met behulp van het gemiddelde vochtgehalte van de duplobepalingen op 100 gram natten grond werd het hangwater  $W_{ha}$  op 100 gram droge stof (10de kolom) en in volumepercenten (11de kolom) berekend. In de 12de kolom is de factor  $\mu$  van PORCHET aangegeven, zooals deze is berekend met behulp van de vergelijking  $\mu = p - W_{ha}$  (voor luchtvrje gronden). Tenslotte bevat de laatste kolom de soortelijke gewichten, zooals die met een pyknometer (de lucht wordt door luchtledig zuigen en kloppen verwijderd) zijn bepaald.

Uit deze waarnemingen blijkt, dat de temperatuur van den grond nà het afzuigen even hoog of hooger is dan de temperatuur van het water in de afzuigreageerbuis, hetgeen er dus eveneens op wijst, dat hoogstens een kleine verdamping van het water kan zijn opgetreden (zie Hoofdstuk IV). Verder zien we, dat het vochtgehalte, dat in de stoof bepaald werd, gewoonlijk iets lager is dan uit de hoeveelheid opgevangen water (kolom 7) werd berekend. De verschillen zijn gewoonlijk zeer klein en komen bij de fractie's niet boven 0,3 gram water per 100 gram droge stof (bij de gewone grondmonsters zijn nog wel eens iets grootere verschillen gevonden; zie het volgende hoofdstuk). Zooals reeds in Hoofdstuk IV is aangegeven, kan het gemiddelde van deze vochtgehalten als de meeste juiste waarde worden aanvaard.

De afwijking van het gemiddelde vochtgehalte van de duplobepalingen (kolom 9) voor iedere fractie afzonderlijk, zoowel als het gemiddelde voor alle fractie's is ook bij deze bepalingen gering. *Hieruit volgt, dat reproduceerbare bepalingen volgens deze methode kunnen worden verricht.* Met de grondmonsters zijn, zooals we in het volgende hoofdstuk zullen zien, soortgelijke ervaringen verkregen, zij het ook, dat hier de afwijkingen bij de duplobepalingen iets grooter zijn, zooals dat trouwens ook bij de doorlatendheid en de maximale capillaire stijghoogte het geval is. Het feit nu, dat reproduceerbare waarden kunnen worden verkregen, is van groot belang, omdat uit de waarnemingen blijkt, dat er geen scherp verband tusschen  $W_{ha}$  en  $U_{cm}$  bestaat, zij het ook, dat wel in ruwe lijnen  $W_{ha}$  toeneemt met een toenemende  $U_{cm}$ .

Merkwaardigerwijze is een goed uitgesproken verband tusschen deze grootheden wel aanwezig bij de bepalingen van de eerste reeks fracties. Hier is  $W_{ha}$  ongeveer recht evenredig met  $\sqrt{U_{cm}}$ , hetgeen uit tabel 13 blijkt. Een samenhang met het porienvolume is er niet of slechts in geringe mate, daar de factor  $b$ , ondanks de groote veranderingen in het porienvolume (zie tabel 12a) ongeveer constant blijft, waarbij in aanmerking moet worden genomen, dat bij de grofste

TABEL 13.

*Eerste reeks fractie's.*

Fractie.	$U_{cm}$ .	$W_{ha}$ op droge stof.	$b$
16—43	397,0	7,12	0,36
16—74	257,8	5,84	0,35
16—43 } 43—74 } 1 op 1	288,3	5,64	0,33
43—74	179,5	4,47	0,33
74—104	114,5	3,88	0,36
104—147	81,28	3,41	0,38
147—208	57,48	2,89	0,38
208—295	40,58	2,34	0,37
295—417	28,65	2,15	0,40
417—589	20,28	2,24	0,50

Aangenomen is dat  $W_{ha} = b \cdot \sqrt{U_{cm}}$ .

fractie's  $W_{ha}$  reeds zoo klein is, dat kleine veranderingen reeds een grooten invloed op den factor  $b$  uitoefenen. Uit de duplobepalingen is de invloed van het porienvolume zeker niet na te gaan, daar de verschillen in het porienvolume bij de duplobepalingen slechts gering zijn, hetgeen ook bij de onderzochte grondmonsters het geval is.

In de tweede reeks fractie's blijkt echter bij grovere fractie's de hoeveelheid hangwater soms hooger te zijn, dan bij de fijnere fractie's, hetgeen door herhaling van de bepalingen met deze fractie's steeds werd bevestigd. Wel blijkt in ruwe lijnen de hoeveelheid hangwater toe te nemen met het stijgende  $U_{cm}$ , maar dit verband is hier te weinig uitgesproken om hierop een formulair verband te kunnen aangeven.

De verklaring van het ontbreken van een formulair verband kan alleen gezocht worden in een sterken invloed van den korrelvorm op  $W_{ha}$ , welke invloed dien van  $U_{cm}$  ( $W_{ha}$  is ruwweg hoogstens evenredig met  $\sqrt{U_{cm}}$ ) soms kan overheerschen. Deze korrelvorm is bij de afzonderlijke fractie's blijkbaar niet volkomen gelijk, hetgeen bij de doorlatendheids- en de maximale capillaire stijghoogten-bepalingen slechts in geringe mate naar voren komt, daar hier de invloed van den korrelvorm ten opzichte van  $U_{cm}$  terug treedt. Ook het feit, dat overeenkomstige fractie's van beide reeksen een verschillende  $W_{ha}$  hebben wijst in dezelfde richting. Bezien we de resultaten met de grondmonsters in dit opzicht (zie ook het volgende hoofdstuk), waarbij dus een grooter onderling verschil in den korrelvorm mogelijk is, dan blijkt ook hier, dat geen samen-

hang tusschen  $W_{ha}$  en  $U_{cm}$  bestaat. In tabel 14 zijn van enkele grondmonsters zoowel  $W_{ha}$  als  $U_{cm}$  opgegeven, waarbij natuurlijk monsters zijn uitgezocht met zeer weinig klei, humus en koolzure kalk.

Uit het specifiek oppervlak is dus  $W_{ha}$  niet te berekenen, tenzij men met een zeer ruwe benadering tevreden is. De resultaten van ZUNKER in dit opzicht (zie Hoofdstuk III) kunnen voor de Nederlandsche gronden in het algemeen dus niet worden bevestigd, terwijl overigens in de reeks fractie's, waarbij nog wel een verband tusschen  $W_{ha}$  en  $U_{cm}$  werd gevonden, dit verband voor deze reeks het beste met een evenredigheid met  $\sqrt{U}$  kan worden aangegeven.

TABEL 14.

Grondmonster.	$U_{cm}$ .	$W_{ha}$ op droge stof.	Grond- monster N°.	$U_{cm}$ .	$W_{ha}$ op droge stof.
1125	58,4	4,26	4751	43,3	3,56
1128	54,8	3,11	4752	51,0	5,67
1130	69,6	3,44	4753	51,0	4,89
1131	47,6	3,98	5168	32,6	3,09
1132	79,5	4,57	5173	57,9	4,40
1133	88,1	4,45	5510	28,4	3,87
1134	85,8	4,88	1474	42,9	5,00
1135	79,9	5,26	1475	35,0	3,84
5673	98,4	5,26	5840 b	101,7	6,70
5674	54,6	3,54	5840 c	103,6	4,50
5235	46,9	5,76	5840 d	25,6	3,0
5236	47,6	5,45	5840 e	33,1	4,6
5189	29,4	2,77	5840	35,2	3,5
5192	39,0	4,08	5841	108,6	6,4
4750	44,3	3,84	5814	55,1	4,3

Uit het feit, nu, dat, ondanks het niet aanwezig zijn van een scherp uitgesproken formulair verband, toch reproduceerbare waarden kunnen worden verkregen, is af te leiden, dat het porienvolume, evenals de manier waarop de grond uit de korrels is opgebouwd (de grond blijft dus steeds in een éénkorrelstructuur), blijkbaar slechts een geringen invloed uitoefent. Dit maakt, dat de fout slechts klein blijft, ook wanneer omrekening van de in het laboratorium bepaalde waarden op de omstandigheden, zooals deze in den grond in de natuurlijke ligging worden aangetroffen (de korrelvorm blijft immers dezelfde), door het ontbreken van een formulair verband niet kan plaats vinden. Uit de overeenkomst van deze waarden met de met de grondkolommethode bepaalde waarden (zie onder sub *d*) wordt dit nog waarschijnlijker.

Wat nu factor  $\mu$  van PORCHET betreft, zoo blijkt uit de waarnemingen, dat deze voor alle fractie's constant is en wel ruim 30 % bedraagt. Dit wordt veroorzaakt door de omstandigheid, dat zoowel het porienvolume als  $W_{ha}$  bij de fijnere fractie's grooter is dan bij de grovere fractie's, zoodat het verschil ( $= \mu$ ) vrijwel gelijk blijft. Dit laatste is ook in de onderzochte grondmonsters het geval, ofschoon hier de veranderingen in den factor  $\mu$  voor de verschillende grondmonsters grooter zijn, daar hier, zooals reeds eerder is opgemerkt, wel in 't algemeen het porienvolume grooter wordt met een toenemende fijnheid van den grond, maar dat hierin toch vrij groote afwijkingen voorkomen (zie het volgende Hoofdstuk).

In verband nu met het reeds eerder opgemerkte, nl., dat  $W_{ha}$  voor de berekening van den factor  $\mu$  in den grond in zijn natuurlijke ligging slechts als een bij eerste benadering juiste waarde is op te vatten, wanneer het phreatisch oppervlak juist op een diepte  $H$  onder het maaiveld ligt, kan worden opgemerkt, dat (voor luchtvrje gronden) de factor  $\mu$ , ondanks dit feit, toch voldoende nauwkeurig daardoor is aan te geven, daar  $W_{ha}$  altijd relatief klein blijft en het verschil van  $p$  en  $W_{ha}$  relatief daardoor slechts weinig verandert. Als voorbeeld ter illustratie daarvan kiezen we b.v. B 5173, van tabel 16 (zie onder sub D van dit Hoofdstuk). Hieruit zien we, dat het vochtgehalte vlak boven het capillair oppervlak is 20,6, terwijl  $W_{ha}$  7,1 is (alles in Vol. %). De grootheid  $\mu$  is hier dus  $40,8 - 20,6 = 20,2$  Vol. % en bij voldoende diepen grondwaterstand hoogstens  $40,8 - 7,1 = 33,7$  Vol. %, waartusschen een verhouding bestaat van  $20,2 : 33,7 = 0,60$ , d.w.z. dus hoogstens een fout van 40 % of gemiddeld een fout van 20 % wordt gemaakt. Deze fout is desgewenscht nog te verkleinen door de oorspronkelijke diepte van het phreatisch oppervlak onder het maaiveld mede in rekening te brengen.

Bevat een grond onder het capillair oppervlak lucht, dan zal de factor  $\mu$  natuurlijk kleiner worden. Daar  $W_{ha}$  daardoor waarschijnlijk slechts zeer weinig zal veranderen, kan dit luchtgehalte van den factor  $\mu$  worden afgetrokken (dus  $\mu = p - W_{ha}$  —luchtgehalte in Vol. %). Gewoonlijk zal echter dit luchtgehalte verwaarloosd kunnen worden.

*Afankelijkheid van het specifiek gewicht van het specifiek oppervlak.*

Ofschoon met de bovenstaande waarden slechts zijdelings samenhangend, moet hier nog een opmerking worden gemaakt over het feit, dat het soortelijk gewicht van de fractie's samen blijkt te hangen met de fijnheid van het onderzochte materiaal, hetgeen in tabel 15 nog eens tot uiting is gebracht.

Zoowel het feit, dat met een toenemende  $U_{cm}$  het soortelijk gewicht steeds toeneemt, als de omstandigheid, dat het hier fractie's betreft, die bij de zeefanalyse van honderden verschillende grondmonsters zijn verzameld,



TABEL 15.

Fractie.	Gemiddelden van 1ste en 2de reeks.	
	Über.	Soortelijk gewicht.
16—43	397,0	2,677
43—74	179,5	2,664
74—104	114,5	2,652
104—147	81,28	2,652
147—208	57,48	2,651
208—295	40,58	2,648
295—417	28,65	2,648
417—589	20,28	2,642

maakt het zeer waarschijnlijk, dat een verschillende mineralogische samenstelling deze verandering in het soortelijk gewicht niet kan verklaren. Ook door ZUNKER (32) is een dergelijke samenhang gevonden. Zijn verklaring, dat dit veroorzaakt wordt door het feit, dat aan de oppervlakte van de gronddeeltjes in den pyknometer contractie van water plaats vindt, waardoor het volume van de vaste massa te klein en dus het soortelijk gewicht te groot wordt gevonden, lijkt mij juist. Bij de grofste gronden of in casu hier bij de grofste fractie is de contractie als te verwaarlozen klein aan te nemen (het groote verschil in s.g. met de fractie van 295—417  $\mu$  kan door een toevallige grootere fout bij de bepaling worden verklaard). Dit s.g. noemt ZUNKER dan ook het ware soortelijk gewicht, terwijl de s.g. van fijnere gronden of fractie's door hem het schijnbare s.g. worden genoemd. Het ware s.g. zou nu volgens hem vrijwel constant zijn en wel ongeveer 2,65 bedragen (in mijn geval dus 2,64 à 2,65, hetgeen ongeveer dezelfde waarde is.)\*

D. RESULTATEN VAN DE BEPALING VAN DE MAXIMALE CAPILLAIRE STIJGHOOGTEN EN VAN DE HOEVEELHEID HANGWATER MET DE GRONDKOLOM METHODE.

Zooals reeds eerder is opgemerkt, moet aan de resultaten met deze methode verkregen, een groote waarde worden toegekend, daar hier de omstandigheden, zooals ze in een grond van de eerste soort in de natuur voorkomen, het dichtste

\*) In den laatsten tijd zijn de s. g. van een nieuwe reeks fractie's nog eens in gedestilleerd water en in watervrije petroleum bepaald. Hierbij bleken de s. g. in petroleum iets groter te zijn dan in gedestilleerd water (bijv. fractie 16—43  $\mu$ ; s. g. in water 2,666 en in petroleum 2,677; enz.). In beide vloeistoffen nam het s.g. — evenals in tabel 15 — af; contractie heeft dus in beide vloeistoffen plaats.

worden benaderd. Noodzakelijk is echter, dat de manier van uitvoering van deze methode juist is en naar ik hoop, ben ik er in geslaagd in Hoofdstuk III en IV aan te toonen, dat aan de manier van uitvoering van deze bepalingen, zooals ik deze heb verricht, geen principieele fouten zijn verbonden.

De resultaten van deze bepalingen met 5 grondmonsters zijn in tabel 16 weergegeven. Behalve het volume-gewicht, het soortelijk gewicht, het porien-volume, staan hierin vermeld de vochtgehalten per 100 g. droge stof in de verschillende lagen boven het wateroppervlak rondom het ondereinde van de buizen (zie Hoofdstuk IV).

TABEL 16.

B 5173 Vol.gew. 1,574 S.G. 2,658 $p = 40,8$		B 5337 Vol.gew. 1,474 S.G. 2,648 $p = 44,3$		B 5427 Vol.gew. 1,644 S.G. 2,660 $p = 38,2$		B 5168 Vol.gew. 1,741 S.G. 2,659 $p = 34,5$		W.M. 1475 Vol.gew. 1,678 S.G. 2,653 $p = 36,8$	
Laag.	Vocht- gehalte in grammen.	Laag.	Vocht- gehalte in grammen.	Laag.	Vocht- gehalte in grammen.	Laag.	Vocht- gehalte in grammen.	Laag.	Vocht- gehalte in gram- men.
0-4	21,7	0-3	25,7	0-3	20,4	0-3	18,4	0-3	19,5
4-8	23,4	3-6	29,6	3-6	22,7	3-6	19,3	3-6	21,9
8-12	24,3	6-9	29,7	6-9	22,3	6-9	19,4	6-9	20,7
12-16	23,3	9-12	27,7	9-12	24,0	9-13	19,3	9-12	20,3
16-20	20,0	12-15	28,4	12-15	24,2	13-17	20,5	12-15	22,0
20-24	23,7	15-18	30,3	15-18	22,9	17-21	19,5	15-18	21,6
24-28	21,6	18-21	29,8	18-22	23,4	21-24	19,2	18-22	20,8
28-33	22,4	21-24	28,7	22-25½	22,7	24-27	17,8	22-26	18,1
33-38	22,3	24-27	27,1	25½-29	11,7	27-30	6,6	26-29	6,9
38-41	13,1	27-30	26,3	29-33	7,8	30-32½	7,2	29-32	5,8
41-44	12,8	30-33	27,9	33-36	8,0	32½-36	5,0	32-36	5,1
44-46	12,2	33-36	27,7	36-39	7,3	36-40	2,9	36-40	3,7
46-48	11,6	36-39	26,6	39-43	5,0	40-44	3,1	40-44	3,2
48-51	8,3	39-42	20,9	43-49	5,0	44-48	4,6?	44-48	3,7
51-54	7,8	42-45	19,0						
54-57	7,0	45-48	11,4						
57-60	6,2	48-51	11,1						
60-63	4,4	51-54	10,3						
63-67	4,4	54-57	9,5						
67-70	4,9	57-60	8,2						
70-73	4,1	60-63	7,8						
		63-66	7,6						
		66-70	7,4						
		70-74	7,3						

Uit de resultaten blijkt, dat tot een bepaalde hoogte boven het wateroppervlak het vochtgehalte vrijwel constant is (zie ook verder hieronder). Tot deze hoogte — in tabel 16 cursiefgedrukt — is blijkbaar de kolom grond capillair verzadigd met water. De lengte van deze kolom geeft blijkbaar de maximale capillaire stijghoogte aan.

Een opmerking moet in dit verband gemaakt worden over de resultaten met het grondmonster B 5337. Hier zien we, dat het vochtgehalte op een hoogte van 39 cm een sprong maakt en op een hoogte van 45 cm nog eens. Dit is waarschijnlijk veroorzaakt door de heterogeniteit van de samenstelling van de kolom grond ter plaatse. De maximale stijghoogte is dan ook tussen de grenzen 39—45 onder de omstandigheden, waaronder de bepalingen zijn verricht, onzeker.

Op grotere hoogten, d.w.z. dus boven het capillair oppervlak, daalt het vochtgehalte, dat vlak boven het capillair oppervlak reeds veel lager was, over een meer of minder dikke laag tot een vrijwel constant vochtgehalte, waarvan het gemiddelde is te berekenen. De laag boven het wateroppervlak waarboven dit vochtgehalte vrijwel constant blijft, is eveneens in tabel 16 cursiefgedrukt.

Bij de beoordeeling, of het vochtgehalte nog verandert dan wel constant blijft, moet men natuurlijk rekening houden met een zekere heterogeniteit bij de vulling en met een geringe verdamping van water in het bovenste laagje. Dit gemiddelde, constant blijvende vochtgehalte moet dus overeenkomen met  $W_{ha}$  volgens de afzuigmethode, eveneens uitgedrukt in grammen per 100 g. droge stof. Alleen in dit geval worden absolute cijfers verkregen, *die onafhankelijk zijn van de bepalingmethode*. Het zelfde geldt voor de maximale capillaire stijghoogte. Om deze overeenstemming te kunnen nagaan, zijn de maximale stijghoogte, omgerekend op een porienvolume van 35 %, in tabel 17 medegedeeld. Hierin zijn ook aangegeven de  $W_{ha}$ -cijfers met het porienvolume, zooals dit bij de twee methoden voor de bepaling van deze grootte zijn waargenomen.

Uit deze tabel blijkt, dat de overeenstemming tussen de maximale capillaire stijghoogte, bepaald volgens de methode zonder luchttonderdruk en deze grootte, bepaald volgens de methode met de grondkolommen, uitstekend is. De waarden, bepaald met de methode met luchttonderdruk, zijn in 't algemeen hoger (vooral de grotere stijghoogten); allen voor de kleinste stijghoogten is dit niet het geval. Bij dergelijke kleine maximale capillaire stijghoogten zijn de verschillen tussen de methode met- en zonder luchttonderdruk trouwens zeer klein. *Hieruit volgt dus, dat de methode zonder luchttonderdruk betere cijfers geeft dan de methode met luchttonderdruk en de verkregen cijfers,*

binnen zekere foutengrenzen, ook absoluut zijn. d.w.z. onafhankelijk van de gebruikte methode, hetgeen overigens voor zeer kleine maximale stijghoogten ook geldt voor de methode met luchtonderdruk.

TABEL 17.

Monster N <sup>o</sup>	Maximale capillaire stijghoogte in cm bij een $p = 35$ vol. %.				Afzuig- methode.	Grondkolom- methode.	
	Methode met lucht- onder- druk.	Methode zonder lucht- onder- druk.	Grond- kolom- methode.	P in vol. %.	$W_{ha}$ in grammen water per 100 g droge stof.	P in vol. %.	$W_{ha}$ in grammen water per 100 g droge stof.
B 5173	53	49	48	34,4	4,4	40,8	4,5
B 5337	77	61	57—66	40,3	7,7	44,3	7,7
B 5427	36	31	29	35,0	4,7	38,2	5,0
B 5168	27	23	26	33,1	3,1	34,5	3,5
W.M. 1475	25	24	28	37,2	3,8	36,8	3,7

In de 2de plaats blijkt uit tabel 17, dat ook de  $W_{ha}$ -cijfers, met de afzuigen met de grondkolommethode verkregen, ondanks het groote verschil in porienvolume uitstekend overeenkomen. *Hieruit volgt dus, dat de afzuigmethode eveneens binnen zekere foutengrenzen absolute cijfers geeft, die onafhankelijk zijn van de gevolgde methode.*

Ook uit deze bepalingen blijkt verder, dat  $W_{ha}$  blijkbaar niet of hoogstens slechts weinig door het porienvolume wordt beïnvloed. Een omrekening van de omstandigheden, zooals die bij de bepaling in het laboratorium aanwezig zijn in die, zooals die in den grond in zijn natuurlijke omstandigheden optreden, behoeft dus zeer waarschijnlijk voor het porienvolume niet te geschieden. Daar ook de andere omstandigheden, in verband met de goede overeenkomst tusschen 2 zeer verschillende methoden, slechts een geringen invloed schijnen uit te oefenen, zal dus  $W_{ha}$  in het laboratorium bepaald waarschijnlijk met voldoende nauwkeurigheid overeenkomen met deze waarde in lagen in den grond in zijn natuurlijke ligging, die op voldoende hoogte boven den grondwaterspiegel liggen. Dit is, zooals onder sub C van dit Hoofdstuk reeds is opgemerkt, ook het geval met de grootheid  $\mu$ , wanneer deze grootheid de water-

verplaatsing bij een dalenden grondwaterstand zal aangeven, mits deze waterspiegel zich minstens H cm onder het maaiveld bevindt. De heterogeniteit in samenstelling en in dichtheid van ligging van den grond kunnen echter fouten veroorzaken. Welke invloed de heterogeniteit in de dichtheid van ligging speelt, ziet men reeds eenigermate uit de resultaten van tabel 16. Het vochtgehalte is immers in de verschillende lagen onder het capillair oppervlak wel ongeveer constant, maar er komen toch vrij groote afwijkingen voor, die echter voor een groot gedeelte zeker veroorzaakt zijn door de foutenmogelijkheid bij de vochtbemonsteringen. Geheel zijn deze afwijkingen daardoor echter niet te verklaren, daar er een vrij duidelijk verband bestaat tusschen de hoogte boven het wateroppervlak en het vochtgehalte. Dit laatste is immers in het eerste laagje boven het wateroppervlak relatief laag, neemt dan met een toenemende hoogte boven dit wateroppervlak toe tot een maximum om daarna weer zeer langzaam af te nemen tot het capillair oppervlak, waarbij in aanmerking moet worden genomen, dat bij de bemonstering van het laatste laagje onder het capillair oppervlak ook wel iets zand van het daar bovenliggende laagje met een veel lager vochtgehalte kan zijn medegenomen. De verklaring van ENGELHARDT (33) voor dit verschijnsel kan niet juist zijn, daar dit verschijnsel bij alle bepalingen (zie tabel 16) is opgetreden en hier het water is uitgezakt en dus een verschil in de snelheid van de capillaire opstijging in fijnere- en in grovere capillairen geen rol kan spelen. De oorzaak moet, voor zoover deze niet schuilt in de foutenmogelijkheid bij de vochtbemonsteringen, zeer waarschijnlijk worden gezocht in een zekere mate van heterogeniteit in de dichtheid van de ligging. Dit blijkt het duidelijkste uit tabel 18, waarin het *gemiddelde* porienvolume van de geheele kolom grond en het minimale en maximale vochtgehalte in de lagen grond onder het capillair oppervlak in volumepercenten zijn aangegeven.

TABEL 18.

Monster:	$p$	Vochtgehalte in vol. %	
		max.	min.
B 5173	40,8	38,2	31,5
B 5337	44,3	44,7	37,9
B 5427	38,2	39,8	33,5
B 5168	34,5	35,7	31,0
W.M. 1475	36,8	36,9	32,7

Uit deze tabel blijkt, dat het maximale vochtgehalte meestal grooter is dan het gemiddelde porienvolume, hetgeen alleen mogelijk is — afgezien van de foutenmogelijkheid bij de vochtbemonstering — als daar ter plaatse het porienvolume grooter en elders kleiner is dan het gemiddelde porienvolume. Deze heterogeniteit in dichtheid van ligging moet verder ontstaan zijn na het opstijgen van het water in de kolom grond, daar bij de doorlatendheidsbepalingen, waar het apparaat op dezelfde wijze met drogen grond werd gevuld, gebleken is, dat deze vulling veel homogener is, ofschoon ook hier het porienvolume in de onderste lagen wel iets grooter is dan in de bovenste lagen. In aanmerking genomen het feit, dat het porienvolume nog niet zijn minimum waarde heeft bereikt (aanstampen van den met water verzadigden grond heeft hier niet plaats gevonden) en gezien den relatief langen tijd (1 week), welke de uitvoering van de proeven heeft gevorderd, lijkt het mij niet onwaarschijnlijk, dat de verklaring gezocht moet worden in de omstandigheid, dat door trillingen van de wandtafel (trilling gebouw) waarop de betreffende cylinders met grond waren geplaatst, het porienvolume vlak bij den waterspiegel kleiner is geworden, hetgeen dus tevens een verlaging van het vochtgehalte ten gevolge heeft. Hooger in de buis is deze afname geringer en tenslotte is in 't geheel geen afname meer opgetreden, terwijl in de bovenste lagen van den grond onder het capillair oppervlak een gering luchtgehalte aanwezig kan zijn.

Voor boven uiteengezette verklaring pleit het feit, dat bij soortgelijke proeven, die voor een ander doel werden uitgevoerd en die in Hoofdstuk III, deel D zijn beschreven, bovenbesproken variatie's in de vochtgehalten in de verschillende lagen onder het capillair oppervlak niet optraden. Bij deze proeven werd dan ook slechts 24 uur gewacht, voordat de vochtbepalingen werden uitgevoerd.

Tenslotte kan nog de vraag gesteld worden, hoe het komt, dat het vochtgehalte boven het capillair oppervlak niet direct constant en gelijk is aan  $W_{ha}$ . De verklaring hiervan kan mijns inziens alleen gezocht worden in de omstandigheid, dat vlak boven het capillair oppervlak ook nog funiculair water en (of) water in fijnere capillairen optreedt. Krachtens de bepalingmethode van de *maximale* capillaire stijghoogte moeten, wanneer de oorzaak geheel of gedeeltelijk moet worden gezocht in nog met water gevulde fijnere capillairen, het hier capillairen betreffen, waarvan het aantal of de kans van van vorming te gering is, dat het capillair oppervlak in de geheele doorsnede van den capillarimeter of glasbuis door menisci in deze fijnere capillairen kan worden gevormd, daar anders de *maximale* capillaire stijghoogte grooter moest zijn geworden.

## HOOFDSTUK VI.

BESPREKING VAN DE RESULTATEN MET DE  
GRONDMONSTERS VERKREGEN.

## A. DE DOORLATENDHEID.

I. *Eenige algemeene opmerkingen.*

De resultaten van de doorlatendheidsbepalingen met de gewone grondmonsters zijn medegedeeld in tabel 26. Hierin zijn in de 9de en in de 11de kolom de gemiddelde doorlatendheidscoëfficiënten  $K_{10/35}$  vermeld, zooals deze uit de rechtstreeks bepaalde coëfficiënten met behulp van vergelijking 25 (KOZENY) en 26 (ZUNKER) zijn berekend. In de 10de en 12de kolom zijn de afwijkingen van de afzonderlijk bepaalde  $K_{10/35}$ -coëfficiënten van deze gemiddelde  $K$ -coëfficiënten, volgens vergelijking 25 en 26 berekend, in % van deze gemiddelde  $K$ -coëfficiënten aangegeven.

Uit deze tabel blijkt in de eerste plaats, dat — afgezien van de 13 met S aangeduide grondmonsters, waarop later zal worden teruggekomen —, de afwijking van de  $K_{10/35}$ -waarden van de afzonderlijke bepalingen ten opzichte van de gemiddelde  $K_{10/35}$ -coëfficiënt, zoowel met behulp van de formule van KOZENY als van ZUNKER omgerekend, meestal kleiner is dan 10 %. In enkele gevallen komen grootere afwijkingen tot 15 % voor, terwijl afwijkingen boven 15 % slechts 2 maal zijn waargenomen op 82 onderzochte grondmonsters (34). Een hiervan bezat slechts een zeer geringe doorlatendheid, nl. n°. 196 met een  $K_{10/35}$  van 0,02, terwijl de 2de (n°. 4738) bij de omrekening volgens KOZENY een afwijking van 18,2 % vertoonde.

Verder volgt uit deze resultaten, dat met de gevolgde methode voor de bepaling van de doorlatendheid behoorlijk kloppende bepalingen zijn te verkrijgen (zie ook tabel 16). Hierbij spreekt het vanzelf, dat de gemiddelde  $K_{10/35}$ -coëfficiënten des te nauwkeuriger zijn, naarmate meer herhalingen zijn gedaan, of misschien juister uitgedrukt, is de mogelijke afwijking van de gemiddelde door meerdere herhalingen beter bekend. Het blijkt echter, dat bij de enkele grondmonsters, waarbij triplo- of quadruplo bepalingen zijn verricht, de afwijking van het gemiddelde van de verst uiteengelegen  $K$ -waarden niet grooter is dan de afwijking van het gemiddelde bij de andere grondmonsters, waar slechts duplo bepalingen zijn verricht. Is de doorlatendheid dan ook niet te klein, d.w.z.  $K_{10/35}$  grooter dan enkele honderdste meters per 24 uur, dan kan worden aangenomen, dat ook bij niet onderzochte grondmonsters geen grootere afwijkingen bij duplobepalingen dan gewoonlijk 10 % en in slechts weinig gevallen tot 15 % à 20 % zullen optreden. Met behulp van de gevolgde methoden kunnen dan ook bepalingen verricht worden, die minder dan 15 à 20 %

van de werkelijke waarde afliggen, zoodat deze 15 a 10 % dus als de maximale foutengrens van deze bepalingmethode kan worden opgevat.

Zooals reeds is opgemerkt, vertoonen 13 grondmonsters (gemerkt met de letters S) bij de duplobepalingen een veel grootere fout en kunnen de verschillen zelfs zoo groot zijn, dat in 't geheel geen gemiddelde te berekenen is. Bij deze grondmonsters treedt het merkwaardige verschijnsel op, dat de tweede bepaling een veel kleinere doorlatendheid geeft. Bedenkt men nu, dat de hoeveelheid beschikbaar materiaal van deze grondmonsters (evenals trouwens bij vele andere; zie Hoofdstuk IV) niet groot genoeg is om 2 bepalingen met het oorspronkelijke grondmonster uit te voeren en dus voor de 2de bepaling de weer gedroogden grond van de eerste bepaling moest worden gebruikt, zoo ligt het voor de hand de oorzaak te zoeken in het feit, dat deze gronden, die ook de grootste hoeveelheid klei bevatten (meer dan 4 %), reeds een zekere structuur bezitten. Deze structuur (vermoedelijk microstructuur, d.w.z. het aanwezig zijn van secundaire korrels) is nu bij de tweede bepaling veranderd en is dichter die van een éénkorrelstructuur genaderd. Het doorlopende gedestilleerde water heeft de zouten, die de uitvloeking (d.w.z. dus de secundaire korrels) veroorzaakt hebben óf geheel óf gedeeltelijk meegenomen; de grond is gepeptiseerd en bij de 2de vulling van het apparaat is de éénkorrelstructuur dichter genaderd, hetgeen gepaard gaat met een sterke verkleining van de doorlatendheid. Bij het grondmonster n<sup>o</sup>. 7—60 was deze achteruitgang van de doorlatendheid zelfs zoo groot, dat bij de herhaling niet kon worden geconstateerd, of nog water door den grond heenliep (de doorlatendheid is nul genoemd). Bij dergelijke grondmonsters is dus de grens bereikt, waarbij, door het optreden van een structuur, de bepalingen in het laboratorium geen zin meer hebben. De doorlatendheid van dergelijke gronden moet ter plaatse in hun natuurlijke structuur worden bepaald, waarvoor, zooals reeds eerder is opgemerkt, andere methoden moeten worden gebruikt. Deze grens (dus tusschen gronden van de 1ste en 2de soort) is blijkbaar reeds zeerspoedig bereikt, nl. reeds bij gronden (35) met 4 % klei en meer (zie echter hieronder). Bij gronden met meer dan 4 % klei moet dan ook bij de bepaling van de doorlatendheid in het laboratorium met de mogelijkheid van het aanwezig zijn van een structuur rekening worden gehouden. Het onderzoek daarop kan het eenvoudigst geschieden, door den reeds eenmaal gebruikten grond te drogen en in den gedroogden grond de duplobepaling te verrichten. Ook kan deze structuur worden nagegaan door den reeds eenmaal gebruikten grond met NH<sub>4</sub>OH (koken) te peptiseeren.

In dit verband moet worden opgemerkt, dat gronden met een veel hooger z.g. kleigehalte dan 4 % nog heel goed bepalingen in het laboratorium toelaten. Een voorbeeld daarvan geven de Eindhovensche zandgronden (n<sup>o</sup>. 4170'77



tot 4188'95). Deze gronden zijn echter leemachtig en het gehalte aan deeltjes kleiner dan  $16 \mu$ , vaak het kleigehalte genoemd, bestaat dan ook zeker niet uit klei in den chemischen zin van het woord, maar waarschijnlijk uit fijn onverweerd materiaal. Deze deeltjes zijn zeker veel grooter dan de kleideeltjes van de 13 vroeger genoemde zandgronden waarbij reeds een microstructuur bij een kleigehalte van 4 % optrad. Bij zandgronden met een gehalte aan deeltjes kleiner dan  $16 \mu$  van meer leemachtig karakter ligt de bovengenoemde grens dan ook zeker veel hooger, ofschoon zeer waarschijnlijk niet hooger dan 15 %, daar bij het grondmonster n°. 4188-95 met een gehalte van deeltjes kleiner dan  $16 \mu$  van 12,8 % de doorlatendheid reeds zeer klein is ( $K_{10/35} = \pm 0,009$  m/24 uur).

Terugkomende op de afwijkingen van het gemiddelde, zooals die bij grondmonsters met een niet te hoog kleigehalte optreden, kan worden opgemerkt, dat deze afwijkingen, zooals ook reeds in Hoofdstuk V is aangeroerd, worden gevormd door 2 reeksen oorzaken. De doorlatendheid hangt immers ook af van de vorm van de holle ruimten. Deze vorm van de holle ruimten is bij duplobepalingen, ook wanneer het porienvolume precies dezelfde is, nooit gelijk te krijgen, terwijl het bovendien nog onbekend is, hoe deze vorm van de holle ruimten is in den grond in zijn natuurlijke ligging. De afwijking, die daardoor — en mogelijkerwijze door andere soortgelijke factoren — wordt veroorzaakt is door een verandering van de gevolgde methode niet te verbeteren. Deze fout zou alleen te verwijderen zijn, wanneer men de doorlatendheid van den betreffenden zandgrond in zijn natuurlijke omstandigheden zou bepalen en men daarbij over methoden te beschikken had, die K-waarden geven, die binnen 15 à 20 % juist zijn, hetgeen tot heden niet het geval of althans niet bewezen is; in dit geval zou men immers de doorlatendheid van den grond in de natuurlijke ligging en dus met den natuurlijke vorm van de hollen ruimten hebben bepaald. Voor de laboratoiummethoden is dit principieel onmogelijk en de afwijking door bovengenoemde oorzaak ontstaan, moet dan ook tot de principieel niet te verkleinen fout van deze methode worden gerekend. Deze fout is zeker kleiner dan 15 % van de gemiddelde  $K_{10/35}$ -waarde van 2 of meer bepalingen. Hoe groot echter deze fout in ieder afzonderlijk geval is, is niet aan te geven. Te verwachten is, dat deze fout des te kleiner zal zijn, naarmate de deeltjes meer den bolvorm naderen. Zandgronden met een  $\text{CaCO}_3$ -gehalte in den vorm van schelpjes geven dan ook gewoonlijk grootere afwijkingen dan gronden zonder een gehalte aan schelpjes.

Een tweede reeks van oorzaken, waardoor bij meerdere bepalingen van een zelfden grond afwijkingen tusschen de  $K_{10/35}$ -waarden van iedere afzonderlijke bepaling optreden, wordt gevormd door de gewone fouten, die alle bepalingen aankleven, zooals b.v. hier kleine fouten in de bepaling van het porien-

volume, in de temperatuur van het water, in het verval, enz. Hieronder zijn ook te rekenen de fouten, die optreden, doordat de kolom grond in het apparaat niet volkomen homogeen is. Deze heterogeniteit in dichtheid van ligging en in samenstelling zal zeker slechts moeilijk kleiner te krijgen zijn dan met de gevolgde methode van vulling van de apparaten reeds werd bereikt. Principeel is hier echter verbetering mogelijk. De afwijking door al deze oorzaken is principeel nog te verbeteren en deze afwijking kan dus de principeel nog te verbeteren fout genoemd worden.

Bedenkt men tenslotte nog, dat bij vele bepalingen van de doorlatendheid de totale afwijking kleiner is dan 5 %, dan schijnt het mij toe, dat de principeel niet te verkleinen fout veel groter is dan de principeel wel te verkleinen fout. Een rechtstreeksch bewijs daarvoor te geven is echter niet gemakkelijk.

Is de afwijking, die men bij bepalingen in het laboratorium kan krijgen, dus bekend, zoo kan nu de vraag gesteld worden, welke afwijking men kan verwachten, wanneer de in het laboratorium bepaalde doorlatendheidscoëfficiënt toegepast wordt op den betreffenden grond (van de eerste soort) in zijn natuurlijke ligging. Is de grond in zijn natuurlijke ligging volkomen homogeen, zoowel wat betreft de mechanische samenstelling als de dichtheid van ligging, dan is de afwijking tusschen de omgerekende K-coëfficiënt en de werkelijk bestaande K-coëfficiënt niet groter dan de afwijking, die bij herhalingen van de bepaling in het laboratorium kunnen optreden, d.w.z. meestal kleiner dan 10 % en in elk geval kleiner dan 15 à 20 %. Nu is echter een grond in zijn natuurlijke ligging nooit volkomen homogeen. Houdt men echter in het geheele profiel en over het beschouwde oppervlak een zandgrond, waarvan de mechanische samenstelling niet al te zeer uiteenwijkt, dan zijn deze variatie's zeker in rekening te brengen, evenals een verschil in dichtheid van ligging (gewoonlijk zal de dichtheid in overigens homogene zandgronden iets met de diepte toenemen). De mogelijke fout zal natuurlijk groter zijn, naarmate de heterogeniteit groter is; de nauwkeurigheid zal echter meestal meer dan voldoende zijn. \*) Ook wanneer in het profiel meer of minder scherp te onderscheiden lagen voorkomen, *mits alle bestaande uit een grond van de eerste soort*, waarvan de doorlatendheid verschillend kan zijn, is met voldoende nauwkeurigheid de effectieve doorlatendheid van het geheele profiel voor berekeningen van hoeveelheden doorstroomend water op grond van doorlatendheidsbepalingen in het laboratorium aan te geven. Noodzakelijk is slechts, dat ten eerste een

\*) De reeds genoemde resultaten met de op het laboratorium bepaalde K-coëfficiënten op de infiltratieproefvelden (vergl. noot blz. 224) bewijzen reeds de toepassingsmogelijkheid. Na omrekening op de natuurlijke omstandigheden bleek de doorlatendheid in het profiel met de diepte onder het maaiveld te veranderen. Blijkens de uitkomsten voor de gemaakte berekeningen, waarop hier niet verder kan worden ingegaan, is met deze heterogeniteit heel goed rekening te houden.

voldoend aantal monsters op hun mechanische samenstelling worden onderzocht om een oordeel te krijgen over de heterogeniteit van den grond in dit opzicht en ten tweede, dat op een voldoende aantal plaatsen het volumegewicht en daarmee het porienvolume evenals de temperatuur van het grondwater wordt bepaald. Het porienvolume kan in vele gevallen met voldoende nauwkeurigheid berekend worden uit het vochtgehalte en het soortelijk gewicht van den grond, daar het luchtgehalte in een laag, die voldoende diep onder het phreatisch oppervlak ligt, te verwaarlozen klein is (36).

Een tweede moeilijkheid, die bij de toepassing van de in het laboratorium bepaalde K-coëfficiënten zou kunnen optreden, nl. het optreden van een structuur door wortel- en wormgangen of (en) door de grondbewerking, kan kort behandeld worden. De in het laboratorium bepaalde K-coëfficiënten zullen gewoonlijk slechts toegepast worden voor de lagen in den grond onder den grondwaterspiegel en hier is zeker geen structuur meer voorhanden. Ook voor hogere lagen kunnen deze waarden worden toegepast; alleen voor de bouwvoor, en de eerste daaronder gelegen laag — dus in 't algemeen tot ongeveer 30 cm diepte — moet men bij de toepassing van deze K-waarden voorzichtig zijn.

Een derde moeilijkheid bij de toepassing van de in het laboratorium bepaalde K-coëfficiënten is nog de volgende:

De bepalingen in het laboratorium geschieden alleen met dat gedeelte van het materiaal, dat een doorsnede heeft kleiner dan 2 mm, hetgeen ook al door de breekbaarheid van de gebruikte apparaten in 't algemeen meer gewenscht is. Grovere bestanddeelen, d.w.z. grotere steenen en steentjes zijn dus verwijderd. Gewoonlijk bevatten de zandgronden in Nederland zoo weinig deelen met een grootere diameter dan 2 mm, dat dit gehalte zeker kan worden verwaarloosd. In sommige gevallen is echter dit gehalte niet te verwaarlozen. In deze gevallen heeft men meestal te doen met een materiaal bestaande uit een mengsel van meer of minder grof zand met grovere bestanddeelen van een relatief veel grooteren diameter dan de feitelijke zandkorrels. De invloed van het voorkomen van dit gehalte aan grovere bestanddeelen op de doorlatendheid is in dit geval betrekkelijk gering; men doet echter beter in dit geval de grovere bestanddeelen tot een diameter van b.v. 1 cm (de invloed van nog grootere steenen is te verwaarlozen) niet te verwijderen, maar van het geheele materiaal — dus zand + steenen — de doorlatendheidscoëfficiënt te bepalen. Dat de invloed op de doorlatendheid niet groot zal zijn, ziet men direct in, wanneer men bedenkt, dat het gemiddelde specifiek oppervlak per 1 gram grond wel is waar door de aanwezigheid van de steenen kleiner wordt, maar dat daar tegenover het porienvolume eveneens afneemt.

Daar beide invloeden elkaar tegenwerken en elkaar grootendeels opheffen zal de invloed van dit gehalte aan grovere bestanddeelen relatief klein zijn. Anders wordt dit natuurlijk, wanneer dit gehalte aan grovere bestanddeelen zoo groot wordt, dat de ruimten tusschen deze grovere bestanddeelen niet meer met den eigenlijken zandgrond gevuld kunnen worden. In dit geval is de doorlatendheid zeker veel en veel grooter dan van het gedeelte van het materiaal met een diameter kleiner dan 2 mm. Komen dergelijke gronden werkelijk voor, dan moet de doorlatendheid ter plaatse en onder de natuurlijke omstandigheden worden bepaald.

Ook is nog denkbaar een geval, waarbij er een geleidelijken overgang bestaat van de deeltjes kleiner dan 2 mm naar de grovere bestanddeelen boven de 2 mm. In dit geval is het ook zeker niet geoorloofd alleen het materiaal onder 2 mm te gebruiken en moet ook van het geheele materiaal de doorlatendheid worden bepaald. Deze bepaling kan echter op de aangegeven wijze in het laboratorium geschieden.

Vatten we tenslotte de mogelijkheid voor toepassing van de in het laboratorium bepaalde doorlatendheidscoëfficiënten op de betreffende gronden van de eerste soort in hun natuurlijke ligging samen, zoo lijkt mij in vele gevallen deze toepassing mogelijk zonder dat groote fouten worden gemaakt (vergelijk de noten op blz. 224 en 309). Hoe groot deze fouten zijn, is echter niet altijd precies aan te geven. De practische toepassingen zullen dit moeten leeren, waarbij ook een vergelijk met waarden ter plaatse en volgens andere methode bepaald uiterst nuttig zal zijn. Deze laatste methoden (uit daartoe geschikte pompproeven en uit het debiet van drains — indien natuurlijk aanwezig — in verband met de grondwaterstanden op verschillende afstanden van die drains) berusten echter alle op bepaalde hydrodynamische formule's, die theoretisch zijn afgeleid en voor zoover mij bekend nooit experimenteel zijn getoetst. Met de toetsing van de formule's voor de daartoe geschikte pompproeven is op het instituut reeds een begin gemaakt, terwijl zoo mogelijk ook met de toetsing van de formule's voor de laatst genoemde methode zal worden begonnen.

## *II. Resultaten met grondmonsters met een gering gehalte aan klei, humus en koolzure kalk.*

Reeds eerder is uiteengezet, dat het een voordeel beteekent, wanneer de doorlatendheidscoëfficiënt ( $K_{10/35}$ ) uit de mechanische samenstelling — hier dus uit het specifiek oppervlak — kan worden berekend met behulp van de formule, die het verband tusschen de K-coëfficiënt met het specifiek oppervlak en verdere factoren aangeeft en waarvoor dus de vereenvoudigde formule van KOZENY (vergelijking n°. 24) dient te worden gekozen.

Bij de bespreking van de beteekenis van het specifiek oppervlak (Hoofdstuk III A) is er reeds op gewezen, dat het onmogelijk is de invloed van het kleigehalte — d.w.z. dus van het gehalte aan deeltjes kleiner dan  $16 \mu$  — en van het humusgehalte op het specifiek oppervlak in rekening te brengen, terwijl voor het koolzure kalkgehalte dit alleen zou zijn te doen door de uitvoering van de mechanische analyse te veranderen, hetgeen niet gewenscht is (zie Hoofdstuk III A). Alleen voor gronden met een klein totaal gehalte aan klei, humus en koolzure kalk (het NaCl-gehalte is relatief steeds klein) is dus te verwachten, dat uit het specifiek oppervlak de doorlatendheidscoëfficiënt met voldoende benadering is te berekenen.

Hierbij kunnen nog twee methoden worden gevolgd. Men kan namelijk  $U_{cm}$  van de zandfractie berekenen en deze als zoodanig toepassen of men kan  $U_{cm}$  uitrekenen van een grond, die uit 100 % van de zandfractie zou bestaan, hetgeen dus hierop neerkomt, dat men aanneemt, dat de som van de *vergrooting* van het specifiek oppervlak door het klei-, humus- en kalkgehalte per 1 % evenveel bedraagt dan het gemiddelde aandeel van 1 % van de zandfractie in het specifiek oppervlak. De eerste methode is voor dit doel zeker de beste en is dan ook gevolgd en wel om de volgende redenen: Uit den gang van de mechanische analyse (zie Hoofdstuk III A) volgt, dat het kleigehalte wordt bepaald door van 100 % de som van de percentage aan humus (organische stof), koolzure kalk, NaCl en de zandfractie af te trekken. Alle verliezen en onnauwkeurigheden komen dus in het kleigehalte tot uiting. In de tweede plaats zal het humusgehalte — vooral bij kleine gehalten — zeker gedeeltelijk veroorzaakt worden door een dun laagje om de korrels, gedeeltelijk ook zal zij in het water oplossen (humaten). Een vergrooting van het specifiek oppervlak is daardoor niet te verwachten. Bij een nadere beschouwing van de resultaten blijkt dan ook, dat bij het volgen van de eerste methode in bijna alle gevallen een vrij goede overeenstemming tusschen de berekende- en experimenteel bepaalde  $K_{10/35}$ -waarden werd gevonden in gronden met een maximaal totaal gehalte aan klei, humus, koolzure kalk en NaCl van 3,5 %, wanneer het klei- en humusgehalte samen niet grooter is dan 2,5 % en het koolzure kalkgehalte eveneens niet hoger is dan 2,5 %. In tabel 19 zijn deze gronden met de berekende- en rechtstreeks bepaalde  $K_{10/35}$ -waarden, evenals de afwijking tusschen beide waarden uitgedrukt in procenten van de berekende K-waarde en verdere gegevens, aangegeven.

Uit deze tabel volgt, dat in 45 van de 46 onderzochte daarvoor in aanmerking komende grondmonsters de berekende- en bepaalde  $K_{10/35}$ -coëfficiënten behoorlijk met elkaar overeenkomen. De fout, die zoowel in even sterke mate positief of negatief blijkt te kunnen zijn, is niet grooter dan 46 % geweest, hetgeen, in aanmerking genomen het feit, dat bij de rechtstreeksche bepalingen

TABEL 19.

*Resultaten met gronden met weinig klei, humus, kalk en NaCl.*

Grond- monster N <sup>o</sup> .	CaCO <sub>3</sub> .	Humus.	Klei.	NaCl.	Humus + CaCO <sub>3</sub> + klei + NaCl.	U <sub>em</sub> zand- fractie.	K <sub>10/35</sub> bepaald.	K <sub>10/35</sub> be- rekend.	% fout op K <sub>ber</sub> .
1125	—	0,6	1,0	—	1,6	58,4	7,45	7,3	— 2
1128	—	0,3	0,8	—	1,1	54,8	11,64	8,3	—40
1130	—	0,2	1,4	—	1,6	69,6	6,57	5,15	—28
1132	—	0,4	1,8	—	2,2	79,5	3,74	3,95	+ 5
1134	—	0,6	1,8	—	2,4	85,8	3,23	3,38	+ 4
1135	—	0,4	1,6	—	2,0	79,9	3,92	3,91	— 0,3
5673	—	0,4	1,7	—	2,1	98,4	3,19	2,57	—24
5674	1,7	0,2	0,7	0,2	2,8	54,6	10,47	8,4	—25
5235	—	0,7	1,1	—	1,8	46,9	7,57	11,3	+33
5236	—	0,9	0,7	—	1,6	47,6	7,85	11,0	+30
5189	2,1	0,0	0,0	—	2,1	29,4	31,70	28,8	—10
5192	1,8	1,1	0,5	—	3,4	39,0	15,68	16,4	+ 4
4750	—	0,5	0,4	—	0,9	44,7	13,19	12,5	— 6
4751	—	0,2	0,3	—	0,5	43,7	16,41	13,1	—25
4752	—	0,3	1,3	—	1,6	51,0	7,89	9,6	+18
4753	—	0,3	1,8	—	2,1	51,0	8,62	9,6	+10
5427	2,4	0,4	0,7	—	3,5	36,7	17,67	18,5	+ 0,5
5168	1,0	0,0	0,7	0,1	1,8	32,6	27,32	23,5	—16
5173	1,5	0,2	1,2	—	2,9	57,9	6,89	7,4	+ 7
5510	0,7	0,4	0,3	—	1,4	28,4	30,12	30,1	0
1474	0,6	0,0	2,1	—	2,7	42,9	9,18	13,6	+32
1475	0,1	0,0	0,9	0,1	1,1	35,0	22,70	20,4	—11
5840b	—	0,0	2,2	—	2,2	101,7	2,04	2,41	+15
5840c	—	0,1	2,1	—	2,2	103,6	3,19	2,32	—38
5840d	—	0,0	1,2	—	1,2	25,6	30,74	38,1	+19
5840e	1,3	0,0	1,3	—	2,6	33,1	20,52	22,8	+10
5814	—	0,4	0,4	—	0,8	55,1	9,68	8,2	—18
5840	1,3	0,1	1,0	—	2,4	35,2	20,92	20,2	— 4
5841	—	0,1	2,4	—	2,5	108,6	1,39	2,12	+34
6102	—	0,3	1,5	—	1,8	67,7	3,05	5,4	+44
6103	—	0,5	2,0	—	2,5	24,4	6,60	41,9	—
5897	—	0,3	0,1	—	0,4	24,0	36,8	43,3	+15
5906	—	0,2	—	—	0,2	30,9	28,9	26,1	— 6
5907	—	0,4	0,1	—	0,5	39,1	10,2	16,3	+37
5910	—	0,4	0,2	—	0,6	49,3	10,4	10,3	— 1
5911	—	0,5	0,7	—	1,2	60,0	4,5	6,9	+35
5919	—	0,7	0,7	—	1,4	70,2	2,8	5,1	+45

Grond- monster N°.	CaCO <sub>3</sub> .	Humus.	Klei.	NaCl.	Humus + CaCO <sub>3</sub> + klei + NaCl.	U <sub>cm</sub> zand- fractie.	K <sub>10/35</sub> bepaald.	K <sub>10/35</sub> be- rekend.	% fout op K <sub>ber</sub> .
5924	—	0,1	—	—	0,1	18,3	80,2	74,4	— 8
5928	—	0,1	—	—	0,1	19,0	90,7	69,1	— 46
5931	—	0,2	0,2	—	0,4	26,0	38,4	36,9	— 4
5933	—	0,3	—	—	0,3	41,7	11,8	14,3	+ 17
5940	—	0,3	0,1	—	0,4	32,4	16,7	23,7	+ 29
5943	—	0,4	0,2	—	0,6	43,5	10,9	13,2	+ 17
5944	—	0,5	1,3	—	1,8	77,4	3,7	4,2	+ 12
5965	—	0,3	1,9	—	2,2	91,8	2,4	3,0	+ 20
5974	0,8	0,4	1,9	—	3,1	87,5	1,9	3,3	+ 42

reeds verschillen bij herhalingen tot 15 à 20 % kunnen optreden, niet slecht is. Het spreekt natuurlijk vanzelf, dat men nauwkeuriger waarden verkrijgt door de rechtstreeksche bepaling; voor vele doeleinden zullen echter de berekende K-waarden reeds nauwkeurig genoeg zijn.

In één geval, nl. bij het grondmonster n°. 6103 is de overeenkomst zeer slecht. Het betreft hier echter een zeer groven zandgrond (U<sub>cm</sub> is zeer klein) met een in verhouding hoog gehalte aan deeltjes kleiner dan 16  $\mu$ . Voor dergelijke gronden is dit gehalte blijkbaar niet te verwaarloozen en moet de K-coëfficiënt rechtstreeks bepaald worden. \*)

Uitdrukkelijk moet hier echter worden opgemerkt, dat, ofschoon het onderzochte aantal typen zandgronden reeds vrij groot is, het echter de vraag blijft of ook niet onderzochte typen soortgelijke resultaten zullen geven, hetgeen, zooals reeds vaker is opgemerkt, beheerscht wordt door de vraag of de gemiddelde korrelvorm dezelfde is als van de onderzochte typen, waarvan de gemiddelde korrelvorm voldoende constant is gebleken te zijn. Bij enkele Belgische zandgronden, waarvan bekend was, dat ze een zeer typischen korrelvorm bezaten (meer plaatvormig), bleek dan ook geen overeenstemming tusschen de berekende- en de rechtstreeks bepaalde K-coëfficiënten op te treden. Ofschoon uitdrukkelijk is opgemerkt, dat de resultaten van deze onderzoeken alleen gelden voor Nederlandsche zandgronden, blijft het natuurlijk de vraag of dergelijke zandgronden ook niet in Nederland zullen voorkomen. Voldoend betrouwbare cijfers krijgt men dan ook voor nog niet onderzochte typen alleen dan, wanneer van de betreffende reeks gronden, in enkele, de doorlatend-

\*) In den laatsten tijd is nog een dergelijk monster van een diepboring in de Wm-polder onderzocht, nl. Wm. 1566. Hiervan was het koolzure kalk-, het humus-, het klei- en NaCl gehalte resp. 1,3; 0,0; 1,8 en 0,2. Het specifiek oppervlak voor de zandfractie bedroeg 26,3 in de bepaalde- en berekende K<sub>10/35</sub>-waarden resp. 7,7 en 37,0.

heidscoëfficiënten rechtstreeks worden bepaald. Is de overeenstemming tusschen de berekende- en de rechtstreeks bepaalde K-coëfficiënten voldoende, dan kunnen de K-coëfficiënten voor de rest van de te onderzoeken grondmonsters berekend worden; is dit niet het geval, hetgeen beteekent, dat de gemiddelde korrelvorm een andere is, dan moeten van *alle* gronden van deze reeks de K-coëfficiënt rechtstreeks bepaald worden.

Tenslotte kan nog worden opgemerkt, dat ook voor vele gronden met meer klei, humus en koolzure kalk nog wel een goede overeenstemming tusschen de berekende- en de rechtstreeks bepaalde K-coëfficiënt werd gevonden. Dit is echter geen regel. Ook is geprobeerd voor deze gronden  $U_{cm}$  voor dit hoogere gehalte te corrigeeren. Ofschoon bleek, dat op deze wijze wel in de meeste gevallen nog een behoorlijke overeenstemming is te bereiken, kunnen toch grootere afwijkingen van 100 à 200 % voorkomen. Ook van deze gronden is het beter de K-coëfficiënten rechtstreeks te bepalen.

### III. Invloed van een toenemend gehalte aan klei op de doorlatendheid.

Zooals te verwachten is, neemt de doorlatendheid af met een toenemend gehalte aan deeltjes kleiner dan  $16 \mu$ . Is dit gehalte meer kleihoudend, dan gaat deze afname sneller dan wanneer dit gehalte meer leemhoudend is. Het lijkt mij onnoodig dit effect van een toenemend kleigehalte nog eens in een afzonderlijk tabel te laten zien. Een enkel voorbeeld moge echter worden gegeven. Daarvoor kiezen we een zandgrond met een relatief hoog gehalte aan deeltjes kleiner dan  $16 \mu$  en een te verwaarloozen gehalte aan humus en koolzure kalk bijv. n°. 4736, dat 5,0 % klei, geen koolzure kalk en 1,0 % humus bevat. Het specifiek oppervlak van de zandfractie is 61,2. Bestond de grond geheel uit deze fractie dan zou  $U_{cm}$  zijn geweest  $\frac{100}{94,0} \cdot 61,2 = 65,1$ . De  $K_{10/35}$ -coëfficiënt zou dan hebben bedragen (berekend) 5,9 m/24 uur; zij bedraagt echter in werkelijkheid zeker minder dan 0,036 m/24 uur en het is mogelijk, dat zij in een éénkorrelstructuur nog kleiner is, daar het niet vaststaat, dat bij deze bepaling (de tweede bepaling dus) de éénkorrelstructuur reeds is bereikt.

### IV. Invloed van een toenemend gehalte aan koolzure kalk op de doorlatendheid.

Bovenbedoelde invloed is alleen goed te bestudeeren met behulp van die grondmonsters, die een te verwaarloozen hoeveelheid klei en humus (niet grooter dan totaal 2,5 %; zie sub II) bevatten. De resultaten met dergelijke gronden verkregen, zijn in tabel 20 medegedeeld. In deze tabel zijn behalve het  $CaCO_3$ , humus- en kleigehalte ook aangegeven  $U_{cm}$  van de zandfractie en  $K_{10/35}$  „bepaald” en  $K_{10/35}$  „berekend” voor het geval, dat de betreffende grond uit 100 % van de zandfractie zou bestaan. Door een vergelijking van



deze K-coëfficiënten is nu na te gaan of de verhooging van  $U_{cm}$  van de zandfractie door 1 %  $CaCO_3$  meer, minder of evenveel bedraagt dan de gemiddelde bijdrage van 1 % van de zandfractie tot  $U_{cm}$ . Hieruit is dus de conclusie te trekken of de kalk gemiddeld een fijnere, een grovere of een gelijke fijnheid dan de zandfractie bezit.

TABEL 20.

*Resultaten met gronden met een toenemende hoeveelheid koolzure kalk.*

Grondmonster N°.	$CaCO_3$	Humus.	Klei.	$U_{cm}$ zandfractie.	$U_{cm}$ op 100 % zand.	$K_{bepaald}$ Kozeny bepaald.	$K_{berekend}$ Kozeny berekend op 100 % zand.	Vershil Kber. en K bepaald in % op K bepaald.	Zandfractie in %.
1474	0,6	0,0	2,1	42,9	44,1	9,18	12,8	+ 39	97,3
5510	0,7	0,4	0,3	28,4	28,8	30,12	30,0	— 0,4	98,6
5168	1,0	0,0	0,7	32,6	33,2	27,32	22,6	— 17	98,2
5840	1,3	0,1	1,0	35,2	36,1	20,92	19,1	— 9	97,6
5840e	1,3	0,0	0,3	33,1	34,0	20,52	21,6	+ 5	97,4
5173	1,5	0,2	1,2	57,9	59,6	6,89	7,0	+ 2	97,1
5674	1,7	0,2	0,7	54,6	56,2	10,47	7,9	— 25	97,2
5192	1,8	1,1	0,5	39,0	40,0	15,68	15,6	— 0,5	96,6
5189	2,1	0,0	0,0	29,4	30,0	31,70	27,7	— 13	97,9
5427	2,4	0,4	0,7	36,7	38,0	17,57	17,3	— 2	96,5
31—56	2,6	0,2	2,2	98,7	104,1	2,50	2,30	— 8	94,8
I a	2,9	0,1	1,6	69,4	72,7	4,11	4,72	+ 15	95,4
5407	3,0	0,6	1,3	50,3	52,9	5,79	8,9	+ 54	95,1
I d	3,1	0,1	2,3	90,6	96,2	1,82	2,69	+ 48	94,2
I c	3,3	0,1	2,3	86,2	91,7	1,87	2,97	+ 60	94,0
5346	7,7	0,5	1,0	60,1	66,1	3,77	5,7	+ 51	90,8
5188	10,5	0,7	0,0	67,0	76,1	2,55	4,31	+ 69	88,8
5190	10,6	0,2	1,0	54,9	62,2	4,01	6,5	+ 62	88,2
5184	10,6	0,7	2,3	57,7	66,8	1,02	5,5	+ 439	86,4

Uit de tabel blijkt nu, dat tot een gehalte van 2,6 %  $CaCO_3$  het verschil tusschen K „berekend” en K „bepaald” soms positief soms negatief kan zijn. Bij een hooger percentage aan  $CaCO_3$  zien we, dat het bovengenoemde verschil altijd positief blijft en waarden bereikt, waaruit geen andere conclusie is te trekken dan dat *in de betreffende zandgronden het kalkgehalte de doorlatendheid verkleint*. Dit beteekent dus, dat de kalkdeeltjes gemiddeld fijner zijn dan de deeltjes van de zandfractie. Men kan nu de vraag stellen of dit steeds het geval zal zijn. Naar mijn meening hangt dit alleen af van de relatieve fijnheid van de kalk ten opzichte van de zandfractie, daar de betreffende gronden zeker

behooren tot die van de eerste soort. In nog fijnere zandgronden dan hier zijn onderzocht (kleinste  $K_{10/35}$ -coëfficiënt van de gronden met een hooger kalkgehalte is 1,02 m/uur), is het denkbaar, dat de zandfractie gemiddeld fijner is dan de aanwezige koolzure kalk, waardoor de doorlatendheid juist zou toenemen met een stijgend koolzure kalkgehalte. Dit neemt niet weg, dat in relatief grovere-, maar in absoluten zin nog vrij fijne zandgronden het kalkgehalte de doorlatendheid doet afnemen en soms zelfs in sterke mate ( $n^{\circ}$ . 5184). \*)

V. *Invloed van een toenemend humusgehalte op de doorlatendheid.*

Ook deze invloed is alleen goed te bestudeeren in gronden met een toenemend humusgehalte en met een te verwaarloozen hoeveelheid klei en koolzure kalk. Dergelijke gronden komen echter in de onderzochte reeks grondmonsters niet voor. Het humusgehalte is gewoonlijk kleiner dan 1,0 % en bij die grondmonsters, waarin een hooger humusgehalte aanwezig is, is het klei- en soms ook nog het koolzure kalkgehalte van dezelfde grootte-orde.

De resultaten verkregen met alle onderzochte grondmonsters met een hooger humusgehalte en een niet te hoog klei- en koolzure kalkgehalte zijn in tabel 21 nog eens aangegeven. Behalve verdere noodige gegevens zijn in deze tabel de  $K_{10/35}$ -coëfficiënt, zooals die rechtstreeks bepaald werd en zooals die

TABEL 21.

*Resultaten met gronden met een toenemend humusgehalte.*

Grondmonster N <sup>o</sup> .	CaCO <sub>3</sub>	Humus.	Klei.	U <sub>cm</sub> zand- fractie.	U <sub>cm</sub> op 100 % zand.	$K_{10/35}$ Kozeny berekend op 100 % zand.	$K_{10/35}$ Kozeny bepaald.	Vershil Kber. en K bepaald in % op K bepaald	Zandfractie in %.
5333	0	1,6	1,9	55,5	57,5	7,6	4,78	+ 59	96,5
5369	1,4	1,6	2,2	57,2	60,3	6,8	2,43	+ 180	94,8
5324	2,6	1,6	1,7	49,5	52,6	9,0	3,89	+ 131	94,1
4749	0	1,6	2,5	47,3	49,3	10,3	3,99	+ 158	95,9
5815	0	2,0	3,3	52,7	55,6	8,0	0,75	+ 967	94,7
5330	0	2,7	3,5	54,0	57,6	7,5	0,68	+ 1003	93,8
5813	0	2,8	1,9	54,5	57,2	7,7	1,46	+ 427	95,3
4747	0	3,9	3,9	48,8	53,0	8,9	1,26	+ 606	92,2
5223	0	5,5	3,7	89,6	98,6	2,56	0,69	+ 271	90,8

\*) Op voorstel van Ir. ZUUR werden op ons Instituut voor een ander doel ook enkele mariene zandgronden alleen met ammonia geslibd en daarna gezeefd. Ook hieruit bleek, dat de granulaire samenstelling voor de koolzure kalk bij de onderzochte monsters een fijnere is dan die van de minerale bestanddeelen. Per 100 gr. van elke fractie, resp.: kleiner dan 16  $\mu$ , 16—43, 43—74, 74—104, 104—147, 147—208, 208—1651  $\mu$ , bevatte een monster resp.: 13,9; 14,5; 9,4; 6,7; 5,2; 2,8 en 5,1 gram koolzure kalk.

uit  $U_{cm}$  berekend werd voor het geval, dat de grond uit 100 % van de zandfractie bestond, evenals het verschil tusschen deze coëfficiënten, aangegeven.

Uit deze tabel volgt, dat in elk geval de invloed van een hooger humus- en kleigehalte samen zoodanig is, dat de doorlatendheid daardoor sterk terugloopt. In een enkel geval wordt de doorlatendheid zelfs tot 10 maal verkleind. De invloed van den humus alleen is hieruit echter moeilijk na te gaan. Wanneer echter blijkt, dat bij een toenemend humusgehalte en een vrijwel gelijkblijvend kleigehalte (vergelijk n°. 5330, 4747 en 5223) het verschil tusschen de berekende- en bepaalde K-coëfficiënten steeds kleiner wordt, krijgt men toch sterk den indruk, dat, bij een hooger constant kleigehalte, een toenemend humusgehalte de doorlatendheid weer grooter doet worden. Hierbij moet echter worden opgemerkt, dat het volstrekt niet vaststaat, dat in de bovenstaande 3 gronden het kleigehalte eenzelfde fijnheidsgraad bezit. De verklaring van dit dus overigens volstrekt niet vaststaand feit, kan niet gezocht worden in het ontstaan van secundaire korrels, daar de gronden zich in een éénkorrelstructuur bij de bepalingen hebben bevonden (de bepaalde  $K_{10/35}$ -waarden zijn goed reproduceerbaar). Een grooter aantal onderzoeken met gronden met een hooger humusgehalte en een te verwaarloozen klei- en koolzure kalkgehalte is noodig om zekerheid te verkrijgen over den invloed van de humus op de doorlatendheid van gronden van de eerste soort.

## B. MAXIMALE CAPILLAIRE STIJGHOOGTE.

### I. *Eenige algemeene opmerkingen.*

De resultaten van deze bepalingen met de gewone grondmonsters (108 stuks) verkregen, zijn in tabel 26 medegedeeld. Hierin zijn in de 13de kolom de gemiddelde  $H_{35}$ -waarden, bepaald met de 1ste methode (zonder lucht- onderdruk) en in de 15de kolom deze gemiddelde  $H_{35}$ -waarden, bepaald volgens de 2de methode (met lucht- onderdruk), aangegeven, zooals deze met behulp van vergelijking 40 uit de rechtstreeks bepaalde H-waarden zijn berekend. In de 14de, resp. in de 16de kolom zijn de afwijkingen van de afzonderlijke bepalingen van de gemiddelde  $H_{35}$ -waarden in procenten van deze gemiddelde  $H_{35}$ -waarden vermeld.

Alvorens de resultaten van deze metingen verder te bespreken, kan worden opgemerkt, dat de resultaten van de doorlatendheids- en maximale capillaire stijghoogten-bepalingen zoo sterk parallel loopen, dat vele opmerkingen, bij de doorlatendheidsbepalingen gemaakt, ook hier gelden, ofschoon er natuurlijk ook verschillen zijn aan te wijzen. Voor zoover overeenkomstige opmerkingen kunnen worden gemaakt, zijn deze hieronder slechts kort aangegeven en moge verder naar de resultaten van de doorlatendheidsbepalingen worden verwezen.

Uit tabel 26 volgt, dat zoowel voor de methode zonder- als met luchtonderdruk voor *alle* onderzochte gronden behoorlijk kloppende waarden zijn te verkrijgen. In het vorige hoofdstuk is echter reeds uiteengezet, dat de methode met luchtonderdruk te hooge maximale capillaire stijghoogten geeft, zoodat deze methode hier verder buiten bespreking zal blijven. Voor de methode zonder luchtonderdruk werden bij 13 van de 108 onderzochte grondmonsters grootere afwijkingen dan 10 % van de gemiddelde  $H_{35}$ -waarden gevonden, waarvan slechts 3 een afwijking vertoonden van 15—20 %. *Een afwijking van 15—20 % kan dus als de maximale fout van de methode, zooals deze hier is uitgevoerd, worden beschouwd.* Hierbij moeten echter enkele opmerkingen worden gemaakt.

In de eerste plaats zijn bij dezelfde grondmonsters, die bij de doorlatendheid een structuur vertoonden, nu wel reproduceerbare  $H_{35}$ -waarden gevonden. Het aanwezig zijn van een structuur is dus bij deze bepalingen niet aangetoond, hetgeen ook al niet goed mogelijk is, doordat voor beide bepalingen telkens nieuw, ongebruikt materiaal is genomen. Op grond echter van de resultaten van de doorlatendheidsbepalingen kan men veilig aannemen, dat voor de betreffende gronden de maximale capillaire stijghoogten *niet bepaald zijn in een ééncorrelstructuur.*

De nadruk moet er dan opgelegd worden, dat voor deze gronden, dus de nummers 504, 5227, 5228, 5238, 4718, 4719, 4720, 4721, 4722, 4733, 4734, 4735, 4736, 4738, 4739, 4748, 5365, 5400, 193, 4—62, 7—60, 37—66 (22 stuks), de maximale capillaire stijghoogte *niet* in een ééncorrelstructuur is bepaald, waarmede dus bij de beoordeeling van de resultaten, met deze gronden verkregen, rekening moet worden gehouden.

In de 2de plaats wordt, evenals bij de doorlatendheidsbepalingen, de totale afwijkingen, die bij herhalingen van de bepalingen kunnen optreden, gevormd door 2 reeksen van oorzaken. Tot de eene reeks behoort althans één oorzaak, nl. het feit, dat ook de maximale capillaire stijghoogte afhangt van den vorm van de horizontale doorsnede van de holle ruimten, die afwijkingen veroorzaakt, die niet te verbeteren zijn (zie ook sub A 1). Deze en dergelijke oorzaken, geven dus fouten, die principieel niet te verbeteren fouten genoemd kunnen worden. Het andere gedeelte van de optredende afwijkingen wordt ook hier veroorzaakt door de gewone fouten, die aan alle methoden kleven. Hiertoe behooren, behalve kleine fouten in de bepaling van het porienvolume, enz., vooral de fout ontstaan door de heterogeniteit van het gebruikte grondmonster. Deze heterogeniteit slaat uitsluitend op heterogeniteit in mechanische samenstelling, daar, door de betrekkelijke kleinheid van de gebruikte capillarimeters, een heterogeniteit in dichtheid van ligging buiten beschouwing kan worden gelaten. Dergelijke fouten, ontstaan door heterogeniteit van het gebruikte

monster, zijn vooral te verwachten bij die zandgronden, die betrekkelijk grof zijn (kleine  $U_{cm}$ ) en die een relatief hoog gehalte aan deeltjes kleiner dan  $16 \mu$  bezitten. Een goed voorbeeld daarvan vormen vooral de grondmonsters n°. 1126 en 1127. De fouten, met de gebruikte capillarimeters van 20 cc inhoud verkregen, zijn wel is waar niet zoo groot; in het begin echter, toen nog capillarimeters met een inhoud van slechts enkele cc gebruikt werden, konden met deze monsters geen behoorlijke resultaten worden verkregen. Hieruit blijkt tevens, hoe de fout, die door de heterogeniteit van het grondmonster ontstaat, verbeterd is kunnen worden door een grooteren capillarimeter te gebruiken.

Hierbij kan nog worden opgemerkt, dat het mij hier, evenals bij de doorlatendheidsbepalingen, toeschijnt, dat ook nu de niet te verbeteren fout grooter is dan de wel te verbeteren fout en wel om soortgelijke redenen. Ook nu is te verwachten, dat de niet te verbeteren fout des te kleiner is, naarmate de deeltjes meer den bolvorm naderen.

In de derde plaats moet worden opgemerkt, dat bij grondmonsters met een maximale stijghoogte van meer dan 3 m de methode zonder luchtonderdruk slechts zeer moeilijk meer is uit te voeren. Bij de Eindhovensche zandgronden (n°. 4170—4177 tot 4188—4195) is dit geschied om ook voor deze grondmonsters de methoden zonder- en met luchtonderdruk met elkaar te kunnen vergelijken. De duplobepalingen komen hier, ondanks de moeilijke uitvoering, uitstekend overeen, maar eischen veel geduld, daar zeer lang gewacht moet worden tusschen twee opeenvolgende standen van den capillarimeter. De bepalingen in gronden met een grootere maximale capillaire opstijging dan 3 m kunnen dan ook in het algemeen niet met deze methode geschieden. Indien het wenschelijk is, dat deze bepalingen worden gedaan, hetgeen voor de practijk niet vaak het geval zal zijn, kan het beste gebruik gemaakt worden van een methode met *luchtoverdruk* (zie Hoofdstuk III, C en V, A II).

Evenals bij de doorlatendheidsbepalingen kan ook hier de vraag gesteld worden, welke fout gemaakt wordt bij de toepassing van de in het laboratorium bepaalde  $H_{35}$ -waarden op den grond (van de eerste soort dus) in zijn natuurlijke ligging, waarbij natuurlijk eerst een omrekening op het betreffende porievolumen van den grond moet plaats vinden.

Ook hier kan worden opgemerkt, dat in volkomen homogene gronden, zoolwat mechanische samenstelling als dichtheid van ligging betreft, de te verwachten fout niet grooter is dan die bij de duplobepalingen in het laboratorium optreden; dus maximaal 15 tot 20 % en gewoonlijk kleiner dan 10 %. Is de heterogeniteit niet te groot, dan zullen de afwijkingen ook nog niet groot zijn. Deze afwijkingen zullen echter relatief kleiner zijn dan bij de toepassing van de  $K_{10/35}$ -waarden bij de doorlatendheid, daar de maximale capillaire op-

stijging slechts *evenredig* is met  $U_{cm}$  en met den factor  $\frac{1-p}{p_0}$ . Ook, wanneer meer of minder scherp begrensde lagen voorkomen, mits alle behoorende tot de eerste soort, kan men daarmede rekening houden. Men moet echter niet vergeten, dat er met de doorlatendheid dit groote verschil bestaat, dat de grootte van de maximale capillaire stijghoogte alleen bepaald wordt door den grond in de laag, waarin zich de menisci bevinden. Bij de toepassing van de in het laboratorium bepaalde H-waarden voor gronden, waarin meer of minder scherp begrensde lagen voorkomen, moet men dan ook rekening houden met den stand van het grondwater, daar hieruit de plaats, waar zich menisci bevinden, kan worden afgeleid.

Heterogeniteit in horizontale richting zal zich uiten in het feit, dat het capillair oppervlak niet een vlak is, dat zich steeds op dezelfde afstand boven het phreatisch oppervlak bevindt. Dit laatste is echter ook in homogene gronden niet het geval, daar ook hierin de capillairen niet alle dezelfde doorsnede hebben (zie Hoofdstuk III, sub C).

De invloed van een eventueel bestanddeel van den grond aan deelen met een diameter boven 2 mm kan hier zeker worden verwaarloosd. In grovere gronden, dan de reeds onderzochte, is de capillaire stijghoogte zoo klein, dat haar praktische beteekenis zeker gering is.

Tenslotte kan in dit verband nog worden opgemerkt, dat het ook nu bij de toepassing van de in het laboratorium bepaalde H-waarden noodzakelijk is om, op verschillende plaatsen en op verschillende diepten, grondmonsters te nemen en het porienvolume te bepalen.

Als slot van deze algemeene opmerkingen moge er nogmaals op attent gemaakt worden, dat men de maximale capillaire stijghoogte niet verwarren moet met de *snelheid* van de capillaire opstijging. Weet men door vele onderzoekingen van binnen- en buitenlandsche onderzoekers — waarvoor het betreffende gedeelte van dit onderzoek dus ook een bijdrage vormt — van de eerst genoemde grootheid reeds tamelijk veel, zoo is dit met de tweede grootheid zeker niet het geval. Onze kennis daarover is zeer beperkt. Gewoonlijk grijpt men terug op onderzoekingen, die op deze wijze zijn uitgevoerd, dat men in droge — of reeds iets vocht bevattende — kolommen zandgrond water heeft laten opstijgen en de snelheid daarvan heeft bepaald. Nu kan echter worden opgemerkt, dat een dergelijk geval practisch vrijwel nooit voorkomt. Treedt verdamping in sterke mate op (droge periode) dan zijn meestal de poriën bij het begin van een dergelijke periode tot het maaiveld geheel óf grootendeels gevuld. De snelheid van de capillaire opstijging is daardoor waarschijnlijk een totaal andere dan op grond van bovenbedoelde proeven in droge of reeds iets

vochtbevattende kolommen zandgrond zou volgen. Het lijkt mij dan ook noodzakelijk de bepalingen van deze snelheid zoo uit te voeren, dat de omstandigheden in de natuur beter benaderd worden. Zoodra daarvoor tijd zal zijn, zal met de uitvoering van deze onderzoekingen op het Bodemkundig Instituut worden begonnen.

II. Resultaten met gronden met weinig klei, humus en koolzure kalk.

Evenals dit bij de bespreking van de resultaten met dergelijke gronden bij de doorlatendheidsbepalingen is uiteengezet, is ook hier alleen bij die gronden een behoorlijke overeenstemming tusschen de berekende- en rechtstreeks bepaalde  $H_{35}$ -waarden te verwachten, die een klein totaal gehalte aan klei, humus en koolzure kalk bezitten. Inderdaad blijkt bij gronden met een totaal maximum gehalte aan koolzure kalk, humus en klei van 4 %, waarbij het kleigehalte niet hooger dan 3,4 %, het humusgehalte niet hooger dan 1,6 % en het koolzure kalkgehalte niet hooger dan 2,4 % mag zijn, dat er een goede overeenstemming tusschen de berekende- en rechtstreeks bepaalde  $H_{35}$ -waarden bestaat, indien de constante van de vergelijking n°. 48 slechts anders wordt gekozen. In tabel 22 zijn de resultaten met deze gronden vermeld, waarbij ook nu voor de berekening

TABEL 22.

Resultaten met gronden met weinig klei, humus en kalk.

Grondmonster N°.	CaCO <sub>3</sub> .	Humus.	Klei.	NaCl.	U cm van de zandfractie.	H <sub>35</sub> berekend met vergelijking N°. 48.	H <sub>35</sub> -bepaald.	H <sub>35</sub> ber. (kol. 7) - H <sub>35</sub> bepaald in % op H <sub>35</sub> ber.	H <sub>35</sub> berekend met vergelijking N°. 49.	H <sub>35</sub> berekend (kolom 10) - H <sub>35</sub> bep. in % op H <sub>35</sub> ber.
1125	—	0,6	1,0	—	58,4	53	43	+ 19	43	0
1128	—	0,3	0,8	—	54,8	49	38	+ 22	41	+ 7
1129	—	0,6	2,8	—	41,6	37	34	+ 8	31	— 10
1130	—	0,2	1,4	—	69,6	63	48	+ 24	52	+ 8
1131	—	0,1	1,4	—	47,6	43	37	+ 14	35	— 6
1132	—	0,4	1,8	—	79,5	72	60	+ 17	59	— 2
1133	—	0,4	1,7	—	88,1	79	68	+ 14	66	— 3
1134	—	0,6	1,8	—	85,8	77	60	+ 22	64	+ 6
1135	—	0,4	1,6	—	79,9	72	50	+ 31	59	+ 15
5673	—	0,4	1,7	—	98,4	89	83	+ 7	73	— 14
5674	1,7	0,2	0,7	0,2	54,6	49	52	— 6	41	— 27
5235	—	0,7	1,1	—	46,9	42	40	+ 5	35	— 14
5236	—	0,9	0,7	—	47,6	43	41	+ 5	35	— 17
5189	2,1	0,0	0,0	—	29,4	26	19	+ 27	22	+ 14

Grondmonster N°.	CaCO <sub>3</sub> .	Humus.	Klei.	NaCl.	Uem van de zandraccie.	H <sub>35</sub> berekend met vergelijking N° 48.	H <sub>35</sub> bepaald.	H <sub>35</sub> ber. (kol. 7). H <sub>35</sub> bepaald in % op H <sub>35</sub> ber.	H <sub>35</sub> berekend met vergelijking N° 49.	H <sub>35</sub> berekend (kolom 10) H <sub>35</sub> bep. in % op H <sub>35</sub> ber.
5192	1,8	1,1	0,5	—	39,0	35	33	+ 6	29	— 14
4737	—	0,4	3,4	—	52,1	47	42	+ 16	39	— 8
4749	—	1,6	2,5	—	47,3	43	44	— 2	35	— 26
4750	—	0,5	0,4	—	44,7	40	35	+ 13	33	— 6
4751	—	0,2	0,3	—	43,7	39	35	+ 10	33	— 6
4752	—	0,3	1,3	—	51,0	46	41	+ 11	45	+ 9
4753	—	0,3	1,8	—	51,4	46	43	+ 7	45	+ 5
5333	—	1,6	1,9	—	55,5	50	49	+ 2	41	— 20
5427	2,4	0,4	0,7	—	36,7	33	31	+ 6	27	— 15
5168	1,0	0,0	0,7	0,1	32,6	29	23	+ 21	24	+ 4
5173	1,5	0,2	1,2	—	57,9	52	49	+ 6	43	— 14
5510	0,7	0,4	0,3	—	28,4	26	22	+ 15	21	— 5
1474	0,6	0,0	2,1	—	42,9	39	32	+ 18	32	0
1475	0,1	0,0	0,9	0,1	35,0	32	24	+ 25	26	+ 8
6102	—	0,3	1,5	—	67,7	61	42	+ 31	50	+ 16
6103	—	0,5	2,0	—	24,4	22	14	+ 36	18	+ 22
5840a	—	0,0	3,0	—	95,2	86	84	+ 2	71	— 18
5840b	—	0,0	2,2	—	101,7	92	76	+ 17	76	0
5840c	—	0,1	2,1	—	103,6	93	65	+ 30	77	+ 16
5840d	—	0,0	1,2	—	25,6	23	23	0	19	— 21
5840e	1,3	0,0	1,3	—	33,1	30	24	+ 20	25	+ 4
5814	—	0,4	0,4	—	55,1	50	46	+ 8	41	— 12
5840	1,3	0,1	1,0	—	35,2	32	24	+ 25	26	+ 8
5841	0	0,1	2,4	—	108,6	98	66	+ 33	81	+ 18
5897	—	0,3	0,1	—	24,0	21	14	+ 33	18	+ 22
5906	—	0,2	—	—	30,9	28	23	+ 18	23	0
5907	—	0,4	0,1	—	39,1	35	27	+ 23	29	+ 7
5910	—	0,4	0,2	—	49,3	44	38	+ 14	37	— 3
5911	—	0,5	0,7	—	60,0	54	53	+ 2	71	+ 25
5919	—	0,7	0,7	—	70,2	63	57	+ 9	52	— 9
5924	—	0,1	—	—	18,3	16	14	+ 13	14	0
5928	—	0,1	—	—	19,0	17	13	+ 24	14	+ 7
5931	—	0,2	0,2	—	26,0	23	17	+ 26	19	+ 11
5933	—	0,3	—	—	41,7	37	26	+ 30	31	+ 16
5940	—	0,3	0,1	—	32,4	29	26	+ 10	24	— 8
5943	—	0,4	0,2	—	43,5	39	39	—	32	— 22
5944	—	0,5	1,3	—	77,4	69	67	+ 3	58	— 16
5965	—	0,3	1,9	—	91,8	82	59	+ 28	68	+ 13
5974	0,8	0,4	1,9	—	87,5	78	59	+ 24	65	+ 9



werd uitgegaan van de  $U_{cm}$  van de zandfractie; dus niet omgerekend op 100 % van de zandfractie. In deze tabel staan, behalve het koolzure kalk-, klei-, humus- en NaCl-gehalte vermeld,  $U_{cm}$  van de zandfractie, „ $H_{35}$  berekend” volgens vergelijking n°. 48,  $H_{35}$  bepaald, het verschil tusschen „ $H_{35}$  berekend” en „ $H_{35}$  bepaald” aangegeven in procenten van „ $H_{35}$  bepaald” en ten slotte nog  $H_{35}$  berekend volgens vergelijking n°. 49 en het verschil tusschen deze berekende  $H_{35}$ -waarde en de bepaalde  $H_{35}$ -waarde, ook nu uitgedrukt in procenten van „ $H_{35}$  berekend”.

Uit deze tabel volgt, dat de volgens vergelijking 48 berekende  $H_{35}$ -waarden vrijwel steeds *hooger* zijn dan de bepaalde  $H_{35}$ -waarden. Telt men de  $U_{cm}$ 's en alle bepaalde maximale capillaire stijghoogten bij elkaar op ( $H$  is evenredig met  $U_{cm}$ ), dan is hieruit gemakkelijk af te leiden, dat de vergelijking had moeten luiden:

$$H_{35} = 0,744 U_{cm} \quad (49),$$

of

$$H = 0,401 \cdot \frac{1-p}{p_0} \cdot U_{cm} \quad (50)$$

Daar

$$0,401 = \frac{6 \alpha \beta}{\rho g} \quad (51)$$

en de gemiddelde korrelvorm van de zandgronden dezelfde is evenals het specifiek gewicht  $\rho$  en de versnelling van de zwaartekracht  $g$ , is de oppervlaktetension van de waterige oplossing (zie ook vergelijking 48)  $\frac{0,401}{0,482} = 0,83$  maal kleiner geworden. De verklaring daarvan is te zoeken in het feit, dat alle grondmonsters tenslotte geringe hoeveelheden humus bevatten in tegenstelling met de fractie's, waar de humus volledig is verwijderd. Door de aanwezigheid van deze geringe hoeveelheid humus in het water wordt de oppervlaktetension sterk verlaagd, waarbij nog kan worden opgemerkt, dat de eerste kleine hoeveelheid de oppervlaktetension zeer sterk schijnt te verlagen, terwijl grotere hoeveelheden dezen invloed niet sterk meer schijnen uit te oefenen, daar immers anders bij de verschillende hoeveelheden humus (tot maximaal 1,6 %) niet bij alle monsters, met behulp van vergelijking 49,  $H_{35}$ -waarden (kolom 10, tabel 22) berekend zouden kunnen worden, die een behoorlijke overeenstemming met de bepaalde  $H_{35}$ -waarden zouden te zien geven. De maximaal waargenomen afwijking bij gebruik van de gecorrigeerde vergelijking

---

\*) De resultaten van de laatste 15 grondmonsters voor tabel 22 zijn niet meer voor de berekening van deze factor gebruikt. De gemiddelde factor voor deze monsters is echter 0,748 en dus praktisch gelijk aan de in vergelijking 49 genoemde factor.

49 is 27 %, hetgeen, in aanmerking genomen, dat bij de rechtstreeksche bepaling afwijkingen tusschen 15 tot 20 % kunnen voorkomen, zeer behoorlijk kan worden genoemd. Ook zijn tenslotte bij de 53 daartoe geschikte grondmonsters slechts bij 8 grondmonsters afwijkingen van 20 tot 27 % opgetreden.

Het feit, dat geringe hoeveelheden humus de oppervlaktetspanning van water sterk verlagen, is natuurlijk gemakkelijk te onderzoeken. Men heeft immers eenvoudig slechts de humus te verwijderen en in het aldus verkregen humusvrije grondmonster nog eens de maximale capillaire stijghoogte te bepalen, die dan hooger moet worden gevonden dan in het oorspronkelijke grondmonster. In tabel 23 zijn de resultaten van enkele met HCl en H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (30 %) behandelde gronden opgenomen. Hieruit volgt, dat als oorspronkelijk slechts

TABEL 23.

Grondmonster.	U <sub>em</sub> zandfractie.	Met HCl en H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> behandelde gronden (CaCO <sub>3</sub> en humus vrij).						Oorspronkelijke grond.			
		Temp. in °C.	H <sub>max</sub> bepaald.	Vol. gew.	Porieën volume.	H <sub>max</sub> bij p = 35 %.	H <sub>max</sub> bij berekend volgens n <sup>o</sup> . 48.	H <sub>max</sub> bij p = 35 % bepaald.	CaCO <sub>3</sub> .	Humus.	Klei.
1129	41,6	16	40	1,78	32,7	36	37	34	0	0,6	2,8
4736	61,2	15	112	1,72	35,3	114	—	57	0	1,0	5,0
4737	52,0	13	51	1,78	32,8	46	47	42	0	0,4	3,4
4752	51,0	16	51	1,74	35,4	52	46	41	0	0,3	1,3
5236	47,6	17	39	1,65	37,3	43	43	41	0	0,9	0,7
4734	56,3	13	67	1,82	30,1	54	—	90	0	2,7	5,8
4748	49,1	16	50	1,77	32,7	45	44	89	0	6,1	4,1
5223	89,6	17	105	1,84	29,9	83	81	117	0	5,5	3,7
5400	55,2	17	55	1,73	34,3	53	—	75	0	1,7	4,5
4170—	197,6	18	385	1,92	26,7	262	—	528	0	4,3	10,5
4177											
4185—	209,5	18	465	1,84	30,7	383	—	431	0	1,6	11,0
4192											
5369	57,2	17	53	1,65	37,5	58	51	65	1,4	1,6	2,2

een geringe hoeveelheid humus aanwezig is (eerste 5 grondmonsters) inderdaad in den humusvrije grondmonsters hogere maximale capillaire stijghoogten worden bepaald, terwijl nu een goede overeenstemming tusschen de bepaalde en volgens vergelijking 48 berekende  $H_{35}$ -waarden bestaat.

Bevat het oorspronkelijke grondmonster echter 1,6 % humus of meer, dan zijn de maximale capillaire stijghoogten in de humus en koolzure kalkvrije grondmonsters *kleiner* dan in de oorspronkelijke grondmonsters. Dit is door 2 oorzaken te verklaren. In de eerste plaats bevatten deze gronden een relatief hooger gehalte aan deeltjes kleiner dan  $16 \mu$ . Door de behandeling met HCl (en  $H_2O_2$ ) bestaat er veel kans, dat er een verdere uitvlokking en samenballing van deze deeltjes optreedt, waardoor de met HCl en  $H_2O_2$  behandelde grondmonsters een verder van de éénkorrelstructuur afwijkende structuur bezitten dan de oorspronkelijke grondmonsters, hetgeen hier beteekent, dat het effectief specifiek oppervlak (buitenoppervlak van de secondaire korrels) kleiner is geworden en dus ook de maximale capillaire stijghoogte. Dit kan echter niet in alle gevallen de verkleining van de maximale capillaire stijghoogte verklaren. De grondmonsters n<sup>o</sup>. 4748 en 5223 hebben een hoog humusgehalte en een relatief klein gehalte aan deeltjes kleiner dan  $16 \mu$ , terwijl ook bij de Eindhovensche grondmonsters (leemachtig) geen uitvlokking van betekenis is te verwachten. Ook bij deze grondmonsters treedt echter een daling van de maximale capillaire stijghoogte op. *Hiervoor is geen andere verklaring te geven, dan dat in het oorspronkelijke grondmonster een hooger humusgehalte de maximale capillaire stijghoogte heeft vergroot*, hetgeen nog des te meer waarschijnlijk is, omdat bij de met HCl en  $H_2O_2$  behandelde grondmonsters 4748 en 5223 (met niet te veel klei) nu een goede overeenstemming tusschen de bepaalde — en de met behulp van vergelijking n<sup>o</sup>. 48 berekende  $H_{35}$ -waarden bestaat. Het merkwaardige feit doet zich dus voor, dat geringe hoeveelheden humus — door gedeeltelijke of geheele oplossing in water — de oppervlaktespanning van het water verkleinen en daarmede de maximale capillaire stijghoogte, terwijl grootere hoeveelheden humus, die dus werken in de richting van een vergrooting van het effectieve specifiek oppervlak, de maximale capillaire stijghoogte doet stijgen (zie ook sub 5 van dit gedeelte B van dit hoofdstuk). Beide constanten werken elkaar tegen, hetgeen in het overgangsg gebied (bij  $\pm 1,6$  % humus) maakt, dat de totale invloed van den humus hier niet groot zal zijn.

Het grondmonster 5369 bevat koolzure kalk en 1,6 % humus. Door wegname van beide is de maximale capillaire stijghoogte gedaald.

Tenslotte moet, evenals bij de bespreking van de resultaten van de doorlatendheidsbepalingen (zie aldaar), worden opgemerkt, dat de berekening van de maximale capillaire stijghoogte alleen mogelijk is voor die zandgronden,

die een zelfde gemiddelde korrelvorm hebben dan de onderzochte, waarin deze vorm immers gebleken is vrijwel constant te zijn. Ook nu is het niet onmogelijk, dat nog typen zandgronden in Nederland bestaan met een afwijkenden korrelvorm, die een berekening van  $H_{35}$ -waarden niet toelaten. Ook hier doet men dan ook het beste in enkele gronden van een reeks zandgronden van een nog niet onderzocht type de maximale capillaire stijghoogten te bepalen om de overeenstemming tusschen de berekende- en bepaalde  $H_{35}$ -waarden na te gaan (het klei-, humus- en kalkgehalte moet natuurlijk in elk geval beneden den bovenaangegeven grens blijven). Is de overeenstemming voldoende, dan kan de stijghoogte van de andere grondmonsters worden berekend, terwijl wanneer dit niet het geval mocht zijn, ook in de andere grondmonsters de stijghoogten rechtstreeks moeten worden bepaald.

### III. *Invloed van een toenemend gehalte aan klei op de maximale capillaire stijghoogte.*

*Evenals bij de doorlatendheid, is ook hier met een toenemend kleigehalte een sterke vergrooting van het specifiek oppervlak te verwachten, wanneer althans de gronden zich in een énkorrelstructuur bevinden. Dit blijkt ook inderdaad zoo te zijn.* De invloed van het gehalte aan deeltjes kleiner dan  $16 \mu$  ziet men — met het oog op het feit, dat bij vele grondmonsters met een hoger kleigehalte een structuur tijdens de bepaling aanwezig is geweest — het beste bij de Eindhovensche zandgronden (N°. 4170—77 tot en met 4188—'95), waarvoor naar tabel 26 verwezen mag worden. Ook bij de monsters 193, 196, 4—62, 7—60, 37—66, waarvan het gehalte aan deeltjes kleiner dan  $16 \mu$  kleiachtig is, ziet men den sterken invloed van een gehalte aan deze deeltjes op de maximale capillaire stijghoogte. In al deze gevallen is immers de bepaalde  $H_{35}$ -waarde veel hooger dan de berekende  $H_{35}$ -waarde; ook wanneer men  $U_{em}$  berekent voor een grond, die geheel uit de zandfractie zou bestaan.

### IV. *Invloed van een toenemend gehalte aan koolzure kalk op de maximale capillaire stijghoogte.*

Evenals bij de bespreking van de resultaten van de doorlatendheidsbepalingen is opgemerkt, is ook hier de invloed van een toenemend koolzure kalkgehalte het beste te onderzoeken in die grondmonsters, die een te verwaarloozen hoeveelheid humus en klei (minder dan totaal 4 %) bevatten. De resultaten, met dergelijke grondmonsters verkregen, zijn in tabel 24 medegedeeld. Evenals dit bij de bespreking van de resultaten van de doorlatendheidsbepalingen is geschied, is ook hier  $U_{em}$  van de zandfractie omgerekend op

TABEL 24.

*Resultaten met gronden met een toenemende hoeveelheid kalk.*

Grond- monster n°.	CaCO <sub>3</sub> .	Humus.	Klei.	U <sub>em</sub> zand- fractie.	U <sub>em</sub> op 100 % zand.	H <sub>35</sub> bepaald.	H <sub>35</sub> berekend met ver- gelijking n°. 49.	Vershil H <sub>ber.</sub> — H <sub>bep.</sub> in % op H bepaald.	Zand- fractie in pro- centen.
1474	0,6	0,0	2,1	42,9	44,1	32	33	+ 3	97,3
5510	0,7	0,4	0,3	28,4	28,8	22	21	— 5	98,6
5168	1,0	0,0	0,7	32,6	33,2	23	25	+ 9	98,2
5840	1,3	0,1	1,0	35,2	36,1	24	27	+ 13	97,6
5840e	1,3	0,0	1,3	33,1	34,0	24	25	+ 4	97,4
5369	1,4	1,6	2,2	57,2	60,5	65	45	— 31	94,8
5173	1,5	0,2	1,2	57,9	59,6	49	44	— 10	97,1
5674	1,7	0,2	0,7	54,6	56,2	52	42	— 19	97,2
5192	1,8	1,1	0,5	39,0	40,0	33	30	— 9	96,6
5189	2,1	0,0	0,0	29,4	30,0	19	22	+ 16	97,9
5427	2,4	0,4	0,7	36,7	38,0	31	28	— 10	94,8
1477	2,4	0,0	2,6	67,7	71,6	57	55	— 4	94,6
31—56	2,6	0,2	2,2	98,7	104,1	90	77	— 14	94,8
5324	2,6	1,6	1,7	49,5	52,6	52	39	— 25	94,1
I a	2,9	0,1	1,6	69,4	72,7	64	54	— 16	95,4
5407	3,0	0,6	1,3	50,3	52,9	45	39	— 13	95,1
187	3,0	0,1	2,5	138,8	147,5	124	110	— 11	94,1
I d	3,1	0,1	2,3	90,6	96,2	97	72	— 26	94,2
I c	3,3	0,1	2,3	86,2	91,7	80	68	— 15	94,0
I b	3,4	0,1	2,5	87,3	93,0	84	69	— 18	93,8
1476	3,7	0,0	3,1	54,0	58,3	57	43	— 24	92,7
5337	4,1	1,1	1,8	60,2	64,7	61	48	— 21	93,0
5346	7,7	0,5	1,0	60,1	66,1	66	49	— 26	90,8
5188	10,5	0,7	0,0	67,0	76,1	99	57	— 42	88,8
5190	10,6	0,2	1,0	54,9	62,2	54	46	— 15	88,2
5184	10,6	0,7	2,3	57,7	66,8	68	50	— 26	86,4
5187	10,8	0,9	3,3	84,0	98,8	93	74	— 20	85,0
5191	14,3	1,0	2,2	66,1	80,1	87	60	— 31	82,5

een grond bestaande uit 100 % van deze fractie en wel om dezelfde redenen, waarvoor naar de betreffende bespreking van de resultaten van de doorlatendheidsbepalingen (dit Hoofdstuk A IV) kan worden verwezen.

Uit tabel 24 blijkt, dat vanaf een kalkgehalte van 2,4 %, — dit is dus bij ongeveer hetzelfde gehalte als bij de doorlatendheidsbepalingen in deze

gronden (zie dit Hoofdstuk A. 4) —, de berekende  $H_{35}$ -waarde steeds kleiner is dan de bepaalde  $H_{35}$ -waarde. Hieruit volgt dus, dat een *toenemend koolzure kalkgehalte de maximale capillaire stijghoogte doet toenemen, hetgeen dus beteekent, dat in de betreffende gronden het kalkgehalte gemiddeld fijner is dan de zandfractie*. Ook deze resultaten zijn dus volkomen in overeenstemming met de resultaten van de doorlatendheidsbepalingen. Zooals ook bij de bespreking van de laatste bepalingen is opgemerkt, is het niet onmogelijk, dat in fijnere zandgronden dan hier zijn onderzocht, de zandfractie gemiddeld fijner is dan de zich in den grond bevindende koolzure kalk, waardoor bij een toenemende koolzure kalkgehalte de maximale capillaire stijghoogte juist zou dalen. Een dergelijk geval is echter bij de onderzochte grondmonsters niet opgetreden, hetgeen in elk geval er reeds op wijst, dat de koolzure kalkdeeltjes gemiddeld zeer fijn zijn.

V. *Invloed van een toenemend gehalte aan humus op de maximale capillaire stijghoogte.*

Ook deze invloed kan men het beste bestudeeren in grondmonsters met een toenemend humusgehalte en een te verwaarloozen gehalte aan  $CaCO_3$  en klei. Dergelijke monsters werden echter vrijwel niet onderzocht, zooals ook reeds bij de bespreking van de resultaten van de doorlatendheidsbepalingen met gronden met een hooger humusgehalte werd opgemerkt (zie dit Hoofdstuk A, V). De resultaten, verkregen met grondmonsters met een hooger humusgehalte en een niet te hoog klei- en koolzure kalkgehalte zijn in tabel 25 medegedeeld.

TABEL 25.

*Resultaten met gronden met een toenemend humusgehalte.*

Grond- monster n°.	$CaCO_3$ .	Humus.	Klei.	$U_{cm}$ zand- fractie.	$U_{cm}$ op 100 % zand.	$H_{35}$ bepaald.	$H_{35}$ berekend (ver- gelijking n°. 49).	Vershil $H_{ber.}$ — $H_{bep.}$ in % op H bepaald.	Zand- fractie.
5333	0	1,6	1,9	55,5	57,5	43	49	— 14	96,5
5369	1,4	1,6	2,2	57,2	60,3	45	65	— 44	94,8
5324	2,6	1,6	1,7	49,5	52,6	39	52	— 33	94,1
4749	0	1,6	2,5	47,3	49,3	37	44	— 19	95,9
5815	0	2,0	3,3	52,7	55,6	41	69	— 69	94,7
5330	0	2,7	3,5	54,0	57,6	43	63	— 47	93,8
5813	0	2,8	1,9	54,5	57,2	43	74	— 72	95,3
4747	0	3,9	3,9	48,8	53,0	39	75	— 92	92,2
5223	0	5,5	3,7	89,6	98,6	73	117	— 60	90,8

Ook hier blijkt de som van de invloeden van een hooger humus- en kleigehalte zoodanig te zijn, dat het specifiek oppervlak daardoor vergroot wordt, daar de berekende  $H_{35}$ -waarden immers steeds lager (soms veel lager) zijn dan de bepaalde  $H_{35}$ -waarden. Ook hier bestaat dus weer een volledige parallelliteit tusschen de resultaten van de doorlatendheidsbepalingen en de maximale capillaire stijghoogte bepalingen. Op grond van de bepalingen van de  $H_{35}$ -waarden in gronden, waaruit de humus is verwijderd, volgt dat ook een hooger humusgehalte alleen de maximale capillaire stijghoogte en dus het effectieve specifiek oppervlak doet toenemen. Een verschil met de resultaten van de doorlatendheidsbepalingen schijnt dus op te treden bij een hooger humusgehalte, daar de invloed van een hooger humusgehalte op de doorlatendheid schijnt te gaan in de richting van een verkleining van het specifiek oppervlak.

### C. DE GROOTHEID $\mu$ VAN PORCHET EN DE HOEVEELHEID HANGWATER.

#### I. Eenige algemeene opmerkingen.

De resultaten van de bepalingen van bovengenoemde grootheden zijn vermeld in tabel 26. Hierin zijn in de laatste 5 kolommen vermeld: de gemiddelde  $W_{ha}$ -cijfers op 100 g. droge stof, de afwijkingen van de afzonderlijke bepalingen in % op deze gemiddelde  $W_{ha}$ -cijfers, de  $W_{ha}$ -cijfers uitgedrukt in Vol. %, de grootheid  $\mu$  van PORCHET en het s.g. van den grond.

Bij deze bepalingen is gebleken, dat het verschil tusschen het in de stoof bepaalde- en het uit de hoeveelheid afgezogen water berekende vochtgehalte gering is. Verschillen van meer dan 0,5 gram komen slechts zelden voor en boven 1,0 gram nooit. Verder blijkt het vochtgehalte, dat uit de hoeveelheid afgezogen water werd berekend, gewoonlijk (niet altijd) iets hooger te zijn dan het vochtgehalte, dat door drogen van den grond in de stoof werd bepaald. De oorzaak hiervan moet gezocht worden in een klein vochtverlies, dat echter wordt weggewerkt door het gemiddelde van de 2 vochtbepalingen te nemen (zie Hoofdstuk IV).

De afwijkingen van de afzonderlijke bepalingen van het gemiddelde (kolom 18) zijn gewoonlijk kleiner dan 5 %, terwijl de grootste afwijking van alle bepalingen 7,1 % bedraagt. Bij de grondmonsters N°. 5840, 5841, 5813, 5814, 5815, 6102 en 6103 zijn de bepalingen in 4-voud uitgevoerd. De grootste afwijking in procenten van het gemiddelde van de 2 het meest van elkaar afwijkende bepalingen bedraagt 10,3 % bij het grondmonster N°. 5814. Deze afwijkingen (en dus zeker deze afwijkingen bij de grootheid  $\mu$  van PORCHET) zijn dus, in vergelijking met de verkregen afwijkingen bij de doorlatendheids- en de maximale capillaire stijghoogte-bepaling, zelfs bijzonder klein. De beschreven methode voor de bepaling van  $W_{ha}$  geeft dus reproduceerbare cijfers.

De fout, die bij de toepassing van deze, in het laboratorium bepaalde,  $W_{hc}$ -waarden op deze gronden (dus van de eerste soort) in hun natuurlijke omstandigheden kan worden gemaakt, is in de vorige Hoofdstukken reeds meermalen belicht en behoeft dus niet verder besproken te worden. Opgemerkt kan hier echter nog worden, dat de fout tengevolge van de heterogeniteit gering zal zijn, daar immers  $W_{ha}$  relatief weinig afhangt (ruwweg evenredig met  $\sqrt{U_{cm}}$ ) van de fijnheid van den grond.

De fout, die bij de toepassing van de in het laboratorium bepaalde  $\mu$ -cijfers op deze gronden in hun natuurlijke ligging worden gemaakt, zijn in elk geval gering, daar  $W_{ha}$  in de betreffende gronden veel kleiner is dan  $p$  en  $\mu = p - W_{ha}$ . Deze fouten blijven zeker beneden de 25 % en kunnen ook alleen nog maar in de fijnste gronden met  $W_{ha}$ -cijfers van  $\pm$  de helft van het porievolumen optreden. \*)

Tenslotte kan nog worden opgemerkt, dat het feit, dat sommige grondmonsters (zie sub A I en B I van dit Hoofdstuk) zeker niet in een volledige éénkorrelstructuur zijn onderzocht, in aanmerking moet worden genomen bij de beoordeeling van de waargenomen cijfers van deze gronden. Welke monsters dit zijn kan men nagaan bij de bespreking van dit punt bij de doorlatendheids- en maximale capillaire stijghoogte-bepalingen, zoodat daar naar verwezen kan worden. Uit het feit echter, dat hier hoogstens een microstructuur aanwezig is in een relatief gering deel van den grond, en uit het feit, dat de poriën in de secundaire korrels gevuld zijn en (na het afzuigen) gevuld blijven met water, kan men echter gerust afleiden, dat de invloed daarvan op de grootte  $W_{ha}$  en  $\mu$  van PORCHET in de onderzochte grondmonsters gering zal zijn. De grootte  $W_{ha}$  zal echter iets grooter en de grootte  $\mu$  van PORCHET iets kleiner zijn in een grond, die zich volledig in een éénkorrelstructuur bevindt dan in een grond met een zwak uitgesproken microstructuur.

## II. Gronden met een gering gehalte aan koolzure kalk, klei en humus; invloed van een toenemend klei-, koolzure kalk- of humusgehalte.

### a. De grootte $W_{ha}$ .

Over de resultaten verkregen in gronden met een gering totaal gehalte aan klei, koolzure kalk en humus kan worden opgemerkt, dat hieruit volgt, dat er geen scherp uitgesproken verband tusschen  $W_{ha}$  en  $U_{cm}$  bestaat; hoogstens kan men zeggen, dat wel in 't algemeen  $W_{ha}$  met  $U_{cm}$  (ruwweg evenredig  $\sqrt{U_{cm}}$ ) toeneemt. Deze samenhang is echter niet voldoende uitgesproken om hierop een formulair verband te bouwen (zie ook Hoofdstuk

\*) Bij toepassing van de op het laboratorium bepaalde  $W_{ha}$  en  $\mu$ -cijfers op gronden voor de eerste soort in hun natuurlijke ligging bleek de overeenstemming zeer goed te zijn.



V, sub C). Dit heeft echter ook tot gevolg, dat  $W_{ha}$  niet berekend kan worden uit  $U_{cm}$ , maar in alle grondmonsters steeds moet worden bepaald.

Een toenemend gehalte aan klei doet de grootheid  $W_{ha}$  toenemen, hetgeen ook te verwachten is.

De invloed van een toenemend gehalte aan koolzure kalk is niet met zekerheid na te gaan, daar zij in elk geval slechts gering is en door het ontbreken van een formulair verband niet verder is na te gaan. Dit zelfde is ook het geval met een toenemend humusgehalte. Vooral het tevens aanwezig zijn van een relatief hoog kleigehalte in gronden met een hoger humusgehalte maakt het onmogelijk de invloed van de humus met zekerheid na te gaan. Hiervoor dient een reeks gronden van de eerste soort met een gering klei- en koolzure kalkgehalte en een toenemend humusgehalte te worden onderzocht om over dezen invloed zekerheid te verkrijgen. Uit het feit echter, dat het grondmonster N°. 5223 met 5,5 % humus en 3,7 % klei en geen koolzure kalk een hoog  $W_{ha}$ -cijfer heeft, kan men afleiden, dat een toenemend humusgehalte vermoedelijk  $W_{ha}$  verhoogt.

#### b. De grootheid $\mu$ van PORCHET.

De invloed van de fijnheid van den grond en van een toenemend klei-, koolzure kalk of (en) humusgehalte op de grootheid  $\mu$  van PORCHET blijken

TABEL 26.

N°. B.	CaCO <sub>3</sub> .	Humus.	Klei.	NaCl.	Zandfractie 16—2000 $\mu$			Gem. K ZUNKER omger. op 10° C. en 35% P.	Afwij- king v/h gem. in % v/h gem.
					$U_{cm}$ .	$U_{cm}$ op 100%.	%.		
4170—4177	0	4,3	10,5	0	197,6	231,9	85,2	0,058	12,1
4173—4180	0	0,7	8,2	0	196,9	216,1	91,1	0,054	2,8
4174—4181	0	0,7	9,3	0	189,9	188,9	90,0	0,021	7,2
4185—4192	0	1,6	11,0	0	209,5	239,7	87,4	0,032	4,6
4187—4194	0	0,9	10,1	0	176,9	197,6	89,0	0,020	2,5
4188—4195	0	0,8	12,8	0	189,4	219,2	86,4	0,010	10,0
1125	0	0,6	1,0	0	58,4	59,3	98,4	7,68	0,9
1126	0	2,1	8,0	0	60,8	67,6	89,9	—	—
1127	0	0,7	7,6	0	67,2	73,3	91,7	0,38	1,3
1128	0	0,3	0,8	0	54,8	55,4	98,9	11,31	2,0
1129	0	0,6	2,8	0	41,6	43,1	96,6	—	—
1130	0	0,2	1,4	0	69,6	70,7	98,4	6,06	1,2
1131	0	0,1	1,4	0	47,6	48,3	98,5	—	—
1132	0	0,4	1,8	0	79,5	81,3	97,8	3,73	1,4

verrassend klein te zijn. Ondanks het feit, dat de grootheid  $W_{ha}$  (in volume-procenten) wisselt van 5,0 tot 20,0, zijn de wisselingen in de grootheid  $\mu$  van PORCHET veel kleiner. Zoals reeds in Hoofdstuk V, sub C, werd uiteengezet, wordt dit veroorzaakt, doordat in gronden met een hooger  $W_{ha}$  cijfer ook  $p$  grooter wordt en het verschil van  $p$  en  $W_{ha}$  = de grootheid  $\mu$  van PORCHET betrekkelijk constant blijft. De kleinste waarde van deze grootheid  $\mu$  van PORCHET werd waargenomen in het grondmonster N°. 4188—'95 van 13,0 % Vol. % en de grootste in het grondmonster 5330 van 32,6 %. Dit zijn echter 2 extreme waarden, die niet vaak voorkomen. Gewoonlijk wisselt  $W_{ha}$  tusschen 20 en 30 %, terwijl het gemiddelde van alle onderzochte grondmonsters (93 stuks) 24,4 % bedraagt. Neemt men deze gemiddelde waarde aan, — waarvoor dus eenvoudigheidshalve zeker 25 Vol. % kan worden genomen —, zonder verdere bepaling van deze grootheid, dan zou in alle 93 onderzochte grondmonsters de maximale fout bij de grondmonster 4188—'95 en 5330 resp. geweest zijn 48 en 30,3 %. Ofschoon men natuurlijk voor nauwkeuriger berekeningen beter doet de grootheid  $\mu$  rechtstreeks te bepalen, lijkt het mij toch voor vele gevallen ook voldoende nauwkeurig om eenvoudig aan te nemen, dat deze grootheid 25 Volumeprocenten bedraagt. De maximale fout is zeker niet grooter dan 50 % en zal meestal veel kleiner zijn, nl.  $\pm 20$  %.

Gem. K KOZENY omger. op 10° C. en 35 % P.	Afwij- king v/h gem. in % v/h gem.	H <sub>max</sub> meth. I		H <sub>max</sub> meth. II		W <sub>ha</sub> op dr. stof.	Afwij- king in % v/h gem.	W <sub>ha</sub> in Vol. %.	$\mu =$ P-W <sub>ha</sub>	s. g.
		gem. H <sub>per</sub> op P = 35 Vol. %.	afwij- king in % v/h gem.	gem. H <sub>per</sub> op P = 35 Vol. %.	afwij- king in % v/h gem.					
0,045	12,2	528	3,9	653	1,1	13,27	0,9	19,9	21,2	2,543
0,051	4,9	264	0	337	1,5	8,18	0,5	14,4	19,4	2,653
0,019	5,2	251	2,6	376	3,3	8,65	0,4	16,4	16,9	2,661
0,027	3,7	431	1,5	528	4,9	11,81	0,2	19,5	17,9	2,637
0,018	2,9	279	5,7	379	0,3	10,75	0,8	18,7	16,1	2,666
0,009	11,1	437	0,9	—	—	11,92	0,8	21,0	13,0	2,669
7,45	3,6	43	0	42	2,4	4,26	3,1	7,5	26,0	2,648
—	—	123	3,3	154	4,9	8,76	0,6	15,5	16,7	2,609
0,39	2,6	71	8,9	55	0	7,28	2,8	13,1	18,8	2,644
11,64	4,8	38	1,3	36	0	3,11	3,0	5,5	27,8	2,653
—	—	34	0	45	1,1	3,69	0,1	6,6	25,7	2,645
6,57	1,2	48	7,3	45	1,1	3,44	0,9	6,2	25,9	2,653
—	—	37	4,1	38	1,3	3,98	2,9	7,1	25,8	2,652
3,74	1,1	60	5,8	56	8,0	4,57	2,6	7,9	26,8	2,650

N <sup>o</sup> . B.	CaCO <sub>3</sub> .	Humus.	Klei.	NaCl.	Zandfractie 16—2000 $\mu$			Gem. K ZUNKER omger. op 10° C. en 35% P.	Afwij- king v/h gem. in % v/h gem.
					U <sub>cm</sub> .	U <sub>cm</sub> op 100%.	%.		
1133	0	0,4	1,7	0	88,1	90,1	97,8	—	—
1134	0	0,6	1,8	0	85,8	87,9	97,6	3,23	0
1135	0	0,4	1,6	0	79,9	81,5	98,0	3,74	4,5
504	0	0,5	6,0	0	212,8	227,6	93,5	S	—
5673	0	0,4	1,7	0	98,4	100,5	97,9	2,91	2,4
5674	1,7	0,2	0,7	0,2	54,6	56,2	97,2	9,81	7,8
5223	0	5,5	3,7	0	89,6	98,7	90,8	0,85	0,6
5227	9,1	1,2	7,3	0	94,0	114,1	82,4	S	—
5228	9,3	1,3	6,8	0	93,6	113,3	82,6	S	—
5235	0	0,7	1,1	0	46,9	47,8	98,2	8,51	9,8
5236	0	0,9	0,7	0	47,6	48,4	98,4	8,71	1,4
5238	1,2	3,2	6,8	0	61,9	69,7	88,8	—	—
5184	10,6	0,7	2,3	0	57,7	66,8	86,4	1,17	0
5187	10,8	0,9	3,3	0	84,0	98,8	85,0	—	—
5188	10,5	0,7	0	0	67,0	75,4	88,8	2,65	3,9
5189	2,1	0	0	0	29,4	30,0	97,9	30,13	5,2
5190	10,6	0,2	1,0	0	54,9	62,2	88,2	4,34	0,3
5191	14,3	1,0	2,2	0	66,1	80,1	82,5	2,15	1,4
5192	1,8	1,1	0,5	0	39,0	43,7	96,6	15,51	4,1
4718	0	4,9	9,3	0	77,9	90,8	85,8	—	—
4719	0	4,0	8,5	0	79,7	91,1	87,5	—	—
4720	0	2,4	6,7	0	75,8	83,4	90,9	—	—
4721	1,1	0,8	6,1	0	76,7	83,4	92,0	S	—
4722	2,1	0,6	6,3	0	79,0	86,8	91,0	—	—
4733	0	4,1	6,8	0	55,9	62,7	89,1	—	—
4734	0	2,7	5,8	0	56,3	61,5	91,5	—	—
4735	0	1,9	5,1	0	57,1	61,4	93,0	S	—
4736	0	1,0	5,0	0	61,2	65,1	94,0	S	—
4737	0	0,4	3,4	0	52,1	54,2	96,2	1,84	2,2
4738	0	0,3	4,7	0	52,8	55,6	95,0	0,62	14,5
4739	0,6	0,2	4,4	0	52,4	55,3	94,8	S	—
4747	0	3,9	3,9	0	48,8	51,7	92,2	1,51	16,1
4748	0	6,1	4,1	0	49,1	54,7	89,8	—	—
4749	0	1,6	2,5	0	47,3	49,3	95,9	4,42	7,5
4750	0	0,5	0,4	0	44,7	45,1	99,1	14,32	1,3
4751	0	0,2	0,3	0	43,7	44,0	99,5	17,05	6,9
4752	0	0,3	1,3	0	51,0	51,8	98,4	7,85	3,0
4753	0	0,3	1,8	0	51,4	52,5	97,9	8,59	0,1
5324	2,6	1,6	1,7	0	49,5	52,6	94,1	4,83	1,2

(120) B. 120.

Gem. K KOZENY omger. op 10° C. en 35 % P.	Afwij- king v/h gem. in % v/h gem.	H <sub>max</sub> meth. I		H <sub>max</sub> meth. II		W <sub>ha</sub> op dr. stof.	Afwij- king in % v/h gem.	W <sub>ha</sub> in Vol. %.	$\mu =$ P-W <sub>ha</sub>	s. g.
		gem. H <sub>ber</sub> op P = 35 Vol. %.	afwij- king in % v/h gem.	gem. H <sub>ber</sub> op P = 35 Vol. %.	afwij- king in % v/h gem.					
—	—	68	5,9	62	2,4	4,45	1,6	7,7	27,0	2,647
3,23	1,1	60	4,2	70	1,4	4,88	1,5	8,5	26,0	2,649
3,92	6,1	50	5,0	57	3,5	5,26	1,1	9,1	25,6	2,651
S	—	193	0,5	223	0	9,26	1,1	15,0	24,1	2,662
3,19	2,5	83	0,6	81	5,6	5,26	2,2	9,2	25,1	2,657
10,47	15,0	52	4,8	54	2,8	3,54	6,2	6,2	27,9	2,656
0,69	0	117	0,4	145	2,1	11,14	1,6	16,6	25,8	2,577
S	—	150	3,7	189	2,1	11,61	2,3	18,0	23,5	2,653
S	—	155	0,9	190	0,8	10,82	1,2	17,1	23,7	2,662
7,57	9,7	40	5,0	44	0	5,76	0,1	9,5	28,1	2,636
7,85	2,0	41	3,5	46	2,2	5,45	1,1	9,0	28,3	2,633
—	—	113	4,0	163	0,3	14,51	0	20,9	23,1	2,563
1,02	0,5	68	1,5	72	0	6,61	1,2	11,1	26,1	2,666
—	—	93	16,1	104	7,7	8,72	1,3	15,6	17,4	2,670
2,55	2,5	99	0,5	77	7,1	5,74	1,8	10,1	23,9	2,667
31,70	3,5	19	7,9	27	3,7	2,77	6,6	4,9	28,7	2,655
4,01	0,7	54	5,6	54	4,6	4,83	2,1	8,3	27,6	2,677
1,85	1,6	87	4,6	79	0,6	6,27	1,6	10,4	27,7	2,680
15,68	2,3	33	16,1	40	0	4,08	3,7	7,1	27,3	2,653
—	—	202	0,9	288	2,4	16,25	0,3	23,4	21,2	2,590
—	—	163	5,5	203	0,2	15,30	0,6	22,9	18,3	2,530
—	—	122	2,8	149	3,0	11,36	0,6	18,4	20,1	2,625
S	—	94	1,6	103	4,8	8,88	0,4	15,8	17,2	2,648
—	—	153	7,2	160	0	9,72	0,1	17,6	14,5	2,658
—	—	97	3,1	76	0,6	13,92	0,2	20,6	22,5	2,591
—	—	90	1,7	83	0	10,90	1,3	16,9	23,8	2,604
S	—	77	10,4	67	4,5	9,76	0	15,9	22,1	2,628
S	—	57	4,4	84	0	8,20	1,1	14,6	18,4	2,658
1,90	4,5	42	0	52	2,9	7,54	0,5	13,5	19,0	2,650
0,66	18,2	49	2,0	55	3,6	8,51	0,5	15,4	16,5	2,658
S	—	46	6,5	47	2,1	8,45	0,1	15,3	17,0	2,665
1,28	11,7	75	10,7	73	3,4	11,49	0,6	17,0	25,9	2,590
—	—	89	12,9	106	0,5	14,55	0,2	19,5	27,7	2,534
3,99	7,9	44	1,1	49	9,2	7,15	0,3	11,8	25,6	2,628
13,19	0,3	35	1,4	37	1,4	3,84	2,2	6,6	28,5	2,651
16,41	7,4	35	2,8	29	1,7	3,56	0,4	6,3	27,5	2,665
7,89	4,4	41	2,4	38	3,9	5,67	0,9	10,1	23,9	2,695
8,62	3,1	43	8,1	41	3,7	4,89	1,5	8,6	25,2	2,657
3,89	0,8	52	0,9	66	0	9,87	2,3	15,6	24,6	2,634

N°. B.	CaCO <sub>3</sub> .	Humus.	Klei.	NaCl.	Zandfractie 16—2000 μ.			Gem. K ZUNKER omger. op 10° C. en 35% P.	Afwij- king v/h gem. in % v/h gem.
					U <sub>em</sub> .	U <sub>em</sub> op 100%.	%.		
5330	0	2,7	3,5	0	54,0	57,6	93,8	0,74	1,4
5333	0	1,6	1,9	0	52,0	54,3	95,8	5,86	4,9
5337	4,1	1,1	1,8	0	60,2	64,7	93,0	3,57	5,7
5346	7,7	0,5	1,0	0	60,1	66,2	90,8	4,20	3,8
5365	1,0	2,1	6,4	0	56,8	62,8	90,5	S	—
5469	1,4	1,6	2,2	0	58,2	61,4	94,8	3,10	2,3
5400	0	1,7	4,5	0	56,1	59,8	93,8	S	—
5407	3,0	0,6	1,3	0	50,3	52,9	95,1	6,59	3,7
5427	2,4	0,4	0,7	0	36,7	38,0	96,5	18,17	0,7
I—a	2,9	0,1	1,6	0	69,4	72,7	95,4	4,14	0,2
I—b	3,4	0,1	2,5	0,2	87,3	93,1	93,8	1,86	3,8
I—c	3,3	0,1	2,3	0,3	86,2	91,7	94,0	1,95	7,2
I—d	3,1	0,1	2,3	0,3	90,6	96,2	94,2	1,89	1,1
B 5168	1,0	0	0,7	0,1	32,6	33,2	98,2	26,15	0,4
5172	2,8	1,5	5,3	0,2	165,6	183,6	90,2	0,22	11,4
5173	1,5	0,2	1,2	0	57,9	59,6	97,1	7,19	6,4
N. O. P. 187	3,0	0,1	2,5	0,3	138,8	147,5	94,1	1,04	4,3
N. O. P. 193	5,7	0,4	4,0	0,3	158,8	177,2	89,6	S	—
196	4,3	1,1	7,4	0,2	193,4	222,3	87,0	0,020	20,0
4—62	4,4	0,6	5,3	0,2	111,6	124,7	89,5	S	—
7—60	3,9	0,6	5,2	0,2	125,3	139,1	90,1	S	—
31—56	2,6	0,2	2,2	0,2	98,7	104,1	94,8	2,58	0,6
37—66	5,3	0,7	6,5	0,2	128,9	147,7	87,3	S	—
B 5510	0,7	0,4	0,3	0	28,4	28,8	98,6	30,90	3,0
Wm 1474	0,6	0	2,1	0,04	42,9	44,1	97,3	9,45	1,3
Wm 1475	0,1	0	0,9	0,05	35,0	35,4	98,9	23,24	1,7
Wm 1476	3,7	0	3,1	0,46	63,6	68,6	92,7	2,91	13,8
Wm 1477	2,4	0	2,6	0,93	54,0	57,1	94,6	3,90	5,6
B 5840a	0	0	3,0	0	95,2	98,1	97,0	2,10	5,7
5840b	0	0	2,2	0	101,7	104,0	97,8	1,76	11,4
5840c	0	0,1	2,1	0	103,6	105,8	97,8	2,71	3,5
5840d	0	0	1,2	0	26,5	25,9	98,8	30,17	3,2
5840e	1,3	0	1,3	0	33,1	34,0	97,4	19,36	1,8
5840	1,3	0,1	1,0	0	35,2	36,1	97,6	21,08	3,2
5841	0	0,1	2,4	0	108,6	111,4	97,5	1,30	3,8
5813	0	2,8	1,9	0	54,5	57,2	95,3	1,85	12,4
5814	0	0,4	0,4	0	55,1	55,5	99,2	10,84	4,5
5815	0	2,0	3,3	0	52,7	55,6	94,7	0,85	2,4

Gem. K KOZENY omger. op 10° C. en 35 % P.	Afwij- king v/h gem. in % v/h gem.	H <sub>max</sub> meth. I		H <sub>max</sub> meth. II		W <sub>ha</sub> op dr. stof.	Afwij- king in % v/h gem.	W <sub>ha</sub> in Vol. %.	$\mu =$ P-W <sub>ha</sub>	s. g.
		gem. H <sub>ber</sub> op P = 35 Vol. %.	afwij- king in % v/h gem.	gem. H <sub>ber</sub> op P = 35 Vol. %.	afwij- king in % v/h gem.					
0,68	5,2	63	0	73	1,4	10,26	1,1	15,6	32,6	2,612
4,78	1,8	49	0	64	3,1	7,46	1,2	12,3	25,5	2,643
3,03	7,4	61	4,1	77	3,2	7,72	1,7	12,2	28,1	2,646
3,77	1,1	66	6,8	77	0	5,56	4,2	8,9	31,2	2,661
S	—	120	4,2	104	3,8	11,99	1,5	18,7	22,0	2,627
2,43	2,9	65	3,8	76	2,0	7,60	0,7	12,0	28,1	2,636
S	—	75	4,7	118	0,4	9,94	0	15,7	24,3	2,633
5,79	0,6	45	1,1	70	0	6,38	1,6	10,4	28,4	2,656
17,57	4,0	31	1,6	36	1,4	4,68	2,3	8,1	26,9	2,660
4,11	3,9	64	6,3	73	0,9	4,88	2,3	8,2	28,8	2,669
1,81	6,9	84	2,9	106	0	5,54	0	9,3	27,9	2,668
1,87	7,0	80	1,9	100	2,5	5,36	0,2	8,9	28,8	2,666
1,82	1,1	97	0	111	2,7	5,51	1,9	9,2	28,5	2,670
27,32	0,4	23	2,2	27	5,6	3,09	1,2	5,5	27,6	2,659
0,17	11,8	210	5,9	232	1,9	10,56	2,9	16,0	25,7	2,657
6,89	2,8	49	1,1	53	8,5	4,40	3,2	7,7	26,7	2,658
1,00	2,5	124	1,6	147	1,4	5,21	0,7	8,7	28,9	2,668
S	—	153	1,0	199	1,3	6,42	2,2	10,6	27,8	2,678
0,017	23,5	265	0	351	2,7	10,37	0,4	16,7	23,2	2,668
S	—	126	0,8	201	1,7	8,55	0,7	14,2	23,8	2,668
S	—	125	0	196	1,8	9,58	0,1	16,0	21,5	2,665
2,50	5,8	90	0,6	99	1,5	5,27	1,9	8,8	28,5	2,662
S	—	174	1,7	227	2,0	10,24	0,8	16,8	21,9	2,667
30,12	1,6	22	11,4	29	3,5	3,87	1,5	6,7	28,4	2,668
9,18	3,0	32	6,2	36	0	5,00	2,4	9,0	23,3	2,661
22,70	1,9	24	0	25	8,0	3,84	0,8	6,8	26,6	2,653
2,96	15,0	57	0	65	0,8	5,99	2,9	10,0	27,2	2,666
3,81	1,8	57	1,8	54	3,7	5,53	2,5	9,4	27,1	2,677
2,55	7,1	84	3,0	70	5,0	5,60	4,9	10,2	22,0	2,661
2,04	10,0	76	0,7	84	1,8	6,70	3,9	11,8	22,1	2,655
3,19	5,0	65	0,8	78	3,2	4,50	1,0	8,0	24,1	2,662
30,74	3,4	23	2,2	22	11,4	3,0	0,5	5,2	29,7	2,662
20,52	3,6	24	2,0	27	7,4	4,6	2,8	8,2	25,4	2,663
20,92	4,7	24	6,2	—	—	3,5	6,0	6,2	26,9	2,659
1,39	2,9	66	3,8	—	—	6,4	3,3	11,4	21,6	2,656
1,46	10,9	74	2,0	87	1,7	8,7	3,1	13,5	26,5	2,599
9,68	0,3	46	1,0	62	2,0	4,3	7,1	7,2	29,2	2,658
0,75	0,7	69	3,0	81	1,2	8,4	5,1	13,3	25,8	2,590

N <sup>o</sup> . B.	CaCO <sub>3</sub> .	Humus.	Klei.	NaCl.	Zandfractie 16—2000 $\mu$			Gem. K ZUNKER omger. op 10° C. en 35% P.	Afwij- king v/h gem. in % v/h gem.
					U <sub>cm</sub> .	U <sub>cm</sub> op 100%.	%		
6102	0	0,3	1,5	0	67,7	68,9	98,2	2,87	7,3
6103	0	0,5	2,0	0	24,4	25,0	97,5	6,52	11,6
5897	0	0,3	0,1	0	24,0	24,1	99,6	35,2	7,1
5906	0	0,2	0	0	30,9	31,0	99,8	28,1	4,3
5907	0	0,4	0,1	0	39,1	39,3	99,5	10,4	8,7
5910	0	0,4	0,2	0	49,3	49,6	99,4	10,6	1,4
5911	0	0,5	0,7	0	60,0	60,7	98,8	5,1	13,7
5919	0	0,7	0,7	0	70,2	71,2	98,6	3,2	0,5
5924	0	0,1	0	0	18,3	18,3	99,9	76,0	10,6
5928	0	0,1	0	0	19,0	19,0	99,9	82,6	1,3
5931	0	0,2	0,2	0	26,0	26,1	99,6	34,0	1,8
5933	0	0,3	0	0	41,7	41,8	99,7	11,3	5,7
5940	0	0,3	0,1	0	32,4	32,5	99,6	16,4	4,4
5943	0	0,4	0,2	0	43,5	43,8	99,4	10,3	8,2
5944	0	0,5	1,3	0	77,4	78,8	98,2	3,76	4,7
5955	3,6	0,4	5,1	0	131,9	145,1	90,9	0,017	—
5965	0	0,3	1,9	0	91,8	93,9	97,8	2,40	0,6
5974	0,8	0,4	1,9	0	87,5	90,3	96,9	1,9	13,6

OPMERKING. In bovenstaande tabel staat bij 13 grondmonsters onder de  $K_{10,35}$ -coëfficiënten de letter S opgegeven. Bij deze grondmonsters konden geen reproduceerbare K-coëfficiënten worden bepaald. Steeds was bij de tweede bepaling deze coëfficiënt belangrijk kleiner geworden (voor de verklaring daarvan wordt naar den text verwezen). In het ondervolgende lijstje zijn alleen de  $K_{10,35}$ -(KOZENVY)-coëfficiënten aangegeven, waar bij het eerst bepaalde K-cijfer ook het eerst wordt genoemd, nl.: B 5365 resp. 0,30 en 0,09; N. O. P. 4—62 resp. 0,56 en 0,23; B 5400 resp. 0,34 en 0,18; N. O. P. 193 resp. 0,34 en 0,23; B 504 resp. 0,54 en 0,005; B 5227 resp. 0,10 en 0,026; B 5228 resp. 0,11 en 0,033; B 4721 resp. 0,29 en 0,11; B 4735 resp. 1,82 en 0,44; B 4736 resp. 0,30 en 0,036; B 4739 resp. 1,15 en 0,064; N. O. P. resp. 0,062 en 0,000; N. O. P. 37—66 resp. 0,018 en 0,000.

Un résumé en langue française est paru dans les Comptes Rendu de la première Commission de l'Association internationale de la science du sol; Versailles, *Volume A*, 1934.

Gem. K KOZENY omger. op 10° C. en 35% P.	Afwij- king v/h gem. in % v/h gem.	H <sub>max</sub> meth. I		H <sub>max</sub> meth. II		W <sub>ha</sub> op dr. stof.	Afwij- king in % v/h gem.	W <sub>ha</sub> in Vol. %.	$\mu =$ P-W <sub>ha</sub>	s. g.
		gem. H <sub>ber</sub> op P = 35 Vol. %.	afwij- king in % v/h gem.	gem. H <sub>ber</sub> op P = 35 Vol. %.	afwij- king in % v/h gem.					
3,05	8,6	42	3,9	—	—	4,4	5,9	8,0	24,2	2,65
6,60	9,4	14	10,6	—	—	5,4	0,8	9,9	21,1	2,65 (aangen.)
36,8	5,8	14	0							
28,9	5,3	23	6,5							
10,2	11,6	27	8,6							
10,4	1,9	38	5,3							
4,5	12,2	53	7,5							
2,8	1,8	57	2,6							
80,2	7,8	14	16,7							
90,7	3,2	13	3,8							
38,4	0,9	17	14,7							
11,8	5,5	26	13,5							
16,7	5,1	26	11,5							
10,9	6,4	39	11,5							
3,7	6,8	67	6,7							
0,017	—	128	4,7							
2,4	2,1	59	0,8							
1,9	10,5	59	10,2							



- (1) ZUNKER, F.: Die Durchlässigkeit des Bodens; *Zeitschrift für Pflanzenernährung*, enz., A 25, blz. 1 e. v., 1932. Een vrijwel gelijkkluidend artikel is opgenomen in: *Transactions of the Sixth Commission of the International Society of Soil science*, Groningen, deel B, blz. 17 e. v., 1933.
- (2) KOZENY, J.: Ueber Bodendurchlässigkeit; *Zeitschrift für Pflanzenernährung*, enz., A 23, blz. 54 e. v., 1933.
- (3) Zie schrijver dezes, *Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen*, n°. 38 B, 1932.
- (4) Zie ENGELHARDT, J. H.: Bijdrage tot de kennis van de capillaire verschijnselen in verband met de heterogeniteit van den grond; *Dissertatie*, Wageningen, blz. 4, 1928.
- (5) PORCHET, M.: Analyse hydrodynamique des terres. Exemple d'application au drainage, *Extrait des Annales de la Direction Générale des Eaux et Forêts*, Fascicule n°. 58, Parijs, 1930.
- (6) Men kan hiervoor ook de daling van het phreatisch oppervlak nemen, zoodra dit oppervlak dieper onder het maaiveld is gedaald dan de capillaire stijghoogte bedraagt. Voor gronden van de 2de soort moet altijd deze grootheid ten opzichte van de veranderingen van het phreatisch oppervlak worden beschouwd.
- (7) Enkele gegevens omtrent de soort grond van dit proefveld zijn vermeld in een publicatie van Dr. D. J. HISSINK en schrijver dezes „Bijdrage tot de kennis van eenige natuurkundige grootheden; *Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen*, n°. 37 B, blz. 133 e. v., 182, 183 en 185, 1932. Publicatie van deze onderzoekingen zullen later geschieden.
- (8) Twee voorloopige rapporten van deze onderzoekingen zijn reeds verschenen. Publicatie van alle gegevens zal ter gelegener tijd geschieden.
- (9) HISSINK, D. J.: *Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen* 31, 261 e. v., 1926. Zie ook: Mededeelingen van de Commissie van Advies omtrent de landbouwtechnische aangelegenheden betreffende den Proefpolder nabij Andijk; *Rapport n°. I*, blz. 95 e. v.
- Voor de methoden van de bepaling van het humusgehalte kan verwezen worden naar: HISSINK, D. J. en SPITHOST, C.: Humusgehalten in verschillende typen grond bij aanwending van verschillende methoden verkregen, *Verslagen van landbouwkundige Onderzoekingen* n°. 38 B, 1932 en SPITHOST, C.: Methodiek van de humusbepaling; zelfde verslagen, ook n°. 38 B, 1932.
- (10) ZUNKER, F.: *Zeitschrift für Pflanzenernährung*, deel A, 25, blz. 2 en 3, 1932. Zie ook het hoofdstuk dat genoemde onderzoeker heeft geschreven in deel VI, van het „*Handbuch der Bodenlehre*, herausgegeben von Dr. E. BLANK.
- (11) ZUNKER, F.: *Der Kulturtechniker*, 36, blz. 65, 1933.
- (12) TERZAGHI, K.: *Erdbaumechanik*, 1925, blz. 111—127.
- (13) ZUNKER, F.: *Der Kulturtechniker*, 35, 335, 1932; *Zeitschrift für Pflanzenernährung*, enz., A 25, 24, 1932; *Der Kulturtechniker* 36, 64, 1933 en zelfde tijdschrift, blz. 307, 1933.
- (14) KOZENY, J.: *Der Kulturtechniker* 35, 478, 1932; *Zeitschrift für Pflanzenernährung*, enz. A 23, 54, 1933; *Der Kulturtechniker* 36, 301, 1933.
- (15) Om misverstand te voorkomen wordt hier opgemerkt, dat in  $p^0$  een eventueel luchtgehalte geacht is te zijn aangebracht. Volgens de definitie van ZUNKER is  $p^0$  hier dus feitelijk het spanningsvrije poriënvolume verminderd met het luchtgehalte.
- (16) De factor  $\frac{p^0}{1-p}$  is dimensieloos, evenals dus  $\mu$  (zuiver getal). Daar  $\eta$  de dimensies  $[m^{-1} t^{-1}]$  heeft, heeft dus K volgens formule (7) de dimensies  $[m^{-1} lt]$ , wanneer  $U^{cm}$  dimensieloos wordt aangenomen en de dimensies  $[m^{-1} l^3 t]$ , wanneer  $U^{cm}$  de dimensie  $[l^{-1}]$  heeft.

- (17) ZUNKER merkt op blz. 64 van dit artikel op: „Weil ferner für die Bewegung die auf den ganzen Filterquerschnitt wirkende Kraft maßgebend sind, darf hier Spannungsunterschied und Kraftunterschied gleichgesetzt werden.
- (18) Deze wet luidt:  

$$v_K = \frac{Qgd^2 h_s}{32 \eta l}$$
 , waarin  $d$  de inwendige diameter van de buis,  $h^s$  het hoogteverschil van de vloeistofspiegels in de drukbuizen aan de uiteinden van een capillair van de lengte  $l$ , en de andere letters de reeds eerder genoemde grootheden voorstellen.
- (19) ZUNKER, F.: *Handbuch der Bodenlehre*, Deel VI, blz. 98 en 99.
- (20) TERZAGHI, K.: *Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage*, blz. 134, vergelijking (60b), 1925.
- (21) PORCHEF, M.: *Analyse hydrodynamique des terres*, enz., *Extrait des Annales de la Direction Générale des Eaux et Forêts*, Fascicule n°. 58, Paris, 1930.
- (22) ZUNKER, F.: *Handbuch der Bodenlehre*, Deel VI, blz. 137.
- (23) ZUNKER, F.: *Handbuch der Bodenlehre*, Deel VI, blz. 154, 1930.
- (24) SCHÖNWÄLDER, B.: *Die Rieselfeldanlage in ihrer Abhängigkeit von der Wasserdurchlässigkeit des Bodens; Inaugural Dissertation*, Breslau, blz. 15, 1928.
- (25) Zoo bijv. de methode van KRÜGER, door SCHÖNWÄLDER op blz. 15 van zijn dissertatie (zie noot 24) besproken. Ook werd de buis gevuld door buis A eerst gedeeltelijk met water te vullen en hierin droog zand te brengen; of door bij de in de tekst beschreven methode het latere aanstampen achterwege te laten, enz.
- (26) Zie de literatuur l. c. noot 24; blz. 14 en ZUNKER l. c. noot 23, blz. 153. In den grond in zijn natuurlijke ligging kan echter een eventueel luchtgehalte van het poriënvolume worden afgetrokken voor de berekening van  $p^0$ , daar het evenwicht reeds lang is bereikt.
- (27) *Transactions of the Sixth Commission of the International Society of Soil Science*, Groningen, Volume B, blz. 89 en 90.
- (28) Zie HISSINK, D. J. en HOOGHOUDT, S. B.: *Proceedings of the Second International Congress of Soil Science, Leningrad-Moscow, Commission I*, blz. 46, 1932. Hierbij moet worden opgemerkt, dat tot groote spijt van Dr. HISSINK en van schrijver dezes, vergeten is op te merken, dat de betreffende methode voor zoover het betrekking heeft op de bepaling van twee doorsneden, afkomstig is van Dr. ZIJLSTRA. Nieuw is alleen de correctie van de resultaten voor de 3de afmeting, de bepaling daarvan en het onderzoek naar de beteekenis van de bepaling van het gemiddelde van twee loodrecht op elkaar staande grootste doorsneden.
- (29) Hierbij valt op, dat, het poriënvolume regelmatig afneemt met toenemende grofheid van het gebruikte materiaal, wanneer de zelfde methode van vulling wordt gebruikt. Vermoedelijk hangt dit samen met het feit dat hoe fijner de fractie is, hoe gemakkelijker ze in een lucht- en watersuspensie is te krijgen, waardoor verder aanstampen geen resultaten heeft. Bij gronden met deeltjes, waarvan de doorsneden meer verschillend zijn, treedt dit verschijnsel minder sterk naar voren. De fijnere deeltjes vullen blijkbaar de holtten tusschen de grootere deeltjes gemakkelijker op.
- (30) De verschillen tusschen de factoren  $\mu$  bij de berekening van  $U^{em}$  volgens de eerste en tweede methode blijven gering, hetgeen overigens ook te verwachten was, daar bij de hernieuwde analyse van de fractie gewoonlijk nog rond 90 % van de aangegeven fractie overbleef.
- (31) Bij het in gebruiknemen van andere zeven moet eerst met behulp van fractie's, zooals die bij de zeefanalyse met deze verzameld zijn, de constante  $a$  opnieuw worden bepaald en bij een *afwijkende* waarde ook een voldoende aantal (b.v. een 20-tal)

grondmonsters met weinig klei, humus en koolzure kalk worden onderzocht om den invloed van zeer kleine hoeveelheden humus na te gaan. Gezien de snelheid van deze bepalingen kan dit geen bezwaar opleveren. Overigens zijn de verschillen tusschen verschillende zeefstellen — mits van dezelfde fabriek — vaak zoo klein, dat deze bepalingen niet noodig zijn.

- (32) ZUNKER, F.: *Handbuch der Bodenlehre*, Deel VI, blz. 71—78.
- (33) Zie blz. 62 van zijn reeds eerder (noot 4) aangehaalde dissertatie.
- (34) Ook hier is steeds aangenomen, dat  $p^o = p$ . De fout, die hierdoor gemaakt wordt, is ook bij de onderzochte grondmonsters nog klein genoeg om verwaarloosd te kunnen worden.
- (35) Met een toenemende hoeveelheid koolzure kalk en humus schijnt dat lang niet zoo spoedig op te treden. Opgemerkt moet worden dat gronden zijn onderzocht met maximaal 5,5 % humus en 14,3 % kalk.
- (36) Een indruk verkrijgt men daarvan door de vochtgehalten in de verschillende lagen van het profiel te bestudeeren. Verandert het vochtgehalte bij een toenemende diepte niet meer (dezelfde mechanische samenstelling vooropgesteld), zoo kan voor deze lagen het poriënvolume uit het vochtgehalte en het soortelijk gewicht berekend worden.

## INHOUD.

### HOOFDSTUK I.

	Bladz.
Inleiding .....	215

### HOOFDSTUK II.

De gekozen constanten en het belang van den kennis daarvan aan enkele voorbeelden verduidelijkt.....	217
--	-----

### HOOFDSTUK III.

Samenhang van de doorlatendheid, de maximale capillaire stijghoogte, de constante  $\mu$  van PORCHET en de hoeveelheid „hangwater” met de voor deze grootheden van belang zijnde factoren, voorafgegaan door een afzonderlijke bespreking van de beteekenis van het z.g. „specifiek oppervlak” en de berekening daarvan uit de mechanische samenstelling

A. Het specifiek oppervlak.....	225
B. De doorlatendheid .....	228
C. De maximale capillaire stijghoogte.....	235
D. De grootheid $\mu$ van PORCHET en de hoeveelheid hangwater .....	238

### HOOFDSTUK IV.

A. Beschrijving van de wijze van uitvoering van de bepaling van de doorlatendheid, de maximale capillaire stijghoogte, de hoeveelheid hangwater en de constante $\mu$ van PORCHET .....	244
I. De doorlatendheidsbepaling .....	244
a. Beschrijving van het gebruikte apparaat .....	244
b. Vulling van het apparaat en uitvoering van de bepaling .....	245
c. Berekening van den doorlatendheidsfactor.....	249

II.	De bepaling van de maximale capillaire stijghoogte .....	252
	<i>a.</i> Beschrijving van de gebruikte apparaten .....	252
	<i>b.</i> Uitvoering van de bepaling .....	254
III.	De bepaling van de hoeveelheid hangwater en van den factor $\mu$ van PORCHET .....	257
	<i>a.</i> Beschrijving van de gebruikte apparaten .....	257
	<i>b.</i> Uitvoering van de bepaling .....	258
B.	Beschrijving van het uitgangsmateriaal met een voorafgaande bespreking van de reproduceerbaarheid en van de beteekenis van de zeefanalyse .....	260
	I. Reproduceerbaarheid en beteekenis van de zeefanalyse; beteekenis van de zeeffractie's voor de contrôle van de formules voor de doorlatendheid van gronden, enz. ....	260
	II. Beschrijving van de onderzochte grondmonsters en hun mechanische samenstelling.....	272

#### HOOFDSTUK V.

	Beschrijving van de resultaten met de fractie's van de zeefanalyses; contrôle van de formules voor de doorlatendheid, enz.....	275
A.	De doorlatendheid .....	275
B.	De maximale capillaire stijghoogte.....	287
C.	De hoeveelheid hangwater en de constante $\mu$ van PORCHET; afhankelijk van het specifiek gewicht van het specifiek oppervlak	293
D.	Resultaten van de bepalingen van de maximale capillaire stijghoogte en de hoeveelheid hangwater met de grondkolommethode .....	300

(130) B. 130.

## HOOFDSTUK VI.

	Bladz.
Bespreking van de resultaten met de grondmonsters verkregen.....	306
A. De doorlatendheid .....	306
I. Eenige algemeene opmerkingen.....	306
II. Resultaten met grondmonsters met weinig klei, humus en koolzure kalk.....	311
III. Invloed van een toenemend gehalte aan klei op de doorlatendheid .....	315
IV. Invloed van een toenemend gehalte aan koolzure kalk op de doorlatendheid .....	315
V. Invloed van een toenemend gehalte aan humus op de doorlatendheid .....	317
B. De maximale capillaire stijghoogte.....	318
I. Eenige algemeene opmerkingen.....	318
II. Resultaten met grondmonsters met weinig klei, humus en koolzure kalk.....	322
III. Invloed van een toenemend gehalte aan klei op de maximale capillaire stijghoogte .....	327
IV. Invloed van een toenemend gehalte aan koolzure kalk op de maximale capillaire stijghoogte .....	327
V. Invloed van een toenemend gehalte aan humus op de maximale capillaire stijghoogte.....	329
C. De grootheid $\mu$ van PORCHET en de hoeveelheid hangwater .....	330
I. Eenige algemeene opmerkingen.....	330
II. Gronden met een gering gehalte aan koolzure kalk, klei en humus; invloed van een toenemend klei-, koolzure kalk en humusgehalte .....	331
a. De grootheid $W_{na}$ .....	331
b. De grootheid $\mu$ van PORCHET .....	332