OVERDRUK
UIT HET LANDBOUWKUNDIG TIJDSCHRIFT, MAANDBLAD VAN HET NED. GENOOTSCHAP VOOR LANDBOUWWETENSCHAP.
55ste JAARGANG No. 679 AUGUSTUS 1943

Een onderzoek naar bodemstructuur en wortelontwikkeling,

door

Ir. W. C. VISSER en Dr. M. A. J. GOEDEWAAGEN.
Rijkslandbouwproefstation en Bodemkundig Instituut, Groningen.

1. Beschrijving van een uitvoerig structuuronderzoek bij grasland, door Ir. *W. C. Visser.*
2. De ontwikkeling van het wortelstelsel bij aanwezigheid van verdichte lagen in den grond, in het bijzonder bij grasland, door Dr. *M. A. J. Goedewaagen.*
3. Beschrijving van een boor voor structuuronderzoek en van een vastheidsonderzoek bij grond, door Ir. *W. C. Visser.*

1. BESCHRIJVING VAN EEN UITVOERIG STRUCTUUR-ONDERZOEK BIJ GRASLAND

door

Ir. W. C. VISSER.

Met het structuuronderzoek kan men vele doeleinden nastreven; wanneer men nader tracht na te gaan, welk verband dit onderzoek met de productiviteit van den grond heeft, dan lijkt dit in hoofdzaak te betreffen de beoordeeling van de vochthuishouding. Ten aanzien van de vochthuishouding geeft het structuuronderzoek evenwel slechts een deel van het totale beeld, daar het alleen de voorwaarden voor het vochtgehalte aangeeft. Wat betreft het vochtgehalte zelf geeft het structuuronderzoek slechts een momentopname.

Het doel van het structuuronderzoek, de vochthuishouding van den grond nader te belichten, doet in dit verband het belang van een combinatie met onderzoek van de bewortelingssterkte en de diepte van de doorworteling inzien. De structuur van den grond heeft slechts belang voor zooverre de wortels reiken, of voor zooverre de structuur den vochttoestand in doorwortelde lagen beïnvloedt.

Een volledig onderzoek naar den invloed van de structuur op den groei van gewassen zou, naast wortelonderzoek en herhaalde bepaling van de vochtgehalten van de opeenvolgende lagen van het profiel, ook de vaststelling van het grondwaterpeil moeten inhouden. Bij den tegenwoordigen stand van kennis ten aanzien van het structuurprobleem is er echter veel voor te zeggen, de complicaties van het variabele vochtgehalte nog niet in de beschouwing op te nemen.

Het zal ongetwijfeld de moeite loonen, eerst een ruim overzicht samen te stellen van de structuurtoestanden, die men in het veld aantreft, en van den samenhang tusschen de doorworteling van het profiel en de structuur.

Een welkome aanleiding tot het bepalen van een aantal gegevens ter zake was een verschil van inzicht betreffende den structuurtoestand van een graslandprofiel. Bij dit graslandperceel aan de Wezebeek nabij Almelo werd een uitvoerig structuuronderzoek verricht, teneinde na te gaan wat daarbij te constateeren viel van verdichtingen, welke op het gevoel in diepere lagen van dit grasland waren geconstateerd, doch welke aan de kleur, of aan den vorm van het breukvlak van de kluiten, niet konden worden waargenomen. Aan deze verdichtingen waren beschouwingen gekoppeld omtrent de waarschijnlijkheid, dat vroeger deze grond geploegd zou zijn geweest. Deze beschouwingen leken op het eerste gezicht echter weinig waarschijnlijk. Niet slechts deelde de gebruiker van het land mede, dat noch hij, noch zijn vader wisten, dat dit land ooit onder de ploeg was geweest, wat het ploegen reeds tot een tijdstip van veertig jaar geleden verplaatste, doch ook de ligging in een eertijds veelvuldig overstroomd beekdal leek het vermoeden van vroeger geploegd zijn weinig te steunen. Behoudens het oplossen van dit vraagstuk, betreffende de oorzaak van de verdichtingen, het vastleggen van een profielbeschrijving en het bestudeeren van den samenhang tusschen de structuur en den wortelgroei, gaf dit onderzoek tevens aanleiding, de doeltreffendheid van verschillende vormen van structuurbeschrijving nader te demonstreeren.

Bij een aantal monsters werd in een daartoe gegraven profielkuil op de in het derde artikel te beschrijven wijze zoowel de grond-water-luchtverhouding als de indringingsweerstand bepaald, met het doel vast te stellen, of men hier met een duidelijken invloed van het ploegen in vroeger jaren te maken kon hebben, of dat men hier meer aan een plaatselijke toevallige verdichting in het profiel moest denken.

Ten behoeve van dit onderzoek werden de eigenschappen van een aantal monsters vastgesteld, welke telkens 2.5 cm dieper werden genomen. Aangezien de monsterringen een 5 centimeter dikke laag meenemen, overlapten de bemonsterde laagjes elkander telkens voor de helft. Tot 40 centimeter diepte werden zoo vijftien monsters genomen. Op deze diepte eindigde de humeuze bovenlaag en ging de grond over in grof, humusarm zand, plaatselijk wat rood gekleurd en wat vaster door ijzerafscheidingen. In deze diepere laag werden nog vijf monsters genomen.

In deze monsters werd de grond-water-luchtverhouding alsmede de luchtcapaciteit bepaald onder gebruikmaking van den luchtpycnometer. Daarnaast werd de indringing van een aan een weegschaal opgehangen pen bepaald. Tenslotte werd nog, nadat de grond voor de bepaling van de luchtcapaciteit capillair met water was verzadigd, lucht door het geheel natte monster gezogen. Daarbij werd een geruime hoeveelheid water aan het monster onttrokken. Tijdens dit doorzuigen werd de druk constant gehouden, doordat in de zuigleiding een luchtlek was geschakeld, waarbij de lucht door een 67 centimeter hooge waterkolom borrelde. De waterstraalluchtpomp werd zoo gesteld, dat de druk juist groot genoeg bleef om de lucht door het water te laten opstijgen. Gezien de wrijving, welke de lucht

in de slangen naar den afzuigtrechter zal hebben ondervonden, zal de zuigkracht, waarmede de poriën geledigd werden en de lucht door het monster werd gezogen, wel iets grooter zijn geweest dan 67 centimeter. Het vochtgehalte, dat na het doorzuigen van de lucht zich had ingesteld, werd door een vergissing niet genoteerd, wel echter de hoeveelheid lucht, welke in een minuut door den grond werd gezogen.

De indringingsdiepte van den kegel bleek bij dit onderzoek als gemiddelde van alle verrichte waarnemingen rechtlijnig samen te hangen met de tweederde-machts-wortel van het gewicht, waarmede de kegel in den grond werd gedrukt. Gebruik makende van dezen samenhang werden alle gemeten uitslagen van den wijzer van de weegschaal tegen de tot genoemde macht verheven gewichten uitgezet. Daarna werd een rechte lijn door deze stippen gelegd en de indringing vastgesteld, welke zoo bij 1.5 kilogram druk werd afgelezen. Om de getallen in millimetermaat uit te drukken, dient men ze met 0.08 te vermenigvuldigen. Een getal 50 wil bij de indringingsdiepte dus zeggen, dat de punt van den kegel 4 millimeter diep in den grond drong en dat dit gewicht een ondersteuningsvlak van 50 vierkante millimeter vereischt. Deze indringingsproef werd zoowel op de onderzijde als op de bovenzijde van elk monster uitgevoerd en leverde zoo veertig waarnemingen op.

In fig. 1 zijn eenige grootheden bijeengebracht, welke ten aanzien van het voorkomen van lagen en banken een nader inzicht kunnen geven.

Allereerst mag de aandacht gevraagd worden voor het volumepercentage, dat door gronddeeltjes wordt ingenomen. In de bovenste lagen schommelt dit om 55 % en geeft aan, dat de grond een weinig dicht is. Een bedrag van omstreeks 50 % zou meer normaal geweest zijn. Beneden 40 centimeter diepte neemt de dichtheid van den grond snel toe, om op 75 centimeter de vrij groote dichtheid te bereiken, welke voor diepere grondlagen zoo kenmerkend is. De aandacht mag bij het volume-percentage gronddeeltjes echter vooral vallen op de opmerkelijke variaties, welke in de bovenste 40 centimeter optreden. Opvallend zijn in deze laag de verdichtingen op 14 en 25 centimeter diepte, en de losse tusschenlaag op 19 centimeter.

Dat op twee verschillende niveaux inderdaad een verdichting aanwezig is, kan nader worden bewezen aan de indringingsdiepte van den kegel, welke, om een gelijken loop van de beide curven te verkrijgen, hier van rechts naar links werd uitgezet. Ook in de curve voor de indringingsdiepte leest men het vaster worden van den ondergrond met toenemende diepte af, terwijl in den bovengrond, op diepten van 10 en 25 centimeter, eveneens een meer weerstandbiedende laag wordt aangetroffen, gescheiden door een lossere laag met het centrum op 18 centimeter. Gaat men van de veronderstelling uit, dat een afname van het poriënvolume de strekking heeft, den weerstand tegen indringen te doen toenemen, dan kloppen de beide curven zeer bevredigend en staat het voorkomen van de beide dichte lagen wel vast.

De verklaring, op welke wijze een dergelijk stelsel van vastere en minder vaste lagen ontstaan kan zijn, heeft vanzelfsprekend vele speculatieve kanten. Niettegenstaande deze onzekerheid zal getracht worden, hier een beschrijving te geven van wat zeer wel de oorzaak van het ontstaan van deze banken zou kunnen zijn geweest.

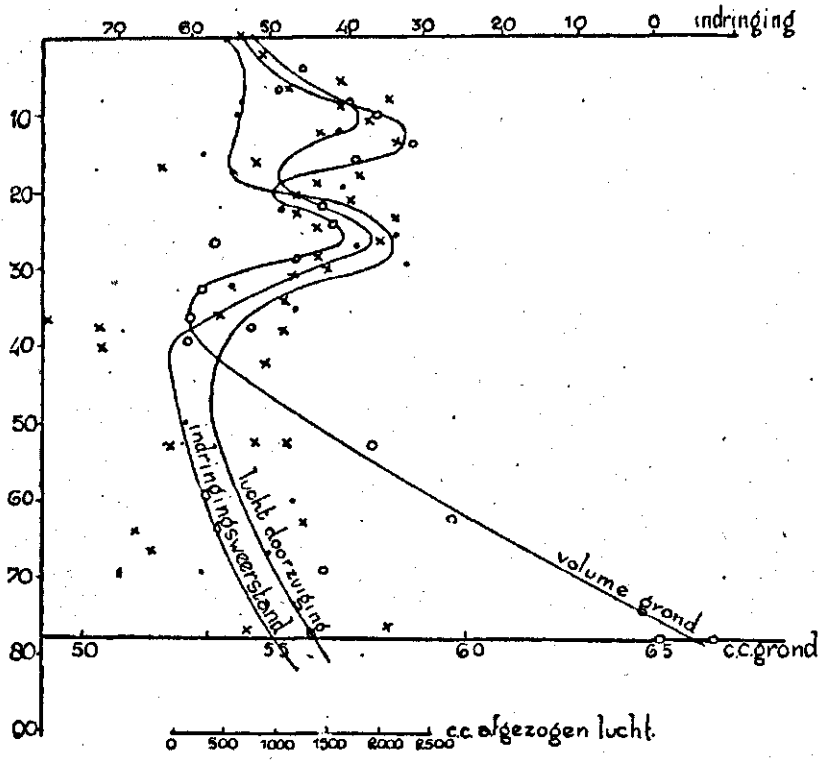

Fig. 1. Drie eigenschappen blijken in staat te zijn, indrukken te geven omtrent het voorkomen van banken in den grond. Het volume van de grondeeltjes, met kringetjes weergegeven, duidt de dichtheid van de banken en den ondergrond aan. De luchtdoorzuiging bij vast drukverval, met stippen aangegeven, verschaft een inzicht in den aard van de porositeit. De door kruisjes aangegeven indringingsweerstand wijst op verschil in hardheid van de lagen. Vaste lagen op omstreeks 10 en 25 cm diepte, en een vasten ondergrond komen duidelijk tot uiting.

Wanneer men allereerst bedenkt, dat hier een profiel van een weiland wordt beschreven, dan ligt het voor de hand, de verdichting op 10 centimeter diepte aan het vasttreden door het vee toe te schrijven. Uit waarnemingen van *Keen* [1]) blijkt, dat door vasttreden niet de bovenste laag de grootste vastheid krijgt, zooals bij vastwalsen met een gladde ronde wals zou zijn gevonden, doch dat de meest vaste laag dieper ligt. Ook mag men de lossere bovenste 5 centimeter vermoedelijk wel met de luchtige, wortelrijke zodelaag in verband brengen.

Op 18 centimeter diepte is men geheel buiten het bereik van den invloed van het vasttreden gekomen en komt men geleidelijk binnen de invloedssfeer van een tweeden bodemverdichtenden factor. Hier zal de te velde reeds geuite veronderstelling, dat dit perceel wel eens geploegd zal zijn, wel de grootste waarschijnlijkheid bezitten. De diepte, waarop de harde laag voorkomt, welke een ploegdiepte doet vermoeden tusschen 20 en 25 centimeter, vermoedelijk zoo omstreeks 22 centimeter, is daarbij wel het voornaamste argument. Het

[1]) *Keen, B. A.* en *Cashen, G. H.* Studies in soil cultivation. Journ. Agric. Sci, V. 22, blz. 126—134, '32.

is ook mogelijk, dat men aan den invloed van het grondwater in vroegere jaren moet denken, aangezien op de grens van de open en de gesloten capillaire zone wel vaker verdichtingen in het profiel voorkomen. Het vreemde bij deze dichtere laag is wel, dat aan den grond zelf niets te zien was, en blijkens de mededeeling van den eigenaar het ploegen, dat eventueel de oorzaak van de verdichting zou zijn geweest, tenminste veertig jaar geleden moet hebben plaats gehad. Dit zou er dan wel op wijzen, dat een ploegzool uit zichzelf niet snel verdwijnt. Men heeft hier, gezien de dikte van 17 centimeter, met een dikke, maar niet bijzonder dichte, ploegzool te maken. Bij werkelijk dichte lagen treft men grondvolumina van even boven 60 % herhaaldelijk aan. Het verschil tusschen dergelijke waarden en de 57.5 %, welke in dit profiel optreedt, is, hoewel op het eerste gezicht gering, in werkelijkheid vrij aanzienlijk.

Zeer opmerkelijk is in verband met de vastheid en de dichtheid van dit profiel de curve, welke de bewegelijkheid van de lucht kenmerkt. Als algemeene lijn zou men erin kunnen zien een naar dieper lagen allengs minder doorlatend worden tengevolge van een vermindering van het aantal wortel- en wormgangen. Beneden 35 centimeter komt men dan in het gebied van afnemend humusgehalte en tenslotte in zeer humus- en dus vochtarm grof zand met een groot luchthoudend poriënvolume. De toenemende doorlatendheid voor lucht is in de diepere lagen geheel volgens de verwachting.

In deze geheel begrijpelijke lijn vertoont zich echter tusschen 18 en 40 centimeter een bocht, welke op een zeer goede doorlatendheid voo lucht wijst van de als een mogelijke ploegzool aangemerkte bank. Dit is een opmerkelijk verschijnsel, waarvoor tijdens het onderzoek van het profiel geen verklaring in den vorm van opvallende wortel- of wormgangen of iets van dien aard werd opgemerkt. Toch moet men wel aannemen, dat in deze harde laag met vrij stevigen samenhang een grooter aantal open gangen aanwezig is. Het geheele beeld wijst op een bank, welke door allerlei oorzaken haar ondoorlatendheid verliest, zonder dat dit echter een zoodanigen vorm aanneemt, dat men reeds kan zeggen, dat de harde laag aan het uiteenvallen is. Het is wel opmerkelijk, dat deze aantasting van een bank als gevolg heeft, dat de doorlatendheid in dit niveau een maximumwaarde voor het geheele profiel bereikt. Een sterke waarschuwing ligt in elk geval in deze waarneming, niet maar elke harde laag tevens als ondoorlatende laag te beschouwen. Dit zijn blijkbaar onafhankelijke eigenschappen, hetgeen trouwens wel duidelijk zal zijn, indien men bedenkt, dat een dichte en vaste grond zeer wel een aantal min of meer grove poriën of gangen kan bezitten, welke de doorlatendheid beheerschen.

Een naderen indruk, aan welke poriënwijdte deze betere doorlatendheid zou kunnen worden toegeschreven, krijgt men uit de aanwijzingen, welke vochtgehalte, luchtvolume en luchtcapaciteit kunnen geven. In fig. 2 vindt men een afbeelding van de variatie in deze grootheden. Het vochtgehalte geeft een aanwijzing over de nauwste poriën. Het volume daarvan is tot 60 centimeter diepte vrij constant, behoudens de wat hoogere waarde, welke men in de humusrijke zode aantreft. Beneden 60 centimeter komt men blijkbaar in het gebied van de capillaire zone, waardoor het vochtgehalte toeneemt.

De luchtcapaciteit geeft een indruk van de niet capillaire poriën.

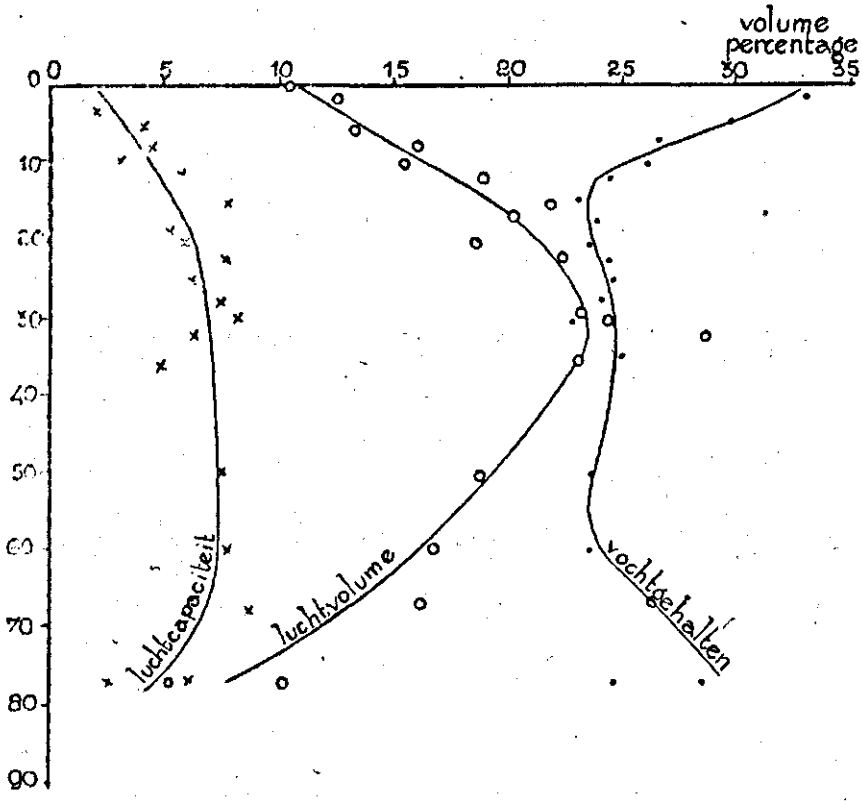

Fig. 2. Het vochtgehalte van den grond geeft geen duidelijke aanwijzingen omtrent de aanwezigheid van lagen, doch wordt beheerscht door den grondwaterspiegel en het humusgehalte. Ook het luchtgehalte hangt niet van het voorkomen van banken af, noch geeft de luchtcapaciteit, welke het volume van niet capillaire poriën representeert, daarover een inzicht.

Uit deze waarde blijkt, dat de wijde poriën zeer gelijkmatig over het profiel voorkomen, met uitzondering van de bouwvoor, waar vermoedelijk de aanwezige humus deze grove poriën voor een deel vult, terwijl de ondergrond, door den dichteren toestand, eveneens minder rijk is aan holten van niet capillaire grootte.

Het luchtvolume, dat de matige poriën en grove poriën samenvat, wijst tenslotte op een maximum in de matig groote capillairen op een diepte van 30 centimeter beneden maaiveld, met een scherpe afname, zoowel naar boven als naar beneden, welke afname men in beide gevallen op gelijke wijze zal moeten beoordeelen als de afname bij de luchtcapaciteit. Uit de curve voor het luchtvolume kan men afleiden, dat de goede doorlatendheid van de bank op 25 centimeter diepte vermoedelijk zal mogen worden toegeschreven aan de aanwezigheid van een grooter volume aan matig grove capillairen. Deze poriën zal men ongeveer mogen kenmerken door een capillaire stijghoogte, welke tusschen 5 en 100 centimeter ligt.

Uit dit resultaat blijkt, dat combinatie van alle verrichte bepalingen in staat stelt, over den bouw van het profiel zooveel te leeren, dat de niet meer met zekerheid te reconstrueeren ontstaanswijze van de banken zoo goed mogelijk kan worden opgespoord. De groote doorlatendheid tengevolge van matig grove poriën lijkt bij

deze bank wel goed overeen te stemmen met den grooten ouderdom, welke deze ploegzool moet bezitten.

Samenvatting.

Het toepassen van een aantal methoden van analyseeren van de structuur op een bepaald profiel wees uit, dat de dichtheid en de vastheid van den grond zeer veel overeenkomst met elkander hebben. Dit spreekt vanzelf, daar een dichte grond inwendig veel contactvlakken tusschen de korrels zal bezitten, waar capillaire en andere krachten voor een stevigen samenhang kunnen zorgen. Deze dichtheid en vastheid te identificeeren met een slechte doorlatendheid blijkt bij dit onderzoek niet toelaatbaar te zijn. Er kon worden aangetoond, dat het groote aantal matig wijde capillairen een groote doorlatendheid veroorzaakte, zonder dat men aan het profiel op het oog aanwijzingen daaromtrent kon ontleenen.

Aan het profiel is te velde de vastheid goed te constateeren. De dichtheid is dit reeds veel minder. De doorlatendheid en het luchtgehalte tenslotte zijn, afgezien van de grovere scheuren en gangen, veelal zeer moeilijk te beoordeelen. Nu lijkt de veronderstelling niet gewaagd, dat voor het gewas een onvoldoende luchtuitwisseling en een onvoldoende doorlatendheid veel schadelijker zullen zijn dan een wat vaste of dichte toestand van den grond, indien de vocht- en luchthuishouding overigens goed is. Hieruit volgt een waarschuwing tegen het lichtvaardig aan een profiel beoordeelen van den structuurtoestand. Gaan de eigenschappen van vastheid, dichtheid en ondoorlatendheid samen, dan zal men wel in staat zijn den grond betrouwbaar te beoordeelen. Wijkt de vocht- en luchthuishouding, zooals bij dit onderzoek, van de meestal veronderstelde regel van het samengaan van de drie genoemde eigenschappen af, dan is men niet in staat, dit op het oog te constateeren, en komt men ten aanzien van de meest belangrijke eigenschap tot een onjuiste conclusie.

2. DE ONTWIKKELING VAN HET WORTELSTELSEL BIJ AANWEZIGHEID VAN VERDICHTE LAGEN IN DEN GROND, IN HET BIJZONDER BIJ GRASLAND

door

Dr. M. A. J. GOEDEWAAGEN.

Inleiding.

Wanneer er in bouw- of grasland plaatselijke verdichtingen of banken voorkomen, dan komt dit in het wortelbeeld der gewassen meestal duidelijk tot uiting. Zoo kan men vaak waarnemen, dat extra stijve lagen doch ook geringere verdichtingen dikwijls een belemmering vormen voor den wortelgroei. Somtijds beëindigen de wortels hun groei reeds vóór ze met de harde laag in aanraking komen; andermaal groeien ze tot de harde laag door of ze buigen, na deze te hebben bereikt, rechthoekig om, waarna ze hun weg in horizontale richting vervolgen. Ligt de harde laag betrekkelijk oppervlakkig, dan blijft het wortelstelsel tot den bovengrond beperkt, hetgeen voor het gewas het nadeel heeft, dat het van den water- en voedselvoorraad in den ondergrond geen gebruik kan maken. Wel

komt er in dat geval, bij wijze van compensatie, meestal een rijkere wortelontwikkeling in den bovengrond tot stand, maar doorgaans is het gewas hiermee niet voldoende gebaat.

Indien de wortels hun groei reeds vóór het bereiken van de verdichte laag beëindigen, kan de oorzaak van deze groei-stagnatie natuurlijk niet in een mechanische belemmering worden gezocht. De gebrekkige wortelgroei kan dan veroorzaakt zijn door een stagnatie in den waterafvoer. In een regenrijke periode geraakt de grond boven de verdichte laag oververzadigd met water, met het gevolg, dat de wortelgroei door zuurstofgebrek wordt verhinderd. In droge tijden zijn de wortels aan verdroging onderhevig, indien het watertekort niet uit den ondergrond kan worden aangevuld. De reeds gevormde wortels kunnen onder deze ongunstige omstandigheden afsterven en vergaan.

Een harde laag is voor het gewas minder nadeelig, wanneer zij, hoewel voor de wortels ondoordringbaar, voor water behoorlijk doorlatend is. De wortels kunnen deze laag dan veelal gemakkelijker bereiken; vaak buigen ze rechthoekig om en groeien ze over de laag in horizontale richting verder. Wij namen dit o.m. waar op een roodoorngrond, waar onder de bouwvoor een laag spalterveen voorkwam, dat geen stagnatie in den waterafvoer veroorzaakte. De wortels hadden deze veenlaag bereikt en waren tusschen de platen, waaruit dit gelaagde veen is samengesteld, in horizontale richting verder gegroeid, waarbij zij vrij aanzienlijke afstanden hadden afgelegd, zonder echter een grootere diepte te bereiken.

Toch treft men in den grond soms stijve lagen aan, die behoorlijk doorworteld zijn. Op een zavelperceel, dat met vlas was bebouwd, nam ik in den drogen voorzomer van 1938 een 15 cm dikke, vrij stijve laag waar op een diepte van 40 cm. Verscheidene vlaswortels waren door deze laag heengegroeid, doch andere waren daarin blijven steken. Dit verschijnsel, dat eerst onverklaarbaar scheen, werd begrijpelijk, toen er een jaar later in de maanden Maart en Juli op hetzelfde perceel kuilen werden gegraven om in de toen te velde staande rogge wortelwaarnemingen te doen. Tot onze verwondering werd in Maart in de tot op groote diepte vochtigen grond geen spoor van een harde laag waargenomen. In Juli daarentegen werd na een langdurige periode van droogte, op dezelfde diepte als in 1938, een stijve zone aangetroffen, die blijkbaar in de voorafgaande maanden gevormd was en waarin de jongere wortels waren blijven steken. De veronderstelling ligt voor de hand, dat de in 1938 waargenomen harde laag zich pas na het zaaien van het vlas gevormd heeft en dat de krachtigste en meest voorlijke planten hare wortels tijdig in den ondergrond hadden kunnen uitzenden, terwijl de nakomers hierin niet meer geslaagd waren. Hieruit volgt, dat men uit de aanwezigheid van wortels in een stijve laag niet zonder meer mag concludeeren, dat plantenwortels in den grond groote weerstanden kunnen overwinnen.

Dit neemt niet weg, dat de wortels onder bepaalde omstandigheden bij hun lengtegroei een groote kracht kunnen ontwikkelen. *Pfeffer* [2]) heeft destijds een methode bedacht om deze kracht te

---

[2]) *W. Pfeffer.* Pflanzenphysiologie Bd 2, 1904, p. 144 e.v.
W. Pfeffer. Druck- und Arbeitsleistung durch wachsende Pflanzen. Leipzig 1893.

meten. De wortels, die met gips werden omgeven, drukten met hun top tegen een losse gipsen deksel, die door een veer werd tegengehouden. De door de wortels uitgeoefende druk werd bepaald door de spanning van de veer af te lezen. Het ingipsen der wortels had ten doel te voorkomen, dat de wortels zich zouden krommen of van de normale groeirichting zouden afwijken. Het volgende voorbeeld moge een idee geven van den druk, die door de wortels tot stand kan worden gebracht. Een 42 mm lange hoofdwortel van de tuinboon (Vicia faba) met een doorsnede van 3.7 mm^2 oefende met zijn top een druk uit van 294 g, hetgeen overeenkomt met een druk van 7.9 kg per cm^2 of bijna 8 atmosferen. Bij de gegeven worteldoorsnede werd dus een druk van circa 300 g uitgeoefend, hetgeen volgens *Pfeffer* voor een wortel voldoende is om door een aardappelknol heen te groeien, wanneer de wortel niet tijdig van koers heeft kunnen veranderen. Treedt er bij de wortels secundaire diktegroei op, dan kan er wegens het groote worteloppervlak, dat hierbij betrokken is, een groote druk in radiale richting tot stand worden gebracht. Bedraagt het „werkzame" oppervlak 1000 cm^2 (wat bij dikkere wortels geen zeldzaamheid is), dan komt er bij een druk van 6 atmosferen een totale druk van 6000 kg tot stand, waardoor rotsblokken opgelicht en verplaatst kunnen worden.

Pfeffer ging ook den wortelgroei na in een weeken kleigrond en vergeleek deze met den groei in een stuggen, vooraf stevig samengedrukten kleigrond, die aan de wortels honderd maal zooveel weerstand bood dan de zachtere klei. Ondanks dit groote verschil in weerstand stond de wortelgroei in de stijve klei slechts weinig bij die in de weeke klei ten achter. In één zijner proeven bedroeg de lengte-toename der wortels per etmaal in de stijve klei 12.9 mm tegenover een groei van 17.4 mm in de zachte klei. Hij concludeerde hieruit, dat er in de stugge klei door de groeiende wortels $\frac{12.9 \times 100}{17.4} = 74 \times$ zooveel arbeid verricht was als in de weeke klei. Bij toenemende dichtheid van den grond wordt de wortelgroei dus wel vertraagd doch aanvankelijk niet of slechts in geringe mate, terwijl de arbeid, die door de groeiende wortels wordt verricht, met toenemende stijfheid van den grond aanzienlijk stijgt.

Wij gewaagden er reeds van, dat door *Pfeffer* voorzorgen werden genomen om een zijdelings uitwijken van de wortels te voorkomen. Deze voorzorgen waren noodig, omdat plantenwortels den weg van den geringsten weerstand plegen te volgen, voor zoover de geotropie ze daarvan niet doet afwijken; dit kan in den grond gemakkelijk worden waargenomen. Wel worden er bodemdeeltjes door de groeiende wortels op zij geschoven, doch bij grootere hindernissen lukt dat niet; daardoor is de weg van de wortels door den grond vaak min of meer slingerend. Vaak volgen de wortels de reeds in den grond bestaande kanaaltjes en wortelgangen, terwijl ook in wormgangen vaak wortels worden aangetroffen. Wanneer een wortel op een verdichting stuit en daarin geen kanaaltjes aantreft, dan zal hij, indien hij deze laag niet kan ontwijken, trachten daarin door te dringen, waarbij blijkens het onderzoek van *Pfeffer* een grootere arbeid kan worden verricht dan men van deze teere organen zou verwachten. *Pfeffer* vond bij kiemwortels van tuinboon en mais (met een doorsnede van enkele mm^2), dat de

wortelgroei met onverminderde snelheid doorgaat, wanneer de tegendruk van den grond 25 g bedraagt. Bij een tegendruk van 100 à 120 g werd de wortelgroei slechts weinig vertraagd, doch er werd hierbij door de wortels een grooten arbeid verricht. Het is duidelijk, dat dit voor de betreffende plant een groot energieverlies beteekent, hetgeen de ontwikkeling van de plant niet ten goede komt. Hieruit volgt, dat een niet te stijve, poreuze grond voor het gewas te prefereeren is boven een verdichten grond, ook al zou er in den dichten grond een behoorlijke wortelontwikkeling tot stand komen. Stijgt de weerstand boven 300, g dan zijn de wortels niet of nauwelijks meer in staat, deze te overwinnen. Voor een goed begrip zij vermeld, dat een dun stukje stanniol, dat in een lossen grond wordt ingegraven, aan de kiemwortels der genoemde planten een weerstand biedt van 25 g. De stanniol wordt door deze wortels doorboord, zonder dat dit tot een groeivertraging aanleiding geeft. Een tegendruk van 100 à 120 g werd tot stand gebracht door de stijve klei, die door *Pfeffer* in één van zijn proeven werd aangewend (zie boven). Plantenweefsels, zooals bijv. een aardappelknol, leggen de betreffende kiemwortels een tegenstand in den weg van 300 g, een weerstand, die door de kiemwortels van de tuinboon nog juist overwonnen kan worden.

Extra stijve lagen, waarin geen wortelgangen e.d. voorkomen, kunnen door de wortels niet worden doorboord, doch, zooals gezegd, kunnen ook geringere verdichtingen de wortels van koers doen veranderen. Bij aanwezigheid van kluiten in den grond buigen de wortels vaak om de kluiten heen, ook waar deze niet bijzonder stijf zijn. Hierbij behoeft echter niet altijd aan een mechanische belemmering te worden gedacht. Zoo is in kluiten en stijve lagen vaak minder lucht voor de wortels beschikbaar en is de luchtverversching dikwijls minder goed dan in de omgeving van deze verdichtingen; ook treft men wel kluiten aan, die zich van de omgeving onderscheiden door een gering waterhoudend vermogen of door een hoogen zuurgraad. Deze omstandigheden kunnen aanleiding geven tot het optreden van wortelkrommingen (z.g. tropieën), die den schijn wekken, alsof hierbij een mechanische weerstand in het spel is geweest.

Herhaaldelijk neemt men bij profielwaarnemingen te velde afwijkingen in het wortelbeeld waar, die niet verklaard kunnen worden, zoolang deze verschijnselen in den grond niet grondiger zijn bestudeerd. Voor een dergelijke moeilijkheid zag ik me geplaatst bij een profielonderzoek in een pas ontgonnen heidegrond, die vol zat met kluiten, die overblijfselen bleken te zijn van de nog onverteerde heideplag. De kalk, die aan dezen grond was toegediend, was nog niet in de kluiten doorgedrongen, met het gevolg, dat de pH in deze kluiten slechts 4.1 bedroeg, terwijl de pH in het zandige gedeelte van den bovengrond door de bekalking tot 5.3 was gestegen. Er werd op dezen grond haver verbouwd, die er zeer onregelmatig bij stond. Op de slechtste plekken lagen de kluiten zóó dicht bij de oppervlakte, dat de wortels slechts over een dunne bodemlaag konden beschikken. Op andere plaatsen, waar het gewas beter stond, lagen de kluiten dieper of waren de wortels tusschen de kluiten door of om de kluiten heen in den ondergrond gedrongen. Mogelijk waren de kluiten te stijf, om de wortels doorgang te verleenen, maar het is ook denkbaar, dat de wortels de kluiten wegens

den hoogen zuurgraad, de onvoldoende luchtverversching of anderszins hadden ontweken.

Wanneer wortels op een verdichte laag stuiten, zonder daarbij van richting te veranderen, dan wil het wel gebeuren, dat zij bij het bereiken van de harde laag in den nog lossen grond vlak achter den worteltop een kromming ondergaan. De kromming is het duidelijkst waarneembaar en min of meer spiraalvormig, wanneer de harde laag veel weerstand biedt aan den wortelgroei; in dat geval kunnen de wortels meestal niet in de stijve laag doordringen. Bij minder verdichte lagen neemt men hoogstens een S-vormige kromming of een knik waar en dringen de wortels gemakkelijker in de verdichte laag door, zonder in deze laag verdere groeiafwijkingen te vertoonen.

Deze krommingen komen achter den worteltop in de circa 5 mm lange groei- of strekkingszone tot stand. Zooals bekend is, worden er in den worteltop (vegetatiepunt) in de richting der basis regelmatig nieuwe cellen gevormd, die zich daarna strekken, waardoor de wortelgroei voortgang vindt en de worteltop dieper in den grond wordt gedreven. In den regel komen er aan de basale zijde van de groeizone wortelharen tot ontwikkeling, waarmee de wortel in den grond wordt vastgeankerd. De beteekenis daarvan wordt duidelijk, wanneer men bedenkt, dat de wortels bij hun groei door den grond steeds een zekeren weerstand ondervinden. Bij grootere weerstanden zouden de wortels bij afwezigheid der wortelharen kans loopen, tengevolge van de celstrekking achteruit gedrukt te worden, terwijl de worteltoppen hierdoor verhinderd zouden worden, snel genoeg in den grond door te dringen. Dank zij de wortelharen komt er achter de strekkingszone een grooter steunvlak tot stand, waardoor de groeiende wortels een grooteren druk op den grond kunnen uitoefenen en eventueele weerstanden gemakkelijker kunnen overwinnen.

Wanneer echter een worteltop een grooteren weerstand ondervindt, die door den groeienden wortel niet kan worden overwonnen, dan is het eerste gevolg, dat de betrekkelijk weeke strekkingszone — voor zoover deze zijdelings niet voldoende gesteund is — een kromming ondergaat, terwijl de wortel achter de groeizone door wortelharen aan de bodemdeeltjes is bevestigd en daar wel voldoenden steun heeft. Dat dergelijke krommingen, die lotuer op een mechanische oorzaak schijnen te berusten en niet met de boven genoemde tropiëen verward mogen worden, niet denkbeeldig zijn, nam ik eens waar bij een watercultuur van tarwe, doordat de wattenprop, waarmee de jonge plant in het deksel was bevestigd, te stevig was aangedrukt en er per ongeluk een jong kroonworteltje in de verdrukking was gekomen. Aangezien de worteltop in de watten bekneld zat en de groeizone toevalligerwijze minder weerstand van de watten ondervond, groeide de wortel met tal van windingen boven de wattenprop uit.

De bovengenoemde S- en spiraalvormige wortelkrommingen, die men in den grond kan waarnemen, wanneer een wortel met een stijve laag in aanraking komt, berusten vermoedelijk op dezelfde oorzaak, daar ook in dit geval de groeizone, waarin de krommingen tot stand komen, tusschen twee vaste punten, den worteltop en de wortelbasis, bekneld zit. Of wij hier louter met passieve krom-

mingen te maken hebben, is echter niet met zekerheid te zeggen, daar dit niet nader werd onderzocht. De mogelijkheid is niet uitgesloten, dat er óok een actieve kromming plaats vindt, die opgewekt is door een contactprikkel op het moment, waarop de wortels met de harde laag in aanraking kwamen. Dit verschijnsel, dat onder den naam haptotropie bekend staat, komt o.a. bij ranken voor en is bij deze organen grondig bestudeerd.

De besproken S-vormige krommingen kunnen in potcultures achter glas heel goed worden waargenomen, wanneer de potten laag voor laag met grond zijn gevuld en de lagen ongelijk zijn aangestampt. Bij de wortels, die door een losse laag zijn heengegroeid en met een veel stijvere laag in aanraking komen, kan men vlak achter den worteltop, dus nog in den lossen grond, de S- of knievormige krommingen zien optreden. Terwijl de wortels zich krommen, verplaatsen de toppen zich niet of ternauwernood; pas wanneer de krommingen goed en wel tot stand zijn gekomen, dringen de wortels in de stijvere laag door. Dit laatste moet waarschijnlijk toegeschreven worden aan de omstandigheid, dat de wortels tengevolge van de kromming vaster tegen de bodemdeeltjes worden aangedrukt, terwijl ook de inmiddels gevormde wortelharen ertoe bijdragen, het groeiende worteldeel beter in den grond te bevestigen, waardoor de wortels in staat worden gesteld, met hun toppen in de stijve lagen door te dringen.

Het is ook mogelijk, dat de verklaring van dit verschijnsel in een andere richting moet worden gezocht. Proeven van *Pfeffer* hebben het waarschijnlijk gemaakt, dat wortels in een lossen grond niet voldoende kracht ontwikkelen om een betrekkelijk grooten weerstand *onmiddellijk* te overwinnen. Er is eenige tijd mee gemoeid, vóór de daartoe benoodigde kracht is verkregen. In dien tijd staat de wortelgroei stil, doch hij wordt hervat, wanneer de wortel over voldoende energie beschikt om den betreffenden weerstand te overwinnen. Door *Pfeffer* wordt echter geen melding gemaakt van wortelkrommingen in de groeizone. Een nader onderzoek zal moeten uitmaken, in hoeverre de door ons waargenomen verschijnselen aan physiologische factoren dan wel aan mechanische oorzaken moeten worden toegeschreven.

De opmerking dient nog te worden gemaakt, dat de wortels in den vollen grond met allerlei plaatselijke verschillen en varieerende omstandigheden te maken hebben, wanneer ze met een verdichte laag in aanraking komen. Het gevolg hiervan is, dat men de boven beschreven krommingen onder deze omstandigheden niet altijd ziet optreden. Bij een jonge maisplant, waarvan de meeste wortels door een vrij stijve ploegzool in den ondergrond waren gedrongen, nam ik op de grens van de vrij losse bouwvoor en de ploegzool bij vier wortels S-vormige krommingen waar, terwijl vijf wortels geen reactie vertoonden. Eén wortel was er niet in geslaagd, in de ploegzool door te dringen. Wel is waar kunnen wortelkrommingen door contractie van den wortel later min of meer verdwijnen, doch dit is alleen bij zeer zwakke krommingen het geval. Sterkere krommingen, zooals men die op de grens van stijve lagen ziet optreden, blijven bestaan en kunnen, zooals bij de maiswortels het geval was, ook in een later groeistadium getuigenis afleggen

van den weerstand, dien de wortel daar ter plaatse bij zijn groei heeft ondervonden.

Volledigheidshalve moge er op gewezen worden, dat er in de strekkingszone der wortels ook pathologische krommingen kunnen optreden, die moeilijk van de mechanische te onderscheiden zijn, zoodat dit verschijnsel niet zonder nader onderzoek aan plaatselijke verdichtingen toegeschreven mag worden.

In het algemeen krijgt men betere aanwijzingen omtrent het voorkomen van plaatselijke verschillen in de bodemstructuur, door de dichtheid van het wortelnet in de diverse lagen vast te stellen. Wij gewaagden er reeds van, dat de wortels niet bij machte zijn, in extra stijve lagen door te dringen, zoodat deze practisch vrij van wortels zijn. In minder dichte lagen dringen de wortels dikwijls wel door, doch ze vertakken zich in deze lagen minder intensief. Dientengevolge worden er in den regel in zulke lagen per volume-eenheid grond minder wortels aangetroffen dan in lagen met een lossere structuur. Bij profielwaarnemingen te velde vallen de dichtheidsverschillen in het wortelnet niet altijd duidelijk in het oog. Voor een juiste beoordeeling van de worteldichtheid in de diverse lagen is het beter, grondmonsters van bepaald volume te nemen, deze in het laboratorium te spoelen en de wortels quantitatief op een zeef te verzamelen. Wil men uit de worteldichtheidscijfers conclusies trekken omtrent de structuur in de diverse lagen, dan dient men voor oogen te houden, dat de worteldichtheid in een grond met homogene structuur naar de diepte toe doorgaans min of meer gelijkmatig afneemt. Slechts wanneer er ingrijpende afwijkingen in deze normale wortelverdeeling aan den dag treden, mag aan het vóórkomen van plaatselijke verdichtingen worden gedacht. Een ander punt, dat niet vergeten mag worden, is, dat de worteldichtheid niet alleen door de structuur van den grond, doch ook door de hoeveelheid water en voedingszouten wordt beïnvloed.

Aan het Rijkslandbouwproefstation zijn op zandgronden reeds een aantal worteldichtheidsbepalingen, in het bijzonder bij graangewassen, verricht. Waar een ploegzool aanwezig was, werden hierin per volume-eenheid grond doorgaans minder wortels aangetroffen dan in de eerstvolgende, diepere, minder verdichte lagen. Volgens onze ervaring treden er bij aanwezigheid van vrij sterke verdichtingen in den grond niet alleen in de worteldichtheid, doch ook overigens in het wortelbeeld duidelijke veranderingen op. Om na te gaan, of dit ook bij minder opvallende verdichtingen het geval is, werden op het graslandperceel aan de Wezebeek bij Almelo, waar door Ir. *W. C. Visser* een minutieus structuuronderzoek werd verricht, wortelwaarnemingen gedaan, waarvan de resultaten hieronder in het kort worden meegedeeld en met de uitkomsten van het structuuronderzoek worden vergeleken.

Het wortelonderzoek werd verricht in dezelfde profielkuil, waar ook de grondmonsters voor het structuuronderzoek werden genomen. Nadat de botanische samenstelling van de grasmat op het perceel in groote trekken was vastgesteld en het profiel en de bewortelling in de kuil waren beschreven, werden grondmonsters genomen, om de worteldichtheid in de diverse lagen vast te stellen. Om een idee te krijgen van het wortelbeeld in zijn geheel, werd een kluit grond ter breedte van 15 cm en tot een diepte van circa 30 cm vertikaal uit het profiel gestoken, nadat eerst een plank met naalden in

den grond was gedreven om bij het spoelen een natuurgetrouw beeld te verkrijgen van het wortelnet [3]).

De begroeiing.

De grasmat was vrij hol. Op menige plek werd mos aangetroffen. *Lolium perenne* nam in het grasdek de belangrijkste plaats in, zoodat de botanische samenstelling niet ongunstig kan worden genoemd. Deze soort was vergezeld van *Poa pratensis* en *Agrostis alba* in vrij groote hoeveelheden, terwijl pleksgewijze *Holcus lanatus*, *Festuca rubra* en *Anthoxanthum odoratum* werden aangetroffen. Verder was vrij veel *Trifolium repens* aanwezig. Van de onkruiden vielen *Plantago major* en *Taraxacum officinale* het meest in het oog, welke beide planten wijzen op een niet ongunstigen kalktoestand. Plaatselijk werden vrij groote pollen van *Dactylis glomerata* en *Festuca rubra* aangetroffen, die evenals Poa pratensis goed tegen droogte bestand is.

De botanische samenstelling wijst erop, dat het perceel niet overmatig nat doch eerder iets aan den drogen kant is. Opvallend was het ontbreken van *Alopecurus geniculatus*, die op een dichter bij de beek gelegen, aan denzelfden eigenaar toebehoorend stuk grasland, dat 's winters langen tijd onder water staat, in vrij groot aantal werd aangetroffen. Ook het wortelbeeld verschilde op deze perceelen vrij sterk. Op het lagere, natte perceel, dat doorloopend een hoogeren waterstand had, waren de wortels hoogstens 40 cm in den grond gedrongen, terwijl in den profielkuil van het drogere perceel nog wortels voorkwamen op een diepte van 70 à 80 cm.

De wortelontwikkeling in den profielkuil globaal beschouwd.

Zooals steeds op grasland het geval is, waren de meeste wortels in de zodelaag geconcentreerd, doch ook in de diepere lagen was de worteldichtheid bevredigend. Te oordeelen naar de kleur van den grond, die op circa 40 cm diepte vrij plotseling van grijs in geel overging, was er in den bovengrond (0—40 cm) nogal wat humus aanwezig. Deze laag rustte op een ondergrond van humusarm geelwit zand, waarin vrij veel ijzer scheen voor te komen. Op de grens van deze twee lagen nam de worteldichtheid plotseling sterk af. Hier en daar kwamen in den humusarmen ondergrond vrij breede, vertikale aders voor van zwartachtigen grond (mogelijk resten van boomwortels), die beter doorworteld waren dan het humusarme zand.

Hoewel er in het profiel horizontale verdichtingen op circa 10 en 25 cm diepte voorkwamen, konden er in den wand van den kuil geen wortelkrommingen of afwijkingen in de dichtheidsverhouding van het wortelnet worden waargenomen. Er werd daarom besloten, grondmonsters te nemen om het wortelbeeld in diverse lagen beter te kunnen bestudeeren.

---

[3]) De „naaldenmethode" werd het eerst toegepast door den Russischen onderzoeker *Rotmistroff* bij planten, die in kisten waren gekweekt. *Maschhaupt* was de eerste, die van deze methode gebruik maakte bij de bestudeering van wortelstelsels in den vollen grond. Een beschrijving van de naaldenmethode vindt men bij *Maschhaupt* (Versl. der Rijkslb. proefstations 16, 1915, p. 76) en bij *Goedewaagen* (Natuurwetenschappelijk Tijdschrift, Gent, 16, 1934, p. 211).

De worteldichtheid in de diverse bodemlagen.

Er werden in den profielkuil twee series grondmonsters van bepaald volume genomen en de wortels hieruit vrij gespoeld, gedroogd en gewogen, waarna de *worteldichtheid* (mg droge wortels per liter grond) voor de diverse lagen werd vastgesteld. Daartoe werden vierkante plakken grond van boven naar beneden heel voorzichtig uitgegraven. De monsters van de 1e serie hadden een oppervlak van 144 cm^2 en waren meerendeels 5 cm hoog, terwijl die van de 2e serie 100 cm^2 groot en 2½ cm hoog genomen werden. In het eerste geval werden de monsters genomen tot een diepte van 50 cm en werden er nog eenige grondmonsters van onbekend volume aan toegevoegd, die op 70 cm diepte resp. uit den zwartachtigen, humusrijkeren grond en uit het gele, humusarme zand waren weggeschept. Bij de tweede bemonstering werd niet dieper ingegaan dan tot 20 cm beneden het maaiveld om de beworteling in den bovengrond nauwkeuriger te kunnen bestudeeren. Van de monsters der 1e serie werd niet alleen de worteldichtheid doch tevens de pH en het humusgehalte vastgesteld. De uitkomsten van dit onderzoek zijn samengevat in tabel 1 en 2.

TABEL 1.
1e serie grondmonsters

Laag (cm)	Worteldichtheid [1])	pH	Humusgehalte
0—5	2060 [2])	5.6	6.1
5—15	258	5.9	5.2
15—20	162	5.7	4.2
20—25	153	5.6	4.2
25—30	159	5.5	4.2
30—35	117	5.6	3.8
35—40	149	5.7	3.6
—50—	63	5.6	3.1
70 geel	3 [3])	5.8	0.7
70 zwart	114 [3])	5.8	2.2 [4])

TABEL 2.
2e serie grondmonsters

Laag (cm)	Worteldichtheid [1])
0—2½	1624 [2])
2½—5	1360 [2])
5—7½	774
7½—10	648
10—12½	328
12½—15	80
15—17½	152
17½—20	168

[1]) mg luchtdroge wortels per dm^3 grond.
[2]) De onderaardsche stengeldeelen zijn hierbij niet inbegrepen.
[3]) De worteldichtheid is in dit geval uitgedrukt in mg luchtdroge wortels per kg verschen grond.
[4]) Dit humusgehalte is wat laag uitgevallen, doordat er in het onderzochte grondmonster naast zwarten ook gelen grond voorkwam.

De resultaten van de 1e (diepe) bemonstering in tabel 1 zijn in het kort de volgende: Het humusgehalte neemt naar de diepte af doch is tusschen 15 en circa 35 cm vrij constant. Beneden een diepte van 40 cm, waar de grond kennelijk lichter van kleur werd en het humusgehalte daalde van 3.6 tot 3.1 %, vertoont de worteldichtheid een groote daling. In het gebied tusschen 15 en 40 cm beneden het maaiveld, waar het humusgehalte hooger is, is de variatie in de worteldichtheid gering. Een groot verschil in worteldichtheid bestaat er tusschen „70 geel" (zeer humusarm) en „70 zwart" (vertikale ader van humeus zand). In de humusaderen zijn dus veel meer wortels tot ontwikkeling gekomen dan in het op dezelfde diepte gelegen geelwitte zand. Dat er van den humus een gunstige invloed

uitgaat op de wortelontwikkeling en wel in het bijzonder op de vertakking van het wortelstelsel, werd door ons ook in andere zandgronden herhaaldelijk geconstateerd en door deze waarneming wederom bevestigd. Het behoeft geen betoog, dat deze vergrooting van het absorptie-oppervlak van het wortelstelsel onder invloed van den humus voor het gewas van groote beteekenis is.

Opmerkelijk is, dat de worteldichtheid volgens tabel 1 tusschen 15 en 30 cm onder het maaiveld nagenoeg geen daling vertoont. Dit is bevreemdend, daar er in het profiel op een diepte van circa 25 cm een verdichting scheen voor te komen. Dat er op deze diepte inderdaad een verdichting voorkwam, blijkt uit het vrij hooge volume der gezamenlijke bodemdeeltjes en uit den betrekkelijk hoogen „indringingsweerstand", die door Ir. *W. C. Visser* in deze bodemzone werden vastgesteld (zie fig. 1). Dezelfde figuur laat echter zien, dat er in deze verdichte laag (om en bij 25 cm onder het maaiveld), tegen de verwachting in, een groote doorlatendheid werd geconstateerd. Hoogstwaarschijnlijk moet hierin de verklaring gezocht worden van de betrekkelijk hooge worteldichtheid, die blijkens tabel 1 in de lagen 20—25 en 25—30 cm werd gevonden. Wij hebben dus hier met een verdichte laag te maken, waarin de luchtcirculatie blijkbaar voldoende is voor een rijke wortelontwikkeling. Hieruit volgt, dat een stijve laag ook rijk doorworteld kan zijn en dat dit erop kan wijzen, dat de luchtvoorziening in deze laag ondanks de verdichting weinig te wenschen overlaat.

De verdichting, die het profiel op een diepte van 10 à 15 cm te zien gaf, komt in de worteldichtheidscijfers van tabel 1 niet tot uiting. Dit behoeft niet te verwonderen, daar in dit gebied geen grondmonsters ter dikte van 5 cm doch per abuis een monster van 10 cm dikte (5—15 cm) werd genomen. Hieromtrent kan de 2e bemonstering (tabel 2) beter uitsluitsel geven, waarbij het profiel in lagen van 2½ cm werd bemonsterd.

Tabel 2 geeft de uitkomsten van de oppervlakkige bemonstering tot een diepte van 20 cm in lagen van 2½ cm. De worteldichtheden verschillen nog al van die der 1e bemonstering in de overeenkomstige lagen, doch dergelijke verschillen kan men in verband met de sterk varieerende botanische samenstelling en begroeiingsdichtheid op grasland verwachten.

Opmerkelijk is de inzinking, die de worteldichtheid in de laag van 12½—15 cm vertoont. Daar er geen aanleiding bestaat, te veronderstellen, dat de laag van 12½—15 cm veel armer aan humus was dan de aangrenzende lagen, en de pH volgens tabel 1 in de diverse lagen zeer weinig varieerde, ligt het voor de hand de geringe worteldichtheid in laag 12½—15 cm aan de bodemverdichting toe te schrijven, die door Ir. *Visser* volgens fig. 1 op deze diepte werd vastgesteld.

Opmerking verdient nog, dat de laag van 17½ tot 20 cm blijkens tabel 2 iets dichter doorworteld is dan de aangrenzende, minder diep gelegen laag van 15 tot 17½ cm. In normale graslanden, waar geen verdichtingen in den grond voorkomen, neemt de worteldichtheid naar beneden regelmatig en met vrij groote sprongen af [4]). In het

[4]) Zie hiervoor de worteldichtheidscijfers in de publicatie van Dr. *H. J. Frankena* en Dr. *M. A. J. Goedewaagen*, getiteld „Een vakkenproef over den invloed van verschillende waterstanden op den grasgroei bij drie grondsoorten". Versl. van Landbouwk. Onderzoekingen 1942, No. 48 (6) A, blz. 407—461.

onderhavige geval is bij het structuuronderzoek gebleken, dat de grond ter diepte van circa 20 cm kennelijk losser is dan op een diepte van 10 à 15 cm beneden het maaiveld (fig. 1). De onderstelling ligt voor de hand, dat de betrekkelijk hooge worteldichtheid in laag 17½—20 cm aan deze omstandigheid moet worden toegeschreven.

Het „naaldenplankmonster".

Om ons een beeld te kunnen vormen van het wortelstelsel in natuurlijken toestand en eventueele wortelkrommingen in of nabij de verdichte lagen te kunnen vaststellen, werd bij het profiel een kluit grond ter breedte van 15 cm en tot een diepte van circa 30 cm vertikaal afgestoken, nadat te voren een plank met naalden in het profiel was gedrukt om het wortelstelsel bij het spoelen in zijn verband te kunnen houden.

De plek, waar het naaldenplankmonster werd genomen, was 50 à 60 cm verwijderd van de plaats, waar de grondmonsters voor de structuur- en worteldichtheidsbepaling werden uitgestoken. Bij het spoelen van de kluit op de naaldenplank bleek, dat het profiel en het wortelnet sterk afweken van de situatie in het overige gedeelte van de kuil. Terwijl het profiel, dat dienst deed bij het structuuronderzoek en bij de worteldichtheidsbepaling, behoudens enkele horizontale verdichtingen, vrij homogeen was, was het naaldenplankmonster opvallend kluitig en heterogeen. Dit is te zien in fig. 3, waarin een beeld gegeven wordt van de beworteling in het naaldenplankmonster, nadat de grond gedeeltelijk was weggespoeld. In het rechter gedeelte van dit profiel begint de grond reeds op een diepte van 7 cm kluitig te worden, een toestand, die zich tot onderaan toe (in de figuur tot een diepte van meer dan 25 cm) voortzet. De wortels zijn hier weinig talrijk in vergelijking met het linker gedeelte van de kluit, waar geen verdichtingen doch wel een krachtige, regelmatige beworteling op alle diepten werden vastgesteld. Fig. 4 brengt het zelfde wortelstelsel in beeld, nadat de grond volledig was verwijderd. Ook hier ziet men, dat links veel meer wortels aanwezig zijn dan rechts, waar de grond een kluitige structuur bezat. De wortels waren meerendeels om de kluiten heen of tusschen de kluiten door gegroeid, zoodat hier een groot gedeelte van den grond door de wortels onbenut is gelaten. Spiraal- of S-vormige krommingen werden niet waargenomen.

Uit het bovenstaande blijkt, dat er in den grond op korte afstanden groote structuurverschillen kunnen voorkomen, die met duidelijke verschillen in de beworteling gepaard gaan. Om een karakteristiek te geven van de bodemstructuur of van de beworteling op een perceel, zal 't structuur- en wortelonderzoek dus op verscheidene plaatsen verricht moeten worden. Zeer noodzakelijk is dit bij wortelstudies op grasland, omdat de ongelijke beworteling daar mede het gevolg is van de sterk wisselende botanische samenstelling. Het is mij gebleken, dat de door Ir. *W. C. Visser* geconstrueerde en hierachter beschreven „structuurboor" ook bij het nemen van grondmonsters voor worteldichtheidsbepaling met succes kan worden aangewend, waarbij dan natuurlijk niet van de structuurringen gebruik gemaakt behoeft te worden. Tot voor kort werden bij wortelonderzoekingen te velde één of slechts enkele profielkuilen gegraven en de beworteling in deze kuilen bestudeerd. Wil men het wortel-

Fig. 3.

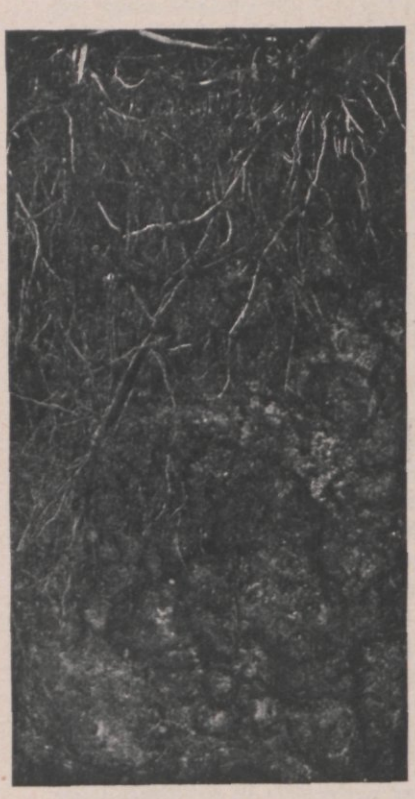

Fig. 4.

Fig. 3. De grond is gedeeltelijk weggespoeld. Rechts onder is de grond kluitig en weinig doorworteld. In het linker gedeelte, dat beter doorworteld is, was de structuur goed.

Fig. 4. De grond is volledig weggespoeld. In het kluitige gedeelte van den grond (vgl. fig. 3) zijn slechts weinig wortels tot ontwikkeling gekomen, die meerendeels om de kluiten heen waren gegroeid.

stelsel op verschillende plaatsen van een zelfde perceel onderzoeken, wat in veel gevallen noodzakelijk is, dan kan beter van een boor gebruik gemaakt worden, omdat de boringen geen sporen van beteekenis achterlaten, terwijl bij het graven van een groot aantal profielkuilen een ware verwoesting wordt aangericht.

Samenvatting.

Op een perceel grasland, dat in het stroomgebied van de Wezebeek bij Almelo is gelegen, werd een wortelonderzoek verricht, waarvan de resultaten met die van het door Ir. *W. C. Visser* in denzelfden profielkuil verrichte structuuronderzoek werden vergeleken.

De uitkomsten van deze beide onderzoekingen liepen merkwaardig parallel. Volgens het structuuronderzoek waren er op een diepte van 10 à 15 cm en op een diepte van circa 25 cm beneden het maaiveld verdichte lagen aanwezig, terwijl de grond in de daartusschen gelegen laag (op ca. 20 cm diepte) een veel lossere structuur bezat. De worteldichtheid was gering in de bovenste der beide verdichte

lagen. Een aanmerkelijk grootere worteldichtheid werd vastgesteld in de losse tusschenlaag op ongeveer 20 cm diepte, doch merkwaardigerwijze ook in de verdichting, die op een diepte van circa 25 cm werd geconstateerd. In deze bank (wellicht een oude ploegzool) werd door Ir. *Visser* een groote doorlatendheid vastgesteld. Blijkbaar is de luchttoevoer en de luchtverversching in deze laag toereikend geweest voor een krachtige wortelontwikkeling, waaruit dus blijkt, dat de omstandigheden zelfs in een stijve laag niet altijd ongunstig behoeven te zijn voor den wortelgroei. Abnormale wortelkrommingen werden in de verdichte lagen niet waargenomen.

Het is zeer de vraag, of de wortels wel altijd even duidelijk op plaatselijke verdichtingen zullen reageeren. De omstandigheden waren hiervoor op het onderzochte perceel gunstig, doordat de humus tot een diepte van 40 cm vrij gelijkmatig over het profiel was verdeeld, de pH in alle lagen practisch gelijk was en het profiel ook in andere opzichten vrij homogeen was. Het is niet onwaarschijnlijk, dat het effect van de structuur op de beworteling in gecompliceerdere gevallen door andere factoren wordt teniet gedaan of verdoezeld.

Er werden in dezelfden profielkuil groote verschillen in de wortelontwikkeling waargenomen, die door plaatselijke structuurverschillen werden veroorzaakt. Tot dusver is bij wortelonderzoekingen niet altijd voldoende rekening gehouden met de variatie in bodemtoestand en beworteling op een en hetzelfde perceel. Vooral op graslandperceelen, waar de ongelijke beworteling mede veroorzaakt wordt door de heterogeniteit in de botanische samenstelling van de grasmat, verdient het aanbeveling, het wortelstelsel op verschillende plaatsen aan een onderzoek te onderwerpen.

Aan het probleem der beworteling in verband met de bodemstructuur zijn verscheidene vraagstukken verbonden, waarvan er in dit artikel slechts enkele zijn besproken. Andere vraagpunten, zooals de invloed van de structuur op de wortelvertakking en op de werkzaamheid van het wortelstelsel, zijn buiten beschouwing gelaten, omdat deze onderwerpen door ons nog onvoldoende zijn bestudeerd.

3. BESCHRIJVING VAN EEN BOOR VOOR STRUCTUURONDERZOEK EN VAN EEN VASTHEIDSONDERZOEK BIJ GROND

door

Ir. W. C. VISSER.

Bij het onderzoeken van de structuur van den grond zijn het veelal de dichtheid en het poriënvolume, waarvoor men belangstelling heeft. Het vaststellen van deze eigenschappen vraagt het nemen van monsters, waarbij de grond zijn oorspronkelijken toestand zooveel mogelijk behoudt. Het nemen van dergelijke monsters wordt thans vrijwel algemeen met behulp van ringen of bussen gedaan, die aan beide zijden open zijn en een bekenden inhoud hebben. Voor landbouwkundig onderzoek waren vroeger vooral bussen van een heelen of een halven liter in gebruik. Men gaat echter, met het oog op de gewenschte fijnheid van bemonsteren en wegens het moeilijke transport van een wat grooter aantal monsters bij litersbussen, meer en meer over tot het nemen van monsters van 100 cc. Bij het Rijks-

landbouwproefstation zijn ringen van 51 mm diameter en 50 mm hoogte reeds geruimen tijd tot volle tevredenheid in gebruik. Voor de bepaling van de grond-water-lucht-verhouding is de luchtpycnometer voor massaonderzoek nog steeds het meest geschikte instrument.

Beschrijving van een boor voor structuuronderzoek.

Bij het onderzoeken van de structuur in diepere lagen is het noodzakelijk een profielkuil te graven die, wanneer men met het onderzoek tot wat diepere lagen wenscht door te dringen, vrij groot moet zijn, en waarbij vooral voor den uitgegraven grond nogal wat ruimte noodig is. Het uitvoeren van een dergelijk onderzoek dient in verband hiermede, vrijwel steeds naar den herfst te worden verschoven, en in den stoppel te worden uitgevoerd. Bij onderzoek in proefvelden beschadigt men een te groot deel van het gewas; ook in een practijkperceel ziet de boer veelal niet graag een verwoesting in de veldvrucht van een omvang, als noodzakelijkerwijze gemaakt moet worden.

Onder bepaalde omstandigheden is het denkbaar, dat men van het bestudeeren van het profiel op andere wijze, dan op grond van structuurmonsters, wel afstand wil doen. Onder omstandigheden, waarbij met groote nauwkeurigheid bestudeeren van den profielwand niet vereischt is, zou men genoeg hebben aan een zeer smal gat en zal de gedachte opkomen om een boor te gebruiken. En zijn in het buitenland een aantal boren geconstrueerd, die het mogelijk maken nauwkeurig 100 cc grond los te maken. Deze grond komt dan als los materiaal boven. Het blijkt echter, dat de resultaten, die men op deze wijze verkrijgt, niet dezelfde cijfers voor het poriënvolume opleveren als men uit door middel van ringen gestoken monsters kan afleiden [5]), terwijl vastheidsbepalingen daarbij niet kunnen worden uitgevoerd.

Deze overwegingen waren aanleiding om een klem te construeeren, die het mogelijk maakte om onder in een smal boorgat een monsterring in den grond te drukken, terwijl een ander gedeelte van het apparaat het mogelijk moest maken dezen ring omhoog te brengen, zonder dat de grond uit den ring viel.

Het Nederlandsche klimaat en de specifiek landbouwkundige vraagstukken, waarop een en ander moest worden toegepast, maakten de oplossing niet moeilijk. Stofdroge gronden behoeven niet bemonsterd te worden. Het steeds vochtig zijn van de te bemonsteren grondlagen maakt, dat het monster redelijk vast in den ring blijft kleven, terwijl het feit, dat voor landbouwkundig onderzoek de structuur beneden het grondwater van weinig belang is, het onnoodig maakt de constructie een zoodanigen vorm te geven, dat ook loopzand kan worden opgehaald. Men kan dus volstaan met den ring op een of andere wijze vast te klemmen, in den grond te drukken, en dan zoodanig los te maken, dat de losgestoken grondcylinder niet uit den ring wegbrokkelt bij het omhooghalen.

Aan den eisch van stevig vastklemmen van den ring kon worden voldaan door een klem met drie klauwen te vervaardigen, die door

[5]) *Grosse, B.* Vergleich der Bohrer nach Hey, Janert und Mitscherlich zur volumetrischen Entnahme von Bodenproben. Bodenkunde und Pflanzenernährung, B 13, blz. 326—340, '39.

een conisch toeloopende schroef aan de eene zijde van een in het midden van den klauw aangebracht draaipunt met het grijpvlak van den klauw tegen den ring worden geklemd. Elke klauw eindigt in een gebogen vlak, dat eng tegen den ring aansluit en een zijdelingsche beweging onmogelijk maakt. Verder is in de binnenzijde van dit gebogen grijpvlak een opstaande rand aangebracht, waartegen de ring stuit, zoodat hij bij het in vasten grond indrukken niet door kan schieten.

Men kan op een eenvoudige wijze voorkomen, dat bij het omhoogtrekken van den ring de grondcylinder binnen den ring afbreekt, door om het monster heen een bus in den grond te drukken, die eenige centimeters dieper gaat dan de monsterring. Trekt men nu bus en ring gelijktijdig omhoog, dan breekt de grond bij de opening van de bus af, soms wat binnen de bus, soms wat meer er buiten, maar men kan het verschil in diepte, tot waar de bus en de ring in den grond worden gebracht, gemakkelijk zoo kiezen, dat de monsterring steeds aan alle zijden door een kluit grond omgeven blijft. Wanneer men de bus aan een hollen steel monteert, waar de steel van den klauw doorheen steekt, dan kan men beide gedeelten van het apparaat onafhankelijk van de andere helft op en neer bewegen.

Het gebruik van de beschreven boor is nu als volgt.

Men brengt in een van te voren tot de gewenschte diepte geboord gat den ring in den klem naar binnen, terwijl de bus in den hoogsten stand wordt vastgezet met een klemschroef. De ring wordt bijvoorbeeld tot een centimeter diep onder den bodem van het geboorde gat weggedrukt. De onderkant is dan op 6 centimeter diepte onder den bodem. Daarna maakt men de klemschroef los en drukt de bus door middel van den hollen steel naar beneden. De bus glijdt juist om den klem en den ring heen en wordt zoover in den grond gedrukt, dat de onderkant bijvoorbeeld drie centimeter dieper reikt dan de ring, dus tot negen centimeter onder den bodem van het boorgat. Door het aandraaien van de klemschroef worden de steel van de klem en die van de bus weer vast met elkander verbonden, waarna het geheel wordt opgetrokken. Men maakt nu de klemschroef los en drukt de kluit uit de bus vandaan. Vervolgens maakt men de klem los en krijgt zoo een kluit van negen centimeter lengte en zeven centimeter diameter, in het midden waarvan zich de ring bevindt. Met een draadje wordt de ring uitgezaagd of met een mes de grond weggesneden totdat men het monster op de gewenschte wijze heeft afgewerkt.

Men kan volgens deze methode monsters nemen van alle gronden, die niet te hard zijn om er den ring in te krijgen, en niet zoo nat of zoo los, dat de grond uit den ring loopt. Losse droge gronden kan men meestal nog wel bemonsteren na nat maken, waardoor tengevolge van capillairen druk wat samenhang ontstaat.

Veelal kan men het gat het gemakkelijkste maken door het laag voor laag wegsteken met de bus. Indien dit om een of andere reden niet wenschelijk zou zijn, dan is een boor noodig, die een gat met een vlakken, niet omgewoelden bodem achterlaat. De meeste boren doen dit niet: de uitstekende snijkanten of boorpunten woelen meestal meer grond los, dan men naar boven haalt.

Men maakt met de boven beschreven structuurboor een gat van zeven centimeter diameter; dit is een schade, die op proefvelden vrij-

wel steeds toelaatbaar is, en die in een practijkveld geheel buiten discussie kan blijven. Men krijgt den grond laagsgewijze in kluiten omhoog en krijgt bij het uitsnijden van de monsterringen in ieder geval nog eenigen indruk betreffende den bouw van het profiel, zij het ook, dat men daaraan niet hetzelfde heeft als aan het bekijken van een overal toegankelijken profielwand, zooals die in een kuil zichtbaar komt.

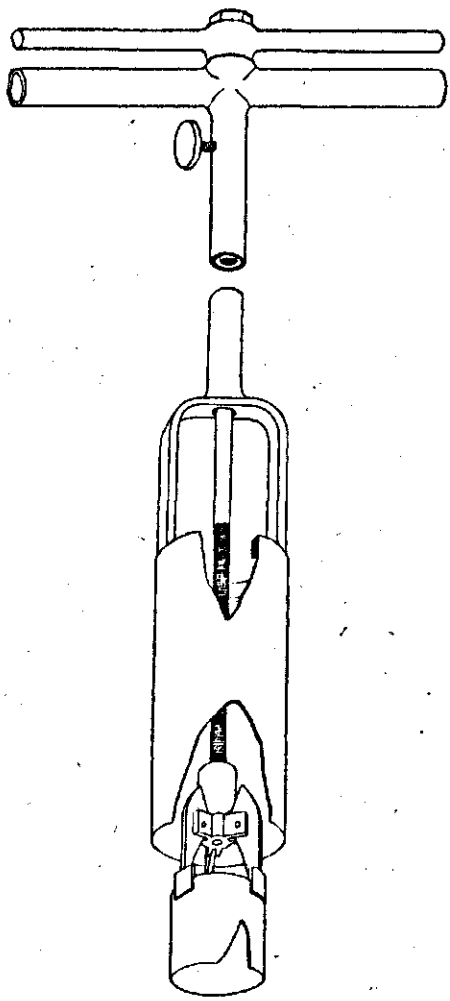

Fig. 5. De lichte uitvoering van de boor tot het nemen van monsters ongeroerden grond bestaat uit een boorstang met klauw in een boorbuis met bus. De wijze, waarop de ring in de klem wordt vastgehouden, wordt door de opengesneden weergegeven bus zichtbaar. De boorstang met klauw en ring kan onafhankelijk van de buis en bus bewogen worden, hetgeen toelaat, dat eerst de ring met grond wordt gevuld.

Een verdere ontwikkeling heeft het gebruik van deze boor gevonden, toen het tijdens het werk bij vele gronden toelaatbaar bleek te zijn, om de structuurringen pas in den grondcylinder te drukken, nadat men dezen met de bus boven den grond had gebracht. Het boren wordt daardoor wat sneller en eenvoudiger, terwijl het werken met de ringen eveneens wat bedrijfszekerder wordt. Het nadeel is

slechts, dat de te bemonsteren grondcylinder nu twee opeenvolgende malen aan druk wordt onderworpen, waardoor bij plastische gronden een zekere mate van verkneding van den grond kan optreden. Bij het werken met den ring in de klem wordt het gestoken monster door den ring tegen verkneding beschermt, wanneer de bus in den grond wordt gedreven, zoodat dan deze ongunstige invloed slechts eenmaal optreedt. Tegen het in de gevulde boor indrukken van de ringen kan men het bezwaar opwerpen, dat het in deze beperkte ruimte in-

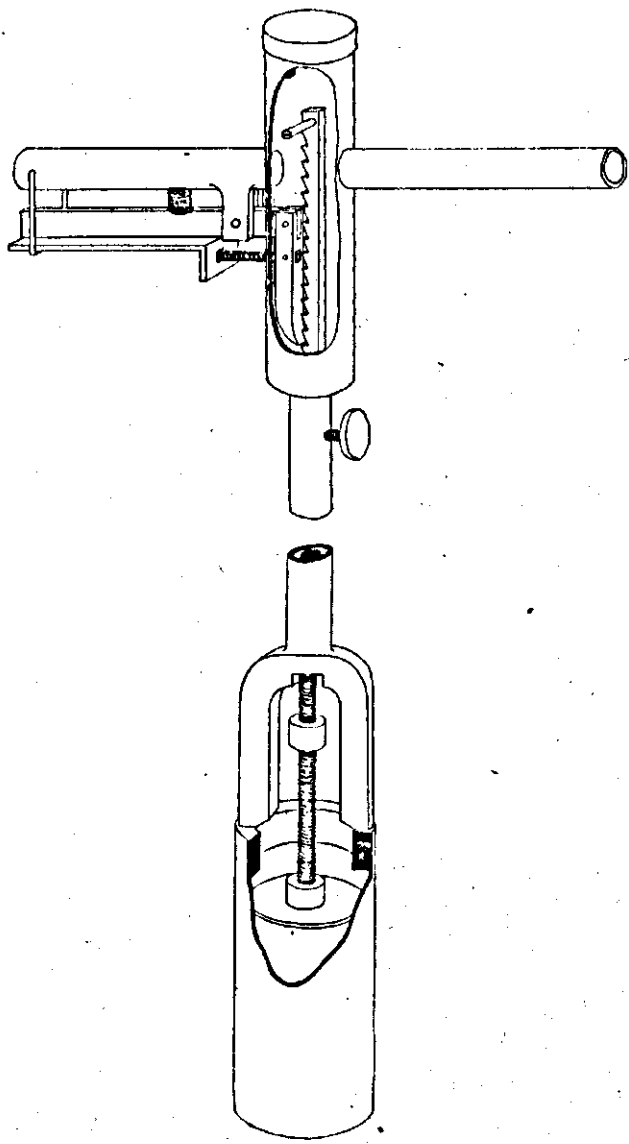

Fig. 6. Voor harden grond is een uitvoering van de boor vervaardigd, welke met een hamer in den grond gedreven kan worden. De diepte van indrijven kan, indien het plaatje van den uitdrijver op den bodem van het gat rust, worden afgelezen aan het merk aan het einde van de tandstrook van den uitdrijver. Een met den voet bediende hefboom stelt in staat, de grondcylinder uit de omgekeerd geplaatste boor te drijven. De structuurring wordt in dit ongeroerde monster gedrukt.

drijven van een ring een grootere vervorming van de structuur teweeg zal brengen, dan bij het indrijven in den vollen grond optreedt, omdat de bodemdeeltjes zijdelings niet kunnen uitwijken. Het vullen van de ringen onder in het boorgat zal daarom vermoedelijk nauwkeuriger zijn. Bij vele gronden echter zal het voordeel van deze principieel grootere nauwkeurigheid in werkelijkheid vermoedelijk weinig beteekenen en zal het vlottere werk het bovengronds werken rechtvaardigen.

Bij zware gronden dient men de boor een wat andere uitvoering te geven. Bij een proeve in deze richting is de boor zoodanig gemaakt (zie figuur 6) dat er met een zwaren hamer op geslagen kan worden. Vooral het uitdrijven van den grondcylinder uit de bus vraagt een zeer aanzienlijke kracht. Dit probleem is opgelost door een hefboom met een pal op een tandstrook te laten aangrijpen. Deze tandstrook is bevestigd aan den steel, waaraan inplaats van de klem thans een vlak plaatje is bevestigd. Dit plaatje heeft denzelfden diameter als de boorbus. Wanneer de boor met het handvat op den grond geplaatst wordt, dan kan men den hefboom, die onder aan het handvat werd bevestigd, met den voet bedienen. Door den hefboom neer te drukken wordt de stang met het vlakke plaatje met kracht tegen de grondcylinder aangedreven, en drukt men centimeter na centimeter het monster uit de bus. Omdat men verder de boor hierbij met de bus naar boven houdt, krijgt men het monster bij wijze van spreken op een blaadje gepresenteerd voor zich, daar het op het vlakke plaatje van den uitdrijver blijft staan, en wel op zoodanige hoogte boven den grond, dat men het gemakkelijk nauwkeurig van nabij kan beschouwen en verder behandelen.

Beschrijving van het vastheidsonderzoek.

Nadat op de voren beschreven wijze monsters voor structuuronderzoek zijn genomen, komt men voor de vraag te staan op welke wijze de structuur verder in cijfers vastgelegd zal worden. Naast het gebruikelijke onderzoek naar de grond-water-luchtverhouding, waarmee de porositeit wordt vastgelegd en tevens een indruk wordt verkregen omtrent de verdeeling der poriëndiameters, is vooral de vastheid van den grond van belang. De bepaling van de vastheid van den grond geschiedde tot dusverre op verschillende wijze, doch het meest algemeen was, te bepalen, welke energie noodig is voor het doen indringen in den grond van een meestal puntig gevormd lichaam. Het aantal voor dit doel geconstrueerde instrumenten is groot, doch over het algemeen bestaat de apparatuur uit een pen, die door een constanten druk of door de energie van een van constante hoogte vallend gewicht in de te onderzoeken grondlaag wordt gedreven.

De bezwaren ten aanzien van deze apparatuur zijn over het algemeen, dat er voor een deel statische weerstanden moeten worden overwonnen, doch dat voor een ander deel deze weerstanden van meer dynamischen aard zijn. Bij de pennen, welke met een min of meer constante snelheid in den grond gedrukt worden, blijkt het steeds, dat de snelheid, waarmede dit geschiedt, van zeer groot belang is, en dat vooral de invloed van het regelmatig in den grond drukken zoo groot is, dat het buitengewoon lastig is, redelijk kloppende resultaten te verkrijgen. In dit opzicht is wellicht het instrument van

Culpin nog het meest geslaagde, aangezien daarbij de voorwaarden voor een regelmatig in den grond drukken het beste verwezenlijkt zijn en de zelf-registreerende uitvoering, alhoewel niet geheel zonder bezwaren, zeer aanzienlijke voordeelen biedt [6]).

Bij de apparaten, waarbij de pen in den grond gedreven wordt door deze met een vallend gewicht in den grond te kloppen, dient men wel in het oog te houden, dat er zeer groote energieën noodig zijn voor de massaversnelling van de pen en het blok waarop gehamerd wordt, terwijl door elasticiteitsverschijnselen een vrij groote energie verloren gaat. Voorloopige onderzoekingen aan het Rijkslandbouwproefstation wezen uit, dat de hoeveelheid energie, noodig om een pen in den grond te tinmeren, tien maal zoo groot was als de energie, welke moest worden aangewend om dezelfde pen langzaam in den grond te drukken. Een eenvoudige uitvoering van deze methode, welke met een vallend gewicht werkt, vindt men in de publicaties van *Keen* [7]).

De bezwaren tegen deze met aanwending van wisselende krachten werkende methode zijn van principieelen aard en moeten vrij groot worden geacht. Het meest extreem in dit opzicht is wellicht de wijze van onderzoek, eveneens door *Culpin* toegepast, waarbij revolverkogels in den grond geschoten werden en de diepte van binnendringen van deze kogels gemeten werd. Op zulk een wijze bepaalt men feitelijk massabewegingsverschijnselen; de wrijvingsweerstanden en de onderlinge samenhang van de gronddeeltjes, waarom het hier eigenlijk gaat, zullen vermoedelijk wel een zeer bescheiden plaats in het resultaat innemen. Het instrument, dat in Nederland bij het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft in gebruik is, heeft hiertegenover zeer groote voordeelen. Bij dit toestel drukt men een conuslichaam onder invloed van een bepaald gewicht in den grond en meet de diepte van indringen bij een vrijwel geheel statischen toestand. Een dergelijk instrument werd gedurende eenigen tijd aan het Rijkslandbouwproefstation ten gebruike afgestaan, nadat bij een voorloopig onderzoek de bruikbaarheid van deze methode voor landbouwkundig werk was komen vast te staan. Bij dit voorloopige onderzoek was van een zeer eenvoudige verandering aan een gewone weegschaal gebruik gemaakt, welke bij het structuuronderzoek wellicht ook in andere omstandigheden in aanmerking kan komen, en daarom hier beschreven wordt.

Bij een gebruikelijke stevige weegschaal (zie fig. 7), welke tot tienden van grammen nauwkeurig kan wegen, werd een van de schalen afgenomen en daarvoor in de plaats aan het haakje, waaraan anders de schaal bevestigd wordt, een staafje opgehangen, waaraan onder een kegelvormig lichaam met een tophoek van 90° was bevestigd. Op dit lichaam rustte een metalen gewicht van ongeveer anderhalve kilogram. Het staafje, waaraan het puntige indringingslichaam was bevestigd, had een zoodanige lengte dat, wanneer de arm van de balans met de arrêteerinrichting in den hoogsten stand werd gebracht, er juist een structuurring onder geschoven kon worden. Wanneer van te voren de balans in evenwicht gebracht was,

---

[6]) *Culpin, C.* Studies on the relation between cultivation implements, soil structure and the crop. Journ. Agric. Sci., V. 26, blz. 22—35. '36.

[7]) *Keen, B. A.* en *Cashen, G. H.* Studies in soil cultivation. Journ. Agric. Sci., V. 22, blz. 126—134. '32.

dan zweefde de punt van den kegel boven het monster en werd door het belasten van de pen met een gewicht van 100 milligram, de punt van het indringingslichaam juist tot op den grond naar beneden gedrukt. In dezen stand werd afgelezen op welk streepje van de schaal de wijzer van de balans stond. Daarna werden achtereenvolgens gewichten van 500 milligram, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 enz.

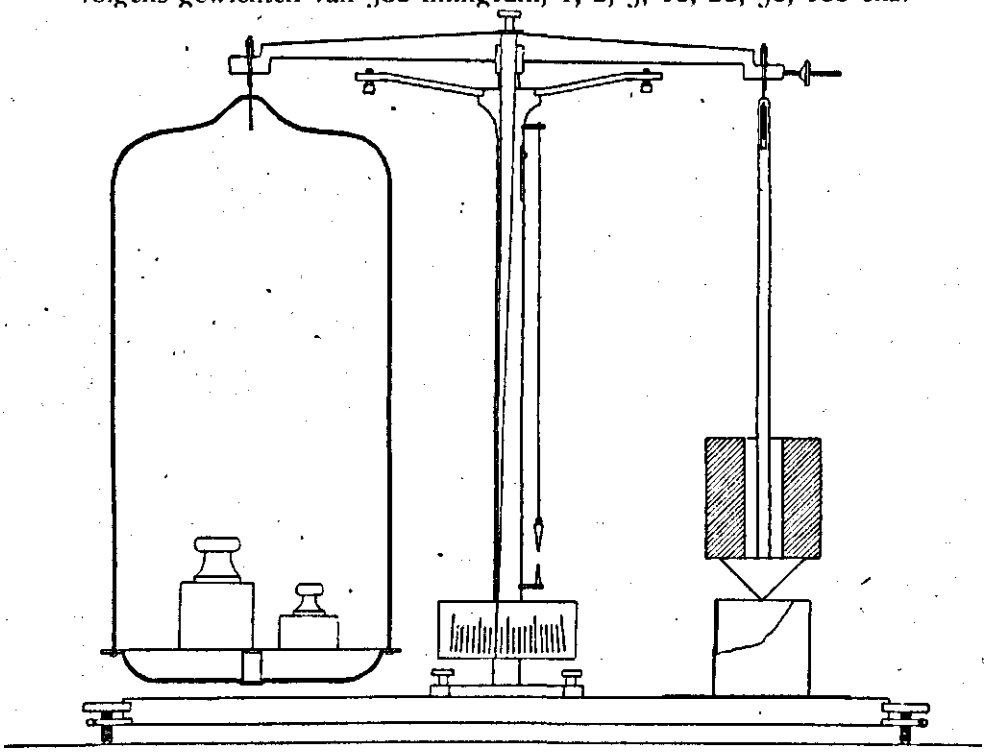

Fig. 7. Voor de indringingsproef wordt een met een zwaar gewicht belaste conus in evenwicht gehouden door gewichten. Met een gering overwicht wordt de conus op het te onderzoeken monster geplaatst, waarna door wegnemen van gewichten verdere druk wordt uitgeoefend. Aflezen van de diepte van indringing geschiedt met de naald op de schaalverdeeling.

gram van de schaal weggenomen, waardoor de pen met een steeds grooter gewicht in den grond drong. Telkens nadat een gewicht was afgenomen, werd na een oogenblik wachten de plaats van den wijzer op de schaal afgelezen. Hiermee werd voortgegaan tot de druk van anderhalf kilogram bereikt was. De aflezing van den wijzer op de schaal hangt volgens de verhouding van de lengte van den wijzer tot de lengte van den arm van de weegschaal samen met de diepte van indringen in den grond. Aangezien verder bij een conus met een hoek van 90° de straal van den cirkel, waarop de druk van de pen direct rust, gelijk is aan de diepte van indringen, hangt de druk per vierkante eenheid van oppervlak samen met het kwadraat van de aflezing op de schaal van de weegschaal.

Volgens de ervaringen van het Laboratorium voor Grondmechanica kan men bij de monsters, die daar over het algemeen volledig verzadigd in onderzoek komen, aannemen, dat er een lineaire betrekking bestaat tusschen het kwadraat van de indringing en de eerste macht van het gewicht. De vermenigvuldigingsfactor is dan een

directe maat voor den samenhang tusschen de gronddeeltjes. Ervaring met de omgebouwde weegschaal wees uit, dat bij gronden, waarbij het poriënvolume ten deele met lucht gevuld is, men van het bestaan van deze relatie niet zeker is. Teneinde te controleeren of deze kwadratische samenhang bestond, werd de logarithme van de indringingsdiepte tegen de logarithme van het gewicht uitgezet, waarbij het bleek, dat men over het algemeen behoorlijk rechte lijnen krijgt, welke echter van geval tot geval een andere helling kunnen bezitten. Nu is deze helling een directe maat voor de macht, tot welke men de indringingsdiepte verheffen moet om een lineaire betrekking te verkrijgen. De gang van zaken is nu zoo, dat eerst van een serie monsters logarithmische lijnen worden geconstrueerd en daaruit de macht wordt vastgesteld, waartoe men de indringingsdiepte moet verheffen om een lineaire betrekking te verkrijgen. Wanneer deze macht bekend is, wordt deze als wortel toegepast op de vaste gewichtstrappen, welke bij het onderzoek worden gebruikt. Op de horizontale as wordt de betreffende wortel uit het gewicht uitgezet, terwijl op de verticale as de werkelijk gemeten indringing wordt afgezet. In werkelijkheid geschiedt dit het eenvoudigste door op het papier, wanneer dit vlak wordt neergelegd, op de betreffende punten kleine kraaltjes neer te leggen, welke voor elke nieuwe serie indringingswaarnemingen verschoven worden. Nu wordt nagegaan, of de zoo verkregen punten op een rechte lijn liggen.

Opvallend is, dat het herhaaldelijk gebeurt, dat men bij kleine gewichten een stuk van een rechte lijn krijgt, waarna bij een bepaald gewicht plotseling een duidelijke sprong in de indringing van de pen optreedt, waarna een nieuwe rechte lijn zich instelt. Blijkbaar heeft men dan een zwak structuurelement wat dieper in het monster getroffen en is de stapeling van de deeltjes onder den steeds stijgenden druk op een bepaald oogenblik ineengezakt. Het begin en het einde van de lijn passen onder deze omstandigheden niet bij elkander en men kan nagaan, welke van beide lijnen het zekerst vaststaat. De totale indringing is dan niet het verschil tusschen den begin- en den eindstand van den wijzer van de weegschaal, doch men moet daarvan aftrekken de inzakking, welke onder invloed van de ineenstorting in de deeltjesstapeling is opgetreden.

Men kan de indringing bij een tevoren afgesproken druk als maat voor de stevigheid van de structuur kiezen. Bij het onderzoek van eenige honderden monsters is het gebleken, dat slechts zeer zelden curven worden gevonden, welke bij de logarithmische schaal of de daarmee samenhangende schaal ten opzichte van den druk geen rechte lijn leveren. Dit komt er dus op neer, dat binnen een groep monsters, waarbij men dezelfde helling van de logarithmische lijnen vindt en dus een gelijken machtswortel toepast, de op discontinuïteiten in de indringing gecorrigeerde samenhang met het gewicht een betrouwbaar beeld van de vastheid van de structuur geeft, en dat deze samenhang kan worden weergegeven door de indringing bij één bepaald gewicht. Bij groepen monsters, waarbij men een verschillenden wortel moet toepassen, is een directe vergelijking minder goed mogelijk. Van zeer veel belang is, dat men op deze wijze de gedragingen van de structuur ten opzichte van een gewicht van eenige honderden milligrammen, zoowel als van eenige kilogrammen, in één kenschetsend getal kan samenvatten. Dit getal geldt dus zoowel voor meer subtiele eigenschappen van de structuur als

ten aanzien van eigenschappen, die slechts door stevig aanpakken kunnen worden overwonnen.

Bespreking en samenvatting.

Het ligt in den aard van het structuuronderzoek, dat het steeds een onderzoek zal blijven, dat individueel behandeld zal moeten worden, en waarbij de monstername, zoo niet door den onderzoeker zelf, toch zeker steeds door goed geschoolde krachten zal moeten worden uitgevoerd. Bemonstering in het groot, zooals bij het chemisch grondonderzoek, zal niet spoedig tot verwerkelijking kunnen komen, en zou een omvangrijke organisatie vereischen.

Ook onder deze omstandigheden blijft het gewenscht, over snelle methoden van nemen en bewerken van monsters te beschikken, om zoodoende den tijd van de meer geschoolde hulpkrachten zoo goed mogelijk te benutten.

Het nemen van de structuurmonsters is steeds zeer bezwaarlijk, indien dit het graven van profielkuilen met zich brengt. Om dit te voorkomen werd een type boor geconstrueerd, waarmee men ofwel in een smal boorgat een structuurring kan vullen en bovenbrengen, of waarmee men een cylinder ongeroerden grond kan verkrijgen, waarin men het monster door middel van een bemonsteringsring kan nemen, nadat de kluit grond is bovengehaald. Volgens deze methode wordt er zeer weinig in het bemonsterde veld vernield, zoodat het structuuronderzoek in groeiend gewas en in proefvelden geen bezwaar oplevert. Ook voor andere doeleinden, zooals profielbeoordeeling, het nemen van wortelmonsters enz. kan deze boor goede diensten bewijzen.

Het onderzoek naar de grond-water-luchtverhouding is door het in gebruik nemen van den luchtpycnometer voldoende bevredigend opgelost. Het onderzoek naar de vastheid van den grond kan vlug en eenvoudig geschieden door de indringingsdiepte van een kegel te bepalen, welke met verschillende gewichten belast wordt. Het blijkt niet geoorloofd te zijn, den in de literatuur vermelden kwadratischen samenhang tusschen de indringingsdiepte en het gewicht ook voor in den landbouw gebruikte gronden zonder nadere controle over te nemen. Het tegen elkander uitzetten van de logarithmen van gewicht en indringingsdiepte toont aan, dat de machten wel van 2 afwijken. Door een schaal te construeeren, waarbij het gewicht, waarmede de kegel wordt belast, tot den gelijken machtswortel te verheffen is, welke bij het logarithmisch uitzetten werd gevonden, kan men op grond van een daardoor rechtlijnig geworden samenhang de stevigheid zoowel ten aanzien van zeer zwakke als van groote krachten met twee cijfers karakteriseeren, namelijk de gevonden macht en de indringing bij een willekeurig vast te stellen belasting. De bepaling is zeer eenvoudig uit te voeren met een wat veranderde weegschaal.