

HET WORTELSTELSEL DER GRAANPLANTEN BIJ ONGELLIJKE
VERDEELING DER MESTSTOFFEN IN DEN GROND

DOOR

M. A. J. GOEDEWAAGEN.

(Ingezonden 26 Mei 1933.)

In 1917 werd door GILE en CARRERO een onderzoek gepubliceerd, waarin deze schrijvers tot de conclusie kwamen, dat het voor een maximale opname van voedingszouten door de plantenwortels noodzakelijk is, dat alle wortels met de voedingsstoffen in aanraking zijn. Zij grondde deze conclusie op waterkultuurproeven met maïs en rijstplanten, die zoodanig waren opgezet, dat een gedeelte van de wortels zich bevond in een volledige voedingsoplossing, terwijl een ander deel van hetzelfde wortelstelsel in aanraking werd gebracht met een oplossing van dezelfde samenstelling, waarin op één na alle elementen aanwezig waren. Om het effect van deze gedifferentieerde voeding te kunnen beoordeelen, werden contrôleplanten met alle wortels in een volledige voedingsoplossing gekweekt, in dier voege, dat het wortelstelsel werd gescheiden in twee bundels, die beide met de volledige oplossing in aanraking werden gebracht. Deze proef bracht aan het licht, dat, wanneer slechts een gedeelte van de wortels over kalium, fosfor, stikstof of ijzer kon beschikken, er van deze elementen een geringere hoeveelheid door de plant werd opgenomen dan wanneer de gezamenlijke wortels met de volledige voedingsoplossing in aanraking waren. Wel werd er in het eerste geval door de wortels, die over de bewuste elementen konden beschikken, een grootere hoeveelheid van deze elementen opgenomen dan wanneer ook de andere wortels door een volledige voedingsoplossing waren omgeven, maar deze compensatie bleek niet toereikend te zijn, om de totale opname dezer elementen tot het maximum op te voeren.

Dit resultaat is niet alleen uit een physiologisch oogpunt belangrijk, doch ook voor de landbouwwetenschap vloeien hier belangrijke consequenties uit voort. Zoo werd door GILE en CARRERO uit de door hen verkregen resultaten de gevolgtrekking gemaakt, dat het wenschelijk is, de meststoffen zoodanig aan den grond toe te dienen, dat, zoo mogelijk, alle wortels in staat worden gesteld, de voedingszouten uit den grond op te nemen.

(1) A. 243.

15968

Daar de diffusie der zouten in den grond in horizontale richting gering is, werd door de schrijvers geadviseerd, de meststoffen gelijkmatig in den grond te verdeelen, teneinde een maximale opname der voedingszouten mogelijk te maken.

Onwillekeurig rijst de vraag, of het wel verantwoord is, de resultaten van deze waterkultuurproeven op de omstandigheden in den grond over te dragen. Wij dienen hierbij te bedenken, dat de voedingsstoffen in de proeven van GILE en CARRERO kunstmatig aan een deel der wortels werden onthouden, terwijl daarentegen in den grond een vrije ontwikkeling van het wortelstelsel naar alle zijden mogelijk is. Het is verder een bekend feit, dat de plantenwortels in de vruchtbare gedeelten van den grond zich in het algemeen sterker vertakken dan in de onvruchtbare. Men zou zich kunnen voorstellen, dat de plant hierdoor in staat wordt gesteld, tegemoet te komen aan de bezwaren, die er voor haar aan een ongelijke verdeling der meststoffen in den grond verbonden zijn.

Dit heeft ons aanleiding gegeven, eenige proeven te nemen met haverplanten, die gekweekt werden in fosfaatarmen grond, waaraan de fosforzure meststof plaatselijk werd toegediend. Het fosfaat werd gegeven in den vorm van fosforzure voederkalk, dat in geringe mate oplosbaar is, en derhalve het voordeel had, dat aan een verplaatsing van het fosforzuur niet behoefde te worden gedacht. Met het gebruik van deze meststof werd een toestand geschapen, die in principe overeenkwam met dien in de waterkulturen van GILE en CARRERO, waar tusschen de volledige en de onvolledige voedingsoplossing elke mogelijkheid van uitwisseling was buitengesloten. Door ons werd echter opzettelijk geen scheiding aangebracht tusschen het volledig bemeste en het onvolledig bemeste gedeelte van den grond, om de wortels gelegenheid te geven, zich naar alle kanten vrij te ontwikkelen. Deze situatie komt dus overeen met den toestand, dien men op een akker bij plaatselijke toediening van de meststof zou aantreffen.

Er werden door ons twee proeven genomen, waarvan we hieronder een beschrijving laten volgen.

1e proef („afstandsproef”. Plaatselijke toediening van de fosforzure meststof in den grond. Planten op ongelijken afstand van de grens tusschen het fosfaatrijke en het fosfaatarme gedeelte).

Haverplanten werden gekweekt in een zestal diepe, smalle kisten met geperforeerden bodem, die gevuld waren met heidegrond, die zeer fosforzuurbehoefstig was, doch waarvan vóór het vullen der kisten een derde gedeelte rijkelijk met fosforzure voederkalk was bemest. De bemesting bedroeg 0,2 g P_2O_5 per kg luchtdrogen grond. Voor zoover een vergelijking tusschen zoo verschillende kultuuromstandigheden mogelijk is, kwam deze bemesting overeen

met die van 1 kg grond in een akker, waarin per ha circa 400 kg P_2O_5 gelijkmatig in den grond was verdeeld tot een diepte van 20 cm, gesteld dat het volumegewicht van den drogen grond 1 bedroeg. Zoowel de met fosfaat bemeste als de niet daarmee bemeste grond werden voorzien van 0,2 g natronsalpeter, 0,17 g K_2SO_4 , 0,10 g $MgSO_4$ en 0,04 g $CuSO_4$ per kg luchtdrogen grond. Verder werd er per kg grond 10 g kalkmergel toegevoegd, die de pH van dezen zuren grond deed stijgen tot 7,2.

De kisten, die 1 m diep, 0,60 m lang en 0,20 m breed waren, werden in den grond ingegraven en over een lengte van 0,20 m tot den bodem toe gevuld met volledig bemesten, dus fosfaatrijken grond, terwijl zij overigens met den P_2O_5 -armen grond werden gevuld.

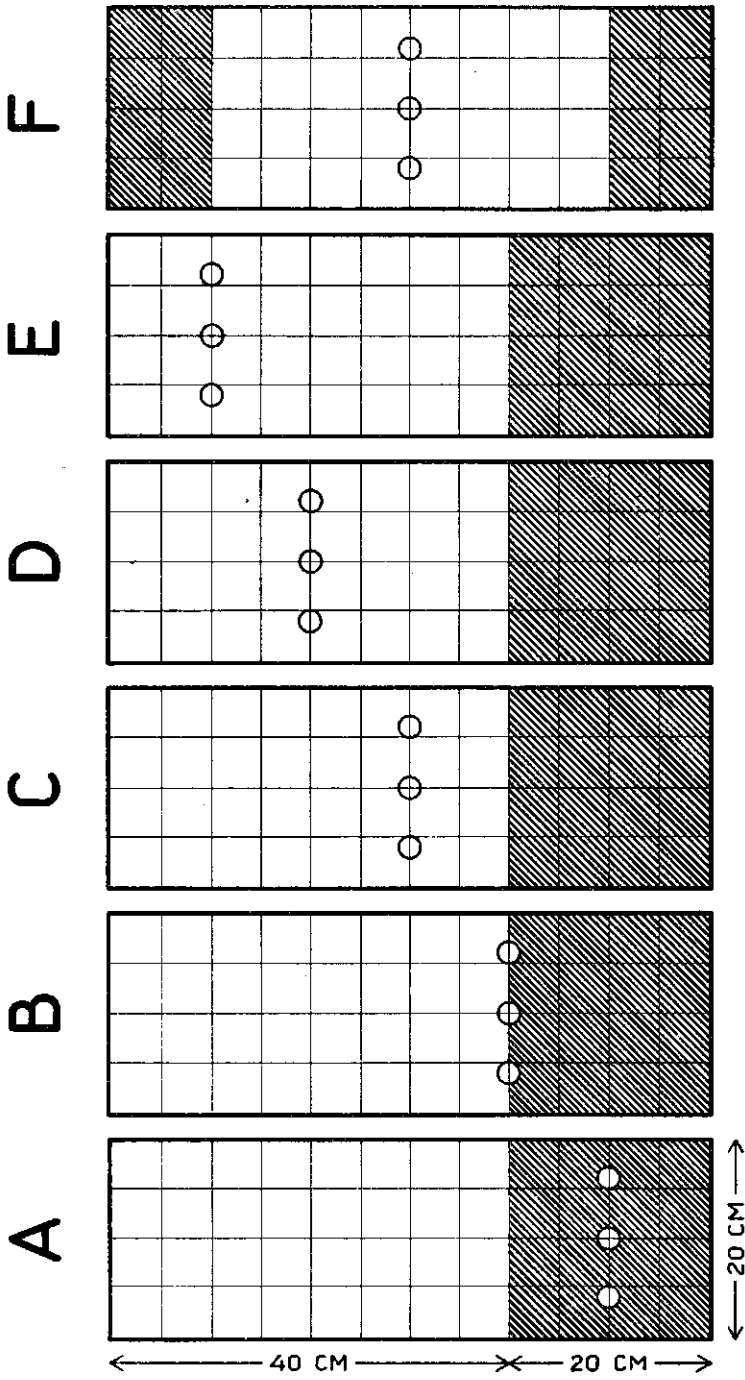
Hierbij werd als volgt te werk gegaan:

Een dunne plank van triplex-hout, die 1,25 m lang en 0,20 m breed was, werd vertikaal in de nog leege kist geplaatst, en wel evenwijdig aan de korte zijwanden der kist en op een zoodanigen afstand daarvan, dat de ruimte in de kist in twee gedeelten werd verdeeld, die zich verhielden als 1:2. De volledig bemeste grond werd in luchtdrogen toestand in de kleinste ruimte gestort, terwijl het gedeelte aan den anderen kant van de plank tegelijkertijd met den drogen, fosfaatarmen grond werd gevuld. Zoodra de kisten gevuld waren, werd de plank eruit getrokken. Er werden vijf kisten op deze wijze gevuld. Bij de zesde kist werd de fosfaatarme grond, die wederom $\frac{2}{3}$ gedeelte van de kist in beslag nam, niet slechts aan één zijde, doch aan weerskanten door den volledig bemesten grond begrensd.

Nadat het eenige malen flink geregend had en de grond voldoende vocht had opgenomen, werden op 7 Juli 1932 in elke kist drie op het oog gelijke korrels van Svalöfs sterhaver op een diepte van 2,5 cm en op een onderlingen afstand van 6 cm gepoot, en wel zoodanig, dat de planten na het opkomen een rij vormden, die loodrecht gericht was op de lange zijde van de kist (fig. 1, pag. 346).

In de eerste kist, die wij met A hebben aangeduid, werden de korrels midden in het volledig bemeste gedeelte gezaaid, dus op 10 cm afstand van den fosfaatarmen grond. In kist B werd gezaaid op de grens van den fosfaatrijken en den onvolledig bemesten grond. In de overige kisten (C t/m F) werden de zaden in het onbemeste gedeelte gepoot en wel telkens op een anderen afstand van den grond, die met fosforzure voederkalk was bemest (vgl. fig. 1).

De plantjes kwamen in de diverse kisten zeer gelijkmatig op. Eenige weken na het zaaien werd waargenomen, dat de planten in de kisten A en B een voorsprong hadden gekregen boven die der andere kisten. Toen het derde blad te voorschijn kwam, traden er bij de planten in de kisten C t/m F ver-



(4) A. 246.

FIGUR 1. Opstelling van de 1e proef.

De kisten van boven gezien. In het gearceerde gedeelte is de grond tot den bodem der kisten met P_2O_5 bemest (0,2 g P_2O_5 per kg grond = circa 400 kg P_2O_5 per ha).

Met de cirkeltjes is de plaats der planten aangegeven.

schijnselen van fosforzuurtekort op. Dit openbaarde zich in een dofbruine verkleuring van het eerste blad, die bij de top begon en zich geleidelijk naar de basis uitbreidde. Bij sommige planten werd dit verschijnsel kort daarna ook bij het tweede blad waargenomen. Tot het einde van de vierde week kwam het fosforzuurtekort in de genoemde kisten in gelijke mate tot uiting, hetgeen het vermoeden wettigde, dat de wortels zelfs in de kist C na verloop van vier weken den met P_2O_5 bemesten grond nog niet hadden bereikt. Daarna trad er echter een verandering in. De C-planten kregen in deze periode een voorsprong boven de planten in D, E en F, die toen nog geen verschil in groei te zien gaven. Daar de planten in C, D, E en F resp. 10, 20, 30 en 20 cm van den fosfaatrijken grond waren verwijderd, kon hieruit worden afgeleid, dat de wortels in kist C in de vijfde week den P_2O_5 -rijken grond hadden bereikt, terwijl de planten in de andere kisten hierin op dit tijdstip nog niet waren geslaagd. Inmiddels had het gewas in de kisten A en B zich krachtig ontwikkeld. Door de sterke uitstoeling en door hunne breede bladen staken deze planten zeer gunstig af bij die der overige kisten. De B-planten bleven echter in deze periode achter bij de planten in kist A; een verschil, dat zich nadien meer en meer heeft geaccentueerd. Zeer opmerkelijk was, dat de planten in kist E na eenigen tijd een voorsprong kregen boven die in D en F. Dit verwonderde temeer, daar juist deze planten het verst van het fosfaat waren verwijderd. Wij zullen verderop zien, dat het wortelstelsel ons een verklaringmogelijkheid voor deze afwijking aan de hand heeft gedaan. Een andere merkwaardigheid was, dat de planten in kist F na de 8e week een zijas gingen vormen, die door de breede, forsche bladen sterk in het oog viel. Hoewel deze planten kleiner bleven dan die in E, was toch duidelijk te zien, dat zij er in dit vergevorderde stadium van ontwikkeling nog in geslaagd waren, den fosfaatrijken grond te bereiken. Daarentegen was hiervan in kist D weinig te bespeuren, niettegenstaande de planten in deze kist eveneens op een afstand van 20 cm van den volledig bemesten grond waren verwijderd. Wel kwam er ook bij deze planten een zijas met bredere bladen tot ontwikkeling, maar dit gaf nauwelijks tot een vermeerdering in groei aanleiding. Tot op den dag van den oogst bleven de D-planten in groei achter bij de planten in kist E, alhoewel de uitstoeling bij de laatstgenoemde planten geheel achterwege is gebleven.

Bij den oogst kwam duidelijk aan het licht, dat deze verschijnselen met de ontwikkeling van het wortelstelsel verband hebben gehouden.

De oogst had plaats op den 8en October, toen de planten nog in vollen bloei stonden. Om het wortelstelsel te kunnen bestudeeren, werd de „naaktenmethode” van ROTMISTROFF (1908) toegepast, die in 1918 door MASCHHAUPT in de Verslagen der Rijkslandbouwproefstations is aangeprezen en ook later bij een onderzoek over het wortelstelsel van mosterdplanten goede resultaten

heeft gegeven (GOEDEWAAGEN 1932). Deze methode komt in het kort hierop neer, dat de wortels bij het uitspoelen van den grond op hun plaats worden gehouden, doordat vooraf een aantal naalden in den grond wordt gedrukt. Op deze wijze is het mogelijk, een natuurgetrouw beeld te verkrijgen van den habitus van het wortelstelsel en van de uitbreiding daarvan zoowel in horizontale als in vertikale richting.

Nadat de planten vlak bij den grond waren afgesneden en naar het laboratorium waren gebracht, om gedroogd en gewogen te worden, werden de kisten uitgegraven en plat op den grond gelegd. Van elke kist werd de naar boven gekeerde zijwand verwijderd, en vervangen door een plank van dezelfde grootte, waarop tevoren een groot aantal naalden ter lengte van 15 cm waren geplaatst, die rechtstandig in den grond werden gedrukt, tot ze daarin geheel waren verdwenen. Daarna werd de kist omgekeerd, zoodat de plank onder kwam te liggen en de naalden in de „kluit” omhoog gericht waren. In dezen stand werd de kist overgebracht in een grooten bak, die zoover met water werd gevuld, dat zij geheel onder water kwam te liggen. Nadat de grond goed doorweekt was en de kist, waarmee de grond bedekt was, was weggenomen, werd met het spoelen een aanvang gemaakt. Hierbij werd behoudens een enkele vereenvoudiging op dezelfde wijze tewerk gegaan als door mij in 1932 in de publicatie over het wortelstelsel der mosterdplanten is beschreven.

Omtrent de rangschikking der naalden op de plank dient nog gezegd te worden, dat deze in overlangsche rijen werden geplaatst en wel zoodanig, dat zoowel de rijenafstand als de afstand der naalden *in* de rijen 5 cm bedroeg. Hierdoor werd het tijdens het spoelen voor de wortels onmogelijk gemaakt, meer dan 5 cm van hun plaats te geraken. In een drietal rijen werd het aantal naalden verdubbeld, zoodat zij slechts $2\frac{1}{2}$ cm van elkaar waren verwijderd. Dit was het geval bij de middelste naaldenrij en bij de beide rijen, die aan weerskanten daarvan 10 cm van de mediane rij waren verwijderd. Eén van deze rijen bevond zich dus juist op de grens van het fosfaatrijke en het fosfaatarme gedeelte van den grond. Hiermee werd een goede afscheiding tot stand gebracht tusschen de wortels, die zich in het middelste gedeelte van de kist en die zich aan weerszijden daarvan bevonden. Alleen in kist F werden de „dichte” rijen zoodanig geplaatst, dat twee ervan aan weerskanten van de middelste rij samenvielen met de grens tusschen het onvolledig bemeste en de beide volledig bemeste gedeelten van den grond. Op deze wijze werd ook in kist F verhinderd, dat er bij het spoelen wortels uit het fosfaatarme gedeelte in de fosfaatrijke strooken zouden geraken of omgekeerd.

Zoodra de grond was weggespoeld, werden de wortels met naalden en al op de plank in een platte zinken bak onder water gefotografeerd. Om hiervoor een goeden achtergrond te verkrijgen, werd de plank vóór het gebruik dof-

zwart geverfd. Dank zij de regelmatige plaatsing der naalden in rijen en op onderling gelijke afstanden kon op de foto's een beter inzicht worden verkregen in den topographischen bouw van het wortelstelsel dan wanneer de naalden waren verwijderd. Ook konden de overeenkomstige deelen van de wortelstelsels in de diverse kisten hierdoor gemakkelijker met elkaar worden vergeleken.

Onmiddellijk na het fotografeeren werd de zinken bak voorzichtig leeggeheveld; daarna werden de naalden uit de plank getrokken en het wortelstelsel met een vlijmscherp mes in rechthoekige vakken verdeeld. Daartoe werd het eerst overlans in vier strooken gescheiden, waarvan er twee — ter breedte van 10 cm — mediaan waren gelegen, terwijl de beide andere strooken zich aan weerszijden daarvan bevonden en 20 cm breed waren. Eén van deze strooken kwam dus overeen met het volledig bemeste gedeelte van den grond in de kist. Bij de wortels in kist F werden de middelste strooken 20 cm breed, de beide andere 10 cm breed genomen in verband met de afwijkende localisatie van het fosfaat in deze kist. Vervolgens werden de wortelstelsels in alle kisten over de geheele breedte in dwarse strooken verdeeld, die overeenkwamen met opeenvolgende bodemlagen in de kist van resp. 0—10, 10—50 en 50—100 cm. Zodoende werd dus de geheele wortelmasse gescheiden in rechthoekige vakken, die — naar gelang ze tot de laag van 0—10, 10—50 of 50—100 cm hadden behoord — met de cijfers I, II en III werden onderscheiden, terwijl met de letters a, b, c en d werd aangegeven, van welke overlansche strook de onderscheidene vakken deel hadden uitgemaakt ¹⁾.

De wortels van de diverse „vakken” werden in platte schalen met water gelegd, teneinde de laatste verontreinigingen te verwijderen. Het gelukte hierbij niet, de wortels geheel van de aanhangende zanddeeltjes te bevrijden. Om het drooggewicht der wortels vrij van zand te kunnen bepalen, werd daarom als volgt tewerk gegaan:

De verschillende porties wortels werden bij 105° C tot constant gewicht gedroogd en gewogen, en vervolgens in porceleinen kroesjes verascht. Daarna werden de aschbestanddeelen der wortels in sterk zoutzuur opgelost, waaraan een kleine hoeveelheid $KClO_3$ werd toegevoegd, om ook het moeilijk oplosbare ijzeroxyd in oplossing te doen gaan. De inhoud der kroesjes werd vervolgens quantitatief overgespoeld in bekeerglazen, waarin het zand door dekantteering werd gescheiden van de opgeloste asch en van het kiezelzuur, dat in de wortels aanwezig is geweest. Het zand werd daarna gedroogd en gewogen en dit gewicht afgetrokken van het oorspronkelijke drooggewicht der wortels. Het gewichtsverschil kwam uiteraard overeen met het drooggewicht der

¹⁾ Een woord van dank dient hier gebracht te worden aan den heer H. J. ENGELKES voor de toewijding, waarmee hij aan dit onderzoek heeft medegewerkt.

wortels met inbegrip van de aanhangende humus. Daar het gehalte aan organische stof in den door ons aangewenden heidegrond blijkens gloeiverliesbepalingen slechts 5% bedroeg en de talrijke in de wortels achtergebleven mosplantjes, half vergane heideworteltjes en andere verontreinigingen na het spoelen zorgvuldig werden verwijderd, werd het niet noodig geoordeeld, voor de humus een correctie aan te brengen.

Resultaten en gevolgtrekkingen.

Na den oogst bleek, dat het gewicht van de gezamenlijke wortels het grootst was in kist A. De foto, die van dit wortelstelsel werd gemaakt, is in fig. 3 afgebeeld. De andere foto's zijn niet in deze verhandeling opgenomen, daar bij de reproductie daarvan een te kostbaar procédé werd vereischt, om de details, in het bijzonder die van het armelijk ontwikkelde wortelstelsel in de kisten D, E en F, voldoende tot hun recht te laten komen. We hebben daarom van alle wortelfoto's een schetsmatige teekening gemaakt, die een betrouwbaar overzichtsbeeld geeft van de vertakking en den diepgang van het wortelstelsel en van de massa-verhouding der wortels in de verschillende „vakken" naar gelang van de fosfaatbemesting. Deze teekeningen zijn in de figuren 4 t/m 9 afgebeeld¹⁾.

De invloed van de fosforzuurbemesting op de ontwikkeling van het wortelstelsel is in deze figuren duidelijk zichtbaar. Bovendien blijkt deze invloed ondubbelzinnig uit de tabellen 2 t/m 7, waarin de drooggewichten van de wortels in de verschillende vakken zoodanig zijn opgegeven, dat ze met de figuren 4 t/m 9 gemakkelijk kunnen worden vergeleken.

De vetgedrukte getallen, die in deze tabellen onderaan zijn geplaatst, hebben betrekking op het totale gewicht der wortels in de verschillende overlansche strooken, terwijl aan den rechter kant het gewicht der wortels in de diverse horizontale lagen met vette cijfers is opgegeven.

In tabel I op pag. 355 zijn de drooggewichten der bovengrondsche deelen en die der gezamenlijke wortels samengevat. Bovendien is in deze tabel het gewicht van de wortels in het fosfaatarme gedeelte van den grond in procenten van het totale wortelgewicht opgegeven, terwijl daarin tevens de „wortelwaarde" der planten is vermeld.

De wortelwaarde — een begrip, dat door BOONSTRA (1931) is ingevoerd — wordt uit het gewicht der wortels berekend, door dit te deelen op het gewicht der spruiten. Het quotiënt geeft aan, hoeveel grammen er aan bovengrondsche deelen per gram wortels zijn geproduceerd, of wel, hoeveel grammen bovengrondsche deelen door 1 gram wortels van water en voedingszouten kunnen

¹⁾ De oorspronkelijke foto's zijn op het Rijkslandbouwproefstation te Groningen te bezichtigen.

worden voorzien. Door BOONSTRA werd de wortelwaarde als een goede maatstaf beschouwd, om de „doelmatigheid” van het wortelstelsel bij verschillende variëteiten van eenzelfde plantensoort te vergelijken. In zijn proeven over het wortelstelsel van erwtenvariëteiten is de betekenis van de wortelwaarde als maatstaf voor de „doelmatigheid” van het wortelstelsel duidelijk aan het licht gekomen, doordat hij kon aantonen, dat er tusschen de wortelwaarde en de zaadopbrengst dezer variëteiten een positieve correlatie bestond. Bijna gelijktijdig werd door KULESCHA (1931) op Java bij een en dezelfde suikerrietsoort, die op verschillende grondsoorten werd verbouwd, een soortgelijk verband vastgesteld tusschen de opbrengst aan „spruiten” en de wortelwaarde (door KULESCHA de „wortelfactor” genoemd). Er bestond dus voor ons alle aanleiding, om aan de wortelwaarde bijzondere aandacht te schenken.

Wanneer we de figuren 4 t/m 9, waarin de diverse wortelstelsels zijn afgebeeld, nader beschouwen, dan kan daaraan het volgende worden opgemerkt: In kist A is het wortelstelsel in den fosfaatrijken grond aanmerkelijk sterker ontwikkeld en rijker vertakt dan in den fosfaatarmen grond. Hoewel minder duidelijk, kan hetzelfde worden waargenomen in kist B (fig. 5), waar de planten juist op de grens van den volledig bemesten en den fosfaatarmen grond hebben gestaan. Opmerkelijk is, dat deze planten talrijke, krachtige wortels in den $P_2 O_5$ -armen grond hebben uitgezonden, al zijn deze wortels ook minder vertakt dan die in de volledig bemeste zône.

Een tamelijk rijk wortelstelsel treft men ook aan in kist C, zoowel in het fosfaatrijke als in het fosfaatarme gebied (fig. 6). Evenals in de kisten A en B zijn de wortels in het fosfaatrijke gebied meer vertakt dan in het fosfaatarme, doch deze vertakking gaat hier minder diep. Hoewel verscheidene wortels tot den bodem van de kist reikten, ging de vertakking in het volledig bemeste gedeelte in het algemeen niet veel dieper dan circa 50 cm. In kist D (fig. 7), waarin de planten 20 cm van het fosfaat waren verwijderd, hadden slechts twee wortels het vruchtbare gebied bereikt. Zoowel in het aantal wortels als in de mate der vertakking staat het wortelstelsel van deze planten ver achter bij die in de kisten A, B en C. Hetzelfde geldt ook voor kist E, waar geen enkele wortel kans heeft gezien, de volledig bemeste strook te bereiken. In de kisten D en E doet zich verder het merkwaardige verschijnsel voor, dat het meerendeel der wortels naar één kant is afgebogen. Duidelijk is dit ook in de gewichten der wortels in de diverse strooken dezer kisten tot uiting gekomen. Zoo zien we in tabel 5, dat de d-strook in kist D een veel grooter gewicht aan wortels heeft opgeleverd dan de b- en de c-strook tezamen.

Het is niet onwaarschijnlijk, dat de verklaring van dit verschijnsel gezocht moet worden in het feit, dat de grond zich in luchtdrogen toestand bevond, toen de kisten hiermee werden gevuld. Bij proeven in potten, die met lucht-

drogen grond waren gevuld, werd reeds eerder op het Proefstation de ervaring opgedaan, dat het regenwater de neiging heeft, voor een deel langs de randen der potten weg te zakken.

In weerwil van de ongelijke verdeling van het fosfaat in den grond hebben zich overigens geen „chemotropische” verschijnselen bij de wortels voorgedaan. Met een enkelen blik op de figuren 4 t/m 9 is reeds te zien, dat er van een afwijken der wortels in de richting van het fosfaat nergens sprake is geweest. Wel blijkt uit deze figuren heel duidelijk, dat de wortels zich sterk zijn gaan vertakken, nadat ze met de fosforzure meststof in aanraking waren gekomen. Bijzonder frappant is dit in fig. 7, waar deze vertakking, op de grens af, tot het fosforzuurrijke gedeelte van den grond beperkt is gebleven.

Zowel in het verloop als in de vertakking der wortels hebben we dus een duidelijk aanwijzing, dat het fosforzuur zich in den grond niet in horizontale richting heeft verplaatst.

In kist F (fig. 9) is het wortelstelsel sterker ontwikkeld dan de opbrengst der bovengrondsche deelen zou doen vermoeden. Aan beide kanten hebben deze wortels de met P_2O_5 bemeste zône bereikt. Het is verder heel opvallend, dat de wortels zich ook in het mediane, fosfaatarme gedeelte sterk hebben ontwikkeld. De vertakking van het wortelstelsel is in dit gedeelte van de kist zelfs tot een diepte van circa 25 cm vrij aanzienlijk geweest.

Doordat wij den groei der bovengrondsche deelen vanaf de kieming tot aan den oogst nauwkeurig hebben nagegaan, kunnen we ons een voorstelling maken van de wijze, waarop het wortelstelsel in de verschillende kisten tot ontwikkeling is gekomen. Daartoe dienen we ons echter eerst goed rekenschap te geven van hetgeen er in het algemeen omtrent de ontwikkeling van het wortelstelsel bij Gramineëen bekend is.

Bij de vertegenwoordigers van deze plantenfamilie komen bij de kieming eerst de hoofdwortel en bijna gelijktijdig de kiembijwortels tot ontwikkeling. Deze laatste zijn zowel morphologisch als anatomisch aan den hoofdwortel gelijkwaardig (ZIJLSTRA 1922, GOEDEWAAGEN en ZIJLSTRA 1925). Tezamen met den hoofdwortel, die niet, zooals men vroeger meende, na eenigen tijd afsterft, vormen zij een kleinen bundel dunne, draadvormige, in den regel rijk vertakte wortels, die zich slechts weinig in horizontale richting uitbreiden. In navolging van andere onderzoekers (WEAVER 1926) zullen wij den hoofdwortel en de kiembijwortels tezamen de *primaire wortels* noemen, ter onderscheiding van de later uit de basale halmknoopen ontspringende, dikkere en talrijkere *secundaire* wortels, die in de plantenmorphologie onder den naam „kroonwortels” bekend staan.

De groei der primaire wortels wordt behalve door de opname van water uit den grond en door andere oorzaken mogelijk gemaakt, doordat er in de

graankorrel organische stoffen voorhanden zijn. Tijdens de kieming gaat een gedeelte van deze reservestoffen door ademhaling verloren, terwijl een ander deel gebruikt wordt voor den opbouw van de primaire wortelbundel en voor de vorming van de eerste bovengrondsche organen.

Voorloopig wordt er aan de vorming der wortels de meeste zorg besteed, zoodat de plant gelegenheid krijgt, voedingszouten uit den grond op te nemen, die de koolzuurassimilatie der bovengrondsche organen helpen mogelijk maken. Zijn de elementen, die de plant voor hare voeding noodig heeft, onvoldoende in den grond beschikbaar, dan blijven de planten klein, om bij absoluut gebrek aan deze elementen zelfs geheel te gronde te gaan.

Na eenigen tijd komen de „secundaire” wortels tot ontwikkeling, terwijl bovengronds de uitstoeling een aanvang neemt. In tegenstelling met de primaire wortels ontwikkelen de kroonwortels zich aanvankelijk meer in horizontale richting, om pas later meer vertikaal omlaag te groeien. Is de grond vruchtbaar, dan worden er meer kroonwortels gevormd dan wanneer de bemestingstoestand van den grond ongunstig is. Bovendien zijn de kroonwortels in het eerste geval aanmerkelijk dikker. Dit is begrijpelijk, daar er door de planten, die in vruchtbaren grond groeien, meer koolzuur wordt geassimileerd en er dus voor de vorming der kroonwortels meer organische stof beschikbaar is.

In overeenstemming met het bovenstaande hebben wij gezien, dat de planten in de kisten A en B, die onmiddellijk profijt konden trekken van het fosfaat, al spoedig een voorsprong kregen boven de planten in de andere kisten. Daarentegen heeft het eenigen tijd geduurd, vóór de planten in kist C die van D, E en F in groei gingen overtreffen. Naar alle waarschijnlijkheid vond dit zijn oorzaak in de geringe horizontale uitbreiding van de primaire wortelbundel. Het ligt voor de hand, dat de planten in kist C van het fosforzuur pas profijt konden trekken, nadat een deel der secundaire wortels den volledig bemesten grond had bereikt. Aangenomen mag worden, dat deze wortels talrijke zijwortels hebben gevormd, zoodra zij met den fosfaatrijken grond in aanraking kwamen. We behoeven hiertoe slechts te verwijzen naar de vertakking der kroonwortels in kist D, voor zoover deze kans hebben gezien, den fosfaatrijken grond te bereiken (fig. 7). Het is verder zeer plausibel, dat deze vertakking een verhoogde fosfaatopname tengevolge heeft gehad, en dat daarvan een gunstige invloed op de koolzuurassimilatie is uitgegaan, die op haar beurt weer tot de vorming van nieuwe kroonwortels aanleiding heeft gegeven. Opmerking verdient nog, dat er blijkens de figuren 4 t/m 9 ondanks de eenzijdige localisatie van het fosfaat naar beide kanten nagenoeg evenveel kroonwortels door de planten zijn gevormd. Wanneer wij tenslotte de figuren 6 en 9 vergelijken met fig. 8, waar het wortelstelsel niet met het fosfaat in aan-

raking is geweest, dan blijkt, dat de kroonwortels in de kisten C en F dank zij den gunstigen invloed van het fosfaat op den groei der bovengrondsche organen een vrij sterke vertakking hebben ondergaan, ook in het onvruchtbare gedeelte van den grond.

Onwillekeurig is men geneigd, te veronderstellen, dat de sterke uitbreiding van het wortelstelsel in den fosfaatarmen grond nadeelig is geweest voor den groei der bovengrondsche deelen, omdat er voor de vorming van deze schijnbaar „onproductieve” wortels organische stoffen aan de assimileerende organen zijn onttrokken. Toch is het zeer de vraag, of de wortels in den onvruchtbaren grond wel zoo nutteloos voor de plant zijn geweest, als men op het eerste gezicht zou denken. Het onderzoek van GILE en CARRERO (1917) heeft aan het licht gebracht, dat de aanwezigheid der wortels in het fosfaatvrije voedingssubstraat tengevolge heeft, dat er door de wortels, die met het volledig bemeste substraat in aanraking zijn, aanmerkelijk meer fosforzuur wordt opgenomen, al blijft ook de totale hoeveelheid fosfaat, die in dat geval opgenomen wordt, beneden de waarde, die bereikt wordt, wanneer alle wortels in het fosfaatrijke substraat zijn gelocaliseerd. Zoo wordt dus het tekort aan voedingsstoffen, dat er voor de plant kan ontstaan, doordat de meststoffen plaatselijk aan den grond worden toegediend, door de plant zelf gedeeltelijk gecompenseerd. Trouwens, bij nauwkeurige bestudeering van het onderzoek der genoemde auteurs blijkt, dat de vermindering in de opname der zouten niet altijd tot een achteruitgang in groei aanleiding behoeft te geven; hetgeen begrijpelijk is, daar de plantengroei pas gaat afnemen, wanneer de zoutopname beneden een zeker minimum daalt (HOAGLAND 1919). Het is zelfs denkbaar, dat de wortels in den onvruchtbaren grond in zeker opzicht voor den plantengroei rechtstreeks nuttig zijn geweest. In de kisten A en B viel het op, dat deze wortels een grootere diepte hebben bereikt dan de wortels in het fosfaatrijke gedeelte van den grond. Dit doet de vraag rijzen, of er in deze kisten aan de planten niet meer water is toegevoerd dan het geval geweest zou zijn, indien de wortels zich alle minder diep in den volledig bemesten grond hadden uitgebreid. Tenslotte moet nog aan den invloed van de andere meststoffen worden gedacht. Het spreekt vanzelf, dat de wortels in den fosfaatarmen grond aan de opname van deze zouten een belangrijk aandeel hebben gehad. Daar echter de grond tot den bodem toe rijkelijk van deze meststoffen werd voorzien, lijkt het me niet waarschijnlijk, dat er van deze zouten een limiteerende invloed op den groei zou zijn uitgegaan, indien de wortels *alle* in het fosfaatrijke gedeelte van den grond tot ontwikkeling waren gekomen.

Hoewel het dus a priori niet toelaatbaar is, aan de wortels in het onvruchtbare gedeelte van den grond alle beteekenis voor de voeding van de plant te onzeggen, lijkt me toch de onderstelling niet te gewaagd, dat deze wortels,

hoe dan ook, tot een vertraging in den groei der bovengrondsche deelen aanleiding hebben gegeven.

Met deze veronderstelling zijn de getallen in tabel I in overeenstemming.

TABEL I.

Samenvatting der resultaten 1e proef.

	Droog- gewicht der spruiten in g (3 planten).	Droog- gewicht der wortels in g (3 planten).	Droog- gewicht der wortels in P ₂ O ₅ - rijken grond in g (3 planten).	Droog- gewicht der wortels in P ₂ O ₅ - armen grond in g (3 planten).	Gewichts- percentage der droge wortels in den P ₂ O ₅ -armen grond.	Wortel- waarde.
A	29,05	3,058	2,427	0,631	21 %	9,5
B	15,98	1,906	1,159	0,747	39 %	8,4
C	8,54	2,052	0,972	1,080	53 %	4,2
D	1,44	0,427	0,040	0,387	90 %	3,4
E	1,80	0,274	0	0,274	100 %	6,6
F	2,43	0,774	0,166	0,608	78 %	3,1

Deze tabel doet ons zien, dat de vermindering in het gewicht der spruiten in de kisten A, B en C gepaard is gegaan met een toeneming van het gewichtspercentage der wortels in het onvruchtbare gedeelte van den grond, maar tevens, dat de wortelwaarde met de opbrengst aan bovengrondsche deelen is afgenomen.

In dit verband is het ook opmerkelijk, dat het spruit-wortelquotient in de kisten D en F aanmerkelijk kleiner is gevonden dan in kist E. Redelijkerwijs mag worden verondersteld, dat de wortelwaarde in deze kisten aanvankelijk gelijk is geweest. Naar alle waarschijnlijkheid is hierin verandering gekomen, nadat een deel der wortels in de kisten D en F het fosfaatrijke gebied hadden bereikt. Het vermoeden ligt voor de hand, dat dit tot een vermeerdering van de koolzuurassimilatie aanleiding heeft gegeven, en dat een betrekkelijk groot gedeelte van de gevormde assimilaten gebruikt is voor de vorming van nieuwe wortels. In overeenstemming met dezen gedachtengang werd het gewicht der wortels in de kisten D en F bij den oogst aanmerkelijk grooter gevonden dan in kist E (tabel 1).

Wellicht moet hierin tevens de verklaring worden gezocht van het merkwaardige feit, dat de planten in kist E ondanks hun grooten afstand tot den

fosfaatrijken grond een tijd lang de D- en F-planten in groei hebben overtroffen. Hoewel de CO_2 -assimilatie bij de D- en F-planten in die periode misschien groter is geweest dan bij de planten in E, is het zeer waarschijnlijk, dat de drooggewichtsvermeerdering van de spruiten der eerstgenoemde planten, in verband met den krachtigen wortelgroei, bij die in kist E een tijd lang heeft achtergestaan. Uit het geringe gewicht van de geoogste spruiten der D-planten blijkt verder, dat deze planten niet in staat zijn geweest, den achterstand in te halen, waarschijnlijk doordat de hydrotropische kromming, waaraan het wortelstelsel dezer planten onderhevig is geweest, hen belet heeft, meer wortels met het fosfaat in aanraking te brengen (fig. 7). Daarentegen zijn de F-planten er bovengronds tenslotte in geslaagd, de spruiten der E-planten in gewicht te overtreffen, dank zij de omstandigheid, dat deze planten aan beide zijden over het fosfaat hebben kunnen beschikken. Dit neemt niet weg, dat het gewicht van de bovengrondsche deelen der F-planten bij den oogst toch zeer gering bleek te zijn in vergelijking met het gewicht der ondergrondsche organen.

Vatten we de resultaten van deze proef nog eens kort samen, dan kan gezegd worden, dat de groei der planten in de diverse kisten zeer ongelijk is geweest en dat dit voor een deel met de ontwikkeling van het wortelstelsel verband heeft gehouden.

Onder de gegeven omstandigheden groeiden de planten in het algemeen des te beter, hoe meer wortels er in den fosfaatrijken grond tot ontwikkeling waren gekomen. Wij zullen echter zien, dat aan dit resultaat geen algemeene geldigheid mag worden toegekend.

Na het voorafgaande is men licht geneigd, aan te nemen, dat een gelijkmatige verdeling van de meststoffen in den grond gunstig zal zijn voor den groei van het gewas. Wij behoeven er slechts aan te herinneren, dat door GILE en CARRERO (1917) op grond van hetzelfde resultaat werd geadviseerd, om de meststoffen gelijkmatig in den grond te verdeelen.

Hoewel deze bemestingswijze voor de plant het voordeel heeft, dat er meer wortels met de voedingszouten in aanraking worden gebracht, mag toch niet uit het oog worden verloren, dat het gehalte aan meststoffen in het bemeste gedeelte van den grond daalt, wanneer deze zouten over een grooter volume grond worden verdeeld. Uit dien hoofde is het niet ondenkbaar, dat er in bepaalde gevallen bij een gelijkmatige toediening van de meststoffen in den grond een geringere hoeveelheid voedingszouten voor de plant beschikbaar is dan wanneer dezelfde hoeveelheid meststof meer plaatselijk is opgehoopt. Het is dus a priori niet uitgesloten, dat een diffuse verdeling van de meststoffen in den grond wel eens tot voedselgebrek en daarmee tot een vermindering in opbrengst aanleiding zal geven.

De proef, die we hieronder laten volgen, had ten doel, meer licht in deze zaak te brengen.

2e proef (Gelijke en ongelijke verdeling van het fosfaat in den grond. Toenemende $P_2 O_5$ -bemesting).

45 kistjes, die 10×10 cm wijd en 25 cm diep waren, werden gevuld met denzelfden fosforzuurarmen heidegrond, die in de 1e proef heeft dienst gedaan. De voor deze kistjes bestemde grond werd vooraf in luchtdrogen toestand rijkelijk bemest met natronsalpeter en patentkali; verder werd een kleine hoeveelheid kopersulfaat toegevoegd en zooveel kalkmergel, dat de pH van den grond steeg tot 7,2. Daarna werd de grond in 5 gelijke porties verdeeld, waarvan er één in het geheel geen fosfaatbemesting ontving, terwijl de vier andere in den vorm van fosforzure voederkalk onderscheidenlijk werden voorzien van 0,1, 0,2, 0,4 en 0,8 g $P_2 O_5$ per kg drogen grond (resp. 200, 400, 800 en 1600 kg $P_2 O_5$ per ha).

Voordat de kistjes werden gevuld, werd er een aluminium plaat vertikaal in geplaatst, en wel zoodanig, dat de ruimte in de kistjes hierdoor juist werd gehalveerd.

Nadat de grond met water was vermengd en op een vochtgehalte van 15 % was gebracht, werden de beide helften der kistjes met grond gevuld. Vervolgens werd de aluminiumplaat eruit getrokken en werden er op de grens van deze helften twee haverkorrels gepoot op een diepte van $2\frac{1}{2}$ cm en op een afstand van 4 cm van elkaar. De geheele proef omvatte 9 series (objecten), die elk uit 5 kistjes bestonden, die zoodanig opgesteld werden, dat de diverse „objecten” zooveel mogelijk aan dezelfde omstandigheden blootgesteld waren.

Bij één dezer objecten was de grond in het geheel niet met fosfaat bemest. De kistjes van het tweede object waren voor de helft gevuld met grond, waaraan geen $P_2 O_5$ was toegevoegd, terwijl in de andere helft $P_2 O_5$ aanwezig was ten bedrage van 200 kg per ha. Van het derde object waren beide helften gevuld met grond, die 200 kg $P_2 O_5$ per ha bevatte, enz. De verschillende objecten werden, naar gelang van de $P_2 O_5$ -bemesting in kg per ha en van de verdeling van den grond in de kistjes, onderscheiden met de getallencombinaties: 0/0, 0/200, 200/200, 0/400, 400/400, 0/800, 800/800, 0/1600, 1600/1600. Zoo was er dus in de 0/400-kistjes evenveel $P_2 O_5$ aanwezig als in de 200/200-kistjes, doch het $P_2 O_5$ -gehalte was in het bemeste gedeelte van de 0/400-kistjes $2 \times$ zoo groot als in de combinatie 200/200, doordat de totale hoeveelheid $P_2 O_5$ in dit laatste geval over den geheelen inhoud der kistjes was verdeeld. In de 400/400-kistjes en in de 0/400-kistjes was het $P_2 O_5$ -gehalte gelijk, doch de totale hoeveelheid fosforzuur was in het eerste geval 2 maal zoo groot, enz. Het is zonder meer duidelijk, dat met

deze proefopstelling werd beoogd, den invloed van de verdeling en van het gehalte der meststof in den grond op den plantengroei afzonderlijk vast te stellen.

Na het opkomen der plantjes werden de kistjes, die in de kas waren opgesteld, tot daags voor den oogst geregeld gewogen, door toediening van water op het oorspronkelijke gewicht teruggebracht en bij die gelegenheid van plaats verwisseld. Bij den oogst, die kort vóór het rijpen van het „zaad” plaats vond, werden de bovengrondsche deelen van de diverse kistjes afgesneden, gedroogd en gewogen. Ter bestudeering van het wortelstelsel werd in principe dezelfde methode toegepast, als in de voorafgaande proef is beschreven. Van de kistjes werd één van de zijwanden, die loodrecht stonden op het grensvlak tusschen de beide helften, weggenomen en deze vervangen door een plankje van gelijke grootte, waarop in het midden overlangs één rij naalden ter lengte van 8 cm was aangebracht, die juist op de grens tusschen de linker en rechter helft van het kistje in den grond werd gedrukt. Zoo-doende werd bij het spoelen voorkomen, dat er wortels van de ééne helft in de andere zouden geraken, en werd een afzonderlijke beoordeeling van de beworteling links en rechts van de genoemde grens mogelijk gemaakt.

Resultaten en gevolgtrekkingen.

Het wortelstelsel maakte in de 0/0-kistjes een zeer armelijken indruk (fig. 10). In de 0/200-kistjes was de wortelmasse verreweg het grootst in de 200-helft. Opmerkelijk was echter, dat de 0-helft dezer kistjes veel sterker beworteld was dan bij de 0/0-kistjes het geval was (fig. 10 en 11). Voor zoover de grond met fosfaat bemest was, nam de hoeveelheid wortels in de diverse kistjes eerst snel, doch gaandeweg langzamer toe met het P_2O_5 -gehalte van den grond, om bij de zwaarste bemesting het maximum te bereiken. Merkwaardig was, dat de wortelmasse ook in de 0-helft der kistjes toenam, hoe meer fosfaat er in de andere helft voorhanden was. In tegenstelling met de 0/200-kistjes was er in de combinaties 0/400, 0/800 en 0/1600 weinig of geen verschil in wortelontwikkeling tusschen de ongelijk bemeste helften (fig. 12). In deze proef doet zich dus weer hetzelfde verschijnsel voor als in de „afstandsproef”, n.l. dat een rijke wortelgroei mogelijk is in fosforzuurarmen grond, mits een gedeelte van het wortelstelsel over een niet te geringe hoeveelheid fosfaat kan beschikken. Aan de mogelijkheid, dat de sterke wortelontwikkeling in den fosfaatarmen grond verband zou houden met een verplaatsing van fosforzuur uit het bemeste naar het onbemeste gedeelte, behoeft hier niet te worden gedacht, daar in de eerste proef uit het verloop en de vertakking der wortels met voldoende zekerheid kon worden opgemaakt, dat er geen diffusie van het fosforzuur in horizontale richting had plaats gevonden.

Ook door GÖRBLING (1930) werd in een soortgelijke proef met jonge tarwe-

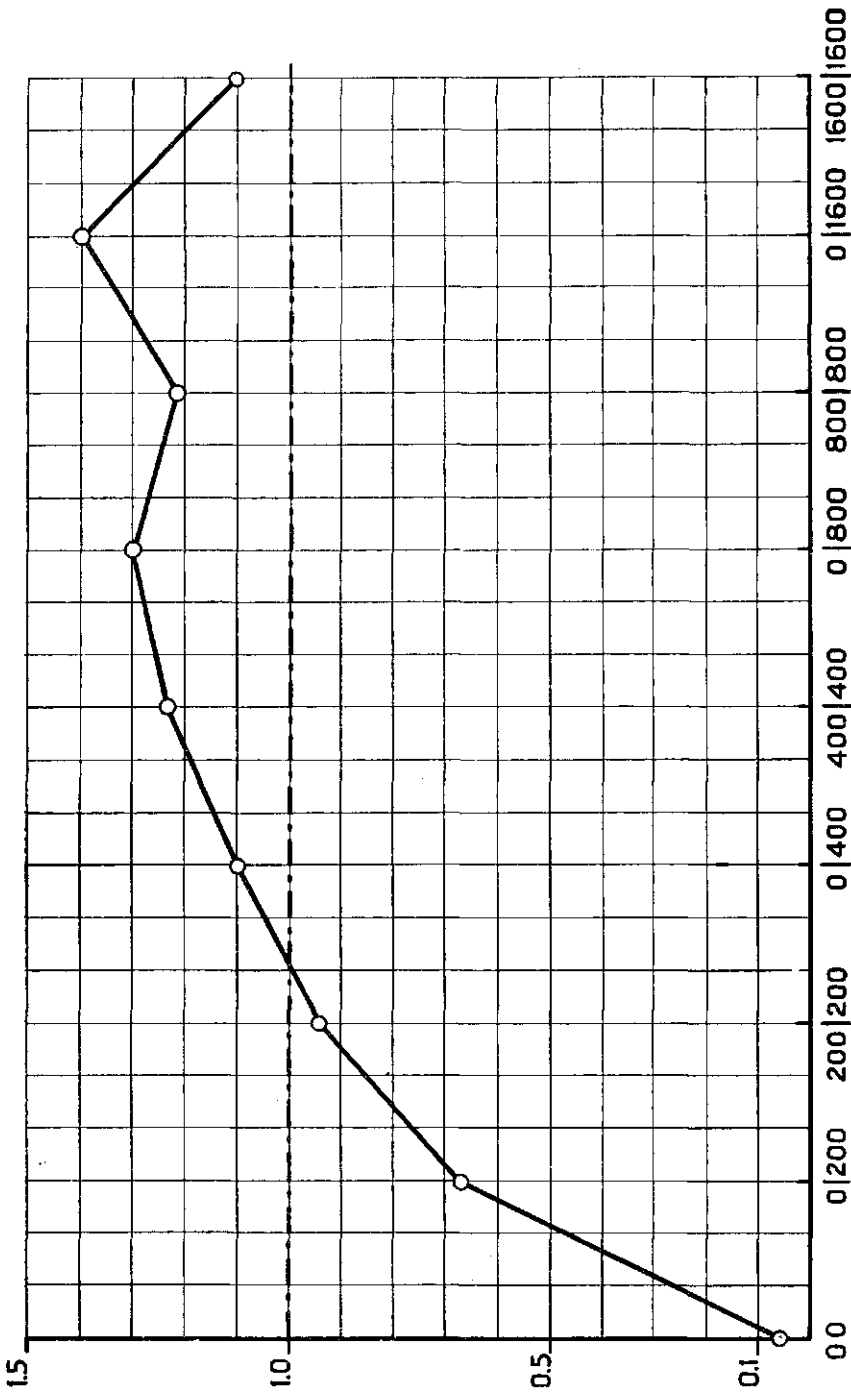
planten een ongelijke ontwikkeling van het wortelstelsel in de 0-helft aangetroffen, naar gelang van het P_2O_5 -gehalte van het met fosfaat bemeste gedeelte van den grond. Het fosforzuur werd door dezen onderzoeker gegeven in den vorm van superfosfaat, en wel in de combinaties 0/30, 0/60 en 0/90, waarbij met deze getallen de P_2O_5 -bemesting in kg per ha is bedoeld. Er werd waargenomen, dat de wortelontwikkeling toenam met stijgende fosfaatbemesting. Verder bleek, dat in de 0-helft der 0/30- en 0/60-combinaties minder wortels waren gevormd dan in de fosfaatrijkere helft, en dat hierin ook minder fijnere wortels (Faserwurzeln) tot ontwikkeling waren gekomen. Bij de hoogste fosfaatgift (90 kg per ha) waren echter ook in de 0-helft meer fijne wortels aanwezig.

De bovengrondsche organen gaven in onze proef merkwaardige verschillen te zien. De planten in de 0/0-kistjes, die duidelijke kenteekenen van fosforzuurgebrek vertoonden, bleven in groei verre bij de andere planten achter. In de andere kistjes werden geen symptomen van fosforzuurgebrek waargenomen, al nam ook de plantengroei in deze kistjes met stijgende fosfaatbemesting toe. In de laatste vier weken vóór den oogst werd opgemerkt, dat de planten in de 800/800-kistjes en in de 1600/1600-kistjes bleekgroen werden, terwijl daarentegen de planten in de combinaties 0/800 en 0/1600 een gezonden en krachtigen indruk maakten. Tegelijkertijd kregen de planten in deze kistjes, voor zoover ze eenzijdig waren bemest, een duidelijken voor-sprong in groei boven de kistjes, waarvan de beide helften met fosforzuur waren bemest.

In fig. 2 (pag. 360) is het gewicht van de bovengrondsche deelen der diverse objecten bij den oogst graphisch voorgesteld.

Wanneer we in deze figuur de gewichten van de planten in de kistjes 0/200 en 200/200 en eveneens die van de combinaties 0/400 en 400/400 twee aan twee met elkaar vergelijken, dan blijkt, dat de opbrengst in beide gevallen het geringst is geweest in de kistjes, waarbij de planten op de grens van bemest en niet bemest hebben gestaan, hetgeen in overeenstemming is met het gewichtsverschil, dat in de voorafgaande proef tusschen de planten van kist A en B werd verkregen (pag. 355).

In tegenstelling hiermee vertoont de kromme in fig. 2 in het gebied der zwaardere bemestingen een geheel ander beeld. We zien n.l. dat de 1600/1600-kistjes een aanmerkelijk geringere opbrengst hebben gegeven dan de 0/1600-kistjes; een dergelijk verschil bestaat er ook, hoewel minder frappant, tusschen de planten der objecten 800/800 en 0/800. Klaarblijkelijk is het bij deze overmatige bemesting voor de planten gunstig geweest, dat de wortels zich voor een deel in den fosfaatarmen grond hebben kunnen uitbreiden. In dit verband verdient het vermelding, dat de planten in de 800/800- en in de 1600/1600-kistjes de laatste weken voor den oogst kenteekenen hebben vertoond, die



FIGUUR 2. Relatieve drooggewichten van de bovengrondse deelen der haverplanten naar gelang van de verdeling en van het gehalte van het fostaat in den grond. (2de proef.)

Het gemiddelde gewicht der „objecten” (10 planten 50,6 g) is hierbij als eenheid aangenomen. De getallen onder de abscissen-as geven de P_2O_5 -bemesting aan in kg per ha.

aan voedselgebrek deden denken. Daar dit gebrek blijkbaar met het hooge P_2O_5 -gehalte van den grond verband heeft gehouden, ligt het vermoeden voor de hand, dat de planten in de 0/800- en de 0/1600-kistjes in de gelegenheid zijn geweest, dit tekort uit den voedselvoorraad in den fosfaatarmen grond te dekken. Hoe dit ook zij, de plant heeft er in deze gevallen beslist voordeel van gehad, dat een gedeelte van haar wortelstelsel met den fosfaatarmen grond in aanraking is geweest. Hieruit blijkt, *dat het voor den groei der planten niet altijd gunstig is, wanneer de gezamenlijke wortels met het fosforzuur in aanraking zijn.* Naar alle waarschijnlijkheid zouden wij in de eerste proef bij dezelfde opstelling een geheel andere opbrengstverhouding hebben verkregen, indien een aanmerkelijk zwaardere fosforzuurbemesting was toegediend.

Wanneer wij de kromme der spruitgewichten in fig. 2 in haar geheel overzien, en daarbij nog eens twee aan twee de opbrengsten vergelijken, die betrekking hebben op de kistjes, waarin het *gehalte* aan P_2O_5 gelijk, doch de *hoeveelheid* P_2O_5 ongelijk is geweest (0/200 en 200/200, 0/400 en 400/400, enz.), dan kan gezegd worden, dat het in het gebied der lichtere bemestingen voor de planten voordeelig, bij de zwaardere bemestingen echter nadeelig is geweest, dat alle wortels met het fosfaat in aanraking waren. Alleen in het gebied tusschen 400 en 800 kg P_2O_5 maakte het voor de plant blijkbaar weinig verschil, of het wortelstelsel in zijn geheel dan wel gedeeltelijk met het fosfaat in aanraking was.

Figuur 2 doet ons verder zien, dat alle kistjes, waarin slechts de helft met fosfaat was bemest, een hoogere opbrengst aan bovengrondsche deelen hebben gegeven dan de kistjes, waarin *dezelfde hoeveelheid* P_2O_5 over den geheelen inhoud van het kistje was verdeeld, in weerwil van het feit, dat in het laatste geval alle wortels over het fosfaat konden beschikken. We zien hieruit, *dat een gelijkmatige verdeling van het fosfaat in den grond tot een vermindering in opbrengst aanleiding kan geven, en dat het derhalve niet toelaatbaar is, om uit de resultaten van de eerste proef de gevolgtrekking te maken, dat het steeds aanbeveling verdient, de meststoffen gelijkmatig in den grond te verdeelen.*

Dat bij eenzijdige bemesting steeds een grootere opbrengst werd verkregen dan wanneer dezelfde hoeveelheid fosfaat over het geheele kistje werd verdeeld, heeft in het gebied der lage bemestingen blijkbaar verband gehouden met de daling van het fosfaatgehalte in den grond. Vermoedelijk heeft dit tengevolge gehad, dat de plant niet zooveel fosforzuur heeft kunnen opnemen als wanneer dit fosfaat in het halve kistje was geconcentreerd. In tegenstelling daarmee moet de gunstige invloed van de plaatselijke toediening van het fosfaat bij overmatige bemesting toegeschreven worden

aan de omstandigheid, dat de plant er in dat geval baat bij heeft gevonden, dat zij haar wortelstelsel gedeeltelijk in den fosfaatarmen grond heeft kunnen uitbreiden.

Tenslotte dient nog de aandacht gevestigd te worden op het volgende: Wanneer men in fig. 2 de punten, die betrekking hebben op de spuitgewichten in de tweezijdig bemeste kistjes, in gedachte door een lijn verbindt, dan wordt een eentoppige kromme verkregen, die haar maximum heeft tusschen 400 en 800 kg P_2O_5 per ha. Daarentegen heeft de kromme der opbrengsten in de eenzijdig bemeste kistjes een verloop, dat meer aan een „Mitscherlich-kromme” doet denken. *Hier doet zich dus het verschijnsel voor, dat het verloop van de kromme der opbrengsten bij toenemende fosfaatbemesting ongelijk is naar gelang van de verdeling dezer meststof in den grond; een „tegenstrijdigheid”, die in den bouw van het wortelstelsel hare verklaring vindt.*

In hoeverre de resultaten van de boven beschreven proeven, die onder zeer speciale, min of meer kunstmatige voorwaarden werden genomen, geldig zijn voor de omstandigheden in de praktijk en in het vrije veld, zal door verder onderzoek moeten blijken. Het scheen ons niet onbelangrijk toe, dat in één dezer proeven het verschijnsel werd waargenomen, dat de plant bij een meer plaatselijke toediening van het fosfaat in den grond een nuttiger gebruik van deze meststof weet te maken dan wanneer dezelfde hoeveelheid P_2O_5 over een 2 maal zoo groot volume grond was verdeeld. Uit de eerste proef is verder gebleken, dat het voor de plant groot verschil kan maken, *waar* de meststof is gelocaliseerd. Wanneer het fosfaat zoodanig wordt toegediend, dat de wortels dit pas na verloop van tijd kunnen bereiken, dan ontstaat er van den aanvang af een achterstand in den groei der bovengrondsche organen, waarvan de plant zich in den regel niet weer herstelt. Het spreekt vanzelf, dat dit alles niet behoeft op te gaan voor meststoffen, die zich gemakkelijker in den grond verplaatsen.

LITERATUUR.

- BOONSTRA, A. E. H. R. Root systems of seven varieties of peas grown under similar cultural conditions, *Meded. v. d. Landbouwhoogeschool te Wageningen*, 1931, Dl. 35, Verh. 2, blz. 1—56.
- GILE, P. L. and CARRERO, J. O. Absorption of nutrients as affected by the number of roots supplied with the nutrient. *Journal of agric. Research*, Vol. 9, 1917, blz. 73—95.
- GOEDEWAAGEN, M. A. J. De groei van het wortelstelsel der planten bij gelijke en bij ongelijke vruchtbaarheid van boven- en ondergrond. Rijkslandbouwproefstation Groningen. *Verlagen van landbouwkundige onderzoekingen* N°. 38 A, 1932, blz. 176—199.
- GOEDEWAAGEN, M. A. J. en ZIJLSTRA, K. De inwendige bouw der wortels van gerst. *Verlagen der Rijkslandbouwproefstations* 30, 1925, blz. 45—111.
- GÖRNING, JOHANNES. Der Einfluss der Phosphorsäure auf die Wurzelentwicklung. *Superphosphate* Vol. 3, 1930, blz. 257—261.
- HOAGLAND, D. R. Relation of the concentration and reaction of the nutrient medium to the growth and absorption of the plant. *Journal of agric. Research*, Vol. 18, 1919/20, blz. 73 e. v.
- KULESCHA, M. Oriënteerend onderzoek over de ontwikkeling van het wortelstelsel bij 2878 POJ in verband met de grondsoort. *Arch. v. d. Suikerindustrie in Ned. Indië*, Dl. 3. *Meded. v. h. proefstation v. d. Javasuikerindustrie*, 1931, blz. 317—359.
- MASCHHAUPT, J. G. De beworteling onzer cultuurgewassen. *Versl. der Rijkslandbouwproefstations* 16, 1915, blz. 76—89. Hierin ROTMISTROFF (1908) geciteerd.
- WEAVER, J. E. Root development of field crops. Mc. Graw Hill Book Cy., New-York, 1926.
- ZIJLSTRA, K. De hoofdwortel van eenige graansoorten. *Versl. der Rijkslandbouwproefstations* 26, 1922, blz. 19—59.

TABEL 2.

Drooggewicht der wortels in kist A in g (3 planten).

a met P. b, c, d zonder P.

	a	b	c	d	
I	0,660	0,047	0	0	0,707
II	1,284	0,246	0,128	0,065	1,723
III	0,483	0,070	0,037	0,038	0,628
	2,427	0,363	0,165	0,103	

TABEL 3.

Drooggewicht der wortels in kist B in g (3 planten).

a met P. b, c, d zonder P.

	a	b	c	d	
I	0,353	0,161	0,030	0,025	0,569
II	0,512	0,111	0,159	0,139	0,921
III	0,294	0,028	0,054	0,040	0,416
	1,159	0,300	0,243	0,204	

TABEL 4.

Drooggewicht der wortels in kist C in g (3 planten).

a met P. b, c, d zonder P.

	a	b	c	d	
I	0,117	0,186	0,205	0,036	0,544
II	0,726	0,128	0,179	0,183	1,216
III	0,129	0,037	0,072	0,054	0,292
	0,972	0,351	0,456	0,273	

TABEL 5.

Drooggewicht der wortels in kist D in g (3 planten).

a met P. b, c, d zonder P.

	a	b	c	d	
I	0,018	0,020	0,037	0,097	0,172
II	0,022	0,021	0,035	0,099	0,177
III	0	0,010	0,016	0,052	0,078
	0,040	0,051	0,088	0,248	

TABEL 6.

Drooggewicht der wortels in kist E in g (3 planten).

a met P. b, c, d zonder P.

	a	b	c	d	
I	0	0	0,010	0,078	0,088
II	0	0	0,014	0,112	0,126
III	0	0	0,008	0,052	0,060
	0	0	0,032	0,242	

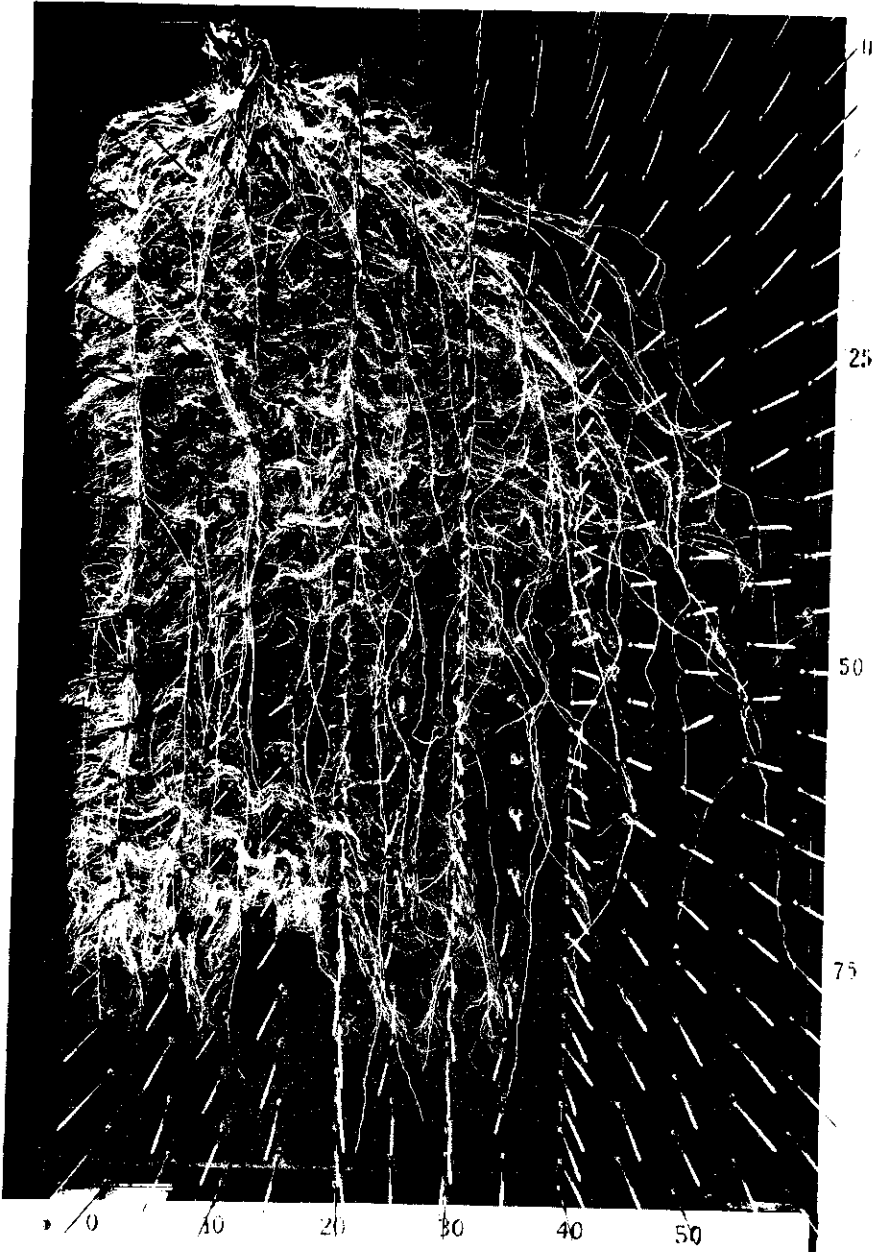
TABEL 7.

Drooggewicht der wortels in kist F in g (3 planten).

a en d met P. b en c zonder P.

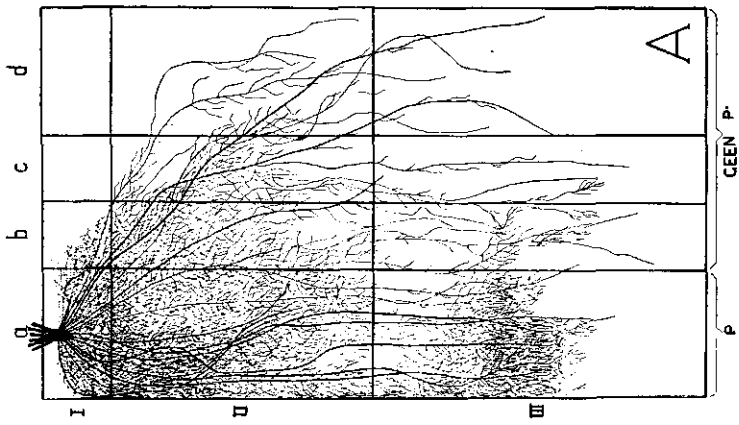
	a	b	c	d	
I	0,003	0,128	0,091	0	0,222
II	0,071	0,135	0,156	0,048	0,410
III	0,036	0,063	0,035	0,008	0,142
	0,110	0,326	0,282	0,056	

Voor de beteekenis van de cijfers I t/m III, de letters a t/m d en de getallen in tabel 2 t/m 7 zie de figuren 4 t/m 9 en de tekst op pag. 349 en 350.

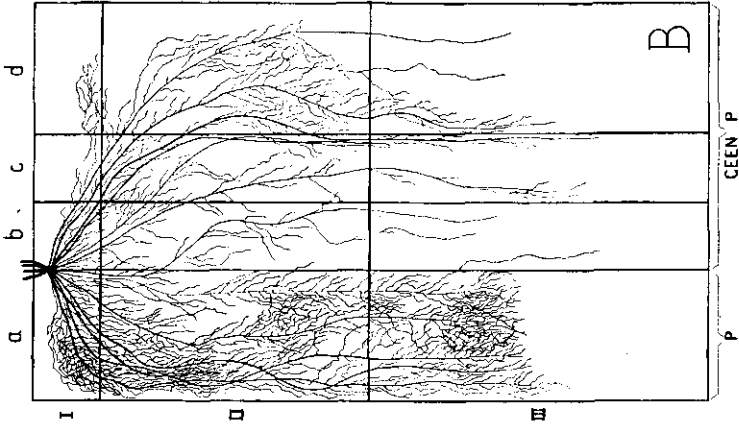


FIGUR 3.
Wortelsfæsel der haverplanter i kist A. (1ste proof.)

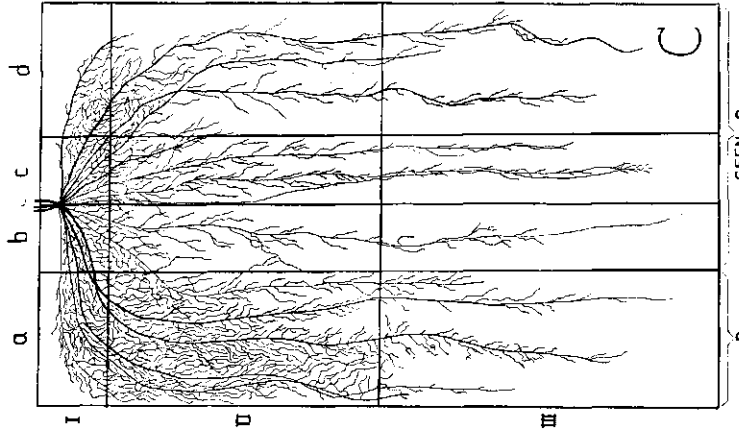
Wortelstelsels. Ie proef.



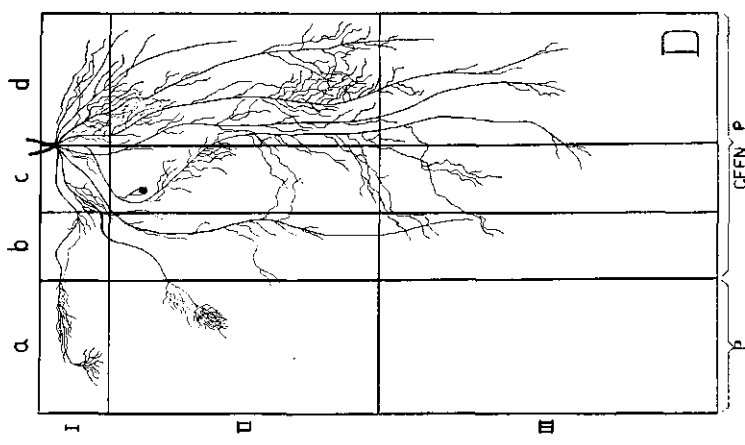
FIGUUR 4.



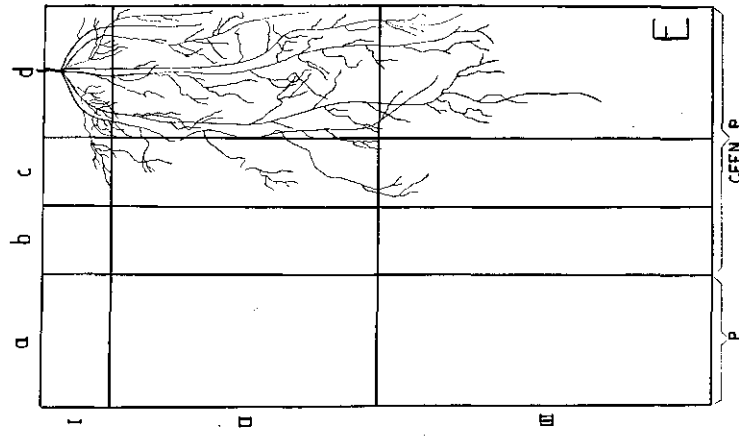
FIGUUR 5.



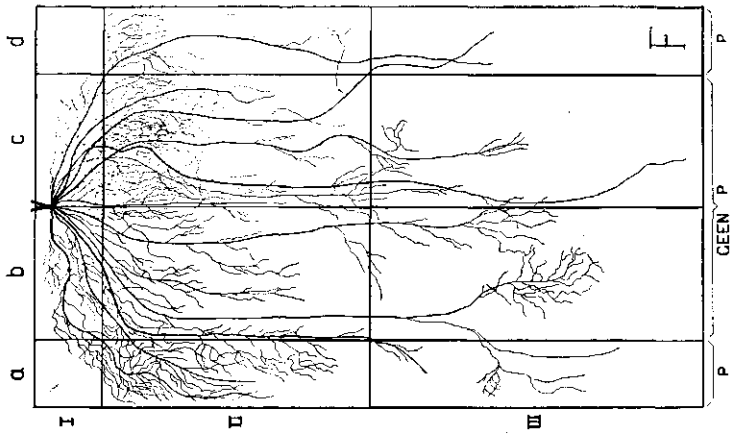
FIGUUR 6.



FIGUR 7.



FIGUR 8.



FIGUR 9.

