

WORTELGROEI IN GRONDEN,
BESTAANDE UIT EEN BOVENGROND VAN KLEI
EN EEN ONDERGROND VAN ZAND

WITH SUMMARIES

ROOT DEVELOPMENT IN SOILS
CONSISTING OF A TOP LAYER OF CLAY
AND A SANDY SUBSOIL

M. A. J. GOEDEWAAGEN
C. VAN DEN BERG EN D. VAN DEN BOSCH
J. BUTIJN
J. J. JONKER
D. VAN DER SCHAAF
J. J. SCHURMAN



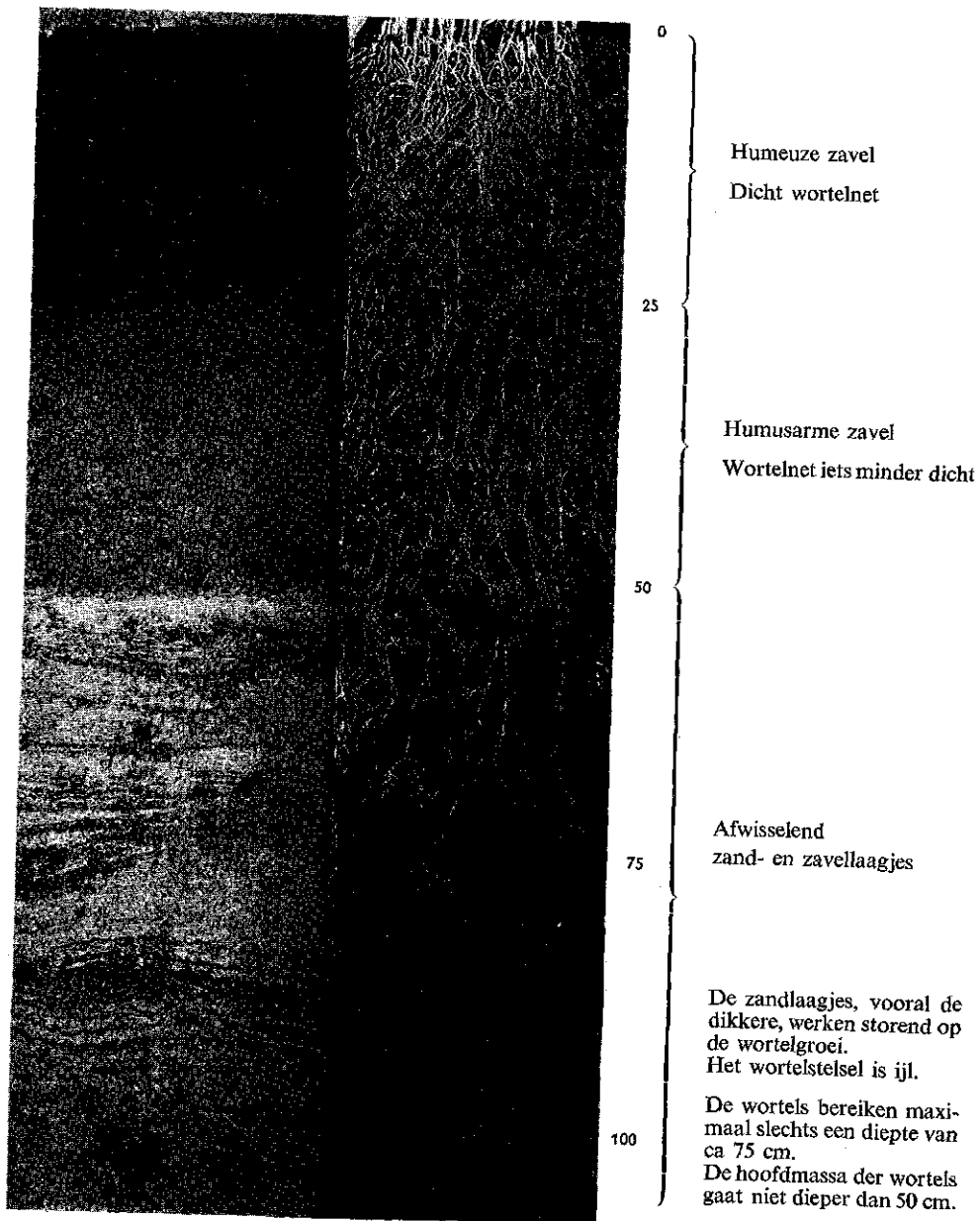
STAATSDRUKKERIJ

UITGEVERIJBEDRIJF

INHOUD

WOORD VOORAF	5
SAMENVATTENDE BESCHOUWING BETREFFENDE DE INHOUD VAN DE IN DEZE PUBLICATIE OP- GENOMEN MEDEDELINGEN DOOR M. A. J. GOEDEWAAGEN	7
I. De wortelontwikkeling in graslandprofielen bij Velsen (N.H.) en bij Klundert (N.B.), waar kleilagen van verschillende dikte rusten op een ondergrond van zand of veen, M. A. J. GOEDEWAAGEN (Landbouwproefstation en Bodemkundig Insti- tuut T.N.O.)	19
II. Wortelontwikkeling in de Noordoostpolder op graslandpercelen met kleidekken van verschillende dikte, rustend op een ondergrond van zand, M. A. J. GOEDE- WAAGEN en J. J. SCHUURMAN (Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O.)	35
III. Beworteling van de grasmatten in het Randgebied van de Noordoostpolder, D. VAN DER SCHAAF (Commissie inzake indrogende gronden rondom de Noordoostpolder)	57
IV. De wortelontwikkeling van aardappelen in de Bommelerwaard op rivierklei met een zandige ondergrond in verband met de dikte van de kleilaag, de grondwater- stand en de bemesting, J. J. SCHUURMAN en M. A. J. GOEDEWAAGEN (Landbouw- proefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O.)	72
V. Enkele bewortelingsproblemen in de Noordoostpolder, J. J. JONKER (Directie van de Wieringermeer, Noordoostpolderwerken)	79
VI. Enkele gegevens over de wortelgroei van landbouwgewassen in zandige lagen, C. VAN DEN BERG en D. VAN DEN BOSCH (Wetenschappelijke Afdeling van de Herverkavelingscommissie Walcheren).	100
VII. De beworteling van vruchtbomen op profielen met een dunne kleilaag op zand, J. BUTIJN (Proefstation voor de Fruitteelt in de Volle Grond)	113
VIII. De wortelontwikkeling van wintertarwe in kleizandprofielen in betonnen buizen bij ongelijke kleilaagdikte, grondwaterstand en fijnheidsgraad van het zand, J. J. SCHUURMAN (Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O.)	122
SUMMARY	136

ZAVELPROFIEL TE LEENS (GRON.), BEGROEID MET HAVER



WOORD VOORAF

Sinds Dr M. A. J. GOEDEWAAGEN zijn verhandeling over „Het wortelstelsel der Landbouwgewassen” (1942) liet verschijnen, is het aantal onderzoekers, dat hier te lande op dit gebied werk heeft verricht, alsmede de kennis over de beworteling der gewassen van de Nederlandse cultuurgronden sterk toegenomen.

Het is verheugend, dat de verkregen ervaring betreffende de eisen, die door het wortelstelsel aan het bodemmilieu worden gesteld, het meer en meer mogelijk maakt, de verworven kennis in te schakelen bij de bestudering van vraagstukken, die op het gebied der bodemverbetering zijn gelegen. De thans voor ons liggende serie artikelen is daarvan een bewijs.

De mededelingen hebben betrekking op wortelstudies ter verkrijging van inzicht in de productiviteit van klei- en zavelgronden met een betrekkelijk dunne kleilaag op een ondergrond van zand resp. veen, zodat middelen ter verbetering van deze gronden naar hun waarde kunnen worden beoordeeld. De onderzoekingen zijn merendeels zonder voorafgaand overleg en geheel onafhankelijk van elkaar op verschillende plaatsen van ons land tot stand gekomen. Er werd door de schrijvers pas contact opgenomen na voltooiing van hun onderzoek. Het bleek toen, dat de resultaten, *incidenteel* op zichzelf en langs verschillende wegen verkregen, tezamen min of meer een afgerond geheel vormden, zodat een gemeenschappelijke publicatie zeker zin had. De verschillende bijdragen zijn afzonderlijk gehouden; er gaat echter een samenvattende beschouwing van de inhoud en van de resultaten aan vooraf.

Het is mij, de bakermat van het bewortelingsonderzoek in Nederland vertegenwoordigende, een genoegen om mede namens de leiding van de bij dit onderzoek betrokken instituten en instanties deze vrucht van samenwerking bij de lezers te introduceren. Elk onderzoek vraagt nieuw onderzoek. De schrijver der samenvatting wijst op het belang van dieper gaand onderzoek. Verschillende symptomen wijzen er op, dat de periode hiervan is begonnen. Wij wensen de onderzoekers succes bij dit moeizame werk.

P. BRUIN

*wnd Hoofddirecteur van het
Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O.
te Groningen*

SAMENVATTENDE BESCHOUWING BETREFFENDE DE INHOUD EN DE RESULTATEN VAN DE IN DEZE PUBLICATIE OPGENOMEN MEDEDELINGEN¹

M. A. J. GOEDEWAAGEN

1. DE OPZET EN DE UITVOERING VAN HET ONDERZOEK

In Nederland komen op tal van plaatsen klei- en zavelgronden voor, die in productiviteit te wensen overlaten, doordat de klei- of zavelaag niet dik genoeg is om een goede ontwikkeling van het gewas mogelijk te maken. Meestal rust deze kleilaag op een ondergrond van zand, doch ook wel op veen. Verschillende onderzoekers bestudeerden, onafhankelijk van elkander, onder plaatselijk verschillende omstandigheden, de beworteling in deze profielen. Door deze gang van zaken bestaat er een zekere heterogeniteit in de wijze, waarop deze onderzoeken zijn opgezet en ten uitvoer gebracht.

Het onderzoek werd door sommige auteurs uitgevoerd op grasland (I, II, III), door andere op bouwland en wel met diverse gewassen, zowel op jonge als op oudere klei- of zavelgronden (IV, V, VI, VII). Ook wat de methode van werken betreft, bestaan er grote verschillen tussen de diverse bijdragen. In mededeling VIII wordt de wortelgroei van tarweplanten nagegaan in betonnen buizen met kunstmatig opgebouwde klei-op-zandprofielen, terwijl de andere publicaties betrekking hebben op onderzoeken, die te velde op klei-op-zandprofielen zijn verricht. In een drietal artikelen is de wortelverdeling in deze profielen quantitatief nagegaan door grondmonsters te nemen op verschillende diepte, daarin na het uitspoelen der wortels de worteldichtheid vast te stellen en deze in verband te brengen met de dikte van de zavel- of kleilaag (II, IV, VIII). In de bijdragen I en III is de hoeveelheid wortels in de grondmonsters relatief geschat zonder eerst de wortels daaruit vrij te spoelen. In andere gevallen werd het onderzoek meer kwalitatief uitgevoerd door wortelwaarnemingen te doen in profielkuilen (V, VI, VII). In de regel werd het onderzoek verricht in diep of redelijk diep ontwaterde gronden. Soms werden ook hogere waterstanden in het onderzoek betrokken teneinde enig inzicht te verkrijgen in de wisselwerking tussen grondwaterstand en kleilaagdikte en de invloed daarvan op de beworteling (III, IV, VII, VIII). Hier en daar zijn in de verslagen gegevens te vinden over het gedrag der wortels in zandgronden, waarin een humusrijke laag rustte op een ondergrond van zand (V, VI). Over de invloed van de fijnheidsgraad resp. het kalkgehalte van het zand in de ondergrond op de beworteling worden gegevens vermeld in de mededelingen V en VIII.

De publicatie vangt aan met een bijdrage over de beworteling op grasland bij Klundert en Velsen, waarvan het profiel bestaat uit een kleidek van wisselende dikte en een ondergrond van zand (I). Dit artikel, dat voortgekomen is uit een rapport, dat over dit onderzoek in 1949 werd uitgebracht ten behoeve van de „Commissie Landaanwinning T.N.O.”, werd als eerste bijdrage in deze publicatie opgenomen, omdat dit het eerste wortelonderzoek is, dat hier te lande op klei-op-zandprofielen werd verricht². Daar de wortelhoeveelheden in deze mededeling door schatting in de grondmonsters werden bepaald en dus wat onzeker zijn, werd het onderzoek later herhaald op soortgelijke kleigraslanden in de Noordoostpolder, alleen met

¹ In deze samenvatting wordt met de cijfers I t/m VIII naar de betreffende bijdragen verwezen.

² Dit onderzoek dateert reeds van 1942. Het eerstvolgende wortelonderzoek op dit gebied werd een jaar later door C. J. CLEVERINGA uitgevoerd bij soortgelijke profielen in de pas drooggekomen Noordoostpolder. De resultaten hiervan zijn vastgelegd in een rapport, dat aanwezig is in de Afd. Landbouwplantenteelt van de Landbouwhogeschool te Wageningen.

dit verschil, dat de worteldichtheid toen door weging werd vastgesteld (II). Hiermede werden overeenkomstige resultaten verkregen.

De onderzoekingen, waarvan in de bijdragen IV t/m VIII mededeling wordt gedaan, hebben betrekking op de beworteling van akkerbouwgewassen (IV, V, VI, VIII) en van appelbomen (VII), eveneens in afhankelijkheid van de kleilaagdikte. Deze onderzoekingen zijn deels in de Noordoostpolder, anderdeels op de Zeeuwse eilanden of in de Bommelerwaard tot stand gekomen, terwijl in bijdrage VIII van betonnen buizen gebruik werd gemaakt. De inhoud van de bijdragen over de beworteling der akkerbouwgewassen inclusief vruchtbomen (IV t/m VIII) verschilt van die der graslandpublicaties (I, II, III) verder nog hierin, dat er alleen in de publicaties der akkerbouw- en fruitteeltgewassen opbrengstgegevens worden vermeld.

Aan de landbouwkundige perspectieven van het wortelonderzoek wordt in de bijdragen V, VI en VII meer speciaal aandacht geschonken. Er worden daarin grondbewerkingsproeven beschreven, die ten doel hadden, de situatie voor het gewas te verbeteren door de dieptegroei der wortels te bevorderen. Door de meeste onderzoekers wordt in hun respectieve bijdragen meer of minder aandacht geschonken aan de oorzaken van het ongelijke gedrag der wortels naar gelang van de dikte van de kleilaag (II, V, VI, VII, VIII).

Een aparte plaats wordt in deze publicatie-reeks ingenomen door mededeling III, doordat dit onderzoek ten uitvoer werd gebracht op grasland (in de omgeving van Kuinre), waar kleidekken van verschillende dikte niet op zand, maar op een ondergrond van veen waren gelegen. Er werd gevonden, dat de wortels niet in staat waren in het veen door te dringen. Een zelfde resultaat wordt vermeld in bijdrage I, waarin de beworteling op klei-veen-profielen in de omgeving van Klundert met een enkel woord ter sprake wordt gebracht. Bij een onderzoek in de Noordoostpolder werd waargenomen, dat de wortels heel gemakkelijk in het veen kunnen doordringen, wanneer dit maar voldoende is ontwaterd (V). Het niet indringen van de wortels in het veen bij Kuinre en Klundert is, wat de oorzaak betreft, niet zonder meer te vergelijken met de afkeer, die de wortels in klei-op-zandprofielen voor de zandige ondergrond aan de dag leggen. Afgezien van het omvangrijke onderzoek bij Kuinre, waarvan de resultaten in bijdrage III worden meegedeeld, zijn er in deze gemeenschappelijke publicatie over de beworteling in klei-op-veenprofielen te weinig gegevens beschikbaar om daaraan conclusies van algemene aard te kunnen verbinden. Dit doet natuurlijk niets af aan de belangrijkheid van bijdrage III als poging om een verklaring te geven van de in het randgebied van de Noordoostpolder waargenomen verdrogingsverschijnselen. Hiervoor moge naar het artikel zelf (III) en naar de daaraan toegevoegde, vrij uitvoerige „summary” worden verwezen.

In de volgende paragrafen zullen wij ons dus beperken tot een opsomming van de resultaten, die het wortelonderzoek op de klei-op-zandprofielen heeft opgeleverd. De resultaten der diverse mededelingen worden daarin zodanig met elkaar vergeleken en tegen elkaar afgewogen, dat hieruit min of meer opgemaakt kan worden, in hoeverre deze uitkomsten als algemeen-geldig kunnen worden beschouwd.

2. DE RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK

a. De wortelontwikkeling in profielen met klei op een ongeroerde ondergrond van zand

In vruchtbare zavel- en kleigronden met een op het oog vrij homogeen bodemprofiel zonder storende lagen brengen de gewassen doorgaans een diep en rijk vertakt wortelstelsel tot ontwikkeling (V, VI). Stuiten de wortels echter op een humus- en slibarme zandlaag, dan treedt er meestal een stagnatie op in de wortelgroei. Het gevolg hiervan is, dat de zandige ondergrond in klei-op-zandprofielen (die wij bij afwisseling ook wel „kleizandprofielen” zullen noemen) doorgaans veel ijler doorworteld is dan het daarboven gelegen kleidek (I, II,

IV t/m VIII). Het kan ook voorkomen, dat de wortels niet of slechts enkele centimeters diep in het zand doordringen (V). De gebrekkige wortelgroei in de zandige ondergrond is een algemeen verschijnsel, dat bij vele gewassen en in zandsorten van verschillende fijnheidsgraad is waargenomen (V, VIII). De weinige wortels, die in het zand doordringen, bereiken daarin meestal een beperkte diepte.

In profielen met dunne kleidekken gaan de wortels wat dieper in het zand dan wanneer ze een dikkere kleilaag hebben moeten doorlopen (I, II, V, VIII). Ook schijnt de fijnheidsgraad van het zand in de ondergrond daarop van invloed te zijn. Er zijn aanwijzingen, dat de wortelgroei in grof zand moeilijker gaat dan in een meer fijnzandige ondergrond (V, VIII). Op de wortelverdeling heeft dit maar weinig invloed. Steeds is de hoofdmassa der wortels – meestal voor meer dan 90 % van de totale wortelmassa – in de kleilaag gelocaliseerd (VIII). De worteldichtheid ondergaat bij de overgang van klei naar zand een abrupte daling (II, V, VII, VIII). In tegenstelling daarmee neemt de worteldichtheid in een homogeen kleipakket op overeenkomstige diepte meer gelijkmatig af (V, VI).

In de zandige ondergrond zijn de wortels veelal anders gebouwd dan in de kleilaag. Terwijl de wortels in klei of zavel dun zijn en bezet met lange, slanke, meervoudig vertakte zijwortels, zijn die in de zandige ondergrond – ook wanneer deze vochtig is – vaak dik en vlezig en voorzien van korte, stompe, knotsvormige zijwortels. Ook de worteltoppen zijn in het zand niet zelden verdikt (V, VI, VII, VIII). De verdikte wortels zijn soms wat gekronkeld en maken de indruk, dat zij moeite hebben gehad, zich een weg te banen door het zand. Niet zelden lopen de wortels reeds na korte tijd in het zand dood. Zij eindigen dan vaak in een trosje, bestaande uit een aantal korte, vlezige zijworteltjes, die achter de top van de moederwortel tot ontwikkeling zijn gekomen (V). De wortelverdikking varieert min of meer naar gelang van het gewas. Trouwens bij eenzelfde gewas kunnen er naast afwijkende wortels ook normale in het zand worden aangetroffen. Uit het afwijkende gedrag en de abnormale bouw der wortels in de zandige ondergrond kan worden afgeleid, dat de omstandigheden in het zand ongunstig zijn voor de wortelgroei.

Het zand oefent echter ook invloed uit op de wortelgroei in de daar boven liggende kleilaag. In profielen met kleilagen van middelmatige dikte treedt er in de klei dicht bij de kleizandgrens een verdichting op van het wortelnet, die berust op een sterkere vertakking der wortels in deze zone (II, V, VI, VIII). Het komt ook voor, dat de wortels op de zandlaag horizontaal ombuigen en in deze richting nog een eind doorgroeien (V). Ook hogerop in de kleilaag kunnen onder invloed van het dieper gelegen zand afwijkingen in de beworteling tot stand komen. In profielen met een dun zaveldek bleken suikerbieten in de kleilaag voorzien te zijn van een aantal dikke zijwortels. De bieten zelf waren korter en wat dikker dan de normaal gebouwde en normaal bewortelde bieten, die in profielen met dikkere zavelagen (55 cm of meer) werden aangetroffen (VI).

Zand in de ondergrond werkt echter slechts dan duidelijk remmend op de wortelgroei, wanneer het zeer weinig humus of afslibbare delen bevat. In humeuze zandlagen dringen de wortels beter door en vertakken zij zich normaler dan in humus- en tevens slibarme lagen. Leemhoudende en koffiekleurige zandlagen zijn eveneens beter doorworteld dan zuivere zandlagen, tenzij zij tot banken (leem- of oerbanken) zijn verdicht (II, V, VI).

In klei-op-zandprofielen wordt het grensvlak tussen klei en zand door de wortels niet altijd bereikt. Het zand kan zo diep liggen, dat de wortels hun groei reeds in de klei moeten beëindigen (II). Komen er verharde of gereduceerde lagen in de klei voor, dan wil het wel gebeuren, dat de wortels daarin blijven steken en verhinderd worden het zand te bereiken (I, V, VI). Anderzijds heeft men waargenomen, dat plantenwortels bij machte zijn, met hun toppen in gereduceerde lagen binnen te dringen. Onttrekken deze toppen water aan de

omgevende grond, dan ontstaat er rondom de toppen een geaëreerd laagje, dat de wortels in staat stelt dieper in de klei door te dringen (V). Als laatste storende factor kan het grondwater worden genoemd, wanneer dit reikt tot in de kleilaag. Het aantal wortels, dat onder deze omstandigheden in het grondwater kan doordringen, is zeer gering (VIII). Het wortelstelsel blijft zodoende in hoofdzaak tot het bovenste gedeelte van het kleipakket beperkt en vertoont dan veel gelijkenis met het wortelbeeld in diep ontwaterde gronden, die met een dunne kleilaag zijn toegerust (IV).

In de zandige ondergrond kunnen zich omstandigheden voordoen, die nog ongunstiger werken op de wortelgroei dan het zand zelf te zien geeft en die de toch al geringe worteldiepte tot een minimum beperken. Dit treedt op, wanneer er in het zand op betrekkelijk korte afstand van de kleizandgrens sterk verdichte lagen (oer- of schelpbanken) voorkomen (II, V, VI) of wanneer het grondwater zo hoog staat, dat de zandlaag vrijwel geheel met water is verzadigd (VII, VIII).

Wanneer in de ondergrond klei- en zandlagen met elkaar afwisselen, werken de zandige lagen in het algemeen remmend op de diepte, die de wortels uiteindelijk bereiken. Dunne zandlagen kunnen uiteraard gemakkelijker worden overbrugd dan dikkere zandlagen. Bij appelbomen bleek een circa 40 cm dikke zandlaag nog door de wortels „genomen” te kunnen worden. Daaronder bevond zich een sliblaag van 3 à 4 cm, waarin een sterke verdichting van het wortelnet werd waargenomen (VII).

In kleizandprofielen wordt de wortelverdeling dermate beheerst door de kleilaagdikte, dat de erfelijke verschillen in worteldiepte en wortelverdeling, die er tussen de diverse plantensoorten bestaan, nauwelijks meer tot uiting komen. Zo werd in grasland-profielen met klei op zand bij vier grassoorten vastgesteld, dat deze op overeenkomstige wijze op de kleilaagdikte hadden gereageerd, alhoewel zij in homogene profielen met zeer dikke zavellagen doorgaans duidelijke verschillen in bewortelingsdiepte te zien geven (II). Dit neemt niet weg, dat in kleizandprofielen tussen minder verwante soorten duidelijke verschillen in beworteling zijn waargenomen. Zo bleken lucernewortels gemakkelijker in een fijnzadige ondergrond te kunnen doordringen dan de wortels van graangewassen (V). Op hun beurt staan voederbieten in dit opzicht weer bij de graangewassen ten achter.¹ Deze gegevens zijn ontleend aan zandprofielen, waarin een humeuze bovengrond rustte op een ondergrond van humusarm zand. Gebleken is, dat de wortels in dergelijke „humuszandprofielen” in principe op de humus- en slibarme ondergrond net zo reageren als in kleizandprofielen, zodat deze beide bodemtypen in dit opzicht wel ongeveer op één lijn kunnen worden gesteld (V, VI).

b. De opbrengst der gewassen in het ongeroerde profiel in verband met de kleilaagdikte en de beworteling

Gegevens over het verband tussen de dikte van de klei- of zavellaag en de opbrengst der gewassen zijn te vinden in mededeling VI en VIII. In artikel VI worden de opbrengsten gegeven van gerst, erwten, aardappelen en suikerbieten in mariene kleigronden in Zeeland bij wisselende dikte van de zavellaag. De opbrengst van deze gewassen nam bij toenemende dikte van de zavellaag toe en bereikte het maximum bij een zavellaag ter dikte van ongeveer 70 à 75 cm. In bijdrage VIII zijn de gewichten opgegeven van volwassen tarweplanten, die gekweekt waren in buizen met kunstmatige kleizandprofielen. Bij de diepste waterstand werd met toenemende kleilaagdikte een sterke, bij de hogere waterstanden een minder sterke

¹ De wortelontwikkeling van voederbieten en haver werd aan het Landbouwproefstation vergeleken in een zandgrond met een 40 cm dikke humeuze laag op een humusarme ondergrond van zand. Van de voederbieten drong geen enkele wortel in het zand door. Bij haver was een beperkt aantal wortels ongeveer 1 m diep in het zand doorgedrongen.

stijging in de plantgewichten waargenomen. In beide gevallen werd het maximum bij een kleilaag van 75 à 100 cm bereikt. Ook bij appelbomen (VII) werden in Zeeland bij dunne zavellagen (z.g. plaatgronden) aanmerkelijk lagere opbrengsten verkregen dan bij dikke kleidekken (z. g. schorgronden).

De uitkomsten in de bijdragen VI en VIII komen bevredigend overeen met de ervaring, die tevoren reeds door G. VELDMAN e.a. in dergelijke gronden is opgedaan.¹ Door deze onderzoekers was gevonden, dat zavelgronden droogtegevoelig en weinig productief zijn, wanneer de gewassen slechts over een dunne kleilaag kunnen beschikken. Met toenemende dikte van de zavel laag neemt de opbrengst eerst snel en geleidelijk minder snel toe. Bij een zaveldek van 70 cm bleek de opbrengst ongeveer gelijk te zijn aan die van de beste zavelgronden. Een ander resultaat was, dat de zwaarte van de klei of zavel hierbij van ondergeschikt belang is, mits het slibgehalte hoger is dan circa 13 %.

Na hetgeen hieromtrent door deze auteurs is waargenomen, is het heel waarschijnlijk, dat watergebrek de hoofdoorzaak is van de geringe opbrengst der gewassen in profielen met dunne kleidekken. Dit is begrijpelijk, niet alleen omdat zand bij diepe waterstand aanmerkelijk minder water voor de gewassen beschikbaar heeft dan klei, maar ook omdat gebleken is, dat de planten in klei-op-zandprofielen slechts zeer weinig wortels in de zandige ondergrond uitzenden.

Daarnaast moet aan de mogelijkheid van voedselgebrek worden gedacht. Klei heeft meer mineralen voor het gewas beschikbaar dan zand en de hoeveelheid daarvan is op mariene gronden min of meer evenredig aan de dikte van de kleilaag, wanneer men afziet van de toegevoegde bemesting (VELDMAN, 1949). Wanneer de grond optimaal is bemest, is het echter niet waarschijnlijk, dat voedselgebrek bij de dunne kleidekken een overwegende rol zal spelen, aangezien de mest oppervlakkig wordt toegediend en deze – althans in normale zomers – weinig aan uitspoeling onderhevig is (V). Treedt een zekere verplaatsing van voedingszouten door uitspoeling op, zoals in de herfst-, winter- en voorjaarsmaanden, maar ook in natte zomers te verwachten is, dan kunnen er bij de dunnere kleidekken meer mineralen voor het gewas verloren gaan dan bij dikkere lagen.

Voedselgebrek kan echter ook in droge perioden optreden. Dit is het geval, wanneer de bovengrond, waaraan de mest is toegediend, te veel vocht verliest en de mineralen daardoor minder goed opneembaar worden voor de plantenwortels (GLIEMEROTH, 1953). Aangezien de zandige ondergrond meestal arm is aan voedingszouten en bovendien slecht doorworteld is, is het waarschijnlijk, dat het gewas onder deze omstandigheden ook voor zijn voeding met een dikkere kleilaag gebaat zal zijn. Aan de betekenis van de kleilaagdikte voor de voedselvoorziening van het gewas is echter door de medewerkers aan deze publicatie geen aandacht besteed, zodat hier met deze korte theoretische beschouwing moet worden volstaan.

Hoewel evenmin bepalingen werden gedaan over het watergebruik der gewassen in afhankelijkheid van de kleilaagdikte, worden in mededeling VIII resultaten vermeld, die een indruk kunnen geven van de betekenis van het kleidek als vochtreservoir voor het gewas. In deze bijdrage is het gewicht van volwassen tarweplanten bij ongelijke kleilaagdikte in verband gebracht met de stand van het grondwater. Uit de gewichten der bovengrondse delen, die in tabel 1, pag. 133 zijn samengevat, kan worden afgelezen, dat in de profielen met grofzandige ondergrond (U 40), waarin practisch geen wortels waren doorgedrongen, de opbrengsten der dunne kleidekken bij de laagste waterstand veel geringer waren dan bij de hogere waterstanden, waar het watertekort uit het grondwater kon worden aangevuld. Dikke kleidekken hebben echter de hulp van het grondwater niet nodig om een goede opbrengst te geven. De hogere waterstanden hebben bij de dikste kleidekken eerder de neiging een opbrengst-

¹ Men zie hiervoor de rapporten, vermeld op pag. 20 van deze publicatie.

depressie teweeg te brengen, doordat de wortels zich vanwege de hoge waterstand niet diep genoeg in het kleipakket kunnen uitbreiden om dit voor de voeding volledig te kunnen benutten (VIII).

Bij het wortelonderzoek, dat op grasland werd verricht, zijn geen opbrengstbepalingen gedaan (I, II). Hoe dik de kleilaag op grasland moet zijn om een maximale productie te geven, kan dus niet worden gezegd. Wel kan hieromtrent iets worden afgeleid uit de gevonden maximaal bereikbare worteldiepte in graslandprofielen, die tot op grote diepte uit klei of zavel zonder storende lagen zijn opgebouwd. In de Noordoostpolder bleken de wortels in dikke kleipakketten de kleizandgrens niet te kunnen bereiken en hoogstens tot een diepte van 70 à 90 cm in de grond gedrongen te zijn. Er bestaat dus geen aanleiding om op dit grasland nog enige invloed van de kleilaagdikte op de opbrengst te verwachten, wanneer men met kleilagen te maken krijgt, die dikker zijn dan ongeveer 1 meter (II).

c. Wortelgroei en opbrengst bij diepe grondbewerking

Daar de wortels in kleizandprofielen in hoofdzaak in het kleidek tot ontwikkeling komen en de gewassen bij aanwezigheid van dunne kleidekken daardoor niet genoeg water tot hun beschikking hebben, zijn proeven genomen om te trachten, door toepassing van een diepe grondbewerking, de dieptegroei der wortels en daarmee de opbrengst te verbeteren (V, VI).

Dit is enerzijds gebeurd door losmaken van de zandige ondergrond dus zonder vermenging met de bovengrond, anderzijds door diepspitten of diepploegen, waardoor de zavel- of kleilaag voor een deel naar de ondergrond werd verplaatst en een zekere vermenging van zavel en zand tot stand werd gebracht.

Losmaken van het zand onder de kleilaag had in de Noordoostpolder zowel bij de grovere als bij de fijnere zandsoorten en bij verschillende gewassen tot gevolg, dat er meer wortels in de ondergrond doordrongen (V). Hierbij werd door de wortels een diepte bereikt, die met de diepte van de grondbewerking in het zand overeenkwam. Het effect van deze ondergrondsbewerking kan echter na enige tijd door bezakking van het zand weer verloren gaan (V, VI, VII). Bij fijn zand schijnt dit eerder te gebeuren dan bij grof zand, omdat fijn zand minder goed doorlatend en meer aan verslemping onderhevig is (V). Deze verdichting is een algemeen verschijnsel in gronden, waarin het grondwater gedurende de wintermaanden zo hoog oploopt, dat het zand tijdelijk met water wordt verzadigd (VII).

In mededeling VI wordt een praktijkgeval op Walcheren beschreven, waarbij een dikke laag van tamelijk grof zand, die bij de inundatie van 1944/45 op de bouwvoor was afgezet, werd ondergespit en afgedekt met de oude bouwvoor en een deel van de ondergrond. Op deze profielen drongen veel wortels diep in de loszandige ondergrond door.

Losmaken van de zandondergrond sorteert niet altijd zoveel effect als op Walcheren werd waargenomen. Op een andere grond in Zeeland met een zavellaag van 35 cm bleek losmaken van het zand op de bewortelingsdiepte van suikerbieten één keer een grote, andermaal een geringe invloed te hebben uitgeoefend. Toen een jaar later op dezelfde grond vlas en aard-appelen werden verbouwd, reageerden de wortels weinig resp. in het geheel niet op de in het vorige jaar toegepaste ondergrondsbewerking (VI).

Diepploegen bleek op de wortelgroei meer effect te hebben dan enkel losmaken van de zandlaag. Op een perceel met 35 cm zavel, die rustte op een 30 cm dikke zandlaag, waaronder weer zavel voorkwam, ging haver met zijn wortels 40 cm diep. Na diepspitten tot 65 cm drongen de wortels tot 1,10 m in de zavelige grond door. Doordat er geen ideale vermenging van zavel en zand tot stand was gekomen, volgden de wortels uitsluitend de „zavelbalken”, die bij deze grondbewerking in de ondergrond terecht waren gekomen (VI). Bij appelbomen had diep omwerken van de grond, waardoor de zavel tot grote diepte werd „uitgesmeerd”,

eveneens een zeer gunstig effect op de dieptegroei van het wortelstelsel (VII). Een voordeel van diepploegen boven gewoon ondergronden is, dat de wortelgroei jaren lang de gunstige invloed daarvan blijft ondervinden (VI, VII).

De grotere diepte, die de wortels in kleizandprofielen bereiken, wanneer de zandige ondergrond wordt gebroken of door diepploegen wordt verbeterd, gaat meestal gepaard met een betere ontwikkeling van het gewas en een vermeerdering van de opbrengst (V, VI, VII).

In bijdrage V worden vier proeven met haver en wintertarwe en één proef met voederbieten beschreven, die in de jaren 1948, 1949 en 1951 in de Noordoostpolder zijn genomen en waarbij kleizandprofielen met een dun kleidek aan de beide genoemde grondbewerkingen werden onderworpen. Het effect daarvan werd vergeleken met dat van een normale grondbewerking, die tot een diepte van 20 resp. 25 cm werd uitgevoerd. Beide bewerkingen hadden een betere groei van het gewas en een verhoging van de opbrengst tot gevolg.

Wintertarwe groeide het best bij de diepste grondbewerking (60 cm) en had tijdens het schieten een lengte van circa 75 cm tegen een lengte van ongeveer 50 cm bij de normale bewerking. Dat deze voorsprong in hoofdzaak verband houdt met de betere watervoorziening van het gewas ten gevolge van de diepere beworteling, bleek uit een soortgelijke proef met voederbieten, die bij normale bewerking in een droge periode hun bladen lieten hangen zonder zich 's nachts te herstellen, terwijl de planten bij diepe grondbewerking (60 cm diep) geen spoor van verwelking vertoonden (V).

De opbrengst nam echter bij de voederbieten onder invloed van de diepe grondbewerking gemiddeld slechts enkele procenten toe. Groter was de opbrengststijging bij de graangewassen (haver en wintertarwe), al vertoonde deze in de verschillende proeven – zelfs bij een zelfde gewas – een grote variatie. De grootste opbrengstvermeerdering werd verkregen in één der proeven met wintertarwe bij een bewerkingsdiepte van 60 cm. Door deze bewerking bleek de opbrengst met een bedrag van 28 % gestegen te zijn. Daar staan echter andere proeven met een zelfde bewerkingsdiepte tegenover, die een veel lagere opbrengststijging (minimaal 7 %) hebben gegeven (V). Soortgelijke proeven zijn genomen in Zeeland (VI), alleen met dit verschil, dat hier alleen de invloed van diepploegen op de opbrengst werd nagegaan. In een grond met 30 à 35 cm zavel werd door ploegen tot een diepte van 65 cm de korrelopbrengst van gerst verhoogd met circa 14 % en de knollenopbrengst van twee aardappellrassen met resp. 7 en 4 % (VI). Appelbomen gaven in Zeeland in een diep bewerkte grond, waarbij het kleidek over een dikkere laag werd uitgesmeerd, een duidelijk betere stand te zien (VII).

Van belang is ook de diepte van de grondbewerking. In de Noordoostpolder werd gevonden, dat bij een 60 cm diepe bewerking de opbrengststijging gemiddeld duidelijk hoger was dan bij een grondbewerking, die tot een diepte van 40 cm reikte (V). Een ander resultaat was, dat het voor de opbrengst in het algemeen niet veel verschil maakte, of gediepploegd werd, dan wel, of men zich beperkte tot het losmaken van de zandige ondergrond tot overeenkomstige diepte (V). Dit resultaat mag natuurlijk niet worden gegeneraliseerd, daar te verwachten is, dat dit afhankelijk zal zijn van de weersomstandigheden in het betreffende proefjaar en van andere factoren, waarop in deze samenvatting niet dieper kan worden ingegaan. Dit is echter wel zeker, dat de betekenis van het losmaken van de zandige ondergrond voor de watervoorziening der gewassen niet mag worden overschat. Dit is gebleken uit een proef op Walcheren in de droge zomer van 1949, waar bij toenemende kleilaagdikte een duidelijke opbrengststijging werd verkregen, niettegenstaande de zandige ondergrond diep was losgemaakt en bij alle kleilaagdikten goed en diep doorworteld was. Hieruit volgt, dat een rijke wortelgroei in het zand geen goede wateropname waarborgt (VI). Het watertekort doet zich uiteraard het sterkst gelden bij grof zand, wanneer dit door een dunne kleilaag is bedekt. Appelbomen vertoonden in Zeeland in deze profielen de slechtste stand (VII).

Ongetwijfeld moet het als een voordeel van diepploegen worden beschouwd, dat de dieper gaande wortels in droge perioden, dank zij het hogere slijbgehalte in de aanvankelijk slijbarme ondergrond, over meer water kunnen beschikken. De in de ondergrond gebrachte klei kan, mede door de daardoor veroorzaakte rijkere beworteling, ook de voeding van het gewas ten goede komen, wanneer er door uitdroging van de bouwvoor, door uitspoeling of anderszins een voedseltekort in de bovengrond zou ontstaan. Hier staan echter andere omstandigheden tegenover, die het gunstige effect van het diepploegen gedeeltelijk kunnen opheffen. Hierbij kan gedacht worden aan de „verdunding” van de zavelaag met zand en de daarmee gepaard gaande daling van de vochtreserve in de bovengrond, alsmede aan de verslechtering van het zaaibed bij deze grondbewerking, al blijken niet alle gewassen daarvoor even gevoelig te zijn (V).

Hoewel verdere proeven zullen moeten uitmaken, welke van deze methoden de voorkeur verdient, is de schrijver van deze samenvatting voorlopig geneigd, aan te nemen, dat van diepploegen in het algemeen meer effect op de opbrengst te verwachten is dan van een grondbewerking, waarbij het zand alleen maar wordt losgemaakt. Dit standpunt wordt ook verdedigd in bijdrage VII. De schrijver van dit artikel beroept zich daarbij op een proef met graangewassen van enige jaren geleden in de Wilhelminapolder, waarbij geen effect met ondergronden van het zand, doch wel een duidelijk effect met diepploegen werd verkregen.

Toch werden door de schrijvers van bijdrage V en VI met diepploegen minder grote opbrengsten verkregen dan men van deze cultuurmethode zou verwachten. In hoeverre diepploegen economisch verantwoord is, moet in het midden worden gelaten, omdat aan dit punt in deze publicatie geen aandacht is geschonken.

Volledigheidshalve moet ten slotte worden opgemerkt, dat in het vochttekort in kleizandprofielen met dunne kleilagen ook door irrigatie of infiltratie zou kunnen worden voorzien. Door toepassing van deze methoden wordt het water rechtstreeks met de wortels in aanraking gebracht zonder dat de doorwortelbare diepte behoeft te worden vergroot. Wij laten deze mogelijkheid hier verder buiten beschouwing, omdat hierover door de schrijvers van deze publicatie geen proeven zijn genomen. Wel zijn in mededeling IV en VIII gegevens te vinden over de invloed van de grondwaterstand op de wortelontwikkeling en de opbrengst op kleizandprofielen, maar deze zijn te onvolledig en deels nog te onzeker om hieruit te kunnen afleiden, hoe hoog het grondwater in profielen met dunne kleidekken moet worden opgevoerd om in droge perioden het watertekort te kunnen compenseren.

d. De oorzaken van de slechte wortelgroei in de zandige ondergrond

Uit de meestal plotselinge daling van de worteldichtheid bij de overgang der wortels uit de kleilaag naar de daaronder liggende zandlaag werd reeds de gevolgtrekking gemaakt, dat het zand een ongunstig milieu vormt voor de wortelgroei. Ook de afwijkende bouw, die de wortels in de zandlaag vertonen, heeft tot deze conclusie bijgedragen.

In een vijftal artikelen (II, V, VI, VII, VIII) worden beschouwingen gegeven over de mogelijke oorzaken van de gebrekkige en abnormale groei, die de wortels in de zandlaag vertonen. Er worden daarin vier factoren genoemd, die in aanmerking zouden komen voor een verklaring van dit verschijnsel, t.w. watergebrek, voedselgebrek, zuurstofgebrek en tenslotte de fysische weerstand van het zand, die ook wel mechanische weerstand wordt genoemd. In bijdrage VIII wordt met een enkel woord ook de invloed van kalk in de zandige ondergrond ter sprake gebracht. Werd een kalkarme zandondergrond van kalk voorzien, dan bleek dit op de wortelgroei en de opbrengst van tarweplanten geen invloed te hebben. Uit proeven, die aan het Landbouwproefstation in Groningen zijn genomen, is echter wel bekend, dat gewassen, die een hoge pH vereisen voor hun ontwikkeling, zoals suikerbieten,

lucerne, mosterd, e.d., met hun wortels duidelijker op kalk reageren. De uitkomsten van de proef in bijdrage VIII mogen dus niet worden gegeneraliseerd, te minder, omdat de bekalking in deze proef niet in „trappen” werd toegediend zodat geen volledig beeld van de kalkinvloed werd verkregen. Wij zullen ons derhalve moeten beperken tot een bespreking van de vier eerstgenoemde factoren.

Hoewel zand bij diepe grondwaterstand doorgaans minder water bevat dan klei of zavel, lijkt het niet waarschijnlijk, dat het slechte binnendringen der wortels in het zand en de gebrekkige wortelgroei in dit milieu voor een belangrijk deel aan vochtgebrek moeten worden geweten. De zandlaag heeft nl. bij voldoende diepe ontwatering aanvankelijk een vochtgehalte, dat met de watercapaciteit van het zand overeenkomt. Dit houdt in, dat de zandlaag in het algemeen vochtig genoeg is voor een redelijke wortelgroei op het moment, dat de wortels deze laag bereiken (V, VI, VII). Leerzaam is in dit verband ook de omstandigheid, dat men de wortelgroei in de zandlaag kan bevorderen door deze los te maken (V, VI). Daar het vochtgehalte in het zand door deze maatregel zeker niet wordt verhoogd, ligt het voor de hand, de stagnatie van de wortelgroei in het ongeroerde zand eerder aan andere omstandigheden dan aan vochtgebrek toe te schrijven.

Toch mag een zekere mate van vochtgebrek in het zand als remmende factor bij de wortelgroei niet geheel worden buitengesloten. Door één der onderzoekers werd bij tarwe waargenomen, dat de wortels bij een voldoende diepe ontwatering in grof zand met een U-waarde van 40 minder diep doordringen dan in een meer fijnzandige ondergrond met U-waarden, die opklimmen tot 127 (VIII). De watervoorraad (veldcapaciteit minus verwelkingsgrens), waarover de wortels kunnen beschikken, is in zand doorgaans veel geringer dan in klei of zavel, zodat het niet ondenkbaar is, dat de wortels in zand – en dan vooral in grof zand – tijdens hun groei hiervan nadeel ondervinden (V). Van veel betekenis is deze invloed vermoedelijk niet. Wij herinneren daartoe aan het reeds genoemde onderzoek op Walcheren, waar een ondergespitte laag van grof zand met een U-waarde van slechts 65 zelfs bij een lage waterstand nog goed doorworteld bleek te zijn (VI). Niet onvermeld mag blijven, dat het bovenste gedeelte van de zandlaag in de loop van het seizoen zeer sterk kan uitdrogen (V, VIII), niet alleen doordat de weinige, in het zand gedrongen wortels daar water aan onttrekken, maar ook door een verplaatsing van water in dampvorm naar de daar boven liggende zavel-laag, wanneer deze laatste in droge perioden veel water verliest en een grote zuigspanning doet ontstaan (VII).

Het spreekt vanzelf, dat het zand onder deze omstandigheden moeilijk toegankelijk is geworden voor de wortels. De in het uitgedroogde zand aangetroffen wortels zijn daarin tot ontwikkeling gekomen in een tijd, toen het zand nog vochtig genoeg was om wortelgroei mogelijk te maken. Dat er toen niet meer wortels in geslaagd zijn, in het zand door te dringen, kan volgens de boven aangevoerde argumenten moeilijk op rekening worden gesteld van vochtgebrek. Door de meeste auteurs wordt dan ook aan de remmende invloed van de factor watergebrek op de wortelgroei in de zandige ondergrond nauwelijks enige betekenis toegekend (VI, VII, VIII).

Daar de zandondergrond doorgaans veel armer is aan voedingszouten dan de bemeste zavel- of kleilaag, is ook gedacht aan voedselgebrek als oorzaak van de geringe worteldichtheid in het zand. De ervaring heeft echter geleerd, dat plantenwortels in een voedselarme laag redelijk kunnen doordringen, mits in deze laag de omstandigheden overigens gunstig genoeg zijn voor de wortelgroei en er in het profiel een voedselrijke laag voorkomt, waaruit genoeg mineralen geput kunnen worden om de planten in staat te stellen, voldoende wortels in voedselarme lagen tot ontwikkeling te brengen. Het is nl. zo, dat planten bij gebrek aan voedingszouten klein blijven en dat de wortelgroei hiervan indirect nadeel ondervindt. Toch

kan niet ontkend worden, dat de worteldichtheid in een arme laag meestal geringer is dan in een aangrenzende laag, die van mest is voorzien (GOEDEWAAGEN, 1932, 1944). Deels wordt dit veroorzaakt, doordat de wortels in een rijke laag doorgaans dichter met zijwortels zijn bezet dan in een arme laag. Ook schijnt een bemeste laag min of meer remmend te werken op het indringen der wortels in een onbemeste laag (CHRIST and WEAVER, 1924), vermoedelijk doordat de lengtegroei der wortels door de rijke zijwortelvorming in de bemeste laag wordt vertraagd. Het duidelijkst is dit verschijnsel waar te nemen in gronden, waar een stikstofrijke laag aan een stikstofarme laag grenst (SOKOLOV, 1934). Dit verhindert echter niet, dat er onder de genoemde voorwaarden in een voedselarme laag nog vrij veel wortels kunnen doordringen. In de praktijk blijkt een goed bemeste bouwvoor geen ernstig beletsel te vormen voor een diep en vrij rijkelijk indringen der wortels in de meestal veel armere ondergrond, indien de wortelgroei daarin niet door storende lagen wordt verhinderd. De conclusie ligt voor de hand, dat voedselarmoede in de zandlaag der klei-op-zandprofielen slechts in geringe mate aansprakelijk mag worden gesteld voor de geringe worteldichtheid, die in deze laag meestal wordt aangetroffen (V t/m VIII). Dit blijkt nog duidelijker uit een waarneming bij appelbomen, waarvan in mededeling VII melding wordt gemaakt. De auteur heeft kunnen vaststellen, dat zavelagen veel meer wortels bevatten dan zandlagen op overeenkomstige diepte, ook wanneer deze beide grondsoorten even arm zijn aan plantenvoedsel. Dit betekent, dat de gebrekkige wortelgroei in het zand grotendeels door andere factoren veroorzaakt moet zijn. Het feit, dat door losmaken van de zandige en meestal voedselarme ondergrond een beter indringen der wortels tot stand kan worden gebracht (V), wijst in dezelfde richting.

Na het voorafgaande ligt het voor de hand, de hoofdoorzaak van de gebrekkige wortelgroei in het zand te zoeken onder die eigenschappen van het zand, die bij het los maken daarvan een ingrijpende verandering ondergaan. Het is vooral de structuur van het zand, die door deze bewerking grondig wordt gewijzigd. In de ongeroerde grond vormt het zand een min of meer compacte massa met een poriënvolume, dat meestal klein en doorgaans lager is dan in de daarboven liggende klei (VIII). Door het zand los te maken neemt het poriënvolume vaak toe en het volumegewicht dienovereenkomstig af. Zo werd in mariene gronden in Zeeland in de intacte zandondergrond een volumegewicht gevonden van 1,611 tegen een waarde van 1,466 in het doorgespitte zand (VI), hetgeen overeenkomt met een poriënvolume van resp. 39 en 44 %. Door deze bewerking wordt echter het poriënvolume van het zand niet altijd verhoogd. Vermoedelijk is het voor de wortelgroei veel belangrijker, dat hierdoor een ingrijpende wijziging wordt gebracht in de poriën-verdeling van de zandlaag. Het intacte zand is doortrokken van een groot aantal fijne, min of meer gelijkwaardige poriën, terwijl na het breken daarvan naast fijne poriën een aantal grotere holten en kanaaltjes optreden, die het indringen der wortels vergemakkelijken.

Men kan hierbij denken aan een betere zuurstofvoorziening als oorzaak van het vlottere indringen der wortels. De betekenis van de zuurstofvoorziening voor de dieptegroei van het wortelstelsel wordt uitvoerig besproken in bijdrage V. In dit artikel wordt aangetoond, dat met het geleidelijk dieper indringen van de lucht tijdens het rijpingsproces van jonge Zuiderzeepolders een overeenkomstige toename van de bewortelingsdiepte gepaard gaat. In de zavel gaat de rijping sneller dan in zandlagen, omdat zavel en klei de eigenschap bezitten om bij vochtverlies krimpscheurtjes te doen ontstaan, die een geleidelijk dieper indringen van de zuurstof en van de plantenwortels mogelijk maken. Daar zand deze eigenschap mist, zoals ook in bijdrage VI en VII wordt geconstateerd, is de schrijver van mededeling V op grond van zijn ervaring op jonge, rijpende gronden in de Noordoostpolder geneigd, ook in oudere gronden het slechte indringen der wortels in de zandlaag in de eerste plaats aan zuurstofgebrek toe te schrijven, al worden andere mogelijkheden door hem niet van de hand gewezen.

Door de schrijvers van bijdrage VI wordt echter in twijfel getrokken, of er in de compacte zandlaag der kleizandprofielen bij genoegzame ontwatering wel een tekort aan zuurstof mag worden verondersteld. Het poriënvolume is in het zand meestal veel kleiner dan in het kleidek, maar toch niet zoveel kleiner, dat er te weinig zuurstof voor de wortels beschikbaar zou zijn. Bovendien zijn door deze schrijvers ijzerhoudende zandlagen aangetroffen, die een ernstige belemmering vormden voor de wortelgroei, hoewel deze lagen niet de blauwe kleur vertoonden, die kenmerkend is voor de reductietoestand van deze zandsoort. De schrijvers denken daarom eerder aan een „mechanische belemmering” in die zin, dat de poriën in het zand te nauw zouden zijn om de wortels voldoende toegang tot het zand te kunnen verschaffen (VI).

In de mededelingen II en VIII wordt eveneens de suggestie gedaan, dat de slechte wortelgroei in de zandlagen op een physische weerstand zou berusten, zonder dat daarbij wordt duidelijk gemaakt, hoe men zich deze weerstand feitelijk moet voorstellen. Voor de aanname van een „mechanische weerstand” pleit in het bijzonder bijdrage VIII, waarin aangetoond wordt, dat de abrupte afname van de worteldichtheid bij de overgang van klei naar zand een algemeen verschijnsel is, dat ook optreedt, wanneer de in het zand beschikbare hoeveelheid water en lucht gunstig moet worden geacht voor de wortelgroei (VIII).

De weerstandshypothese vindt verder steun in de misvormingen, die menige wortel in de zandlaag vertoont, en die de indruk wekken, dat de wortels bij hun groei door het zand een grote tegenstand hebben moeten overwinnen (V, VI, VII, VIII). Inderdaad zijn de wortels in een los gemaakte zandlaag normaler gebouwd (V). Een ander argument is, dat wortels, die in de zandlaag in wormgangen of oude wortelgangen werden aangetroffen, dieper bleken te gaan dan de wortels in de omringende grond (VII). Het is echter duidelijk, dat hierbij even goed aan een betere zuurstofvoorziening kan worden gedacht. De schrijvers van de bijdragen II, VI, VII en VIII komen tenslotte tot de conclusie, dat de slechte wortelgroei in het zand in hoofdzaak door een mechanische weerstand wordt teweeggebracht.

Hierbij dient opgemerkt te worden, dat nog niet voldoende is uitgemaakt, waardoor deze weerstand precies wordt veroorzaakt. Een diepgaand onderzoek naar de physische gesteldheid der zandlagen is een eerste vereiste om hieromtrent uitsluitsel te kunnen verkrijgen.

In hoeverre het moeilijke indringen der wortels in een zandige ondergrond mede door zuurstofgebrek wordt veroorzaakt, kon niet met zekerheid worden vastgesteld. Volgens een recent onderzoek van BERGMANN (1954) zou hierbij ook aan een schadelijke invloed van koolzuurovermaat gedacht kunnen worden. Meer gegevens betreffende de lucht- en zuurstofhuishouding in diverse zandlagen en over de zuurstofbehoefte resp. de koolzuurgevoeligheid der plantenwortels zijn noodzakelijk om zich hiervan een beeld te kunnen vormen. Alleen in het extreme geval, dat het grondwater hoog staat en de zandlaag geheel met water is verzadigd, kan het niet indringen der wortels in het zand met zekerheid aan zuurstofgebrek worden toegeschreven (VIII).

De inhoud van deze paragraaf over de oorzaken van de groeistagnatie der wortels in het zand kan in het kort als volgt worden samengevat:

Op het moment, dat de wortels de zandige ondergrond bereiken, is in deze zandlaag bij diepe waterstand niet alleen genoeg lucht maar meestal ook voldoende vocht voorhanden voor een redelijke wortelgroei. Het vochtgehalte in de zandlaag komt dan ongeveer met de veldcapaciteit van deze laag overeen. De geconstateerde, slechte wortelgroei in het zand kan dus niet of slechts in geringe mate aan water- of zuurstofgebrek worden toegeschreven. Hoewel de zandige ondergrond meestal arm is aan voedingszouten, bestaat er evenmin aanleiding om aan deze gebreksfactor een overwegende betekenis toe te kennen. Het moet zeer waarschijnlijk worden geacht, dat de gebrekkige en abnormale wortelgroei in de zandige

ondergrond bij genoegzame ontwatering in hoofdzaak op een mechanische belemmering berust. Deze conclusie is echter meer het resultaat van empirische overwegingen en van een redenering uit het ongerijmde dan van een fundamenteel onderzoek naar de diepere oorzaken van dit verschijnsel. Zo is de vraag, hoe men zich deze fysische weerstand moet voorstellen, niet grondig genoeg bestudeerd. Opgemerkt moet nog worden, dat onder bepaalde omstandigheden de wortelgroei in het zand niet door de genoemde fysische weerstand maar door zuurstofgebrek kan worden verhinderd. Dit geval doet zich voor bij hoge waterstand, wanneer het zand geheel of grotendeels met water is verzadigd.

LITERATUUR

- BERGMANN, W., Wurzelwachstum und Ernteertrag. *Zschr. f. Acker- und Pflanzenbau* 97 (1954) 337-368.
- CRIST, J. W. and J. E. WEAVER, Absorption of nutrients from subsoil in relation to crop yield. *Botan. Gazette* 77, (1924) 121-148.
- GLIEMEROTH, G., Bearbeitung und Düngung des Unterbodens in ihrer Wirkung auf Wurzelentwicklung, Stoffaufnahme und Pflanzenleistung. *Zschr. für Acker- und Pflanzenbau* 96, (1953) 1-44.
- GOEDEWAAGEN, M. A. J., De groei van het wortelstelsel der planten bij gelijke en ongelijke vruchtbaarheid van boven- en ondergrond. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 38A, (1932) 179-199.
- Het wortelstelsel der landbouwgewassen. Alg. Landsdrukkerij, 's-Gravenhage, 1942.
- SOKOLOV, A. W., Horizontale Verteilung der Dünger im Boden und ihre Bedeutung für den Ertrag der überirdischen Masse und der Wurzeln der Pflanze. *Die Phosphorsäure* 4, (1934) 600-608.
- VELDMAN, G., Over de landbouwkundige eisen, welke aan in te polderen gronden gesteld moeten worden. *De Ingenieur* 61, (1949) 342.

I. DE WORTELONTWIKKELING IN GRASLANDPROFIELEN BIJ VELSEN (N.H.) EN BIJ KLUNDERT (N.B.), WAAR KLEILAGEN VAN VERSCHILLENDE DIKTE RUSTEN OP EEN ONDERGROND VAN ZAND OF VEEN

M. A. J. GOEDEWAAGEN

Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O., Groningen

1. INLEIDING

In deze bijdrage worden de resultaten meegedeeld van wortelwaarnemingen, die in 1942 verricht werden in grondmonsters, afkomstig van graslandpercelen in kleigebieden, waar een kleilaag rustte op een ondergrond van zand of veen.

Deels waren deze monsters genomen in de omgeving van Klundert, waar te dien tijde door Ir H. KOORNNEEF¹ een bodemkartering werd verricht, anderdeels in de omgeving van Velsen, waar in verband met de aldaar voorgenomen tunnelbouw en het plaatsen van een bouwput droogteschade in de gewassen door wateronttrekking werd gevreesd.

Het heeft aanvankelijk niet in de bedoeling gelegen in deze monsters wortelwaarnemingen te doen. Door een toevallige omstandigheid kreeg ik echter deze monsters onder ogen op het moment, dat zij voor een ander doel gesorteerd en op tafels uitgelegd werden. Bij vluchtige beschouwing der monsters viel het op, dat de kleilaag in de diverse bemonsterde profielen aanzienlijk in dikte verschilde en dat de wortels voor de zandige of venige ondergrond een zekere afkeer aan de dag schenen te leggen. Dit heeft mij aanleiding gegeven, om tezamen met de toenmalige botanische analist aan het Proefstation, G. KOOISTRA, de worteldichtheid in de diverse monsters relatief te schatten om zodoende het verband tussen de wortelontwikkeling en het bodemprofiel beter te kunnen beoordelen. Naast de geschatte worteldichtheidscijfers werd genoteerd, of de monsters uit klei, dan wel uit zand of veen waren opgebouwd, terwijl tevens op het oog beoordeeld werd, of de klei in de kleimonsters tot het zwaardere type behoorde dan wel of deze een meer zavelig karakter droeg. Er was echter geen gelegenheid, aandacht te schenken aan de geaardheid van het onder de klei liggende zand of veen, doordat de monsters slechts korte tijd voor de waarneming beschikbaar waren. Evenmin was het mogelijk, de uitkomsten van de relatieve worteldichtheidsschatting te controleren door een gedeelte der monsters te spoelen en de wortelmasa hierin quantitatief vast te stellen, daar de monsters nu eenmaal voor een ander doel bestemd waren en niet aan het wortelonderzoek opgeofferd konden worden.

De bemonsterde percelen hadden in het algemeen een vrij diepe grondwaterstand. Alleen bij Klundert scheen het grondwater wel eens wat dichter bij de oppervlakte te komen. Een leemte is verder, dat ons geen gegevens omtrent de grasproductie op de bemonsterde percelen ter beschikking stonden, en dat het gras op de zodemonsters te zeer verdord was, om de botanische samenstelling op de monsterplekken te kunnen vaststellen. De grondmonsters bij Klundert werden in profielkuilen genomen. Dit was ook het geval bij een deel der monsters uit Velsen, terwijl ter aanvulling een tweede serie monsters in dit gebied met een lepelboor werd genomen. In totaal waren dus drie series monsters uitgelegd, die in het onderstaande met de namen „grondmonsters-Klundert”, „profielmonsters-Velsen” en „boormonsters-Velsen” zullen worden onderscheiden.

¹ Ir H. KOORNNEEF. De bodemgesteldheid van Niervaart, Zwaluwen en omstreken. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 51(11)A (1945) 235-465.

Bij een voorlopige bewerking van de resultaten der worteldichtheidsbepaling werd bevestigd, dat er tussen de diverse profielen een grote variatie in de dikte van het kleidek bestond. Het bleek echter, dat deze kleilaag bij de meeste profielen geleidelijk, bij andere daarentegen plotseling in zand (of veen) overging. Zo waren er van de bemonstering bij Klundert 83 profielen uitgelegd, waarvan slechts 21 profielen een scherpe overgang van klei (resp. zavel) naar zand of veen vertoonden. Bij de profielen, waar de klei geleidelijk in het zand of veen overging, trad geen duidelijk verband tussen de kleilaagdikte en de bewortelingsdiepte aan de dag, vermoedelijk, doordat in deze profielen de grens tussen klei en zand niet altijd met voldoende zekerheid kon worden vastgesteld. Bij de monsters met een scherpe overgang van klei naar zand of veen werd echter, zowel in de profielen van Klundert als in die van Velsen een duidelijke toename van de worteldiepte met de dikte van de kleilaag waargenomen. Met dit resultaat meenden wij voorlopig genoeg te kunnen nemen.

Pas toen in 1948 door de „Commissie Onderzoek Landaanwinning” aan het Landbouwproefstation en aan andere instanties in verband met vraagstukken betreffende de inpoldering van wad en kweldergronden de vraag werd voorgelegd, hoe dik een kleilaag minstens moet zijn voor een maximale ontwikkeling der gewassen, werd overgegaan tot een definitieve bewerking van het cijfermateriaal uit Klundert en Velsen, die uiteraard beperkt bleef tot *de profielen, waar de kleilaag plotseling in zand (of veen) overging*. Er werd over de resultaten van dit wortelonderzoek een rapport voor genoemde Commissie opgesteld, dat gevoegd werd bij de rapporten van andere onderzoekers, die dit probleem meer van landbouwkundige, bodemkundige, agrogeologische en agrohydrologische zijde hebben belicht.

Aan de Werkgroep uit de Commissie Onderzoek Landaanwinning werden de volgende rapporten toegezonden:

DRS A. J. WIGGERS: „Enkele gegevens, betrekking hebbende op de eisen, welke de landbouw heeft te stellen aan de aard van de grond in nieuw in te polderen gebieden.” – Hierin waren bijdragen opgenomen van Dr M. A. J. GOEDEWAAGEN: „Over de wortelontwikkeling in graslandprofielen, waar een kleilaag rust op een ondergrond van zand of veen”, en van Dr P. K. PEERLKAMP: „Enige beschouwingen over de waterhuishouding van een kleilaag op een zandige ondergrond in verband met de dikte van die laag”. Verder van Ir S. F. KUIPERS: „De verschillen in rijpheid ten tijde van de bedijking van de Nieuwlandpolders op Schouwen-Duiveland en Tholen”, en van Ir G. VELDMAN: „Over de landbouwkundige waarde van lichte mariene gronden”.

Een samenvattend rapport over de uitkomsten der bovengenoemde onderzoekingen werd namens de Werkgroep uit de „Commissie Onderzoek Landaanwinning” opgesteld door Dr A. J. ZUUR, getiteld: „Over de eisen, welke de landbouw stelt aan de samenstelling van aan te winnen grond, met name aan het kleigehalte en aan de dikte van de kleihoudende laag”.

Hoewel het niet mogelijk is gebleken, de vraag van de Commissie voor Landaanwinning naar de voor het gewas vereiste minimale kleilaagdikte aan de hand van dit wortelonderzoek rechtstreeks te beantwoorden, meenden wij hiermee toch wel een bijdrage te hebben geleverd tot een beter begrip van de betekenis der kleilaagdikte voor de ontwikkeling der gewassen. Voor PEERLKAMP is dit aanleiding geweest, voor de Commissie voor Landaanwinning een rapport samen te stellen (zie boven), waarin hij, uitgaande van de gegevens van het wortelonderzoek in de monsters van Klundert en Velsen, aan de hand van agrohydrologische beschouwingen tot de conclusie is gekomen, dat bij diepe waterstanden, waarbij de capillaire stijghoogte kleiner is dan de afstand van het phreatisch vlak tot de onderkant van de kleilaag, met een kleilaagdikte van 80 cm kan worden volstaan, omdat in een dergelijke kleilaag de waterreserve ook bij geringe neerslag voldoende zal zijn voor een goede ontwikkeling van het gewas.

Alvorens nu over te gaan tot een beschrijving van de door ons gevolgde werkwijze en van de verkregen resultaten, dient opgemerkt te worden, dat hierbij in grote trekken vastgehouden

is aan de inhoud van het vroeger hierover uitgebrachte rapport, alleen met dit verschil, dat de stof thans uitvoeriger is behandeld en dat op sommige details ditmaal dieper is ingegaan.

2. METHODIEK

In de monsters der diverse profielen werd de *worteldichtheid* (de hoeveelheid wortels per volume-eenheid grond) *relatief* geschat, en wel zo, dat van elk profiel (d.i. van elke boring) de worteldichtheid in het monster van de bovenste laag op 100 werd gesteld, terwijl die der dieper gelegen monsters hierop werd herleid (verticale taxatie). Vervolgens werd bij elk der drie monsterseries, waarvan in de inleiding sprake was, de worteldichtheid van de *bovenste laag* der diverse boringen onderling vergeleken en geschat (horizontale taxatie). Hiertoe werd de worteldichtheid van het ogenschijnlijk dichtst doorwortelde monster der bovenste laag op 100 gesteld en die van de andere monsters der zelfde laag in een verhoudingscijfer uitgedrukt.

De getallen der verticale taxatie werden daarna omgerekend op die van de horizontale taxatie der betreffende monsterserie. Op deze wijze werden „afgeleide taxatiewaarden” verkregen, die het mogelijk maakten, de monsters van alle profielen van eenzelfde monsterserie ten aanzien van de worteldichtheid onderling te vergelijken. In tegenstelling hiermee hebben de *niet* omgerekende waarden der verticale taxatie uiteraard slechts betrekking op de wortelverdeling in de afzonderlijke profielen.

Voor het verkrijgen van onderling vergelijkbare relatieve worteldichtheidscijfers bij monsters van verschillende profielen kan men ook rechtstreeks tewerk gaan, door de worteldichtheid van één der monsters (b.v. het dichtst doorwortelde monster) op 100 te stellen en die der andere monsters van dezelfde monsterserie daarop te herleiden. Het is ons naderhand gebleken, dat langs deze weg even betrouwbare uitkomsten worden verkregen als wanneer achtereenvolgens een verticale en horizontale taxatie wordt uitgevoerd.

De afgeleide taxatiewaarden, die uit de worteldichtheidscijfers der verticale taxatie met behulp van de getallen der horizontale taxatie door omrekening waren verkregen, werden tenslotte profiel voor profiel grafisch uitgezet tegen de diepte, waarop de monsters werden genomen. Aan de hand van deze grafieken werd voor elk profiel afzonderlijk de relatieve worteldichtheid op diepten van 10, 20, 30 cm enz. beneden het maaiveld afgelezen. In de tabellen 1 t/m 3 (pag. 29-31) zijn de uitkomsten van deze bewerking samengevat. De relatieve worteldichtheidscijfers zijn in elk dezer tabellen onderling vergelijkbaar.

Uit de cijfers in de tabellen 1 t/m 3 kan tevens de maximale bewortelingsdiepte in de diverse profielen worden afgelezen, voorzover deze profielen hiervoor diep genoeg waren bemonsterd. Het verband tussen de kleilaagdikte en de bewortelingsdiepte is bovendien grafisch weergegeven in fig. 1 en 2.

Om de wortelverdeling in de grond in verband met de dikte van de kleilaag beter te kunnen beoordelen, werd ten slotte op de relatieve worteldichtheidscijfers van tabel 1 t/m 3 een vereffening toegepast, die hieronder in de paragraaf der worteldichtheid nader wordt beschreven, en waarvan het resultaat in fig. 3 en in de tabellen 4 t/m 6 (pag. 32-34) is weergegeven.

Na het voorafgaande zal het duidelijk zijn, dat de cijfers in de genoemde tabellen slechts een ruwe afspiegeling geven van de worteldichtheidsverhouding, die er tussen de monsters der diverse profielen en bij toenemende diepte beneden het maaiveld in werkelijkheid heeft bestaan. Dit neemt niet weg, dat men zich langs deze weg toch wel een globaal beeld kan vormen van de wortelverdeling en van de bewortelingsdiepte van het grasgewas in afhankelijkheid van de kleilaagdikte.

3. RESULTATEN

a. De diepte der beworteling

In fig. 1 is de maximale diepte van de beworteling op de graslandprofielen bij Velsen, waar een kleilaag plotseling overging in een ondergrond van zand, uitgezet tegen de dikte van de kleilaag. Het aantal bemonsterde profielen met een scherpe grenslaag tussen klei en zand is in werkelijkheid groter geweest, doch een gedeelte daarvan kon niet in de grafiek worden opgenomen, omdat deze profielen niet diep genoeg waren geboord om de maximale worteldiepte vast te stellen. Laatstgenoemde profielen komen verderop in ander verband nog ter sprake.

MAX. WORTELDIEPTE IN CM

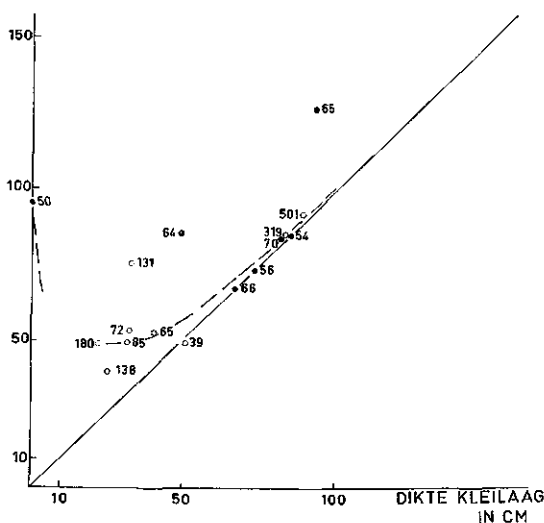


FIG. 1.

Beworteling op kleigrasland bij Velsen in afhankelijkheid van de kleilaagdikte (scherpe grens tussen kleidek en zandige ondergrond).

De cijfers bij de stippen geven de nummers der profielen aan (de open en gesloten stippen hebben resp. betrekking op de „profielmonsters” en op de „boormonsters”).

FIG. 1.

Rooting depth on grassland near „Velsen” (Netherlands) in relation to the thickness of the clay cover. (There is a pronounced discontinuity between the clay layer and the sand below). Ordinate: rooting depth (cms). Abscissa: thickness of the clay cover (cms). The figures near the points are the numbers of the investigated fields. (The black and white points refer to different kinds of soil sampling).

Uit fig. 1 kan het volgende worden afgeleid:

1. Van de 16 boringen zijn er 7, waarbij de wortels even diep zijn gegaan als de kleilaag dik is. Bij de 9 overige boringen zijn de wortels tot een meestal geringe diepte in het zand doorgedrongen. In geen enkel geval – zelfs niet bij een kleilaagdikte van 93 cm (boring 65) – zijn de wortels in de klei blijven steken. Met één oogopslag is te zien, dat de worteldiepte in het algemeen toeneemt met de dikte van de kleilaag.
2. Opmerkelijk is, dat de wortels van perceel 50 een diepte van 93 cm hebben bereikt, niet-tegenstaande het profiel hier uitsluitend uit zand bestond (kleilaagdikte = 0). Waar echter de wortels eerst een kleilaag moesten passeren, zijn zij op één uitzondering na (boring 65) minder diep in de grond doorgedrongen dan bij profiel 50.

Fig. 2 geeft een beeld van de maximale worteldiepte bij 21 soortgelijke profielen in de omgeving van Klundert, alleen met dit verschil, dat in deze grafiek naast 11 kleizandprofielen nog 10 profielen zijn opgenomen, waar de klei rustte op veen. In de kleiveenprofielen, waarvan de nummers in figuur 2 zijn aangestreept, is geen enkele wortel in de venige ondergrond doorgedrongen, terwijl in drie van de elf kleizandprofielen wortels in het zand werden aangetroffen (no. 80, 34 en 81), een gering aantal vergeleken met de situatie bij Velsen, waar

MAX WORTELDIEPTE IN CM

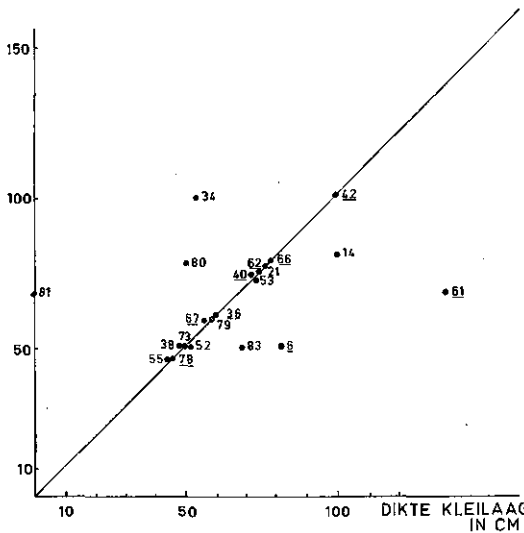


FIG. 2.

Beworteling op kleigrasland bij Klundert in afhankelijkheid van de kleilaagdikte (scherpe grens tussen het kleidek en de zandige resp. venige ondergrond).

Bij de stippen zijn de monsternummers vermeld. Waar deze nummers van een streepje voorzien zijn, rustte de klei op een ondergrond van veen, in de overige gevallen op zand.

FIG. 2.

Rooting depth on grassland near „Klundert” (Netherlands) in relation to the thickness of the clay cover. (There is a pronounced discontinuity between the clay cover and the sandy or peaty subsoil).

Ordinate: rooting depth (cms).

Abscissa: thickness of the clay cover (cms).

Near the points the numbers of the fields are mentioned. The underlined numbers refer to the fields, in which the clay layer covered a peaty subsoil. On the other fields the subsoil consisted of sand.

volgens figuur 1 bij 9 van de 16 kleizandprofielen de wortels in het zand waren doorgegroeid, zij het meestal slechts over een geringe afstand.

In profiel 81 (fig. 2), dat uitsluitend uit zand bestond, gaan de wortels dieper dan op de kleipercelen, voorzover het kleidek dunner is dan circa 70 cm, een geval, dat in principe analoog is aan het gedrag der wortels in het kleiloze profiel 50 in fig. 1. Zowel in het kleigebied bij Velsen als bij Klundert gaan dus de wortels in de onderzochte kleiloze profielen dieper dan men op grond van de geringe dieptegroei, die de wortels bij aanwezigheid van een kleidek vertonen, verwachten zou. Het toeval kan hier echter een rol hebben gespeeld, daar het aantal profielen zonder klei gering is, waarbij nog komt, dat er – wat de kleilaagdikte betreft – een hiaat is tussen de kleiloze profielen en de profielen, die in het bezit zijn van een kleidek. Hoe het komt, dat de wortels van de profielen 34 en 80 in fig. 2 vrij diep in het zand doorgedrongen zijn, kon uit de profielgegevens niet worden opgemaakt.

Bij vier boringen (no. 83, 6, 14 en 61 in fig. 2) bleken de wortels in de kleilaag „doodgelopen” te zijn. Bij profiel no. 6 werd op een diepte van 85 cm een verdichte laag en bij de profielen 83 en 14 werden ter hoogte van de maximale bewortelingsdiepte reductieverschijnselen in de klei waargenomen, die deze beperkte dieptegroei der wortels kunnen hebben veroorzaakt. De afwijking bij nummer 61 kon niet worden verklaard. Hier zou een onvoldoende vruchtbaarheid van de grond, een afwijkende botanische samenstelling of iets anders een rol gespeeld kunnen hebben.

Wanneer wij de in fig. 1 en 2 weergegeven resultaten betreffende de bewortelingsdiepte kort samenvatten, dan kan gezegd worden, dat zowel in het kleigebied bij Klundert als in dat van Velsen de dieptegroei van het wortelstelsel toeneemt met de dikte van het kleidek. Opgemerkt moet worden, dat bij de bewerking der uitkomsten de indruk werd verkregen, dat dit zowel voor de zwaardere als voor de lichtere kleidekken opgaat. Bij de profielen met kleidekken, die dikker zijn dan 40 à 50 cm, dringen er blijkens de figuren 1 en 2 practisch geen wortels in het zand en veen door. Hierbij moet echter bedacht worden, dat het niet meevalt,

de maximale worteldiepte in grondmonsters vast te stellen, omdat in de nog juist bewortelde lagen van de ondergrond het aantal wortels zo gering is, dat deze gemakkelijk over het hoofd gezien kunnen worden. Het is dus niet uitgesloten, dat er ook bij de dikkere kleidekken nog wel wortels in het zand dringen, maar ongetwijfeld is hun aantal in het zand in de regel zeer gering en bereiken ze daarin meestal slechts een zeer geringe diepte. Bij de profielen, waarvan het kleidek minder dik is dan 40 à 50 cm, zijn, naar het schijnt, meer wortels in het zand gedrongen (fig. 1). Blijkbaar groeien deze wortels dieper in het zand door dan bij de dikkere kleidekken, al is ook hier de diepte, die de wortels uiteindelijk bereiken, betrekkelijk gering. Ter illustratie is de vermoedelijke, gemiddelde maximale worteldiepte in afhankelijkheid van de kleilaagdikte in fig. 1 met een stippellijn aangegeven. Men krijgt uit het beloop der bewortelingsdiepte naar gelang van de kleilaagdikte de indruk, dat het zand – althans bij aanwezigheid van een kleidek – remmend heeft gewerkt op de wortelgroei. In hoeverre deze conclusie toelaatbaar is, is een vraag, die verderop ter sprake zal worden gebracht. Hoe de wortels zich in de kleiveenprofielen met dunnere kleidekken gedragen, kan uit de fig. 1 en 2 niet worden opgemaakt, daar deze profielen in Velsen in het geheel niet en in Klundert slechts met dikkere kleidekken werden aangetroffen. Te oordelen naar fig. 2 is er bij de dikkere kleilagen weinig verschil in het gedrag der wortels tussen de profielen met zand en die met veen in de ondergrond. Er is enige aanleiding te veronderstellen, dat dit ook geldt voor kleizand- en kleiveenprofielen met dunnere minerale dekken.

Uit het waargenomen gedrag der wortels in kleizand- en kleiveenprofielen met een kleidek van minstens 40 à 50 cm (fig. 1 en 2) kan worden afgeleid, dat het grasgewas in deze gevallen voor zijn water- en voedselvoorziening, zo niet geheel, dan toch voor een zeer groot deel aangewezen is op de water- en voedselvoorraad in het kleidek. Een eventueel tekort aan water, stikstof of minerale bestanddelen in het kleidek kan dus niet of nauwelijks uit de zandige of venige ondergrond worden aangevuld. Bij de dunnere kleidekken (dunner dan 40 à 50 cm) hebben de wortels, die in het zand dringen (fig. 1), een groter aandeel aan de water- en zoutabsorptie. Te oordelen naar de geringe diepte, die de wortels in het zand ook in deze profielen bereiken, lijkt hun betekenis voor de watervoorziening echter niet groot. Daar de werkzaamheid van de in het zand gedrongen wortels niet alleen van de diepte der beworteling, doch tevens van de dichtheid van het wortelnet afhankelijk is, dient de worteldichtheid in de kleilagen met die van de zandige ondergrond vergeleken te worden. Daartoe worden in de volgende paragraaf de uitkomsten der worteldichtheidsbepaling besproken.

b. De dichtheid der beworteling

De worteldichtheid (hoeveelheid wortels per volume-eenheid grond) kan onder overigens gelijke omstandigheden tot op zekere hoogte als een maat voor het water- en zoutopnemend vermogen (het z.g. absorptievermogen) der wortels worden beschouwd. Daar echter het watervasthoudend vermogen van zandgrond geringer is dan bij klei of zavel en de beschikbaarheid van het water voor de plantenwortels bij diepe waterstand daarmee hand in hand gaat, zouden de gewassen in zand feitelijk over een dichter wortelnet moeten beschikken dan in klei om zich in gelijke mate van water te kunnen voorzien. Zo rijst dan de vraag, of de wortels, die in de profielen van fig. 1 bij de dunnere kleidekken in het zand gedrongen zijn, zich daarin voldoende hebben ontwikkeld en vertakt, om aan het in deze dunne kleilagen dreigende watertekort tegemoet te komen.

De relatieve worteldichtheidscijfers (d.z. de „afgeleide taxatiewaarden”, waarvan in de paragraaf der „methodiek” sprake was) zijn in de tabellen 1, 2 en 3 samengevat en wel bij toenemende diepte beneden het maaiveld met intervallen van 10 cm. Achtereenvolgens vindt men in deze tabellen de cijfers, die betrekking hebben op de „profielmonsters” bij Velsen,

FIG. 3. Profielmonsters Velsen (grasland). Verband tussen kleilaagdikte en worteldichtheid op verschillende diepten onder het maaiveld.

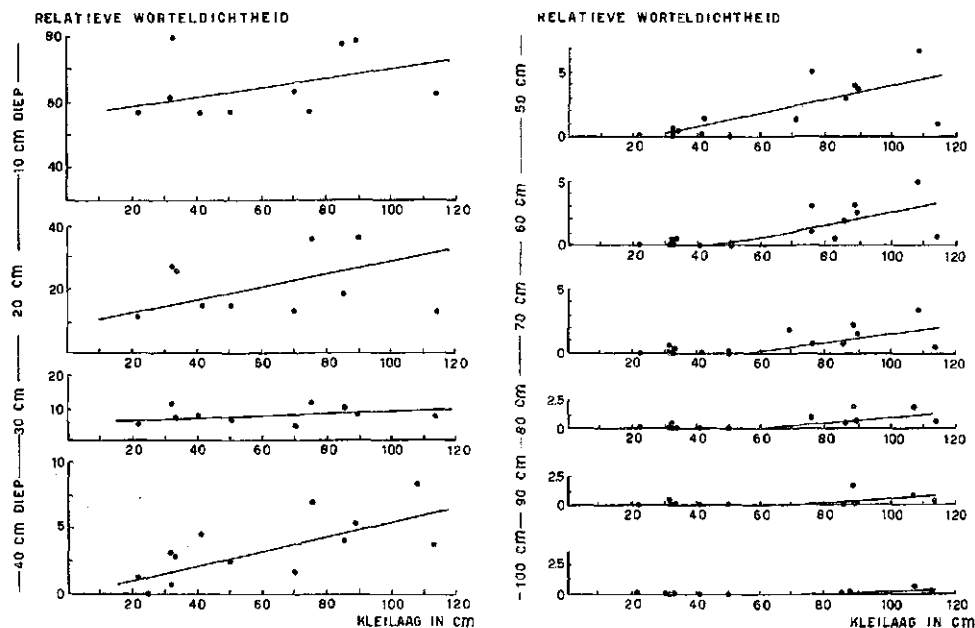


FIG. 3. Relation between the thickness of the clay cover and the root concentration at different depths below the soil surface.

This figure contains ten graphs showing the relation between the relative (estimated) root concentration (ordinate) and the thickness of the clay cover (abscissa) at ten different depths below the soil surface.

The depths are indicated by the figures at the left side of the graphs.

op de „boormonsters” bij Velsen en op de bemonstering, die in de omgeving van Klundert is uitgevoerd. Hier en daar komen er in de tabellen hiaten voor, omdat er cijfers zoek geraakt zijn. Ook is in de tabellen geval voor geval de dikte van de kleilaag en – voor zover diep genoeg bemonsterd werd – ook de diepte der beworteling aangegeven.

De belangrijkste conclusie, die uit de tabellen 1, 2 en 3 te trekken valt, is, dat de worteldichtheidscijfers in de diverse profielen naar de diepte toe meer of minder gelijkmatig afnemen, onverschillig of in het profiel een dikke dan wel een dunnere kleilaag voorhanden is. Nergens neemt na de overgang der wortels in de zandige ondergrond de worteldichtheid toe, zodat gezegd kan worden, dat de wortels in het zand slechts weinig kunnen bijdragen tot een compensatie van een eventueel watertekort in het kleidek, wanneer dit lange tijd aan droogte onderhevig is geweest.

Wanneer men in de tabellen de worteldichtheidscijfers der profielen in de diverse lagen van links naar rechts vergelijkt, dan valt het op, dat deze getallen in één en dezelfde laag en zelfs bij overeenkomstige profielen een grote variatie vertonen, die door allerlei omstandigheden veroorzaakt kan zijn. Er kunnen tussen de profielen verschillen hebben bestaan in vruchtbaarheid, in de botanische samenstelling van de grasmat en in de stand van het grondwater, terwijl daarnaast profielgebreken (verdichtingen en reductietoestanden) en schattings-

fouten een rol gespeeld kunnen hebben. Het is verder een feit, dat aan iedere wortelonderzoeker bekend is, dat zelfs bij ideale, homogene profielen nog vrij grote verschillen in worteldichtheid in eenzelfde laag kunnen voorkomen. Dit neemt niet weg, dat bij nadere beschouwing van de cijfers van links naar rechts in tabel 1 de worteldichtheid ondanks deze fluctuatie de neiging schijnt te vertonen om toe te nemen met de dikte van de kleilaag. In tabel 2 treft men dezelfde tendens aan, maar in tabel 3 komt dit verband nog slechts in de diepere lagen tot uiting.

Om ons een beter beeld te kunnen vormen van de samenhang tussen de dikte van het kleidek en de worteldichtheid in de diverse bodemlagen, hebben wij getracht, de genoemde „toevallige fouten” te elimineren, door de relatieve worteldichtheidscijfers van tabel 1, 2 en 3 laag voor laag uit te zetten tegen de gegeven dikte van het kleidek en door tussen de aldus verkregen stippen een lijn te trekken, die het gemiddelde verband tussen de kleilaagdikte en de worteldichtheid in de diverse lagen weergeeft. Het resultaat van deze vereffening is bij wijze van voorbeeld voor de profielbemonstering bij Velsen afgebeeld in fig. 3.

Het is duidelijk, dat op de krommen van fig. 3 de meest waarschijnlijke, relatieve worteldichtheid bij elke willekeurige kleilaagdikte kan worden afgelezen. Op deze wijze is de gemiddelde, relatieve worteldichtheid op verschillende diepten onder het maaiveld en bij gelijkmatig toenemende kleilaagdikte met intervallen van 10 cm voor de profielmonsters van Velsen vastgesteld en het resultaat hiervan in tabel 4 weergegeven. Voor de boormonsters van Velsen en voor de monsters van Klundert wordt verwezen naar tabel 5 en 6, waarvan de worteldichtheidswaarden op overeenkomstige wijze resp. uit de tabellen 2 en 3 zijn afgeleid. In tabel 6 zijn de cijfers bij een diepte van 10 cm onder het maaiveld weggelaten, omdat hier niet genoeg punten beschikbaar waren voor een betrouwbare vereffening. Om dezelfde reden zijn in deze tabel ook de worteldichtheidswaarden bij de kleilaagdikten van 90 en 100 cm achterwege gelaten.

Duidelijker dan in tabel 1 komt in de na vereffening verkregen waarden van tabel 4 de stijging der worteldichtheid bij toenemende kleilaagdikte in de diverse lagen tot uiting. Tabel 5 laat hetzelfde zien voor de boormonsters van Velsen behalve in de bovenste laag van de grond, waar reeds bij een kleidek van 60 cm een maximum wordt bereikt. De monsters uit Klundert geven een afwijkend resultaat (tabel 6). Hier neemt de worteldichtheid alleen in de diepere lagen toe met de kleilaagdikte en dan nog slechts in geringe mate. In tegenstelling hiermee kan men volgens deze tabel op diepten van 20 en 30 cm b.m. van links naar rechts een daling van de worteldichtheid constateren.

Waarschijnlijk zijn de omstandigheden voor de water- en voedselvoorziening der planten in de profielen van Velsen bij de dikkere kleidekken – mede dank zij de diepere beworteling – zoveel gunstiger geweest dan bij de dünnere kleilagen, dat de wortelgroei daar in vrijwel alle lagen profijt van heeft getrokken. Het gevolg hiervan is, dat ook de totale wortelmassa bij Velsen een stijging vertoont bij toenemende kleilaagdikte, zoals op te maken valt uit de som der worteldichtheidswaarden, die geplaatst zijn onder de tabellen 4 en 5.

Aandacht verdient ook de bewortelingsdiepte, die uit de tabellen 4, 5 en 6 kan worden opgemaakt. Men vindt hierin een bevestiging van het reeds boven geconstateerde feit, dat de wortels bij de dünnere kleidekken dieper in het zand dringen dan bij de dikkere kleipakketten. Wij verwijzen hiervoor tevens naar de onder deze tabellen aangegeven percentages aan wortels, die bij de diverse kleilaagdikten in het zand doordringen. Deze percentages zijn in het algemeen gering en nemen sterk af met de dikte van het kleidek.

De vraag rijst, hoe het komt, dat de wortels, na door de kleilaag heengegroeid te zijn, zelfs bij dünnere kleidekken, zo'n geringe diepte in het onderliggende zand bereiken en dat zij in de venige ondergrond in het geheel niet doorgedrongen zijn. Onwillekeurig is men

geneigd te veronderstellen, dat er van het zand of veen een remmende invloed is uitgegaan op de wortelgroei, waarbij dan gedacht kan worden aan een mechanische belemmering, aan zuurstofgebrek, aan een te lage pH of – althans bij zand – aan een tekort aan water. Voor deze onderstelling pleit, dat in verschillende zandmonsters afwijkende dikke wortels met stompjes van zijwortels door ons werden aangetroffen, die zich moeizaam een weg hadden gebaad door het zand. Dergelijke afwijkingen werden echter lang niet in alle doorwortelde zandmonsters waargenomen. Anderzijds is het heel goed mogelijk, dat de dikte van de kleilaag zelf mede oorzaak is geweest van het niet of slechts weinig indringen der wortels in het zand (veen), in dier voege, dat de water- en(of) voedselvoorziening bij de dunneren kleidekken ontoereikend is geweest om een diep wortelstelsel tot ontwikkeling te brengen. Het valt in de tabellen 4, 5 en 6 nl. op, dat de worteldichtheidsvermindering, die reeds in de kleilaag naar beneden toe aan de dag treedt, in het zand zonder plotselinge daling regelmatig voortgang vindt. Bij de dunneren kleidekken is de worteldichtheid bij het bereiken van de zandlaag groter dan bij de dikkere kleilagen en dit zou kunnen verklaren, waarom de wortels in het eerste geval toch een grotere diepte in het zand hebben bereikt. Voor deze gedachtingang pleit ook de omstandigheid, dat in het materiaal van Klundert, waar de worteldichtheidscijfers in het onderste gedeelte van de kleilaag veel lager zijn dan op het grasland bij Velsen in overeenkomstige gevallen, slechts zeer weinig wortels over een gemiddeld zeer geringe afstand in het zand zijn doorgedrongen. Wij beschikken echter over te weinig gegevens, om uit te maken, in hoeverre ter verklaring van de geringe wortelgroei in het onderliggende zand aan een beperkende invloed van de kleilaagdikte zelf, dan wel aan milieu-invloeden in de zandige ondergrond moet worden gedacht.

4. SAMENVATTING

In het voorafgaande is gebleken, dat op graslandpercelen in de omgeving van Klundert (N.B.) en Velsen (N.H.), waar een kleilaag van wisselende dikte rustte op een ondergrond van zand, die van de kleilaag scherp was gescheiden, zelfs bij de dunneren kleidekken, gemiddeld slechts weinig wortels over een geringe afstand in de zandige ondergrond waren doorgedrongen. In een aantal profielen uit Klundert werd onder de kleilaag veen aangetroffen, dat geen enkele wortel bleek te bevatten.

Bij kleidekken, die dikker waren dan circa 40 à 50 cm, waren de wortels in de omgeving van Klundert ternauwernood en bij Velsen gemiddeld weliswaar dieper, doch ook hier slechts over een geringe afstand in het zand doorgedrongen. – Bij de dunneren kleidekken gingen de wortels doorgaans dieper in het zand, doch ook in deze profielen was de worteldiepgang zo gering, dat gezegd kan worden, dat de diepte, die de wortels in „kleizandprofielen” maximaal bereiken, in het algemeen toeneemt met de dikte van het kleidek (de stippellijn in fig. 1).

Het is mogelijk, dat de kleilaagdikte als beperkende factor is opgetreden bij de dieptegroei van het wortelstelsel, doordat er in de dunneren kleidekken niet genoeg water en(of) voedingszouten beschikbaar zijn geweest voor een maximale groei van het grasgewas en voor een redelijke ontwikkeling van het wortelstelsel. Daarnaast bestaat de mogelijkheid, dat de zandige (alsmede de venige) ondergrond als zodanig om een of andere reden een ongunstig milieu heeft gevormd voor de wortelgroei.

Voorzover de wortels in de zandige ondergrond waren doorgedrongen, was de worteldichtheid in het zand gering. Zij was geringer dan in de daarboven gelegen kleilagen, maar doorgaans ook geringer dan in de overeenkomstige kleilagen der profielen, die over een dikker kleipakket beschikten (tabel 4, 5 en 6).

Daar in zandgrond onder overigens gelijke omstandigheden in het algemeen minder water voor de plantenwortels beschikbaar is dan in klei en de worteldiepte alsmede de worteldichtheid in de zandige ondergrond der kleizand-profielen slechts gering is, kan aan de in het zand doordringende wortels, ook bij de dunneren kleidekken, slechts een geringe betekenis worden toegekend voor de watervoorziening van het grasgewas. Deze laatste wordt in hoofdzaak beheerst door de dikte van de kleilaag, omdat de wortels voor het merendeel in deze laag tot ontwikkeling komen.

SUMMARY

ROOT DEVELOPMENT ON GRASSLAND PROFILES NEAR KLUNDERT AND VELSEN CONSISTING OF A CLAY COVER OF DIFFERENT THICKNESS AND A SANDY OR PEATY SUBSOIL

by

M. A. J. GOEDEWAAGEN

After estimating the amount of roots in the consecutive layers of the soil profiles, mentioned in the title of this paper, the bulk of the roots appeared to be confined to the clay cover. Only few roots penetrated into the sandy subsoil but these stopped their growth not far from the boundary between clay and sand. In clay-on-peat soils no roots were observed at all in the peaty subsoil (table 1 to 6 and fig. 1 and 2).

From the small depth and the relatively low amount of roots below the clay layer it seems evident that on the investigated clay-on-sand and clay-on-peat soils with a low groundwater table the water and food supply will be mainly governed by the thickness of the clay layer.

The tables 1 to 6 give the estimated relative values of the root concentration at different depths. The fat lines in these tables show the boundary between clay and sand.

Below the tables 4, 5 and 6 two rows of figures are given. The upper row shows the total relative amount of roots, whereas in the second row the estimated amount of roots in the sand has been expressed in % of the total root mass.

TABEL 1. PROFIELMONSTERS VELSEN (Grasland, klei op zand). Relatieve worteldichtheid op verschillende diepten beneden het maaiveld bij ongelijke dikte van de kleilaag.

Nummer profiel	180	138	72	85	99	131	64	65	6	39	842	3	267	275	319	373	501	641	574
Dikte v/d kleilaag in cm <i>Thickness of the clay layer in cms</i>	22	25	32	32	32	33	41	41	50	50	70	75	75	82	85	88	89	107	113
Diepte beneden het maaiveld in cm <i>Depth below soil level in cms</i>																			
10	57		61			80		56½		57	63	57½			78		78½		62½
20	11		26			25		14		14	12½	34½			18		35		12¾
30	5½		11½			7		7¾		7¾	4½	12			9¾		8		7¾
40	1¼	0	3¼	½		3		4¾		2¾	1¾	7¾			4		5½	8½	3¾
50	0		¼	0	½	½	¼	1¾	0	1¼	5				3	3¾	3¾	6¾	1
60	0		0	0	¾	¾		0		0		3	1	½	17¾	3¾	2½	4¾	5/8
70	0		0	0	¾	¼		0	¼	0			¾		7/8	2¼	1½	3¼	¾
80	0		0	0	¼	0		0		0			5/8		¼	1¾	½	1¾	¼
90	0		0	0		0		0		0					0	1¼	0	¾	½
100	0		0	0		0		0		0					0		0	½	¼
110															0		0		

De dikke strepen geven ongeveer de grens aan tussen klei en zand. Met de stippellijnen is de wortelingsdiepte aangegeven, doch alleen in de profielen, waar diep genoeg geboord was om de maximale worteldiepte te kunnen beoordelen.

TABLE 1. Profile samples Velsen (Grassland, clay on sandy subsoil). Relative root density in profiles with clay-layers of various thickness at different depths below soil level.

TABEL 2. BOORMONSTERS VELSEN (Grasland, klei op zand). Relatieve worteldichtheid op verschillende diepten beneden het maaiveld bij ongelijke dikte van de kleilaag.

Nummer profiel	50	61	58	57	53	64	62	72	66	69	55	56	68	67	71	70	54	63	65	60	59
Dikte v/d klei- laag in cm Thickness of the clay layer in cms	0	28	28	37	39	49	52	54	68	72	72	73	75	78½	79	82	84	85	93	94	96
Diepte beneden het maaiveld in cm Depth below soil level in cms																					
10	64	70		74	70½	77	88		75¾	82¾	10	70	69		65½		69	74½	64½	68½	79½
20	23	31½	37	34¾	38½	46¾	53½	39½	54½	47¾	40½	42	42½	43	49	23½	45	47½	50½	45	59½
30	1½	12½	20½	7½	9½	15½	16½	23½	33	12	20	15	15½	20½	33	14	22	23	36½	24½	40
40	1			2½	7	5	4½	7	11	3¾	5	3½	6½	4	17	5	5	3½	22	5¾	19¾
50	½				4¾	3½	2½	5½	3½	3½	3½	3	4½	2½	3	1½	3½	3	7½	4	3
60	½				2½	1¾	1	3¾	1½	2½	1½	2½	2¾	1½	2½	1½	2	2½	1¾	2¾	3½
70	¾				¾	¾	½	1½	0	1¾	¾	¾	2	½	1¾	1¾	½	2½	1½	1½	3½
80	¾					½	¼	0	1	½	0	1¾	¾	1	½	½	¼	1½	1½	¾	3½
90	½				0			0	½	0	1½				0	0	1½	¾	¾	¾	3½
100	0				0			0	¾	0	¾				0	0		¾	¾	¾	2½
110	0				0			0		0					0	0		¾	¾	¾	1½
120	0				0			0		0					0	0		¾	¾	¾	½
130	0				0			0		0					0	0		0			

De dikke strepen geven ongeveer de grens aan tussen klei en zand. Met de stippellijnen is de wortelingsdiepte aangegeven, doch alleen in de profielen, waar diep genoeg geboord was om de maximale worteldiepte te kunnen beoordelen.

TABLE 2. Soil samples Velsen (Grassland, clay on sandy subsoil). Relative root density in profiles with clay-layers of various thickness at different depths below soil level.

TABEL 3. GRONDMONSTERS KLUNDERT (Grasland, klei op zand of veen). Relatieve worteldichtheid op verschillende diepten beneden het maaiveld bij ongelijke dikte van de kleilaag.

Nummer profiel	81	55	78	38	52	73	80	34	67	79	36	83	40	53	21	62	66	6	14	42	61
Dikte v/d klei- laag in cm Thickness of the clay layer in cms	0	46	46	50	50	50	50	53	57	58	60	69	72	72	75	77	78	82	100	100	136
Diepte beneden het maaiveld in cm Depth below soil level in cms																					
10		21	33½	36				24						28½	20½	44				31½	37½
20	7½	12½	18½	10	13	15½	10½	10½	17½	16½	11½	16½	6½	10½	2½	15½	14½	1½	7½	14½	6½
30	4½	3½	3½	2½	6½	6½	6½	1	9½	8½	7½	7½	1½	1½	2½	9½	8	½	3½	1½	1½
40	½	½	½	2	½	½	3½	½	1½	1½	2½	1½	½	½	½	3	2½	½	½	1½	1
50	½	0	0	0	0	0	1½	½	½	½	½	½	0	½	½	1/20	1½	1½	0	½	1½
60	½	0	0	0	0	0	¾	½	0	0	0	0	1/20	0	1/20	¾	¾	0	½	¾	½
70	0	0	0	0	0	0	½	¾	0	0	0	0	0	0	1/20	¼	¼	0	1/20	1/20	0
80	0	0	0	0	0	0	0	¼	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1/20	0
90	0	0	0	0	0	0	0	½	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1/20	0
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

De dikke strepen geven ongeveer de grens aan tussen klei en zand, resp. veen. Met de stippellijnen is de bewortelingsdiepte aangegeven, doch alleen in die profielen, waar diep genoeg geboord was om de maximale worteldiepte te kunnen beoordelen.

TABLE 3. Soil samples Klundert (Grassland, clay on a sandy or peaty subsoil). Relative root density in profiles with clay layers of various thickness at different depths below soil level.

TABEL 4. PROFIELMONSTERS VELSEN (Grasland). Relatieve worteldichtheid op verschillende diepten bij toenemende dikte van de kleilaag (na vereffening).

Dikte v/d kleilaag in cm Thickness of the clay layer in cms		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Diepte beneden het maaiveld in cm Depth below soil level in cms	10	58½	60½	61½	63	64½	66	67½	68½	70½	71½
	20	12½	14½	16½	18½	20½	22½	24	26	28	30
	30	6½	6½	7½	7½	8	8½	8½	9½	9½	9½
	40	1½	1½	2½	2½	3½	3½	4½	5	5½	6
	50	½	¾	¾	1½	1½	2½	2½	3½	4	4½
	60	0	0	1/16	½	¾	1½	1½	2½	2½	3½
	70	0	0	0	½	¾	1	1	1½	1½	2½
	80	0	0	0	0	0	½	½	¾	1	1½
	90	0	0	0	0	0	0	½	¾	¾	¾
	100	0	0	0	0	0	0	0	0	½	¾
Totaal		79,1	83,8	88,3	93,6	99,1	105,0	110,9	117,0	—	—
Gewichts-% wortels in zand		9,95	2,54	0,92	0,41	0,38	0,24	0,11	0	—	—

De dikke strepen geven de grens aan tussen klei en zand.

TABLE 4. Profile samples Velsen (Grassland). Relative root density at different depths in relation to the increasing thickness of the clay layer with intervals of 10 cms (obtained by graphical interpolation of the figures of table 1).

TABEL 5. BOORMONSTERS VELSEN (Grasland). Relatieve worteldichtheid op verschillende diepten bij toenemende dikte van de kleilaag (na vereffening).

Dikte v/d kleilaag in cm Thickness of the clay layer in cms		30	40	50	60	70	80	90	100
Diepte beneden het maaiveld in cm Depth below soil level in cms	10	69 $\frac{3}{4}$	75	78	78 $\frac{1}{4}$	76 $\frac{1}{2}$	73 $\frac{1}{4}$	69 $\frac{1}{2}$	63 $\frac{3}{4}$
	20	34 $\frac{3}{4}$	39 $\frac{1}{2}$	43 $\frac{1}{2}$	45 $\frac{3}{4}$	47	47 $\frac{3}{4}$	48	48 $\frac{1}{4}$
	30	14	14 $\frac{3}{4}$	16	17 $\frac{3}{4}$	19 $\frac{3}{4}$	22 $\frac{1}{2}$	26 $\frac{3}{4}$	32
	40	3	3 $\frac{1}{4}$	4	5	6 $\frac{1}{2}$	7 $\frac{1}{4}$	9 $\frac{3}{4}$	13
	50	—	3 $\frac{1}{4}$	3 $\frac{1}{4}$	3 $\frac{1}{4}$	3 $\frac{1}{4}$	3 $\frac{1}{4}$	3 $\frac{3}{4}$	4 $\frac{5}{8}$
	60	—	1 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{5}{8}$	1 $\frac{3}{4}$	1 $\frac{7}{8}$	2	2 $\frac{1}{4}$	3
	70	—	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$	1	1 $\frac{1}{4}$	1 $\frac{3}{4}$	2 $\frac{3}{4}$
	80	—	0	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	1 $\frac{3}{8}$	2 $\frac{3}{8}$
	90	—	0	0	0	0	$\frac{3}{8}$	1 $\frac{1}{8}$	2
	100	—	0	0	0	0	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1 $\frac{3}{8}$
	110	—	0	0	0	0	0	0	$\frac{3}{4}$
Totaal		—	137,8	147,2	152,8	156,1	159,0	164,8	—
Gewichts-% wortels in zand		—	3,81	1,65	0,65	0,16	0,34	0,30	—

De dikke strepen geven de grens aan tussen klei en zand.

TABLE 5. Soil samples Velsen (Grassland). Relative root density at different depths in relation to the increasing thickness of the clay layer with intervals of 10 cms (obtained by graphical interpolation of the figures of table 2).

TABEL 6. GRONDMONSTERS KLUNDERT (Grasland). Relatieve worteldichtheid op verschillende diepten bij ongelijke dikte van de kleilaag (na vereffening).

Dikte v/d kleilaag in cm <i>Thickness of the clay layer in cms</i>	40	50	60	70	80
10 —	—	—	—	—	—
20 —	$15\frac{7}{8}$	$14\frac{5}{8}$	$13\frac{3}{8}$	12	$10\frac{1}{8}$
30 —	$5\frac{1}{4}$	$5\frac{1}{8}$	$5\frac{1}{8}$	5	$4\frac{7}{8}$
40 —	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$
50 —	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{2}{13}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5}$
60 —	0	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{3}{40}$	$\frac{1}{10}$
70 —	0	0	$\frac{1}{80}$	$\frac{1}{40}$	$\frac{1}{25}$
80 —	0	0	0	0	0
90 —	0	0	0	0	0
Totaal	22,5	21,2	19,8	18,5	17,1
Gewichts-% wortels in zand	0,55	0,09	0,06	0	0

De dikke strepen geven de grens aan tussen klei en zand, resp. veen.

In tegenstelling met de tabellen 4 en 5 hebben de gesummeerde cijfers (totaal) en de gewichtspercentages der wortels in zand in bovenstaande tabel slechts betrekking op de laag van 20 tot 90 cm beneden het maaiveld.

TABLE 6. Soil samples Klundert (Grassland). Relative root density at different depths in relation to the increasing thickness of the clay layer with intervals of 10 cms (obtained by graphical interpolation of the figures of table 3).

II. WORTELONDERZOEK IN DE NOORDOOSTPOLDER OP GRASLANDPERCELEN MET KLEIDÉKKEN VAN VERSCHILLENDE DIKTE, RUSTENDE OP EEN ONDERGROND VAN ZAND

M. A. J. GOEDEWAAAGEN en J. J. SCHUURMAN

Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O., Groningen

1. INLEIDING

In de voorafgaande bijdrage werd een beeld gegeven van de wortelgroei op graslandpercelen bij Klundert en Velsen met kleilagen van verschillende dikte, die gelegen waren op een ondergrond van zand (of veen), zonder dat er tussen de klei en het zand (resp. veen) een overgangslaag voorhanden was.

Er bleef echter bij dit onderzoek onzekerheid bestaan omtrent de algemene geldigheid der verkregen resultaten, doordat wij niet over exacte gegevens beschikten betreffende de vruchtbaarheid van de grond, de geaardheid van de zandige en venige ondergrond, de grondwaterstand, de grasproductie en de botanische samenstelling van de grasmatten op de onderzochte percelen, die mede van invloed geweest kunnen zijn op de wortelontwikkeling. Een ander bezwaar is, dat de wortelmassa in de diverse bodemlagen niet quantitatief werd bepaald, doch in de grondmonsters visueel werd beoordeeld en relatief werd geschat. Hoewel bij Klundert en Velsen langs deze weg overeenkomstige resultaten werden verkregen, bleef toch de vraag bestaan in hoeverre met deze uiteraard subjectieve schattingsmethode betrouwbare resultaten te verwachten zijn.

Dit heeft ons doen besluiten, een quantitatief onderzoek betreffende de beworteling der grassen op „kleizandprofielen” in te stellen en wel zo, dat tevens meer aandacht zou worden geschonken aan de hoedanigheid van het bodemprofiel en van het grasdek. Aanvankelijk werd gezocht naar een graslandperceel met gelijkmatig afnemende kleilaagdikte, daar de invloed van de kleilaagdikte op de wortelgroei dan wellicht zuiverder kon worden beoordeeld dan wanneer met dit doel verschillende percelen met uiteenlopende kleilaagdikte zouden worden bemonsterd.

Toen het niet mogelijk bleek, in de provincie Groningen een dergelijk perceel grasland te vinden, werd contact opgenomen met de Directie van de Wieringermeer (Noordoostpolderwerken), dat leidde tot de uitvoering van het onderzoek, dat hieronder besproken zal worden. Om de invloed van de zavellaag bij uiteenlopende dikte te bestuderen, moesten ook in deze polder verschillende, soms ver uiteengelegen graslandpercelen worden bemonsterd. Een ernstig bezwaar was dit niet, daar de omstandigheden voor grote gedeelten van de Noordoostpolder in hoofdzaak identiek zijn, zowel wat de bodembehandeling en de bemesting als de grondwaterstand betreft. Bovendien konden ons door de genoemde Dienst allerlei gegevens omtrent de bouw van het profiel worden verstrekt, die voor de interpretatie der uitkomsten van veel belang zijn geweest.

Hoewel het bij de opzet van het onderzoek in de bedoeling lag, profielen te bemonsteren met kleilagen van 0, 10, 20, 30 cm dikte en zo verder tot een dikte van 100 cm, kon dit ook in de Noordoostpolder niet worden verwezenlijkt. De in dit onderzoek betrokken kleilaagdikten vormen geen regelmatig opklimmende reeks. Ze zijn vermeld in de verderop te bespreken tabellen 1 t/m 6.

De bemonstering werd van 7-9 Juli uitgevoerd met de boor, die door ons regelmatig voor het wortelonderzoek wordt gebruikt. Een beschrijving hiervan is gegeven door GOEDEWAAAGEN (1). Deze boor heeft een diameter van 7 cm. Hiermee werden monsters genomen van

10 cm hoogte. Soms werden deze in kleinere gesplitst. Dit gebeurde, wanneer in de monsters een overgang tussen twee of meer lagen werd waargenomen. Zodoende werden monsters verkregen van minder dan 10 cm hoogte naast die van 10 cm. Van iedere boring werd een profielbeschrijving gemaakt. De hierin gebruikte terminologie is overgenomen van de N.O.P.: Zu betekent Zuiderzeegrond, minerale grond na ongeveer het jaar 1600 aangevoerd door de zoute Zuiderzee.

Sl is sloefgrond, minerale grond vóór 1600 aangevoerd door de minder zoute voorgangster van de Zuiderzee.

In de door ons onderzochte profielen had de sloef in de regel een zavelig karakter.

Laagterras is een bepaalde zandige afzetting uit het jongste diluvium met een U-waarde van ± 80 . De pH van het laagterraszand in onze profielen bedroeg ± 6 . De percentages CaCO_3 liggen voor Zu en Sl bij 10, de pH is 7 à 8.

Van iedere boring werd de botanische samenstelling van het grasdek ter plaatse bepaald. De diepte tot waar geboord werd, was in het algemeen 20 cm onder het monster, waarin voor het laatst wortels werden waargenomen. In enkele gevallen was het niet mogelijk zo diep te boren, doordat op een bank werd gestoten of door te grote vochtigheid. Hier moet worden opgemerkt, dat de maximale worteldiepte in het algemeen slechts bij benadering werd vastgesteld, aangezien de monsters merendeels 10 cm dik waren en daarin niet werd nagegaan, waar de wortels precies eindigden.

De monsters werden in het laboratorium gespoeld en geschoond, waarna de wortels werden gedroogd en gewogen. De gevonden wortelgewichten werden met de profielbeschrijvingen samengevoegd in tabellen, waardoor het verband tussen de beworteling en het profiel beter kon worden overzien.

Achtereenvolgens zal nu de beworteling van de verschillende bemonsterde percelen in verband met de profielgegevens worden besproken. Hierbij zal zowel op de diepte van de beworteling als op de worteldichtheid worden gelet.

2. BEWORTELING EN PROFIEL

Op het geïnfilteerde perceel van kavel L 44 met een grondwaterstand van 50 cm beneden het maaiveld zijn 10 boringen verricht. De meeste hiervan gingen tot een diepte van ongeveer 60 cm; in enkele gevallen moest er genoegen worden genomen met een geringere diepte als gevolg van de aanwezigheid van harde banken of van een te grote vochtigheid. De door de Dienst van de Noordoostpolderwerken verstrekte profielbeschrijving luidt als volgt:

0-circa 20 Zu, lutum 4%, U 300
20- Laagterras (zand)

De laag 0-20 bevatte dus een gehalte aan afslibbare delen kleiner dan 16μ van $\pm 6\%$. Lutum is de fractie, kleiner dan 2μ . Deze staat in de Noordoostpolder in een tamelijk constante verhouding van 2:3 tot de hoeveelheid van de fractie 0- 16μ . De vermelde slibgehalten zijn steeds op deze manier uit het lutumgehalte berekend.

De bovengrond is dus fijnzandig en slibarm. In dit profiel is er dientengevolge geen sprake van een overgang van klei of zavel naar zand, hoogstens van fijnzand naar iets grover zand.

In tabel 1 (pag. 46) volgen op de profielgegevens van onze boringen de bij de verschillende lagen behorende worteldichtheden, omgerekend op een volume van 1000 cm^3 , d.i. $2,6 \times$ het volume van een monster van 10 cm hoogte.

Deze profielen zijn niet alle gelijk. In sommige komt er in de ondergrond een koffiebank voor, waarin als gevolg van de hardheid van deze laag vrijwel geen wortels voorkomen. Een sprekend voorbeeld hiervan is boring 36. Daar waar geen bank aanwezig is, ziet men, dat de

wortels in de regel tot ongeveer 50 cm in niet onbelangrijke hoeveelheden in de grond aanwezig zijn. In sommige gevallen treedt er bij de overgang van fijn zand naar het laagterraszand een scherpe daling op in het wortelgewicht, maar het aantal gevallen, waarin dit niet zo is, is minstens even groot.

De grondwaterstand werd vanaf 12 Juni 1948 ingesteld op een diepte van ongeveer 50 cm ben. mv. Men mag aannemen, dat de wortels, die beneden dit niveau werden gevonden, vóór dit tijdstip zijn gevormd.

Op het onderzochte perceel van kavel L 28 zijn 6 boringen verricht, welke in de regel tot 90 cm diep gingen.

Van de Dienst der Noordoostpolderwerken werd de volgende profielbeschrijving ontvangen:

0-10 Opgebrachte grond, lutum 6%, U 300
10-20 Zu, lutum 16%
20- Laagterras (zand)

Uit de lutumwaarden blijkt, dat het slibgehalte ($< 16 \mu$) in laag 0-10 ca 9 % bedroeg en in laag 10-20 ca 24 %.

Er rust dus een 20 cm dikke zavelaag op een ondergrond van zand. In werkelijkheid vonden we op dit perceel in onze monsters een variatie van de kleilaagdikte van 20 tot 33 cm.

De profiel- en wortelgegevens zijn samengevat in tabel 2 (pag. 47). Niettegenstaande er in verschillende gevallen een duidelijke vermindering van de hoeveelheid wortels te zien is bij de overgang van de bovengrond naar het laagterraszand, ziet men op dit perceel, dat de wortels toch in niet onbelangrijke hoeveelheden in het zand doordringen. De eigenschappen van het zand, hoewel minder gunstig dan die van de bovenliggende zavel, verhinderen in dit geval het indringen van de wortels tot betrekkelijk grote diepte dus niet. De mogelijkheid is niet uitgesloten, dat een factor van belang hierbij is geweest, dat het zand uit de ondergrond in meerdere gevallen koffie-zand was, waarvan wij uit ervaring weten, dat dit stimulerend kan werken op de wortelgroei, zolang er geen bankvorming is opgetreden. In één geval trad er een exceptioneel grote hoeveelheid wortels in de ondergrond op. Dit kan volgens ons door de Dienst der Noordoostpolderwerken verstrekte gegevens een gevolg zijn van het plaatselijk diep los maken van de grond bij het leggen van drains of dichten van greppels in 1947.

Op het onderzochte perceel van kavel M 68 zijn 8 boringen verricht, waarvan er één tot 90 cm gaat, de rest tot 60 cm.

De ons verstrekte profielbeschrijving luidt als volgt:

0-25 Zu, lutum 25%
25-35 Zu, lutum 30%
35-45 Sloef, lutum 7%, U 330
45- Laagterras

Het uit de lutumwaarden berekende slibgehalte is voor Zu 0-35: ca 38-45 %. Er rust dus volgens deze beschrijving met inbegrip van de sloeflaag een 40 à 45 cm dikke zavelaag op een ondergrond van zand.

De profiel- en wortelgegevens van de boringen zijn samengevat in tabel 3 (pag. 48). De dikte van de zavelaag varieerde in de boringen van 36 tot 52 cm.

De resultaten van de boringen op dit perceel zijn zeer homogeen. Men ziet in 7 van de 8 verrichte boringen bij de overgang van Zu en sloef naar laagterraszand een zeer duidelijke sterke vermindering van de wortelhoeveelheid; alleen in boring 6 is de overgang iets minder scherp, maar verder toch ook wel duidelijk.

De conclusie kan hier zijn, dat de beworteling bij de overgang van zavel naar laagterraszand vrijwel geheel eindigt.

De 6 boringen op het bemonsterde perceel van kavel M 80 zijn verricht tot een diepte van 60 cm. Omtrent het profiel werden ons de volgende gegevens verstrekt:

0-25	Zu, lutum 24 %
25-32	Zu, lutum 32 %
32-40	Zu, lutum 23 %
40-	Laagterras

Uit de lutumwaarden blijkt, dat de bovengrond tot een diepte van 40 cm gemiddeld ca 37,5 % afslibbare delen bevat. Op dit perceel vonden wij een 40 à 48 cm dikke zavellaag op een ondergrond van zand.

In tabel 4 (pag. 49) vindt men de gegevens van de profielboringen en de bijbehorende wortelgewichten. Bij de overgang naar het laagterraszand ziet men een abrupte vermindering van de worteldichtheid in de nummers 9 en 10. Vermoedelijk is dit ook het geval bij boring no. 11. De nummers 12, 13 en 14 geven wel een afname te zien, maar deze is niet zo sterk. Belangrijk is wel, dat bij 14 en waarschijnlijk ook bij 11 alleen in de bovenste laag zand ter dikte van respectievelijk 2 en 6 cm zich nog wortels hebben ontwikkeld, doch daar beneden niet meer. Daartegenover staat, dat bij de nummers 12 en 13 ook in de laag 50-60 cm nog tamelijk veel wortels zijn ontwikkeld. Bij controle tijdens het bemonsteren konden er beneden 60 cm in geen der monsters wortels worden vastgesteld.

Dit perceel toont dus geen gelijkvormig beeld, maar laat toch de conclusie toe, dat het laagterraszand in de meeste gevallen een belemmering is geweest voor een flinke wortelontwikkeling. Mogelijk heeft naast andere oorzaken ook de plotselinge vermindering van het humusgehalte hier een rol gespeeld.

Op het onderzochte perceel van kavel M 5 zijn 10 boringen uitgevoerd tot een diepte van 90 cm. Volgens de Dienst der Noordoostpolderwerken kan het profiel als volgt worden omschreven:

0-30	Zu, lutum 20 %
30-40	Zu, lutum 30 %
40-42	Zu, lutum 5 %, U 270
42-60	Zu, lutum 23 %
60-	Laagterras

Het slibgehalte bedroeg dus tot 40 cm gemiddeld 22,5 %; daarop volgde een laagje met slechts 7,5 % slib en daar beneden weer een laag met 35 %. De zandige ondergrond (laagterras) wordt volgens onze boorgegevens bedekt door een 60 tot 73 cm dikke zavellaag. De gegevens van onze bemonstering zijn samengevat in tabel 5 (pag. 50).

In het algemeen neemt men in de tabel waar, dat de worteldichtheid naar beneden toe geleidelijk vermindert. Hier en daar is er wel eens een uitzondering, zonder dat hiervoor direct oorzaken kunnen worden aangewezen. Op het niveau van de overgang naar zand is de worteldichtheid in veel gevallen zo gering (16, 17, 18 en 20), dat er geen sprake meer kan zijn van een abrupte vermindering. Slechts in de boringen 19 en 21 vindt men een scherpe vermindering, bij de nummers 15, 22, 23 en 24 ziet men wel een afname, maar deze is niet zo sterk.

Samenvattend kan men zeggen, dat er ook hier verschijnselen gevonden zijn, die er op wijzen, dat de overgang van zavel naar zand moeilijk is geweest voor de wortels, doch, daar de beworteling hier haar natuurlijke dieptegrens blijkbaar nadert, komt dat niet meer over de gehele linie tot uiting.

Tot slot is een perceel op kavel P 43 bemonsterd met 11 boringen. De ons verstrekte profielbeschrijving luidt als volgt:

0-25	Zu, lutum 14 %
25-80	Zu, lutum 20 %
80-	Sloef, lutum 13 %

Het gehalte aan afslibbare delen $< 16 \mu$ bedroeg dus voor de Zu-lagen resp. 21 en 30 %.

In de kavel P 43 kon als gevolg van grote vochtigheid op no. 48 niet dieper worden geboord dan tot 85 cm en op no. 49 niet dieper dan tot 95 cm. Van deze laatste twee is dus mogelijkwijze de maximale diepte niet bereikt.

In tabel 6 (pag. 52) zijn de boor- en wortelgegevens weergegeven. Uit de profielgegevens in deze tabel blijkt, dat dit perceel een dikke zavellaag bezit van ongeveer 1 m of wellicht meer. Men treft er profielen aan (42, 43, 44, 45 en 46), waar de zavellaag op een diepte van ca 60 cm door een betrekkelijk dunne zandlaag is onderbroken, terwijl bij andere profielen zonder onderbreking zavel + sloef wordt aangetroffen tot 1 m diep, zij het soms in nog niet geaëreerde toestand. Eénmaal kwam er een schelpenlaagje in voor, zoals door ZUUR is beschreven voor de overgang van sloef naar de bovenliggende laag (2).

In de groep met het zandlaagje ziet men in vier van de vijf boringen (42, 43, 44 en 45) een duidelijke vermindering van de hoeveelheid wortels bij de overgang van zavel naar zand. In het vijfde geval is de afname minder sprekend. Hieruit blijkt dus, dat een dunne zandlaag reeds belemmerend kan werken op de dieptegroei der wortels.

In de tweede groep komen geen overgangen voor van zavel naar zand, maar wel van zavel naar blauw gereduceerde zavel. Zelfs daar, waar het monster geheel blauw werd genoemd, werden nog wortels gevonden. In die monsters, waarin naast blauwe gedeelten ook normaal gekleurde voorkwamen, kon worden waargenomen, dat de wortels zich uitsluitend in het niet blauwe deel bevonden. Of er zich beneden 100 cm nog wortels bevonden, kon niet worden nagegaan, daar de grond zich door de grote vochtigheid niet meer liet ophalen. In de tot geringere diepte dan 90 cm vermelde boringen (42 t/m 46) lieten zich beneden de opgegeven diepten geen wortels meer vaststellen. De grote hoeveelheid wortels in sommige monsters is vermoedelijk een gevolg van de aanwezigheid van oude rietwortels.

Het feit, dat in boring 50 op een diepte van 60 cm een schelpenlaagje werd aangetroffen, doet vermoeden, dat hieronder sloef aanwezig was. We menen te mogen aannemen, dat dit voor de diepere lagen in de boringen 47, 48, 49, 51 en 52 ook geldt.

De resultaten van de zes hiervoor behandelde percelen laten zich grafisch voorstellen door op de X-as de dikte van de zavellaag uit te zetten en op de Y-as de maximale diepte van de beworteling. Daar de maximale worteldiepte onzeker is, omdat hiervoor niet altijd diep genoeg geboord is, verdient het overweging in plaats daarvan die worteldiepte tegen de dikte der zavellaag uit te zetten, die nog door een belangrijke hoeveelheid wortels kan worden bereikt. Men zou hier in navolging van Amerikaanse onderzoekers van de „werkzame worteldiepte” kunnen spreken, omdat de weinige wortels, die dieper gaan, toch maar een zeer gering aandeel hebben aan de watervoorziening van het gewas (3). Beide mogelijkheden zijn verwezenlijkt in de figuren 1, 2 en 3, waarin de bewortelingsdiepte een duidelijke samenhang met het profiel te zien geeft.

Bij het trekken van de gemiddelde lijn zijn in fig. 1 de gegevens van perceel L 28 buiten beschouwing gelaten. We menen, dat er voor dit laatste aanleiding is, daar er in de ondergrond van alle onderzochte profielen van dit perceel koffiezand voorkwam. Koffiezand vormt, zoals vroeger reeds vermeld, een vrij gunstig milieu voor de wortelgroei. Bij een klei-

FIG. 1. Correlatie tussen dikte zavel laag en maximum diepte van de beworteling

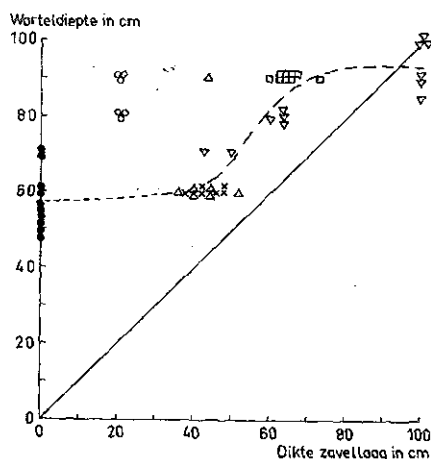


FIG. 1. Correlation between the thickness of the sandy clay layer and the maximum depth of the root system.

Ordinate = rooting depth in cms

Abscissa = thickness of the sandy clay layer

FIG. 2. Correlatie tussen dikte zavel laag en diepte van het punt, waarop de worteldichtheid daalt beneden 27 mg

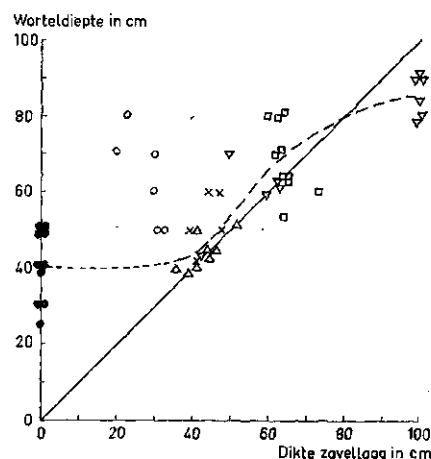


FIG. 2. Correlation between the thickness of the clay layer and the depth of the root system in so far the root concentration is higher than 26 mg per dm^3 soil volume

FIG. 3. Correlatie tussen dikte zavel laag en diepte van het punt, waarop de worteldichtheid daalt beneden 66 mg

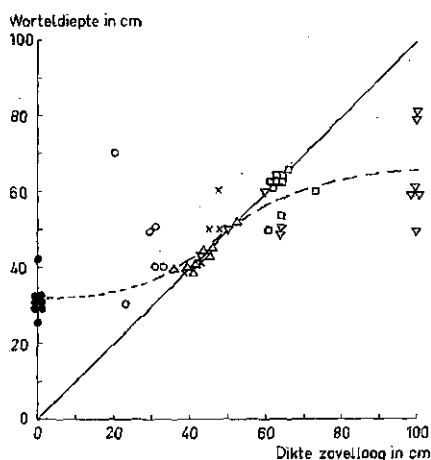


FIG. 3. Correlation between the thickness of the clay layer and the depth of the root system in so far the root concentration is higher than 66 mg per dm^3 soil volume

LEGENDA:

- kavel L 44
- kavel L 28
- △ kavel M 68
- × kavel M 80
- kavel M 5
- ▽ kavel P 43

laagdikte van ± 90 cm drongen de wortels niet meer in het zand door. Hier ligt blijkbaar de grens van het bewortelingsvermogen onder de hier aanwezige omstandigheden.

Anders wordt de zaak natuurlijk, wanneer men niet de maximale worteldiepte neemt, maar de diepte, waarop de worteldichtheid gedaald is tot een waarde van 26 mg per dm³ grond, overeenkomende met 10 mg per boring van 10 cm hoogte of minder. Dit geval is weergegeven in fig. 2. Men ziet hier eveneens, dat de wortels bij een zavellaag van 20 à 30 cm nog vrij diep in het zand aanwezig zijn, doch bij een grotere dikte van de zavellaag ligt de grens van de beworteling ongeveer op de grens tussen zavel en zand. Bij de nog grotere dikten van de zavellaag wordt de zandige ondergrond niet meer bereikt.

Neemt men als grens voor de beworteling de diepte, waarop het wortelgewicht gelijk is aan 65 mg, overeenkomende met 25 mg wortels per boring van 10 cm hoogte of minder, dan krijgt men de resultaten, die in fig. 3 zijn samengevat. Hier ziet men een vrij regelmatige stijging van de werkzame diepte der wortels met de dikte van de zavellaag, tot een dikte van ongeveer 80 cm. Vanaf dit punt blijft de diepte van de beworteling constant. De uitzondering, die men ziet in de gegevens van perceel L 28, ook in fig. 3, kan een gevolg zijn van bijzondere omstandigheden, zoals op pag. 37 al is vermeld.

Vergelijkt men de worteldichtheid in de overeenkomstige lagen van de verschillende percelen, dan ziet men eveneens belangrijke verschillen.

Om hiervan een beter beeld te krijgen, werden de worteldichtheidscijfers in de verschillende bodemlagen uitgezet tegen de dikte van de zavellaag, op dezelfde wijze, als in het voorgaande artikel van GOEDEWAAGEN in fig. 3 bij het wortelmateriaal uit Klundert en Velsen is gebeurd. Op de gemiddelde lijnen, die tussen de punten door konden worden getrokken, werd de meest waarschijnlijke worteldichtheid voor intervallen van 10 cm afgelezen. Het resultaat hiervan is overzichtelijk samengevat in tabel 7 (pag. 54). Opgemerkt moet worden, dat de uitkomsten van deze tabel, wat de lagen 0-10 en 30-40 cm betreft, minder betrouwbaar zijn, omdat de punten in de betreffende grafiek voor deze lagen een te grote spreiding vertoonden. Overigens kan gezegd worden, dat de worteldichtheidscijfers in de diepere lagen (in casu 40-50 cm en dieper) toenemen met de dikte van de kleilaag. In de laag van 20-30 cm vertoonden de cijfers een maximum bij middelmatige kleilaagdikte, terwijl in de laag van 10-20 cm de worteldichtheid bij toenemende dikte van het kleidek scheen af te nemen. Beide gevallen werden ook bij het wortelonderzoek in Klundert en Velsen in de meer oppervlakkige lagen waargenomen. De reactie der wortels in de lagen 0-10 en 30-40 cm laten wij buiten beschouwing, omdat deze cijfers minder betrouwbaar zijn.

Nu kan men de tegenwerping maken, dat alles een gevolg kan zijn van verschillen in botanische samenstelling, m.a.w. dat er in de percelen met ondiepe beworteling grassen groeien, die van nature, onafhankelijk van het profiel, een beperkt bewortelingsvermogen bezitten. In verband hiermee zal de botanische samenstelling worden besproken.

Alvorens hiertoe over te gaan, willen we nog wijzen op een opmerkelijk feit, dat niet onvermeld mag blijven. In een homogeen profiel ziet men, naar de diepte gaande, normaal een afname van de worteldichtheid in de verschillende lagen, die kan worden voorgesteld door een vloeiende lijn. In tegenstelling hiermee werd in een aantal profielen een scherpe afname gevonden van de worteldichtheid bij de overgang van zavel naar zand, welke in sommige gevallen nog werd geaccentueerd door een stijging van de worteldichtheid in de benedenste zavellaag ten opzichte van de daarboven gelegen laag (tabel 1 t/m 6).

Uit deze gegevens valt af te leiden, dat het zand voor de wortels een minder gunstig milieu was dan de daarboven liggende zavel. Uit onze gegevens is evenwel niet op te maken, welke eigenschappen van het zand hierbij van beslissende betekenis zijn geweest.

3. BEWORTELING EN BOTANISCHE SAMENSTELLING

De botanische samenstelling van iedere boring werd vastgesteld door na te gaan, welke soorten er aanwezig waren en te schatten, welk deel, in procenten uitgedrukt, door iedere soort in beslag werd genomen van de totale met groene planten bedekte oppervlakte. De resultaten van deze schatting zijn weergegeven in tabel 8 (pag. 55).

Doordat er steeds plekken zijn uitgezocht met een dichte begroeiing en zo mogelijk ook met dezelfde dominante soort, is het zelfs bij benadering niet mogelijk uit deze botanische gegevens een waarderingscijfer voor het bemonsterde grasland te bepalen.

In de tabel ziet men, dat de gemiddelde diepte van de *Dactylis*-monsters in L 44, wat de beworteling betreft, ± 60 cm is, evenals die van het *Festuca*-monster. De wortelontwikkeling in het *Lolium perenne* - *Poa annua*-monster ging tot 54 cm, zodat er van verschil nauwelijks sprake is. In het perceel van kavel L 28 overheerst *Lolium perenne* in 5 boringen, alleen in één boring overheerst *Festuca pratensis*. De worteldiepte vertoont geen verschillen.

Ook in het perceel van M 68 vertonen de boringen, waarin respectievelijk *Phleum pratense*, witte klaver, *Festuca pratensis*, *Lolium perenne* en *Poa annua* domineren, geen verschillen in bewortelingsdiepte, die met de verschillen in botanische samenstelling samengaan. Dit geldt ook voor de percelen van M 80 en M 5.

In de 11 boringen van P 43 werd negen maal dominantie van *Festuca pratensis* gevonden, éénmaal van *Poa trivialis*, terwijl éénmaal ongeveer gelijke hoeveelheden witte klaver, *Poa trivialis* en *Alopecurus geniculatus* werden aangetroffen. Inderdaad is in de beide laatstgenoemde vegetatie-typen de worteldiepte iets minder dan bij dominantie van *Festuca pratensis*, maar dat zal vermoedelijk een kwestie van profiel zijn, aangezien klaver in M 5 wel tot 90 cm wortelt. Hieronder volgt een overzicht van de maximale bewortelingsdiepte (in cm) van de bovengenoemde soorten onder verschillende profielomstandigheden (in casu dikte van de zavellaag in cm):

Dominantie van	Phl	Pt	D	Fp	Lp	Pa	Trif
L 44 (zand)			70	60	54	54	
L 28 (zavel 20-33 cm)				80	90		
M 68 (zavel 36-52 cm)	90			60	60		60
M 80 (zavel 40-48 cm)	60			60			
M 5 (zavel 60-73 cm)	90			90	90		90
P 43 (zavel 43-100 cm)		70		100			

Vergelijkt men de cijfers van de bewortelingsdiepte der diverse grassoorten bij elk profiel afzonderlijk met elkaar, dan blijken er geen duidelijke, specifieke verschillen in bewortelingsdiepte tussen deze grassoorten te bestaan.

In hoeverre er verband bestaat tussen de dikte van de zavellaag en de worteldiepte der grassoorten kan het best worden beoordeeld bij de soorten *Festuca pratensis* en bij *Lolium perenne*, omdat alleen deze soorten op alle of althans de meeste profielen in de monsters in een dominerende hoeveelheid voorkwamen. Daarnaast hebben we gegevens van *Trifolium repens* en *Phleum pratense* van 2 profielen. Zien wij af van het perceel van kavel L 28, dat een verklaarbare afwijking heeft gegeven in verband met de op pag. 37 genoemde factoren, dan blijkt de worteldiepte bij toenemende dikte van de kleilaag eerst vrijwel gelijk te blijven en daarna sterk te stijgen. Het is heel opmerkelijk, dat *Festuca pratensis* en *Lolium perenne* ook op het perceel van L 28 op overeenkomstige wijze op de profielomstandigheden hebben gereageerd. Op dit perceel, waar koffiezand in de ondergrond voorkwam, blijken zowel *Lolium* als *Festuca* diep in de ondergrond doorgedrongen te zijn.

FIG. 4. Bewortelingsdiepte in verband met het profiel

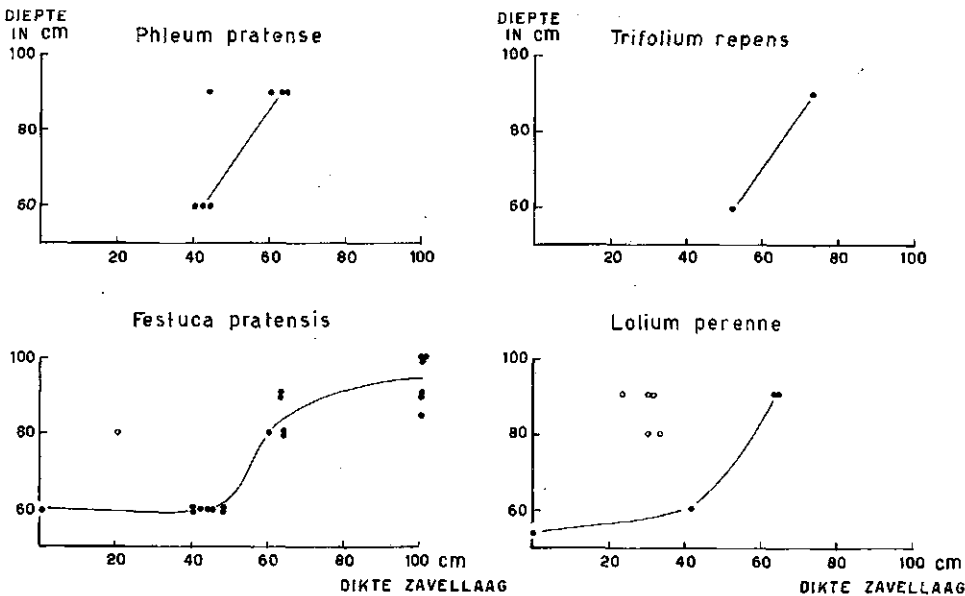


FIG. 4. Rooting depth of separate plant species in relation to the thickness of the clay layer.

Ordinate = rooting depth

Abscissa = thickness of the clay layer

De invloed van de kleilaagdikte komt ook tot uiting in fig. 4, waarin de diepte van beworteling van *Festuca pratensis*, *Lolium perenne*, *Phleum pratense* en *Trifolium repens* grafisch is uitgezet tegen de dikte van de zavellaag. Men hoede zich er echter voor, hierin uitsluitend een invloed van de dikte van de zavellaag te zien. Zo kan de geringe worteldiepte op het perceel van L 44 (mede) veroorzaakt zijn door de hoge grondwaterstand op dit perceel. Bovendien werd in het voorgaande reeds aannemelijk gemaakt, dat de diepe groundbewerking en de rijke aanwezigheid van koffie-zand in de ondergrond op L 28 (zavellaag 20–33 cm) oorzaak kan zijn geweest van de diepe beworteling op dit perceel, ondanks de geringe dikte van de zavellaag.

Uit het bovenstaande kan worden geconcludeerd, dat er geen aanleiding bestaat, aan te nemen, dat de ongelijke worteldiepte, die op de verschillende percelen werd gevonden, verband houdt met de botanische samenstelling. Men krijgt veeleer de indruk, dat de erfelijke verschillen in bewortelingsdiepte, die er tussen de diverse grassoorten in homogene profielen ongetwijfeld bestaan, onder de heersende profielomstandigheden en wel vooral onder invloed van de kleilaagdikte praktisch zijn uitgewist.

4. CONCLUSIE

Uit de figuren 1, 2 en 3 valt af te leiden, dat laagterraszand onder zavel (event. met inbegrip van sloef, dat eveneens een zavelig karakter draagt) aan de wortels minder gunstige groei-voorwaarden biedt dan deze zavel, waardoor in vele gevallen bij de overgang van zavel naar zand een scherpe daling van de worteldichtheid optreedt en bovendien de diepte van de beworteling over het algemeen wordt beperkt. Wanneer de zavellaag dun is, schijnen de wortels dieper in het zand door te dringen dan bij dikkere zavellagen. De maximale worteldiepte

blijft evenwel bij de dunne en middelmatig dikke zaveldekken veel geringer dan bij de dikkere zavellagen. Aangevoerd werd, dat deze beperkte wortelgroei bij de middeldikke zaveldekken geen gevolg was van verschil in botanische samenstelling. Als mogelijke oorzaken kunnen worden genoemd: verschillen in bodemfysische eigenschappen. De grondwaterstand is zeer waarschijnlijk in de meeste percelen niet van belang geweest, daar deze, behalve in L 44, constant op een diepte van 150 cm beneden het maaiveld ligt.

We zijn vermoedelijk niet ver bezijden de waarheid, wanneer wij aannemen, dat de natuurlijke grens van de beworteling van grassoorten, als hiervoor genoemd, in goed oud kleigrasland bij ongeveer 90 cm ligt. Dientengevolge zou men een dikte van een zavel laag van minstens 90 cm als de meest ideale kunnen beschouwen, daar in dat geval alle wortels zich zouden bevinden in een waterhoudend milieu. Afgeleid uit de beworteling en de bewortelingsdiepte (fig. 1, 2 en 3) is de volgorde van kwaliteit van de onderzochte percelen: P 43 - M 5 - L 28 - M 80 en M 68 - L 44. Door de Dienst van de Noordoostpolderwerken wordt op grond van landbouwkundige waardering de volgende rangorde gegeven: P 43 - M 68 en M 80 - M 5 - L 28 en L 44.

Het perceel op kavel L 28 wordt dus, wanneer het alleen op grond van de wortelontwikkeling wordt beoordeeld, hoger gewaardeerd dan wanneer men alleen afgaat op de landbouwkundige waardering. De verklaring hiervoor is, dat er op dit perceel weliswaar een diepe beworteling voorkwam, maar deze wortels groeiden in de diepere lagen in zand, dat, hoewel in dit geval koffiezand, toch altijd een minder gunstig milieu biedt dan zavel. Wanneer men uitsluitend de bewortelingsdiepte in het oog vat, voorzover deze door de kleilaagdikte is beïnvloed, blijkt er tussen onze reeks en die, gebaseerd op de landbouwkundige waardering, een bevredigende overeenstemming te bestaan.

Als andere nog juist gunstige grens kan men denken aan een zavel laag van een zodanige dikte, dat deze correspondeert met de normale *werkzame* diepte van de beworteling bij aanwezigheid van een dik zavel pakket. Stelt men de werkzame diepte van de wortels op dat niveau, waarop de worteldichtheid daalt beneden 66 mg per dm³ grond, dan vindt men deze grens ongeveer op 60 cm diepte (fig. 3) corresponderende met een kleilaagdikte van $\pm$ 80 cm. De dikte van een zavel laag, geringer dan 80 cm, zal dan dus als ongunstig moeten worden beschouwd.

Naar alle waarschijnlijkheid blijft deze conclusie niet tot grasland beperkt. Voor de eerste kleilaagdikte vindt men voor bouwland en voor boomgaarden waarden van dezelfde grootte-orde vermeld. VELDMAN nam aan, dat bij een zavel dikte van 100 cm maximale opbrengsten werden verkregen. Bij 60 cm zavel dikte was de gemiddelde opbrengst van tarwe en suikerbieten nog ongeveer 90 % van de maximale. Vanaf 60 cm zavel werden de opbrengsten bij verdere afname van de kleilaagdikte snel minder, om bij 20 cm tot de helft te dalen (4). EGBERTS heeft in een rede, uitgesproken op de vierde fruitteeltdag te Elst in 1948, meegedeeld, dat hij op de stroomruggen in de Betuwe, waar eveneens klei op zand rust, overal, waar de kleilaag geringer was dan 50 à 60 cm, afstervingsverschijnselen waarnam bij vruchtbomen. Bij een kleilaagdikte van 50 tot 90 cm waren er nog wel ongunstige verschijnselen waar te nemen, maar zelden afsterving (5).

Tenslotte zij nog vermeld, dat bij het onderzoek in de Noordoostpolder in grote trekken hetzelfde resultaat werd verkregen als bij het bewortelingsonderzoek, dat in de omgeving van Klundert en Velsen, waarvan in de voorafgaande bijdrage verslag werd uitgebracht, werd verricht. Uit een oogpunt van methodiek is dit belangrijk, omdat hieruit volgt, dat met het weinig tijdrovende schatten van de worteldichtheid in de grondmonsters, zoals bij het onderzoek bij Klundert en Velsen werd toegepast, reeds bevredigende resultaten kunnen worden verkregen, indien het gaat om objecten, waarbij vrij grote verschillen in beworteling kunnen worden verwacht.

SUMMARY

ROOT INVESTIGATION IN THE „NOORDOOSTPOLDER” (NETHERLANDS) ON GRASSFIELDS WITH A CLAY COVER OF DIFFERENT DEPTHS UNDERLAIN BY A SANDY SUBSOIL

by

M. A. J. GOEDEWAAGEN and J. J. SCHUURMAN

The depth and the distribution of the roots in clay-on-sand profiles were determined quantitatively on 6 grassfields varying in the thickness of the clay cover.

As is shown in fig. 1 to 3, the depth as well as the working depth of the root system increased to a certain limit with increasing thickness of the clay layer. In general the roots penetrated into the sand only over a small distance except on field L 28. The sand of the latter had a brown colour and was less compact than that on the other fields because of a deep cultivation, to which L 28 was subjected some years ago. From the bad penetration of the roots on 5 out of the 6 fields it may be concluded that the water and nutrient supply of the crop on clay-on-sand profiles mainly depends on the thickness of the clay cover. The best grass crop was observed on the field with the thickest clay layer (P 43), the poorest crop on L 44, which did not contain any clay. The response of the roots to the thickness of the clay cover appeared to be independent of the botanical composition of the grass cover. This is shown in fig. 4, in which this relation is given for three grass species and for clover separately.

The root system attained its maximum depth at a clay layer extending to a depth of about 90 cms (fig. 1). The maximum working depth of the root system was obtained with a clay layer of 70 to 80 cms (fig. 3). Consequently it seems probable that a clay cover of about 80 cm may be sufficient for a good water and food supply of the crop.

LITERATUUR

1. GOEDEWAAGEN, M. A. J., De methoden, die aan het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen bij het wortelonderzoek op bouw- en grasland in gebruik zijn. Landbouwproefstation 1948.
2. ZUUR, A. J., De vorming van de Noordoostpolderbodem. Dir. Wieringermeer no. 1, 1944.
3. WEAVER, J. E., Root development of field crops. 1926.
4. VELDMAN, G., Over de landbouwkundige waarde van lichte mariene gronden. Rapport (l.c. pag. 20).
5. EGBERTS, H., Rede, uitgesproken op de vierde Fruitteeltdag te Elst. *De Fruitteelt*, 25 September 1947.

TABEL 1. Profielbeschrijving en worteldichtheden der verschillende lagen in kavel L 44. Geheel zand. Grondwaterstand 50 cm.

Profiel	mg/dm ³	Profiel	mg/dm ³
BORING 32		BORING 33	
0-10	3221	0-10	4312
10-20 } Zu 1, lutum 4% ¹	686	10-20 } Zu 1, lutum 4%	1470
20-23	?	20-23	?
23-30 } Laagterras, boven	86	23-30 } Laagterras	652
30-40 } koffiebruin, naar onder	3	30-42 } koffiebruin	205
40-50 } lichter wordend	8	42-50 } grijsbruin	57
50-60	8	50-60 } koffiebank	sp
BORING 34		BORING 35	
0-10 } Zu 1, lutum 4%	4468	0-11	3719
10-19 }	1013	11-15 } Zu 1, lutum 4%	1821
19-30	65	15-20	519
30-40 } Laagterras	26	20-30	153
40-50 } bruin grijs	31	30-40	62
50-60 }	26	40-50 } Laagterras grijs	5
60-70	3	50-60	21
70-80 koffiebank	0	60-70	0
BORING 36		BORING 37	
0-10	2935	0-10	3013
10-21 } Zu 1, lutum 4%	782	10-14 } Zu 1, lutum 4%	1545
21-25	195	14-20	1260
25-30 } koffiebruin zand	16	20-30 } Laagterras	73
30-40 }	3	30-40 }	44
40-50 } Laagterras	10	40-50 } geelbruin zand	26
50-60 } harde bank	3		
BORING 38		BORING 39	
0-10 } Zu 1, lutum 4%	3766	0-10	4795
10-20	945	10-16 } Zu 1, lutum 4%	901
20-30 } Laagterras	255	16-20	577
30-40 } Laagterras	34	20-30	36
40-50 } geelgrijs	5	30-40 } Laagterras	26
50-54	13	40-50 } geelgrijs	31
		50-56	5
BORING 40		BORING 41	
0-10	3145	0-10	3143
10-17 } Zu 1, lutum 4%	1205	10-16 } Zu 1, lutum 4%	528
17-20	434	16-20	195
20-30	73	20-30	190
30-40 } Laagterras	36	30-40 } Laagterras	16
40-50 } grijs	86	40-50 } koffiebank	8
50-56	18	50-54	3

¹ Voor de definitie van lutum, zie pag. 36.

Zu = mineral soil deposited by the former Zuiderzee.

Lutum = soil particles smaller than 0.002 mm.

Laagterras = a rather coarse, diluvial sand (U about 80).

TABLE 1. Profile and root concentration (mg/dm³) on field L 44, consisting only of sand

TABEL 2. Profielbeschrijvingen en worteldichtheden der verschillende lagen in kavel L 28. Dikte van de zavellaag 20-33 cm. Grondwaterstand 150 cm.

	mg/dm ³		mg/dm ³
BORING 26		BORING 27	
0- 6 Stortgrond, lu. 6%, humus I	2987	0- 6 Stortgrond, lu. 6%, humus I	1478
6-10 } Zu, lutum 16%	1538	12-23 } Zu, lutum 16%	1470
10-20 }	982	23-30 } Laagterras	216
20-26 Laagterras, loodzand	268	30-40 } loodzand	65
26-30 } koffiezand	306	40-45 } loodzand	52
30-40 }	88	45-50 overgangslaag	52
40-50 overgangslaag	119	50-60 }	36
50-60 }	195	60-70 }	44
60-70 } grijsgeel zand	169	70-80 } koffiezand	57
70-80 }	5	80-90 }	13
80-90 }	0	90-100 }	0
BORING 28		BORING 29	
0-10 Stortgrond, lu. 6%, humus I	2130	0-10 Stortgrond, lu. 6%, humus I	2034
10-20 } Zu, lutum 16%	397	10-20 } Zu, lutum 16%	460
20-30 }	247	20-30 }	291
30-40 Laagterras, loodzand	101	30-33 Laagterras, zwart	242
40-50 } koffiezand	88	33-41 loodzand	99
50-60 }	31	41-50 koffiezand	112
60-70 }	46	50-60 }	?
70-80 } geel zand	16	60-70 } bruingeel zand	26
80-90 }	8	70-80 }	10
90-100 }	0	80-90 }	0
BORING 30		BORING 31	
0-10 Stortgrond, lu. 6%, humus I	3522	0-10 Stortgrond, lu. 6%, humus I	2413
10-20 }	2857	10-20 }	244
20-30 } Zu, lutum 16%	343	20-25 } Zu, lutum 16%	447
30-33 }	397	25-31 }	338
33-36 Laagterras, loodzand	190	31-40 Laagterras, koffiezand	75
36-40 } koffiezand	190	40-50 }	31
40-44 }	60	50-60 }	26
44-50 }	60	60-70 }	16
50-60 } geelbruin zand	16	70-80 } geelgrijs zand	23
60-70 }	5	80-90 }	42
70-80 }	10	90-100 }	0
80-90 }	0		

TABLE 2. Profile and root concentration (mg/dm³) on field L 28, containing sandy clay (20-33 cm) on a sandy subsoil

De horizontale stippellijnen in de tabellen 2-6 geven de grens aan tussen zavel en zand.

The dotted lines in table 2 to 6 indicate the boundary between the sandy clay soil and the sandy subsoil (laagterras).

TABEL 3. Profielbeschrijvingen en worteldichtheden der verschillende lagen in kavel M 68. Dikte van de zavel laag 36-52 cm. Grondwaterstand 150 cm.

	mg/dm ³		mg/dm ³
BORING 1		BORING 2	
0-10	1556	0-10	1078
10-20 } Zu, lutum 25-30 %	738	10-20 } Zu, lutum 25-30 %	436
20-30 }	169	20-30 }	452
30-36 }	229	30-39 }	538
36-44 Sloef, lu. 7 %	140	39-44 Sloef, lu. 7 %	161
44-50	0	44-50	3
50-60 } Laagterras	3	50-60 } Laagterras	13
60-70 }	26	60-70 }	0
70-80 }	3		
80-90 }	8		
90-100	0		
BORING 3		BORING 4	
0-10	1179	0-10	1779
10-20 } Zu, lutum 25-30 %	449	10-20 } Zu, lutum 25-30 %	608
20-30 }	397	20-30 }	224
30-40 }	164	30-35 }	286
40-44 Sloef, lutum 7 %	221	35-41 Sloef, lutum 7 %	317
44-50	5	41-50	29
50-60 } Laagterras	13	50-60 } Laagterras	?
60-70 }	0	60-70 }	0
BORING 5		BORING 6	
0-10	1681	0-10	1096
10-20 } Zu, lutum 25-30 %	166	10-20 } Zu, lutum 25-30 %	260
20-30 }	548	20-30 }	109
30-40 Sloef, lutum 7 %	257	30-36 Sloef, lutum 7 %	299
40-50	10	36-40	81
50-60 } Laagterras	10	40-50 } Laagterras	3
60-70 }	0	50-60 }	5
		60-70 }	0
BORING 7		BORING 8	
0-10	1881	0-10	1922
10-20 } Zu, lutum 25-30 %	403	10-20 } Zu, lutum 25-30 %	488
20-30 }	351	20-30 }	296
30-40 Sloef, lutum 7 %	249	30-38 }	122
40-50	8	38-52 Sloef, lutum 7 %	161
50-60 } Laagterras	8	52-60 } Laagterras	5
60-70 }	0	60-70 }	0

TABLE 3. Profile and root concentration (mg/dm³) on field M 68, consisting of a sandy clay cover (0-36 to 52) and a sandy subsoil

TABEL 4. Profielbeschrijvingen en worteldichtheden der verschillende lagen in kavel M 80.
Dikte van de zavel laag 40-48 cm. Grondwaterstand 150 cm.

	mg/dm ³		mg/dm ³
BORING 9		BORING 10	
0-10	3792	0-10	1366
10-22 } Zu, lutum 23-32 %	408	10-20 } Zu, lutum 23-32 %	397
22-30	223	20-30	182
30-40	135	30-42	145
40-50	29	42-50	21
50-60 } Laagterras	10	50-60 } Laagterras	10
60-70	0	60-70	0
BORING 11		BORING 12	
0-10	4675	0-10	5818
10-20	410	10-20	574
20-25 } Zu, lutum 23-32 %	249	20-30 } Zu, lutum 23-32 %	434
25-30	255	30-40	195
30-40	171	40-45	234
40-44	156	45-50	119
44-50	?	50-60 } Laagterras	55
50-60 } Laagterras	sp	60-70	0
60-70	0		
BORING 13		BORING 14	
0-10	5299	0-10	3922
10-20	974	10-20	660
20-30 } Zu, lutum 23-32 %	561	20-30 } Zu, lutum 23-32 %	431
30-40	429	30-40	270
40-48	328	40-48	314
48-50	156	48-50	169
50-60 } Laagterras	86	50-60 } Laagterras	sp
60-70	0	60-70	0

TABLE 4. Profile and root concentration (mg/dm³) on field M 80, containing sandy clay (0-40 to 48 cm) and a sandy subsoil

TABEL 5. Profielbeschrijvingen en worteldichtheden der verschillende lagen in kavel M 5. Dikte van de zavellaag 60-73 cm. Grondwaterstand 150 cm.

	mg/dm ³		mg/dm ³
BORING 17		BORING 18	
0-10	1304	0-10	1203
10-20	392	10-20	122
20-30	156	20-30	135
30-40 } Zu, lutum 20-30 %	83	30-40 } Zu, lutum 20-30 %	161
40-53	106	40-50	60
53-60	10	50-60	132
60-64	?	60-73	16
64-70 } Laagterras,	26	73-80 } Laagterras,	?
70-80 } loodzand	5	80-90 } loodzand	8
BORING 19		BORING 20	
0-10	2935	0-10	3145
10-20	195	10-20	145
20-30	153	20-30	65
30-40 } Zu, lutum 20-30 %	109	30-40 } Zu, lutum 20-30 %	86
40-50	91	40-50	47
50-60	5	50-56	75
60-64	143	56-64	31
64-70	8	64-70 } Laagterras,	10
70-80 } Laagterras,	21	70-80 } koffiezand	5
80-90 } koffiezand	18	80-90 } koffiezand	5
BORING 21		BORING 22	
0-10	3478	0-10	5193
10-20	834	10-20	571
20-30	421	20-30	338
30-40 } Zu, lutum 20-30 %	244	30-40 } Zu, lutum 20-30 %	395
40-50	114	40-50	192
50-60	99	50-60	107
60-63	182	60-63	96
63-70 } Laagterras,	39	63-70 } Laagterras,	36
70-80 } koffiezand	44	70-80 } koffiezand	13
80-90	10	80-90	13
BORING 23		BORING 24	
0-10	1852	0-10	3195
10-20	273	10-20	397
20-30	421	20-30	343
30-40 } Zu, lutum 20-30 %	296	30-40 } Zu, lutum 20-30 %	187
40-50	187	40-50	205
50-60	104	50-60	49
60-63	122	60-63	86
63-70 } Laagterras,	42	63-70 } Laagterras,	29
70-80 } koffiezand	31	70-80 } koffiezand	23
80-90	8	80-90	10

Vervolg tabel op blz. 51 - Continued see p. 51

	mg/dm ³		mg/dm ³
BORING 15		BORING 16	
0-10	3078	0-10	1649
10-20	558	10-20	392
20-30	182	20-30	174
30-40 } Zu, lutum 20-30 %	135	30-40 } Zu, lutum 20-30 %	184
40-50	78	40-50	155
50-60	81	50-60	24
60-65	73		
65-70	21	60-70	24
70-80 } Laagterras,	10	70-80 } Laagterras	29
80-90 } loodzand	5	80-90	21

TABLE 5. Profile and root concentration (mg/dm³) on field M 5, consisting of a sandy clay cover (0-60 to 73 cm) and a sandy subsoil

TABEL 6. Profielbeschrijvingen en worteldichtheden der verschillende lagen in kavel P 43. Dikte van de zavel laag 43-100 cm. Grondwaterstand 150 cm.

	mg/dm ³		mg/dm ³
BORING 42		BORING 43	
0-10	3249	0-10	1997
10-20	?	10-20	587
20-30	330	20-30	382
30-43	151	30-40	247
		40-50	205
43-50	10	50-63	23
50-60	sp	63-70	34
60-70	U = ± 100	70-80	0
70-80	0		
BORING 44		BORING 45	
0-10	4312	0-10	2753
10-20	379	10-20	597
20-30	226	20-30	171
30-40	270	30-40	83
40-50	112	40-50	94
50-60	73	50-60	47
		60-64	52
60-70	5	64-70	13
70-80	5	70-80	5
80-90	0	80-90	0
BORING 46		BORING 47	
0-10	4182	0-10	2935
10-20	408	10-20	156
20-30	296	20-30	96
30-40	151	30-40	39
40-50	91	40-50	86
50-60	42	50-60	86
60-64	31	60-70	47
64-72	13	70-80	29
72-80	13	80-90	200
80-90	0		
BORING 48		BORING 49	
0-10	6603	0-10	4156
10-20	714	10-20	623
20-30	122	20-30	283
30-40	96	30-40	106
40-50	47	40-50	135
50-60	75	50-60	83
60-65	47	60-70	62
65-70	?	70-80	10
70-80	34	80-90	55
80-85	60	90-95	?

Vervolg tabel op blz. 53 - Continued see p. 53

	mg/dm ³		mg/dm ³
BORING 50		BORING 51	
0-10	5844	0-10	4657
10-20	460	10-20	509
20-30	374	20-30	169
30-40 } Zu, lutum 14-20 %	148	30-40 } Zu, lutum 14-20 %	322
40-50	161	40-50	143
50-60	109	50-60	55
60-61 } Schelpenlaag	260	60-70	?
61-70	55	70-80	140
70-80 } Zu, lutum 20 %	68	80-90 } Zu, lutum 20 %	55
80-90 } of sloef?	26	90-100 } beneden 60 cm sloef?	13
90-100	26		
BORING 52			
0-10	3247		
10-20	309		
20-30	203		
30-40 } Zu, lutum 14-20 %	81		
40-50	94		
50-60	62		
60-70	49		
70-80 } Zu, lutum 20 %	18		
80-80 } beneden 60 cm sloef?	42		
90-100	22		

TABLE 6. Profile and root concentration (mg/dm³) on field P 43, which contained a thick sandy clay layer

TABEL 7. Worteldichtheden in de verschillende lagen onder invloed van de dikte van de zavellaag (in mg per dm³ grond)

Laag	Dikte van de zavellaag in centimeters										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0-10 cm	3705	3445	3185	2995	2790	2795	2990	3250	3640	4030	4550
10-20 "	1065	885	755	625	520	470	415	390	390	390	440
20-30 "	130	195	260	299	325	312	299	286	265	247	234
30-40 "	26	47	73	109	166	221	236	228	203	166	130
40-50 "	16	31	49	68	88	101	112	117	117	114	107
50-60 "	13	21	29	34	42	49	57	62	70	78	86
60-70 "	5	10	16	21	23	29	34	36	42	47	52
70-80 "	0	0	16	18	21	23	26	31	34	36	42
80-90 "	0	0	0	13	16	18	21	23	26	31	34
<i>Layer</i>	<i>Thickness of the clay cover in cms</i>										

TABLE 7. The root concentration (mg dry roots per dm³ soil volume) in the different layers in relation to the thickness of the clay cover

TABEL 8. Botanische samenstelling der monsters, worteldiepte en dikte van de zavelaag

No.	Dikte zavellaag	Dominante soort	Worteldiepte in cm		
			Maximum	bij een grens van	
				25 mg	65 mg
Kavel L 44 (zand)					
32	0	Fp	60	30	30
33	0	D	60	50	42
34	0	D	70	50	30
35	0	D	60	40	30
36	0	D	60	25	25
37	0	D	50	40	30
38	0	D	54	40	30
39	0	D	56	50	20
40	0	D	56	50	50
41	0	Lp + Pa	54	30	30
Kavel L 28 (zavellaag 20-33 cm)					
26	20	Fp	80	70	70
27	23	Lp	90	80	30
28	30	Lp	90	70	50
29	30	Lp	80	60?	50
30	33	Lp	80	50	40
31	31	Lp	90	50	40
Kavel M 68 (zavellaag 36-52 cm)					
1	44	Phl	90	44	44
2	44	Phl	60	44	44
3	44	Fp	60	44	44
4	41	Lp	60	50	41
5	40	Fp	60	40	40
6	36	Pa	60	40	40
7	40	Phl	60	40	40
8	52	Trif	60	52	52
Kavel M 80 (zavellaag 40-48 cm)					
9	40	Fp	60	50	40
10	42	Phl	60	42	42
11	42	Fp	60	?	?
12	45	Fp	60	60	50
13	48	Fp	60	60	60
14	48	Fp	60	50	50
Kavel M 5 (zavellaag 60-72 cm)					
15	65	Phl	90	65	65
16	60	Phl	90	80	50
17	64	?	80	53	53
18	73	Trif	90	60	60
19	64	Phl	90	64	64
20	64	Lp	90	64	64
21	63	Fp	90	80	63
22	63	Fp	90	70	63
23	63	Lp	90	80	63
24	63	Phl	90	70	63

Vervolg tabel op blz. 56 - Continued see p. 56

No.	Dikte zavellaag	Dominante soort	Worteldiepte in cm		
			Maximum	bij een grens van	
				25 mg	65 mg
Kavel P 43 (zavellaag 42-100 cm)					
42	43	Pt	70	43	43
43	50	Ag-Pt-Trif	70	70	50
44	60	Fp	80	60	60
45	64	Fp	80	64	50
46	64	Fp	80	64	50
47	> 90	Fp	90	80	60
48	> 85	Fp	85	85	60
49	> 95	Fp	90	90	60
50	> 100	Fp	100	80	80
51	> 100	Fp	100	90	80
52	> 100	Fp	100	90	50

EXPLANATION

dominante soort = *dominant species*
 worteldiepte = *rooting depth*
 bij een grens van = *at a limit of*
 Fp = *Festuca pratensis*
 D = *Dactylis glomerata*
 Lp = *Lolium perenne*

Pa = *Poa annua*
 Phl = *Phleum pratense*
 Trif = *Trifolium repens*
 Pt = *Poa trivialis*
 Ag = *Alopecurus geniculatus*

TABLE 8. Botanical composition on the sampling plots, as well as the rooting depth and the thickness of the sandy clay layer

III. BEWORTELING VAN DE GRASMAT IN HET RANDGEBIED VAN DE NOORDOOSTPOLDER

D. VAN DER SCHAAF

Commissie inzake indrogende gronden rondom de Noordoostpolder

1. INLEIDING

In de omgeving van Kuinre deden zich na de droogmaking van de Noordoostpolder ernstige verdrogingsverschijnselen voor op het grasland. Het droogvallen van de Noordoostpolder had nl. een daling van de grondwaterstand in het aangrenzende „oude land” tot gevolg gehad. De verdroging viel evenwel niet op alle graslanden waar te nemen. Dit kon toegeschreven worden aan de profielopbouw van de grond in het „oude land”.

In grote trekken kan gezegd worden, dat men in het randgebied van de Noordoostpolder een kleilaag van wisselende dikte vindt op een ondergrond van veen. De kleilaag is vlak bij de Noordoostpolder het dikst; dieper het land in wigt deze geleidelijk uit. Uit vele praktijk-waarnemingen was gebleken, dat bij een kleilaagdikte van ca 40 cm en meer geen verdroging optrad, terwijl de graslandpercelen met een kleilaag dunner dan ca 40 cm wel verdrogingsverschijnselen te zien gaven. Hierbij kan nog opgemerkt worden, dat op de percelen met de dikkere kleilagen de grondwaterstands-daling meestal het grootst was, omdat die percelen het dichtst bij de Noordoostpolder lagen. De verdrogingsverschijnselen beperkten zich dus tot de percelen met een kleilaag dunner dan ca 40 cm. De grens van ca 40 cm klei op veen werd daarom wel de „verdrogingsgrens” genoemd.

Op een vergadering van de „Commissie inzake indrogende gronden rondom de Noordoostpolder” werd bij de behandeling van het door Ir L. J. A. DE JONGE voor deze Commissie samengestelde „Watersverslag Deel III A”¹ door een der Commissieleden het vermoeden uitgesproken, dat het gehele zogenaamde „Kuinre-probleem” eigenlijk een bewortelvingsvraagstuk zou zijn, terwijl in genoemd verslag slechts één maal over de beworteling werd gerept.

Deze opmerking werd de aanleiding tot een wortelonderzoek, dat in 1951 door personeel van deze Commissie onder schrijvers leiding werd verricht, nadat eerst door Dr M. A. J. GOEDEWAAGEN te Groningen enige richtlijnen waren aangegeven.

2. WERKWIJZE

Het nemen van de wortelmonsters vond plaats in de maanden Juni en Juli van het jaar 1951. De bemonsteringsplekken zijn gekozen bij jaaropbrengstveldjes, omdat daardoor naast de ter plaatse vastgestelde profielgegevens, ook de grondwaterstanden en de bemestings-toestand van de proefplek bij het onderzoek ingeschakeld konden worden. De jaaropbrengsten zijn vanwege tijdgebrek niet bij het onderzoek betrokken. Met de proefvelden van de afdeling Onderzoek van de Directie van de Wieringermeer (Noordoostpolderwerken) kon het aantal proefplekken op 59 gebracht worden. De monsterneming voor een proefplek werd als volgt uitgevoerd.

Binnen een straal van 1 meter rondom de grondwaterstandsbuis zijn steeds twee bemonsteringsplekken genomen. De opname per proefplek geschiedde derhalve in duplo. Er werd naar gestreefd voor beide bemonsteringsplekken een grasmatsamenstelling van het Engels raai- en ruwbeemdtype (Lp-Pt-type) te verwezenlijken. Plaatsen, die aan deze voorwaarden voldeden waren echter niet op alle proefplekken te vinden. De bemonstering vond plaats met een wortelmonsterboor, die welwillend door het Consulentenschap voor Zuidwest Friesland werd afgestaan. De monstername werd laags-

¹ Commissie inzake indrogende gronden rondom de Noordoostpolder. Verslagen van proeven en onderzoekingen, Deel III A; 28 Oct. '50.

gewijze uitgevoerd, de dikte van elke laag was 5 cm. De bemonsteringsdiepte hing af van de bewortelingsdiepte. Wanneer bij een vluchtige beoordeling in het veld het laatste grondmonster geen wortel meer bevatte, werd veiligheidshalve nog 10 cm dieper gegaan. Een bemonsteringsplek met een bemonsteringsdiepte van 70 cm leverde dus 14 monstertjes op van 5 cm laagdikte. Per proefplek bedroeg het aantal monstertjes dus 28 stuks. Daar de gemiddelde totale bewortelingsdiepte 60 cm was, zijn zeker meer dan 1500 monstertjes verzameld. De monsters zijn in papieren fruitbakjes gedroogd en tijdens het drogen verkruid, zodat de wortels tenslotte voor het merendeel op de losse grond kwamen te liggen.

Per bemonsteringsplek werd daarna laagsgewijze de relatieve wortelmassa geschat. Het diepste monster van een plek werd het eerst beoordeeld, de laag van 0-5 cm het laatst. Zodra spoortjes van wortels gevonden werden, kreeg de wortelmassa van het betreffende monstertje een waarderingscijfer gelijk aan 1. Daarna hoger in het profiel komend, nam de wortelmassa van de boormonsters in de regel toe, waarmee de waarderingscijfers op overeenkomstige wijze stegen. De hoogste schattingswaarde die een wortelmassa kon bereiken was 100, de laagste waarde bedraagt uit de aard der zaak 0.

In navolging van GOEDEWAAGEN kan deze schatting de verticale schatting worden genoemd. De uitkomsten daarvan hebben dienst gedaan voor de beoordeling van de verdeling der wortelmassa in de doorwortelde laag van de grond („bewortelingsbeeld”) alsmede om de maximale en de werkzame bewortelingsdiepte vast te stellen. In de drie volgende paragrafen worden de resultaten van de verticale schatting besproken.

Na de verticale schatting is van elk boorgat het monster van de laag van 5-10 cm bewaard. Alle overige monsters zijn afgevoerd. De resterende 59×2 monsters zijn vervolgens onderling op relatieve wortelmassa beoordeeld. Aan het monster, dat op het oog de hoogste wortelmassa bevatte, werd een waarderingscijfer gelijk aan 100 toegekend. De wortelmassa's van de overige monsters zijn vervolgens geschat met de hoogste massa als basis (horizontale schatting). Elk monster werd gewaardeerd door vier personen. Zowel de keuze van het monster met de grootste wortelmassa als de daarop volgende schatting werden door die vier personen onafhankelijk van elkaar uitgevoerd. Per proefplek waren zodoende 8 schattingscijfers voorhanden. Het gemiddelde gold als waarderingscijfer voor de wortelmassa van die plek, wat de laag van 5-10 cm betreft.

Met de horizontale schatting worden de wortelmassa's van de diverse proefplekken op éénzelfde taxatieniveau gebracht, tenminste wat betreft de laag van 5-10 cm. Door omrekening hadden de cijfers van de verticale schatting hierop herleid kunnen worden. Deze omrekening is bij het onderhavige onderzoek achterwege gelaten. Met de uitkomst van de horizontale schatting van de laag van 5-10 cm is verder gewerkt. Ze zijn vermeld in tabel 1, naast de gegevens van de worteldiepte en worden besproken in de paragraaf 6.

Wanneer nu van één bemonsteringsplek (1 boring) de relatieve wortelmassa van de verticale schatting uitgezet wordt tegen de diepte van de bemonsterde laag, ontstaat het bewortelingsbeeld. Alvorens over te gaan tot de behandeling van de samenhang, die er is tussen het profiel en de beworteling, is het nodig een ogenblik stil te staan bij het bewortelingsbeeld.

3. HET BEWORTELINGSBEELD

Het bewortelingsbeeld van een boorplek, dat een idee geeft van de massaverdeling van het wortelstelsel in de grond, kan tot uitdrukking worden gebracht door op twee onderling loodrechte assen de wortelmassa uit te zetten tegen de diepte van de bemonsterde laag. Fig. 1 laat dergelijke krommen zien voor profielen met resp. een dik en een dun mineraal dek.

De wortelmassa's van de twee curven zijn onderling niet vergelijkbaar, omdat geen omrekening op hetzelfde taxatieniveau is toegepast. Voor het hier gestelde doel levert dit geen

FIG. 1. Bewortelingsbeeld op een profiel met resp. dik dek en dun dek

REG. No: K 41

REG. No: K 34

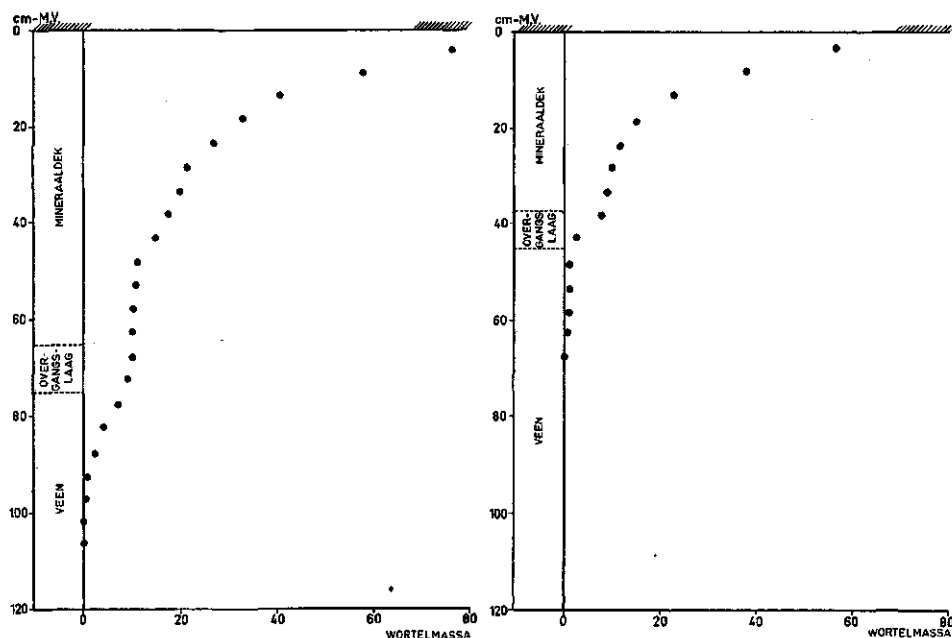


FIG. 1. Root distribution in a profile with a thick clay cover (on the left) and a thin clay cover (on the right), covering a peaty subsoil. (The figures along the abscissa give the depth in cms below the surface, those along the ordinate represent the relative amounts of roots. The relative root values were obtained by estimating them in the soil samples).

bezwaar op. Deze bewortelingsbeelden zijn fraai. Het zijn dan ook twee demonstratieve voorbeelden. Het merendeel is onregelmatiger, maar geeft toch in grote trekken een soortgelijk verband te zien. Het opvallende bij beide krommen is, dat op zekere diepte een nog behoorlijke hoeveelheid wortels plotseling inkrimpt tot bijna niets. („het staartje”) Het overgangsgebied ligt bij het profiel met het dikke kleidek tussen 75 cm en 85 cm-mv. Het profiel met het dunne kleidek geeft een scherpe overgang bij 40 cm -mv. Ongetwijfeld heeft de overgang van de minerale laag naar het veen invloed op de wortelverdeling. Dit zal later nog duidelijker blijken.

De diepgang van het wortelstelsel tot waar het „staartje” begint, is in het vervolg van het verslag de *werkzame* diepte genoemd. Daarnaast is de totale diepgang gemeten.

Een ander verschijnsel, dat speciaal bij de kromme van reg.no. K 41 te zien valt, is het voorkomen van zones in het bewortelingsbeeld. De dikte van zo'n zone schijnt ongeveer 20 à 30 cm te zijn. Als zodanig zijn bij dit bewortelingsbeeld aan te wijzen de lagen van 0-25 cm, van 25-45 cm en van 45-75 cm. Reg.no. K 34 kent in de werkzame diepte slechts twee zones, te weten laag 0-20 cm en laag 20-40 cm. Mogelijk houdt het optreden van de zones verband met details van de profielbouw. De oppervlakkige zone is typisch verschillend van de andere door de sterke afname in wortelmasse bij grotere diepte. Het lijdt geen twijfel, dat deze zone de teelaardelaag omvat, waaraan voor grasland grote waarde moet worden toegekend. Vooral de structuur van deze zone is belangrijk voor de productiviteit van de

percelen, terwijl tevens de bemestingstoestand ervan van grote betekenis is. De beide voorbeelden geven geen moeilijkheden bij het bepalen van de werkzame diepte en de scheiding tussen teelaarde-zone en het overige wortelstelsel is bij benadering ook wel aan te wijzen, maar bij percelen met een zeer dunne kleilaag op het veen is de grens tussen teelaardewortels en de overige meestal niet te vinden. De werkzame diepte is daarentegen vaak scherp getekend.

Op percelen met zeer dikke dekken heeft men het tegenovergestelde. De teelaardezone is duidelijk, de werkzame diepte onduidelijk. Vrijwel steeds komen daar de eerder genoemde zones van 20 à 30 cm dikte voor, die bij de dikke dekken meer uitgerekt zijn en een veel geringere wortelmassa bezitten. De overgangen tussen de opeenvolgende zones zijn bovendien niet erg sprekend, zodat het moeilijk aan te geven is, waar nu precies de werkzame diepte eindigt. Hierdoor zijn de waarschijnlijk foutieve beoordelingen van deze groep ontstaan. In het gedeelte handelend over het profiel en de werkzame diepte (pag. 63) komt dit weer ter sprake.

Voor het vaststellen van de werkzame diepte en de totale diepte kan met de uitkomsten der verticale schatting worden volstaan. Om de wortelmassa's van de diverse percelen te vergelijken werd een horizontale schatting uitgevoerd, welke beperkt is gebleven tot de laag van 5-10 cm. Een opmerkelijk verschijnsel van de indrogende gronden is immers altijd de grote hoeveelheid wortels in de bovengrond. Vergelijking van de wortelmassa's van de laag van 5-10 cm zou dus eventuele aanwijzingen kunnen geven over de mate van verdroging op de onderzochte percelen. Daartoe zijn de horizontaal geschatte wortelmassa's in verband gebracht met het profiel en de bemestingstoestand. Voor de werkzame diepte en de totale diepte is dit eveneens gedaan. Deze onderwerpen zullen thans behandeld worden. Het gebruikte cijfermateriaal is te vinden in tabel 1.

4. DE TOTALE DIEPTE IN HET WORTELSTELSEL

Het is een dikwijls en niet ten onrechte geuite mening, dat de grondwaterstand invloed heeft op de bewortelingsdiepte. Het is verder bekend, dat fosforzuur de wortelontwikkeling kan bevorderen, misschien dus tevens de diepgang. Tenslotte zijn voor de diepgang van belang het profiel en het verbouwde gewas zelf. Bovengeschetste volgorde is niet bedoeld als een zekere rangorde, doch slechts als een opsomming. Bij de uitvoering en opzet van het bewortelingsonderzoek in het randgebied is zoveel mogelijk met genoemde omstandigheden rekening gehouden; met het plantenbestand evenwel alleen in zoverre, dat per proefplek de twee boringen op een gelijksoortige grasmat plaats vonden. Indien mogelijk werd dit uitgebreid tot een gelijk plantenbestand voor de verschillende proefplekken, hetgeen evenwel niet altijd is gelukt. Een groot bezwaar is dit niet, daar in het in deze publicatie opgenomen artikel van GOEDEWAAGEN en SCHURMAN wordt vermeld, dat de botanische samenstelling van het grasdek in dergelijke profielen weinig of geen invloed heeft op de worteldiepte in vergelijking met de invloed, die er uitgaat van het bodemprofiel (zie pag. 42 van deze publicatie).

De betekenis van de andere omstandigheden werd nagegaan met behulp van stippenfiguren. Het resultaat was, dat de totale diepte van het wortelstelsel eigenlijk in hoofdzaak bepaald werd door het profiel oftewel door de dikte van het minerale dek plus de overgangslaag. Men kan hier ook voor nemen het minerale dek, want beide grootheden zijn zeer nauw aan elkaar gekoppeld. De invloed van de grondwaterstand op de worteldiepte bleek na een uitvoerige grafische bewerking tegen te vallen en zeker kleiner te zijn dan de bemonsteringsfout. Van de grootheden der chemische grondanalyse bleek er geen enkele van betekenis te zijn voor de totale bewortelingsdiepte. Het eindresultaat kan zodoende worden weergegeven

FIG. 2. Verband tussen totale diepgang van het wortelstelsel en het profiel

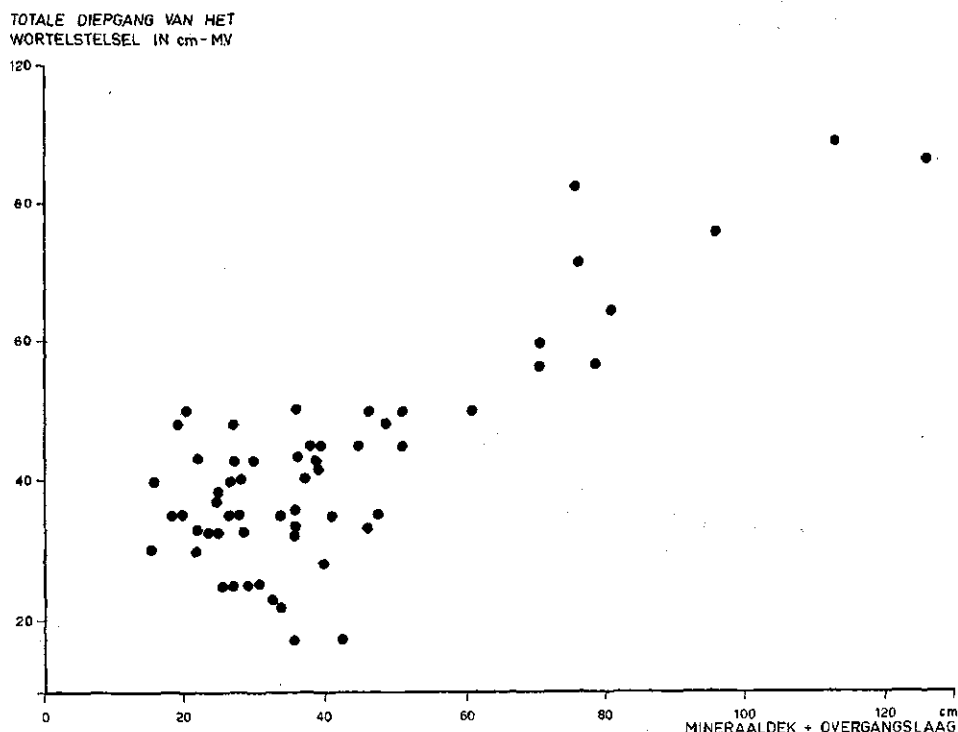


FIG. 2. The relation between the total depth of the root system (abscissa) and the thickness of the clay cover (cms)

door de figuren 2 en 3, waarin de worteldiepte is uitgezet tegen de dikte van het kleidek met inbegrip van de overgangslaag.

Fig. 2 vertoont bij de dunne dekken nogal wat variatie in de diepgang van het wortelstelsel. De grondwaterstand van de diverse proefplekken in Juni 1951 en de onbekende oorzaken zijn hiervoor aansprakelijk te stellen.

Fig. 3 laat echter zien, dat de grondwaterstand in Juni 1951 ten aanzien van de maximale worteldiepte slechts een geringe invloed uitoefent. De onbekende oorzaken (de veensoort of anderszins) schijnen doorslaggevend te zijn voor de variatie in fig. 2. Deze kan wellicht ook te wijten zijn aan een onvermijdelijke grote bemonsteringsfout. De betekenis van de dikte van het minerale dek voor de totale diepgang is intussen wel duidelijk: fig. 2 is, wat dat betreft, overtuigend. Fig. 3 bewijst, dat het verband niet rechtlijnig is. Er schijnt een minimale bewortelingsdiepte te zijn van 50-55 cm -mv. ongeacht de dikte van het minerale pakket. De overgang van het vlakke deel naar het stijgende gedeelte ligt ongeveer bij een 30 cm dik kleipakket. Dit valt vrijwel samen met de z.g. „verdrogingsgrens”. Een opmerkelijk verschijnsel. Wanneer immers alleen de totale diepgang van het wortelstelsel de droogtegevoeligheid zou bepalen, mag men bij de percelen met een mineraal dek tot 30 cm dikte, steeds dezelfde verdrogingsgraad verwachten, ongeacht de dikte van de minerale deklaag.

FIG. 3. Verband tussen bewortelingsdiepte en het profiel bij variërende Juni-grondwaterstanden (40)

TOTALE DIEPGANG VAN HET
WORTELSTELSEL IN cm - M.V.

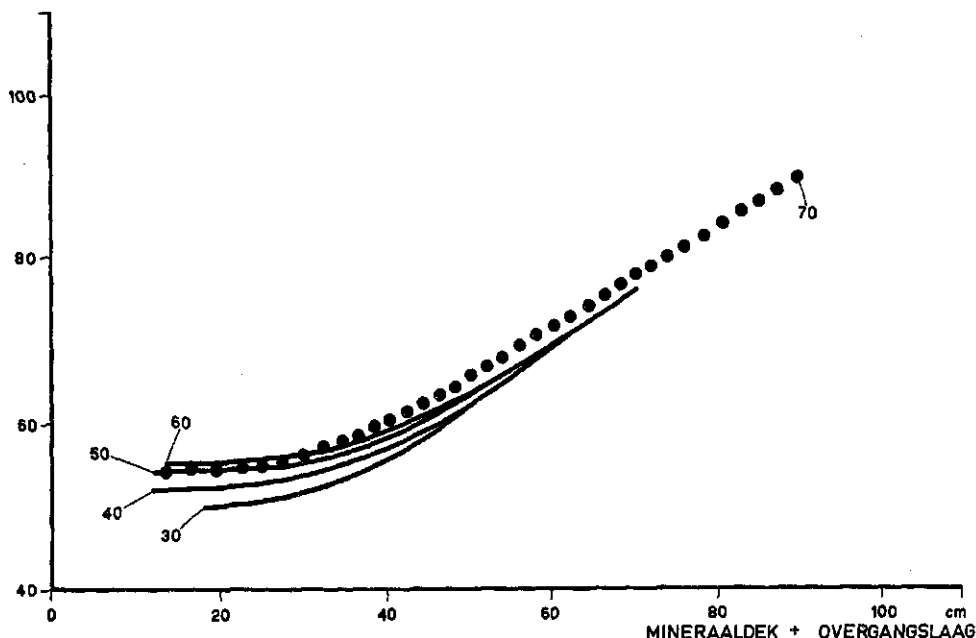


FIG. 3. The relation, as shown in fig. 2, given by means of curves, representing the average relation between root depth and the thickness of the clay in connection with the depth of the groundwaterlevel

Voor de percelen met de dikkere dekken daarentegen zou er een goede correlatie moeten zijn tussen verdroging en dikte van het kleipakket.

Over het algemeen zijn de waarnemingen over droogtegevoeligheid en verdroging van de percelen in het Randgebied hiermede in strijd. Het verdrogingsbeeld was op de graslanden met de dunne dekken nl. afhankelijk van de dikte van het kleipakket. Voor de percelen met een dikker dek was dit niet of slechts in geringe mate het geval. Het afbuigen van de kromme in fig. 3, vrijwel bij de verdrogingsgrens, maakt het daarom onwaarschijnlijk, dat de totale diepgang van het wortelstelsel de hoofdoorzaak is van de geconstateerde verdroging in het Randgebied; de dikte van de kleilaag op het veen schijnt eerder de hoofdoorzaak te zijn. Hier zij nog aan toegevoegd, dat proefveldoogsten van de eerste sneden van 1950 en 1951 een vrijwel rechtlijnig en positief verband gaven te zien met de dikte van het minerale dek. Van vochtgebrek op de percelen met een dunne kleilaag was hierbij geen sprake, veeleer was het vochtvermaat op de graslanden met de dunne kleilaag, die de achterstand in de productie te weeg bracht. Onder drogere omstandigheden, zoals bij de eerste snede van 1947 en de nagroeisneden van 1950 en 1951 was de gemiddelde productie op percelen met een kleilaag dikker dan 40 cm nagenoeg constant. De graslanden met een mineraal pakket dunner dan 40 cm gaven daarentegen steeds een positieve correlatie te zien tussen kleilaagdikte en opbrengst.

5. DE WERKZAME DIEPTE VAN HET WORTELSTELSEL

Bij de bespreking van het bewortelingsbeeld is al het een en ander over de werkzame worteldiepte medegedeeld. Er werd toen op gewezen, dat het vaststellen van de werkzame diepte van de wortels op de dikke dekken aanleiding kan geven tot moeilijkheden. Dit is te zien in fig. 4. De met een (+) gemerkte stippen, voorkomend bij de percelen met een dikke kleilaag, zijn als betrouwbaar te beschouwen. De beoordeling van de werkzame worteldiepte leverde op die plekken geen moeilijkheden op.

De overige zes plekken zijn waarschijnlijk foutief beoordeeld op werkzame diepte. Aanvankelijk is nog gedacht aan de gemiddelde grondwaterstand in een bepaalde maand als storende factor, maar noch de grondwaterstand, noch de bemestingstoestand bleken de spreiding te veroorzaken. De afwijkers in het rechter deel van de figuur geven begrijpelijkerwijs zeer lange „staarten” bij het bewortelingsbeeld te zien, omdat de totale diepgang wél nauw samengaat met de dikte van het minerale dek (zie fig. 2).

Over het geheel genomen is de werkzame worteldiepte, evenals de totale worteldiepte, sterk gekoppeld aan de dikte van de minerale laag. Ook hier bestaat een afwijken van het rechtlijnig verband bij de dunnere dekken. Het wortelstelsel is blijkbaar altijd in staat een werkzame diepte van omstreeks 35 cm bij de dunnere dekken te bereiken.

FIG. 4. Verband tussen werkzame diepte en het profiel

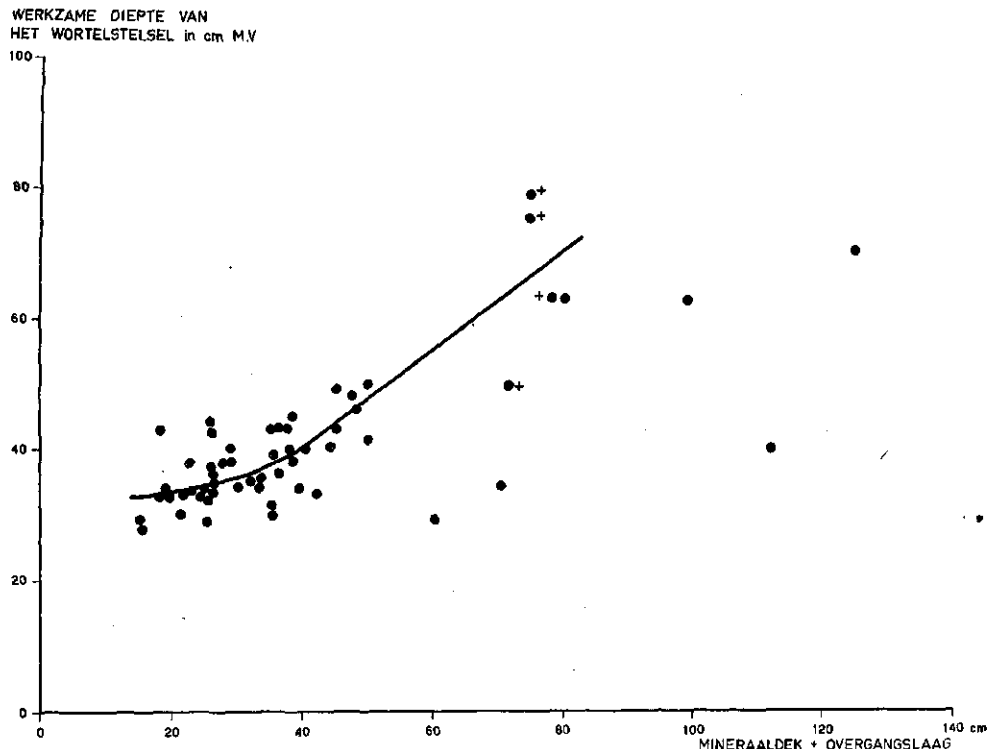


FIG. 4. The working depth of the root system in dependence of the thickness of the clay cover (inclusive the transition layer)

De werkzame worteldiepte is waarschijnlijk belangrijker dan de totale diepgang, daar de zone der werkzame diepte goed doorworteld is en daardoor de grootste rol speelt bij de watervoorziening van de grasmat. Het benodigde vocht wordt door de wortels van de betreffende zone tenslotte onttrokken aan de gronddeeltjes. De graslanden met de dunne dekken onttrekken dus vocht aan de humeuze en slibrijke aggregaten van de grondlaag ter dikte van ca 35 cm, met het gevolg dat die aggregaten sterk gaan inkrimpen. De doorlatendheidsmetingen¹ nu wezen op een sterke verandering in de doorlatendheid op de dunne dekken bij ca 40 cm -mv. Er werd toen verondersteld, dat die grens verband hield met de bewortelingsdiepte van de grasmat. Fig. 4 levert thans het bewijs. De werkzame diepte is er voor aansprakelijk. Zowel bij de totale diepte als bij de werkzame diepte is dus de overheersende betekenis van het profiel duidelijk. De grondwaterstand oefent, naar het schijnt, slechts een geringe invloed uit op de totale diepgang van de wortels. Naarmate de dekken dunner worden dringen de wortels meer in de overgangslaag en tenslotte in het veen. De indruk wordt gewekt, dat het grasbestand op de dunne dekken een minimale diepgang van zijn wortels eist. Voor de totale worteldiepte ligt dit minimum op 50-55 cm -mv en voor de werkzame worteldiepte op 30-35 cm -mv.

FIG. 5. Verband tussen het profiel en de geschatte wortelmasa (laag 5-10 cm -m.v.)

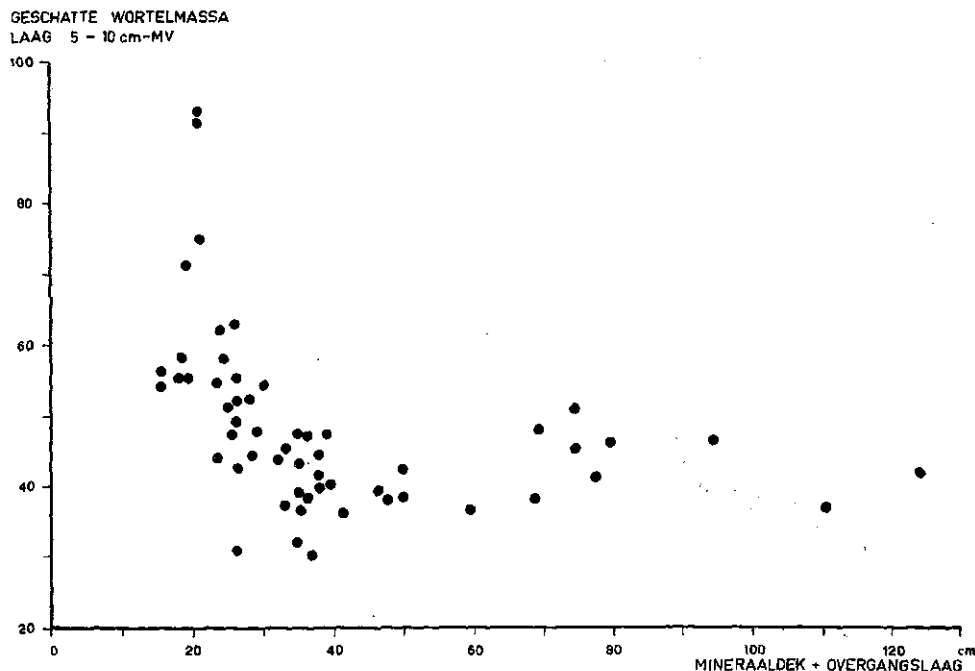


FIG. 5. *The relative root mass in the (clayish) topsoil (5-10 cm below the surface) in dependence of the thickness of the clay plus transition layer*

¹ Commissie inzake indrogende gronden rondom de Noordoostpolder. Verslagen van proeven en onderzoeken. Deel III A; Band III blz. 249-263. 28 October 1950.

FIG. 6. Verband tussen de pH van de zodelaag en de wortelmasa van de laag van 5-10 cm -m.v.

GESCHATTE WORTELMASSA
LAAG 5-10 cm - M.V.

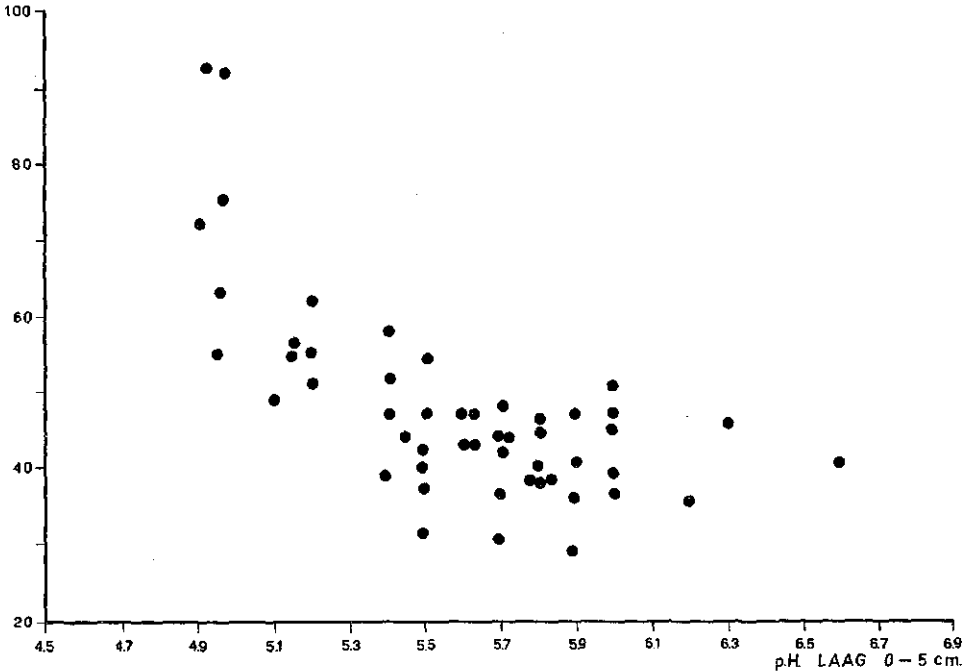


FIG. 6. Relation between the relative root mass in the clayish topsoil (5-10 cm) and the pH of the soil near the surface

6. DE WORTELMASSA

De wortelmasa's van de laag van 5-10 cm, die door horizontale schatting verkregen werden, zijn evenals de bewortelingsdiepten, beschouwd in verband met de verschillende milieufactoren. De stippenfiguren brachten slechts twee factoren naar voren. Alleen de dikte van het minerale dek en de pH van de zodelaag vertoonden nauwe samenhang met de geschatte wortelmasa. De grondwaterstand, het P-citroencijfer en het kaligehalte waren zonder betekenis. De invloed van het minerale dek en die van de pH zijn weergegeven door de figuren 5 en 6. De stippenfiguren stellen ongecorrigeerde verbanden voor.

Wel is getracht de betekenis van elke factor afzonderlijk te bepalen maar door de sterke correlatie tussen de pH en de dikte van het minerale dek was dit praktisch niet uit te voeren, vooral niet in het voor het Randgebied interessante traject van de dunne dekken. Trouwens de figuren leren zo ook voldoende.

Bij fig. 5 is de verdrogingsgrens fraai aan te wijzen. De stippenfiguur buigt, naar links gaande, scherp omhoog bij die grens, d.i. bij een mineraal dek van 30-40 cm. De grote wortelmasa's bij de dunne dekken zijn echter niet ontstaan door de verlaging van het phreatisch vlak als gevolg van de bemaling van de Noordoostpolder, want de hoogste wortelmasa's werden juist aangetroffen op percelen buiten de invloedssfeer van de Noordoostpolder. De schaltergraslanden bezaten nl. verreweg de grootste massa's. De puntenspreiding is bij fig. 5

gering. Het feit, dat elke stip het gemiddelde van acht schattingswaarden voorstelt, zal hiertoe het zijne hebben bijgedragen.

De pH, die nauw gecorreleerd is aan de dikte van het minerale dek, blijkt ook niet zonder betekenis te zijn. Niettegenstaande de moeilijk te bepalen afzonderlijke invloed van beide factoren werd toch wel de indruk verkregen, dat ze beide van belang zijn. Bij de dunne dekken viel tenminste op, dat een hogere pH samenging met een lagere wortelmassa. Om een normale massa (waarderingcijfer = 45) te hebben, was een pH 5,8–6,0 vereist. Dit is hetzelfde als wat uit fig. 5 viel af te leiden. Indeling van de waarnemingen in pH-klassen leverde als resultaat op, dat beneden een pH = 5,5 de correlatie tussen wortelmassa en dikte van het dek scherp negatief was, terwijl daarboven een zwakke positieve correlatie werd aangetroffen. Het laatste is misschien te verklaren door het beter worden van de samenstelling van de grasmat bij dikker worden van het dek. Het moeilijke punt bij de groepen-indeling was het feit, dat beneden de genoemde pH = 5,5 de dekken alle dunner waren dan 30 à 40 cm en daarboven alle dikker dan 30 à 40 cm, natuurlijk een gevolg van het samengaan van pH en profiel. De eigenschappen van de bovengrond bij de dunne minerale dekken zijn nu zodanig, dat zij aanleiding geven tot een ophoping van wortels. Enerzijds is de ophoping een gevolg van de omstandigheid, dat de grassen, doordat ze niet in de ondergrond kunnen doordringen, het beschikbare profielgedeelte ter dikte van 35–55 cm volledig aftasten naar vocht, anderzijds van het feit, dat de wortels slecht verteren door de slechte biologische toestand van dat profieldeel. De lage pH's verhinderen op deze typische gronden de ontwikkeling van een rijke bacterieflora. Een tweede factor, die het slecht verteren van de wortels bewerkstelligt, zal gezocht moeten worden in het geringe contact tussen wortels en gronddeeltjes als gevolg van de slechte structuur. De wortels hangen en liggen zodoende in regenarme perioden los tussen de harde, droge grondaggregaten en verdrogen in plaats dat ze vocht kunnen opnemen of verteren.

De uitkomsten, verkregen bij het schatten van de wortelmassa voorkomend in de laag van 5–10 cm, hebben veel bijgedragen tot de oplossing van het z.g. Kuinre-probleem. Fig. 5 is in dit opzicht van belang. De droogtegevoeligheid van de percelen in het Randgebied blijkt namelijk positief gecorreleerd te zijn aan de geschatte wortelmassa's in de laag van 5–10 cm.

7. BESPREKING VAN DE RESULTATEN

Het staat wel vast, dat de „verdrogingsgrens” bij een dekdikte van ca 40 cm ligt. Bij praktijkwaarnemingen is dit herhaaldelijk geconstateerd. Het wordt door het bewortelingsonderzoek bevestigd. In 1947 werden op de waterhuishoudingsproefvelden met een kunstbemesting resultaten verkregen, die in dezelfde richting wezen. Tenslotte werd deze grens bij de doorlatendheidsmetingen gevonden. Op de dunne dekken (< 40 cm) is de geaardheid van de bovengrond sterk afwijkend van die op de dikke dekken. Het volgende overzicht geeft een korte opsomming van de typische verschillen.

<i>Mineraal dek dunner dan 40 cm</i>	<i>Mineraal dek dikker dan 40 cm</i>
Het bemestingseffect is gering tot nihil in de eerste snede van 1947.	Het bemestingseffect is groot tot zeer groot in de eerste snede van 1947.
Het humusgehalte in de zodelaag is ca 30 % of soms hoger.	Het humusgehalte van de zodelaag is 15–25 %.
Er bestaat een groot verschil in doorlatendheid tussen de bovengrond ter dikte van 40 cm en het daaronder gelegen profieldeel.	Het verschil in doorlatendheid tussen bovengrond en ondergrond is meer geleidelijk.

<i>Mineraal dek dunner dan 40 cm</i>	<i>Mineraal dek dikker dan 40 cm</i>
De bewortelingsdiepte heeft een vrij constante waarde van 30-55 cm -m.v.	De bewortelingsdiepte vertoont een rechtlijnige samenhang met de dikte van het minerale pakket.
De wortelmassa, laag 5-10 cm, neemt sterk toe met het dunner worden van het dek en kan hoge waarden aannemen.	De wortelmassa, laag 5-10 cm is vrij constant en heeft een normaal waarderingscijfer (= 45).
De pH is aan de lage kant, gemiddeld ongeveer 5,3.	De pH heeft een normale waarde, gemiddeld 5,8.

Zowel de grondwaterstand als de structuur zijn dus twee uiterst gewichtige groeifactoren op de percelen met de dunne dekken.

De grondwaterstand zal, afgaande op de bewortelingsdiepte, 35-55 cm -mv moeten zijn. Verondersteld is daarbij, dat in droge tijden het phreatisch vlak gebracht moet worden tot het werkzame deel van het wortelstelsel en dat dit in normale tijden kan liggen op de hoogte van de totale diepte der wortels. De waterhuishoudingsproefvelden ondersteunen deze stelling.

De structuur is de tweede grootheid. De doorlatendheidsmetingen brachten aan het licht, dat op de percelen met de dunne dekken de bovengrond een groot inkrimpingsvermogen bezit. Waarschijnlijk staat in droge perioden de doorwortelde zone op dergelijke percelen bovendien bloot aan een krachtige vochtonttrekking als gevolg van de dichte doorworteling. De dunne humeuze kleidekken zijn niet bestand tegen deze vochtonttrekking zonder daarbij ernstige inkrimpingsverschijnselen te gaan vertonen, terwijl haar vochtopnemend vermogen ten opzichte van regenwater gering wordt. Met andere woorden, de stabiliteit van de structuur is zwak. Bij de dikkere dekken, die geen humeus karakter hebben en waarin het wortelstelsel over een dikkere laag is uitgesmeerd, werd dit niet gevonden. Daarnaast is de bacterie-activiteit waarschijnlijk onvoldoende vanwege de lage pH en het droge karakter van de zode-laag in de zomermaanden. De hoge wortelmassa's wijzen in die richting.

De watervoorziening van de verdrogende gronden kan worden verbeterd door infiltratie. Terugkomend op de uitspraak, dat het „hele Kuinre-probleem een bewortelingsprobleem zou zijn”, kan nu gezegd worden, dat het juist is te zeggen: „Het Kuinre-probleem is een profielvraagstuk”. De structuur als directe eigenschap van het profiel is daarbij beslissend. De bewortelingsdiepte, als reactie van het gewas op het profiel, met name op de dikte van de kleilaag, speelt eveneens een belangrijke rol.

8. SAMENVATTING VAN DE RESULTATEN

Uit het bewortelingsonderzoek in het randgebied van de Noordoostpolder bleek, dat de graslanden aldaar te scheiden zijn in twee groepen. De ene groep omvat de percelen met een kleidek dikker dan ca 40 cm, de andere groep de percelen met een kleidek dunner dan ca 40 cm. De scheiding tussen beide groepen, bij een kleilaagdikte van ca 40 cm, valt samen met de zogenaamde „verdrogingsgrens”.

Deze „verdrogingsgrens” ligt bij een kleilaagdikte van ca 40 cm, hoogstwaarschijnlijk doordat de geaardheid van de kleilaag bij dunner worden dan 40 cm vrij plotseling een wijziging ondergaat. Bij afnemende dikte wordt de kleilaag dan namelijk steeds humeuzer en zuurder en ze gaat sterke zwel- en krimpneigingen vertonen.

De diepgang der wortels heeft bij dunnere dekken een nagenoeg constante waarde, maar de worteldichtheid neemt beneden die grens sterk toe naarmate het dek dunner wordt. In

verband hiermee mag bij de dunnere dekken waarschijnlijk met een verhoogde vochtonttrekking rekening worden gehouden. Tegen die verhoogde wateronttrekking nu zijn de slechte profieieigenschappen van de percelen met de dunne dekken niet bestand.

Het Kuinre-probleem is daarom wel vooral een profielvraagstuk, zeer in het bijzonder een structuurkwestie. De reactie van het grasbestand op het profiel, in de vorm van de beworteling, moet als tweede omstandigheid worden genoemd.

Ter verbetering van de typische indrogende gronden zullen waterbeheersing en structuurverzorging hand in hand dienen te gaan.

SUMMARY

ROOT DEVELOPMENT ON GRASSLAND IN AN AREA ADJACENT TO THE „NOORDOOSTPOLDER” (NETHERLANDS)

by

D. VAN DER SCHAAF

Shortly after the reclamation of the Noordoostpolder the grass crop grown in the neighbourhood of this polder near the village Kuinre showed symptoms of desiccation due to a lowering of the groundwaterlevel. In this region the soil consists of a thin layer of heavy clay covering a peaty layer which extends to a great depth.

The root development was studied in order to acquire a better understanding of the deeper causes of this desiccation. The results of this investigation were included in this series of papers concerning the influence of sand on root growth because there seemed to be some correspondence between the influence of peat on the root development and the effect of sand, which has been studied by the other authors. One has to bear in mind, however, that the results of this investigation have only local interest and may not be generalized because it is not quite sure that the roots will respond in a similar way to different kinds of peat.

As to the distribution of the roots in this „clay on peat”-soils it was found that the root-mass, which is diminishing with the depth, suddenly decreased to a very small value near the transition zone between the clay cover and the peaty subsoil (fig. 1).

The total depth of the root system generally increased with increasing thickness of the clay cover, as is shown in fig. 2. From fig. 3 it appears that this relation is only to a small degree influenced by the depth of the groundwater table. This graph as well as fig. 4 shows that there is a constant minimum rooting depth in the range of the thinner clay layers. This minimum value is attained when the thickness of the clay cover falls below about 35 cms. It amounts to nearly 50 cms for the total depth and to about 35 cms for the working depth of the root system.

Fig. 5 demonstrates the relation between the root mass in the topsoil and the thickness of the clay cover. This graph shows a striking increase of the root mass in the top layer with decreasing thickness of the clay layer within the range of the thinner clay covers. This root accumulation in the thin clay layers is connected with the bad soil structure and the low pH of these heavy layers (fig. 6). By loss of water during dry periods there occurs such a serious cracking in the clay of the acid topsoil that many roots, hanging loose in the dry cracks, become completely inactive. Because of the low activity of the soil bacteria under these conditions, the dead roots have not decayed and a great number of mainly dead roots was observed in the topsoil. The grass crop suffered from drought in these profiles in contrast with that on the thicker covers (thicker than about 35 cms), where a better soil structure in the surface soil and a deeper and more healthy root system were observed.

The author suggests that the insufficient water supply of the grass crop in the „clay-on-peat”-soils containing thin clay covers was primarily due to the bad structure of the clay layer and to the considerable fall of the groundwaterlevel, brought about by the drainage of the Noordoostpolder. Less importance is attached to the development of the roots inasmuch the rooting depth is nearly constant in the range of the thinner clay covers, whereas the symptoms of desiccation become more conspicuous with decreasing thickness of the clay cover in this range.

TABEL 1. Overzicht van de bij het onderzoek bepaalde grootheden

Registratie No.	Beworteling			Profiel		Bemestingstoestand laag 0-5 cm					Grondwaterstanden in cm - mv over het jaar 1 1951				
	Totale diepte	Werkzame diepte	Relatieve laag 5-10 cm	Mineraal dek in cm	Mineraal dek + overgangslaag in cm	pH water	p. citr.	K ₂ O % × 1000	Jan.	Febr.	Mrt	Apr.	Mai	Juni	
K 1	48	34	48	29	39	5,6	46	40	3	35	19	18	44	48	
" 3	68	46	39	34	48	5,8	63	69	34	56	66	66	91	94	
" 4	43	35	45	22	32	5,7	42	25	27	39	38	27	53	46	
" 5	53	39	44	26	35	5,6	86	56	22	44	38	24	49	54	
" 6	63	38	42	29	38	5,9	49	20	43	66	55	66	78	52	
" 7	55	35	46	25	33	5,8	58	30	48	-	65	56	78	75	
" 8	63	43	32	23	35	5,5	75	73	23	-	47	37	61	57	
" 10	60	37	43	17	26	5,5	82	81	43	-	72	59	75	69	
" 11	55	36	31	18	26	5,7	44	42	9	-	31	22	48	53	
" 12	70	43	37	21	35	5,7	68	71	31	58	53	31	79	53	
" 13	52	39	40	24	35	5,4	43	47	32	56	61	52	64	56	
" 14	45	34	55	22	30	5,5	75	36	34	60	61	50	76	73	
" 15	42	34	38	23	33	5,5	33	45	30	-	44	35	46	33	
" 16	62	40	41	33	38	5,8	196	194	22	-	35	24	47	60	
" 17	55	33	50	21	26	5,1	42	45	10	-	33	25	34	32	
" 18	57	33	63	20	24	5,2	96	144	15	-	32	15	33	46	
" 19	55	34	56	15	19	5,2	36	79	4	-	27	14	31	52	
" 20	55	48	40	39	47	6,0	37	36	116	71	93	66	126	145	
" 21	65	43	30	23	37	5,9	30	21	61	-	51	41	43	34	
" 22	70	49	47	34	45	5,8	87	57	16	39	41	27	56	61	
" 23	85	63	47	43	80	6,3	63	46	12	32	36	22	59	68	
" 24	55	40	41	35	40	5,5	49	57	11	63	58	45	43	43	
" 25	37	33	37	35	42	5,9	98	60	0	55	32	33	84	59	
" 26	77	63	42	70	78	6,6	74	66	74	147	142	130	152	154	
" 27	70	41	39	42	50	5,8	27	43	blank	35	32	29	49	72	
" 28	65	45	45	32	38	-	40	17	34	46	60	45	100	118	
" 29	80	34	39	60	70	5,8	79	23	48	46	42	27	87	121	
" 30	110	40	38	100	112	6,0	75	345	78	100	98	75	160	187	
" 31	92	75	46	55	75	6,0	87	42	122	152	142	106	141	159	
" 32	37	31	48	26	35	5,6	27	47	23	25	28	26	54	60	
" 33	97	63	48	85	95	6,-	23	35	20	28	42	35	79	93	
" 34	65	40	44	37	44	5,6	21	44	-	25	18	28	38	36	
" 36	77	50	49	50	70	5,7	24	38	60	67	67	55	90	109	

Registration No.	Root development				Profile		Fertility status			Soilwater levels measured during 1951				
	Maximum depth	Working depth	Relative root mass in the 5-10 cm layer from	Thickness of the clay layer in cm	Thickness of clay layer + transition layer in cm	pH water	P. citr.	K ₂ O % × 1000	Jan.	Febr.	March	Apr.	May	June
37	108	70	43	90	125	5,7	104	38	8	5	28	34	94	117
" 40	53	38	52	23	28	5,7	26	27	9	30	84	16	58	34
" 41	103	79	52	65	75	6,0	36	38	2	18	84	58	98	117
" 42	63	40	48	19	29	5,5	53	62	14	-	17	15	40	47
" 43	70	29	37	44	60	6,2	88	38	63	75	59	35	58	46
" 44	60	36	39	37	36	-	-	-	-	-	47	24	22	12
" 45	45	32	48	17	25	-	-	-	-	-	-	42	59	64
" 46	65	50	43	35	50	-	-	-	-	-	-	50	77	86
Ra N.O.P. 143	53	33	45	17	23	5,45	21	19	-	-	15	37	58	54
" 144	45	29	52	18	25	5,2	47	21	-	-	-	70	76	28
" 151	53	43	48	37	45	5,9	34	26	-	-	-	93	100	35
" 165	55	30	48	30	35	5,4	20	24	-	-	-	88	67	59
" 172 V1	60	28	55	12	15	-	-	-	-	-	-	18	44	56
" 172 V2	55	33	59	12	18	-	-	-	-	-	-	11	34	55
" 173 V1	63	43	64	22	26	4,95	33	66	-	-	-	26	39	62
" 173 V2	60	35	56	22	26	4,95	33	66	-	-	-	22	40	63
" 174 V1	45	38	53	25	28	-	-	-	-	-	-	16	47	61
" 174 V2	53	38	55	18	23	-	-	-	-	-	-	28	57	74
" 177 V1	70	33	73	15	19	4,9	38	96	-	-	-	12	40	53
" 177 V2	53	33	94	15	21	4,9	38	96	-	-	-	24	48	50
" 178 V1	63	33	76	15	21	4,95	34	64	-	-	-	11	33	51
" 178 V2	50	30	93	15	21	4,95	34	64	-	-	-	11	28	42
" 179 V1	68	43	56	15	18	5,15	48	92	-	-	-	18	39	52
" 179 V2	50	29	57	12	15	5,15	48	92	-	-	-	10	36	53
" 180 V1	68	44	53	23	26	5,4	35	81	-	-	-	17	33	48
" 180 V2	58	33	59	20	24	5,4	35	81	-	-	-	29	35	59

¹ De grondwaterstanden in de maanden Januari tot en met Maart zijn meest gebaseerd op één à twee waarnemingen. De overige grondwaterstanden zijn gemiddelden van doorgaans vier waarnemingen.

² The soil water data in the months January, February and March are usually based upon one or two determinations. The other data are usually averages of four determinations.

TABLE 1. Survey of the obtained data

IV. DE WORTELONTWIKKELING VAN AARDAPPELEN IN DE BOMMELERWAARD OP RIVIERKLEI MET EEN ZANDIGE ONDERGROND IN VERBAND MET DE DIKTE VAN DE KLEILAAG, GRONDWATERSTAND EN BEMESTING

J. J. SCHUURMAN en M. A. J. GOEDEWAAGEN

Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O., Groningen

1. INLEIDING

In 1948 lag er in de Bommelerwaard op kleigrond een groot aantal proefvelden en monsterplekken, aangelegd ter bestudering van de invloed van verschillende bodemfactoren op de groei en de opbrengst van aardappelen door Dr Ir Th. J. FERRARI, landbouwkundige aan het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen¹. Op acht van deze proefobjecten werd door ons een onderzoek verricht naar de invloed van kleilaagdikte, grondwaterstand en bemesting op de wortelontwikkeling van dit gewas.

De volgende objecten, die in tabel 1 zijn samengevat, werden hiervoor uitgezocht.

TABEL 1. Gegevens van de proefveldjes

Nummer v. h. veldje	Kleilaagdikte in cm	Percentage afslibb. 0-30 cm	Grondwaterstand in cm - mv tijdens de bemonstering	Bemesting in kg/ha		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O
2A	>120	44	133	100	90	150
2C			133	100	0	0
17A			44	100	90	150
17C			44	100	0	0
19A	±45	30	54	100	90	150
19C			54	100	0	0
94	±65	37	114	100	90	300
128	±45	29	110	100	90	0
Plot	Thickness of the clay layer (cms)	% clay particles (< 0.016 mm)	Groundwater level (cms) below surface	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Amount (kg) of fertilizers per ha						

TABLE 1. Data of the experimental plots

Deze objecten laten zich op grond van hun eigenschappen op drie manieren in groepen van vier indelen:

1. dikke tegenover dunne kleilaag;
2. volledig tegenover onvolledig bemest;
3. lage tegenover hoge grondwaterstand.

De bemonstering vond plaats van 9 tot en met 18 Augustus 1948 en werd uitgevoerd met behulp van de geregeld voor het wortelonderzoek gebruikte boor met een doorsnee van 7 cm. Hiermee werden verticale cylinders grond uitgestoken, waarvan de hoogte 10 cm bedraagt en de inhoud 385 cm³.

Het verbouwde aardappelras was Bevelander in een plantverband van 40 cm in de rijen, terwijl de afstand tussen de rijen 60 cm was.

¹ Zie voor de resultaten van dit onderzoek: TH. J. FERRARI, Een onderzoek over de stroomruggronden van de Bommelerwaard met als proefgewas de aardappel. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 58.1, 1952.

Per veldje werden 10 boringen verricht in de rijen midden tussen twee aardappelplanten en eveneens 10 tussen de rijen op het kruispunt van de diagonalen tussen 4 planten en wel steeds zo, dat zoveel mogelijk onkruidvrije plekken voor de bemonstering werden uitgekozen. Hierdoor werden dus twee series monsters verkregen. De verdeling der boorplaatsen over de veldjes was zo regelmatig mogelijk. Randeffecten werden vermeden door alleen te boren binnen de derde rij planten vanaf de zijkanen van de veldjes.

De monsters werden op de gewone wijze gespoeld en zodanig behandeld, dat tenslotte de gewichten per monster werden verkregen van de hierin aanwezige wortels, gedroogd bij een temp. van 33 °C.

Bij het bestuderen der wortelgewichten viel het op, dat er een dusdanige spreiding was in de gewichten van de overeenkomstige lagen van eenzelfde veldje, dat het niet mogelijk bleek ons een betrouwbaar beeld te vormen van de verdeling der wortelmassa in de onderzochte profielen. Daarentegen was het gemiddelde totale wortelgewicht der 10 boringen slechts met een geringe fout behept. Verder werd slechts een gering verschil in wortellengte (worteldiepte) waargenomen tussen de tien boringen van een zelfde veldje, zodat de verschillen in de gemiddelde worteldiepte der diverse objecten als voldoende betrouwbaar kunnen worden beschouwd. In het onderstaande zal achtereenvolgens worden nagegaan, in hoeverre de lengte (diepte) en het gewicht der totale wortelmassa door het bodemprofiel zijn beïnvloed. Tevens zal een vergelijking worden gemaakt met de knollenopbrengst van het aardappelgewas, teneinde ons een beeld te kunnen vormen van de doelmatigheid van het wortelstelsel onder de diverse bodemomstandigheden.

2. DE MAXIMALE WORTEL DIEPTE

In tabel 2 ziet men, dat de wortels op de veldjes 128, 19 A en 19 C, waarvan de kleilaag minder dik is dan 50 cm, doordringen tot een diepte van ca 60 cm. Dit betekent dus, dat de wortels nog wel in het onderliggende zand doordringen, maar slechts tot een zeer geringe diepte.

TABEL 2. Gemiddelde maximale worteldiepte in cm per veldje

	NPK				N			
	Lage grondwaterst.		Hoge grondwaterst.		Lage grondwaterst.		Hoge grondwaterst.	
	No. veldje	Diepte der wortels	No. veldje	Diepte der wortels	No. veldje	Diepte der wortels	No. veldje	Diepte der wortels
Monsters in de rij genomen (<i>Sampled in the rows</i>)								
Dikke kleilaag (<i>thick clay layer</i>)	2A	102	17A	66	2C	100	17C	76
Dunne kleilaag (<i>thin clay layer</i>)	94	62	19A	61	128	60 ¹	19C	60
Monsters tussen de rijen genomen (<i>Sampled between the rows</i>)								
Dikke kleilaag (<i>thick clay layer</i>)	2A	103	17A	62	2C	100	17C	80
Dunne kleilaag (<i>thin clay layer</i>)	94	61	19A	60	128	60 ¹	19C	60
	Plot number	Rooting depth	Plot number	Rooting depth	Plot number	Rooting depth	Plot number	Rooting depth
	Low groundwater level		High groundwater level		Low groundwater level		High groundwater level	
	NPK				N			

¹ Bemesting N + P (*Fertilizing N + P*).

TABLE 2. Average maximum root depth (cms) per experimental plot

Bij de iets dikkere kleilaag van perceel 94 (65 cm dik) gaan de wortels ongeveer even diep, zodat gezegd kan worden, dat ze bij deze kleilaagdikte hun groei ongeveer op de grens van klei en zand hebben beëindigd. In de worteldiepte wordt bij deze dunne kleilagen door de bemesting en de grondwaterstand geen wijziging gebracht. Opgemerkt moet evenwel worden, dat de grondwaterstanden niet waren gefixeerd op de in tabel 1 genoemde hoogten, maar, speciaal wat de hoge grondwaterstanden betreft, in het voorjaar lager zijn geweest. Hieruit valt af te leiden, dat de wortels niet in het grondwater behoeven te zijn gevormd.

Op de veldjes met een kleilaag van meer dan 120 cm dikte gaan de wortels bij een lage grondwaterstand maximaal tot een diepte van 100 à 103 cm, vrijwel onafhankelijk van de bemesting. Bij een hoge grondwaterstand dringen de wortels minder diep door, maar toch dieper dan op de overeenkomstige veldjes met een dunne kleilaag. Waarschijnlijk zijn de wortels ook hier tot deze diepte doorgedrongen op een tijdstip, dat de grondwaterstand de in de tabel opgegeven hoogte nog niet had bereikt. Daar echter in het voorjaar geen waarnemingen werden gedaan, kan dit niet met zekerheid worden gezegd.

Opmerkelijk is verder, dat in de onvolledig bemeste veldjes zowel in als tussen de rijen bij een dikke kleilaag en hoge waterstand een diepere beworteling werd gevonden dan in de volledig bemeste. Een verklaring hiervoor kan niet worden gegeven.

Het feit, dat de wortels op de veldjes 17 A en 17 C bij een hoge grondwaterstand dieper gaan dan op de veldjes 19 A en 19 C bij een overeenkomstige grondwaterstand, wijst erop, dat de grotere worteldiepte op de eerstgenoemde veldjes verband houdt met de grotere dikte van de kleilaag. De hoge grondwaterstand heeft echter verhinderd, dat de wortels op deze plaatsen even diep in de klei zijn doorgedrongen als bij lage grondwaterstand onder dezelfde omstandigheden. *Het gunstige effect van de dikke kleilaag op de bewortelingsdiepte is dus op de veldjes 17 A en 17 C door de hoge grondwaterstand gedeeltelijk teniet gedaan.*

3. HET WORTELGEWICHT

De berekende gemiddelde totale wortelgewichten zijn samengevat in fig. 1. Hierin valt onmiddellijk de grote overeenstemming op tussen het verloop van de gewichten der boringen in de rij en dat van de boringen tussen de rijen. Uit deze figuur blijkt zonder meer niet, in hoeverre de waargenomen verschillen tussen de veldjes reëel zijn. Dit kan opgemaakt worden uit de getallen in tabel 3, waarin naast de gemiddelde waarden ook de middelbare fouten zijn vermeld.

Uit fig. 1 en tabel 3 is af te leiden, dat op de volledig bemeste veldjes op één uitzondering na steeds minder wortels zijn gevonden dan op de onvolledig bemeste. Deze verschillen zijn evenwel niet statistisch betrouwbaar, zodat men hier hoogstens een zwakke aanwijzing in kan zien, dat de bemesting ongunstig op de wortelproductie heeft gewerkt.

Daartegenover is door de grondwaterstand wel een belangrijke invloed uitgeoefend. Op de percelen met een dikke kleilaag zijn bij een lage grondwaterstand – zowel in als tussen de rijen – steeds belangrijk meer wortels gevormd dan bij een hoge grondwaterstand. In de profielen met dunne kleilaag is dit eveneens bij beide bemestingen het geval geweest, al is het verschil hier op één uitzondering na weinig significant. Wanneer evenwel alle series bij hoge grondwaterstand tegenover die met lage grondwaterstand worden gesteld, dan is er bij de dunne kleilaag wel een reëel verschil ten gunste van de lage grondwaterstand ($\frac{d}{s_{md}} = 2,36; P = 0,05$). De verklaring voor dit geringere effect van de grondwaterstand bij de dunne kleilagen zal wel hierin gelegen zijn, dat bij aanwezigheid van een dun kleidek de worteldiepte uitsluitend wordt bepaald door de dikte van de kleilaag (tabel 2).

FIG. 1.
Gemiddelde wortelgewichten per boring (mg, luchtdroog)

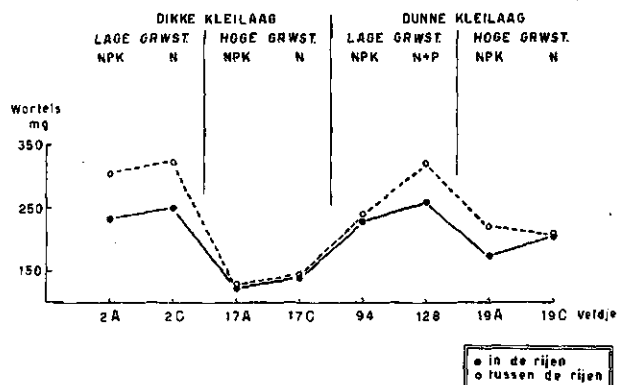


FIG. 1.
Variation of the total root weight per 38,5 cm² soil surface (ordinate) on the 8 sampled plots.

EXPLANATION

Each plot was sampled on 10 spots by means of a borer with a diameter of 7 cms (corresponding to a soil surface of 38,5 cm²). The figures along the ordinate represent the average total air-dry root weights in mg per 38,5 cm² soil surface.

The dotted lines represent the root weights between the plant rows, the other ones show the root weights in the plant rows.

Wortels = roots veldje = field number

TABEL 3. Gemiddelde wortelgewichten per boring (mg luchtdroog)

	NPK		$\frac{d}{s_{md}}$	N		$\frac{d}{s_{md}}$
	Lage grondwaterstand	Hoge grondwaterstand		Lage grondwaterstand	Hoge grondwaterstand	
	Monsters in de rij genomen (<i>Sampled in the rows</i>)					
Dikke kleilaag (<i>thick clay layer</i>)	232 ± 9	123 ± 18	5,25	251 ± 24	139 ± 12	4,15
Dunne kleilaag (<i>thin clay layer</i>)	227 ± 17	174 ± 19	2,04	258 ± 21 ¹	204 ± 21	1,80
$\frac{d}{s_{md}}$	0,3	1,96		0,2	2,7	
	Monsters tussen de rijen genomen (<i>Sampled between the rows</i>)					
Dikke kleilaag (<i>thick clay layer</i>)	306 ± 16	131 ± 12	8,75	323 ± 14	144 ± 14	8,95
Dunne kleilaag (<i>thin clay layer</i>)	240 ± 19	220 ± 13	0,90	319 ± 19 ¹	208 ± 11	5,05
$\frac{d}{s_{md}}$	2,64	4,7		0,2	3,6	
	<i>Low groundwater level</i>	<i>High groundwater level</i>		<i>Low groundwater level</i>	<i>High groundwater level</i>	
	NPK			N		

¹ Bemesting N + P (Fertilizing N + P).

Opm. Voor alle verschillen is $p = 0.05 = 2.10$

TABEL 3. Average air-dry root weight (mg) per 38,5 cm² soil surface

For all differences is $p = 0.05 = 2.10$

De invloed van de kleilaagdikte is veel minder uitgesproken dan die van de grondwaterstand. Alleen bij hoge grondwaterstand werden in de dunne kleilagen meer wortels gevormd dan in dikke ($\frac{d}{S_{dm}} = 3,0$; $P = 0,01$). Bij de lage grondwaterstand werden geen reële verschillen gevonden.

4. OPBRENGSTEN EN WORTELONTWIKKELING

Worden de van de bemonsterde veldjes verkregen opbrengsten vergeleken met de wortelhoeveelheden, dan wordt een verband gevonden, dat door een optimumkromme kan worden voorgesteld (fig. 2). De hoogste opbrengsten zijn gevonden bij middelmatig hoge wortelgewichten, die werden gevormd in dunne kleilagen bij hoge grondwaterstand. Een soortgelijk verband tussen kleilaagdikte en opbrengst wordt ook door FERRARI¹ vermeld.

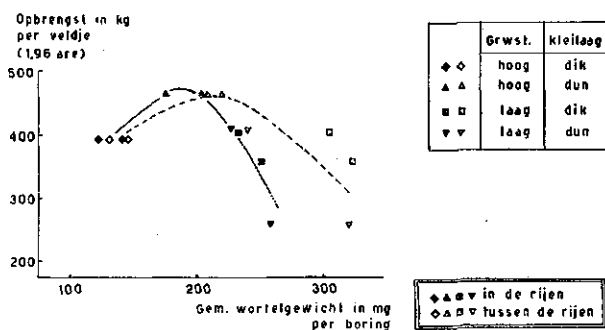


FIG. 2.
Verband tussen opbrengsten en wortelgewichten

FIG. 2.
Relation between yield of tubers and root weight

EXPLANATION

Ordinate: yield (kg per 1.96 are)

Abscissa: Average (total) air-dry root weight (mg) per 38,5 cm² soil surface.

1 are = 100 m²

grwst = groundwater level

kleilaag = clay layer

hoog = high

laag = low

dik = thick

dun = thin

Uit tabel 2 laat zich afleiden, dat een profiel met een kleilaag van meer dan 120 cm dikte bij diepe waterstand gunstiger is voor de bewortelingsdiepte dan één met een dikte

TABEL 4. De opbrengst der aardappelen in kg per veldje (1,96 are)

Grondwaterstand	Bemesting	Dikke kleilaag		Dunne kleilaag	
		No.	Opbr. in kg	No.	Opbr. in kg
Laag (Low)	NPK	2A	403	94	408
	N	2C	357	128	257
Hoog (High)	NPK	17A	393	19A	463
	N	17C	392	19C	462
Gemiddeld (Average)			386		398
Groundwater level	Fertilizing	Nr.	Yield	Nr.	Yield
		Thick clay layer		Thin clay layer	

TABLE 4. The yield of potatoes in kg per experimental plot (1.96 are) (1 are = 100 m²)

¹ i.c. pag. 72.

van minder dan 50 cm, daar in het eerste geval een veel groter deel van de grond wordt doorworteld dan in het laatstgenoemde. Vooral in droge jaren zal men de gevolgen hiervan bij diepe waterstand aan het gewas kunnen waarnemen. Doordat 1948, waarin de bemonstering werd verricht, een vochtig jaar was, is het nadelig effect van een te dunne kleilaag niet duidelijk aan het licht gekomen, zoals blijkt uit de opbrengstcijfers van tabel 4.

Opgemerkt moet tenslotte nog worden, dat tussen de wortelgewichten en de worteldiepte geen duidelijk verband kon worden aangetoond.

5. SAMENVATTING

Op een achttal proefveldjes van het Landbouwproefstation te Groningen, gelegen op kleigrond in de Bommelerwaard en beplant met aardappelen, werd in 1948 een onderzoek door ons verricht naar de invloed van de kleilaagdikte, grondwaterstand en bemesting op de wortelontwikkeling van dit gewas (tabel 1).

Op de veldjes met een dikke kleilaag gingen de wortels bij lage grondwaterstanden gemiddeld aanzienlijk dieper dan op de overeenkomstige veldjes bij hoge grondwaterstand. Bij dünnere kleilagen had de grondwaterstand geen invloed op de beworteling (tabel 2).

Bij een lage grondwaterstand gingen de wortels het diepst in een dikke kleilaag. Bij een hoge grondwaterstand was dit alleen duidelijk op de onvolledig bemeste veldjes.

De gemiddelde wortelgewichten per veldje zijn weergegeven in fig. 1 en tabel 3. Een zwakke aanwijzing werd gevonden, dat de bemesting iets ongunstig heeft gewerkt op de wortelproductie. Een hoge grondwaterstand werkt zeer ongunstig op de wortelopbrengst bij een dik kleidek en in iets geringere mate bij een dun kleidek.

Alleen bij hoge grondwaterstand werden in dunne kleidekken meer wortels gevormd dan in dikke. Bij een lage grondwaterstand speelde de kleilaagdikte geen rol.

De hoogste opbrengsten werden verkregen bij middelmatig hoge wortelgewichten. Deze waren gevormd in profielen met een dunne kleilaag en hoge grondwaterstand (fig. 2).

Het onderzoek werd uitgevoerd in een vochtig jaar (1948). In een droog jaar zou de opbrengst op de dikke kleidekken bij diepe grondwaterstand wegens de diepere beworteling wellicht duidelijk groter zijn geweest dan op de dünnere kleidekken. In 1948 kwam dit niet duidelijk tot uiting (tabel 4).

THE ROOT DEVELOPMENT OF POTATOES IN THE „BOMMELERWAARD” (NETHERLANDS) ON RIVER CLAY WITH A SANDY SUBSOIL IN RELATION TO THE THICKNESS OF THE CLAY COVER AS WELL AS TO THE GROUNDWATER LEVEL AND THE FERTILIZING OF THE SOIL

by

J. J. SCHURMAN en M. A. J. GOEDEWAAGEN

SUMMARY

Potatoes were grown on a number of experimental plots. Data of these plots are given in table 1. It is shown by table 2, that on a clay-on-sand soil with a thick clay cover and a low groundwater level these plants produced a much deeper root system than they did on plots with a thin clay layer under the same conditions. On plots with a high water table, however, root penetration was hampered to such a degree that there was but a small difference in root depth on plots with a thick and a thin clay layer. On soils with a thin clay cover root

depth appeared to be independent of the depth of the water level. These results hold true for both kinds of fertilizing (NPK and N).

The total root weights are given in table 3 and fig. 1. A high water table, if compared with a low water table, diminished the total root mass considerably on plots with a thick clay cover and to a somewhat smaller degree on plots with a thin clay layer. On plots with a high water level a greater amount of roots was produced in profiles with a thin clay cover than on those with a thick clay layer. No influence of the thickness of the clay layer on root production was observed on plots with a low water table. On the completely fertilized plots a somewhat smaller amount of roots was found than on the plots, which did not receive a complete dressing (fig. 1).

The highest crop yields were obtained at moderate root weights, which were found in profiles with a thin clay layer and a high water table (fig. 2). It is not possible to give a satisfactory explanation as to the relation between root behaviour and the yield of the crop (fig. 2, table 2 and table 4). One has to bear in mind, however, that the year of investigation (1948) was rather wet. In summers with a low precipitation a great decrease in yield might be expected on plots with a thin clay cover and a deep water level because of the small depth of the root system under those conditions (table 2).

V. ENKELE BEWORTELINGSPROBLEMEN IN DE NOORDOOSTPOLDER

J. J. JONKER

Directie van de Wieringermeer (Noordoostpolderwerken)

1. INLEIDING

Het doel van het bewortelingsonderzoek in de Noordoostpolder is het opsporen van afwijkingen in de wortelontwikkeling der gewassen en het zonodig aangeven van middelen om deze afwijkingen te verhelpen.

Een eerste vereiste is de beschrijving van het normale wortelstelsel van de te onderzoeken gewassen. Ofschoon van mening kan worden verschild over hetgeen wel en niet normaal is, wordt eenvoudigheidshalve de beworteling van een gezond gewas in een vrijwel homogeen zavelprofiel van een meter dik als normaal beschouwd. Hierbij moet evenwel niet uit het oog worden verloren, dat het gedrag van een eveneens gezond gewas in een niet homogeen profiel ook normaal kan worden genoemd, aannemende dat de reactie van de wortels op afwijkingen een eigenschap is van de gezonde plant, die slechts onder bepaalde omstandigheden tot uiting komt. Het is daarom nodig vast te stellen welke afwijkingen moeten worden verholpen. De enige maatstaf is in dit opzicht de invloed, die van de afwijkingen uitgaat op de landbouwkundige opbrengst der gewassen. Dit mag enigszins subjectief lijken, maar een objectieve beoordeling van hetgeen wel en niet gewenst is voor de plant als zodanig, is met de huidige kennis niet mogelijk.

De voorkomende afwijkingen in de jonge poldergronden verdienen bijzondere aandacht, omdat het van zeer groot belang is te weten of deze van tijdelijke of blijvende aard zijn. In het laatste geval dienen tijdig maatregelen ter verbetering te worden overwogen. In het eerste geval kan worden nagegaan of het opheffen van tijdelijk voorkomende bezwaren, indien al mogelijk, voldoende voordeel oplevert.

De oorzaken van de afwijkingen in de wortelontwikkeling zijn van velerlei aard. Zuiver mechanisch werken de schelpen, die soms in zeer dikke lagen voorkomen. Van tijdelijke, soms van blijvende aard is de beperkte aëratie van de grond, waardoor de rijping wordt bepaald. Verder kunnen de structuur, de granulaire samenstelling, de profielopbouw e.d. oorzaak zijn van een minder goede wortelgroei.

In het algemeen ondervindt de dieptegroei van het wortelstelsel een belemmering. Deze zou door een groei in de breedte kunnen worden gecompenseerd, indien de buurplanten niet in de weg stonden.

Binnen het kader van deze verhandeling wordt slechts ingegaan op de invloed die zand heeft op de wortelontwikkeling, en wel alleen de invloed van het zand, wanneer het in meer of minder dikke lagen of als ondergrond voorkomt.

Met een enkel woord zal worden aangegeven hoe de beworteling in het veen is.

2. ENKELE GEGEVENS OVER DE GROND IN DE NOORDOOSTPOLDER

De bodem van de polder bestaat uit zavel-, zand- en veenafzettingen op een van N.O. naar Z.W. aflopende diluviale ondergrond. Door de flauwe helling van het diluviale zand en de afzetting van de zavelagen onder water heeft het hoogste gedeelte geen of slechts een dunne bedekking gekregen. Met toenemende diepte neemt de dikte van de bedekkende lagen toe, zodat aanvankelijk de zandondergrond nog binnen een meter onder het maaiveld voorkomt, maar in de lagere gedeelten daar niet meer wordt aangetroffen. Daar het zand vóór de mariene afzettingen grotendeels een veendek had en er tijdens deze afzetting nog grote hoeveelheden

zand van sterk uiteenlopende korrelgrootten werden gedeponeed, ontstonden verschillende profielen, zodat het mogelijk is wortelbeschrijvingen te geven van de volgende profielen:

1. homogene zavel tot 100 cm;
2. zavel, waarin het zand laagsgewijs voorkomt;
3. zavel op zand, met een zavedikte liggend tussen 20 en 100 cm;
4. zand van verschillende grofheid;
5. zavel op veen.

De diluviale ondergrond bestaat uit een golvend podsolprofiel, zodat de eigenschappen van de verschillende lagen van dit profiel kunnen blijken.

In een podsolprofiel zijn in hoofdzaak drie lagen te onderscheiden. De bovenste laag, de A-laag, bestaat uit loodzand, soms nog afgedekt door een humuslaag. De volgende laag, de B-laag, bestaat uit een oerbank. De onderste laag, de C-laag, is het onveranderde diluviale zand. De vlakslijpende werking van het water had tot gevolg dat de bovenste lagen geheel of gedeeltelijk verdwenen, waarbij de onderliggende lagen bloot kwamen.

De zwaarte van de zavel wordt tot uitdrukking gebracht in de benaming.

De lichte zavel bevat 5–12 % lutum ($< 2 \mu$), de zware zavel bevat 12–25 % lutum, klei bevat meer dan 25 % lutum. Dit komt overeen met resp. 10–20 %, 20–40 % en meer dan 40 % afslibbare delen ($< 16 \mu$).

De grofheid van het zand wordt aangegeven door het U-cijfer¹. Dit ligt voor Urkzand tussen 50 en 90, voor Ramspolzand tussen 80 en 120, voor Espelzand tussen 180 en 270, voor Blokzijlzand boven 270. Diluviaal zand is iets grover dan Ramspolzand.

Na het droogvallen van de polder was de bodem nog niet geschikt voor cultuurgewassen. Afgezien van de onbegaanbaarheid, welke door oppervlakkige ontwatering kon worden verbeterd, was de blauwzwarte, geheel gereduceerde en landbouwkundig steriele grond geen geschikt milieu voor de wortels der landbouwgewassen. Onder invloed van de ontwatering door middel van greppels en de verdamping vond van boven af een indroging plaats. Er ontstonden scheuren en de zwavel-ijzerverbindingen werden geoxydeerd en omgezet in oplosbare verbindingen, die met het wegzakken van het water langzamerhand verdwenen. Bij het voortschrijden van deze verschillende werkingen, de rijping genaamd, ontstond langzamerhand de substantie, bestaande uit vaste, vloeibare en gasvormige delen, die wij gewend zijn grond te noemen. De vordering van de rijping bepaalt in grote trekken de diepte tot waar de wortels kunnen groeien. In de ongerijpte grond kunnen slechts wortels groeien, die zelf voor de nodige zuurstof zorgen, zoals rietwortels.

Met het begin van de begroeiing trad een intensieve wisselwerking tussen rijping en beworteling op, daar enerzijds de rijping een verdere doorworteling mogelijk maakte, en anderzijds een sterkere doorworteling de wateronttrekking door verdamping bevorderde, waardoor de scheurvorming en diensgevolge verdere luchttoetreding mogelijk werd.

Uit vele waarnemingen bleek inderdaad, dat rijping en beworteling elkaar op de voet volgen, waarbij nu eens de rijping, dan weer de beworteling iets voor is. Dit laatste verdient speciaal te worden vermeld, omdat groeitoppen in de nog volkomen gereduceerde grond werden aangetroffen. Om deze worteleinden treedt echter spoedig een dun geaëreerd laagje op.

Door het bewortelingsonderzoek werden de bodemkundige waarnemingen bevestigd, die hadden aangetoond, dat in het algemeen lutumarme en fijnzandige lagen in de grond de rijping tegenhouden. Dit is begrijpelijk, daar zware lagen na waterverlies sterker krimpen en scheuren dan lichte lagen. Deze krimpscheuren bevorderen de luchttoetreding. Het duide-

¹ Het U-cijfer, of specifieke oppervlak, is de verhouding van het gezamenlijk oppervlak van een bepaalde gewichtshoeveelheid korrels tot het oppervlak van dezelfde gewichtshoeveelheid korrels met een doorsnede van 1 cm.

FIG. 1.
Wortels van lucerne in een vrij
homogeen zavelprofiel bereiken
in deze dikke zavellaag een aan-
zienlijke diepte

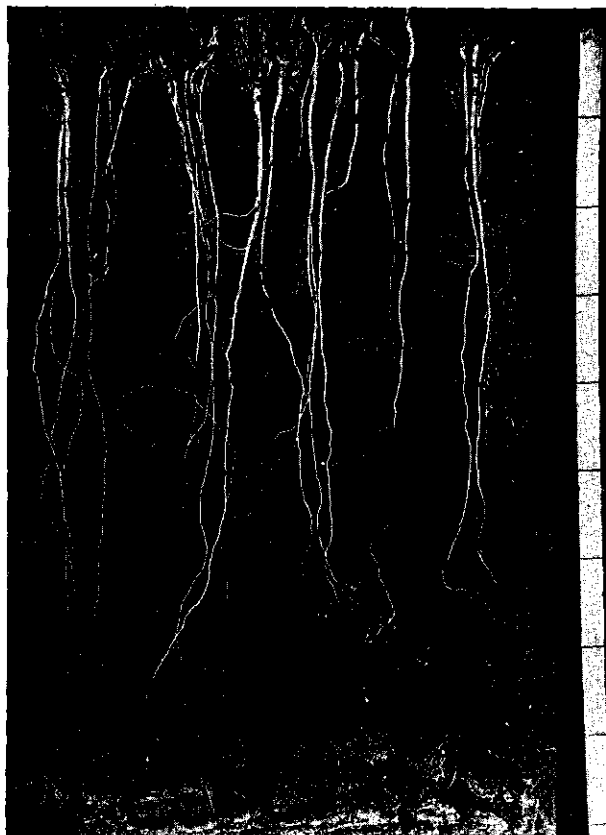


FIG. 1.
*Roots of lucerne grown in a homo-
geneous profile of heavy loam attain
a depth of about 90 cm correspon-
ding to the depth of aeration*

lijkt zijn deze verschijnselen indien het profiel uit verschillende, in granulaire samenstelling sterk afwijkende lagen is opgebouwd. De rijping van de grond schijnt dan sprongsgewijs te gaan, b.v. van de ene zandlaag naar de andere¹.

3. METHODE VAN ONDERZOEK

De meeste gegevens zijn afkomstig van een visueel onderzoek in profielkuilen. Na de beschrijving van het profiel, omvattende aard en aëratie van de lagen, volgde een beschrijving van de beworteling, aangevende de geschatte dichtheid, dieptegroei en bijzonderheden. Deze waarnemingen geschieden gedurende de gehele groeiperiode der gewassen.

De beschrijvingen zijn aangevuld aan de hand van naaldenplanken².

¹ Voor een uitvoerig overzicht van ontstaan en rijping van de Noordoostpoldergrond kan worden verwezen naar de publicaties van ZUUR, DOMINGO en SIEBEN.

² Een naaldenplank bestaat uit een plank waarop, regelmatig verdeeld, een groot aantal halve breinaalden zijn bevestigd. De naalden worden in een kuilwand gedrukt op de plaats van de te onderzoeken beworteling. Na uitgraven blijft de door de naalden vastgehouden grondbalk op de plank zitten. Door de grond voorzichtig weg te spoelen, blijven de wortels in een vrij natuurlijke ligging tussen de naalden op de plank achter.

4. DE BEWORTELING VAN ENKELE GEWASSEN IN VERSCHILLENDE PROFIELEN

In de inleiding is reeds gezegd, dat voor het beoordelen van afwijkingen in de wortelontwikkeling een bepaalde maatstaf moet worden gekozen. Als norm werd genoemd de wortelgroei in een homogeen zavelprofiel van een meter dik. Uit de literatuur is bekend, dat de meeste gewassen een veel grotere diepte kunnen bereiken. In de polder gebeurt dat in het algemeen niet, omdat de bereikbare diepte wordt bepaald door de aëratiegrens, die in de regel niet verder dan tot draindiepte reikt. De drains liggen op ongeveer een meter onder het maaiveld.

Van alle onderzochte gewassen, grassen en klavers inbegrepen, is gevonden, dat hun wortels een meter diepte kunnen halen. Wordt dus in een bepaald geval een geringere diepte bereikt, dan moet de oorzaak daarvan in het profiel worden gezocht. De enige voorwaarde waaraan de gewassen moeten voldoen is een normale zaaitijd en bemesting, terwijl natuurlijk ook de groeitijd in rekening moet worden gebracht.

Hieronder zal de beworteling worden behandeld van profielen waarin het zand steeds voorkomt op een diepte van minder dan 1 m, of waarin dit laagsgewijs wordt aangetroffen.

a. De beworteling van een vrij homogeen zavelprofiel

In een homogeen profiel gaan de wortels, zoals al eerder is opgemerkt, tot een grote diepte. Een beknopte beschrijving van verschillende gewassen volgt hierna.

1. Overjarige lucerne op kavel Q 104 (1951).

Profiel: 0-30 cm lichte zavel,
30-40 cm klei,
40-41 cm een fijnzandig laagje,
41-90 cm zware zavel,
>90 cm humeuze lichte zavel.

De grond is volledig gerijpt tot 90 cm. De slanke, rechte, slechts van weinig fijne zijwortels voorziene penwortel reikt tot 70 cm; de bewortelingsgrens ligt op 90 cm, dus op de grens van de aëratie.

2. Eerste jaars lucerne op kavel S 70 (1950).

Profiel: 0-30 cm zware zavel,
30-44 cm klei,
44-45 cm een fijnzandig laagje,
45-90 cm zware zavel,
>90 cm lichte zavel.

De grond is volledig gerijpt tot 70 cm, de aëratiegrens ligt op 100 cm. De fijne penwortels hebben dit eerste jaar een diepte van 50-80 cm bereikt, de bewortelingsgrens ligt op 100 cm. In de gedeeltelijk geaëreerde grond bevinden de wortels zich in scheuren.

3. Zomertarwe op kavel T 11 (1952), profiel gelijk aan 1, rijping tot 95 cm, gedeeltelijk geaëreerd tot 120 cm. De tarwe is in de eerste week van Maart gezaaid, de wortels bereikten de volgende diepten: op 15 April 15 cm, op 2 Mei 70 cm, op 30 Mei 100 cm, op 27 Juni 110 cm en tenslotte bij de oogst 115 cm. Het fijnzandige laagje op ± 45 cm diepte hield de wortels aanvankelijk iets tegen, zodat slechts enkele dieper kwamen. In de tweede helft van Mei was geen nadelige invloed van dit laagje meer te zien.

4. Zomertarwe op kavel S 70 (1952), profiel als 2, eveneens vroeg gezaaid, bereikte de volgende diepten:

op 15 April 10 cm, op 2 Mei 40 cm, op 15 Mei 70 cm, op 11 Juni 110 cm.

5. Wintertarwe op overeenkomstige profielen had op 13 Maart 1952 reeds een diepte bereikt van ongeveer 80 cm, echter alleen met de kiemwortels. In April en Mei bereikten de

FIG. 2. Jonge wintertarwe (December) in een homogeen zavelprofiel



FIG. 2. *Young winterwheat (December) in a homogeneous profile of sandy loam. Roots attain a depth of about 50 cm.*

FIG. 3. Jonge wintertarwe (December). Bouwvoor op Espelzand



FIG. 3. *Young winterwheat (December) in a profile with a surface layer of sandy loam upon a sandy subsoil. Roots scarcely penetrate into the sand.*

kiemwortels 100 cm diepte, terwijl tegelijkertijd nieuwe wortels over de gehele diepte werden aangetroffen en de bewortelingsdichtheid dus groter werd.

6. Vlas en capucijners, vroeg gezaaid op overeenkomstige profielen, bereikten in ongeveer hetzelfde tempo als de zomertarwe overeenkomstige diepten. Op kavel N 38 (1952), was het voor erwten: op 15 April 10 cm, op 2 Mei 40 cm, op 15 Mei 60 cm, op 30 Mei 85 cm.

Op kavel T 59 was het voor vlas: op 15 April 10 cm, op 2 Mei 50 cm, op 15 Mei 70 cm, op 30 Mei 90 cm.

7. Winterkoolzaad had vroeger dan wintertarwe een grotere diepte bereikt, met een dichtere beworteling.

Op kavel R 47 reikte de beworteling op 13 Maart reeds tot 100 cm.

Al deze gewassen bereikten dus reeds vroeg een diepte van 80–100 cm met een bij toenemende diepte regelmatig afnemende bewortelingsdichtheid. De dichtheid in de bouwvoor blijft daarbij buiten beschouwing, ofschoon in de zwaardere gronden geen grote sprong van bouwvoor naar ondergrond werd opgemerkt.

Met de aangegeven diepte zijn de mogelijkheden voor de plant zeker niet uitgeput. De gesteldheid van de diepere grond maakt echter een verdere beworteling onmogelijk.

FIG. 4. Winterkoolzaad (21 Sept.), gezaaid 20 Augustus. Homogeen zavelprofiel.

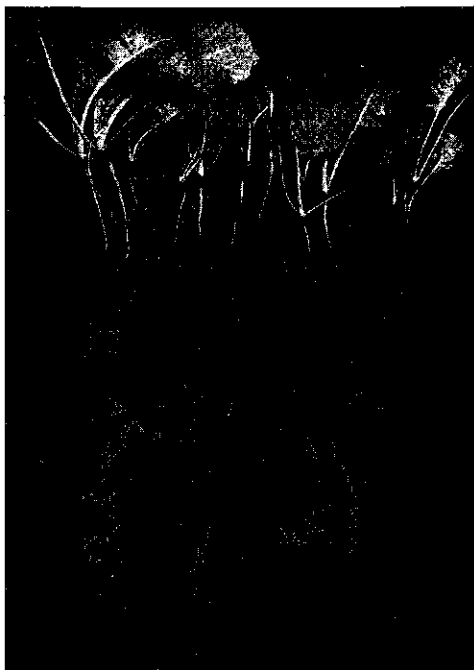


FIG. 4. *Winter colza (Sept. 21), sown at Aug. 20. Homogeneous profile of sandy loam. Rather deep root system.*

FIG. 5. Winterkoolzaad (25 Sept.), gezaaid 20 Augustus. Zand onder de bouwvoor.

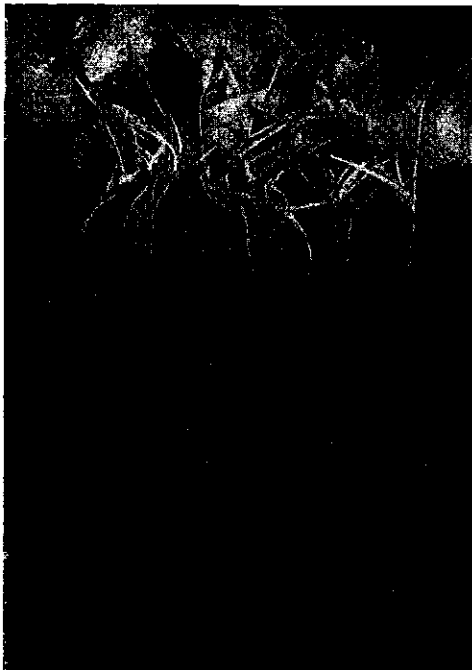


FIG. 5. *Winter colza (Sept. 25), sown at Aug. 20. Surface layer (sandy loam) upon sand. Roots did not penetrate into the sand.*

b. De beworteling van een profiel waarin het zand laagsgewijs voorkomt

Het dunne fijnzandige laagje, zoals het hiervoor is besproken, oefent weinig invloed op de beworteling uit. Anders wordt het bij grotere dikte.

Op kavel Q 16, waarop in 1948 en 1949 lucerne groeide, is de remmende werking groot geweest. Het profiel is als volgt opgebouwd:

- 0-25 cm zware zavel,
- 25-35 cm klei,
- 35-40 cm zand ($U = 300$),
- 40-55 cm lichte zavel,
- > 55 cm humeuze lichte zavel.

De grond is volledig gerijpt tot 60 cm, de aëratiegrens ligt in 1948 op 90 cm, in 1949 op 100 cm.

In het eerste jaar groeide een dunne onvertakte penwortel van de lucerne tot aan de zandlaag; slechts enkele zijwortels gingen er door en kwamen tot 60 cm.

In het tweede jaar bleek, dat een aantal penwortels wel door de zandlaag was gegroeid; deze hadden geen zware zijwortels. De penwortels die niet door de zandlaag waren gekomen hadden alle zware zijwortels. De bewortelingsdiepte bedroeg toen 100 cm.

Indien de zandlaag op een zeer langzaam rijpende lichte zavellaag rust, is hij bewortelingsgrens zolang de aëratie niet dieper gaat. Na volledige aëratie van de lichte zavel vormt de zandlaag een duidelijke scheiding tussen een dichte en een dunne beworteling.

Karakteristiek voor dergelijke gevallen is het voorkomen van knotsvormige verdikte worteleinden in de zandlaag. Boven de zandlaag is een ophoping van wortels, welke in hoofdzaak horizontaal groeien.

Winterkoolzaad dringt beter door de zandlaag heen dan lucerne of andere gewassen.

De aard van de onder het zand liggende laag bepaalt gedeeltelijk het al of niet doorgroeien der wortels. Rijpt de onderliggende laag snel, dan is de doorworteling beter dan bij trage rijping. Verder speelt de dikte van de zandlaag een rol, want een zandlaag, dikker dan 2 cm. biedt veel weerstand. Opmerkelijk is, dat bij zeer dikke lagen de remming reeds plaatsvindt in de bovenste centimeter, hoewel de wortels in staat zijn door dunne lagen van een of twee centimeter heen te komen.

Waarnemingen van de wortelontwikkeling van granen hebben geleerd, dat de aanvankelijk aanwezige verdikte worteleinden bij remming van de groei in zandlagen, later in het seizoen verdwijnen, als de wortelgroei toch nog verder gaat.

De langzaam rijpende profielen hebben, zoals hiervoor is beschreven, in de regel ook een langzame ontwatering, met in de winter vaak hoge grondwaterstanden. Veel lucernewortels rotten dan af, tot zover ze in het water staan. In het volgende voorjaar groeien de overgebleven wortelstompen weer uit, terwijl de zijwortels zich vaak sterk gaan ontwikkelen.

Onder bepaalde omstandigheden kunnen de zijwortels geheel het uiterlijk verkrijgen van een penwortel en zijn dan enigszins sabelvormig gebogen door het aanvankelijk iets schuin omhoog en daarna recht naar beneden groeien. Deze wortels worden vaak aangetroffen indien de hoofdwortel door een natte ondergrond niet verder dan de bouwvoordiepte groeit.

Sommige afzettingen zijn zeer sterk laagsgewijs opgebouwd; zavel- en zandige of humeuze laagjes ter dikte van enkele millimeters wisselen elkaar dan regelmatig af. Is de gemiddelde

FIG. 6. Wortels van haver in Espelzand. De worteleinden en vooral de toppen zijn sterk verdikt.

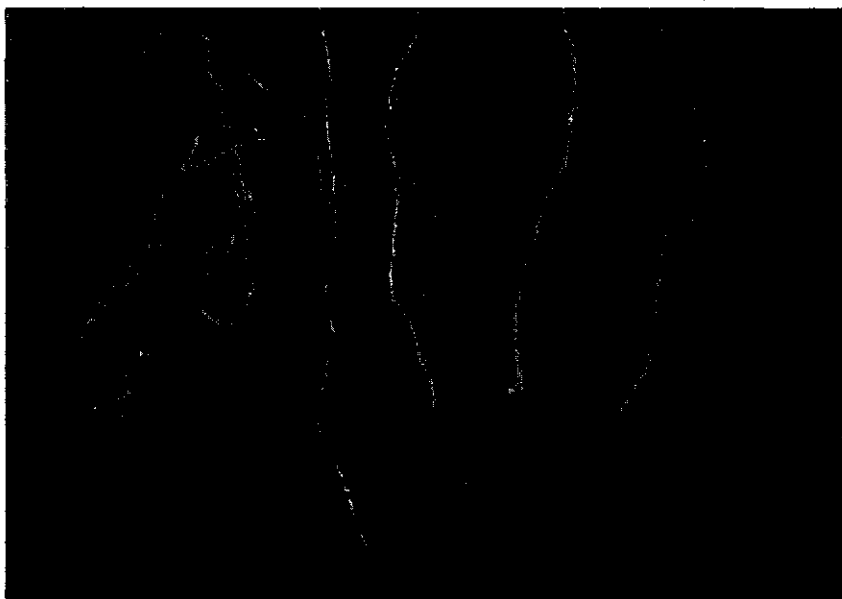


FIG. 6. Roots of oats in „Espel“-sand. The roots and their tips have a fleshy appearance.



FIG. 7.

Wortels van lucerne in zavelgrond dringen niet door in een sloeflaag, die zich op een diepte van circa 50 cm bevindt.

FIG. 7.

A top soil consisting of heavy loam and extending to a depth of 50 cm covers a layer of „sloef”. The „sloef” is highly stratified and consists of sand with a very small amount of clay material. The roots of lucerne stop their growth near the boundary between those layers. (Coming into contact with the „sloef” the roots turn off showing thickening and heavy branching).

samenstelling zodanig, dat de zwaarte van een lichte zavel wordt bereikt, dan valt de beworteling nog wel mee. Is het een zeer lichte zavel met bovendien nog een afwijkende fractieverdeling, dan is de doorworteling slecht. Dit laatste komt voor in de sloeflagen, die naar verhouding een lager percentage lutum in het afslibbare gedeelte bezitten dan de normale zavel. Daalt de hoeveelheid lutum tot enkele procenten, dan wordt geen enkele wortel meer aangetroffen.

Na met veel moeite enkele centimeters te zijn doorgedrongen in deze sterk gelaagde sloef, buigen de wortels onder verdikking en buitengewoon sterke vertakking horizontaal om en eindigen dan spoedig.

c. De beworteling in profielen met meer dan 50 cm zavel op grover zand

Op een enkele uitzondering na betreft dit diluviaal zand met een volledig of gedeeltelijk afgeslepen ABC-profiel.

Het diluviale zand onder de dikke zavellaag is vrijwel ontoegankelijk voor wortels. Een enkele wordt er wel in aangetroffen, maar de waarde van dergelijke waarnemingen is gering, omdat oude rietwortelgangen nog wel een geschikte baan kunnen zijn.

De bruine koffiebanken (B-laag) zijn vaak beter toegankelijk dan het gele of witte zand, (BC- en C-lagen), ondanks de grotere hardheid.

Lucernewortels, welke tot aan het zand reiken, vormen meestal een sterk vertakt trosje wortels in het bovenste zand. Deze wortels zijn dikker dan die in de zavel. Dit is ook bij andere gewassen opgemerkt. Bij een ruwe menging van zand en zavel blijkt nog, dat de wortels in het dan losse zand dikker zijn dan in de zavel.

Het aantal onderzochte gevallen is klein, maar van lucerne, suikerbieten, zomergerst en vlas is bekend dat de wortels wel door een B-laag gingen, doch door de C-laag werden gestuit. Wegens de diepte, 80-100 cm, waarop de C-laag voorkwam, kan niet met zekerheid worden gezegd, dat deze C-laag ontoegankelijk is, omdat het geringe aantal aanwezige wortels, dat hier probeert door te dringen, ook al een beperking vormt.

Van lucerne is een geval bekend, dat een grofzandige laag op 65 cm de beworteling geheel keerde, terwijl op dezelfde kavel de lucernewortels tot 80 cm doorgroeiden bij afwezigheid van de zandlaag.

De invloed van de scheiding zavel-zand blijkt uit de vergelijking van de beworteling in dit profiel met die in een homogeen zavelprofiel. In het tweede geval daalt de bewortelingsdichtheid met toenemende diepte. In het eerste geval is de beworteling boven de scheiding naar verhouding wat dichter, er onder aanmerkelijk geringer dan in het zavelprofiel op overeenkomstige diepte.

d. De beworteling in profielen met minder dan 50 cm zavel op grover zand

De bodemgesteldheid van de Noordoostpolder brengt mee, dat van dit profiel een grotere oppervlakte aanwezig is dan van het vorige. Lucerne heeft in een profiel van 30 cm zavel op B- en C-lagen in de zavel een rechte penwortel, welke ombuigt op de koffiebank. Oude rietwortelgangen in de B-laag maken het mogelijk, dat de lucernewortel soms nog omlaag groeit. In het gele zand dringen de wortels niet door, behalve weer bij aanwezigheid van oude rietwortelgangen. In de regel worden de loodzandlagen (A-lagen) wel doorworteld, beter dan de B- en C-lagen. Het minderwaardige karakter, dat deze A-laag op het oude land heeft, is door het verblijf onder water blijkbaar verloren gegaan.

Op andere plaatsen met een soortgelijk profiel, maar bovendien nog met een laag stortgrond (van elders aangevoerd en onder water gedeponeerd) was het gedrag overeenkomstig het hiervoor beschrevene. De nu wel aanwezige vertakkingen en kronkelingen van de penwortel moeten worden toegeschreven aan de slechte structuur van de stortgrond, welke vaak een zeer gemengde samenstelling heeft (zavel, veen en zand).

Van winterkoolzaad wordt ook hier de indruk verkregen, dat het beter dan andere gewassen in staat is met de wortels in ongunstige lagen te groeien. Er worden meer wortels in de A- en B-lagen aangetroffen dan bij lucerne, ook zonder de aanwezigheid van rietwortelgangen. Ten aanzien van de A-laag moet wel de nodige voorzichtigheid worden betracht, omdat verteerde houtresten de beworteling vergemakkelijken. De door grondwater gevormde harde lagen (z.g. g-fibers) bieden een hardnekkige weerstand aan elke doorworteling.

Op een vlaskavel met het zand op 30 à 40 cm diepte werden de wortels in de B-laag aangetroffen tot 40 à 50 cm. Op deze plaatsen was de B-laag vrij zacht.

Groene erwten gedragen zich als vlas; ze komen in de B-laag.

Suikerbieten komen met een enkele wortel in de B-laag.

Bij wintertarwe werden eveneens wortels in de B-laag aangetroffen. Waar de B-laag direct onder de bouwvoor zat, was hij zacht en voorzien van veel rietwortelgangen en dientengevolge ook van veel tarwewortels, meer dan eigenlijk werd verwacht.

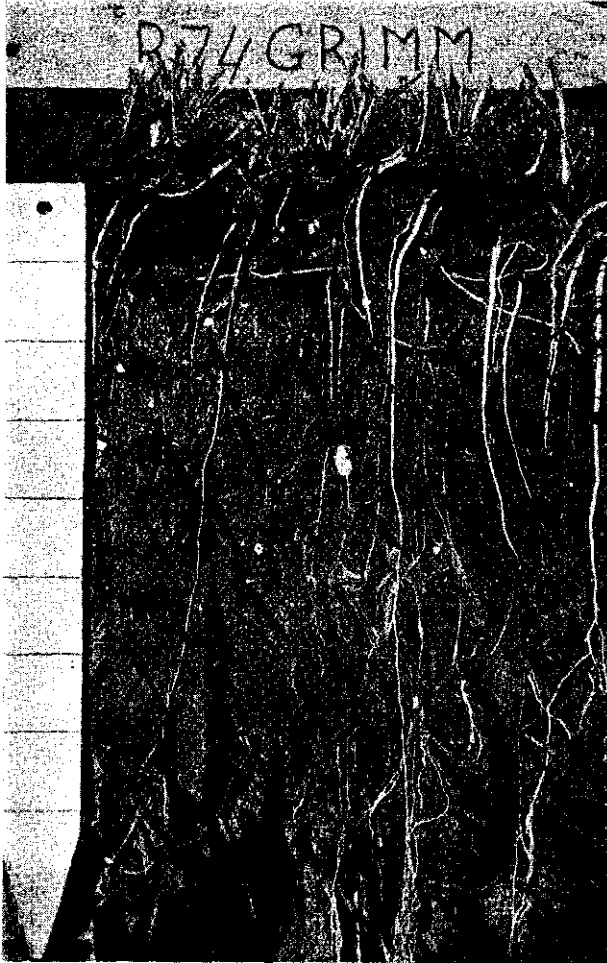


FIG. 8.

Lucerne en gras in Blokzijlzand, dat voldoende ontwaterd is. Door de betere en diepere aëratie bereiken de wortels een grotere diepte.

FIG. 8.

Lucerne and grasses on a drained soil consisting of very fine „Blokzijl“-sand. Owing to the deep aëration a deep root system was produced by the crop. The amount of roots in the (humous) surface layer is considerably greater than that in the sandy subsoil. (Grain crops in similar profiles, however, show a still greater difference in root mass between the topsoil and the deeper layers. The cereal roots in the sand are much thicker than in the topsoil and their branches are short and stumpy in the sandy subsoil).

Indien de gewoonlijk niet of sporadisch doorwortelde C-zandlaag wordt losgemaakt, vindt een normale beworteling plaats tot de diepte waarop het zand is losgemaakt.

Waar een zware zavel op een zandondergrond rust, kan door vermenging van zavel en zand het zavelprofiel zodanig worden verdiept, dat het doorwortelbare gedeelte groter wordt en toch nog uit een, zij het lichte, zavel bestaat. Een zo innige vermenging, dat de oorspronkelijke bestanddelen niet meer zijn te onderscheiden, is zeer moeilijk te verwezenlijken. Zand en zavel blijven als kleine brokstukken naast elkaar liggen. Op de groeirichting van de wortels heeft dit geen invloed. De overgang van de wortels van zavel naar zand en omgekeerd verloopt ongestoord. In het zand zijn de wortels echter iets dikker dan in de zavel. Het onderliggende ongestoorde zand blijft ontoegankelijk.

e. De beworteling in een volledig zandprofiel

In het fijnste zand, Blokzijlzand, wortelt lucerne nog goed voor zover de grond geaëreerd

FIG. 9.
Ondiepe beworteling van lucerne
en gras in Blokzijlzand. Een schel-
penbank onder de bouwvoor en
onvoldoende aëratie verhinderen
een dieper indringen der wortels.



FIG. 9.
*Lucerne and grasses in a soil of
(very fine) „Blokzijl”-sand show
shallow rooting because of a local
accumulation of shells and an insuf-
ficient „ripening” (oxygen supply)
of the soil below the surface layer.*

is. Toch is de overgang van bouwvoor naar ondergrond merkbaar door een duidelijke vermindering van de bewortelingsdichtheid.

Granen tonen dit verschil in nog sterkere mate. Bovendien zijn de wortels in de ondergrond dikker en bezet met korte stompe zijwortels.

Het iets minder fijne Espelzand komt niet in lagen van grote dikte voor; hoogstens zijn ze 30 à 40 cm dik en liggen direct onder de bouwvoor. Ten aanzien van de beworteling maakt dit weinig verschil, omdat ook voor dit zand geldt, dat de beworteling in de bouwvoor uitstekend is en onder de bouwvoor zeer beperkt.

Het is niet uitgesloten, dat na verloop van jaren de beworteling beter wordt nadat in een diepere ontwatering is voorzien. Deze gronden liggen nl. in het westen van de polder, waar de ontwatering nog grotendeels door greppels geschiedt.

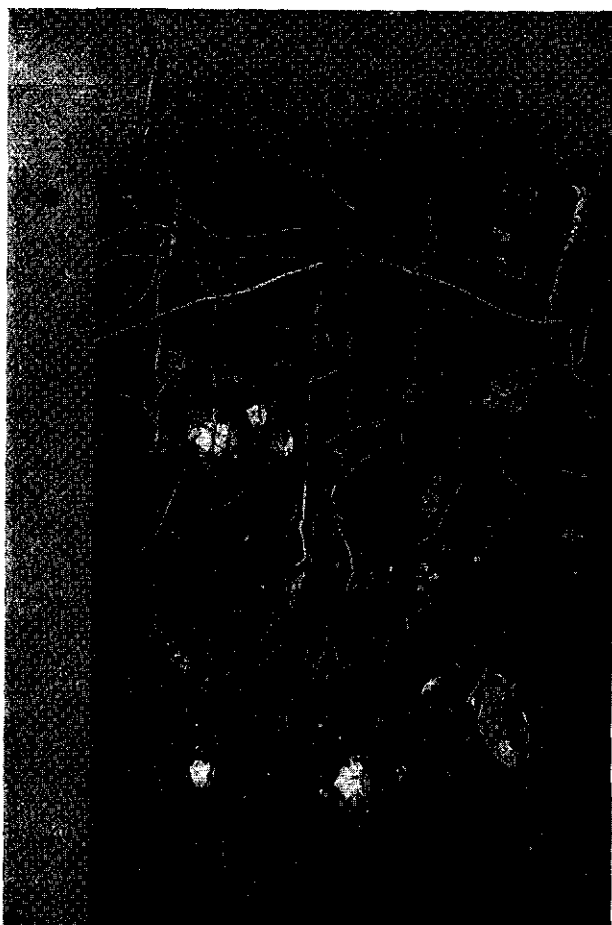


FIG. 10.

Wortels van lucerne in een zavelige bouwvoor, gelegen op Espelzand. De wortels eindigen op een diepte van 25 cm, waar het zand begint. In het zand zijn rietwortels zichtbaar.

FIG. 10.

Lucerne in a soil of „Espel“-sand (less fine than Blokzijsand). The roots stop their growth near the boundary between the topsoil and the sandy subsoil. There are many fine reed roots (*Phragmites communis*) visible in the sand below 25 cm. These roots grow very well in a sandy subsoil, which is avoided by the roots of most agricultural crops.

Uit proeven is gebleken, dat door het losmaken van het Espelzand de bewortelingsdiepte en -dichtheid aanmerkelijk wordt verbeterd.

In het grovere Ramspolzand, waarin veel kleilenzen voorkomen en dat zelf ook nog enige procenten lutum heeft, is de beworteling onder de bouwvoor beter dan in Blokzijsand en Espelzand, maar toont nog altijd een duidelijk verschil met de bouwvoor.

Het lutumarme Ramspolzand is vrijwel ontoegankelijk.

In een profiel van enkel diluviaal zand is de beworteling te vergelijken met die van een zavelbouwvoor op grover zand. In de bouwvoor is een dichte beworteling aanwezig, daaronder komen slechts sporadisch wortels voor. Deze beworteling kan worden verbeterd door de ondergrond los te maken.

In het Urkzand is de beworteling te vergelijken met lutumarm Ramspolzand.

Voor al deze zandsoorten geldt, dat na losmaken de beworteling een meer normaal karakter krijgt. Het hangt echter van de aard van het zand af van hoe lange duur de verbetering

FIG. 11.
Lucerne in lichte zavel op Espel-
zand. Wortels gaan zeer ondiep
wegens schelpen en zand op ge-
ringe diepte.

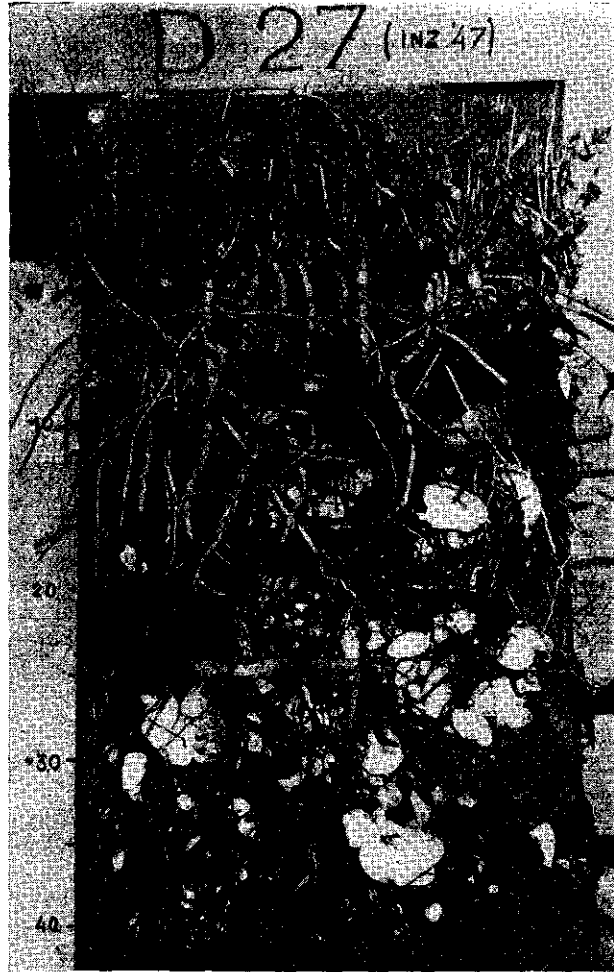


FIG. 11.
*Lucerne in a soil of „Espel“-sand.
Both the sandy subsoil and the
shells prevent a deeper penetration
of the roots. (From an experiment
with coarse „Ramspol“-sand, which
hardly contained any clay material,
it appeared that this sand is almost
unaccessible for the roots).*

is. De fijnste zanden hebben een neiging tot verslempen, die wordt bevorderd door de geringe waterdoorlatendheid.

f. De beworteling in een profiel met veen in de ondergrond

Op de diluviale ondergrond was, vóór de tijd waarin de zee bezit nam van dit landschap, een dik veenpakket ontstaan. Door het water werd het afgeslagen, verplaatst en weer afgezet, al of niet met slib vermengd en afgedekt met minerale sedimenten. Het gevolg is, dat nu in het overgrote deel van de polder onder de zavellagen veen voorkomt. Waar deze zavellagen het dunst zijn, is op de meeste plaatsen het daar oorspronkelijk gegroeide veen nog aanwezig. Meestal is dit zegge-rietveen; mosveen en broekveen komen slechts plaatselijk voor. Bijna

zonder uitzondering wordt de overgang echter gevormd door verslagen veen, dus fijnverdeeld verplaatst veen van zeer verschillende herkomst.

Op andere plaatsen werd het verdeelde veen, heel fijn gewreven en met slib vermengd, afgezet. Dit wordt detritus genoemd.

De oorspronkelijke kleur van het veen is geelgroenachtig tot bruin. In die toestand is het zeer nat en niet doorworteld.

Onder invloed van de lucht, na ontwatering, wordt het donkerbruin tot zwart en is dan goed doorworteld. Bij intensieve ontwatering droogt een laagje vlak onder de bouwvoor wel in, maar meestal op een tijdstip dat de wortels er reeds doorheen zijn. In de loop van de jaren wordt dit laagje door de bouwvoor gemengd wegens de noodzaak om elk jaar wat nieuw veen aan te ploegen. Deze ingedroogde laagjes hebben tot nog toe geen moeilijkheden veroorzaakt.

In gespit veen dringen de wortels eerder in, voornamelijk in de achterblijvende holten. De wortels in het veen zijn blanker dan die in de zavel en vermoedelijk iets dikker.

In de detritus gedraagt de beworteling zich als in zware zavel. De aëratiekleur is in het algemeen moeilijk te onderscheiden. Wel ontstaat op de geaëreerde breukvlakken een bruine afzetting, vergelijkbaar met de bruinkleuring in zavel. In de scheuren spreidt de beworteling zich gordijnvormig uit en dringt slechts enkele millimeters in de wand. Bij verdere rijping van de detritus, zonder verdroging, vindt een verkleining van de aggregaten plaats met op de duur enige kruimelvorming. In deze toestand is de doorworteling uitstekend.

In het algemeen geldt voor het veen in de Noordoostpolder, in welke vorm ook, dat het goed doorworteld wordt voor zover het geaëreerd is. Achteruitgang van de beworteling tengevolge van indroging is nog niet geconstateerd.

5. DE INVLOED VAN DE BEWORTELINGSDIEPTE OP DE OPBRENGST

Door de bewortelingsdiepte wordt het bodemvolume, waaruit de planten voedingsstoffen op kunnen nemen, grotendeels bepaald. Grotendeels, omdat de standdichtheid van het gewas de horizontale uitbreiding van de wortels beperkt. Voor de minerale voeding is een beperkte diepte niet bezwaarlijk, omdat de bouwvoor door bemesting van het nodige wordt voorzien. De watervoorziening kan wel in het gedrang komen bij een te klein bodemvolume, hetgeen echter afhangt van de granulaire samenstelling van de grond. Indien de ondergrond uit grover zand bestaat, hangt het van de dikte van de bedekkende zavelaag af, of de gewassen over voldoende water kunnen beschikken. De grondwaterstand is hier over het algemeen 150 cm beneden maaiveld. In de Noordoostpolder is gebleken, dat een laag van 30-40 cm zavel op zand onvoldoende is voor de groei van een normaal gewas. Aan het vochttekort kan worden tegemoet gekomen, hetzij door watertoevoer, hetzij door de doorwortelbare diepte te vergroten. Dit laatste kan door het zand los te maken.

Op kavel M 128, met een profiel van 20-30 cm zavel op diluviaal zand, zijn enkele proeven genomen om de invloed van het losmaken van de zandondergrond op de gewassen na te gaan. In de lengterichting van deze kavel zijn in 1947 enige grondbewerkingen uitgevoerd, waarbij of de grond losgemaakt werd of op een bepaalde diepte werd geploegd. Het losmaken geschiedde mechanisch tot een diepte van 70 cm, met een afstand tussen de sleuven van 75 cm. Het ploegen ging tot 40 cm en 60 cm, waardoor de zavel met zand werd vermengd. Voor een deel is 15 cm onder de bouwvoor losgemaakt.

Aan de gewassen was door lengteverschil te zien, dat door de losse ondergrond de groei beter werd.

FIG. 12. Wortels van haver (1953) kavel D 24. Geploegd tot een diepte van 20 cm in de herfst van 1952. Wortels dringen niet in de zandige ondergrond door.

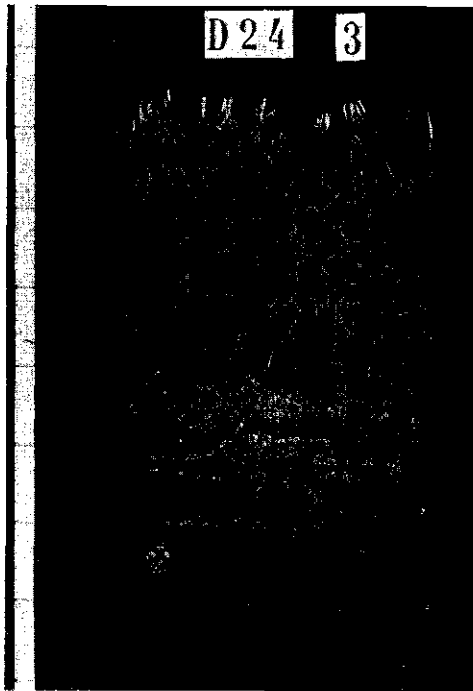


FIG. 12. *Roots of oats (1953) Profile: sandy loam (0 to about 25 cm) upon sand. Plowing depth: 20 cm. Roots do not penetrate in the sandy subsoil.*

FIG. 13. Wortels van haver (1953). Een zaveldek (0-20 à 30 cm) op een ondergrond van zand.

In de herfst van 1952 is geploegd tot 20 cm en werd de ondergrond gebroken tot een diepte van 70 cm. De wortels bereiken een grote diepte.



FIG. 13. *Roots of oats (1953) Profile: sandy loam (0 to about 25 cm) upon sand. Plowing depth: 20 cm. The subsoil has been broken to a depth of 70 cm. The roots attain a great depth in the broken sandy subsoil.*

De korrelopbrengsten zijn (kg/ha):

Grondbewerking	Haver 1948	Haver 1949	Wintertarwe 1951
20 cm ploegen	2305	4180	2950
25 cm + 15 cm	2310	4440	3095
40 cm ploegen	2430	4475	3110
60 cm ploegen	2710	4575	3140
70 cm ondergrond breken . .	2690	4480	3190

Deze kavel ondervindt aan de noordzijde de droogtrekkende werking van de Kuindervaart. Op de plaatsen waar de droogtrekkende werking het sterkst is, zijn de opbrengstverschillen tussen de grondbewerkingen het grootst. Het gehele niveau van de opbrengst is

daar echter lager dan op het zuidelijke gedeelte van de kavel. In de tabel staan slechts de gemiddelden van de hele kavel vermeld.

Op een deel van kavel M 128 is een ander proefveld aangelegd, waarbij de grond tot verschillende diepten door spitten werd gemengd en/of losgemaakt. Met mengen is bedoeld, dat de zavel en het zand tot op een bepaalde diepte zo goed mogelijk door elkaar werden gewerkt. Het proefveld is aangelegd in het voorjaar van 1950. Door het intensieve mengen tot op 60 cm werd de bouwvoor erg zandig, hetgeen de aanslag van de voederbieten, die als eerste gewas werden gezaaid, niet ten goede kwam. Het aantal planten is daardoor geringer geworden. Tijdens een warme droge periode in Juni werden alleen de bieten op de diepst losgemaakte veldjes niet slap. Op de veldjes met normale bewerkingdiepte (25 cm) herstelden de slappe bieten zich 's nachts niet. Het einde van de droge hete periode kwam vermoedelijk net op tijd om de planten voor vernietiging te behoeden.

De wintertarwe (1950-1951) had geen moeite met de aanslag; wel verschilde de zaaidiepte tengevolge van het verschil in zwaarte van de grond. Tijdens het doorschieten, eind Mei-begin Juni, was er een groot verschil in lengte tussen de tarwe op de normale veldjes en op de diep gespitte. Het grootste lengteverschil bedroeg in die tijd 25 cm. De lengte varieerde nl. van 50 cm op normale tot 75 cm op tot 60 cm losgemaakte grond. De tarwe op de normaal bewerkte veldjes verloor te vroeg blad door verdroging. De opbrengsten van deze gewassen waren:

Diepte van de grondbewerking	Voederbieten 1950			Wintertarwe 1951		
	Biet (kg/a)	Loof (kg/a)	Aantal planten per are	Korrel (kg/a)	Stro (kg/a)	1000- korrel- gew. in g
25 cm	630	171	388	23,4	29,6	36,4
25 cm + 15 cm	643	190	376	25,2	34,0	37,8
25 cm + 35 cm	650	202	381	30,2	38,9	37,7
40 cm mengen	638	196	363	26,6	36,4	37,5
40 cm + 20 cm	680	214	380	29,9	40,1	37,6
60 cm mengen	625	206	355	32,1	44,8	37,5

De enige conclusie die het gegeven materiaal toelaat is, dat het losmaken van de ondergrond tot 60 cm een verbetering geeft. Of aan mengen of aan alleen losmaken de voorkeur moet worden gegeven is niet te zeggen. Voor het behoud van een voldoende zware bouwvoor is enige menging van zavel met zand niet bezwaarlijk. Het belangrijkste is dat de wortels voldoende diep kunnen komen.

Het merkwaardige is, dat de wortelgroei zuiver beperkt blijft tot de losgemaakte grond.

6. EEN BESCHOUWING OVER DE VRAAG

WAAROM DE WORTELS NIET IN BEPAALDE LAGEN DRINGEN

De oorzaak van de belemmering van de groei moet in de grond en wel in de betreffende laag worden gezocht, omdat de omstandigheden ten aanzien van bouwvoor en bovengronds milieu in wezen niet behoeven te verschillen bij een wel en een niet doorwortelbare ondergrond. De invloed van een dichte ondergrondslaag op de waterhuishouding van de bouwvoor wordt hierbij buiten beschouwing gelaten.

De bemestingstoestand van de bouwvoor zal in het algemeen onafhankelijk zijn van de aard van de ondergrond, zolang de bovengrond gelijk is.

Het is denkbaar, dat meer of minder dikke lagen zuiver zand onvoldoende voedingsstoffen in geabsorbeerde toestand bezitten en daardoor wortelgroei onmogelijk maken. Hier staat

tegenover, dat wortelgroei in een watercultuur pas belemmering ondervindt bij zeer lage concentraties van de voedingsoplossing. Het in het zand aanwezige vocht kan echter niet voedselarm zijn, omdat het door de bemeste bouwvoor is gepercoleerd. Bovendien groeien de wortels wel in het losgemaakte zand, waarvan het vocht toch geen andere samenstelling zal hebben gekregen. Ten overvloede is uit de literatuur voldoende bekend, dat voedselarmoede van bepaalde lagen geen reden kan zijn voor het ontbreken van wortels. Wel wordt vaak geconstateerd, dat verschil in voedselrijkdom tot uiting komt in de worteldichtheid.

Indien voedseltekort geen voldoende verklaring geeft, kan de oorzaak in de stapeling der bodemdeeltjes (structuur) van de betreffende laag worden gezocht. Deze bepaalt de vocht- en zuurstofvoorziening.

De gedrongen gebouwde wortels, met dikke worteltoppen en korte zijwortels, worden alleen in zand aangetroffen. Dit kan wijzen op een grote weerstand die in de grond wordt ondervonden. De rietwortels in deze lagen geven echter niet de indruk dat zij veel weerstand moeten overwinnen om er in door te dringen. Hoewel het niet uitgesloten is, dat de worteltoppen van riet sterker zijn dan die van cultuurgewassen en de plasticiteit van het zand onder water mogelijk groter is dan in bijna droge toestand, wijst de grote hoeveelheid rietwortels, die in zandlagen wordt aangetroffen, niet op het voorkomen van veel weerstand. Er is echter een veel eenvoudiger verklaring voor de aanwezigheid van rietwortels. Deze zijn in staat in hun zuurstofbehoefte te voorzien door middel van in de wortels aanwezige luchtkanalen. In de zandlagen hebben ook de rietwortels opmerkelijke verdikkingen, die samenhangen met grote intercellulaire holten. Bij afwisselende zand- en zavel- of veenlagen komen de verdikkingen slechts in de zandlagen voor. De luchtholten in de wortels zijn daar veel groter.

De vochtvoorziening, van hoe grote betekenis ook voor de plantengroei, zowel boven- als ondergronds, kan geen rol spelen, omdat op het tijdstip, dat de wortels bij een zandlaag aankomen, dit zand nog vochtig is. Ook werden in de herfst verdikte worteltoppen aangetroffen in Espelzand (wintertarwe) en in het voorjaar in een natte bouwvoor (haver). In het begin is al aangegeven, dat de dieptegroei snel gaat. Indien zandlagen bij de oogst al droog mochten zijn, dan zijn zij het zeker nog niet in April en Mei, wanneer zij door de wortels worden bereikt. Het dieper liggende zand (50 cm) is meestal ook in de oogstperiode nog vochtig, terwijl het losgemaakte en doorwortelde gedeelte droog is en gemakkelijk van de wortels kan worden verwijderd. Dit neemt niet weg, dat in grovere zandsorten, zelfs indien het vochtgehalte overeenkomt met de watercapaciteit, de beschikbare hoeveelheid vocht onvoldoende kan zijn voor een normale wortelgroei en dan dus remmend werkt. In de onderzochte profielen, waarin het zand een U-waarde heeft groter dan 80, is het echter onwaarschijnlijk. Hiervoor pleit het wel doorworteld zijn van het zand na losmaken.

Tenslotte blijft de zuurstofvoorziening over, die eveneens door de grond-water-luchtverhouding wordt bepaald. Indien de weerstand van de zandlagen en het water geen beperkende factoren zijn, zou de verklaring alleen in een gebrek aan zuurstof moeten worden gezocht. Het is echter zeer goed mogelijk, dat de samenwerking van een aantal beperkende omstandigheden, van hoe geringe betekenis op zich zelf ook, leiden tot de groeistop. Toch zijn er enkele aanwijzingen, die het waarschijnlijk maken, dat een te geringe zuurstofvoorziening de voornaamste oorzaak is.

De rijping van de grond berust op een verkleining van de hoeveelheid water in de grond, waarvoor zuurstofhoudende lucht in de plaats komt, zodat gereduceerde verbindingen worden geoxydeerd. De aëratie gaat sneller naarmate het verschil tussen de hoeveelheid water in de aanvangs- en eindtoestand groter is, voor zover het klei en zavel betreft. Voor zandgronden wordt de aëratiesnelheid bepaald door de grofheid, welke grote invloed heeft op de ontwatering.

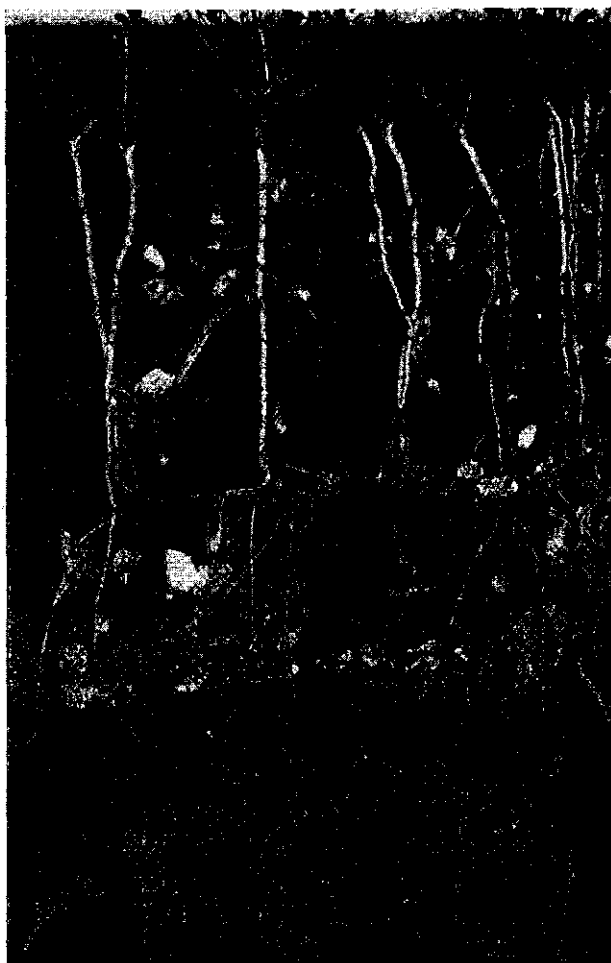


FIG. 14.
Zavel op sloef. De lucernewortels
dringen niet in de sloef door.

FIG. 14.
*A heavy loam soil covers a subsoil
of „sloef”. The lucerne roots are
not able to penetrate into the com-
pact „sloef”-layer with its low clay
content.*

Het blijkt steeds, dat de rijping begint met scheurvorming tengevolge van de wateronttrekking.

Lutumarme lagen scheuren minder sterk of niet en rijpen dientengevolge langzaam, omdat nu de zuurstof niet door de scheuren kan toetreden. Uiteindelijk rijpen deze lagen toch, maar, in vergelijking met zwaardere lagen, in een vertraagd tempo.

In de ongeaëreerde zware zavel komen worteltoppen voor. Deze zijn normaal van uiterlijk. In ongeaëreerde lichte zavel dringen de wortels slechts zelden door en dan nog met verdikkingen en kronkelingen. Na rijping worden beide grondsoorten goed doorworteld, zij het dan dat in de zwaardere gronden de bewortelingsdichtheid groter is. In de lichte grondsoorten (minder dan 5 % lutum) komen ook na rijping slechts weinig wortels voor.

Worden de langzaam rijpende lagen gebroken, dan gaat zowel de rijping van deze lagen zelf als van de onderliggende lagen vlugger, en de doorworteling wordt ook beter dan in

FIG. 15.

Zavel op sloef, die los gemaakt is tot een diepte van 60 cm. Tengevolge daarvan bereiken de lucerne-wortels een grotere diepte.

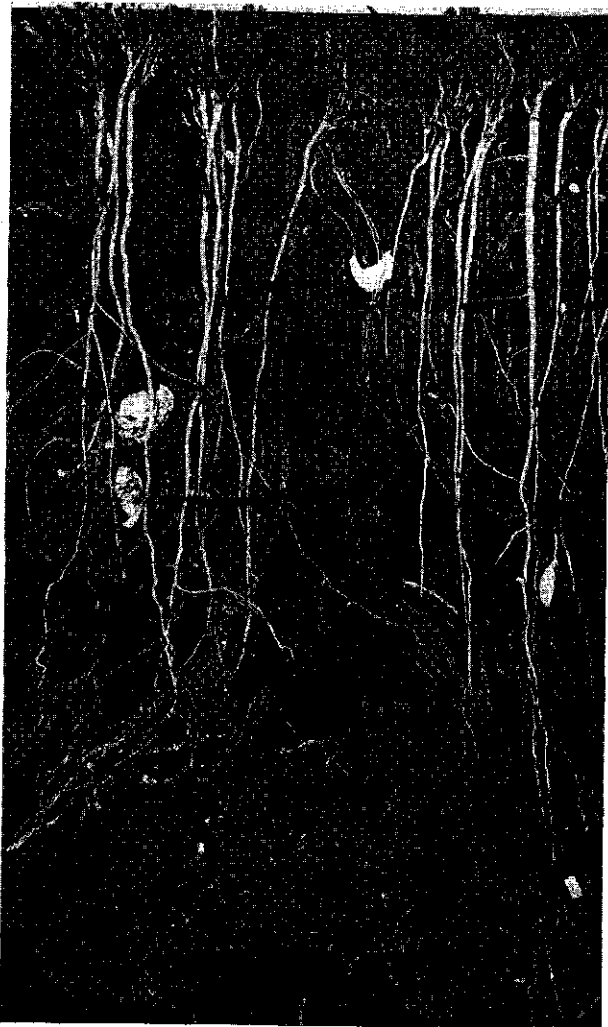


FIG. 15.

The same soil as in fig. 14. The upper part of the „sloef” was broken, so the roots could attain a greater depth probably because of the better oxygen supply.

niet losgemaakte toestand. Er is dus een zekere correlatie gevonden tussen rijping (zuurstof-toetreding) en beworteling, in die zin, dat naarmate bepaalde grondsoorten langzamer rijpen, de beworteling nadien geringer is dan in sneller rijpende grondsoorten. Deze verschijnselen treden op van de zwaarste lagen tot de lagen, die slechts enkele procenten lutum bevatten. In losgemaakte zandlagen is de grond-water-luchtverhouding veranderd, d.w.z. het poriënvolume is vergroot, hetgeen ten goede komt aan de luchtvoorziening.

Zou het poriënvolume niet vergroot zijn, dan moet in elk geval de poriëngrootte-verdeling veranderd zijn ten gunste van de grote poriën.

De doorworteling van het zand is beter naarmate het hoger in het profiel voorkomt. Of-schoon deze betere doorworteling in de eerste plaats kan worden toegeschreven aan het

grotere aantal wortels dat probeert in te dringen, kan het niet de enige oorzaak zijn. Bij hoog liggend zand zou de toetreding van de lucht beter kunnen zijn, omdat de door de grond af te leggen afstand kleiner is dan bij zand op grotere diepte.

Het verschillend gedrag van de wortels bij zandlaagjes van meer of minder dan 2 cm dikte kan ook worden verklaard door de zuurstofvoorziening. Er is reeds op gewezen, dat de zandlaagjes beter toegankelijk zijn bij goed geaëreerde onderliggende lagen en verder is opgemerkt, dat de wortels door het zandlaagje gaan boven de er onder aanwezige scheuren. Tijdens de rijping klinkt de grond in, zodat het zandlaagje enigszins kan worden gebroken, met als gevolg een mogelijkheid voor de wortels er door te groeien.

Daarnaast kan de aanwezigheid van luchtholten (scheuren) onder het zandlaagje zeker van belang zijn voor de aëratie van het zandlaagje, waarmee dan de wortels juist boven de scheuren van de ondergrond verklaard zijn.

Bij dikke zandlagen (meer dan 2 cm) is de kans op scheuren zowel als betere doorluchting geringer door de grotere compactheid. Anders zou het niet duidelijk zijn waarom de wortels wel door zandlaagjes van minder dan 2 cm kunnen groeien en slechts een enkele centimeter in dikkere lagen dringen.

Met de gegeven beschouwing is het probleem van de beworteling in zandlagen zeker niet volledig behandeld, en verre van opgelost. De mogelijke betekenis van de verschillende factoren is slechts aangeduid, terwijl de wisselwerking van deze en andere omstandigheden achterwege moest blijven bij gebrek aan gegevens.

De luchthuishouding en zijn betekenis voor de wortelgroei dienen uitvoerig onderzocht te worden om de juistheid van de gemaakte veronderstellingen te beoordelen.

7. SAMENVATTING

In een homogeen zavelprofiel kunnen alle gewassen een diepte van tenminste 100 cm bereiken. Van eenjarige gewassen is gebleken, dat in de maanden April-Mei de wortels ongeveer 2 cm per dag in de diepte groeien, zodat in Juni de hiervoor aangegeven diepte is bereikt. Van de wintergewassen is gebleken, dat deze in de herfst of reeds in het voorjaar een diepte van minstens 50 cm kunnen halen.

Door de aanwezigheid van zand in het profiel, hetzij laagsgewijs of als een dik pakket, wordt de wortelgroei in het algemeen sterk belemmerd of onmogelijk gemaakt.

In losgemaakt zand vindt een ongestoorde wortelgroei plaats, hetgeen onder bepaalde omstandigheden tot opbrengstverhoging kan leiden.

De bodem van de Noordoostpolder ondergaat nog steeds een zekere ontwikkeling, ook daar waar de aëratie tot grote diepte is gevorderd. Onder deze omstandigheden wordt voor de wortelgroei aan de zuurstofvoorziening een grotere betekenis toegekend dan aan de mechanische weerstand en de vochtvoorziening. Het is zeker niet uitgesloten dat, na het bereiken van een meer geconsolideerde toestand, een verschuiving van de waardering van deze factoren zal optreden.

SUMMARY

SOME PROBLEMS ON ROOT DEVELOPMENT IN THE „NOORDOOSTPOLDER” (THE NETHERLANDS)

by

J. J. JONKER

The root development of lucerne and other crops was studied in a young „Zuiderzeepolder” (Noordoostpolder) in clayish soils as well as in soils which only consisted of sand. Rooting in homogeneous profiles was compared of either clay (loam) or sand with that in soils in which a loamy topsoil covered a more or less sandy subsoil. Data were added on root growth in profiles containing a peaty subsoil.

It was found that a sandy subsoil and even thin sand layers occurring in the loam may highly hamper or even prevent the penetration of the root system into the subsoil. On the contrary a deep root system was found in deeply aerated, homogeneous profiles, containing light or heavy loam to a great depth. Peaty subsoils proved to be accessible for the roots provided the peat was sufficiently aerated.

The different factors which may influence root growth in the sandy subsoil, such as the available amount of nutrients, the water- and oxygen supply and the packing of the sand are discussed. The author suggests that lack of oxygen must be considered as the main cause of the shallow rooting in those profiles.

LITERATUUR

1. DOMINGO, W. R., De fysische rijping van de jongere Zuiderzee-afzettingen in de Noordoostpolder. *Van zee tot land*, no. 2.
2. GOEDEWAAGEN, M. A. J., Het wortelstelsel der landbouwgewassen. 1942.
3. HALL, A. D., W. E. BRECHLEY, L. M. UNDERWOOD., The soil solution and the mineral constituents of the soil. *Trans. of the Royal Soc. of London*, 1914 B vol. 204 pag. 179.
4. ROODENBURG, J. W. M., Zuurstofgebrek in de grond in verband met wortelrot. Diss. 1927.
5. SIEBEN, W. H., De ontwatering van de zavelgronden in de Noordoostpolder. *Van zee tot land*, no. 3.
6. VELDMAN, G., Over de landbouwkundige waarde van lichte mariene gronden. Rapport Dir. v. d. Wieringermeer (N.O.P.). 1948.
7. ZUUR, A. J., Ontstaan en aard van de bodem van de Noordoostpolder. *Van zee tot land*, no. 1. Rapporten en mededelingen inzake de droogmaking, ontginning en sociaal-economische opbouw der IJsselmeerpolders.

VI. ENKELE GEGEVENS OVER DE WORTELGROEI VAN LANDBOUWGEWASSEN IN ZANDIGE LAGEN

C. VAN DEN BERG en D. VAN DEN BOSCH

Wetenschappelijke Afdeling van de Herverkavelingscommissie, Walcheren¹

1. INLEIDING

De mariene gronden van Zeeland bestaan voor een belangrijk deel uit lichte zavel met een matig grofzandige ondergrond. In sommige betrekkelijk jonge polders begint deze zandige ondergrond reeds op geringe diepte, maar ook in de oude polders komen in vele stroomruggen gedeelten voor, waar het zaveldek dun is. Naar schatting komen circa 10 000 ha zavelgrond voor, waar het zand op een diepte van minder dan 50 à 60 cm in het profiel begint. Vaak zet het zand zich tot grote diepte voort, soms wisselen in de diepe ondergrond weer klei- en zandlaagjes af.

Bijna al deze gronden zijn in gebruik als bouwland; ze liggen veelal hoger dan zwaardere gronden in dezelfde polder, het polderpeil is vaak 1,25 m of meer beneden het maaiveld en ze staan bekend als droogtegevoelig.

Hoewel ons wortelonderzoek niet speciaal gericht was op dit type gronden, werden in de loop der jaren toch voldoende gegevens verkregen om de belangrijkste resultaten aan een beschouwing te onderwerpen.

2. METHODIEK

Omdat niet steeds gelegenheid bestond voor uitgebreid wortelonderzoek, is vaak een eenvoudige methode gevolgd. Een beschrijving daarvan is door een onzer reeds eerder gegeven (zie D. VAN DEN BOSCH: Wortelonderzoek met eenvoudige hulpmiddelen. *Maandbl. Landbouwvoorlichtingsd.* 9, 9 (1952) 335-341). Door afkrabben van een profielwand wordt het wortelstelsel zo goed mogelijk blootgelegd, beschreven en getekend of gefotografeerd. Daarnaast werd gebruik gemaakt van een spijkerplank, die in de profielwand werd gedrukt. De met de plank uitgegraven grond werd daarna uitgespoeld en de wortels gefotografeerd.

3. OBJECTEN VAN ONDERZOEK

De niet-systematische opzet van de onderzoeken bracht mee, dat wortelonderzoek werd gedaan in allerlei uiteenlopende gevallen. In het volgende zal nu achtereenvolgens ingegaan worden op het onderzoek van de objecten:

- a. Niet-verdrogende gronden.
- b. Ondergespitte recente zandafzettingen.
- c. Mariene gronden met een dunne zavellaag op zand.
- d. Zandprofielen.
- e. Verbetering van de onder c genoemde profielen.

a. Niet-verdrogende gronden

Ter vergelijking met afwijkende omstandigheden is vaak het wortelstelsel onderzocht in gronden die tot grote diepte uit zavel of klei bestonden. Zonder in details te treden kan gezegd worden, dat alle gewassen met hun wortels gemakkelijk tot 1 m diepte kunnen doordringen, terwijl worteldiepten van 1,50 tot 2 m niet zeldzaam zijn. Beperkende factoren voor de diepte, waarop wortels voorkomen zijn o.m.:

¹ De schrijvers zijn verbonden aan het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen en gedetacheerd bij genoemde Afdeling.

1. Een gereduceerde laag. Deze ligt vaak op de diepte van de zomergrondwaterstand en verhindert het verder groeien van wortels van landbouwgewassen geheel.
2. De grondwaterstand in de zomer. Meestal dringen wortels niet meer dan 10 à 20 cm in het grondwater door.
3. Een storing in het profiel, waardoor de wortelgroei tijdelijk geremd wordt, zodat ten slotte niet de maximaal bereikbare diepte wordt gehaald. Dergelijke storingen in of juist onder de bouwvoor (ploegzool) hebben grote invloed op de uiteindelijke wortellengte.

FIG. 1. Ondergespit zand, bedekt met een kleilaag.
a. Profiel.

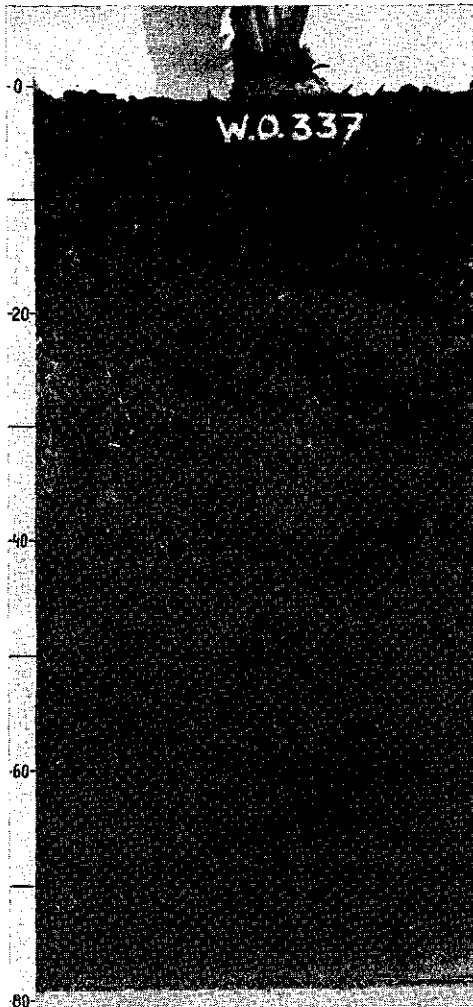
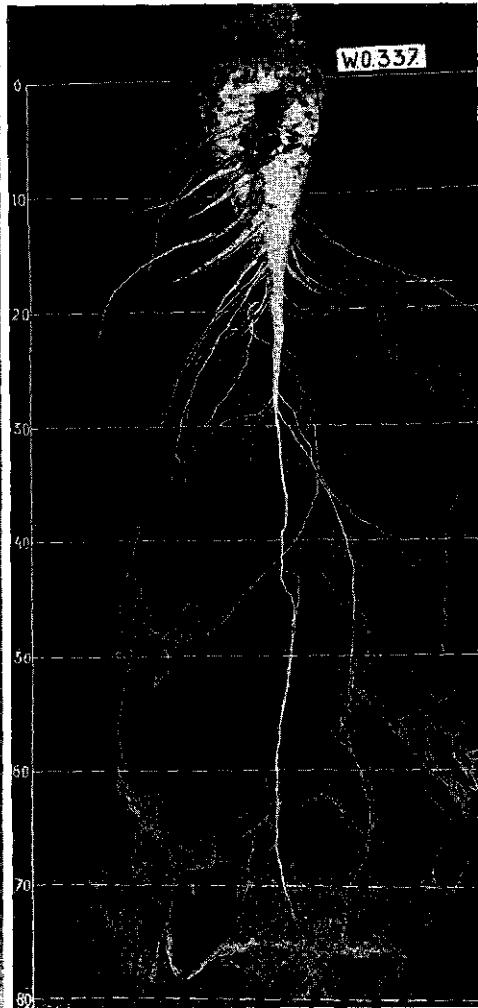


FIG. 1. Disturbed profile consisting of a sandy clay top soil (0-20 cm) overlaying a broken sandy subsoil.
a. Profile.

b. Bietenwortels in dit profiel.



b. Roots of a sugarbeet in this profile.

Wanneer storingen ontbreken, neemt de dichtheid van het wortelstelsel regelmatig af met de diepte.

b. Ondergespitte recente zandafzettingen

De bij de inundatie in 1944-1945 op Walcheren afgezette zandlagen waren soms zo dik, dat ze moesten worden verwijderd. Ten dele is dit gebeurd door de vroegere bouwvoor met een deel van de ondergrond naar boven te halen en daarmee het zand af te dekken. Van de daarna geteelde gewassen erwten, gerst en suikerbieten zijn opbrengstbepalingen gedaan, terwijl soms het wortelstelsel is onderzocht.

In fig. 1a is een dergelijk profiel weergegeven; de opgespitte bouwvoor was 15-20 cm dik; daaronder bevond zich tot 30 cm diepte een laag klei en tenslotte ondergespit zand, dat ditmaal slechts een U-cijfer 65 had en maar 1 % slib bevatte.

De grondwaterstand was 1,20 m onder maaiveld.

De wortels van de biet in fig. 1b (uitgespoeld met behulp van de spijkerplank) blijken het zand uitstekend te doorwortelen. Het zand in dit profiel werd in 1948 ondergespit, terwijl het gewas in 1952 werd onderzocht. Reeds in vroegere jaren was het opgevallen dat de wortels van allerlei gewassen gemakkelijk in het zand drongen. In overeenstemming daarmee waren de oogsten goed en werd in het algemeen weinig droogteschade ondervonden.

In het droge jaar 1949 werd echter wel een duidelijke invloed van de dikte van de opgespitte kleilaag op de opbrengst geconstateerd, zoals volgt uit fig. 2.

FIG. 2. Verband tussen dikte van opgespitte kleilaag en opbrengst van erwten en zomergerst

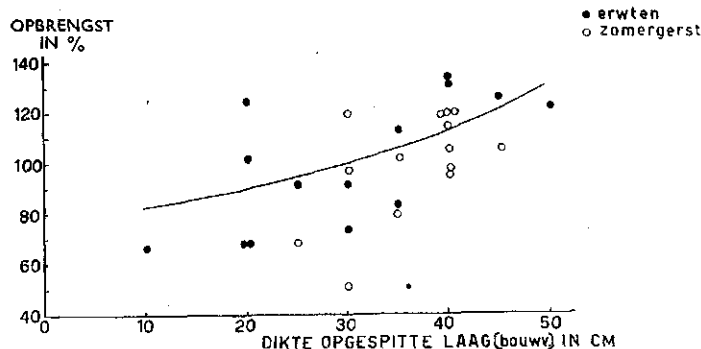


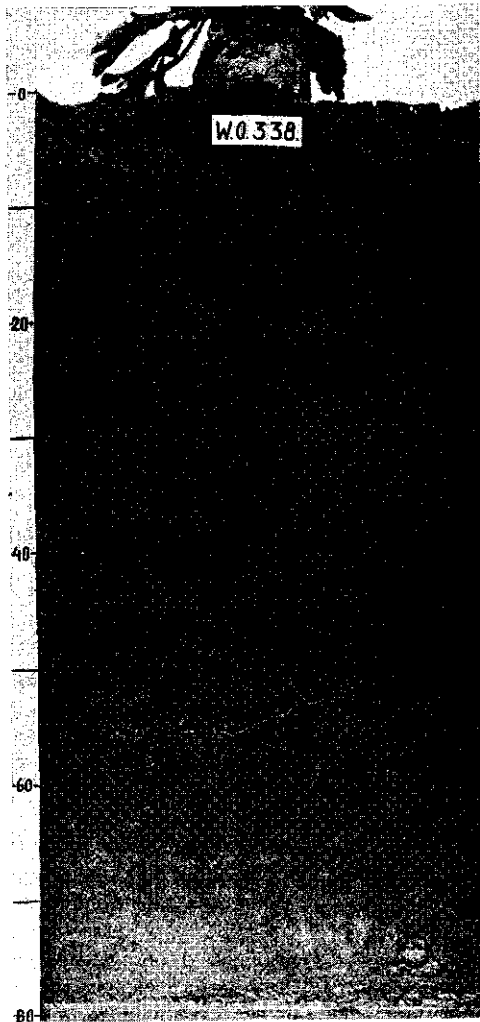
FIG. 2. Relation between the thickness of the clayish topsoil and the relative yield of peas (erwten) and spring barley (zomergerst). The sandy subsoil was broken before sowing.

Aangezien ook in het jaar 1949 de wortels der gewassen goed in de zandlaag groeiden, zal de oogstdepressie op profielen met dunne kleilagen in dit geval wel grotendeels op rekening van watertekort geschreven moeten worden.

c. Mariene gronden met een dunne zavellaag op zand

Dit type gronden komt, zoals in de inleiding is gezegd, in Zeeland vrij veel voor. Vaak bestaat een zekere samenhang tussen de dikte van een zavellaag en de zwaarte ervan. Dikkere zavellagen gaan meestal samen met een hoger gehalte aan afslibbare delen. In fig. 3a en 3b is een voorbeeld gegeven van een dergelijk profiel.

FIG. 3. Zavellaag van 55 cm op zand.
a. Profiel.



b. Bietenwortels in dit profiel.

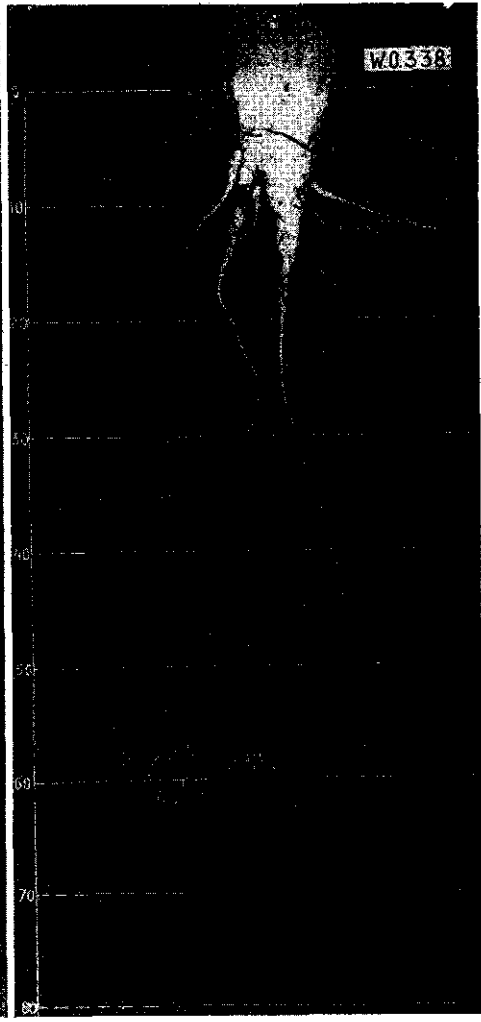


FIG. 3. 55 cm of sandy clay soil on a subsoil of undisturbed sand.
a. Profile.

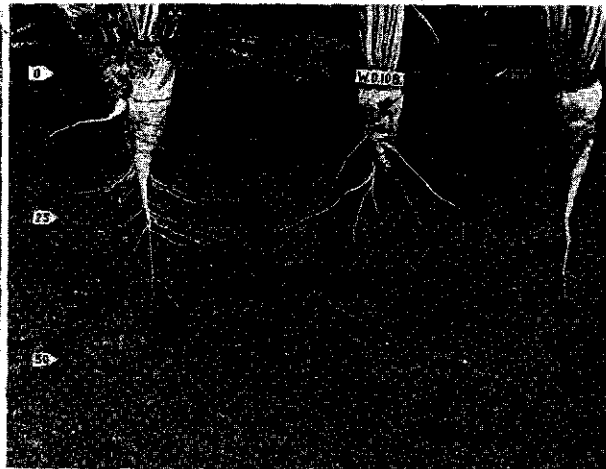
b. Short root system of a sugarbeet in this profile (more roots near the boundary of clay and sand)

Fig. 3a toont het onbehandelde profiel; de scheiding tussen bovenliggende zavel en onderliggend zand ($U = 70$) ligt hier op ongeveer 55 cm diepte en is in het profiel door een kras aangegeven. De met behulp van een spijkerplank uitgespoelde wortels in fig. 3b hebben een diepte van ruim 60 cm bereikt en houden daaronder abrupt op.

Al ons onderzoek van deze aard is met het voorgaande in overeenstemming. Steeds wanneer een zandige laag optreedt, dringen de wortels hierin slechts tot geringe diepte door.



a. 35 cm zavel (*Sandy claylayer 35 cm*)



b. 45 cm zavel (*Sandy claylayer 45 cm*)

De volgende bijzonderheden werden gevonden:

1. In de laag boven het zand treedt verdichting van het wortelnet op (zie fig. 3b en fig. 8b).
2. In de zavel laag hebben de wortels neiging meer horizontaal te gaan groeien.
3. Bij bieten wordt de verminderde lengte van de biet enigszins gecompenseerd door een grotere dikte. De bieten zijn tengevolge van de storende zandlaag meer vertakt.
4. De wortels, die in het zand dringen, hebben vaak een verdikte worteltop of een verdikte misvorming met dicht op elkaar staande korte, dikke zijworteltjes.

De onder 2 en 3 genoemde verschijnselen zijn duidelijk af te lezen uit onderstaande figuren 4a, b en c. De wortels zijn blootgelegd door voorzichtig uitkrabben van profielwanden.

Uit deze foto's, genomen in het jaar 1950, blijkt dat het wortelbeeld van bieten normaal is bij een zavel dikte van 55 à 60 cm. Bij dunne dekken werd een sterkere vertakking en een meer horizontale wortelgroei waargenomen. De profielen uit fig. 4b en 4c werden onderzocht op hetzelfde perceel suikerbieten.

Van een plekkenonderzoek, in het droge jaar 1949 uitgevoerd, zijn opbrengstgegevens bekend. In dit onderzoek waren de gewassen zomergerst, erwten, aardappelen en suikerbieten betrokken. Het belangrijkste doel van het onderzoek was een inzicht in de invloed van de grondwaterstand te krijgen, maar daarnaast leverde het ook enige gegevens op, die in het verband van dit artikel van belang zijn.

De plekken, waarvan het profiel op een diepte van 110 cm of minder in vrij grof zand (met minder dan 8% afslibbare delen) overging, zijn afgezonderd van de rest en in fig. 5 is weer gegeven, hoe de opbrengst varieerde met de dikte van de zavel laag.

Alle gewassen zijn hier samengenomen om tot een redelijk aantal punten te komen. Bij een zavel dikte van 70 à 75 cm is de opbrengst ongeveer normaal, bij geringere dikten van de zavel laag daalt de opbrengst sterk. Deze gegevens, die goed overeenstemmen met de resultaten van het onderzoek van VELDMAN (Over de landbouwkundige waarde van lichte mariene gronden. Rapport Dir. van de Wieringermeer (NOP), (1948) demonstreren nog weer

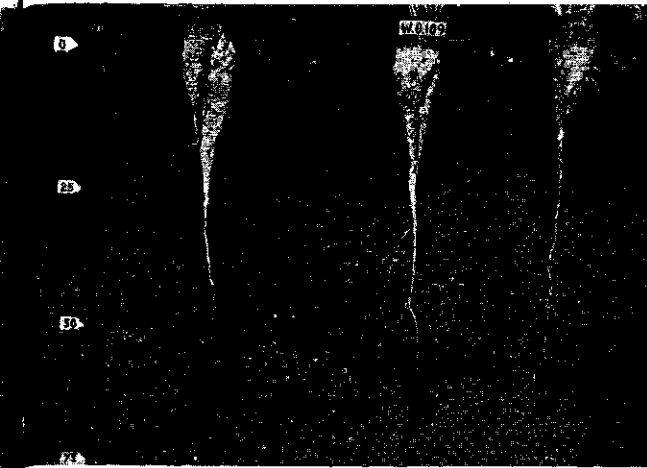


FIG. 4.
Bietenwortels in „zavel op zand“-
profielen

FIG. 4.
Roots of sugarbeets in undisturbed profiles consisting of sandy subsoils covered by sandy claylayers of different thickness. (Shape and branching of beet roots depend on the thickness of the clay cover).

c. 60 cm zavel (Sandy claylayer 60 cm)

eens het belang van onderzoek naar de oorzaken van de verdroging en de mogelijkheden om daarin verbetering te bereiken.

d. Zandprofielen

In enkele gevallen werden ook de wortels onderzocht in profielen, die geheel bestonden uit duinzand, gemengd met weinig slib. In dergelijke zandprofielen kan het wortelstelsel fraai blootgelegd worden door met behulp van een rugsproeier water tegen de wand te spuiten. In fig. 6 is een afbeelding van een dergelijk profiel met wortels van zomergerst weergegeven.

De bouwvoor, ter dikte van ruim 20 cm, bestond uit humushoudend zand; daaronder

FIG. 5. Verband tussen de dikte van een zavellaag op zand en de opbrengst in 1949

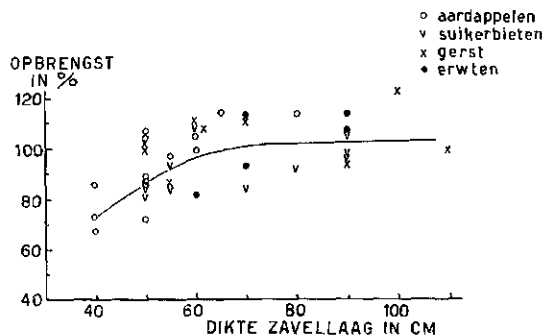


FIG. 5. *Relation between the thickness of a sandy claylayer on a sandy subsoil and the relative yield of different crops in 1949. Undisturbed profile. Potatoes (aardappelen), sugarbeets (suikerbieten), barley (gerst), peas (erwten).*

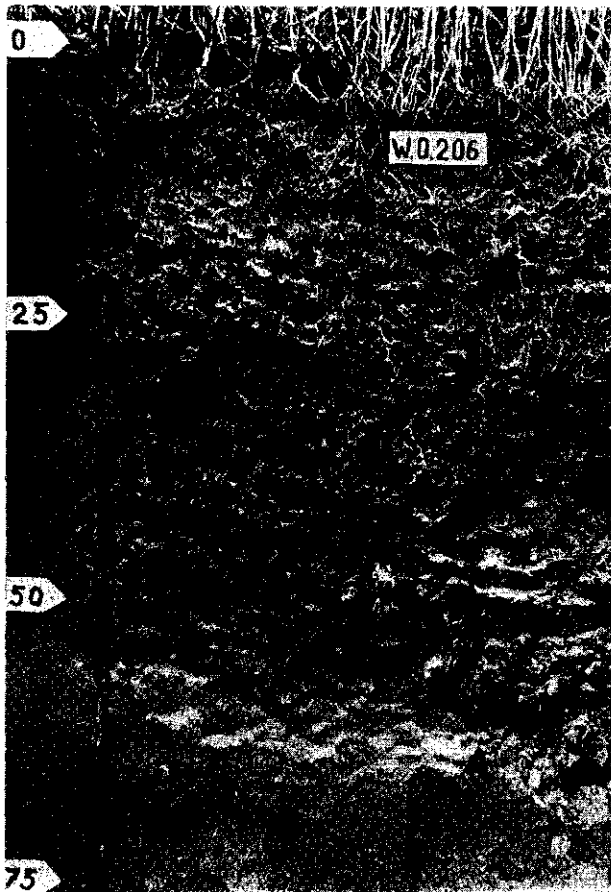


FIG. 6.
Wortels van zomergerst in zand-
profiel

FIG. 6.
*Roots of spring barley in an undis-
turbed sandy profile.*
0-25 cm: humous sand (many
roots).
25-55 cm: brownish sand, poor in
humus (few roots).
Below 55 cm: white sand, very
poor in humus (no roots).

volgde een lichtbruine humusarme zandlaag tot ongeveer 55 cm, terwijl zich daaronder weer geelwit zand bevond.

Zoals uit fig. 6 is af te leiden, nam de worteldichtheid op 25-30 cm diepte plotseling sterk af. Slechts weinig wortels drongen door tot ca 55 cm, terwijl daaronder geen wortels werden aangetroffen. Op het moment van onderzoek (begin Augustus) was het grondwater op 105 cm diepte. De grofheid van het zand was vanaf 20 cm diepte gelijk aan wat in de profielen zavel op zand wordt aangetroffen.

De situatie lijkt in dit geval geheel op die in de profielen met zandige ondergrond: de rol van de zavelige bovengrond is hier overgenomen door het humushoudende zand, waarvan het gehalte aan humus 2,1% bedroeg.

e. Verbetering van „zavel op zand-profielen”

Het verschil in gedrag van de wortels in de natuurlijke „zavel op zand”-profielen (zie c) en de kunstmatige klei-zand-profielen (zie b) vestigde de aandacht op de mogelijkheid, dat een losse ligging van het zand de wortelgroei wellicht zou kunnen bevorderen.



FIG. 7.

Zavellaag van 35 cm op zand.

a. Natuurlijk profiel met bietenwortels (boven).

b. Bietenwortels in doorgespit zand (rechts).

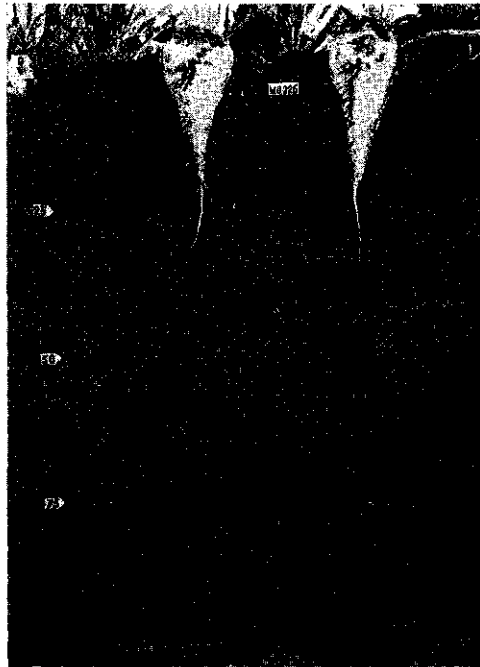


FIG. 7.

A sandy clay layer of 35 cm on a sandy subsoil.

a. Natural profile with beetroots (shallow rooting).

b. Beetroots in sand, which has been broken up before (many fine roots in sandy subsoil and main root left of figures 50 and 75).

Om deze verklaring te kunnen toetsen, werden in het najaar van 1950 twee veldproeven aangelegd op een perceel, waar 35 cm zavel rustte op zand.

Op een veldje van 16 m² werd de zavellaag zorgvuldig opzij gezet, de zandondergrond tot 90 cm onder maaiveld doorgespit en de zavellaag weer op het zand gebracht; op een tweede veldje werd alleen de zavellaag doorgespit. Onveranderde veldjes lagen naast deze bewerkte veldjes.

In 1951 werden op beide proeven suikerbieten verbouwd en door middel van profielkuilen is de beworteling gecontroleerd.

Het resultaat had in een der gevallen niet veel te betekenen. Op het diep doorgespitte zand waren de bietenwortels maar 10 cm langer dan op de niet-bewerkte veldjes, waar ze 50 cm lang werden.

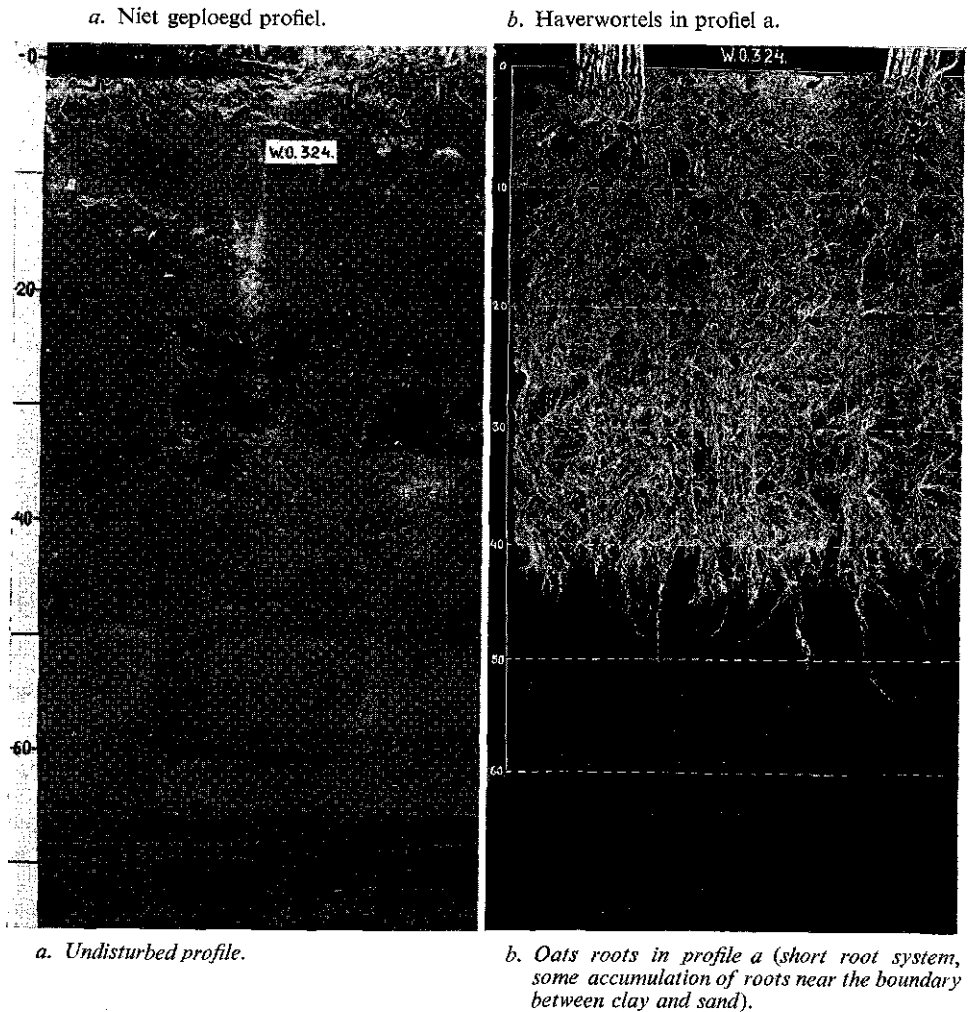
Op het andere proefveld was de invloed van het doorspitten echter zeer overtuigend. Terwijl op het onbewerkte gedeelte en op het veldje met losgemaakte zavellaag de wortels maar een diepte van 40 cm bereikten, gingen de bietenwortels tot 95 cm op het veldje, waar het zand diep was doorgespit.

Fig. 7a en 7b laten de wortelbeelden zien in het onbehandelde en het diepgespitte profiel.

Het is niet duidelijk geworden, waardoor de verschillende reactie van beide proeven is veroorzaakt. Op beide percelen was het zand ongeveer even grof ($U = 75$) en de grondwaterstand in de zomer op 1,20 m onder maaiveld.

In 1952 werd het onderzoek op de in 1950 behandelde plekken voortgezet. Het effect op het laatstgenoemde veld was bij het in 1952 verbouwde vlas echter veel minder. In de on-

FIG. 8. Effect van diepploegen op de wortelgroei.



bewerkte grond bereikten de vlaswortels een diepte van 46 cm, terwijl op het diepbewerkte veldje wortels tot 60 cm diepte werden gevonden.

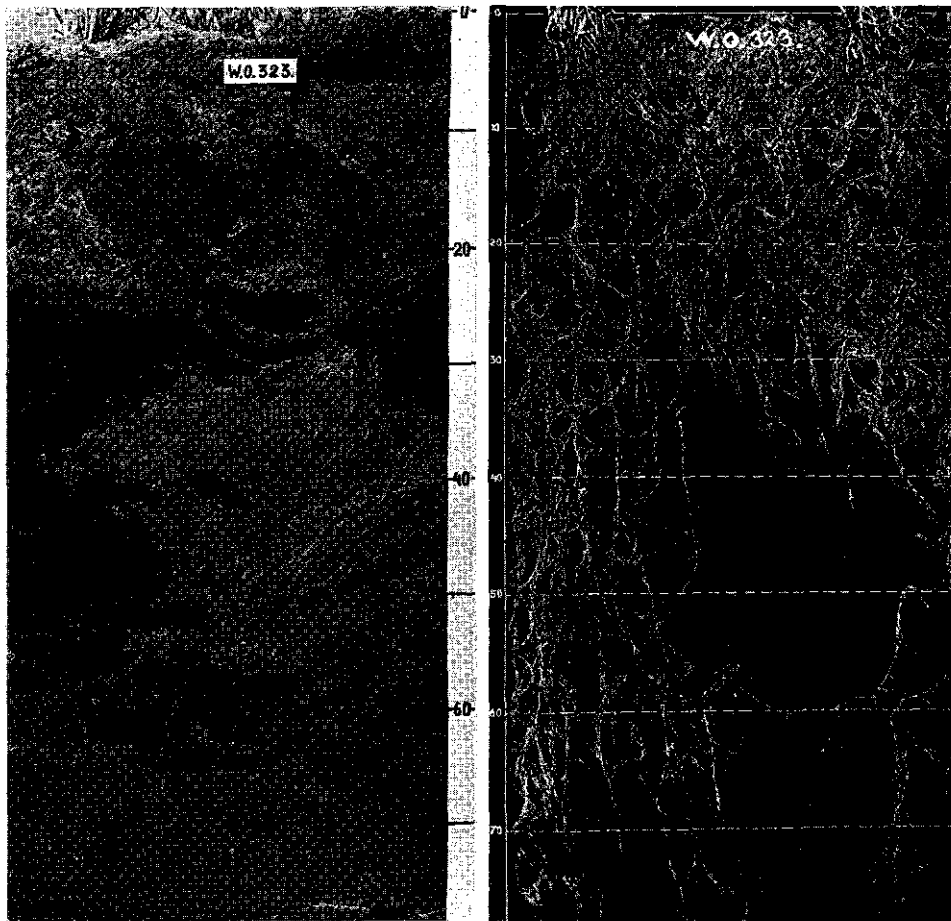
Op het proefveld, waar de reactie met suikerbieten in 1951 al gering was geweest, vertoonden aardappels in 1952 in het geheel geen verschil wat de diepte van beworteling aangaat. Dit zou veroorzaakt kunnen zijn, doordat het zand na een jaar al weer bezakt was.

In de praktijk bestaat grote belangstelling voor mogelijke verbeteringen van de gronden met zandige ondergrond. Op het bedrijf van de Wilhelminapolder bij Goes zijn verschillende percelen of perceelsgedeelten tot een diepte van 65 cm geploegd om een zekere menging van de zavelaag met het onderliggende zand te krijgen. Enkele wortelbeelden met bijbehorende profielen van wel en niet bewerkte grond zijn weergegeven in fig. 8a t/m 8d.

FIG. 8. *Effect of deepplowing (to a depth of 65 cm) on a soil consisting of a sandy clay layer of about 40 cm, overlaying a sandy subsoil. A second sandy claylayer starts at a depth of 65 cm.*

c. Profiel na diepploegen.

d. Haverwortels in profiel c.



c. *Profile after deep plowing (clay and sand are uncompletely mixed).*

d. *Oats roots in profile c (many roots follow the clayish parts of the subsoil).*

Fig. 8a stelt het profiel voor van een onbehandeld deel van een perceel. De zavellaag was op dit perceel ongeveer 30–35 cm dik en bevatte 19% afslibbare delen. Van 35–65 cm kwam een zandlaag voor, terwijl op 65 cm weer een zavellaag begon. Het bijbehorende wortelbeeld van de met behulp van een spijkerplank uitgespoelde haverwortels is in fig. 8b weergegeven. Beneden 45 cm komen bijna geen wortels meer voor.

Van het geploegde deel van het perceel is in fig. 8c een beeld gegeven. Men ziet dat de menging van zand en zavel zeer onvolkomen is geweest. De zavellagen waren in het profiel als schuinstaande balken terug te vinden. Zoals in de lijn der verwachtingen ligt, hebben de wortels gunstig op de veranderde situatie gereageerd. In dit profiel drongen de wortels door

tot 1,10 m. Het bijzondere van de afbeelding van het wortelstelsel in fig. 8d is, dat zelfs nu de wortels nog niet in de grote zandkernen zijn gegroeid, maar vrijwel alleen hun weg genomen hebben door de „balken” zavelgrond.

Enkele opbrengstcijfers van percelen in de Wilhelminapolder laten zien, dat niet alleen de wortelgroei is beïnvloed, maar dat ook de opbrengsten zijn verbeterd.

TABEL 1. Effect van diep ploegen op opbrengsten

Jaar	Gewas	Opbrengst in kg/ha		
		niet diep geploegd	diep geploegd	
1950	Aardappelen (Bintje)	28 300	30 300	<i>Potatoes</i>
1950	id. (Koopmans Bl.)	24 000	25 000	<i>Potatoes</i>
1951	Zomergerst (korrel)	5 050	5 740	<i>Spring barley (seed)</i>
1951	idem (stro)	5 630	7 560	<i>Spring barley (straw)</i>
Year	Crop	<i>not plowed</i>	<i>plowed deep</i>	
		Yield in kg/ha		

TABLE 1. Effect of deep plowing on yield of potatoes and barley

Deze resultaten wettigen de verwachting, dat verbeteringen door eenvoudige bodembewerkingen mogelijk zijn.

4. BESCHOUWING VAN DE RESULTATEN

Het ligt voor de hand om de oogstdepressies op gronden, die een dunne zavel- of kleilaag op zand hebben, toe te schrijven aan vochtgebrek. Dit impliceert echter niet, dat watergebrek ook de oorzaak zou zijn van de geremde wortelgroei in het zand. Het onwaarschijnlijke van een dergelijke veronderstelling volgt hieruit, dat op het moment, waarop de wortels zijn doorgedrongen tot aan het zand, daarin nog voldoende vocht aanwezig moet zijn om wortelgroei mogelijk te maken. Het verschil in vochtgehalte van het zand bij „field capacity” en verwelkingsgrens is weliswaar kleiner dan bij zavel of klei, maar toch weer niet zoveel, dat wortelgroei daardoor onmogelijk zou zijn in deze laag. In enkele gevallen hebben wij trouwens gevonden, dat de grondwaterstand in profielen met een zaveldek van 40 cm tot Juli minder dan 80 cm diep daalde, terwijl toch geen wortels verder dan 10 cm in het zand drongen. Daar in een dergelijk geval de capillaire zone ongeveer tot aan de zavel zal reiken en het zand dus permanent vochtig bleef, is dit een meer direct bewijs voor de onwaarschijnlijkheid van vochtgebrek in dit type zandondergronden als oorzaak van de geremde wortelgroei.

Wanneer echter eenmaal de wortelgroei stopt boven in de zandlaag, spreekt het vanzelf, dat de vochtvoorraad in de doorwortelde laag van deze profielen gewoonlijk te klein is voor een optimale opbrengst, vooral wanneer de grondwaterstanden in het groeiseizoen diep dalen.

Gebrek aan voldoende zuurstof in de zandige lagen kan ook nauwelijks dienen om de afwezigheid van wortels in het zand te verklaren. Sterk zuurstofgebrek in dit soort zand maakt zich evenals in klei en zavel kenbaar door de blauwe kleur van gereduceerde ijzerverbindingen (hierin dringen inderdaad nooit de wortels van onze landbouwgewassen door). Er is dus in de normale gevallen voldoende zuurstof aanwezig om gereduceerde ijzerverbindingen te oxyderen tot een diepte, die ongeveer overeenkomt met de grondwaterstanden in de zomer en kleine hoeveelheden zuurstof zijn in de ondergrond toch al voldoende om wortel-

groei mogelijk te maken, zoals blijkt uit het meermalen geconstateerde feit, dat zelfs in de bovenste laag van het grondwater vrij wat wortels kunnen doordringen.

In verband met het verschil in wortelgroei in het zand van ongestoorde profielen en in ondergespit zand (vergelijk de objecten van onderzoek c en b), kan men denken aan 2 mogelijke verschillen in dit zand en wel aan chemische of fysische verschillen.

Wat de chemische verschillen betreft, deze bestonden inderdaad en wel waren de voorraden plantenvoedsel meestal hoger in het vers afgezette ondergespitte zand, dan in het zand van de ongestoorde profielen. Een voorbeeld daarvan levert de vergelijking van het zand in de profielen, die zijn afgebeeld in fig. 1a en fig. 3a.

	CaCO ₃	P-citr.	Kali	Opmerkingen
WO 338 (fig. 3a)	6,0	8	6	zand in natuurlijk profiel
WO 337 (fig. 1a)	2,3	15	11	

Hoewel het ondergespitte zand dus rijker is, kan men toch moeilijk de opvatting verdedigen, dat voedselarmoede in de ondergrond de wortelgroei onmogelijk heeft gemaakt.

Zand, dat GOEDEWAAGEN (Het wortelstelsel der landbouwgewassen, 1942) in bakken gebruikte, was eveneens zeer voedselarm en toch groeiden wortels door een laag van 75 cm heen. In de boven het zand liggende zavel laag zal verder zeker de hoofdbron voor voedsel gezocht moeten worden.

Tenslotte blijven nog de fysische factoren in het zandprofiel over voor een mogelijke verklaring van de gestoorde wortelgroei. Allereerst volgt hieronder de granulaire samenstelling van het zand, zoals dat in de natuurlijke afzetting of ondergespit voorkwam:

	Humus	Granulaire samenstelling (in %)									Opmerkingen
		<16 μ	16-50 μ	50-75 μ	75-105 μ	105-150 μ	150-210 μ	210-300 μ	300-420 μ	420-600 μ	
WO 338 (fig. 3)	0,1	0,5	1,5	1	7	37	31	13	8	1	Zand in natuurlijk profiel
WO 337 (fig. 1)	0,3	1,5	0,3	0,5	5	27	50	15	1	0,1	

Dergelijk zand blijft zijn korrelstructuur behouden, wanneer het onder de bouwvoor voorkomt. Scheuren treden er bij uitdrogen niet in op. Men mag in dergelijk zand een groot aantal nauwe poriën verwachten, die in diameter slechts weinig variëren.

De gedachte komt daarom op, dat het niet-indringen van wortels in dergelijke lagen samenhangt met het ontbreken van voldoende wijde poriën. VIEHMEYER en HENDRICKSON (*Soil Science* 65 (1948) 487-493) huldigen eveneens de opvatting, dat de wortelgroei bij bepaalde dichtheden in zand onmogelijk wordt door te nauwe poriën.

Uit een vergelijking van volumegewichten van enkele zanden werd bij ons onderzoek gevonden, dat een dichtheidsverschil samenhangt met een verschil in wortelgroei. Het volumegewicht van het zand in het natuurlijk profiel WO 338 was namelijk 1,611 ($\pm 0,006$) en dat van het ondergespitte zand in profiel WO 337: 1,466 ($\pm 0,011$). De bepalingen werden in 8-voud gedaan. In het eerste geval drongen geen, in het tweede wel wortels in het zand door.

De opvatting, dat een te dichte pakking van het zand de wortelgroei heeft verhinderd, vindt steun in de proef, waarbij zand werd losgespit (zie fig. 7b) en wel wortels indrongen. Dat in het tweede jaar na aanleg van deze proef geen effect van het losmaken meer werd gevonden, moet dan toegeschreven worden aan verder bezakken van het zand.

Ook het feit, dat de worteltoppen zich bij groeiverhinderende in het zand verdikken, kan een aanwijzing zijn voor de mechanische weerstand, die ze in het dichte zand ondervinden.

Het voorgaande geeft sterke aanwijzingen, dat de poriënverdeling in het zand als een belangrijke oorzaak van het niet-indringen van wortels moet worden beschouwd. Indien verder onderzoek zou bevestigen, dat deze oorzaak als regel een der belangrijkste is, zou dit een resultaat zijn, dat van veel belang is voor de mogelijkheid van verbetering dezer gronden door cultuurtechnische maatregelen. Dit geldt niet alleen voor de gronden met een dunne zavelaag op zand, maar ook voor bepaalde zandgronden, waarin de wortelgroei eveneens moeilijkheden kan ondervinden, zoals hiervoor is beschreven en in fig. 6 werd getoond.

SUMMARY

SOME DATA ON ROOT DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL CROPS IN SANDY LAYERS OCCURRING IN SANDY CLAY SOILS

by C. VAN DEN BERG and D. VAN DEN BOSCH

In the province of „Zeeland” (Netherlands) root observations with sugarbeets, peas, barley and other crops were carried out on marine soils with a surface layer of sandy clay covering a subsoil which only contained sand. The root development of these profiles was compared with that of homogeneous profiles consisting of either sandy clay or sand over the whole depth. Moreover root behaviour was studied in similar soils after disturbing the clay and sand layers separately or after mixing both layers by means of deep plowing.

It was found that in marine soils with a clay cover above a sandy subsoil the roots stopped their growth near the boundary between clay and sand (fig. 3b). On the other hand a deep root system was observed in soils, which contained clay material to a great depth. The shape and the branching of beet roots in the surface soil seemed to be dependent on the thickness of the clay layer and the corresponding depth of the root system (fig. 4a, 4b, 4c). In sand profiles without clay covered with barley, the bulk of the roots was found in the topsoil which contained a certain amount of humus (fig. 6).

In soils with a thin clay cover on sand root penetration could be improved by deep plowing (comp. fig. 8b and 8d).

The same effect could be obtained when the sand and the clay layers were disturbed separately (1b, comp. 7a and 7b). In the latter case, however, the root mass in the sand seemed to diminish after about one year because of restored packing.

In undisturbed soils the yield of peas and barley increased in the dry summer of 1949 with the thickness of the clay layer up to a maximum with a clay cover of about 70 cm or more (fig. 5). A similar result was obtained in the same year with four different crops in a soil, in which deep cultivation was applied without mixing clay and sand (fig. 2). In this experiment crop growth also diminished with decreasing thickness of the clay cover in spite of the intensive root extension in the broken sandy subsoil. In more wet years however, crop growth was satisfactory in these profiles and independent of the thickness of the clay layer. In another experiment deep plowing (mixing a clay layer of 35 cm with the underlying sand to a depth of 65 cm) gave a higher yield than it did on the undisturbed soil (table 1 on page 110).

The factors affecting root growth in the sandy subsoil are discussed. Some influence is attributed to lack of nutrients or oxygen as causes of the slight root development in the sand. The small pore spaces and the lack of wider spaces between the particles in undisturbed sand layers are considered as the principal cause of the shallow rooting in these profiles.

VII. DE BEWORTELING VAN VRUCHTBOMEN OP PROFIELEN MET EEN DUNNE KLEILAAG OP ZAND

J. BUTIJN

Proefstation voor de Fruitteelt in de Volle Grond, Wilhelminadorp

1. INLEIDING

In droge jaren, zoals in 1947 en 1949, valt het op, dat fruitbomen op sommige percelen of gedeelten van percelen veel sneller last van droogte ondervinden dan op andere. De financiële gevolgen van een slechte stand kunnen aanzienlijk zijn, zoals af te leiden valt uit tabel 1, waarin de gemiddelde opbrengsten per boom van twee appelvariëteiten op twee percelen in drie opeenvolgende jaren zijn opgenomen.

TABEL 1. Enkele gemiddelde opbrengsten per boom

Jaar	Opbrengst in kg	
	Wortelbeeld fig. 2	Wortelbeeld fig. 1
<i>Schone van Boskoop op zaailing</i>		
1950	150	90
1951	211	160
1952	175	128
	Wortelbeeld fig. 4	Wortelbeeld fig. 3
<i>Jonathan op Zaailing</i>		
1950	47	26
1951	—	47
1952	85	87

TABEL 1. Average yield per tree growing on a soil profile given by fig. 1, 2, 3 and 4

In 1950 trad bij een zeer grote verdamping en een normale regenval enige verdroging op bij fruit, zoals bleek uit de opbrengst van dat jaar. Verder blijkt, dat de opbrengst van droogte-gevoelige percelen meestal achterblijft bij die van normale percelen. Dit is een gevolg van een slechtere groei van de fruitbomen op deze droogte-gevoelige gronden. De omvang van de bomen blijft kleiner, zodat niet de normale productie wordt bereikt. Voor een goed begrip van de oorzaak van dit productieverval zij verwezen naar de figuren 1, 2, 3 en 4, die een beeld geven van de ontwikkeling van het wortelstelsel en de bouw van het bodemprofiel op de percelen, waarvan in tabel 1 de opbrengsten zijn vermeld.

Het onderzoek naar de oorzaken van deze toestand leidde bij ons werk tot de analyse van de volgende groeifactoren:

- a. Bodemprofiel;
- b. Grondwaterstand en bodemvochtigheid;
- c. Beworteling.

a. Bodemprofiel

De gronden waarop het fruit symptomen van droogteschade vertoont, blijken veelal de z.g. plaatgronden te zijn (zie fig. 1, 3 en 4).

Het profiel van deze plaatgronden bestaat uit een boven dek van een betrekkelijk dunne laag zavel of lichte zavel, dat via een geleidelijke of snelle overgang gevolgd wordt door meer of minder grof zeezand. De dikte van de slibhoudende (d. w.z. meer dan 10 % deeltjes kleiner dan 0,016 mm bevattende) dekken kan variëren. De meest sprekende verschillen in de groei van het fruit krijgen men, indien de slibhoudende lagen minder dan 60 cm dik zijn. De U-cijfers van het zand liggen in de nabijheid van 100. Bij beschouwing van de poriënvolumina van de profielen, aangegeven bij de fig. 1 t/m 4, valt het op, dat het poriënvolume in het zand meestal klein is en doorgaans kleiner dan in de zavel. Door de beweging van het grondwater is dit grove humusarme materiaal stevig aangeplempt. De slechtste stand van het fruit treedt op bij de dunste kleidekken op het grofste zand. De chemische analyse van het zand gaf geen bijzonderheden. Het zand is nauwelijks armer dan lichte zavel op dezelfde diepte. Evenals de meer slibhoudende ondergronden is het kalkrijk. Een voorbeeld geeft tabel 2.

TABEL 2.1 Chemische bodemanalyse van een plaat- en een schorgrond

Diepte	Grondsoort	pH dpm	Ca dpm	K dpm	Mg dpm	P dpm	N(O ₃) dpm	Fe dpm	Mn dpm
<i>Plaatgrond</i>									
0-20 cm	zavel	7,18	5000	40	60	5	14	1	5
20-40 cm	lichte zavel	7,20	7000	10	50	2	7	1	5
40-60 cm	zand	7,47	4000	6	30	$\frac{1}{2}$	1	1	4
60-80 cm	zand	7,78	5000	6	30	$\frac{1}{2}$	1	1	3
<i>Schorgrond</i>									
0-20 cm	zavel	7,20	5000	24	45	4	10	1	1
20-40 cm	zavel	7,41	5000	11	60	1	14	1	1
40-60 cm	lichte zavel	7,69	4000	6	22	$\frac{1}{2}$	1	1 $\frac{1}{2}$	1
60-80 cm	lichte zavel	7,62	6000	6	40	$\frac{1}{2}$	2	1	2

¹ De hoeveelheid van de verschillende elementen is aangegeven in delen per miljoen, opgelost in een grondextract verkregen met Morgan's extractievlloeistof.

TABLE 2. Chemical soil analysis of a „plaatgrond” and a „schorgrond”

De reactie van fruit op de plaatgronden is meestal vergeleken met die op schorggronden. De laatstgenoemde bezitten veelal tot 1 m diep een geleidelijk lichter wordend, maar nog steeds slibhoudend profiel. Een voorbeeld van een ondiep schorggrondprofiel geeft fig. 2, waarbij de slibhoudende lagen niet dikker zijn dan 0.80 m.

b. Grondwaterstand en bodemvochtigheid

De grondwaterstand in deze plaatgronden is meestal te laag. Dit wil zeggen, dat de grondwaterspiegel gedurende een groot deel van het groeiseizoen zo diep is gedaald, dat de capillaire zone boven het grondwater geen contact meer maakt met de bovenliggende kleilaag. Uit vochtbepalingen in deze profielen is gebleken, dat de capillaire zone ca 50 cm hoog is. In de meeste gevallen heeft de capillaire zone in de winter contact gemaakt met en is zij doorgedrongen in het kleidek, voordat het grondwater weer daalt in het groeiseizoen.

De gevolgen van een dalende grondwaterspiegel blijken uit de verticale vochtverdeling in de profielen (zie figuren 6 t/m 9)³. Aanvankelijk vertoont de kromme der vochtgehalten een

² Figuur 6 behoort bij het bewortelingsbeeld in figuur 1

[illegible]

33	8	33	33	33	33	33	33
33	8	33	33	33	33	33	33

"	"	"	"	"	"	"	"
"	9	"	"	"	"	"	4

zwakke knik naar lagere waarden in de hoogste zandlagen tegen het kleidek aan. Daalt de grondwaterstand, ook al verbruikt het gewas nog geen vocht, dan wordt deze knik in de vocht-kromme veel meer uitgesproken. Gaat het gewas bovendien vocht gebruiken, dan ontstaat in de meeste gevallen de typische zomervochtcurve met een sterke knik ter hoogte van de hoogste zandlagen onder het kleidek.

Het bleek, dat het vochtgehalte in deze droge zandlaag onder het kleidek niet (tenminste niet in 1950, 1951, 1952) tot het verwelkingspunt daalde. Wel werd de „fieldcapacity” (pF 2,7) af en toe overschreden en het verwelkingspunt vaak dicht benaderd. Het vochttransport vanuit het grondwater naar de doorwortelde bovengrond zal dan zeer langzaam verlopen. De droge zandlaag is de „bottleneck” voor de aanvulling van vocht in de bovengrond vanuit de ondergrond. Op zijn beurt is de droge zandlaag weer een gevolg van een te beperkte capillaire opstijging.

De dicht doorwortelde bovenlagen van de plaatgronden worden veel sterker in vocht uitgeput dan dezelfde lagen van een normaal schorgrondprofiel.

Het grootste deel van de vochtonttrekking in de zomer lijkt zich in de plaatgronden te voltrekken in het meestal dunne kleidek en in de hoger gelegen zandlagen. In de schorgrondprofielen daarentegen is de vochtonttrekking over een groter deel van het profiel verdeeld. Deze grotere vochtonttrekking uit de bovengrond van de plaatgronden geeft in de genoemde droge jaren de spectaculaire verschillen in opbrengst en groei van de vruchtbomen.

c. Beworteling

De beworteling van het fruit, zowel van appel, peer als pruim, blijkt praktisch geheel beperkt te blijven tot het slibhoudende gedeelte van het bodemprofiel (zie figuren 1 t/m 4)¹.

Slechts enkele wortels dringen in de zandlaag onder het kleidek door. Vaak gebruiken deze wortels wormgangen of humusresten van reeds vergane wortels. Wanneer veel wormgangen in het zand voorkomen, lijkt dit doordringen van wortels in het zand wel van belang voor de boom. De dode wortels, die soms als „gangmakers” van de levende dienst doen, bleken van gerooide olmen of populieren afkomstig te zijn. Wanneer de zandlagen gewoeld zijn vóór het planten van de boomgaard, kan het zand ook ter diepte van de woelgang doorgroeid worden met wortels. Ook wanneer de zandlagen worden gemengd met slibhoudend materiaal zullen de wortels in de gemengde lagen van het profiel doordringen (zie fig. 5: Beworteling in het vergraven gedeelte na slechts twee groeiseizoenen).

Bij een nevenstudie aan enkele landbouwgewassen bleek ons, dat na het vermengen van het zand met slibrijk materiaal de vochtonttrekking ook over een groter deel van het profiel gaat plaats vinden. De dieper doorgedrongen wortels nemen eveneens in diepere lagen vocht op. Bovendien is de aanvoer van capillair water op grotere diepte sneller dan op geringe diepte in de grond. Het is dan ook verklaarbaar, dat na het vermengen van het zand met de klei de groei en de opbrengst van de gewassen beter zijn.

Het is vermeldenswaard, dat een oude proef, aangelegd in de twintiger jaren in de Wilhelminapolder, waarbij het zand alleen werd doorgespit en niet met klei vermengd, in 1947, 1949 en 1950 geen resultaat heeft opgeleverd. De landbouwgewassen vertoonden daar ter plaatse dezelfde stand als op niet behandelde grond.

Een gunstige rol spelen slibbandjes in de zandlagen onder de kleidekken. Deze herbergen vaak zeer veel wortels op een diepte, waar de capillaire opstijging nog behoorlijk genoemd moet worden (zie fig. 4). De weinige wortels, die in het zand doordringen, hebben blijkbaar

¹ De wortelopname geschiedde volgens de methode van OSKAMP & BATJER (zie literatuuropgave). Overigens zij verwezen naar de paragraaf „Toelichting bij de figuren” aan het einde van het artikel, waarin de gevolgde methode zeer in het kort is omschreven.

volgens fig. 4 in het diep gelegen sliblaagje een netwerk van wortels doen ontstaan. Zowel bij appel als bij peer namen wij deze doorworteling van slibbandjes waar.

Of dieper gelegen slibbandjes in het zand onder het kleidek bereikt kunnen worden, hangt van de omstandigheden en van het gewas af. Een zandlaag ter dikte van 40 cm blijkt door de wortels der akkerbouwgewassen meestal niet overbrugd te kunnen worden. Fruitbomen slagen er met een beperkt aantal wortels meestal wel in.

We kunnen in principe de beworteling en daarmee de vochtvoorziening van de gewassen op de plaatgronden dus verbeteren door de zandlagen van slibhorizonten te voorzien, of door het zand te vermengen met slibhoudend materiaal. De laatste methode zal bij de uitvoering wel de minste moeilijkheden opleveren.

2. VERKLARING VAN HET AANGETROFFEN BEWORTELINGSBEELD

Verskillende oorzaken van het ontbreken van de beworteling in de zandlagen onder het kleidek lijken op het eerste gezicht aannemelijk en wel:

1. De chemische armoede van het zand.
2. De waterhuishouding van de zandlaag onder de kleilaag.
3. De poriënverdeling in het zand.

Ad 1. De armoede aan plantenvoedingselementen van het zand valt soms mee, maar is een feit. Lichte zavelen zijn slechts weinig rijker en toch behoorlijk doorworteld op een vergelijkbare diepte. De armoede aan plantenvoedingselementen van het zand lijkt ons niet de oorzaak van de ontbrekende beworteling in deze lagen.

Ad 2. De waterhuishouding van het humusarme zand is stellig zeer ongunstig. Na de winterperiode bij een hoge grondwaterstand zijn vrijwel alle poriën van het zand met water gevuld. Na het wegtrekken van het capillaire water naar de diepte, blijft betrekkelijk weinig water beschikbaar. Met het afnemen van het gemakkelijk beschikbare water neemt bovendien de transportsnelheid van het water af, zodat de watertoevoer naar de wortels zeer gering wordt.

Zware, kalkarme lagen kunnen ook zeer arm aan plantenvoedingselementen zijn en bovendien arm aan gemakkelijk opneembaar water. Deze lagen worden wel in mindere mate, maar toch nog behoorlijk doorworteld. De wortels lopen bij dit materiaal door de scheuren, die bij droogte ontstaan. Waarschijnlijk helpen de wortels zelf door hun vochtonttrekking bij het ontstaan van deze scheuren. In het zand treden deze scheuren evenwel niet op.

Het blijkt tenslotte, dat diepere zandlagen, die behoorlijk vochtig blijven, ook niet doorworteld worden. Vrijwel steeds neemt men waar, dat een wortel zich verdikt en zijn groei staakt na een kleine afstand in het zand te hebben afgelegd.

De periodiek droge lagen in het zand onder het kleidek lijken meer het gevolg dan de oorzaak van de ondiepe beworteling te zijn. Door de intensieve vochtonttrekking aan de dunne slibhoudende bovengrond wordt op het zand eronder een grote zuigkracht ontwikkeld, zodat de bovenste zandlaag sterk in vocht wordt uitgeput. Doordat de dieper gelegen zandlagen ten gevolge van de diepe grondwaterstand ook niet zeer vochtig zijn, wordt het verbruikte vocht in de bovenste zandlaag slechts langzaam aangevuld, zodat deze relatief vochtarm blijft.

Ad 3. De poriënverdeling in het zand moet zeer ongunstig zijn voor de plantenwortel. In de zandlagen komen de allerlaagste poriënvolumina voor die wij tot nu toe ontmoetten.

Bovendien ontbreken grote poriën vrijwel geheel. Het zand scheurt 's zomers ook niet, zoals klei. Een tijdelijke verbetering van poriënverdeling kan men ook dan niet verwachten.

Zodra door dode wortelresten of door wormgangen het zand plaatselijk minder dicht van pakking is, dringen de wortels naar diepere lagen door en trekken zich blijkbaar van de droogte van de omringende grond niets aan.

Het wil mij voorkomen, dat de ondiepe beworteling bij klei-op-zand-profielen dan ook in de eerste plaats geweten moet worden aan de zeer dichte pakking van de zandondergrond. Door mechanische bewerking kan men deze pakking tijdelijk verbeteren, maar door de beweging van het grondwater wordt het zand vrij spoedig in zijn oorspronkelijke ligging teruggebracht.

Alleen vermenging met humus of klei kan het poriënvolume en de poriënverdeling in het zand meer blijvend verbeteren. Uit de stand en de opbrengst van vruchtbomen op profielen met dikke kleilagen op zand en uit de bewortelingsbeelden op deze profielen blijkt, dat deze vermenging tot 0,90 à 1 m diepte zal moeten plaats vinden voor een optimale ontwikkeling van vruchtbomen. Dit geldt uiteraard alleen bij de grondwaterstanden zoals deze in de laatste jaren zijn aangetroffen.

3. SAMENVATTING

Bodemprofielen met een dunne kleilaag op zand vertonen een ondiepe beworteling. Dit heeft tot gevolg, dat vruchtbomen op deze gronden klein blijven en daardoor minder produceren, vooral in droge groeiseizoenen. De oorzaak van deze ondiepe beworteling, die in hoofdzaak beperkt blijft tot de kleilaag en zich niet of nauwelijks tot in het zand uitstrekt, is niet geheel duidelijk. Vooral de dichte pakking van het zand kan, naast de betrekkelijke armoede aan plantenvoedende bestanddelen en de ongunstige waterhuishouding, als oorzaak van de ondiepe beworteling worden beschouwd.

TOELICHTING BIJ DE FIGUREN

De figuren 1 en 2 stellen de beworteling voor van de appel (hoogstam) Schone van Boskoop op zaailing onderstam, fig. 1 op een plaatgrond, fig. 2 op een schorgrond. Deze bomen staan op hetzelfde perceel, krijgen dezelfde verzorging en zijn nagenoeg even oud. Alle wortels, die in de wand van een profielkuil zijn afgestoken, werden „op kaart gebracht” m.a.w. zijn in hun juiste ligging in de figuren weergegeven. Naar gelang van de diameter zijn de wortels met verschillende stippen aangeduid. De wand van de profielkuil begint dicht bij de betreffende boom en loopt ongeveer tot een punt midden tussen de vier bomen, waarvan de eerstgenoemde boom er een is.

Figuur 6 geeft de vochttoestand weer in 1952 in de grond, behorende bij fig. 1. Evenzo behoort figuur 7 bij figuur 2.

De figuren 3 en 4 stellen de beworteling voor van de appel Jonathan op zaailing onderstam, eveneens beide op hetzelfde perceel. Door de slijband op 0,80 m diepte is de boom behorend bij fig. 4 beter gegroeid, terwijl de beworteling ook aanmerkelijk dieper is. Bij fig. 3 behoort fig. 8, die de vochttoestand van dit profiel weergeeft. Bij fig. 4 behoort evenzo fig. 9.

Fig. 5 geeft de beworteling van de appel Jonathan op de matig sterke onderstam E.M. type XI, nadat een strook in het profiel 1½ jaar tevoren goed dooreen gewerkt was tot 60 cm diep.

De beworteling werd bovendien op verscheidene andere profielen nagegaan. Zo o.a. bij de appel Schone van Boskoop op de matig sterke onderstam E.M. type II, zowel op een plaatgrond als op een met slijbrijker materiaal gevulde kreek, die door deze plaat heenloopt. De wortelbeelden van deze appelbomen zijn niet in dit artikel opgenomen, omdat zij een soortgelijk verband tussen de dikte van de zavelaag en de wortelverdeling te zien geven als in de figuren 1 t/m 4 is afgebeeld. Een overeenkomstig resultaat werd verkregen bij een wortelonderzoek van de peer Louise Bonne d'Avanches op kwee A. Ook bij de peer werd de bewortelingsdiepte in hoofdzaak door de dikte van de zavelaag bepaald.

SUMMARY

ROOT DEVELOPMENT OF FRUITTREES ON PROFILES WITH A THIN CLAYLAYER UNDERLAIN BY SEASAND

by

J. BUTIJN

Soil profiles consisting of a thin layer of clayish material underlain by seasand, show a shallow root system of the plants growing on them. This shallow rooting leads to smaller fruittrees which produce less fruit, especially in dry summers. The cause of this shallow rooting, which is mainly restricted to the clayish material, is not completely clear. Especially the small percentage of pores in the sand, besides the relative poverty in nutritive elements and the unfavourable water management in the sand, can be considered as causes of the shallow rooting.

Remarks to the figures

Figs. 1 to 5 show the profiles, on which the localisation is given of the apple roots, observed after digging a pit at some distance of the trees.

The main character of the soil in the different layers is given on the right, whereas the colour of the soil, relating to the layers a, b, c and so on, is described below. The name above the pictures gives the variety, which has been studied. On either side the depth (diepte) of the different layers is indicated in cms below the surface.

Figs. 6 to 9 show the moisture content and the groundwater levels corresponding with the profiles given in the figs. 1 to 4 respectively.

GLOSSARY

humus %	= humus content (%)
slib	= clay particles ($< 0,016$ mm)
grof zand	= coarse sand
poriënvolume	= pore space
zavel	= silt loam (light clay soil with more than 7% clay < 0.002 mm)
dunne slibband	= thin layer of silt loam
enkele wormgangen met wortels	= some wormholes with roots
diepte cm	= depth (cms below surface)
% vocht	= moisture content (%)
gws	= groundwater level.

LITERATUUR

1. GOEDEWAAGEN M. A. J., Het wortelstelsel der landbouwgewassen. (Directie van de Landbouw, Alg. Landsdrukkerij, 's-Gravenhage) 1942.
2. OSKAMP, J. and L. P. BATJER, Soils in Relation to Fruit Growing in New York. O.a. Bull. 575 Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. 1933.
3. VELDMAN, G., Over de landbouwkundige waarde van lichte mariene gronden. Intern rapport Directie Wieringermeer (Noordoostpolderwerken) 1948.

FIG. 1. Beworteling van Schone van Boskoop (hoogstam) op zaailing onderstam op een plaatgrond

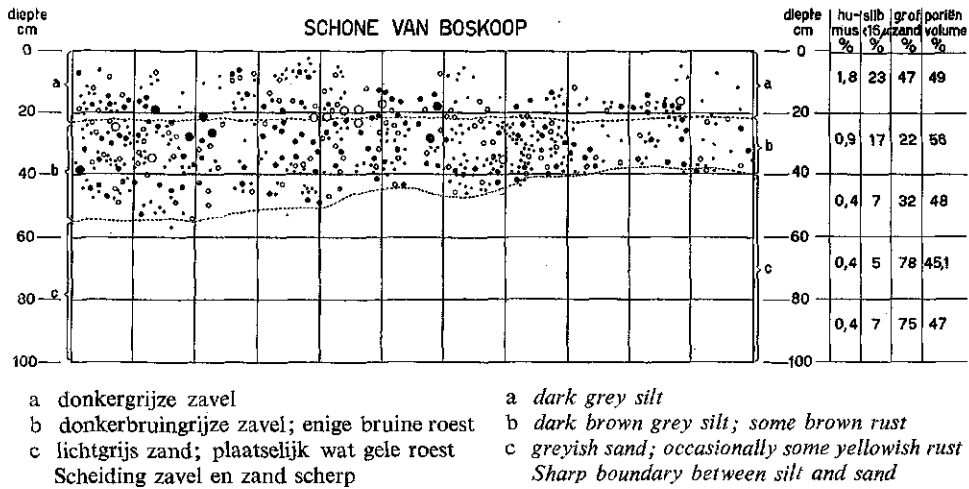
FIG. 1. Root distribution of *Schone van Boskoop* (standard tree) on seedling rootstock in a "plaatgrond"

FIG. 2. Beworteling van Schone van Boskoop (hoogstam) op zaailing onderstam op een schorgrond

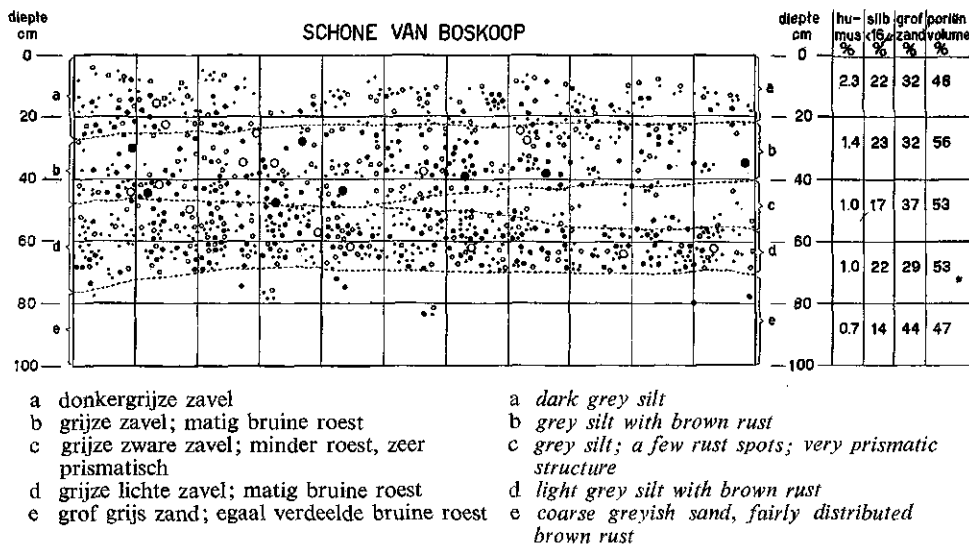
FIG. 2. Root distribution of *Schone van Boskoop* (standard tree) on seedling rootstock in a "schorgrond"

FIG. 3. Beworteling van Jonathan op zaailing onderstam

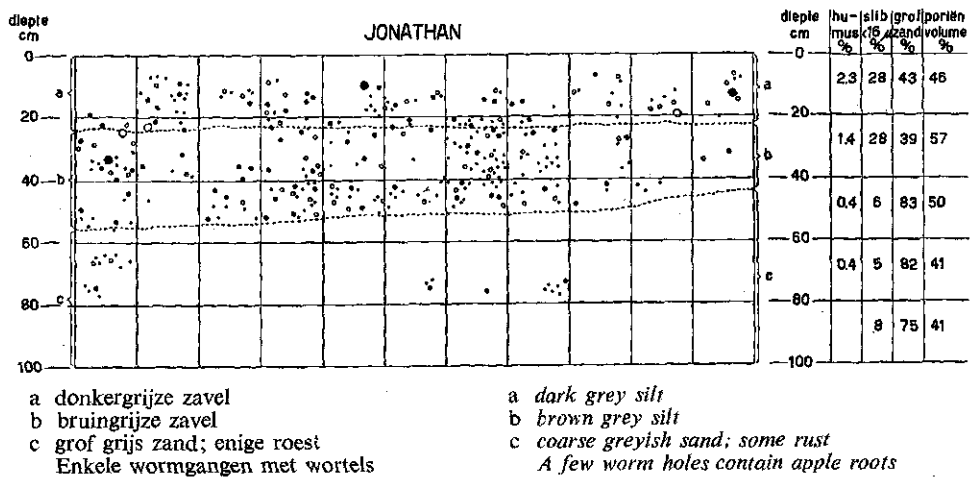


FIG. 3. Root distribution of Jonathan on seedling rootstock

FIG. 4. Beworteling van Jonathan op zaailing onderstam op hetzelfde perceel als in fig. 3, echter met sliiband op 80 cm diepte

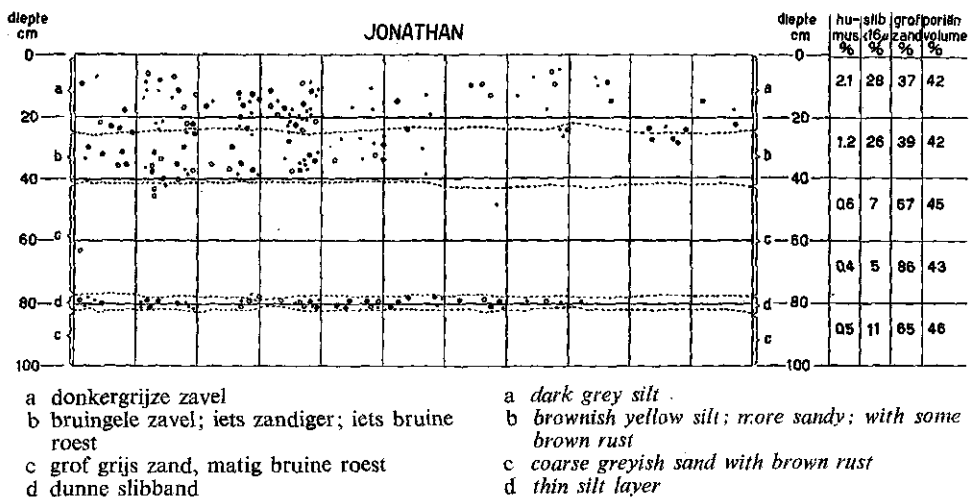
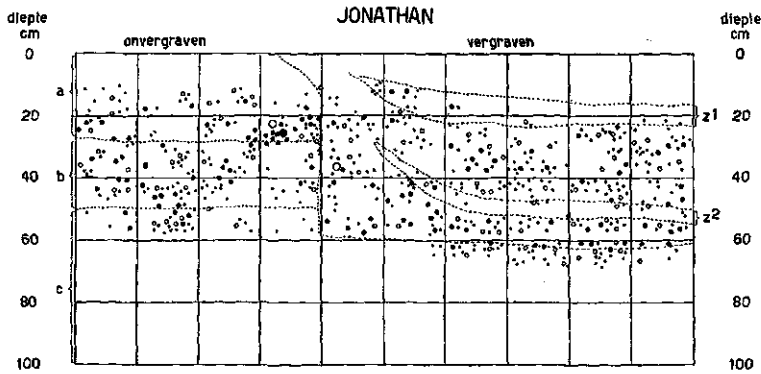


FIG. 4. Root distribution of Jonathan on seedling rootstock on the same parcel as fig. 3; however in this case with a silt layer on a depth of 80 cm

FIG. 5. Beworteling van Jonathan op onderstam E.M. type XI na dooreenwerking van het profiel



a bruinrijze, lichte zavel
b geelrijze, lichte zavel; iets lichtbruine roest
c grijs, grof zand

a brownish grey light silt
b yellowish grey light silt; some light brown rust
c coarse greyish sand

Tot op 60 à 70 cm dooreengewerkt. Een tweetal lenzen van grof zand (z^1 en z^2) zijn hierbij ontstaan. Deze hebben slechts zeer weinig wortels.

Profile mixed to a depth of 70 cm. Two layers of coarse sand (z^1 en z^2) in this mixed profile contain but a few roots.

FIG. 5. Root distribution of Jonathan on EM XI in a mixed soil profile

FIG. 6. Vochttoestand in 1952 van het profiel, behorende bij fig. 1

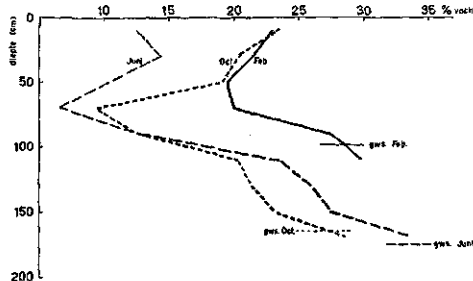


FIG. 6. Moisture content (1952) in the soil profile belonging to fig. 1

FIG. 7. Vochttoestand in 1952 van het profiel, behorende bij fig. 2

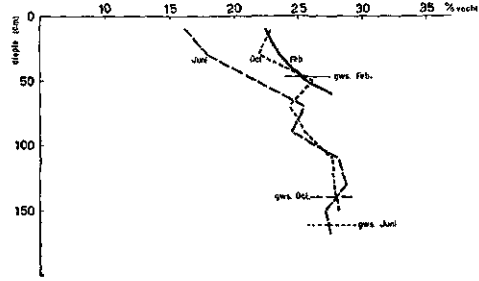


FIG. 7. Moisture content (1952) in the soil profile belonging to fig. 2

FIG. 8. Vochttoestand in 1952 van het profiel, behorende bij fig. 3

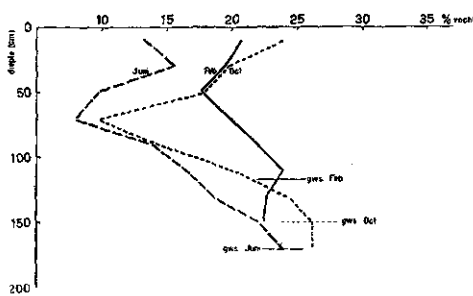


FIG. 8. Moisture content (1952) in the soil profile belonging to fig. 3

FIG. 9. Vochttoestand in 1952 van het profiel, behorende bij fig. 4

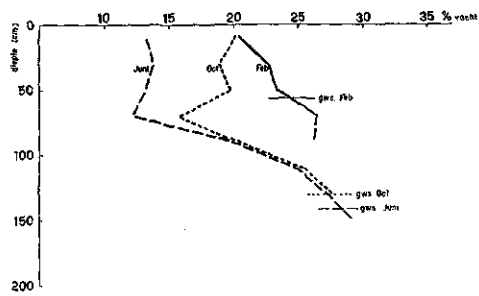


FIG. 9. Moisture content (1952) in the soil profile belonging to fig. 4

gws = grondwaterstand in de bijbehorende maand (depth of the groundwater table)

VIII. DE WORTELONTWIKKELING VAN WINTERTARWE IN KLEI-ZANDPROFIELEN IN BETONNEN BUIZEN BIJ ONGELIJKE KLEILAAGDIKTE, GRONDWATERSTAND EN FIJNHEIDSGRAAD VAN HET ZAND

J. J. SCHUURMAN

Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O., Groningen

1. VRAAGSTELLING EN PROEFOPZET

Bij de eerste waarnemingen, die aan het Landbouwproefstation op grasland werden verricht over de wortelontwikkeling in „klei-zandprofielen” met ongelijke kleilaagdikte, waarvan de resultaten in de eerste twee bijdragen van deze publicatie zijn vastgelegd¹, werd een samenhang gevonden tussen de dikte van de kleilaag en de beworteling. Evenwel kon de vraag, welke eigenschappen, verband houdende met de aard van de klei en het zand, hierbij op de voorgrond traden, niet afdoende worden beantwoord.

Ook het onderzoek naar de beworteling van aardappelen in de Bommelerwaard was in dit opzicht nog onvolledig². Men kan zich afvragen of de waterhuishouding, die zeer sterk afhankelijk is van de soort grond, een invloed op de beworteling kan hebben uitgeoefend.

In de Bommelerwaard kon reeds een zekere invloed van de grondwaterstand worden aangetoond. In Klundert daarentegen, waar het grondwater op de meeste onderzochte percelen zeer diep stond en in de Noordoostpolder, waar alle bestudeerde profielen een grondwaterstand hadden van 150 cm -mv, was het niet mogelijk de vraag naar de invloed van de waterhuishouding op de beworteling in „klei-zandprofielen” afdoende te beantwoorden.

Een andere vraag is, in hoeverre de waargenomen daling van de worteldichtheid op de grens van klei naar zand afhankelijk is van de fijnheidsgraad van het zand en of het voor de wortels verschil uitmaakt, of men in de ondergrond met kalkrijk dan wel met kalkarm zand te maken heeft.

Dit heeft aanleiding gegeven tot een wortelonderzoek met wintertarwe, die gekweekt werd in betonnen buizen, waarin zavellagen van verschillende dikte werden aangebracht op een ondergrond van zand van verschillende fijnheidsgraad, terwijl tevens een variatie tot stand werd gebracht in de grondwaterstand. Het gebruikte zand was in het merendeel der buizen door toevoeging van kalkmergel met kalk verrijkt. Door in een beperkt aantal buizen kalkarm zand te gebruiken, kon de invloed van de kalk in het zand worden nagegaan. In verreweg de meeste buizen rustte de zavel zonder overgangslaag op de zandige ondergrond. In enkele buizen werd tussen klei en zand een overgangslaag met dalend kleigehalte aangebracht om na te gaan in hoeverre het gedrag der wortels hiervan invloed ondervindt.

Om de doeltreffendheid van het wortelstelsel onder deze gevarieerde omstandigheden te kunnen beoordelen, werd aandacht geschonken aan de ontwikkeling van de bovengrondse organen en werd deze in verband gebracht met de waargenomen eigenschappen van het wortelstelsel, alsmede met de verdeling der wortelmassa over de diverse bodemlagen. Hiermee werd tegemoet gekomen aan het bezwaar, dat bij het wortelonderzoek bij Klundert en Velsen en in de Noordoostpolder wegens het ontbreken van opbrengstcijfers en andere gegevens van de grasmat het effect van de kleilaagdikte op de groei der bovengrondse organen niet kon worden beoordeeld.

Voor de onderhavige proef werd gebruik gemaakt van de vier z.g. waterstandsbakken,

¹ Zie blz. 19 en blz. 35 van deze publicatie.

² Zie blz. 72 van deze publicatie.

die zich bevinden op een der terreinen van het Landbouwproefstation, welke vroeger o.m. voor een wortelonderzoek in graslandprofielen bij verschillende waterstanden hebben dienst gedaan (1). In elk dezer bakken, die een diepte hebben van 1 m, werden 18 betonnen buizen met een lengte van 1 m en een inwendige diameter van 30 cm geplaatst, welke met verschillende hoeveelheden zavel en zand werden gevuld.

Iedere bak bevatte 3 series van 6 buizen. In de bakken I, II en III werd iedere serie van 6 buizen als volgt gevuld:

- 1 buis geheel met zand,
- 2 buizen met 25 cm klei op zand,
- 1 buis met 50 cm klei op zand,
- 1 buis met 75 cm klei op zand,
- 1 buis met 100 cm klei.

In de eerste serie werd kalkrijk zand met een U-waarde = 40, in de tweede met een U-waarde = 80 en in de derde met een U-waarde = 127 gebruikt.

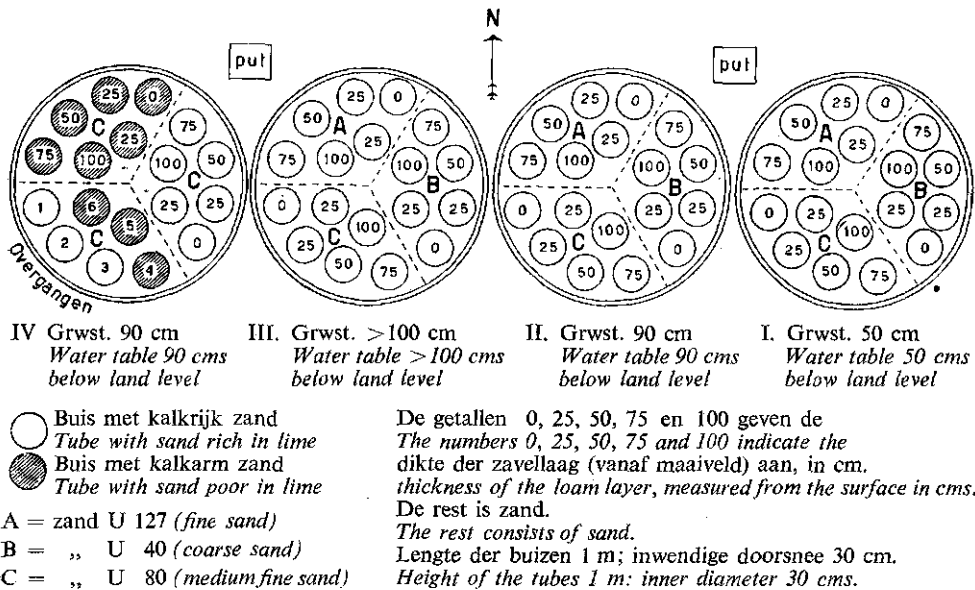
De bakken I, II en III verschilden alleen in grondwaterstand. Deze was in bak I gefixeerd op 50 cm -mv, in bak II op 90 cm en in bak III beneden 100 cm -mv. Aangezien de bakken niet onderdak waren geplaatst, ontvingen ze gewoon neerslag.

De buizen in bak IV dienden voor het onderzoek naar de invloed van de geleidelijke overgang en de kalkrijkdom van het zand. Daarvoor waren 2 series met 6 buizen op dezelfde wijze gevuld als boven vermeld, met dit verschil, dat in de ene serie kalkarm zand was gebruikt. De U-waarde van het zand was 80. In de derde serie van 6 buizen werden geleidelijke overgangen aangebracht bij kleilaagdikten van resp. 10, 40 en 70 cm, voor de helft op kalkrijk en voor de helft op kalkarm zand. De grondwaterstand in deze bak was gefixeerd op 90 cm -mv.

De opstelling van de proef is in beeld gebracht in fig. 1, die na het voorafgaande nauwelijks

FIG. 1. Opstelling betonbuisenproef VPr. 196

Lay-out of the experiment



commentaar behoeft. Men treft in deze figuur naast de bakken twee putten aan, waarin peilbuizen waren opgesteld, om de waterstand in de bakken te regelen. Stijging van het waterniveau in de bakken bij regenval was uitgesloten, doordat het overtollige water automatisch via de peilbuizen wegvloede. Bij een eventuele daling van het waterpeil door verdamping werd het tekort in de bakken met een sproeier aangevuld tot de gewenste hoogte. De fluctuaties van het grondwater bedroegen hoogstens enkele centimeters.

De in deze proef gebruikte klei had een percentage afslibbaar van 25. Alle zandsoorten waren zeer arm aan humus ($\pm 0,5\%$). De cijfers, die in fig. 1 in de buizen zijn geplaatst, geven de dikte van de zavel laag aan. De buizen, die met 0 en 100 zijn aangeduid, zijn dus geheel met zand resp. met klei gevuld.

Aan het vullen der betonnen cylinders met klei en/of zand, in de maand September 1950, werd veel zorg besteed. Op 23 October werd aan alle buizen kunstmest gegeven naar een hoeveelheid van 400 kg super en 300 kg zwavelzure kali per ha. Onmiddellijk daarna werd de tarwe gezaaid. Hiertoe werden in elke buis op 25 plekken, in een vierkantsverband met afstanden van 5 cm, twee tarwekorrels van het ras Lovink in de grond gebracht op een diepte van 2 cm.

De korrels kiemden begin November. De planten bleven evenwel lange tijd klein. Begin Januari maakten ze zelfs een wat armoedige en spichtige indruk. In deze periode stierven in alle buizen meerdere plantjes af. Op 2 April werd aan de jonge planten in alle buizen kalk-ammonsalpeter verstrekt, berekend naar een hoeveelheid van 400 kg per ha. Pas na ca half April werd een duidelijke groei in het gewas waargenomen. Op 28 Mei werd opnieuw stikstof gegeven, ditmaal in de vorm van chilisalpeter (500 kg/ha), daar er, vooral in de bak met de hoogste grondwaterstand, verschijnselen van N-gebrek werden waargenomen. De 18e Juni schoot de tarwe vrijwel in alle buizen in de aar. De planten in de bak zonder grondwaterstand vertoonden toen verdrogingsverschijnselen, voorzover ze groeiden op 100 cm grof zand en bij een kleilaag van 25 cm dikte op grof zand. Op 21 Juni stond de tarwe in bloei. De 11e Juli werden de planten op een hoogte van 5 cm boven de grond afgesneden, gedroogd en gewogen. Het feit, dat begin Januari een deel der toen nog zeer jonge planten was afgestorven, doet geen afbreuk aan de betrouwbaarheid van de drooggewichtsbepaling per buis, daar het bekend is, dat de opbrengst van graanplanten per oppervlakte-eenheid binnen betrekkelijk wijde grenzen onafhankelijk is van de standdichtheid, doordat de uitstoeling toeneemt bij toenemende standruimte. Door GOEDEWAAGEN (mondelijke mededeling) werd bij potproeven gevonden, dat het aantal halmen en aren nauwelijks verschilde, wanneer de potten met 10 planten dan wel met 20 planten begroeid waren. In onze proef was er in de diverse buizen een veel geringere variatie in het aantal planten.

Onmiddellijk na het snijden van het gewas werden in het middengedeelte van de buizen grondmonsters genomen voor wortelonderzoek in lagen van $12\frac{1}{2}$ cm, zo mogelijk tot een diepte van 1 meter. De boor had een doorsnede van 7 cm, zodat de wortelmonsters der 3 boringen tezamen betrekking hadden op een grondoppervlakte van 115 cm^2 . De wortels werden uit de monsters vrijgespoeld en kwantitatief verzameld op een zeef, zoals vroeger door GOEDEWAAGEN (2) is beschreven. Nadat van de gespoelde en geschoonde wortels de habitus (dikte, vertakking enz.) was beschreven, werden ze gedroogd en gewogen.

Vrijwel gelijktijdig met de hier beschreven wortelbemonstering werd een vochtbemonstering uitgevoerd, precies in het centrum van de buizen, eveneens in lagen van $12\frac{1}{2}$ cm. Aangenomen kan dus worden, dat de cijfers, die werden gevonden, de vochttoestand weergeven, zoals die bestond, toen de planten nog aanwezig waren. Opgemerkt wordt, dat de proef niet onder laboratoriumomstandigheden werd genomen. Dit verklaart, waarom hier en daar afwijkingen werden gevonden.

De resultaten van het onderzoek, die thans volgen, geven een summier, doch duidelijk beeld van de wisselwerking tussen de onderzochte bodemomstandigheden, wat hun invloed op de wortelontwikkeling betreft. In hoeverre het voor de wortels verschil maakt, of de zavel scherp van het zand is gescheiden, dan wel of deze geleidelijk in het zand overgaat, kon wegens het tekort aan gegevens niet worden nagegaan. In verband hiermee zullen de uitkomsten van de wortelgroei in de betreffende sector van bak IV onbesproken blijven.

2. RESULTATEN EN CONCLUSIES

De voornaamste gegevens zijn, zowel wat de bovengrondse delen als de wortels betreft, kort samengevat in tabel 1 en, wat de invloed van de kalk betreft, in tabel 3.

a. Wortelontwikkeling

De profielen kunnen worden onderscheiden in twee groepen, nl. homogene, die hetzij uit zuiver zand, hetzij uit zuivere klei bestonden en heterogene, die boven uit klei en beneden uit zand bestonden.

Worteldiepte. Uit tabel 1 valt af te leiden, dat de worteldiepte in de homogene zandprofielen afhankelijk was van de U-waarde van het zand en de grondwaterstand. Bij de hoogste grondwaterstand was de diepte het grootst in grof zand (50 cm), bij de middelste was er weinig verschil (± 50 cm) en bij de diepste wortelden de planten in het fijnste zand het diepst (100 cm). In het grove zand nam de worteldiepte af met dalende grondwaterstand van 50 tot $37\frac{1}{2}$ cm, bij de fijnere zandsoorten nam ze toe; bij U 80 van $37\frac{1}{2}$ tot $62\frac{1}{2}$ en bij U 127 van $12\frac{1}{2}$ tot 100 cm.

In de homogene kleiprofielen (100 cm klei) bereikten de wortels, onafhankelijk van de grondwaterstand steeds een diepte van 100 cm.

In de heterogene klei-zandprofielen was de worteldiepte afhankelijk van de dikte van de kleilaag, de U-waarde van het zand en de grondwaterstand. De invloed van de *kleilaagdikte* komt het duidelijkst tot uiting bij de hogere grondwaterstanden en kwam hierop neer, dat de worteldiepte in de meeste gevallen toenam, naarmate de kleilaag dikker werd.

Het verband tussen de fijnheidsgraad van het zand en de worteldiepte kwam eigenlijk alleen maar tot uiting, doordat de wortels in het fijnste zand bij de lagere grondwaterstanden dieper gingen dan in de grovere zandsoorten.

Een duidelijk verband met de *grondwaterstand* werd gevonden in het fijnste zand (U 127), waarin de diepte van beworteling toenam naarmate het grondwater lager stond. In geringere mate trad dit ook op in het zand met een U-waarde = 80.

Wortelgewichten. De *totale wortelhoeveelheden* waren in de zandprofielen afhankelijk van de U-waarde en de grondwaterstand (tabel 1). Bij de hoogste grondwaterstand werden in het grovere zand verreweg de meeste wortels gevormd, bij de lagere grondwaterstanden was er van een verband met de U-waarde weinig te bespeuren. Een duidelijk verband met de *grondwaterstand* werd ook alleen in het grove zand gevonden. Hierin nam de hoeveelheid wortels af, naarmate de grondwaterstand daalde.

In de kleiprofielen nam de totale hoeveelheid wortels toe, naarmate de grondwaterstand daalde. Alle gewichten waren aanzienlijk hoger dan die, welke in de zandprofielen werden gevonden, uitgezonderd U 40 bij een grondwaterstand van 50 cm -mv.

In de klei-zandprofielen waren de totale wortelhoeveelheden afhankelijk van de kleilaagdikte, de U-waarde en de grondwaterstand.

In de meeste gevallen was het wortelgewicht het hoogst in de kleilagen van 75 cm. Alleen bij de hoogste grondwaterstand werd bij U 40 en U 127 een vermindering gevonden, ter-

wijl in de serie U 80 bij de laagste grondwaterstand geen verschillen werden gevonden.

Het verband met de U-waarde uitte zich bij de hogere grondwaterstanden, op één uitzondering na, in een vermindering van de hoeveelheid wortels, naarmate het zand fijner werd. Bij de diepste grondwaterstand werden maximale hoeveelheden wortels gevonden in de profielen met 25 en 50 cm klei uit de serie U 80 en 75 cm klei uit de serie U 127.

Het verband tussen de grondwaterstanden en de totale wortelgewichten is in de klei-zandprofielen vrij ingewikkeld geweest. In de meeste gevallen werden de laagste wortelgewichten gevonden bij de hoogste grondwaterstand. De uitzonderingen waren de profielen met 25 en 50 cm klei in de serie U 40, waarin bij de laagste grondwaterstand de geringste hoeveelheid wortels werd gevonden en het profiel met 25 cm klei in de serie U 80, dat het laagste wortelgewicht vertoonde bij de middelste grondwaterstand.

De grootste hoeveelheden wortels werden in de serie U 40 twee maal gevonden bij de hoogste grondwaterstand (25 en 50 cm klei) en éénmaal bij de middelste (75 cm klei). In de serie U 80 was dit tweemaal bij de laagste grondwaterstand (25 en 50 cm klei) en éénmaal bij de middelste (75 cm klei), terwijl tenslotte in de serie U 127 eveneens tweemaal de hoogste wortelgewichten werden gevonden bij de laagste grondwaterstand (50 en 75 cm klei) en éénmaal bij de middelste (25 cm klei).

Wanneer tenslotte alle profielen uit één reeks (0, 25, 50, 75 en 100 cm klei) worden vergeleken, dan blijkt, dat in de meeste gevallen een toename optrad totdat de kleilaag een dikte van 75 cm had verkregen. Bij 100 cm klei trad weer een vermindering op. Bij de hoge grondwaterstand bestond een sterke neiging tot nivellering van de verschillen tussen de profielen met klei, waardoor hier de top bij 75 cm klei niet aanwezig was of veel minder uitgesproken.

Wortelverdeling. In het algemeen vindt men in homogene profielen, wanneer er tenminste verder geen storende factoren aanwezig zijn, een *verdeling der wortelmassa*, die naar beneden toe een regelmatige afname vertoont. In de homogene zandprofielen werd iets dergelijks gevonden. De geringe uitzonderingen bij U 80 en U 127 bij de diepste grondwaterstand zijn in dit opzicht niet belangrijk. Doordat de beworteling in de zandprofielen steeds boven de grondwaterspiegel eindigde, werd de verdeling der wortels hierdoor niet direct beïnvloed.

Ook in homogene klei-profielen kan men in de regel een regelmatige afname van de wortelmassa verwachten. De hoogste grondwaterstand oefende evenwel een storende invloed uit, waardoor in het niveau van de grondwaterspiegel een scherpe daling optrad.

Bij de middelste grondwaterstand was het verloop van de beworteling vrij regelmatig.

Bij de diepste grondwaterstand trad in de laag 50-75 cm een verdichting op, waarvoor geen verklaring kan worden gegeven.

In de heterogene klei-zandprofielen moet men rekening houden met de volgende storende factoren:

1. de overgang van klei naar zand;
2. de U-waarde van het zand;
3. de grondwaterstand.

Bij de overgang van klei naar zand werden de volgende verschijnselen waargenomen:

1. in meerdere gevallen een toename van de wortelmassa in de onderste kleilaag;
2. een scherpe afname van de wortelmassa in de bovenste zandlaag; in extreme gevallen eindigde de beworteling op de grens van klei en zand;
3. een verandering van de habitus der wortels.

De onder 1 en 2 genoemde verschijnselen traden alleen op, wanneer de scheiding van klei en zand boven de grondwaterspiegel lag of daarmee samenviel.

De verandering in habitus der wortels bestond hierin, dat de in de klei gevormde slanke,

rijk vertakte wortels bij de overgang van klei naar zand kort en gedrongen werden met weinig, bovendien korte zijwortels.

Een verband van de U-waarde van het zand met bovengenoemde drie verschijnselen is niet gevonden.

De grondwaterstand oefende een nadelige invloed uit op de wortelverdeling in die profielen, waarin de scheiding klei-zand in het grondwater lag of samenviel met de grondwaterspiegel. In het laatste geval is het niet uit te maken, welk deel van de verschijnselen op rekening van de grondwaterstand en welk deel op dat van de klei-zand-overgang moet worden geschreven. In het eerste geval werd in de profielen, waarin boven de grondwaterspiegel nog een belangrijke wortelmassa voorhanden was, een scherpe afname gevonden.

In het voorgaande zijn de verschillen in wortelontwikkeling in verband met profiel, grondwaterstand en U-waarde van het zand besproken.

Wat ons in dit onderzoek uiteraard het meest interesseert, zijn de hiervoor reeds genoemde verschijnselen, die zich hebben voorgedaan in de wortelontwikkeling bij de overgang van klei naar zand en de verklaring daarvan. Daarnaast dient aandacht te worden besteed aan de verklaring der verschillen in worteldiepte, totale wortelhoeveelheden en de onregelmatigheden in de verdeling der wortelmassa in de grond, welke niet samenhangen met de klei-zand-overgang.

De hierboven genoemde verschijnselen wijzen er op, dat het zand bepaalde eigenschappen bezat, waardoor de groei-omstandigheden in het zand ongunstig zijn geweest voor de wortelgroei. Hierbij kan aan de volgende oorzaken worden gedacht:

1. de grondwaterstand en de daarmee samenhangende grond-water-luchtverhouding;
2. de fysische gesteldheid van het zand, in vergelijking met die van de klei;
3. het kalkgehalte van het zand;
4. de vruchtbaarheid van de gebruikte grondsoorten.

We hebben gezien, dat de grondwaterspiegel een duidelijke remmende invloed uitoefende op de beworteling. Deze factor kan evenwel niet rechtstreeks van invloed zijn geweest, wanneer de grondwaterspiegel op een lager niveau lag dan de grens klei-zand. In het laatste geval kan aan een indirecte invloed van de grondwaterstand via de grond-water-luchtverhouding worden gedacht. Deze laatste kan naar gelang van de stand van het grondwater een ingrijpende wijziging ondergaan. Het is te verwachten, dat de grond-water-luchtverhouding in klei en zand verschilt en dat deze factor afhankelijk zal zijn van de U-waarde van het zand.

Inderdaad werd in het grootste deel der profielen een ongunstige wijziging gevonden in de grond-water-luchtverhouding bij de overgang van klei naar zand. Het lijkt dan ook verantwoord in deze proef een verband te zoeken tussen de sterke vermindering van de hoeveelheid wortels en wijzigingen in de grond-water-luchtverhouding. Het blijkt dan, dat in sommige gevallen een zuurstoftekort, in andere een watertekort als oorzaak kan worden beschouwd (tabel 2). Afhankelijk van de hoeveelheden zuurstof of water werd gevonden, dat de wortelgroei een vermindering vertoonde of volledig stopte op de grens van klei en zand. Hiermee is evenwel niet bewezen, dat de grond-water-luchtverhouding de enige bepalende factor is. Het heeft daarom zin de andere, hiervoor genoemde factoren ook aan een beschouwing te onderwerpen. De U-waarde, eveneens een fysische eigenschap van het zand, kan hier buiten beschouwing blijven, omdat de stagnatie van de wortelgroei op de klei-zand-grens - zoals boven werd vermeld - geen direct verband bleek te houden met de verschillen

in U-waarde. De U-waarde beïnvloedt echter wel de grond-water-luchtverhouding, die onder punt 1 werd besproken. Blijkbaar bezit het zand, onafhankelijk van de U-waarde, eigenschappen, die in tegenstelling met de klei een belemmering vormen voor de wortelgroei. De verdikking en de slechte vertakking der wortels in het zand doen vermoeden, dat de wortels in dit milieu een mechanische weerstand ondervinden, die op een of andere manier verband houdt met de fysische gesteldheid van het zand. Deze mechanische weerstand, die de wortels in de drie gebruikte zandsoorten bij hun groei door het zand kennelijk ondervinden, kan veroorzaakt zijn door een te dichte ligging der zanddeeltjes, ook wel „pakking” genoemd.

Uit de volumegewichtsbepaling bleek, dat de pakking dicht, doch niet buitensporig hoog was. In alle grondsoorten was het volumepercentage van de grond ± 60 . Bovendien bleek, dat de grond tijdens de proef in sommige profielen nog in geringe mate nazakte.

Voor de invloed van de kalk verwijzen wij naar tabel 3. Uit deze tabel blijkt, dat het voor de wortelgroei in het zand geen verschil heeft uitgemaakt, of aan het zand al dan niet kalk was toegevoegd.

Uit de chemische analyse van het zand kwam vast te staan, dat alle drie zandsoorten, in tegenstelling tot de klei, buitengewoon arm waren aan voedende bestanddelen. De bemestingen zullen daaraan in de ondergrond weinig of niets hebben veranderd. De vraag is nu, in hoeverre de matige wortelgroei in het zand mede hierdoor veroorzaakt kan zijn.

Het is een voor de hand liggende gedachte, dat de onvruchtbaarheid van het zand rechtstreeks belemmerend heeft gewerkt op de wortelgroei. GOEDEWAAGEN (3) vond evenwel, dat door een rijke bemesting van de bovengrond met fosfaat en kali ook een sterkere wortelontwikkeling in de niet bemeste ondergrond werd veroorzaakt. Toch vond een duidelijke vermindering van de wortelmassa plaats op de grens van bemest en onbemest, die in hoofdzaak aan een minder rijke vertakking der wortels in de ondergrond moet worden toegeschreven. Hoewel bij stijgende N-bemesting in de bovengrond vaak een afnemende wortelontwikkeling in de N-arme ondergrond werd waargenomen is het aantal wortels, dat onder deze omstandigheden in de ondergrond doordringt, nog vrij aanzienlijk (nog niet gepubliceerde gegevens van GOEDEWAAGEN). Hieruit zou men kunnen afleiden, dat het niet de voedselarmoede van de ondergrond kan zijn geweest, die de wortelontwikkeling in het zand van de klei-zandprofielen heeft belemmerd.

Uit proeven van WEAVER en medewerkers (4) is gebleken, dat de wortelontwikkeling in de ondergrond, speciaal door stikstofrijkdome in de bovengrond kan worden verminderd. Ook in de oudere literatuur zijn de opvattingen hierover verdeeld.

Het lijkt niet uitgesloten, dat misschien met een zekere invloed rekening moet worden gehouden, temeer, daar alle onderzoekers het er wel over eens zijn, dat de wortelontwikkeling in goed bemeste lagen steeds veel rijker is dan in onbemeste, hetgeen er op wijst, dat er van de eerste een invloed uitgaat, die de laatste missen.

Uit tabel 1 is gebleken, dat de wortelgewichten in de regel toenamen, totdat de kleilaag een dikte had bereikt van 75 cm. De opbrengsten van het gewas waren evenwel bij 100 cm klei meestal hoger dan bij de dunnere kleilagen. Men mag dus aannemen, dat de verminderde wortelvorming in deze profielen niet het gevolg is geweest van ongunstige groeifactoren.

Daar, op enkele uitzonderingen na, steeds meer dan 90% van de wortels in de kleilagen werd gevormd, in een aantal zelfs 100%, zijn het in hoofdzaak de eigenschappen van de klei, die een verklaring kunnen geven van de toename der wortelhoeveelheden. De reactie der planten is vermoedelijk hieruit te verklaren, dat bij dikker wordende kleilagen steeds meer van dezelfde vruchtbare klei ter beschikking kwam van het wortelstelsel. Dit maakt het ook begrijpelijk, waarom in de zeer onvruchtbare zandprofielen zoveel minder wortels werden gevormd.

Deze redenering gaat alleen op, indien de planten ook ongehinderd van de klei kunnen profiteren. Bij de hoogste grondwaterstand was dit niet het geval, doordat de hoeveelheid wortels beneden de grondwaterspiegel zeer sterk afnam. Dit verklaart, waarom bij de hoogste grondwaterstand het maximum in de wortelontwikkeling reeds werd bereikt bij kleilagen van geringe dikte.

De worteldiepte viel bij aanwezigheid van grof zand (U 40) vrijwel steeds samen met de kleilaagdikte. Dit wil evenwel niet zeggen, dat de worteldiepte rechtstreeks door de kleilaagdikte is bepaald. Bepalen wij ons tot de (maximale) worteldiepte, dan kan gezegd worden, dat de tendens bestaat, om de wortels diep in het zand uit te zenden, zoals uit object U 127, grondwaterstand > 100 blijkt. Dat de worteldiepte bij de andere objecten *geringer* is, vindt zijn oorzaak in omstandigheden, die weinig te maken hebben met de ongunstige specifieke werking in het zand. Dat b.v. bij U 40 de wortels niet in het zand dringen, is niet een gevolg van de kleilaagdikte maar van de ongunstige grond-water-luchtverhouding in het zand (te weinig lucht bij hoge grondwaterstand en te weinig water bij lage grondwaterstand).

Het lijkt aannemelijk, dat de worteldiepte in de zandprofielen van de serie U 40 werd bepaald door te geringe hoeveelheden zuurstof beneden een diepte van 50 cm bij de hoogste grondwaterstand of door gebrek aan water bij de lagere. De gevonden vochtgehalten wijzen in die richting.

In de profielen met klei waren de omstandigheden voor de wortelgroei in verband met de gevonden grond-water-luchtverhoudingen en de gunstige vruchtbaarheidstoestand in de kleilagen boven de grondwaterspiegel steeds voldoende gunstig voor de wortelontwikkeling. Beneden de grondwaterspiegel was het percentage zuurstof (maximaal 5,8% lucht bij de hoogste grondwaterstand) steeds zeer gering, waardoor de wortelgroei weliswaar niet geheel onmogelijk werd, doch wel zeer sterk werd beperkt.

In de serie U 80 kan worden aangenomen, dat de worteldiepte bij de hoogste grondwaterstand bepaald is geworden door de geringe hoeveelheden zuurstof in de betreffende lagen. Deze factor moet ook van invloed zijn geweest in de buizen met een grondwaterstand van 90 cm -mv. Gebrek aan vocht kan het zeker niet zijn geweest, daar het laagste vochtpercentage in deze cilindren boven de grondwaterspiegel in het zand 14,2 en in de klei 16,5 was, waarden, waarvan bij deze grondsoorten kan worden aangenomen, dat zij de wortelontwikkeling niet onmogelijk maken.

Bij de laagste grondwaterstand is de worteldiepte in het zandprofiel vermoedelijk bepaald geworden door de ongunstige vochtomstandigheden in de laag 0-25 cm.

In de profielen met 25 en 50 cm klei is de worteldiepte waarschijnlijk beperkt geworden door de ongunstige vochtomstandigheden in de zandlagen van 25-50 resp. 50-75 cm.

Het eindigen van de wortels in het profiel met 75 cm klei op een diepte van $87\frac{1}{2}$ cm zal, te oordelen naar de gegevens van de grond-water-luchtverhouding niet alleen hieraan kunnen worden toegeschreven. Hier zal aan een remmende werking van de fysische eigenschappen van het zand moeten worden gedacht.

Bij 100 cm klei waren alle omstandigheden gunstig voor een wortelontwikkeling tot 100 cm diepte.

In de serie U 127 werden in het zandprofiel bij de hoogste grondwaterstand extreem hoge vochtgehalten gevonden. Het hoeft dan ook geen verbazing te wekken, dat de beworteling hier tot de bovenste laag beperkt is gebleven. Aangenomen moet worden, dat ook in de profielen met klei de hoge vochtgehalten en dientengevolge lage zuurstofspanningen de worteldiepte hebben beperkt.

Ook bij de grondwaterstand van 90 cm -mv werden in de diepere zandlagen hoeveelheden lucht gevonden, die varieerden van slechts 1,2 tot 7,0%. De wortelgroei in deze lagen zal hierdoor beperkt zijn geworden.

Bij de diepste grondwaterstand werden in alle profielen over het algemeen tot op grote diepte vrij gunstige grond-water-luchtverhoudingen gevonden, evenwel met een minimum aan vocht in de bovenste zandlaag. De wortels gingen dan ook in alle profielen tot een diepte van 100 cm, hoewel de hoeveelheden, mede als gevolg van het feit, dat de wortels zich slechts zeer weinig vertakten door de minder gunstige fysieke toestand van het zand, gering waren.

Er moet tenslotte nog op worden gewezen, dat de grondwaterstand in de profielen, waarin geen klei-zandgrens boven de grondwaterspiegel lag, in vele gevallen een duidelijke invloed heeft gehad. Weliswaar drongen de wortels in het grondwater door, maar dat was vrijwel uitsluitend, wanneer de kleilaag 75 cm of meer dik was. Hierbij trad steeds een sterke vermindering van de hoeveelheid wortels op, wanneer er in de boven het grondwater gelegen laag nog een belangrijke wortelontwikkeling had plaats gevonden. Deze vermindering kan steeds op rekening van zuurstofgebrek worden geschreven.

In de profielen met een grondwaterstand van 90 cm -mv speelde dit alles geen rol, daar hier alle klei-zandgrenzen boven de grondwaterspiegel lagen en er, ook in het homogene kleiprofiel, steeds slechts zo weinig wortels in de boven de grondwaterspiegel liggende laag aanwezig waren, dat van een sterke vermindering geen sprake meer kon zijn.

b. De ontwikkeling van de bovengrondse organen in verband met de wortelontwikkeling

Tabel 1 laat zien, dat in alle profielen de overgrote meerderheid der wortels in de kleilaag tot ontwikkeling is gekomen, al was er in dit opzicht wel verschil naar gelang van de kleilaagdikte, de fijnheidsgraad van het zand en de grondwaterstand (zie in tabel 1 de percentages wortels in het zand).

In overeenstemming hiermee werd gevonden, dat de *opbrengst* (het drooggewicht van de planten met inbegrip van de aren) in het algemeen toeneemt met de dikte van de kleilaag. Te oordelen naar de opbrengstcijfers in tabel 1 is bij niet extreme omstandigheden een kleilaagdikte van 75-100 cm voldoende om maximale opbrengsten te verkrijgen.

In de fijnzandige series U 80 en U 127 nam de opbrengst in het algemeen, zowel bij de dikkere als bij de dünnere kleilagen, toe met dalende grondwaterstand. Wat de dikkere kleilagen betreft, vindt dit zijn oorzaak in het feit, dat de wortels bij diepere grondwaterstand ongehinderd in de kleilagen konden doordringen, terwijl bij de hoogste grondwaterstand (50 cm -mv) de kleilagen zich gedeeltelijk in het grondwater bevonden en slechts in zeer beperkte mate toegankelijk waren voor de wortels. Bovendien drongen bij de diepere waterstanden meer wortels in het fijne ondergrondzand door, hetgeen vermoedelijk niet zonder betekenis is geweest voor de watervoorziening van het gewas bij de dünne kleidekken. Een en ander tekent zich in tabel 1 ook af in de cijfers der totale wortelgewichten, die in de klei-zandprofielen der series U 80 en U 127, op enkele afwijkingen na, een stijging te zien geven bij dalende grondwaterstand.

Waar de kleilaag rustte op grof zand (U 40) legde bij de dünnere kleidekken de opbrengst bij de laagste grondwaterstand het af tegen die bij de waterstanden van 90 en 50 cm -mv. Dit wordt veroorzaakt, doordat in het tamelijk droge, grove zand bij de diepste grondwaterstand slechts zeer weinig wortels tot ontwikkeling konden komen. Bij hogere grondwaterstanden, waar de wortelgroei in het zand eveneens gering was, zijn de omstandigheden voor de wateropname blijkbaar gunstiger geweest. Ook het totale wortelgewicht was in de profielen van de serie U 40 met dünnere kleilagen bij de diepste grondwaterstand aan de lage kant.

In de zand-profielen nam de opbrengst af met de diepte van de grondwaterstand en wel het duidelijkst in de grofzandige profielen. In deze profielen nam ook het wortelgewicht sterk

af. Bij de fijnere zandsoorten nam de opbrengst eveneens toe met stijgende grondwaterstand. Hier was de opbrengst in vergelijking met de klei-zandprofielen laag, doordat de wortelmassa gering en in hoofdzaak in de bovenste laag geconcentreerd was.

Op een opmerkelijk feit moet nog worden gewezen. In meerdere gevallen steeg de opbrengst nog bij een toename van de kleilaagdikte van 75 tot 100 cm, terwijl het wortelgewicht dan al achteruitging. Hieruit volgt, dat de wortels bij de dikste kleilaag in deze gevallen intensiever werkzaam zijn geweest.

3. SAMENVATTING

De invloed van de kleilaagdikte, grondwaterstand en U-waarde van het zich onder de kleilaag bevindende zand op de wortelontwikkeling van wintertarwe werd nagegaan in een proef met 72 betonnen buizen met een inwendige doorsnee van 30 cm en een hoogte van 1 meter.

In de eerste plaats werd gelet op het gedrag van de wortels bij de *overgang van klei naar zand*. Gevonden werd, dat er in de regel een sterke afname van de wortelmassa optrad. In een aantal gevallen ging dit gepaard met een verdichting van het wortelnet in de juist boven het zand liggende kleilaag. Ten slotte veranderde de habitus van de wortels van lang, slank en sterk vertakt in kort, gedrongen en spaarzaam vertakt. Al deze verschijnselen wijzen erop, dat de groeiomstandigheden in het zand ongunstig zijn geweest voor de wortelgroei.

De overgang van klei naar zand ging vrijwel steeds gepaard met een ongunstige verandering in de grond-water-luchtverhouding. Hierdoor is de afname van de hoeveelheid wortels en in extreme gevallen het volledig ophouden van de wortelgroei op de grens van klei naar zand te verklaren.

De verdikking van de wortels in het zand wijst op een mechanische weerstand. Deze is waarschijnlijk veroorzaakt door dichte pakking.

Daar, waar de *grondwaterstand* boven de klei-zandgrens lag, drongen wel wortels in het grondwater door in een aantal gevallen, maar dit ging gepaard met een sterke vermindering van hoeveelheid.

De *worteldiepte* hing samen met de grond-water-luchtverhoudingen. De beworteling eindigde meestal daar, waar te weinig water of te weinig zuurstof aanwezig was. Waar deze toestand vaak optrad op of nabij de klei-zandgrens lijkt het er in veel gevallen op, alsof de worteldiepte bepaald wordt door de dikte van de kleilaag. Dat dit evenwel niet rechtstreeks het geval was, blijkt uit de serie U 127 met een grondwaterstand > 100 cm -mv, waarin de wortels onder invloed van de vrij gunstige grond-water-luchtverhoudingen, als gevolg van de fijnheid van het zand, tot grote diepte gingen.

Op een enkele uitzondering na werd steeds meer dan 90% van de *totale wortelmassa* in de kleilaag gevormd, indien deze aanwezig was. Bij de lage grondwaterstanden nam de wortelmassa toe totdat de kleilaag een dikte van 75 cm had bereikt. Dit moet worden toegeschreven aan het feit, dat, naarmate de kleilaag dikker werd, meer vruchtbare klei ter beschikking van het wortelstelsel kwam. Bij 100 cm klei was deze toestand zodanig geworden, dat de plant niet meer reageerde door versterkte wortelvorming. Bij de hoogste grondwaterstand werd de wortelvorming afgezwakt door de remmende werking van het grondwater.

Hoewel het verschil met 75 cm klei in enkele gevallen gering was, nam de *opbrengst* in de meeste gevallen toe totdat de kleilaag 100 cm dik was geworden.

SUMMARY

ROOT DEVELOPMENT OF WINTER WHEAT IN LOAM PROFILES WITH A SANDY SUBSOIL IN CONCRETE TUBES WITH VARYING THICKNESS OF LOAM LAYER, GROUNDWATER TABLE AND COARSENESS OF UNDERLYING SAND

by J. J. SCHUURMAN

An experiment has been carried out with winter wheat grown on concrete tubes, with an inner diameter of 30 cms and a height of 100 cms, which had been filled with soil (fig. 1). The root development of this winter wheat was studied in relation to the height of the fertile loam layer upon an unfertile sandy subsoil, the coarseness of this sand and the groundwater table. The results have been summarized in table 1.

In the first place the *behaviour of the roots at the transition from loam to sand* was of interest. It was stated, that in general a considerable decrease of roots occurred below this transition. In a number of cases an increase of rootmass was found in the bottom layer of loam, just above the sandy subsoil. The roots, being long, slender and profusely branched in the loam changed into short, sturdy and poorly branched in the sand. These phenomena indicate, that the growth conditions in the sand have been unfavourable for root growth.

The transition from loam to sand nearly always was accompanied by an unfavourable change in the moisture-air conditions (table 2). This may explain the decrease of the root mass and in some cases the complete cease of root growth at the transition from loam to sand. The root depth was probably correlated with the moisture-air conditions. Generally the roots ended in a layer, where the amount of water or oxygen seemed to be insufficient.

The thickening and the abnormal branching of the roots in the sand, which occurred with the three kinds of sand and with all water levels, point to the fact that mechanical resistance, i.e. a dense packing of the sand may have hampered the growth of the roots in this sand.

Moreover the fertility status of the sand perhaps may have influenced the root growth, but this could not be determined exactly in this experiment. It could be stated that liming of the subsoil did not change the root development materially (table 3).

In the great majority of profiles with loam upon sand more than 90% of the total rootmass was produced in the loam. When the watertable was low the rootmass increased with the loam layer increasing to a thickness of 75 cms. This should be attributed to the fact that according to the height of the loam layer, more fertile loam was at the disposition of the roots. Compared with layers of 75 cms the root mass did not increase in loam layers of 100 cms.

With the highest water table differences in root formation were less evident, due to the hampering influence of the soil water.

In a number of cases, when the water table was located above the loam-sand transition, the roots penetrated the soil water, but this was accompanied by a strong decrease of the amount of roots. In the majority of cases the yields increased with the loam layer increasing to 100 cms. The differences with 75 cms were, however, often of minor importance.

LITERATUUR

1. FRANKENA, H. J. en M. A. J. GOEDEWAAGEN, Een vakkenproef over de invloed van verschillende waterstanden op de grasgroei bij drie grondsoorten. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 48 (6) A(1942) 407.
2. GOEDEWAAGEN, M. A. J., De methoden, die aan het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen bij het wortelonderzoek op bouw- en grasland in gebruik zijn. 1948.
3. GOEDEWAAGEN, M. A. J., Het wortelstelsel der landbouwgewassen. Dept. van L.V.V. 1942.
4. WEAVER, J. E., F. C. JEAN and J. W. CRIST, Development and activities of roots of crop plants. A study in crop ecology. Carn. Inst. Wash. no. 316, 1922.

TABEL 1. Drooggewichten en lengten der bovengrondse delen en procentuele verdeling der wortels in de grond met totale wortelgewichten

Grondwaterstand	100 cm zand sand	50 cm -mv				100 cm zand sand	90 cm -mv				100 cm zand sand	>100 cm -mv			
		25	50	75	100		25	50	75	100		25	50	75	100
		cm klei cms loam					cm klei cms loam					cm klei cms loam			
SERIE U 40															
Drooggewicht bovengrondse delen in grammen (Dry weight of the shoots in grs)	60	130	147	153	169 ¹	37	102	150	205	196 ¹	20	53	104	151	228 ¹
Lengte der planten in cm (Length of the plants in cms)	88	103	98	104	103 ¹	77	90	101	101	106 ¹	62	60	82	94	100 ¹
0 - 12½	78	68	50	60	70	58	57	52	57	69	74	74	49	49	48
12½ - 25	18	31	20	18	12	31	31	13	8	7	26	22	12	12	7
25 - 37½	4	1	14	20	7	11	12	15	9	7	sp	4	13	11	4
37½ - 50	sp	sp	16	1	7	sp	sp	19	10	7		sp	22	7	6
50 - 62½			sp	sp	1			1	7	6			4	7	15
62½ - 75				sp	1				8	2				13	10
75 - 87½					1				sp	2				sp	6
87½ - 100					sp					sp					5
Totaal wortelgewicht in mg per boring (Total amounts of roots in mgs per boring)	833	1084	1106	932	779	334	753	1049	1285	957	260	644	1061	1152	1113
SERIE U 80															
Drooggewicht bovengrondse delen in grammen	80	136	139	174	169 ¹	36	127	151	189	196 ¹	26	135	173	195	228 ¹
Lengte der planten in cm	95	107	99	104	103 ¹	77	100	103	103	106 ¹	70	102	99	98	100 ¹
0 - 12½	76	79	64	51	70	88	65	56	52	69	80	71	51	46	48
12½ - 25	21	21	14	15	12	9	28	10	10	7	11	18	13	8	7
25 - 37½	3		16	11	7	2	6	14	10	7	2	4	17	7	4
37½ - 50			5	20	7	1	2	20	9	7	5	2	17	11	6
50 - 62½				1	1				8	6	2	4	2	10	15
62½ - 75				2	1				12	2		1		17	10
75 - 87½					1					2		sp		sp	6
87½ - 100					sp					sp					5
Totaal wortelgewicht in mg per boring	320	820	800	996	779	386	691	1098	1362	957	319	1140	1179	1153	1113
SERIE U 127															
Drooggewicht bovengrondse delen in grammen	61	128	143	164	169 ¹	73	128	143	208	196 ¹	33	152	164	229	228 ¹
Lengte der planten in cm	85	102	100	101	103 ¹	71	98	95	96	106 ¹	73	102	95	100	100 ¹
0 - 12½	100	74	61	60	70	63	65	61	48	69	71	61	56	43	48
12½ - 25		26	17	18	12	26	26	10	7	7	13	18	13	7	7
25 - 37½		sp	12	15	7	7	9	12	6	7	6	4	11	8	4
37½ - 50			9	5	7	3	sp	15	10	7	7	1	18	11	6
50 - 62½				1	1	1	sp	2	13	6	1	2	1	13	15
62½ - 75				1	1			sp	16	2	1	3	sp	16	10
75 - 87½					1				sp	2	sp	4	sp	2	6
87½ - 100					sp				sp	sp	sp	6	sp	sp	5
Totaal wortelgewicht in mg per boring	216	767	742	635	779	357	1027	825	1257	957	227	856	980	1343	1113

sp = < 1 mg

¹ Gemiddelde van 3 waarden (Averages of 3 values)

— Dikte van de kleilaag (Thickness of the loam layer)

..... Grondwaterspiegel (Watertable)

TABLE 1. Dry weights and length of the shoots, procentual distribution of the roots in the soil and total root weights

TABEL 2. Grond-water-luchtverhoudingen in de series U 40, U 80 en U 127 bij hoogste en laagste grondwaterstand

Laag in cm Layers in cms	Grondwaterstand 50 cm -mv (watertable 50 cms below soil-level)										Grondwaterstand > 100 cm -mv (watertable > 100 cms below soil-level)									
	100 cm zand sand		25 cm klei op loam upon		50 cm zand sandy		75 cm subsoil		100 cm klei loam		100 cm zand sand		25 cm klei op loam upon		50 cm zand sandy		75 cm subsoil		100 cm klei loam	
	w ¹	l ²	w	l	w	l	w	l	w	l	w	l	w	l	w	l	w	l	w	l
SERIE U 40																				
0 - 12½	8	30	30	12	30	13	25	18	32	11	?	?	20	23	16	27	16	27	27	16
12½ - 25	16	22	30	13	19	23	22	20	23	20	8	30	12	30	13	30	13	30	16	27
25 - 37½	27	11	32	6	18	25	22	21	22	20	7	31	15	23	13	29	13	30	15	28
37½ - 50	28	10	30	8	20	22	32	11	33	9	6	32	4	34	13	30	14	29	15	28
50 - 62½			32	6	36	2			34	8	6	32	5	33	6	32	14	29	14	28
62½ - 75											6	32	6	32	5	33	13	30	15	27
75 - 87½											9	29	10	28	8	30	15	23	11	32
87½ - 100											15	23	15	23	16	22	9	29	16	26
SERIE U 80																				
0 - 12½	36	3	30	12	29	14	33	10	?	?	10	29	21	22	20	23	20	23	32	11
12½ - 25	40	?	29	13	23	20	28	15	21	22	10	29	20	22	16	27	17	27	27	16
25 - 37½	40	?	36	2	22	21	23	20	?	?	13	26	5	35	18	24	16	26	16	27
37½ - 50	44	?	36	3	31	12	30	13	21	21	16	22	7	32	21	22	17	26	16	27
50 - 62½	33	6	38	1	40	?	36	7	30	12	20	19	11	29	9	30	17	25	16	26
62½ - 75											15	24	13	26	10	29	24	19	16	27
75 - 87½											25	14	17	22	12	27	21	18	17	26
87½ - 100											30	9	21	18	10	28	14	25	18	24
SERIE U 127																				
0 - 12½	35	3	32	11	27	15	34	9	27	15	11	27	21	21	18	24	17	26	16	27
12½ - 25	35	2	23	20	23	20	32	11	21	22	12	26	24	18	16	27	14	29	14	28
25 - 37½	36	2	30	7	21	22	30	13	25	18	14	23	10	28	15	28	14	28	16	27
37½ - 50	34	4	34	3	32	10	34	9	35	8	16	21	12	26	17	26	14	28	18	25
50 - 62½	35	2	33	4	38	?	40	3	47	?	18	20	14	24	9	29	15	28	16	27
62½ - 75											27	11	16	22	13	25	16	27	13	30
75 - 87½											23	14	14	23	15	23	12	26	15	27
87½ - 100											26	12	21	17	18	20	18	20	16	27

¹ w = water } in volume percentages
² l = air }

— maximale worteldiepte (indicates the maximum depth of the roots)

..... diepte, waarbeneden minder dan 1 mg wortels werd gevonden (indicates the depth below which less than 1 mg roots was found)

TABLE 2. Soil-water-air relations in the series U 40, U 80 and U 127 with soil water levels of 50 cms and > 100 cms below soil level

TABEL 3. Invloed van het kalkgehalte van zand met een U-waarde = 80 op de beworteling. Grondwaterstand 90 cm -mv.

	100 cm zand (sand)		Klei op zand (<i>loam upon sandy subsoil</i>)						100 cm klei (loam)	
	kalk- rijk	kalk- arm	25 cm		50 cm		75 cm			
			kalk- rijk	kalk- arm	kalk- rijk	kalk- arm	kalk- rijk	kalk- arm		
Drooggewicht boven- gronds delen in gramm. (<i>Dry weight of the aerial parts in grs</i>)		48	167	136	162	179	223	174	234	175
Lengte der planten in cm (<i>Length of the plants in cms</i>)		84	104	102	106	102	102	101	108	105
Procentuele verdeling der wortels (<i>Procentual dis- tribution of the roots</i>)	0 - 12½ cm	90,6	52,1	59,0	58,3	43,4	49,7	45,2	41,1	47,8
	12½ - 25 cm	9,4	15,6	23,0	11,3	17,4	5,7	11,2	8,6	11,2
	25 - 37½ cm	sp	11,2	11,0	13,1	13,5	5,7	11,7	8,6	10,0
	37½ - 50 cm		21,1	6,8	17,5	18,7	10,8	6,8	13,9	8,6
	50 - 62½ cm			sp		6,9	11,3	9,1	9,3	8,6
	62½ - 75 cm					sp	16,5	13,3	7,9	6,1
	75 - 87½ cm						sp	2,8	10,0	6,3
	87½ - 100 cm								sp	1,2
Totaal wortelgewicht in mg per boring (<i>Total root weight in mgs per boring</i>)		362	1003	1010	857	949	1255	1230	1065	1103

===== dikte van de kleilaag (*thickness of the loam layer*)kalkrijk = *rich in lime*kalkarm = *poor in lime*

TABLE 3. The influence of the amount of lime in the medium fine sand on the root development. Water table 90 cms below soil level

SUMMARY

ROOT DEVELOPMENT IN SOILS CONSISTING OF A TOP LAYER OF CLAY
AND A SANDY SUBSOIL

M. A. J. GOEDEWAAGEN, C. VAN DEN BERG, D. VAN DEN BOSCH, J. BUTIJN,
J. J. JONKER, D. VAN DER SCHAAF and J. J. SCHUURMAN

In the Netherlands many clay soils and sandy clay soils are found, which are characterized by a low crop production because the clay cover is not thick enough for an adequate water supply of the crops. In these profiles the subsoil generally consists of rather pure sand, which is very poor in humus and clay. Instead of sand, peat is occasionally found in the subsoil. Many investigators studied independently the behaviour of the roots in these soils in relation to the thickness of the clay cover.

In this paper the results are given in a series of eight articles, which deal for the greater part with the root development in clay-on-sand profiles. The following phenomena were ascertained in these profiles.

Root concentration, which is high near the surface, decreases gradually with the depth but shows as a rule a definite increase near the boundary between clay and sand. This increase is followed by a sudden diminution of the root mass in the upper layer of the sand. Only a small number of roots succeed in penetrating the sand, so that the root density in the sandy subsoil is much smaller than it is in the clayish topsoil. The roots in the sand are for the greater part fleshy and poorly branched, in contrast with the roots in the clay cover which show a normal appearance and a more profuse branching. The depth of the root system in the underlying sand seems to vary with the kind of crop and the fineness of the sand. From the phenomena, mentioned in this paragraph, it appears that there must be some factor(s) acting in the sand which is (are) unfavourable for root growth.

The yield of the crop increases with the thickness of the clay cover up to a maximum value with a clay layer of 75 to 100 cm. From an experiment with sugar beets, showing different degrees of wilting according to the thickness of the clay cover, it appeared that the low yield on soils with a thin clay layer is mainly due to lack of water. On such soils the yield can be increased by promoting the root development in the deeper soil layers by means of a deep cultivation of the soil. When the sandy subsoil was only broken without being mixed with the overlying clay, many more roots penetrated into and developed in the sand. In periods of drought, however, no maximum yield could be obtained in this way in spite of the high root concentration because of the small water-holding capacity of the sandy subsoil. After some time the sand regained its compactness so that the penetration of the roots into the subsoil was more and more reduced in following years. On the other hand deep ploughing (i.e. mixing sand and clay) had a promoting effect on both root extension and the water-holding capacity in the subsoil and, therefore, on the water supply of the crop in periods with a low precipitation. In general, the yield was increased both by deep ploughing and by disturbing the sandy subsoil without mixing it with the topsoil. More experiments than those mentioned in this paper are required for getting reliable details about the effect achieved with these methods of cultivation.

Four factors are discussed in this paper, which may be responsible for the poor root growth in the sandy subsoil: 1) lack of water, 2) lack of nutrients, 3) lack of oxygen, and 4) the physical status of the sand layer. Only few data are supplied on the influence of lime on root

growth in sand in this paper. With wheat it was found that liming of the acid sand layer had no influence on the rooting power and the yield of the crop just mentioned.

It is suggested by the authors that lack of water cannot explain the poor root growth in the sand, because the moisture content in the sand equals the field capacity when the growing roots come into contact with this layer. The greater penetration of the roots into the sandy subsoil, which was observed after this layer was broken, confirms this conclusion. For the same reason lack of nutrients in the sand cannot give a satisfactory explanation of the slight root penetration into the sand layer.

It was found that the sandy layer is generally more compact than the clayish top soil. In view of the abnormal habit of the roots in the intact sand layer and their better and more normal growth in broken sand layers, the compactness of the sandy subsoil seems to be the main cause of low root concentration in this layer. In soils with a low water level this phenomenon may be due to some physical resistance exercised by the sand layer. In wet soils, however, in which the sandy subsoil is more or less saturated with water, root growth may be prevented in the sand by lack of oxygen rather than by mechanical resistance.

By some authors the development of roots is described in soils with a humous sand layer which covers a sandy subsoil. The roots respond to the sand in these soils in the same way as they do in the clay-on-sand profiles.

Fewer data are given in this paper on the behaviour of the roots in clay-on-peat soils. It seems that the peaty layer is not accessible to the roots, unless it is well aerated.