

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.

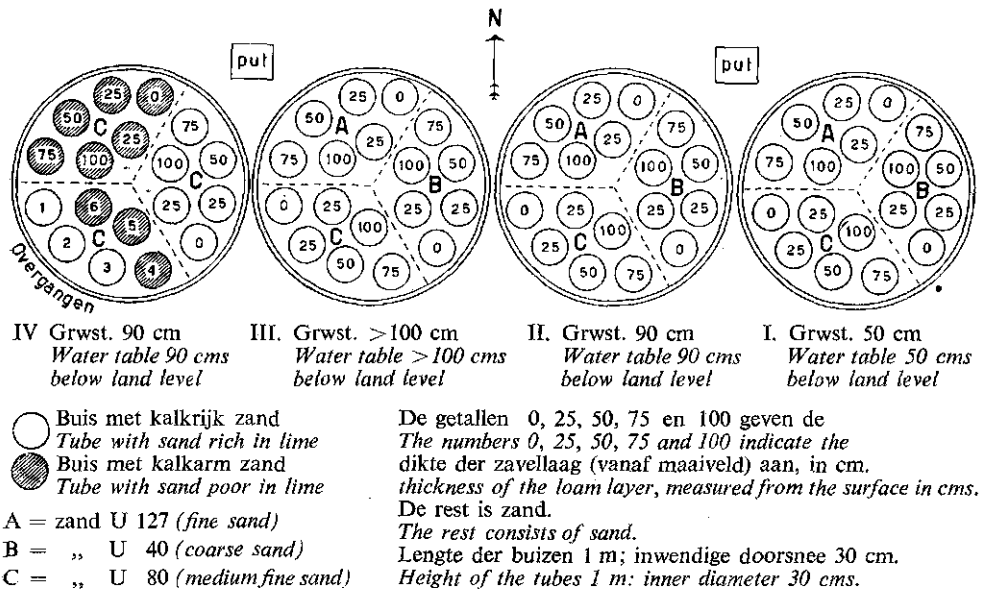
In de eerste serie werd kalkrijk zand met een U-waarde = 40, in de tweede met een U-waarde = 80 en in de derde met een U-waarde = 127 gebruikt.

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 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 kleilaagdicken 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 betonbuizenproef 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 zandsorten waren zeer arm aan humus ($\pm 0,5\%$). De cijfers, die in fig. 1 in de buizen zijn geplaatst, geven de dikte van de zavellaag aan. De buizen, die met 0 en 100 zijn aangeduid, zijn dus geheel met zand resp. met klei gevuld.

Aan het vullen der betonnen cilindren 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 drooggewichts-bepaling 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 uitstoeeling 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 wortelmasse*, 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 wortelmasse 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 wortelmasse in de onderste kleilaag;
2. een scherpe afname van de wortelmasse 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 grondwater-spiegel. 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 wortel-massa 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 zand 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 wortel-massa 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	sp	4	sp	2	6
87½ - 100					sp			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 zand loam upon sandy subsoil		50 cm klei op zand loam upon sandy subsoil		75 cm klei op zand loam upon sandy subsoil		100 cm klei loam		100 cm zand sand		25 cm klei op zand loam upon sandy subsoil		50 cm klei op zand loam upon sandy subsoil		75 cm klei op zand loam upon sandy 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)

TABEL 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.