

Overdruk uit het Landbouwkundig Tijdschrift  
74ste jaargang no. 22, december 1962

# Bodemstructuur, beworteling en plantenvoeding

*Soil structure, rooting and plant nutrition*  
Summary see page 970

L. K. WIERSUM,  
Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Groningen

INSTITUUT VOOR  
BODEMVRUCHTBAARHEID  
GRONINGEN

## 1 INLEIDING

Het is in zijn algemeenheid reeds zeer lang bekend, dat de hoedanigheid van de bodemstructuur op de opbrengst van het gewas van invloed is. Toch is het inzicht in de causale en kwantitatieve samenhang tussen structuurfactoren en opbrengst veel geringer als de kennis van de relaties tussen chemische rijkdom van de grond en groei van het gewas. Dit is voor een groot deel te danken aan de moeilijkheid om verschillen in bodemstructuur in kwantitatieve maat vast te leggen.

Het verband, dat er tussen bodemstructuur en gewasgroei, resp. opbrengst, bestaat, moet tot stand komen via het wortelstelsel. Dit immers is het orgaan, dat de schakel tussen bodem en spruit vormt. Ziet men de voeding van een gewas als een proces van ontsluiting van de aanwezige voorraad voedingsstoffen, dan zal men moeten letten op de invloed van de bodemstructuur op de beworteling en het opnemend vermogen van de wortels. Daarnaast zal men echter aandacht moeten schenken aan de beweeglijkheid van de voedingsstoffen.

Doel van het te volgen betoog is enkele facetten van de bestaande relaties te belichten. De aandacht zal vooral gericht worden op het effect van een grove structuur op de mate van benutting van voedingsstoffen in de bodem.

## 2 ENKELE RELATIES TUSSEN BODEMSTRUCTUUR EN BEWORTELING

Daar de wortels voor hun groei ruimte nodig hebben of moeten kunnen maken is de uitgebreidheid van het wortelstelsel afhankelijk van de structuur. Naast deze directe afhankelijkheid is er een indirecte onder invloed van met de structuur gecorreleerde groeifactoren, zoals  $O_2$ - en  $CO_2$ -spanning, watergehalte, temperatuur enz. (Weaver, 1926; Goedewaagen, 1942; Lutz, 1952; De plantenwortel in de landbouw, 1955; Troughton, 1957; Bertrand en Kohnke, 1957).

Er zijn reeds zeer vele waarnemingen, zowel in de praktijk als in proeven waarbij geconstateerd is dat het wortelstelsel in zijn groei beperkt wordt door het voorkomen van bodemlagen met een grotere dichtheid (Kampe, 1929; Goedewaagen *et al.*, 1955; de Roo, 1957). Uit nog niet gepubliceerde gegevens van Schuurman (fig. 1) is gebleken, dat een abrupte overgang van een lossere laag naar een daaronder liggende dichtere laag eerder moeilijkheden met zich meebrengt dan een meer geleidelijke overgang.

662285

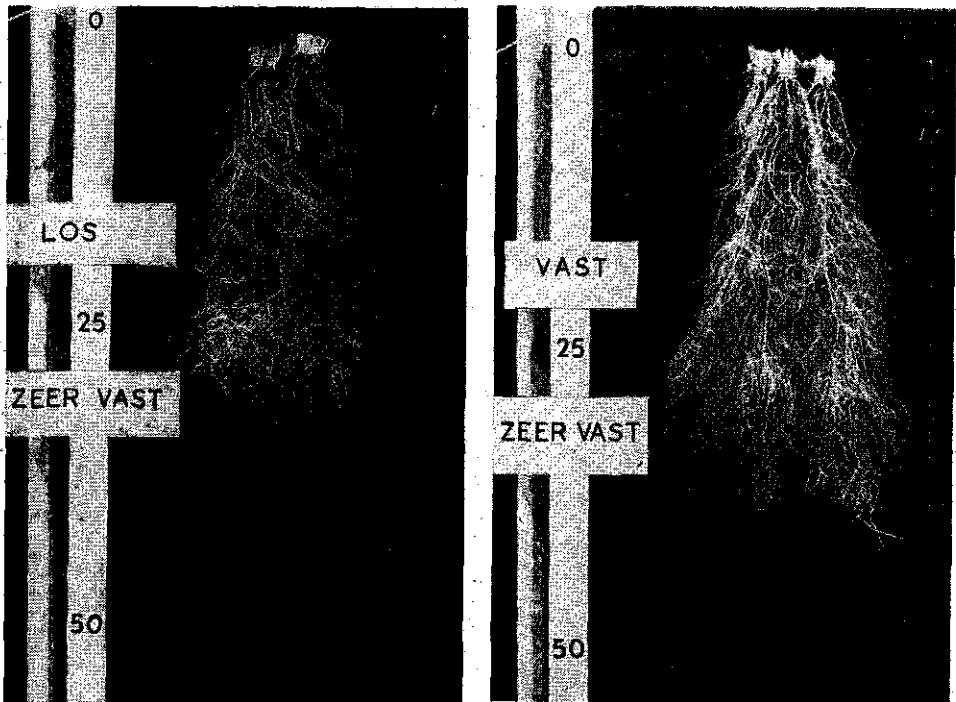


Fig. 1 Invloed van het verschil in dichtheid op het doordringen van wortels in een zeer vaste ondergrond  
 los op zeer vast → wortels dringen niet door  
 vast op zeer vast → wortels dringen wel door in de zeer vaste ondergrond  
 (uit ongepubliceerd onderzoek van Schuurman)

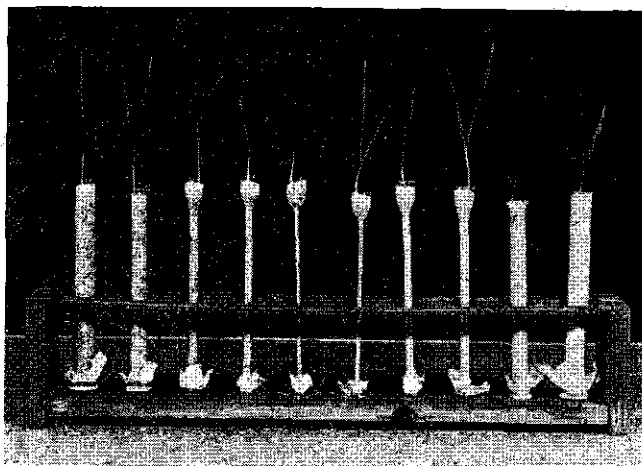
Verder is de plasticiteit of vastheid van ligging een factor van belang. Bij eenzelfde dichtheid schijnt klei minder beperkingen aan de wortelgroei op te leggen dan zand (Veihmeyer en Hendrickson, 1948). Zo wordt voor zand een grenswaarde van 1,75 opgegeven en voor klei 1,46–1,63, waarboven wortelgroei van de zonnebloem niet meer mogelijk is. Tenslotte moet men zich realiseren, dat de plasticiteit van de grond mede afhankelijk is van het watergehalte. Een droge klei zal dus wortelgroei eerder belemmeren dan vochtige (Visser en Goedewaagen, 1943).

Behalve op de dichtheid van de grond als geheel, kunnen we onze aandacht ook richten op het meer gedifferentieerde effect van de macro-structuur. Het gaat dan vooral om de invloed van de grovere prismatische aggregaten op het wortelbeeld. De ervaring is, dat de wortels de scheuren en spleten volgen, doch vaak niet of nauwelijks de kluiten binnendringen (Weaver, 1958; Egberts, 1959; Hulshof e.a., 1960; Kuntze en Neuhaus, 1960).

In meer gedetailleerd onderzoek is het volgende gebleken :

1. De groeiende wortel kan aan zijn top een zeer aanzienlijke druk ontwikkelen. Deze ligt in de orde van 10–20 atm. (Pfeffer, 1904; Gill en

Fig. 2 Proefopzet voor het nagaan van het verband tussen vastheid van ligging van zand en de dieptegroei van wortels. Bij eenzelfde pakking laat het zand in de wijdere buizen meer verplaatsing toe



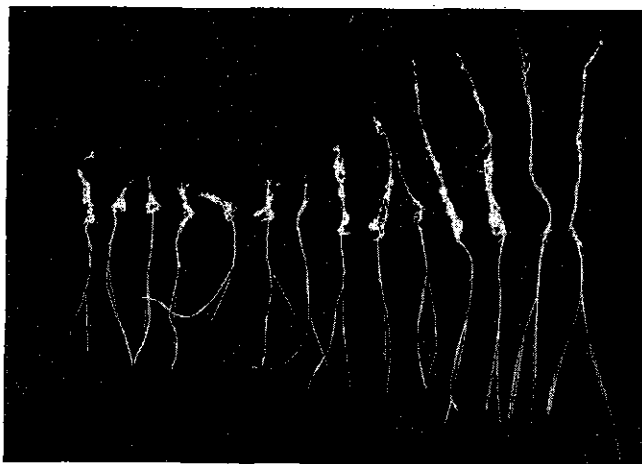
Miller, 1956). Oriënterende eigen metingen met behulp van een micro-penetrator leverden overeenkomstige waarden op.

2. De groeisnelheid van de wortel is afhankelijk van de ondervonden weerstand, m.a.w. omgekeerd evenredig met de bodemdichtheid (Phillips, 1959; Lugo-Lopez, 1960). Ook de vastheid van ligging speelt een rol, zie fig. 2 en 3 (Wiersum, 1957).

3. Wil in een volkomen vaste bodem wortelgroei mogelijk zijn, dan moeten er poriën voorkomen, die minstens de breedte van de diameter van een jonge wortel hebben (Wiersum, 1957).

Dat de prismatische kluiten zelf vaak niet doorworteld zijn komt doordat de interne poriën bij klei zo klein zijn, dat ze zelfs bij het verwelkingspunt nog met water verzadigd zijn. Er komt dus geen lucht in voor en dit belemmert de wortelgroei.

Fig. 3 Resultaat van de proef over invloed van de vastheid van ligging. Links: wortelgroei in de wijdste buizen; rechts: wortelgroei in de smalste buizen



## 3 HET VOLUME GROND IN DIRECT CONTACT MET DE WORTELS

Ontsluiting en benutting van de beschikbare voedingsstoffen in de bodem is alleen mogelijk als er verplaatsing van de ionen vanaf de plaats van voorkomen naar de plaats van verbruik mogelijk is. Van belang is het zich te realiseren, dat het grootste deel van de voorraad in gebonden toestand voorkomt. Desorptie zal overwegend alleen maar vlakbij het verbruikscentrum, de absorptie-zone van de wortel optreden. Volledige benutting van de voorraad is voor vele ionen dus alleen mogelijk uit een zeer dunne mantel grond om de wortel heen. De vraag rijst dus: hoe dik is deze mantel en welk totaal volume hebben al deze mantels tezamen.

Een werkelijk intensief contact met de grond heeft alleen het jonge worteloppervlak, al of niet met wortelharen bekleed. We kunnen redelijkerwijze aannemen, dat een mantel grond ter dikte van de maximale wortelhaarlengte volledig benut zou kunnen worden. Goede aanwijzingen voor de juistheid van deze opvatting werden in eigen proeven verkregen (Wiersum, 1958). Indien men nu beschikt over gegevens betreffende het totale worteloppervlak, dan is het totaalvolume van de wortelmantels te berekenen. Er zijn in de literatuur een aantal gegevens aanwezig. We komen dan tot de volgende resultaten (tabel 1).

De conclusie is, dat voor een gewas te velde als regel maar ongeveer 5 % van het bruto doorworteld volume in nauw contact met de wortels is. Voor grassen vinden we in de zodelaag veel hogere waarden, die daar tot 100 % op kunnen lopen. Men dient zich te realiseren, dat deze cijfers slaan op een volume grond dat tijdens de gehele ontwikkeling van de plant is benut. Op een bepaald moment zal dit volume nog veel kleiner zijn, daar alleen de jonge worteldelen absorptief werkzaam zijn. Een zeer goede steun vinden deze berekeningen in de conclusie van Fried en medewerkers (1957), dat bij de opname van fosfaat het 'effective soil volume' maar 0,4 % zou zijn.

Het wordt nu ook begrijpelijk waarom beperking van het voor beworteling beschikbare volume vaak zo goed mogelijk is. Zolang de structuur een zeer intensieve doorworteling toestaat kan met beperking van het volume het ont-

Tabel 1 Percentage grond waarmee de wortels in direct contact zijn

onderzoeker <i>scientist</i>	bruto volume dm <sup>3</sup>	contact volume dm <sup>3</sup>	%	gewas <i>crop</i>
Weaver, Kramer and Reed	60	0,06	0,1	wintertarwe / <i>winter wheat</i>
Nutman	28,3	1,5	5,3	koffie / <i>coffee</i>
Pavlychenko	150	50	33	zomerrogge / <i>spring rye</i>
Pavlychenko	50	108	216	<i>Poa pratensis</i> , zode
Evans	28,3	0,74	2,6	suikerriet / <i>sugar cane</i>
Kullmann	15	0,09	0,6	klaver / <i>clover</i>
	15	0,58	3,9	kropaar / <i>cocksfoot</i>
	12	0,06	0,5	lucerne
	12	0,66	5,5	<i>Festuca ovina</i>

Table 1 Percentage of soil contacted directly with the roots

slóten percentage toenemen. Extreme voorbeelden hiervan zien we in de bloemisterij bij de potcultures. Dat dan aan de structuur zeer hoge eisen gesteld moeten worden is begrijpelijk. Omgekeerd zal een slechte structuur, die een geringe ontwikkeling van het wortelstelsel ten gevolge heeft, bij beperking van het beschikbaar volume dubbel schadelijk werken. Een deel van de problemen en enkele waarnemingen hierop betrekking hebbende worden reeds door Hellriegel (1883) besproken. Reeds in 1894 nam Kraus waar dat in een beperkt volume de grond beter benut werd.

#### 4 MOBILITEIT VAN DE BESCHIKBARE VOORRAAD VOEDINGSELEMENTEN

Nu uit het voorgaande gebleken is, dat het wortelstelsel als regel maar met een klein deel van de grond zodanig in contact is, dat directe onttrekking van voedingsstoffen mogelijk is, zal het belang van aanvoer over wat grotere afstand naar de wortel toe duidelijk zijn. Aanvoer van ionen naar het worteloppervlak kan op twee wijzen geschieden; namelijk, door massastroming, d.w.z. een meegesleurd worden van de opgeloste stoffen in het aangezogen water en door diffusie.

De passieve aanvoer met het bodemvocht mee zal van veel betekenis zijn voor de ionen, die grotendeels in opgeloste toestand voorkomen, dus de anionen, uitgezonderd fosfaat. Voor de overwegend geadsorbeerd voorkomende ionen, o.a. kationen, is dit van weinig belang. Immers de in beweging zijnde stroom zal onderweg nergens desorptie induceren, daar het al een evenwichtso oplossing is (Bray, 1954). Deze onderzoeker onderscheidde dan ook al twee volumina grond:

- a. een groot volume dat bijdraagt in de voorziening van overwegend in oplossing voorkomende ionen,
- b. een mantel grond om de wortels, die bijdraagt in de voorziening van geadsorbeerd voorkomende ionen (fig. 4).

Diffusie zal voor alle ionen een zekere rol spelen. Het verbruik schept een concentratie-verval, dat op zijn beurt weer desorptie ten gevolge kan hebben. Wat de diffusie betreft is het watergehalte van de bodem van grote betekenis. Hoe meer de poriën met water zijn gevuld, hoe breder en minder kronkelig de diffusiebaan wordt. Een stijgend watergehalte zal dus kunnen resulteren in snellere aanvoer en grotere opname (Heslep and Black, 1954; Klute and Letey, 1958; Wiersum, 1958). Kan het contact-volume echter ruim in de behoeften voorzien, dan wordt dit effect overdekt (Wiersum, 1958 b).

In de laatste tijd zijn door Tepe en Leidenfrost (1958) met behulp van met ionenuitwisselaars gevulde dialyseslang kwantitatieve metingen verricht over de mobiliteit van verschillende ionen. Inderdaad wordt aan met water verzadigde grond nitraat onttrokken aan een groter volume ervan dan bijv. K, terwijl het fosfaat nog minder beweeglijk is (tabel 2).

Het verschil in mobiliteit van verschillende voedingsstoffen kan mede de oorzaak zijn dat rijenbemesting met fosfaat relatief meer effect heeft dan

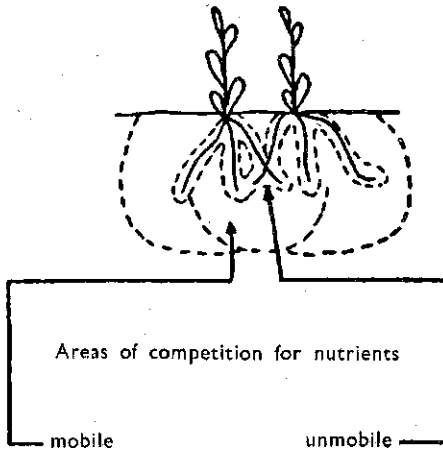


Fig. 4 Verschil in bodemvolume wat betreft de onttrekking van mobiele en weinig beweeglijke voedingsstoffen (uit publ. Bray).

eenzelfde geplaatste bemesting van K en dat bij N de werking maar gering is (Prummel, 1957).

#### 5 ABSORPTIE VAN IONEN IN AFHANKELIJKHEID VAN DE BODEMSTRUCTUUR

Na het voorgaande zal het duidelijk zijn, dat de mate waarin het gewas de beschikbare voorraad aan voedingsstoffen kan benutten de resultante is van dichtheid van doorworteling van de bodem en van de beweeglijkheid van de voedselvoorraad. Een zeer fraai voorbeeld waarop deze opvatting van toepassing is vinden we in de volgende proefgegevens (Wallace, 1954).

Citrus-plantjes, gekenmerkt door een vrij grof wortelstelsel werden resp. gekweekt op voedingsoplossing, zandcultuur en in grond. De stikstof werd gegeven als  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , waarbij de  $\text{NH}_4\text{-N}$  gemerkt was met  $\text{N}^{15}$ , zodat na absorptie nagegaan kon worden in welke mate de  $\text{NH}_4\text{-}$  en  $\text{NO}_3\text{-}$  fracties aan de voeding hadden bijgedragen. Zowel in watercultuur als in zandcultuur werden de beide N-vormen in gelijke mate opgenomen. Uit grond daarentegen werd veel meer nitraat opgenomen en bleef de ammonium-absorptie

Tabel 2 Afstand waarover ionen uit verschillende waterverzadigde grondsoorten worden onttrokken door een eenheid gevuld met ionenuitwisselaars

		onttrekkings-afstand	meest voorkomende waarde
aan colloïden geadsorbeerde ionen	Ca, Mg, Mn	1—10 mm	< 2,5 mm
	K, Na	1—15 mm	5 mm
	$^3\text{O}d^2\text{H}$	1—15 mm	7,5 mm
in de bodem-oplossing aanwezige ionen		1—50 mm	

(art. Tepe en Leidenfrost, tabel 3)

Table 2 Distance over which ions are extracted from water saturated soil by means of an ion-exchanger unit

achter. Dit wordt begrijpelijk als men zich realiseert, dat de  $\text{NH}_4$ -fractie nu aan een binding met het adsorptiecomplex onderhevig is en dus een veel geringere mobiliteit zal vertonen. Juist bij het grove wortelstelsel zal deze geringe mobiliteit een verlaagde opneming tot gevolg hebben. Het verschil in mobiliteit tussen  $\text{NH}_4$  en  $\text{NO}_3$  wordt ook door Bould (1959) naar voren gebracht.

Dat de geringe beweeglijkheid een ernstige belemmering kan zijn bij het zich ten nutte maken van de beschikbare voorraad, vooral daar de bewortelingsdichtheid veelal maar in zo'n gering 'contact-volume' resulteert, is in een proef over fosfaat-absorptie gebleken. Zo nam in potproeven de fosfaat-absorptie aanzienlijk toe als de grond onder recirculatie doorlopend gepercoleerd werd. De circulerende oplossing komt dan met de meeste gronddeeltjes in aanraking en kan overal P desorberen en zodoende veel meer fosfaat bij de wortel brengen (Shapiro e.a., 1960). Ook proeven van Fried e.a. (1957) ondersteunen deze opvatting.

Op grond van de geschetste gedachtengang volgt dat een slechte en vooral ook kluitrige bodemstructuur rechtstreeks de opneming van voedingsstoffen zal beïnvloeden. Dit niet alleen wat de hoeveelheid betreft maar evenzeer wat betreft de onderlinge verhouding van verschillende ionen. Primair loopt de invloed via het effect op de dichtheid van doorworteling. Naarmate de ontsluiting van het gegeven bodemvolume minder wordt zal er tevens een toenemende discrepantie optreden in opneming van de beweeglijke en weinig beweeglijke voedingsstoffen.

Om deze zienswijze op zijn juistheid te toetsen zijn een aantal modelproeven genomen. Om over niet uiteenvallende aggregaten van een voldoende dichtheid te beschikken werden of draineerbuisen of bloempotten vergruizeld. Het verkregen gruis werd met behulp van zeven in 5 fracties gesorteerd; de kleinste fijner dan 1 mm, de grootste 1—2 cm in doorsnee. Uit het onderzoek van Eastoe en Pollard (1959) is bekend dat dit substraat nog in enige mate de klei eigenschappen behouden heeft en in staat is zelfs wat fosfaat te binden.

Het gruis werd allereerst langdurig gedrenkt met een voedingsoplossing van dubbele sterkte. Na enigermate gedroogd te zijn werden een aantal jampotjes met de verschillende fracties gevuld. Vervolgens werden per pot 3—5 jonge kiemplantjes in de potten gezet, die met water en nu en dan wat voedingsoplossing begoten werden. Water werd zo mogelijk pas toegediend als het verwelkingspunt bijna bereikt was, om te voorkomen dat de plantjes alleen maar teren op het vocht in de grotere capillairen. Na 3—4 weken groei werden de plantjes geoogst en op totaal N en P geanalyseerd.

Enkele proeven met zeeffracties van kleigronden mislukten ten dele, omdat de aggregaten bij herbevochtiging uiteenvielen of onvoldoende dicht waren om doorworteling te belemmeren. Eenmaal echter voldeden de verkregen aggregaten aan de gestelde eisen en werd de verwachte uitkomst verkregen.

In tabel 3 zijn de resultaten vermeld. Duidelijk is te zien dat het fosfaatgehalte toeneemt met toenemende fijnheid van het substraat. Des te fijner het substraat hoe beter de doorworteling, hoe groter het relatief oppervlak van de aggregaten met als resultaat een toeneming van het 'contact-volume'.

Tabel 3 Invloed van aggregaat-grootte op het N- en P-gehalte

aggregaten	rogge / rye			tomaten/tomatoes			zonnebloem			tarwe / wheat		
	% P	% N	N/P	% P	% N	N/P	% P	% N	N/P	% P	% N	N/P
zeer grof	0,93	1,81	2,0	0,12	3,3	27,5	0,04	2,35	57,3	0,12	2,96	24,7
grof	1,04	1,60	1,5				0,05	2,20	49,0	0,07	3,11	44,0
matig	0,99	1,78	1,8	0,15	3,3	2,20	0,08	1,94	23,1	0,17	2,88	17,0
fijn	1,13	1,59	1,4				0,06	2,14	34,5	0,17	3,22	19,0
zeer fijn	1,20	1,65	1,4	0,32	3,1	9,7	0,11	1,55	14,3			

Table 3 Influence of the size of the aggregate on the N- and P-content

De N-opneming — er is alleen nitraat aanwezig — is in sterke mate onafhankelijk van de aggregaat-grootte. Immers ook het nitraat in de grove deeltjes zal bij de wateronttrekking meegenomen worden naar het oppervlak. De grove beworteling zal geen bezwaar zijn, omdat het nitraat zeer beweeglijk is. Een schematische voorstelling (fig. 5) geeft aan, hoe men zich de benutting van fijne en grove aggregaten kan voorstellen.

In de literatuur worden ook een aantal waarnemingen vermeld, die de gegeven interpretatie steunen. Zo nam Domsch (1955) proeven met rogge, volgens een gewijzigde Neubauer techniek. De kiemplantjes werden gekweekt op de kruimelige fractie van de bouwvoor, een kluitigerige uitgezeefde fractie of op de grond in zijn oorspronkelijke kluitigerige toestand. De kluiten bleken niet of nauwelijks doorworteld te worden. De P- en K-opneming bleek sterk geremd te worden door de grove structuur.

Yoder (1937), die eveneens proeven heeft genomen met zuivere fracties van uiteenlopende grootte, constateerde dat de opbrengst regelmatig afnam bij toenemende grootte der aggregaten. Naar de foto's te oordelen wordt dan ook het wortelstelsel steeds grover.

In een recent onderzoek komt Atkinson (1959) tot dezelfde conclusies. Ook

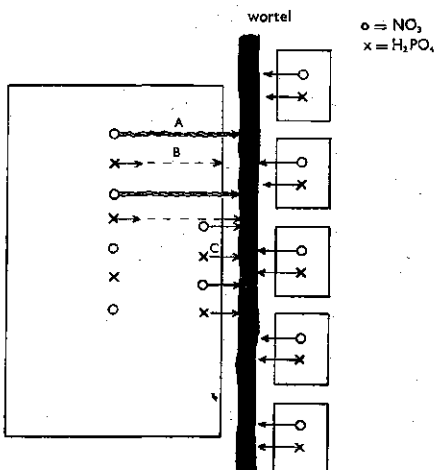


Fig. 5 Schematische voorstelling betreffende de benutting van grote en kleine kluiten.

A passief massatransport van een overwegend in oplossing voorkomend ion met aangezogen water mee

B minimaal transport met aangezogen water

C diffusie, gevolgd door desorptie



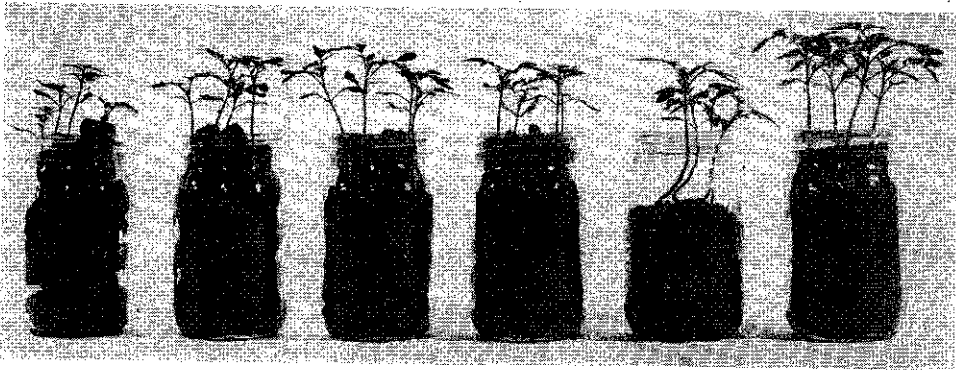


Fig. 6 Invloed van grootte van niet doordringbare kluiten op de groei van jonge tomaten

hier wreekt een kluitige structuur zich sterk op de beworteling van *Pinus radiata*, met als gevolg een verminderde opneming van mineralen en vooral van het weinig mobiele fosfaat. In een onderzoek van von Boguslawski en Lenz (1960) vinden we gegevens over de samenhang tussen structuur, beworteling, N-absorptie en opbrengst.

Dat een verbetering van de bodemstructuur de fosfaatvoorziening van de plant ten goede kan komen is o.a. waargenomen door van der Paauw (1948), Murdock and Seay (1954) en Cleveringa (1955). Door Goedewaagen is gevonden, dat de z.g. fosfaatmijdende grassoorten, dat zijn soorten die bij zeer lage fosfaatconcentraties zich gunstig in het grasbestand ontwikkelen, een relatief groot wortelstelsel hebben.

## 6 BESLUIT

In het voorgaande is duidelijk gebleken, dat een slechte structuur van de grond op twee uiteenlopende manieren beworteling en absorptie van voedingsstoffen rechtstreeks kan beïnvloeden.

Het voorkomen van dichte lagen kan langs de weg van mechanische weerstand of langs die van onvoldoende aeratie het bruto doorworteld volume beperken. Het gevolg zal zijn, dat het volume grond waaraan nitraat en andere mobiele ionen onttrokken wordt gereduceerd is, hetgeen een verminderde opneming hiervan ten gevolge kan hebben. Geringere opneming van de sterker gebonden en minder mobiele elementen hoeft niet te resulteren, daar immers een dichtere doorworteling mogelijk is, zodat het 'contact-volume' niet hoeft af te nemen. Ook Mitscherlich (1949) komt tot de conclusie, dat fosfaat absorptie niet evenredig is met het beschikbare volume substraat. Op een rijke grond met een behoorlijke structuur hoeft ondiepe beworteling geen bezwaar op te leveren, tenzij de waterhuishouding moeilijkheden gaat geven. Moeilijkheden zijn het eerst te verwachten bij de stikstofvoorziening.

Een slechte structuur in de vorm van dichte, vaak prismatische, kluiten zal allereerst een dichte doorworteling belemmeren en zal dus het 'contact-volume' sterk reduceren. De voorziening met fosfaat en andere weinig be-

weeglijke ionen komt dan in het gedrang. De opneming van nitraat en mobiele ionen zal weinig moeilijkheden hoeven te vertonen als het bruto doorworteld volume maar groot is. Compenserende maatregelen — zolang men niet de structuur zelf kan verbeteren — zijn de zorg voor een diepe beworteling en het opvoeren van de voorraad aan plantenvoedende bestanddelen.

Tenslotte dient men zich bewust te zijn, dat de geschetste samenhang geen volledig beeld geeft van de werkelijkheid. Tal van andere factoren, die zelfs ten dele met de structuur samenhangen, beïnvloeden zowel beworteling als absorptie. Een van de belangrijkste factoren in dezen is het vochtgehalte van de grond en de grondwaterstand. Daarnaast zal de N-mineralisatie via de aeratie eveneens van structuur en vochtgehalte afhankelijk zijn. Tenslotte zal een grote voorraad aan beschikbare voedingsstoffen vele verschijnselen overdekken maar bij een laag niveau zullen ze des te sterker tot uiting komen.

#### 7 SAMENVATTING

De directe afhankelijkheid van beworteling voor verschillen in structuur van de grond zijn terug te voeren op de dichtheid. Te grote dichtheid kan schadelijk werken via de toegenomen mechanische weerstand — vaak bij zandgrond — of via onvoldoende aeratie — vaak bij klei. Een kluitige structuur, vooral met dichte prismatische aggregaten, resulteert in een grof, weinig vertakt wortelstelsel.

Aan de hand van metingen van totaallengte of totaaloppervlak van het wortelstelsel, wordt een 'contact-volume' berekend. Hieronder wordt verstaan het volume grond, dat zodanig nabij de wortels ligt, dat het zonder noemenswaardige diffusie-afstanden de ionen aan het absorberende oppervlak van de wortel kan leveren. De berekeningen voeren tot het inzicht dat een gewas te velde maar ongeveer 1-5 % van het bruto doorworteld volume intensief kan benutten. Op de consequenties hiervan wordt gewezen.

Vervolgens wordt de mobiliteit van de beschikbare voorraad van de verschillende ionen nader bezien. Modern onderzoek heeft oudere opvattingen kwantitatief kunnen bevestigen. Extremen vormen bijv. het zeer beweeglijke nitraat en het zeer immobiele fosfaat.

Tenslotte wordt de interactie tussen doorwortelingsdichtheid of netto doorworteld volume — zoals deze door de structuur bepaald wordt — en de mobiliteit besproken. De bodemstructuur blijkt de opneming van voedingsstoffen direct te kunnen beïnvloeden, zowel kwantitatief als kwalitatief.

#### SUMMARY

Rooting can be directly influenced by soil structure on account of differences in density. Too high density can restrict root growth by means of increased impedance — often in sandy soils — or by means of insufficient aeration — often in clay soils. Occurrence of cloddy structures, especially those with dense prismatic aggregates, will result in a coarse, poorly branched root system.

Using available data on total root length or total surface of the root system, it was possi-

ble to estimate a 'root contact soil volume'. By this is meant a volume of soil so close to the root, that it can deliver ions to it over very short diffusion pathways. These calculations lead to the realisation that a crop in the field can only intensively utilize about 1—5 % of its total volume of soil enclosed by the root system. Consequences of this conclusion are discussed.

Further discussion is concerned with the mobility of the stock of different nutrient ions. Recent investigation have confirmed former opinions and have given quantitative data. The highly mobile stock of nitrate is in strong contrast to the largely immobile stock of phosphate.

Taking into account both netto exploited soil volume and mobility of the nutrients the influence of soil structure on uptake is discussed. It is demonstrated that soil structure can influence uptake, both as regards the quantity of absorbed nutrients and also the ratios between the separate ions.

## LITERATUUR

- ATKINSON, I. A. E.: Soils and the growth of *Pinus radiata* at Cornwallis Auckland. *New Zealand Journ. Sci.* 2 (1959) 443—473.
- BERTRAND, A. R. and H. KOHNKE: Subsoil conditions and their effects on oxygen supply and the growth of corn roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 21 (1957) 135—141.
- BOGUSLAWSKI, E. VON und K. O. LENZ: Die Ertragsbildung in Abhängigkeit von Porenvolumen und Bodenwiderstand. *Ztschr. Acker- u. Pflbau* 110 (1960) 379—392.
- BOULD, C.: Nitrogen nutrition of fruit crops. *N.A.A.S. Quart. Rev.* 11 (1959) 80—87.
- BRAY, R. H.: A nutrient mobility concept of soil-plant relationships. *Soil Sci.* 78 (1954) 9—22.
- CLEVERINGA, C. J.: Het onderzoek van plantenwortels in hun natuurlijk groeimilieu met behulp van eenvoudige middelen. De plantenwortel in de landbouw. Min. L.V.V., den Haag (1955) 192—198.
- DOMSCH, M.: Beziehungen zwischen Bodenstruktur und Nährstoffanalyse. *Ztschr. landw. Versuchs- u. Untersuch-wesen* 1 (1955) 547—555.
- EASTOE, J. E. and A. G. POLLARD: Some effects of the flowerpot on plant growth. *Plant and Soil* 11 (1959) 331—342.
- EGBERTS, H.: in Jaarverslag 1959 Tuinbouwkundig Onderzoek, pag. 331.
- EVANS, H.: Studies on the absorbing surface of sugar-cane roots systems. I. Method of study with some preliminary results. *Ann. of Bot. N.S.* 11 (1938) 159—183.
- FRIED, M. and R. E. SHAPIRO: Soil-plant relations in phosphorus uptake. *Soil Sci.* 90 (1960) 69—76.
- GILL, W. R. and R. D. MILLER: A method for study of the influence of mechanical impedance and aeration on the growth of seedling roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 20 (1956) 154—157.
- GOEDEWAAGEN, M. A. J.: Het wortelstelsel der landbouwgewassen. Dept. L. en V., den Haag (1942).
- e.a.: Wortelgroei in gronden bestaande uit een bovengrond van klei en een ondergrond van zand. *Versl. Landb. Ond. no. 61.7* (1955).
- HELLRIEGEL, H.: Beiträge z. d. naturwiss. Grundlagen des Ackerbaus (1883) 118—263. Wurzel und Bodenvolumen.
- HESLEP, J. M. and C. A. BLACK: Diffusion of fertilizer phosphorus in soils. *Soil Sci.* 78 (1954) 389—403.
- HULSHOF, H. J., L. J. J. VAN DER KLOES en A. F. C. M. SCHELLEKENS: Beworteling van appelbomen en bodemstructuur. *Meded. Dir. Tuinb.* 23 (1960) 33—42.
- KAMPE, K.: Studien über Bewurzelungsstärke und Wurzeleindringungsvermögen verschiedener Kulturpflanzen. *Wiss. Arch. f. Landwirtschaft., Pflanzenb.* 2 (1929) 1—49.
- KLUTE, A. and J. LETEY: The dependence of ionic diffusion on the moisture content of nonadsorbing porous media. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 22 (1958) 213—216.

- KRAMER, P. J. and T. T. KOZLOWSKI: Physiology of trees. New York (1960).
- KULLMANN, A.: Zur Intensität der Bodendurchwurzelung. *Ztschr. Acker- u. Pfl.bau* 103 (1957) 189—198.
- KRAUS, C.: Untersuchungen über die Bewurzelung der Kulturpflanzen in physiologischer und kultureller Beziehung. *Forsch. a. d. Gebiete d. Agrikultur-Physik* 17 (1894) 55—104.
- KUNTZE, H. und H. NEUHAUS: Die landeskulturelle Bedeutung der Pflanzenwurzel — ein Beitrag zum Problem der biologischen Standortverbesserung. *Der Kulturtechniker* 48 (1960) 60—77.
- LUGO-LOPEZ, M. A.: Pore size and bulk density as mechanical soil factors impeding root development. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 44 (1960) 40—44.
- LUTZ, J. E.: Mechanical impedance and plant growth in Shaw, B. T.: Soil physical conditions and plant growth. (1952) 43—73.
- MITSCHERLICH, E. A.: Bodenkunde für Landwirte, Forstwirte und Gärtner, 5. Aufl. Halle/Saale (1949).
- MURDOCK, J. T. and W. A. SEAY: The effect of a soil conditioner on uptake of superphosphate by greenhouse wheat. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 18 (1954) 97—98.
- NUTMAN, F. J.: The root system of *Coffea arabica*. III. The spatial distribution of the absorbing area of the root. *Emp. Journ. Expt. Agric.* 2 (1934) 293—302.
- PAAUW, F. VAN DER: Fosfaatbemesting in de landbouw. Den Haag (1948) 56—57.
- PAVLYCHENKO, T. K.: Quantitative studies of the entire root systems of weed and crop plants under field conditions. *Ecology* 18 (1937) 62—80.
- PFEFFER, W.: Pflanzenphysiologie, Bd. II; Kraftwechsel (1904).
- PHILLIPS, R. E.: Soil compaction and corn growth. *Agron. Abstr.* nov. 16—20 (1959) 3 Diss. Abstr. 20 (1959) 820.
- PRUMMEL, J.: Fertilizer placement experiments. *Plant and Soil* 8 (1957) 231—253.
- ROO, H. C. DE: Root growth in Connecticut tobacco soils. *Conn. Agr. Exp. Sta. Bull.* 608 (1957).
- SHAPIRO, R. E., W. H. ARMIGER and M. FRIED: The effect of soil water movement and phosphate diffusion on phosphorus uptake. *Agron. Abstr.* nov. 16—20 (1959) 13.
- TEPE, W. und E. LEIDENFROST: Ein Vergleich zwischen pflanzenphysiologischen, kinetischen und statischen Bodenuntersuchungswerten. I. Die Kinetik der Bodenionen gemessen mit Ionenaustauschern. *Landw. Forsch.* 11 (1958) 217—230.
- TROUGHTON, A.: The underground organs of herbage grasses. *Commonw. Agr. Bur. Bull.* no. 44 (1957).
- VEHMEYER, F. J. and A. H. HENDRICKSON: Soil density and root penetration. *Soil Sci.* 65 (1948) 487—495.
- VISSER, W. C. en M. A. J. GOBDEWAAGEN: Een onderzoek naar bodemstructuur en wortelontwikkeling. *Landbouwk. Tijdschr.* 55 (1943) 405—432.
- WALLACE, A.: Ammonium and nitrate nitrogen absorption by citrus. *Soil Sci.* 78 (1954) 89—94.
- WEAVER, J. E.: Summary and interpretation of underground development in natural grassland communities. *Ecolog. Monographs* 28 (1958) 55—78.
- , J. KRAMER and M. REED: Development of root and shoot of winter wheat under field environment. *Ecology* 5 (1924) 26—50.
- WIERSUM, L. K.: The relationship of the size and structural rigidity of pores to their penetration by roots. *Plant and Soil* 9 (1957) 75—85.
- : Influence of watercontent of sand on rate of uptake of Rubidium -86. *Nature* 181 (1958) 106—107.
- : Velocity of nutrient uptake by excised roots as governed by the soil solution. Trans 2nd and 4th Comm. Int. Soc. Soil Sci. Hamburg 24-31/8/58, vol. II (1958) 169—174.
- YODER, R. E.: The significance of soil structure in relation to the tilth problem. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 2 (1937) 21—33.
- De plantenwortel in de landbouw. Den Haag (1955).