

Syllabus

Grondbewerking

door Ir C.J. Cleveringa.

Centraal Instituut voor landbouwkundig onderzoek.

1. Inleiding.

De inhoud van de cursus "Grondbewerking" staat grotendeels beschreven in het artikel "Grondbewerking" dat is gepubliceerd in het orgaan "Bodem" van de "Nederlandse Vereniging voor Bodemgezondheid" no. 19 lente 1955 (5) ')

In verband met de mogelijkheid voor de cursisten om zowel van bovengenoemde als van andere in de aan deze syllabus toegevoegde literatuurlijst vermelde Nederlandse publicaties op het gebied van grondbewerking kennis te nemen, wordt in deze syllabus volstaan met de samenvatting van artikel (5) weer te geven.

De speciaal voor deze syllabus geschreven tekst heeft uitsluitend betrekking op de tijdens de cursus reprojecteerde grafieken, die hierbij zijn gereproduceerd.

2. Samenvatting van het artikel "Grondbewerking" (5).

1. In verhouding tot o.a. het onderzoek op het gebied van bemesting, zaai- en oogsttechniek is in het algemeen het grondbewerkingsonderzoek verwaarloosd.
2. Het grondbewerkingsonderzoek is herleefd wegens de ontwikkeling van de techniek op het gebied van landbouwwerktuigen en dank zij de ontwikkeling van nieuwe, meer exacte methoden van bodemonderzoek.
3. Het onderzoek van de afzonderlijke groeifactoren, die mede in verband met de grondbewerking de opbrengst van de gewassen bepalen, belooft meer inzicht in het grondbewerkingsvraagstuk te verschaffen dan het statistische onderzoek van het verband tussen grondbewerking en opbrengst op een groot aantal proef- of praktijkpercelen.
4. Het doel van de grondbewerking is de regeling van de fysische, chemische en biologische eigenschappen van de grond en de bestrijding van een met het gewas concurrerende vegetatie.
5. De vervulling van de eerste drie genoemde functies kan het meest doelmatig door de bodenflora en - fauna geschieden (biologische grondbewerking).
6. Mechanische grondbewerking blijft voorlopig noodzakelijk voor de handhaving van monoculturen door de bestrijding van opslag van voorgaande gewassen en van onkruid.

') () verwijst naar de literatuurlijst aan het slot van de syllabus.

7. De mechanische grondbewerking belemmert de biologische grondbewerking, doordat de natuurlijke ruimtelijke ordening in de grond wordt verstoord en de grond periodiek braak wordt gelegd. Het onvoldoende vervangen van de onttrokken oogsten door organisch voedsel voor het bodemleven vormt eveneens een belemmering voor het functioneren van de biologische grondbewerking.
8. Algemeen geldt, dat, naarmate de bodenflora en -fauna sterker ontwikkeld zijn, de behoefte aan mechanische grondbewerking geringer wordt, terwijl omgekeerd het bodemleven meer verzwakt wordt, naarmate de mechanische grondbewerking intensiever wordt toegepast.
9. De meest doelmatige grondbewerking berust op een compromis tussen de eisen, die een monocultuur voor haar handhaving tegenover de andere vegetatie stelt en de voorwaarden, die voor het functioneren van een biologische grondbewerking vervuld moeten zijn.
10. Voor het vinden van deze meest doelmatige methode van grondbewerking is het noodzakelijk, dat het onderzoek van de mechanische grondbewerking gekoppeld wordt aan dat van de organische bemesting en van de vruchtwisseling (grondbedekking), terwijl tevens het onkruid als eventuele spelbreker hierbij betrokken dient te worden.

3. De natuurkundige eigenschappen van de grond onder invloed van de grondbewerking.

De bodem bestaat uit deeltjes vaste materie, die in een min of meer losse pakking op elkaar gestapeld zijn. In deze syllabus zal gebruik gemaakt worden van de volgende symbolische aanduidingen:

G: de deeltjes vaste materie.

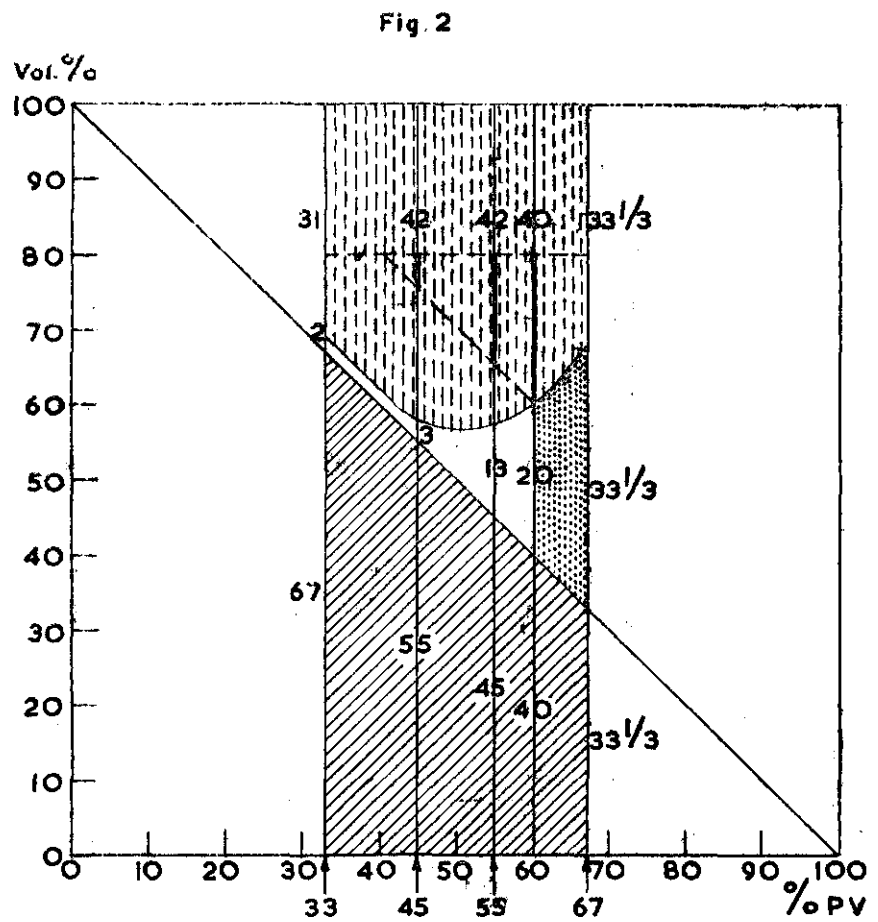
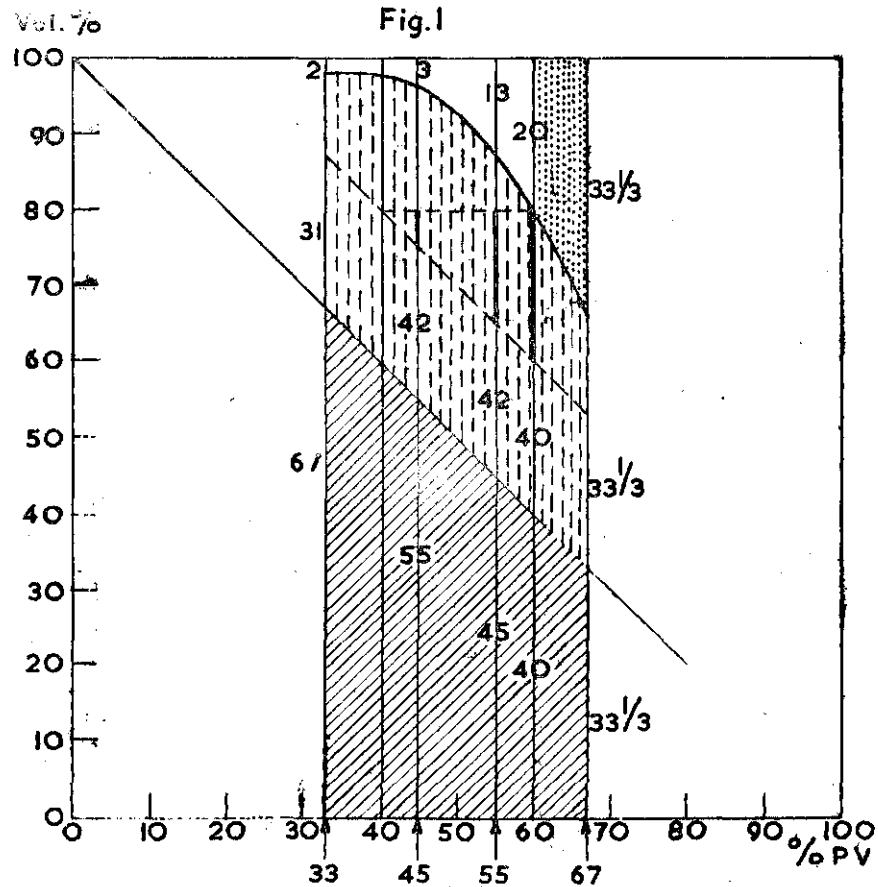
PV: het porienvolume, de ruimte tussen de deeltjes vaste materie

W: het water.

L: de lucht, die zich in de porien bevindt..

Het is meestal gebruikelijk de verhoudingen tussen de hoeveelheden G, W en L uit te drukken in volume percenten, waarbij het totale volume van het onderzochte grondmonster op 100 volume percenten wordt gesteld. In het algemeen geldt dus, uitgedrukt in volumepercenten, $G + W + L = G + PV = 100$. De aanduiding "volumepercenten" zal in het vervolg bij het gebruik van bovengenoemde symbolen weggelaten worden.

Grondbewerking beïnvloedt de onderlinge verhouding van G, W en L. In het algemeen zal onder invloed van grondbewerking het PV vergroot worden. (Een uitzondering op deze regel is b.v. het verkleinen van het PV door rollen en slepen). De losse stapeling van gronddeeltjes, die ontstaat door een mechanische bewerking heeft geen stabiel karakter (wankelstructuur). Onder invloed van de zwaartekracht, de mechanische druk van wielen, hoeven enz., de regenslag microerosie en een hoge grondwaterstand wordt door de grondbewerking geschapen ruimtelijke ordening verstoord, hetgeen tot uiting komt in een afname van het PV en het dalen van de bodemoppervlakte (bezakken van geploegde grond). In welke mate de wankelstructuur instort is afhankelijk van de kracht der bovengenoemde storende factoren en van de weerstand, die de grond hiertegen kan bieden. Deze weerstand is afhankelijk van de grondbedekking, het slib-, kalk- en humusgehalte van de grond, de hoeveelheid verteerbare organische



Legenda :

	lucht vol. < 20 %		water
	lucht vol. > 20 %		grond

stof, de ontwikkeling van de bodemflora en -fauna, de aanwezigheid van plantenwortels en een goede ontwatering (5).

De veranderingen van het PV in een bewerkte grond verdienen de bijzondere aandacht van de onderzoeker, die het verband tussen grondbewerking en de opbrengst van cultuurgewassen bestudeert. Het PV bepaalt namelijk de hoeveelheden W en L, die de bodem kan bevatten. De onderlinge verhouding, waarin W en L aanwezig zijn, is afhankelijk van de diameters der porien; er bestaat een verband tussen het totale PV en de onderlinge verhouding van de hoeveelheden porien met een bepaalde diameter. Te samen met vele andere hierboven genoemde factoren beïnvloedt de grondbewerking dus het PV in de bewerkte laag en hiermee de hoeveelheden W en L in deze laag, waarover de planten-wortels kunnen beschikken. In de grafieken 1 tot en met 10 zal worden gedemonstreerd op welke wijze de natuurkundige eigenschappen van een bewerkte bouwvoor kunnen veranderen.

Fig. 1 en 2.

Op de horizontale as is het PV en op de verticale as G afgezet. Het PV is gedeeltelijk gevuld met W en de rest wordt door L ingenomen; G, W en L zijn als afzonderlijke lagen boven elkaar gedacht. In minerale gronden blijkt het PV in de bouwvoor in extreme gevallen te variëren tussen ongeveer 33 en 67 (vol.%); dikwijls wordt echter een PV tussen 45 en 55 aangetroffen. In de fig. 1 en 2 is aangegeven, welke hoeveelheden W en L in een bepaalde grond aanwezig zijn bij een PV 33, 45, 55, 60 en 67. Deze verhoudingen tussen W en L hebben betrekking op een zeer bepaalde situatie, namelijk die, waarbij de volledig met W verzadigde grond gelegenheid heeft gekregen gedurende een bepaalde tijd onder invloed van de zwaartekracht vrij uit te lekken. Hierbij blijkt, dat niet al het W uit de grond verdwijnt en plaats maakt voor L, maar dat een gedeelte van het W door de grond wordt vastgehouden met een kracht, die blijkbaar groter is dan de zwaartekracht. De hoeveelheid water, die na vrij uitlekken door de grond wordt vastgehouden, heet, uitgedrukt in volumepercenten, de veldcapaciteit; uit de fig. 1 en 2 blijkt, dat deze grootte voor een zelfde grond afhankelijk is van het PV. Op deze plaats zal niet nader worden ingegaan op de aard van de aantrekking, kracht van de grond op het water, maar worden volstaan met de mededeling, dat de grootte van deze kracht afhankelijk is van de diameter der porien. Naarmate de porien nauwer zijn, des te sterker wordt het zich in deze porien bevindend water door de grond vastgehouden. De porien met een diameter van ongeveer 30 μ ($1 \mu = 0.001 \text{ mm}$) binden het water met een kracht, die gelijk is aan de zwaartekracht. Alle porien met een diameter kleiner dan ongeveer 30 μ worden capillairen genoemd. De in fig. 1 en 2 aangegeven volumepercentages W bevinden zich dus in deze capillairen; het water in de wijdere capillairen is in de ondergrond weggezakt en vervangen door lucht.

Er bestaat nu een verband tussen het PV en de verhouding, waarin dit PV wordt ingenomen door niet- en wel capillaire holtten. De fig. 1 en 2 geven een schematisch voorbeeld van dit verband, waarbij de niet- capillaire porien dus met L en de capillaire porien met W zijn gevuld. Bij een PV 67 is de verhouding $G : W : L = 33 : 33 : 33$. Wij nemen aan, dat deze

verhouding optreedt in een vers geploegde bouwvoor. Tijdens het bezakken van deze bouwvoor daalt het PV bijvoorbeeld tot 33. Het blijkt nu, dat in dat geval $G : W : L = 67 : 31 : 2$. De afname van het PV heeft dus voornamelijk ten koste van de wijde porien plaatsgevonden; tijdens de afname van het PV daalt L veel sterker dan W. Uit fig. 2, waarin dezelfde gegevens als die in fig. 1 op een andere wijze zijn afgebeeld, blijkt nog duidelijker, dat tijdens het bezakken van de grond W zelfs eerst relatief toeneemt en pas bij een afname van PV beneden 50 gaat dalen. De fig. 1 en 2 illustreren het feit, dat grondbewerking in de eerste plaats de luchthuishouding in de grond beïnvloedt en in veel geringere mate de waterhuishouding. Wij zullen, mede in verband met de omstandigheid, dat in deze cursus de waterhuishouding van de grond reeds uitvoerig wordt behandeld, vooral aandacht aan de luchthuishouding besteden.

Om de betekenis van de aangegeven veranderingen in de natuurkundige eigenschappen van de bouwvoor voor de groei van onze cultuurgewassen te kunnen begrijpen, dienen wij te weten, welke eisen de plantenwortels aan deze eigenschappen stellen.

In het algemeen is bekend, dat de wortels van onze cultuurgewassen steeds gelijktijdig over water en lucht moeten kunnen beschikken. Wat de benodigde hoeveelheden betreft geldt zowel voor water als voor lucht, dat een bepaald minimum hoeveelheid voldoende is, mits de door de plant gebruikte hoeveelheid regelmatig wordt aangevuld. Voor water betekent dit, dat de aan de bouwvoor door verdamping en door plantenwortels onttrokken hoeveelheid wordt aangevuld, hetzij van de ondergrond uit door capillaire opstijging, hetzij van boven door regen. Daar deze beide waterbronnen dikwijls te kort schieten, zal het gewenst zijn, dat de in de bouwvoor aanwezige voorraad water aan het begin van het groeiseizoen zo groot mogelijk is.

De eisen, die door de plantenwortels aan de luchthuishouding worden gesteld zijn minder eenvoudig te vervullen. Hierbij valt niet zo zeer de nadruk op de aanwezige voorraad lucht als wel op de mogelijkheid deze snel te verversen. De plantenwortels en de aërobe bodemorganismen eisen namelijk niet alleen een minimum hoeveelheid zuurstof voor hun ademhaling maar eveneens een koolzuurgehalte, dat beneden een critische waarde blijft; het door de wortels en de bodemorganismen gevormde koolzuur is namelijk voor deze beide een sterk vergif, zodra de concentratie een zekere grenswaarde overschrijdt. Opdat het in de grond gevormde koolzuur snel wordt afgevoerd en de zuurstof voorraad snel wordt aangevuld is een voortdurende verversing van de bodematmosfeer vereist. De verversing van de bodemlucht vindt voornamelijk plaats door middel van diffusie. Naarmate het PV groter is heeft er een snellere luchtverversing plaats. Aangezien de nauwe porien bij wisselend vochtgehalte de langste tijd met water zijn gevuld, is voor een permanente lucht circulatie een zo groot mogelijk volumepercentage wijde porien van grote betekenis.

Het bovenstaande samenvattende blijkt dus, dat uit het oogpunt van de waterhuishouding in een grond veel porien met een diameter kleiner dan 30 μ zijn gewenst, maar dat voor een goede regeling van de luchthuishouding juist de aanwezigheid van veel porien met een ruimere diameter nodig zijn. De eisen, die aan de natuurkundige eigenschappen van de grond uit het oogpunt van water- en luchthuishouding worden gesteld, zijn dus tegenstrijdig met elkaar. Het noodzakelijk gevolg is, dat

de voor de plant ideale oplossing op een compromis moet berusten. Dit compromis kan als volgt worden geformuleerd:

Er dient in de grond, naast een voldoende hoeveelheid grove porien voor de verzorging van een optimale lucht circulatie, een zo groot mogelijk aantal capillaire porien aanwezig te zijn, opdat de grond zoveel mogelijk water kan vasthouden.

Het is een ernstig te kort koming van de wetenschap, dat nog steeds niet bekend is, bij welke minimum volume grove porien de luchthuishouding in de grond voor de cultuurgewassen goed geregeld is. Zolang dit niet bekend is, kunnen wij immers de doelmatigheid van een bepaalde wijze van grondbewerking aan de hand van de door deze grondbewerking tot stand gekomen ruimtelijke ordening in de grond niet beoordelen. Door verschillende onderzoekers wordt verondersteld, dat in de bouwvoor het volumepercentage grove porien afhankelijk van het gewas 15 - 30 behoort te zijn. In alle in deze syllabus besproken gevallen is als minimum een volumepercentage lucht van 20 (L 20) aangenomen. Wanneer L kleiner is dan 20 (L 20 -) wordt de lucht als een groei beperkende factor beschouwd; indien L groter dan 20 is (L 20 +), dan wordt de lucht verondersteld in overmaat aanwezig te zijn. Bij de beoordeling van de natuurkundige eigenschappen van de grond stellen wij dus als eis, dat L is gelijk 20 en dat W zo groot mogelijk is.

Voor een optimale groei van de gewassen moet echter nog een andere voorwaarde vervuld zijn. Al het water in de grond is niet voor de plant beschikbaar. In de eerste plaats kan het water in de porien met een diameter groter dan 30 μ slechts in zeer beperkte mate door de wortels worden opgenomen; dit water zakt immers snel weg naar de ondergrond. Daarnaast is echter een gedeelte van het water zo sterk door de grond gebonden, dat de wortels met de door hen uitgeoefende zuigkracht niet in staat zijn dit water aan de grond te onttrekken.

De kracht waarmee porien met een diameter van ongeveer 0.2 μ het water vasthouden is gelijk aan de maximale zuigkracht van de wortels, die voor alle plantensoorten gelijk is. Het water, dat zich in porien met een kleiner diameter bevindt is dus niet beschikbaar voor de plant; het volumepercentage van dit water wordt het verwelkingspercentage genoemd, in het vervolg aangeduid met het symbool V.

Naast L = 20 en W is zo groot mogelijk stellen wij dus als derde eis: V is zo klein mogelijk.

Wij zullen thans overgaan tot het beoordelen van de wijze, waarop in het in fig. 1 en 2 gegeven voorbeeld aan de door ons gestelde eisen is voldaan. Er is verondersteld, dat het verwelkingspercentage in deze grond 20 bedraagt (V 20); in verband hiermee is in beide figuren een lijn V 20 getrokken, die aangeeft, welk gedeelte van het water wel en niet beschikbaar is voor de plant. Tevens is een lijn L 20 getrokken, die aangeeft welke hoeveelheid water de lucht tot een lager volumepercentage dan 20 verdringt. Het aantal volume percenten water tenslotte, dat voor de plant beschikbaar is (groter dan V) en geen lucht verdringt (kleiner dan L 20) is voor elk aangegeven PV met een verdikte lijn aangeduid. Deze laatst genoemde hoeveelheid water is zowel opneembaar als onschadelijk voor de plantenwortels en kan dus als voor de plant nuttig water worden beschouwd; in het vervolg wordt dit nuttig water aangeduid met het symbool W_n, eveneens uitgedrukt in volumepercenten. Het volume lucht, dat groter is dan 20%, is

in de fig. 1 en 2 met stippels aangegeven, opdat gemakkelijk te zien is bij welk PV aan de eis L 20 is voldaan. In ons voorbeeld blijkt dit bij PV 60 het geval te zijn. Het gehele verloop van de natuurkundige eigenschappen van deze grond tijdens het bezakkingsproces is in Tabel 1 samengevat:

Tabel 1

<u>PV</u>	<u>G</u>	<u>W</u>	<u>L</u>	<u>L</u>	<u>Wn</u>
67	33	33	33	20+	13
60	40	40	20	20	20
55	45	42	13	20-	15
45	55	42	3	20-	5
40	60	37	3	20-	0
33	67	31	2	20-	0

Uit de fig. 1 en 2 en Tabel 1 blijkt dus, dat in de vers geploegde grond met een V 20 een overmaal L (L 20+) aanwezig is en 13 Wn. Bezakt deze grond, dan is bij PV 60 juist aan de eis L 20 voldaan, terwijl er dan een grotere hoeveelheid Wn aanwezig is namelijk Wn 20. Daalt het PV nog verder dan kunnen er twee dingen gebeuren. Blijft de grond steeds tot veldcapaciteit met water gevuld, dan treedt er een steeds ernstiger lucht tekort op. Wordt er daarentegen door directe verdamping van het bodemvocht of door indirecte verdamping via de plant zoveel water aan de grond onttrokken, dat L = 20 blijft, dan daalt Wn in steeds sterkere mate totdat bij PV 40 Wn=0 (snijpunt van de lijnen L 20 en V 20).

In beide gevallen wordt de situatie ongunstiger voor de planten productie en de conclusie is dan ook, dat in deze grond optimale groeivoorwaarden voor de plant aanwezig zijn bij een PV 60. Er is dan voldoende lucht circulatie in de grond, terwijl gelijktijdig een zo groot mogelijke hoeveelheid voor de wortels opneembaar water aanwezig is.

Het doel van de grondbewerking kan aan de hand van dit voorbeeld nu als volgt worden omschreven: Door mechanische bewerking moet getracht worden de grond in een zodanige toestand te brengen, dat het porienvolume na bezakking onder invloed van de zwaartekracht 60% bedraagt. Door stimulering van de "biologische grondbewerking" (5), door vergroting van de stabiliteit der aggregaten en door bescherming van deze ruimtelijke ordening tegen regenslag door middel van een grondbedekking, dient getracht te worden dit porienvolume te handhaven gedurende het gehele groeiseizoen van het gewas.

Figuur 3.

Hoewel in de fig. 4 tot en met 10 de hoeveelheden G, W en L op dezelfde wijze als in de fig. 1 en 2 in volumepercenten zullen worden weergegeven, wordt aan de hand van fig. 3 de aandacht er op gevestigd, dat deze verhoudingsgetallen wel een juiste

Fig. 3

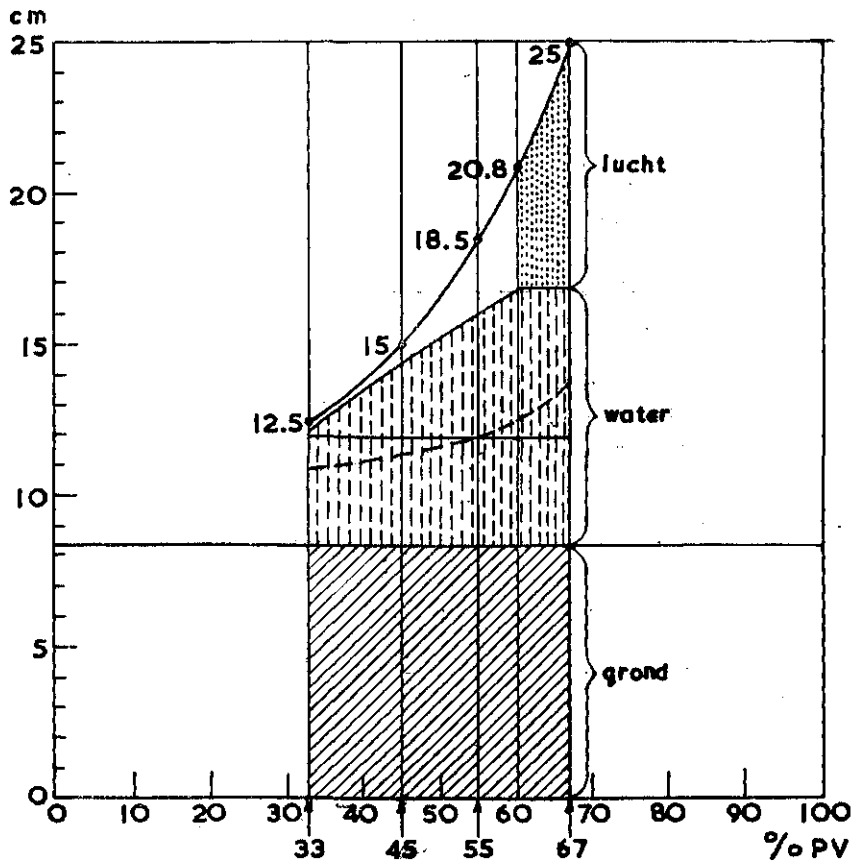
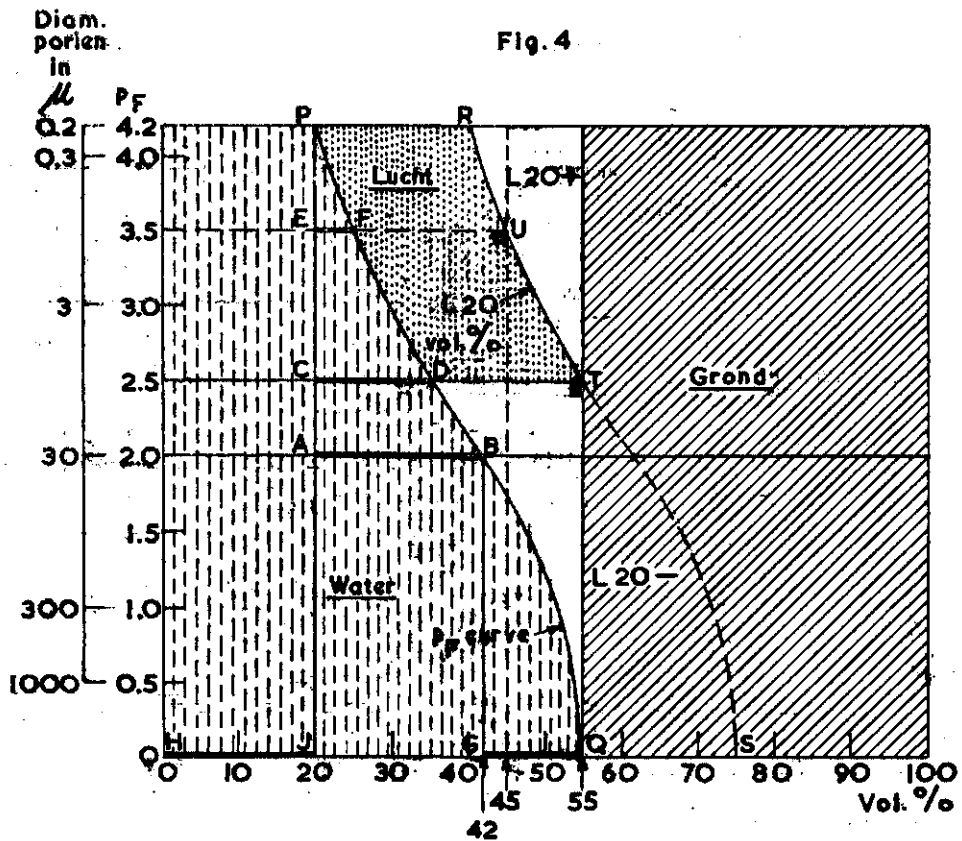


Fig. 4



indruk geven van de absolute hoeveelheden G, W en L in het onderzochte grondmonster maar niet van die in de gehele bouwvoor, waar het monster uit is genomen. Voor het (ring) monster geldt steeds $G + W + L = 100$ en daar de inhoud van het ringmonster steeds gelijk is, geven de verhoudingscijfers $G : W : L$ de werkelijke aanwezige volumina: grond, water en lucht weer. Tijdens het bezakken van een vers geploegde grond wordt de dikte hiermee het volumen van de bouwvoor echter geringer. Bij verschillende PV geldt ook voor de bouwvoor $G + W + L = 100$, maar het absolute volumen van de bouwvoor is bij een groot PV groter dan bij een kleine PV. 50 W, bepaald in een grondmonster, geeft dus bij een groot PV een groter absolute hoeveelheid water in de bouwvoor aan dan bij een klein PV.

Fig. 3 geeft nu een indruk van de veranderingen van de absolute hoeveelheden grond, water en lucht in een bouwvoor, voor het geval, dat deze veranderingen, bepaald in ringmonsters, precies dezelfde zijn als in het voorbeeld, dat in de fig. 1 en 2 en Tabel 1 is weergegeven. Er is hierbij verondersteld, dat de dikte van de bouwvoor van de vers geploegde grond, met een verhouding $G : W : L = 1 : 1 : 1$, 25 cm bedraagt. Aangezien de vaste materie onsamendrukbaar is, blijft het volume gronddeeltjes steeds gelijk. Daar de dikte van de afzonderlijk boven elkaar gedachte lagen grond, water en lucht een maat voor hun absolute volumen is, kan het volume grond onafhankelijk van het PV aangegeven worden met een laag ter dikte van $1/3 \times 25 = 8.3$ cm. Met behulp van de in Tabel 1 vermelde volumepercentages, bepaald in grondmonsters, kan nu bij elk gewenst PV de absolute hoeveelheid water en lucht in de bouwvoor berekend worden met Tabel 2 als resultaat.

Tabel 2

<u>Vol. %</u>		<u>Hoogte in cm als maat voor absolute volumen</u>			
<u>PV</u>	<u>Bouwvoor</u>	<u>G</u>	<u>PV</u>	<u>W</u>	<u>L</u>
67	25	8.3	16.7	8.3	8.3
60	20.8	8.3	12.5	8.3	4.2
55	18.5	8.3	10.2	7.8	2.4
45	15.0	8.3	6.7	6.2	0.5
33	12.5	8.3	4.2	4.0	0.2

Uit tabel 2 blijkt, dat bij daling van het PV van 67 tot 33 de dikte van de bouwvoor afneemt van 25 tot 12.5 cm. Hieruit blijkt terstond, dat wij hier met extreme waarden te maken hebben, die in de praktijk normaal niet voorkomen. Het belangrijke feit, dat bezakking van de grond voornamelijk ten koste van de grove porien plaats vindt, die bij verzadiging van de grond met water tot veldcapaciteit met lucht zijn gevuld, komt zowel in Tabel 1 als in Tabel 2 goed tot uitdrukking. Wij vestigen er echter de aandacht op, dat bij een daling van het PV van 67 tot 60 de veldcapaciteit in het ringmonster stijgt, van 33 tot 40 (Tabel 1), terwijl de absolute hoeveelheid water in de bouwvoor precies gelijk blijft (Tabel 2).

De oorzaak is, dat 33 % van 25 cm = 40% van 20.8 cm. Terwijl het volumepercentage water bij een daling van het PV van 67 tot 33 vrijwel gelijk blijft, neemt de werkelijke hoeveelheid water in de bouwvoor af tot minder dan de helft.

De weergave van volumepercenten in een ringmonster geeft dus geenszins een juiste indruk van de absolute hoeveelheden in de bouwvoor. Als derde voorbeeld wordt gewezen op de weergave van V (verwelkingspercentage). Tijdens het bezakken van geploegde grond zal de absolute hoeveelheid water in de nauwste poriën in het algemeen niet sterk veranderen, aangezien deze poriën vrijwel niet deelnemen aan het bezakkingsproces. In fig. 3 is nu met een getrokken lijn aangegeven, dat zich 3.7 cm water in de grond bevindt in poriën met een diameter kleiner dan 0.2 mu. Deze hoeveelheid is gelijk aan 20 volumepercent van een 18.5 cm dikke bouwvoor. In volumepercenten uitgedrukt is bij PV 55 dus V 20. In de fig. 1 en 2 en in Tabel 1 is onafhankelijk van het PV V 20 constant gehouden om aan te geven, dat het verwelkingspercentage gelijk blijft. Indien wij echter in fig. 3 de absolute hoeveelheden water in de bouwvoor aangeven, die bij constante V 20 bij verschillende PV aanwezig zijn, dan liggen de punten niet op de getrokken maar op de gestreepte lijn.

Voor een juiste weergave van een gelijk blijvende sterk gebonden hoeveelheid water in de bouwvoor dient het in grondmonsters bepaald V dus te stijgen naarmate het PV daalt en omgekeerd.

Bij een daling van PV neemt de absolute hoeveelheid nuttig water in de bouwvoor dan sterker af dan de afname van Wn zou doen vermoeden. Voor de weergave van de luchthuishouding gelden, hoewel in minder sterke mate, dezelfde bezwaren.

Voor hen, die de bovengenoemde uiteenzetting niet geheel hebben kunnen volgen, zij het voldoende, dat de weergave van de G : W : L in volumepercenten van grondmonsters, afkomstig uit een bezakkende bouwvoor, een gunstiger beeld geeft van de water- en luchthuishouding dan in werkelijkheid het geval is. Indien bij de bespreking van volgende aan de praktijk ontleende voorbeelden blijkt, dat in verschillende gevallen de natuurkundige eigenschappen van cultuurgronden niet gunstig zijn voor de plantengroei, dan bedenke men, dat in werkelijkheid de absolute hoeveelheid voor de plant beschikbaar water en lucht in de bouwvoor bij kleine porienvolumen nog geringer zijn, dan de vermelde volumepercentages doen vermoeden.

De reden, dat men in het algemeen de hoeveelheden grond, water en lucht in volumepercenten uitdrukt, berust op het feit, dat het onderzoek meestal plaats vindt in bodemprofielen met een min of meer constant porienvolume. In de dynamische bewerkte bouwvoren met hun sterk wisselend porienvolume zou men eigenlijk beter tevens de absolute water- en luchtgehalte kunnen aangeven.

Figuur 4.

In aansluiting op hetgeen op deze cursus over waterhuishouding wordt medegedeeld, zullen thans de veranderingen in de natuurkundige eigenschappen van de grond onder invloed van de grondbewerking weergegeven worden met behulp van een zogenaamde pF kromme. De pF heeft betrekking op de kracht, waar-

mee het water door de grond wordt vastgehouden. De grond houdt het water des te sterker vast naarmate de porien nauwer zijn. Wij kunnen dus in plaats van pF waarden ook poriëndiameters aangeven, hetgeen in de fig. 4 tot en met 10 op de verticale as is geschied. Naarmate de porien nauwer zijn stijgt de pF. Op de horizontale as zijn G, W en L in volumepercenten aangegeven, W links, L in het midden en G rechts. Elk punt op de pF kromme PQ geeft aan, welke hoeveelheid W in de grond aanwezig is bij een bepaalde kracht, waarmee dit water door de grond minstens wordt vastgehouden (pF waarde) of bij de maximale diameter van de porien, waarin zich dit water bevindt.

Het PV in dit voorbeeld is 55. De veldcapaciteit en het verwelkingspercentage zijn gelijk aan die in fig. 1 en 2. De veldcapaciteit W 42 komt overeen met een pF 2.0, het verwelkingspercentage V 20 met een pF 4.2. In de geheel met water verzadigde grond W 55 is de pF 0. Daalt het vochtgehalte van de volledig met water verzadigde grond tot de veldcapaciteit, dan is de hoeveelheid water verminderd met 13 vol.% ($55 - 42 = 13 = GQ$); daalt het vochtgehalte verder tot het verwelkingspercentage, dan is de hoeveelheid water verminderd met 22 vol.% ($42 - 20 = 22 = JG = AB$). Er bevindt zich dan nog 20W in de grond ($V 20 = HJ$), dat niet opneembaar is voor de plantenwortels. Terwijl er in de grond bij PV 55 dus bij verzadiging tot veldcapaciteit 22 vol.% water voor de plant beschikbaar is, is er slechts 13 vol.% ($55 - 42 = 13$) lucht beschikbaar. Het snijpunt T van de L 20 kromme (RS), die evenwijdig aan de pF is getrokken, met de scheidingslijn tussen G en PV geeft aan, dat bij pF 2.5 aan de eis L 20 is voldaan. In de figuren 4 tot en met 9 is het gedeelte van het volume, dat 20 L bevat, gestippeld. Er is dan echter slechts 15 W (CD) meer voor de plant beschikbaar in plaats van 22 W (AB). (Vergelijk Tabel 1 Wn 15).

Evenals in de volgende figuren is in grafiek 4 met een verdikte lijn (EF) aangegeven hoe groot Wn is bij een daling van het PV tot 45. Bij deze daling van het PV schuift de grenslijn tussen G en PV naar links tot 45 vol%; hiermee verandert natuurlijk ook de pF kromme. Het punt Q komt bij 45 vol% te liggen. Zoals wij hebben gezien gaat de daling van het PV voornamelijk ten koste van de grove porien, dat wil zeggen de pF kromme zal voor hogere waarden dan pF 2.0 niet zo sterk veranderen.

In werkelijkheid wordt de pF curve bij daling van het PV niet alleen beneden pF 2 naar links verschoven; daar bij een sterk dalend PV de veldcapaciteit daalt en het verwelkingspercentage stijgt verschuift punt B naar links en punt P naar rechts, zodat de pF kromme als geheel een steiler verloop krijgt, hetgeen ongunstiger water- en luchtgehalte voor de plantenwortels tengevolge heeft (Vergelijk de toelichting bij fig. 3). Deze veranderingen in de pF kromme zullen echter buiten beschouwing gelaten worden. De L 20 lijn zal hierdoor ook vrijwel ongewijzigd blijven, zodat wij bij een PV 45 de grootte EF van Wn vinden. Bij de pF, die aangegeven wordt door het snijpunt V van de scheidingslijn tussen G en het nieuwe PV met de lijn L 20. Zoals in Tabel 1 is aangegeven is dus bij een PV 45 het volumepercentage lucht bij de veldcapaciteit slechts 3, terwijl het volumepercentage voor de plant beschikbaar water slechts 5 bedraagt, wanneer aan de eis L 20 is voldaan. Een ogen-

schijnlijk slechts geringe daling van het PV van 10 heeft dus voor de plant zeer belangrijke veranderingen in de water- en luchthuishouding tengevolge. Hoewel het volumepercentage voor de plant opneembaar water slechts weinig verandert, verdringt een veel groter gedeelte van dit water de voor de plantenwortels eveneens noodzakelijke lucht. Wanneer het watergehalte van de grond zo sterk daalt, dat er voldoende PV voor lucht beschikbaar komt, dan dreigt de plant te verdrogen.

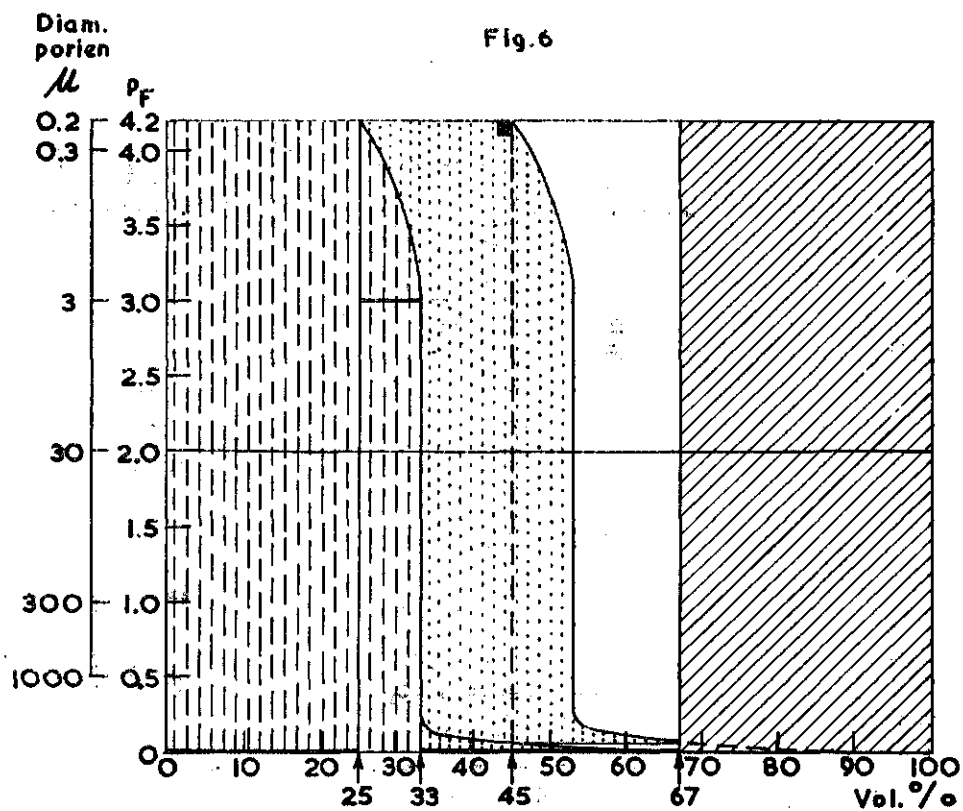
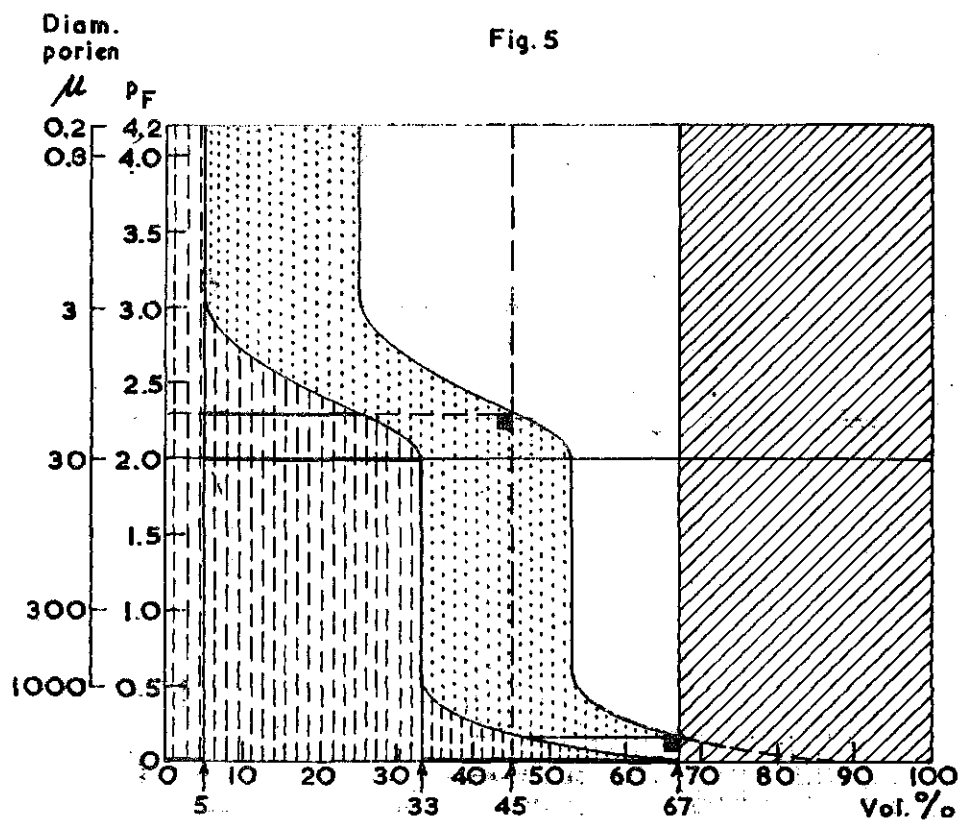
Figuur 5.

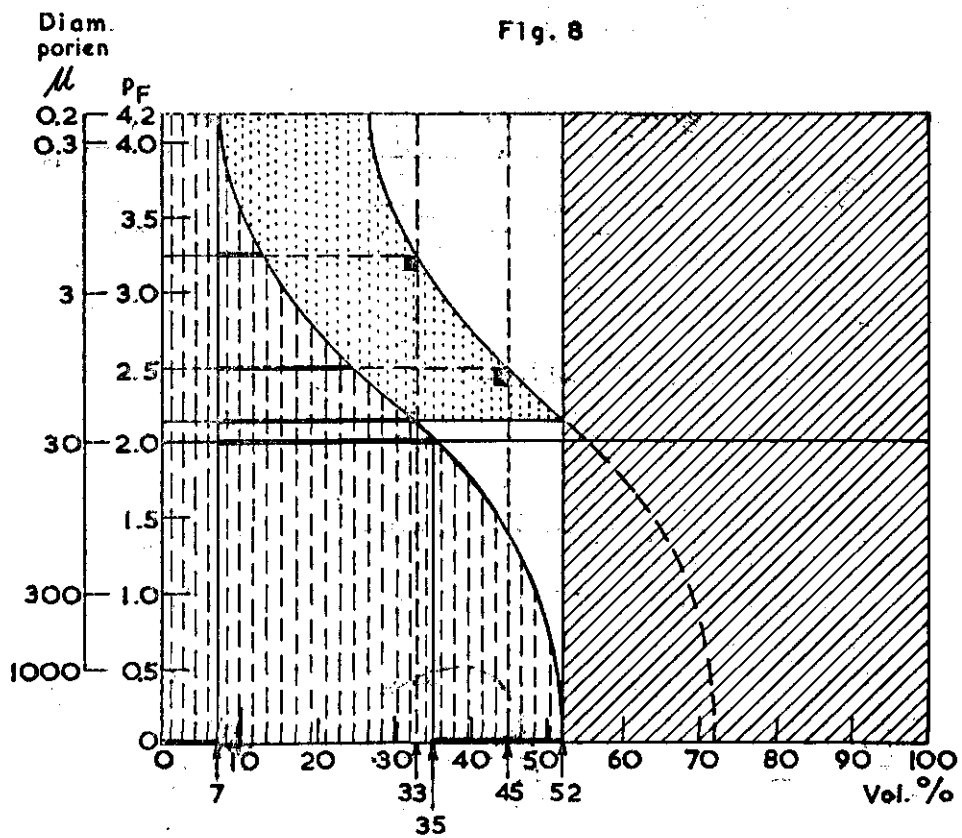
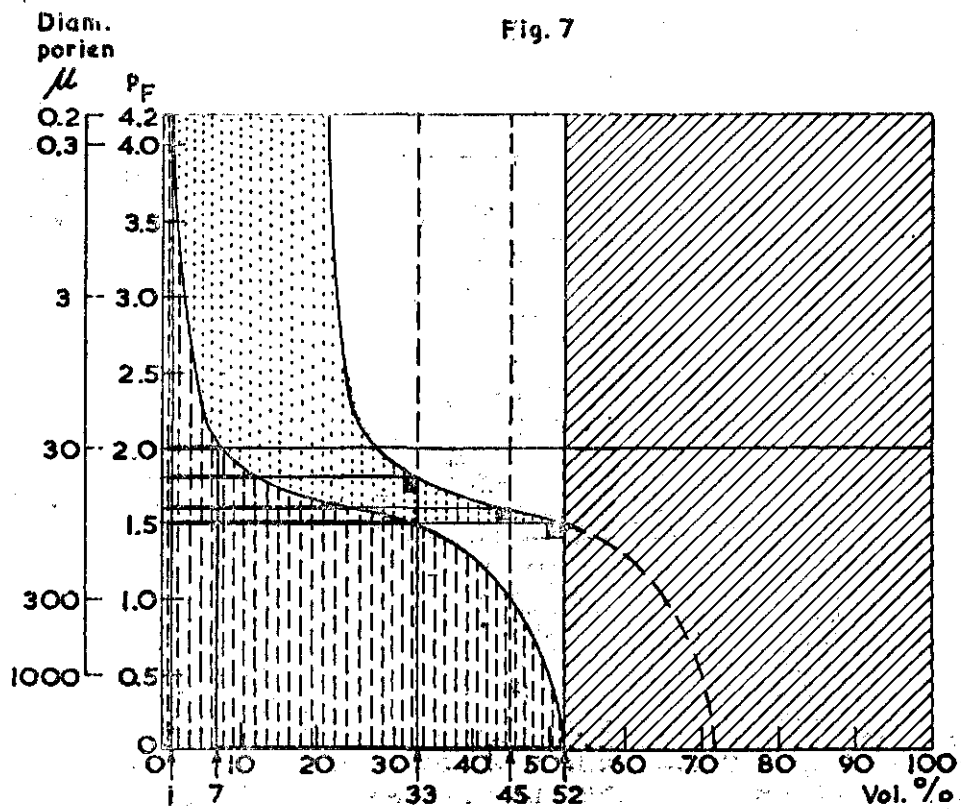
In deze figuur is een theoretische pF curve getekend, die uit het oogpunt van de water- en luchthuishouding in de grond voor de plant als ideaal kan worden beschouwd. De in Tabel 3 vermelde cijfers hebben betrekking op deze figuur. V is 5.

Tabel 3

<u>PV</u>	<u>pF</u>	<u>G</u>	<u>W</u>	<u>L</u>	<u>L</u>	<u>Wn</u>
66	0	33	66	0	20-	41
66	0.15	33	46	20	20	41
66	0.5	33	33	33	20+	28
66	2.0	33	33	33	20+	28
66	3.0	33	6	60	20+	1
66	4.2	33	5	61	20+	0
45	0.5	55	33	12	20-	20
45	2.0	55	33	12	20-	20
45	2.3	55	25	20	20	20
45	4.2	55	5	40	20+	0

Deze grond bevat slechts twee soorten porien namelijk een gedeelte met een diameter groter dan 1 mm en een ander gedeelte met een diameter van 3 - 30 μ . Indien deze grond na een volledige verzadiging met water opdroogt, zakt de helft van dit water met grote snelheid weg naar de ondergrond, daar dit water met slechts een zeer geringe kracht (pF 0 - 0.5) door de bouwvoor wordt vastgehouden. Terwijl de pF stijgt van 0.5 tot 2 wordt geen water aan de grond onttrokken, omdat er geen porien zijn, die het water met overeenkomstige krachten vasthouden. Bij pF 2 is dus $G : W : L = 1 : 1 : 1$. Van de 33 W is 28 beschikbaar voor de plant daar V slechts 5 bedraagt. Deze 28 W is bovendien zeer gemakkelijk opneembaar voor de plant, daar vrijwel al dit water niet sterker gebonden wordt door de grond dan overeenkomt met pF 3. Tijdens het onttrekken van water aan de grond in het traject pF 3.0 - 4.2 beginnen de huidmondjes van de bladeren zich namelijk reeds te sluiten, waardoor de assimilatie en dus ook de groei van de plant wordt geremd. In deze grond is dus naast een overmaat van lucht een grote hoeveelheid zeer gemakkelijk opneembaar water aanwezig. Wanneer op deze grond bij verzadiging met water tot veldcapaciteit een flinke regenbui valt, kan er nog 13 W (46 - 33 = 13) geborgen worden voor dat de lucht in het minimum raakt.





Daar er aanwijzigingen zijn, dat zelfs een kortdurend lucht- te kort blijvende schade aan de wortels berokkent, is ook dit water bergend vermogen van de grond van betekenis. Hoe ziet deze grond, welke theoretisch als ideaal beschouwd moet worden, er nu in werkelijkheid uit? Deze grond heeft de natuurkundige eigenschappen, welke ook door practici als ideaal worden erkend, namelijk die van een kruimelstructuur. Een grond in kruimelstructuur heeft immers ook twee soorten porien en wel de nauwe porien in de kruimels, die het water vasthouden en de wijde porien tussen de kruimels in, die voor de luchtcirculatie zorg dragen. Wanneer een dergelijke grond in droge toestand bevochtigd wordt, zuigen eerst de kruimels zich vol, terwijl de overmaat water vervolgens snel tussen de kruimels door naar de ondergrond wegzakt. Indien een dergelijke grond bezakt bijvoorbeeld tot een PV 45 dan zal de inwendige structuur van stabiele kruimels weinig veranderen, het bezakken zal voornamelijk ten koste van de ruimten tussen de kruimels plaats vinden. Hoewel in dit geval L bij pF 2 tot 12 zou dalen, is reeds bij pF 2.3 weer aan de eis L 20 voldaan; Wn bedraagt dan nog 20. Zijn de kruimels echter niet stabiel, dan treedt micro-erosie op; door verstopping en vernauwing van de porien in de kruimels zal het verwelkingspercentage stijgen en dus behalve de luchthuishouding ook de waterhuishouding verstoord worden.

Figuur 6.

De grond met ideale natuurkundige eigenschappen, die in fig. 5 is afgebeeld, heeft bij pF 2 een verhouding $G : W : L = 1 : 1 : 1$. Fig. 6 illustreert, dat deze verhouding geenszins een kenmerkende eigenschap van de gronden met een goede structuur behoeft te zijn. Terwijl het verloop van de pF curve van pF 0 tot 2 gelijk is aan die in fig. 5, is in deze grond slechts 8 W beschikbaar, dat bovendien nog moeilijk opneembaar is voor de plantenwortels (pF 3 - 4.2).

Dergelijke pF krommen worden in komklei gevonden. Ook in deze grond worden slechts twee soorten porien aangetroffen namelijk brede scheuren en zeer nauwe porien in de compacte blokken grond. Hoewel dus ook in deze grond over een groot pF traject veel water en lucht aanwezig is, kan de plant slechts in zeer geringe mate hiervan profiteren. Van de 67 W in de volledig verzadigde grond zakt 33 snel weg en 25 is te sterk gebonden door de grond; de resterende 8 W is moeilijk opneembaar vooral indien het PV ook nog zou dalen tot 45. In dit laatste geval is pas bij het verwelkingspunt pF 4.2 aan de eis L 20 voldaan.

Figuur 7 - 10.

Na de bespreking van voorgaande grafieken kan de toelichting bij de fig. 7-10 kort zijn. In deze figuren zijn pF curven getekend, die berusten op werkelijk verrichte bepalingen in de bouwvoor van drie grondsoorten. De voorbeelden zijn zodanig gekozen, dat in alle drie gevallen het PV 52 bedraagt. In de grafieken is met verdikte lijnen Wn aangegeven bij PV 45 en 33. Op de x as is bovendien met verdikte lijnen aangegeven, welke gedeelte van het water bij PV 52 met een geringere kracht dan pF 2 en met een grotere kracht dan pF 4.2 door de grond wordt gebonden.

Aldus krijgt men een inzicht in de veranderingen van de natuurkundige eigenschappen van deze gronden, die optreden wanneer deze gronden mechanisch losgemaakt worden en daarna weer bezakken.

Figuur 7. Humusarme zandgrond.

De natuurkundige eigenschappen van deze grond zijn weergegeven in Tabel 4. V=1.

Tabel 4.

<u>PV</u>	<u>pF</u>	<u>G</u>	<u>W</u>	<u>L</u>	<u>L</u>	<u>Wn</u>
52	0	48	52	0	20-	31
52	1.5	48	32	20	20	31
52	2.0	48	7	45	20+	6
52	4.2	48	1	51	20+	0
45	1.6	55	25	20	20	24
45	2.0	55	7	38	20+	6
33	1.8	67	13	20	20	12
33	2.0	67	7	26	20+	6

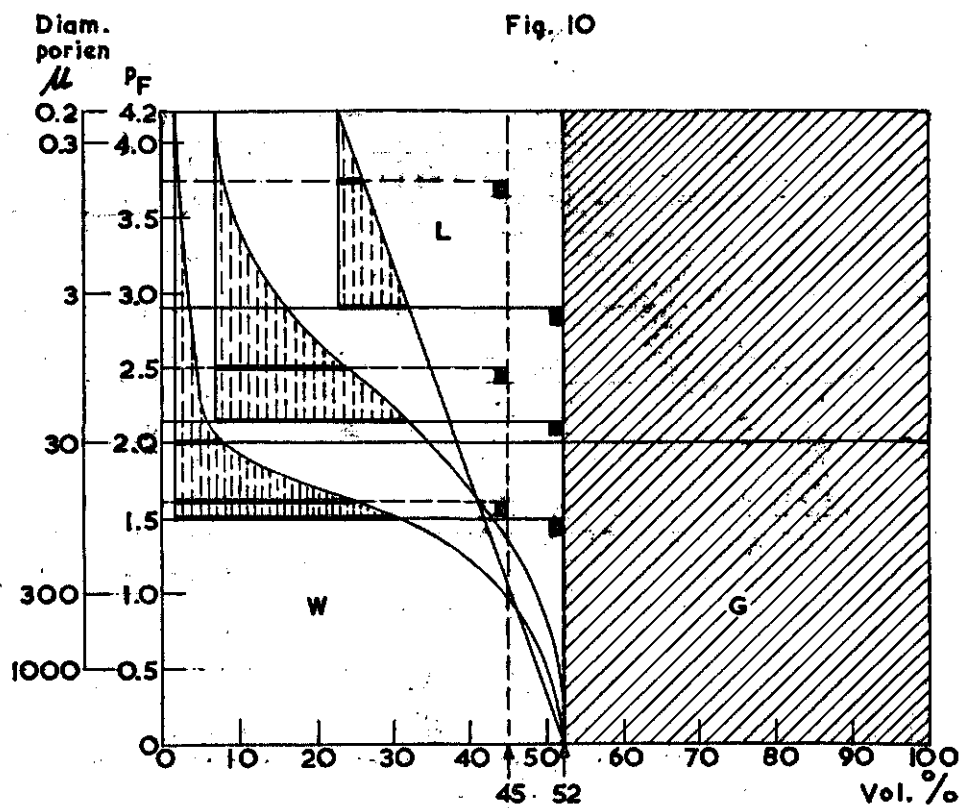
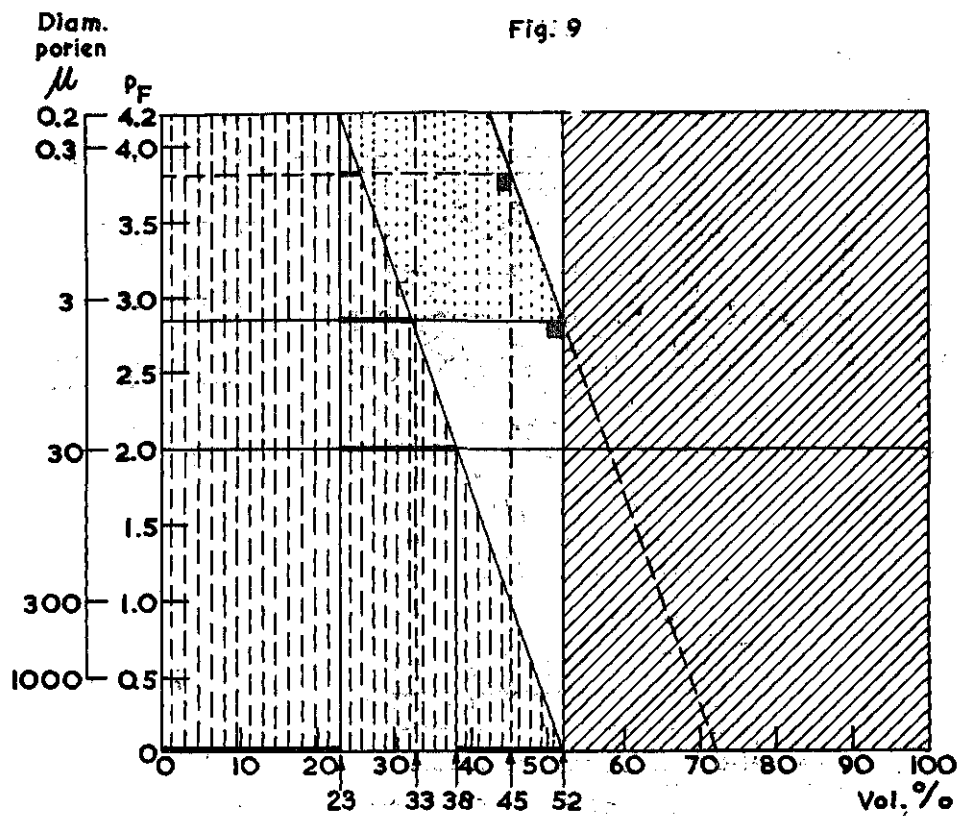
Deze humusarme zandgrond is gekenmerkt door een overmaat aan lucht en een te kort aan water. Bij een daling van het PV tot 33 is zelfs bij een pF kleiner dan 2 reeds aan de eis L 20 voldaan. Wn daalt bij afnemend PV van 31 via 24 tot 12; het grootste deel van dit water zakt echter snel weg naar de ondergrond, zodat in alle gevallen bij pF 2 slechts 7 W aanwezig is. Daar het verwelkingspercentage slechts 1 bedraagt is Wn bij pF 2 gelijk aan 6. Toch kan in deze grond ook een tekort aan lucht optreden bij overmatige bevochtiging en wel des te eerder naarmate PV kleiner is. Deze situatie treedt in de praktijk veelvuldig op bij een ondoelmatige toepassing van infiltratie van humusarme zandgronden.

Figuur 8. Humeuse zandgrond.

De natuurkundige eigenschappen van deze grond zijn weergegeven in Tabel 5. V=7.

Tabel 5

<u>PV</u>	<u>pF</u>	<u>G</u>	<u>W</u>	<u>L</u>	<u>L</u>	<u>Wn</u>
52	0	48	52	0	20-	25
52	2.0	48	35	17	20-	25
52	2.15	48	32	20	20	25
52	4.2	48	7	45	20+	0
45	2.0	55	35	10	20-	18
45	2.5	55	25	20	20	18
33	2.0	55	33	0	20-	6
33	3.25	67	13	20	20	6



Deze humeuze zandgrond is gekenmerkt door een vrij goede natuurkundige eigenschappen bij PV 52. Er is dan bij pF 2 35 W aanwezig bij een gering lucht tekort, dat reeds bij pF 2.15 is opgeheven. Telkens wanneer de grond boven veldcapaciteit verzadigd wordt met water treedt er echter snel een ernstig luchtgebrek op. Zodra het PV daalt wordt de situatie eveneens snel ongunstiger. Bij een PV 45 wordt bij pF 2.5 en bij PV 33 wordt pas bij pF 3.25 aan de eis L 20 voldaan. Wn neemt bij deze daling van het PV af van 25 via 18 tot 6.

Figuur 9. Zavelgrond.

De natuurkundige eigenschappen van deze grond zijn weergegeven in tabel 6. V=23.

Tabel 6

<u>PV</u>	<u>pF</u>	<u>G</u>	<u>W</u>	<u>L</u>	<u>L</u>	<u>Wn</u>
52	0	48	52	0	20-	9
52	2.0	48	38	14	20-	9
52	2.85	48	32	20	20	9
52	4.2	48	23	29	20+	0
45	2.0	55	38	7	20-	2
45	3.80	55	25	20	20	2
33	2.0	67	33	0	20-	0
33	4.2	67	23	10	20-	0

Deze zavelgrond is gekenmerkt door ongunstige natuurkundige eigenschappen. Bij een PV 52 treedt reeds bij pF 2 een vrij ernstig lucht tekort op, dat pas bij pF 2.85 is opgeheven. Daar het verwelkingspercentage hoog is, bedraagt Wn slechts 9. Indien het PV daalt tot 45 dan is er vrijwel geen water meer voor de plant beschikbaar bij gelijktijdige aanwezigheid van voldoende lucht.

Figuur 10.

In fig.10 zijn tenslotte de belangrijkste gedeelten van de fig. 7 tot en met 9 samengevat, en in tabel 7 is een samenvatting van de tabellen 4 tot en met 6 gegeven, opdat een onderlinge vergelijking van de drie onderzochte grondsoorten vergemakkelijkt wordt.

Tabel 7

	<u>PV</u>	<u>pF</u>	<u>G</u>	<u>W</u>	<u>L</u>	<u>L</u>	<u>Wn</u>
Humusarm zand	52	2.0	48	7	45	20+	6
humeus zand	52	2.0	48	35	17	20-	25
zavel	52	2.0	48	38	14	20-	9
Humusarm zand	52	1.50	48	32	20	20	31
humeus zand	52	2.15	48	32	20	20	25
zavel	52	2.85	48	32	20	20	9

	<u>PV</u>	<u>pF</u>	<u>G</u>	<u>E</u>	<u>L</u>	<u>L</u>	<u>Wn</u>
Humusarm zand	45	2.0	55	7	38	20+	6
humeus zand	45	2.0	55	35	10	20-	18
zavel	45	2.0	55	38	7	20-	2
Humusarm zand	45	1.60	55	25	20	20	24
humeus zand	45	2.50	55	25	20	20	18
zavel	45	3.80	55	25	20	20	2

Bij een PV 52 en pF 2 is L in de gegeven volgorde der grondsoorten 45, 17 en 14 en Wn 6, 25 en 9. Bij verzadiging tot veldcapaciteit is de humusarme zandgrond dus te droog, de humeuze zandgrond voldoende vochtig met een gering lucht tekort, terwijl in de zavelgrond zowel het vocht- als het luchtgehalte te laag zijn. Bij een PV 52 wordt aan de eis L 20 voldaan bij een pF 1.50, 2.15 respectievelijk 2.85, terwijl Wn in dezelfde volgorde 31, 25 en 9 bedraagt. Uit de pF waarden blijkt, dat een groot deel van de 31 Wn in humusarme zandgrond te los en een groot deel van de 9 Wn in zavel te vast door de grond gebonden is om van veel nut voor de plant te kunnen zijn. De gunstigste verhoudingen vinden wij dus in de humeuze zandgrond bij pF 2.15, waarnaast 20 L de grootste voorraad gemakkelijk opneembaar water (25W) beschikbaar is. Daalt het PV van 52 tot 45 dan is bij pF 2.0 de situatie in de humusarme zandgrond weinig veranderd. In de humeuze zandgrond treedt nu echter een ernstig lucht tekort op terwijl in de zavelgrond de toch reeds te geringe hoeveelheid lucht is gehalveerd tot 7. Wanneer bij PV 45 aan de eis L 20 moet worden voldaan is in vergelijking met de toestand bij PV 52 in de humeuze zandgrond Wn gedaald van 25 tot 18 en in de zavelgrond van 9 tot 2. De groeivoorwaarden voor plantenwortels zijn in de humeuze zandgrond dus zowel wat de water- als vooral de luchtvoorziening betreft aanmerkelijk ongunstiger geworden, terwijl de wortels in de zavelgrond blootstaan aan afwisselende verdroging en verstikking.

4. Conclusie.

Wanneer wij tot slot aan de hand van voorgaande grafieken overwegen in welke mate een mechanisch grondbewerking kan bijdragen tot gunstige natuurkundige eigenschappen van de bouwvoor, dan moeten wij concluderen, dat deze bijdrage slechts betrekkelijk gering is. De belangrijkste invloed, die de grondbewerking kan uitoefenen, bestaat uit een vergroting van het porienvolume van een dicht bezakte grond. Het instand houden van dit vergrote porienvolume en het scheppen van gunstige verhoudingen van de hoeveelheden porien met de meest gewenste diameters kan vrijwel alleen met behulp van andere middelen geschieden, die in paragraaf 2 zijn vermeld.

Uit de grafieken blijkt nu duidelijk, dat in een grond met gunstige natuurkundige eigenschappen een slechts geringe afname van het porienvolume de voor de plantenwortels beschikbare hoeveelheden water en vooral lucht in belangrijke mate kan verlagen. Welke betekenis een bepaalde verlaging van het volumepercentage water en lucht voor de opbrengst heeft, dient nader te worden onderzocht, maar men mag naar aanleiding van hetgeen hier over reeds bekend is aan-nemen, dat in de praktijk vooral de

luchthuishouding in de bouwvoor dikwijls een sterk groeibepurende factor is. Voor een goede regeling van de luchthuishouding zal behalve aan een doelmatige grondbewerking de volle aandacht dienen te worden besteed aan al die factoren, welke het effect van de grondbewerking ondersteunen en bestendigen gedurende het gehele groeiseizoen van het gewas.

5. Korte vermelding van enkele der geprojecteerde lantaarnplaatjes

1. Micro-erosie volgens Sekera (5 afb.1)
2. "Begroeiing" van aggregaten met schimmels en bacteriën volgens Sekera.
3. Lupinen. Vorming van zijwortels en van stikstofknolletjes alleen in 8 cm diep bewerkte laag van roggestoppel.
4. Lupinen. Verschil in beworteling na ploegen en cultivatoren van roggestoppel (5 afb.2).
5. Haver. Uitzondering op algemene regel, volgens welke voor de teelt van haver op zandgrond het beste in de herfst geploegd kan worden. (5 afb.3).
6. Haver. Zaaidiepte i.v.m.grondbewerking. In onvoldoend bezakte grond is machinaal gezaaide haver alleen in machinewielsporen ondiep gezaaid.
7. Haver. Voorbeeld van gestoorde beworteling door kluitvorming in humusarme zandgrond.
8. Aardappelen. Idem.
9. Rode klaver. Reactie van beworteling op "middenbank" in te diep geploegde bouwvoor.
10. Kunstweiden M K 6 naast B C 7. Voorbeeld van actieve beïnvloeding van bodemstructuur door snelle wortelontwikkeling en snelle grondbedekking van Engels raai gras en passieve reactie op bodemstructuur door trage wortelontwikkeling en late grondbedekking van Timothee en Beemdlangbloem.
11. Rud Sack D Z 20 met ondergrondscharen, die over de volle voorbreedte en onder de voorgaande ploegvoor werken.
12. Resultaat van Rud Sack D Z 20 in vergelijking met dat van een ganzenvoet.

L I T E R A T U U R

1. Bakermans, W.A.P. Onderploegen van kunstmeststoffen bij voederbieten op zandgrond. Landbouwvoorl. 11, 584, 1954.
2. Ban, P.A.v.d. Grondbewerking en grondbewerkingswerktuigen 1948 (Deel I).
3. Berlijn, J.D. Landbouwwerktuigkunde 1952 (Hoofdstuk V t/m IX).
4. Cleveringa, C.J. Grondbewerking, C.I.L.O. Gestenc. Meded. No. 6, Jrg. 1954.
5. Cleveringa, C.J. Grondbewerking, Bodem No. 19, Lente 1955 (in druk).
6. Cleveringa, O.J. De betekenis van de structuur (werkzaamheid) van de bouwgrond i.v.m. het optreden van plantenziekten en beschadigingen. Landbouwk. Tijdschr. 50 : 18, 1938.
7. Cleveringa, O.J. Waarnemingen over de invloed van de behandeling van de grond op de structuur van cultuurgronden, Landbouwk. Tijdschr. 60 : 358, 1948.
8. Dobben W.H. van en C. Lugt Het opbrengstverhogend effect van schoffelen in granen, Landbouwk. Tijdschr. 65 : 397, 1953.
9. Heidema, J. Grondbewerking en grondbewerkingswerktuigen, 1938 (Afd. A.).
10. Huisman, L.H. De grondbewerking in Nederland, Landbouwk. Tijdschr. 65 : 328, 1953.
11. Lienesch, G. Grondbewerking en bodemstructuur, Jaarboek Alg. Bond van Oud-leerl. v. Inr. v. Middelb. Landbouwonderwijs: 170, 1940.
12. Vervelde, G.J. Het doel van de grondbewerking, Landbouwk. Tijdschr. 59 : 78, 1947.
13. Vervelde, G.J. en G.C. Meijerman Onderploegen of ineggen van kunstmest, Maandbl. Landbouwvoorl. 7 : 12, 1950.
14. Visser, W.C. en J.A. Hogen Esch Verslag omtrent een studiereis naar Duitsland ter bestudering van de werkwijze, toegepast door Joh. Görbing te Rellingen, Uitg. LEB-Fonds 1937.
