

V RUCHTBAARHEID

in verband met structuuronderzoek

„I often say that if you measure that of which you speak, you know something of your subject; but if you cannot measure it, your knowledge is meager and unsatisfactory.”

Lord Kelvin (1824—1907).

DEZE woorden van de beroemde Engelse natuurkundige gelden wel in het bijzonder voor het onderzoek van de bodemstructuur. Ongeveer tot het begin van de tweede wereldoorlog beschikte men niet over meetmethoden voor de bodemstructuur, geschikt voor landbouwkundig onderzoek. Het meest in zwang was de bepaling van het totale poriënvolume, die echter maar weinig landbouwkundig belangrijke resultaten opleverde. Dit is achteraf ook wel enigszins begrijpelijk. Een bepaald poriënvolume kan immers ingenomen worden door veel fijne of door enkele grove poriën, om maar twee uitersten te noemen. Zonder meer zal het duidelijk zijn, dat de plantengroei op dit verschil sterk reageert, zodat bij eenzelfde poriënvolume nog grote verschillen in het gewas kunnen optreden.

Was men dus enerzijds aangewezen op subjectieve beschrijvingen van de bodemstructuur, die bij een onderzoek moeilijk te verwerken waren, anderzijds heerste allerminst eenstemmigheid over het begrip bodemstructuur. Dikwijls wordt hieronder verstaan de wijze, waarop de gronddeeltjes de bodem opbouwen (te vergelijken met de „indeling” van een huis). Het is echter meestal wel mogelijk door een juiste grondbewerking bij een geschikt vochtgehalte een goede structuur in de bovenomschreven zin in de bouwvoor te verkrijgen, doch deze structuur blijkt in vele gevallen maar weinig bestendig en wordt dan onder invloed van het klimaat snel slechter. Daarom wordt in de definitie van bodemstructuur vaak de bestendigheid van die structuur (te vergelijken met de soliditeit van het huis) betrokken. De verwarring bij discussies over dit onderwerp wordt bovendien vergroot, doordat de één bij het spreken over „de” structuur van een perceel alleen aan de bouwvoor denkt, terwijl een ander bovendien een ploegzool of de structuur van de verdere ondergrond op het oog heeft.

We zullen dus eerst moeten afspreken, wat we onder de structuur van de bodem verstaan. Daarbij moeten we ons tengevolge van de uitgebreidheid van het onderwerp beperken tot bouwland en verder tot de bouwvoor. Het bijzondere van de wijze waarop de gronddeeltjes in de bouwvoor de bodem opbouwen is de aggregatie. Dit wil zeggen, dat enkele gronddeeltjes

verenigd zijn tot een klein aggregaatje; enige hiervan zijn weer verkit tot een groter aggregaat enz. Op deze wijze zijn de aggregaten, die men in de bouwvoor ziet, in één, twee of meer trappen opgebouwd.

De ruimte-indeling in de bodem, die voor een groot deel de mogelijkheden van water- en zuurstofvoorziening van het wortelstelsel der gewassen bepaalt, wordt in eerste instantie gegeven door de verdeling van de afmetingen der aggregaten. Dit is dus analoog aan het feit, dat b.v. in een zandige ondergrond de poriënverdeling in eerste instantie bepaald wordt door de granulaire samenstelling van het zand. Het is echter duidelijk, dat we voor een beoordeling van de structuur met behulp van de afmetingen der aggregaten, die een meer algemene betekenis moet hebben dan alleen het aangeven van de toestand op een willekeurige dag, onder aggregaten de „bestendige” aggregaten moeten verstaan. Dit zijn de aggregaten die bestand zijn tegen de werking van de gewone ontbindende krachten (zie tabel 1), dus de aggregaten, die we in het algemeen in een bezakte bouwvoor aantreffen. Aangezien de door het klimaat uitgeoefende ontbindende krachten nog al wisselend zijn, is het beter de grootte-verdeling van de aggregaten te beschouwen, nadat op de grond een standaard ontbindende kracht heeft gewerkt, dan om uit te gaan van de grootte-verdeling in een bezakte bouwvoor.

Onder bodemstructuur zullen we in het volgende dan ook verstaan: de grootte-verdeling der aggregaten in een bodem, die een bepaalde tijd aan een gestandaardiseerde ontbindende kracht onderworpen is geweest. Deze aggregaten zullen we „bestendige” aggregaten noemen. Bij zwaardere gronden doet zich soms de complicatie voor, dat de bestendige aggregaten te dicht en daardoor te bestendig zijn. Op deze plaats kan daarop niet verder worden ingegaan. Volstaan moet worden met de opmerking, dat alleen bestendige aggregaten beschouwd worden, die niet „zeer bestendig” zijn.

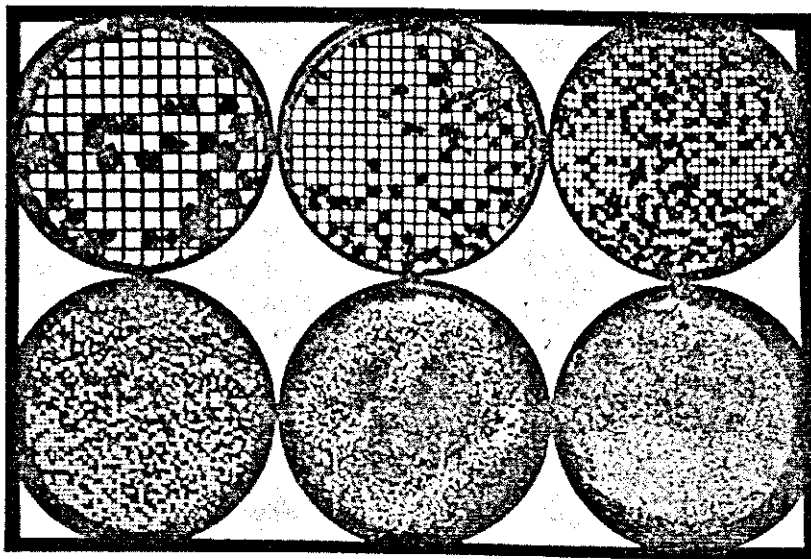


Fig. 1. Zes bij de natte aggregaatanalyse gebruikte zeven (maaswijdten 4,8, 3,3 2,1, 1,1, 0,6 en 0,3 mm) met de bestendige aggregaten van een kleigrond (bouwvoor) uit Ten Boer.

Het meten van de bodemstructuur.

De grootte-verdeling der bestendige aggregaten wordt bepaald door middel van de natte aggregaatanalyse. Deze methode komt in het kort hierop neer, dat een grondmonster, dat op speciale wijze genomen, naar het laboratorium getransporteerd en daar voorbehandeld is, op de bovenste (grofste) van een stel van 6 op elkaar gestapelde zeven wordt gebracht. Nadat dit stel zeven een bepaalde tijd mechanisch op en neer bewogen is in een vat met water, blijven op de zeven de bestendige aggregaten achter (zie fig. 1). Deze aggregaten worden gedroogd en gewogen, waarna nog een correctie wordt aangebracht voor eventuele steentjes of grove zandkorrels, die op de zeven zijn blijven liggen. Bij de fijnste fractie, die door de zeef van 0,3 mm gaat, is het niet op eenvoudige wijze mogelijk aggregaten en deeltjes te scheiden, zodat deze gezamenlijk als fractie $< 0,3$ mm worden opgegeven.

Figuur 2 geeft bij wijze van voorbeeld aan hoe de resultaten van de natte aggregaatanalyse op overzichtelijke wijze grafisch worden weergegeven en laat tevens zien, wat bij lichte en zware gronden volgens deze methode van weergave goede en slechte structuren zijn. De grafieken zijn zgn. sommatiegrafieken, d.w.z. ze geven aan hoe groot het gezamenlijk gewicht is van alle

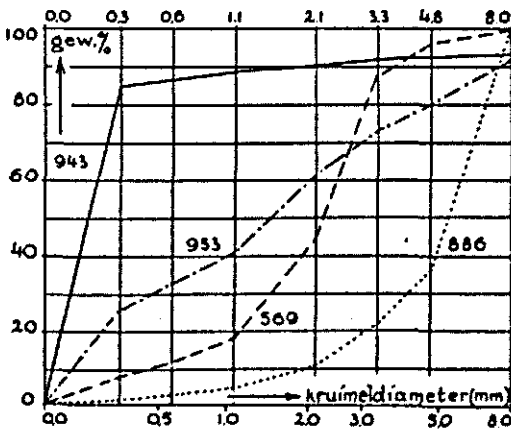


Fig. 2.
Sommatiegrafieken voor de grootte-verdeling der bestendige aggregaten op zand- en kleigronden met slechte en goede structuren.
943: één jaar oud zandgrasland, laag 2—10 cm; slechte structuur.
953: 13 jaar oud zandgrasland, laag 2—10 cm; goede structuur.
886: één jaar oud kleigrasland, laag 10—20 cm; slechte structuur.
569: zeer oud kleigrasland, laag 2—8 cm; tamelijk goede structuur.

fracties, die bestendige aggregaten bevatten met een diameter kleiner dan zekere (op de horizontale as uitgezette) waarde. Gaan we in fig. 2 b.v. van het punt op de horizontale as, dat een aggregaaddiameter van 2,0 mm aangeeft, loodrecht naar boven tot grafiek 953 en van daar horizontaal naar links, dan komen we uit bij 59 gewichtsprocent. Dit betekent dus, dat 59 gew. % van de bodem*) in de laag 2—10 cm van het 13 jaar oude zandgrasland bestaat uit bestendige aggregaten < 2 mm en eventuele losse (niet geaggregeerde) korrels $< 0,3$ mm.

Bij lichte gronden van slechte structuur is de binding tussen de gronddeeltjes te gering. Er zijn dus weinig grotere bestendige aggregaten, maar de fractie $< 0,3$ mm is zeer groot. In het geval van grafiek 943 in figuur 2 neemt laatstgenoemde fractie b.v. 86 % van de bodem in, terwijl maar 7 %

*) Gemakshalve wordt hier over de gehele bodem gesproken. In feite wordt alleen de grond, die in veldtoestand door een zeef van 8 mm gaat, onderzocht. Zie voor uitvoerige beschrijving der natte aggregaatanalyse: P. K. Peerikamp. Het meten van de bodemstructuur. Landbk. Tijdschr. 60 (1948), 321—338.

wordt gevormd door bestendige aggregaten met een doorsnede tussen 0,3 en 8,0 mm. De overige 7 % van de grond bestaat uit losse zandkorrels met afmetingen tussen 0,3 en 8,0 mm.

Is de binding op een lichte grond en dus ook de structuur beter, dan neemt de fractie $< 0,3$ mm af en de fractie 0,3—8,0 mm toe. Dit laatste blijkt bij grafiek 953 direct uit de grotere helling van de grafiek in het gebied der kruimeldiameters tussen 0,3 en 8,0 mm.

Uit figuur 2 blijkt dus, dat we bij lichte gronden b.v. de waarden van de bij de natte aggregaatanalyse verkregen fractie $< 0,3$ mm als structuurmaat kunnen gebruiken: hoe groter deze fractie, hoe slechter de structuur.

Bij zware gronden is de situatie anders. Slechte structuren ontstaan daar door een sterk overwicht van de bindende krachten op de ontbindende. Dit heeft tot gevolg, dat een groot percentage van de bodem uit grote bestendige aggregaten bestaat. Zo wordt b.v. bij de kleigrond van grafiek 886 in figuur 2 ongeveer 63 % van de bodem ingenomen door bestendige aggregaten met afmetingen tussen 4,8 en 8,0 mm. Bij de betere kleistruktuur van grafiek 569 bedraagt deze fractie slechts 4 %.

We zien dus, dat bij zware gronden de fractie bestendige aggregaten 4,8—8,0 mm (of b.v. 3,3—8,0 mm) als structuurmaat te gebruiken is en ook hier geldt: hoe groter deze fractie, hoe slechter de structuur.

Moet men de structuren van gronden van allerlei zwaarte met elkaar vergelijken, dan vormt in het algemeen de waarde van een fractie van middelgrote aggregaten (b.v. 0,6—3,3 of 0,6—4,8 mm) een bruikbare maat, die toeneemt met beter wordende structuur.

De huidige toestand van de bodemstructuur in ons land.

Het kwantitatieve structuuronderzoek is nog jong en de bepalingscapaciteit van de installatie voor aggregaatanalyse nog tamelijk klein. Daarom is het nog niet mogelijk een uitgebreid antwoord te geven op de vraag hoe het met de bodemstructuur in ons land op het ogenblik gesteld is. Toch geven de figuren 3 en 4 hieromtrent enige aanwijzingen. In beide figuren is de structuur weergegeven in afhankelijkheid van het gehalte aan organische stof (humusgehalte) van de grond, zoals dit door het Bedrijfslaboratorium voor Grondonderzoek wordt bepaald. Als maat voor de structuur van zand- en dalgronden is in fig. 3 de fractie $< 0,3$ mm gebruikt. Deze is op de verticale as in neerwaartse richting toenemend uitgezet, zodat naarmate een punt hoger in de figuur ligt, de structuur van het betreffende perceel beter is.

Hoewel nog geenszins precies vaststaat hoe groot de fractie $< 0,3$ mm bij een als ideaal te beschouwen structuur moet zijn, zijn er verschillende aanwijzingen, dat deze grootte ongeveer 25 gew. % zal bedragen, welke waarde bovenaan in fig. 3 is aangegeven.

Nu blijkt uit deze figuur het volgende:

- a. zowel op de zand- als op de dalgronden is de bodemstructuur over het algemeen nog verre van ideaal;
- b. de spreiding van de kruisjes en stippen in verticale richting is groot, zodat bij eenzelfde humusgehalte zeer verschillende structuren kunnen optreden;
- c. bij eenzelfde humusgehalte is de structuur op de zandgronden beter dan die op de dalgronden of, wat op hetzelfde neerkomt, moet, om een even-

goede structuur te verkrijgen, een dalgrond een hoger humusgehalte hebben dan een zandgrond;

- d. op elk van beide grondsoorten wordt de slechtste structuur, die bij een bepaald humusgehalte kan optreden, beter naarmate dit humusgehalte hoger is (begrenzing van de zwermen kruisjes en stippen in figuur 3 aan de onderzijde door de beide rechte lijnen, die ongeveer de toestanden van slechtste structuur bij de verschillende humusgehalten weergeven en naar rechts stijgen).

Uit de conclusie sub b volgt, dat het voor het verkrijgen van een structuurverbetering niet strikt noodzakelijk is om te trachten het humusgehalte van de grond te verhogen. Dit is voor de praktijk maar gelukkig ook, want zolang we nog niet de beschikking hebben over grote hoeveelheden van een goede en economisch rendabele kunstmatige humus is de ontwikkeling van oud grasland de enige mogelijkheid tot het verkrijgen van de 3 à 5 % verhoging van het humusgehalte, die b.v. op zandgronden nodig zou zijn om uitsluitend daardoor een flinke structuurverbetering te krijgen.

De praktische bezwaren van een toepassing van dit middel op enigszins uitgebreide schaal zullen de lezer zonder meer duidelijk zijn. Op de middelen, die bruikbaar zijn om een verbetering van de bodemstructuur te verkrijgen zonder dat daarbij het humusgehalte noemenswaard wordt verhoogd, komen we nog terug. Wel blijkt uit de conclusie sub d, dat het bij een perceel met een hoger humusgehalte in het algemeen minder urgent zal zijn om op structuurbehoud en -verbetering te letten dan bij een perceel, waarvan de grond minder organische stof bevat.

Tenslotte kunnen we er, naar aanleiding van het sub c genoemde, nog op wijzen, dat de humus in een zandgrond voor de structuurvorming blijkbaar

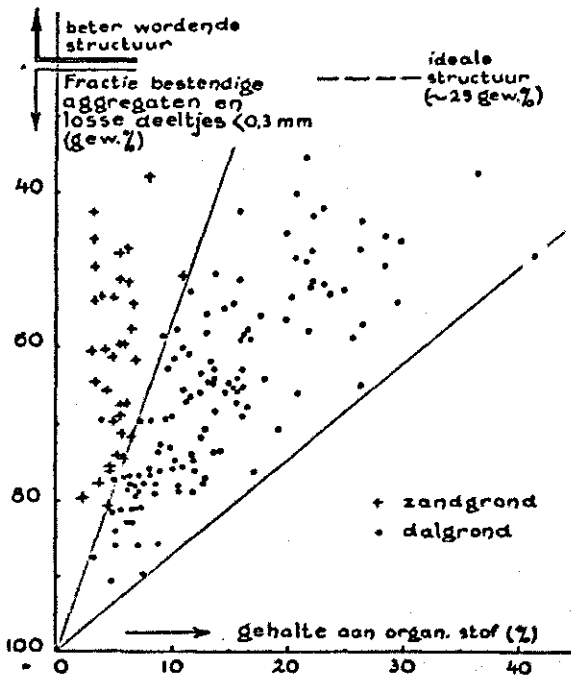


Fig. 3.

Bodemstructuur van 37 percelen bouwland op zandgrond in Z.-Groningen en N.-Drente en van 133 percelen bouwland op dalgrond in de Groninger en Drentse veenkolonien in afhankelijkheid van het gehalte aan organische stof (humusgehalte) van de grond. Laag: bouwvoor.

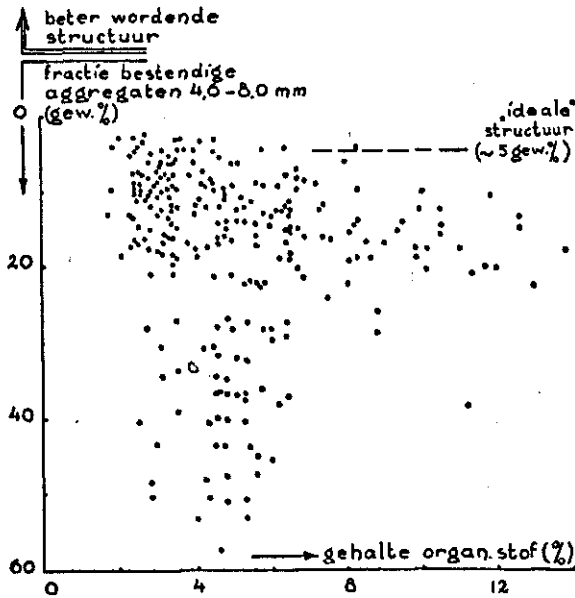


Fig. 4.

Bodemstructuur op 274 percelen kleibouwland (hoofdzakelijk in het gebied tussen Groningen en Delfzijl en in de Bommelerwaard) in afhankelijkheid van het gehalte aan organische stof (humusgehalte) van de grond. Laag: bouwvoor.

effectiever is dan die in een (ook oude) dalgrond. Dit vormt een bevestiging van de indruk, die men reeds krijgt bij waarneming van beide gronden met het blote oog.

Figuur 4 geeft op een wijze, analoog aan die van figuur 3, een beeld van de structuur van de bouwvoor op rivier- en zeekleigronden. Als structuurmaat is hier het gewicht van de fractie bestendige aggregaten 4,6—8,0 mm gebruikt; hoe groter deze fractie, hoe slechter de structuur. Er zijn aanwijzingen, dat deze fractie bij een als ideaal te beschouwen structuur ongeveer 5 gew. % van de bodem moet innemen, een waarde, die in figuur 4 door een horizontaal streep-lijntje is aangegeven.

We zien, dat ook bij de kleigronden bij eenzelfde humusgehalte zeer verschillende structuren kunnen optreden, zodat het ook hier blijkbaar niet noodzakelijk is ter structuurverbetering het gehalte aan organische stof te verhogen. Tevens blijkt uit figuur 4, dat bij kleigronden, evenals bij zanden dalgronden de slechtste structuur, die bij een bepaald humusgehalte mogelijk is, beter wordt naarmate dit humusgehalte hoger is. In tegenstelling met de zand- en dalgronden echter is bij de beschouwde kleigronden over het algemeen de structuur tamelijk goed. We zien immers in figuur 4, dat de meeste punten bovenaan liggen, d.w.z. in meerdere of mindere mate de lijn van ideale structuur benaderen.

Het ontstaan van de bodemstructuur.

Zoals uit de figuren 3 en 4 bleek, moet in ons land, vooral op de lichte gronden, de structuur van de bouwvoor flink worden verbeterd. De vraag is natuurlijk: „hoe?”. Alvorens hierop in te gaan is het tot goed begrip van de te nemen maatregelen noodzakelijk in het kort iets over het ontstaan van de bodemstructuur te zeggen.

De bodemstructuur ontstaat als resultaat van het ingewikkelde samenspel van een groot aantal krachten. Laten we hiervan de zwaartekracht en de

elasticiteit van de vaste bodemdeeltjes, die zich tegen een samendrukking van die deeltjes verzet, verder buiten beschouwing omdat ze niet te beïnvloeden zijn, dan blijft een complex krachten over, dat we in twee groepen kunnen splitsen: die van de bindende en die van de ontbindende krachten. Deze krachten zijn in tabel I aangegeven. Zoals uit de aanduiding bindende, resp. ontbindende krachten blijkt, werken beide groepen tegengesteld. De bodemstructuur zal er van afhangen hoe de verhouding tussen beide groepen is. Hebben de ontbindende krachten de overhand doordat de bindende krachten onvoldoende zijn, zoals bij lichte gronden vaak het geval is, dan wordt de aggregaatvorming belemmerd en ontstaan hoofdzakelijk zeer kleine (b.v. $< 0,3$ mm) aggregaatjes. Hebben de bindende krachten sterk

Tabel I. Krachten, welke bij het ontstaan van de bodemstructuur een rol spelen.

Bindende krachten	Ontbindende krachten
<p>a. cohesie klei</p> <p>b. cohesie organische kitstoffen</p> <p>c. oppervlaktenspanning van de bodemvloeistof</p> <p>d. mechanische binding van schimmeldraden</p> <p>e. idem van wortels en wortelharen</p>	<p>f. klimatologische krachten (regenslag, zwel en krimp, uitzetting bevroren water, winddruk)</p> <p>g. krachten uitgeoefend door de mens (grondbewerking, lopen en rijden)</p> <p>h. krachten door de bodemfauna (o.a. wormen, mollen) uitgeoefend</p> <p>i. krachten uitgeoefend door groeiende wortels</p>

de overhand, zoals op zware gronden (cohesie van klei is zeer sterk) en vooral op graslanden op zware klei (ontbindende krachten klein door het ontbreken van een grondbewerking en door bescherming tegen klimaatsinvloeden door het grasdek), dan ontstaan overwegend grote bestendige aggregaten, die soms zelfs het karakter van dichte kluitjes krijgen. Zijn de bindende en ontbindende krachten ongeveer in evenwicht, dan ontstaan structuren, waarbij de gewasgroei optimaal blijkt te zijn.

Om deze structuren te verkrijgen moeten we dus trachten de bindende of de ontbindende krachten of beide te beïnvloeden. Op lichte gronden zijn hoofdzakelijk de bindende krachten b, d en e (tabel I) van belang, bij zavelen ook a, terwijl kracht c, daar ze van het vochtgehalte en daarmee van de weersomstandigheden afhangt, een sterk veranderlijke betekenis heeft. Ter verbetering van de bodemstructuur op lichte gronden zal men dan ook vooral moeten trachten om kracht b te versterken. Het zal dan blijken, dat ook d en wellicht e hiervan profiteren. Verder zal men, zo nodig, de bindende krachten f en g moeten verzwakken door de bodem zoveel mogelijk bedekt te houden (bescherming tegen klimaatsinvloeden), zo weinig mogelijk grondbewerking toe te passen en het perceel zo min mogelijk (vooral met zwaardere werktuigen als trekkers) te berijden.

Op zware gronden spelen vooral de bindende krachten a en c een rol.

Laatstgenoemde is hier van meer betekenis dan op de lichte gronden, maar evenals daar nog al wisselend in belangrijkheid. Ter structuurverbetering van kleigronden zal men dus moeten trachten hetzij de cohesie van de klei te verzwakken, hetzij de klimatologische krachten te vergroten (b.v. het laten „doorvriezen” van de bouwvoor) of een intensievere grondbewerking toe te passen.

In het algemeen zal het wel duidelijk zijn op welke wijze ter verbetering van de bodemstructuur de ontbindende krachten *f* en *g* beïnvloed moeten worden en meestal gebeurt dit al in meerdere of mindere mate in de praktijk. Maar meestal blijkt ook, dat men er met een verandering van de ontbindende krachten alleen niet komt. Ook de bindende krachten moeten gewijzigd worden, d.w.z. op lichte gronden moet, zoals we boven zagen, de cohesie van organische kitstoffen versterkt, op zware gronden die van de klei verzwakt worden. Het merkwaardige is nu, dat de natuur ons een middel aan de hand doet, waarmee tegelijk aan de tegenstrijdige eisen voor lichte en zware gronden voldaan kan worden. Dit middel bestaat in het in de bodem brengen van vers of slechts ten dele verteerd organisch materiaal.

Volgens onderzoekingen, die vooral in en vlak na de tweede wereldoorlog in Amerika en Engeland zijn verricht, ontstaan bij de ontleding van organisch materiaal in de bodem door bacteriën en schimmels gomachtige tussenproducten (polysacchariden). Deze verkitten op lichte gronden de bodemdeeltjes en verstevigen dus de binding. Op zware gronden impregneren die stoffen als het ware de kleiaggregaten en vormen een laagje tussen de kleideeltjes. Doordat deze nu niet meer direct op elkaar liggen, waarbij ze zeer sterke krachten op elkaar uitoefenen, is die sterke klei-klei-binding vervangen door de zwakkere cohesie van de tussenliggende organische kitstof. Op deze wijze kan dus organisch materiaal de binding in zware gronden verzwakken en die in lichte gronden verstevigen, d.w.z. in beide gevallen de structuur verbeteren.

Bovengenoemde gomachtige tussenproducten van de microbiologische ontleding van organisch materiaal in de bodem zijn echter niet bestendig, maar worden op hun beurt weer door bepaalde microben ontleed. De eerste tijd nadat organisch materiaal in de bodem is gebracht vindt er een intensieve vorming van genoemde kitstoffen plaats, waardoor de structuur verbetert.

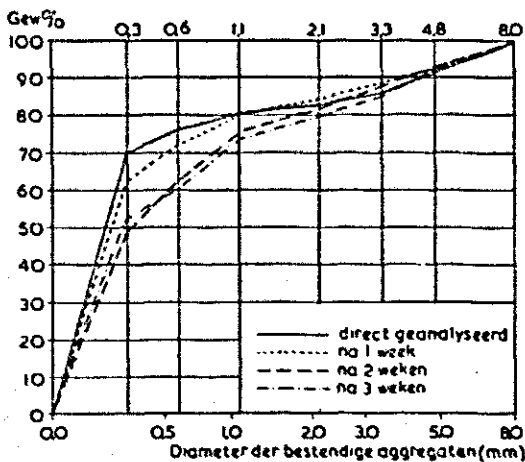


Fig. 5. Structuurveranderingen in een monster zavelgrond, dat in een gesloten glazen pot in het laboratorium werd bewaard en waarvan gedeelten direct na monsternamen en 1, 2 en 3 weken daarna met behulp van de natte aggregaat-analyse werden onderzocht. Sommatiegrafieken.

Na enige tijd is echter al het in de bodem gebrachte organische materiaal omgezet en vindt dus geen nieuwvorming, doch alleen ontleding van de kitstof plaats, waardoor de structuur verslechtert. Na de toevoeging van b.v. vers organisch materiaal aan de bodem zal dus de structuur eerst beter worden, dan een optimum bereiken, om vervolgens weer te verslechteren.

Dat door microbiologische omzettingen in de bodem belangrijke structuurveranderingen kunnen ontstaan wordt voor een zavelgrond gedemonstreerd door figuur 5. Hieruit blijkt, dat de fractie $< 0,3$ mm direct na monsternamen 70 gew. % bedroeg, maar na één week bewaren van het vochtige monster in het laboratorium tot 62 gew. % en na twee weken tot 49 gew. % was gedaald, hetgeen een flinke structuurverbetering betekent. Na drie weken was de fractie $< 0,3$ mm weer iets toegenomen (tot 52 gew. %), hoewel de fractie $< 0,6$ mm nog 2 gew. % kleiner was geworden. Dit wijst er op, dat we ons hier in de buurt van het structuuroptimum bevinden, dit wellicht reeds gepasseerd zijn. Herhaalt men deze proef onder voor de microbiologische werkingen gunstiger omstandigheden (wat hogere temperatuur en een gunstig vochtgehalte van de grond), dan neemt men hetzelfde verbeteren en weer verslechteren van de structuur waar; het gehele proces verloopt nu echter intensiever, zodat snel een grote structuurverbetering wordt verkregen, die weer snel verdwijnt.

Een dergelijk verschil in structuurverloop krijgt men ook bij proeven met vers en met reeds gedeeltelijk omgezet organisch materiaal. Figuur 6 geeft dit schematisch weer. De oorspronkelijke grond heeft een structuur, die uitgedrukt in zekere maatstaf door OA wordt aangegeven. Zou deze structuur

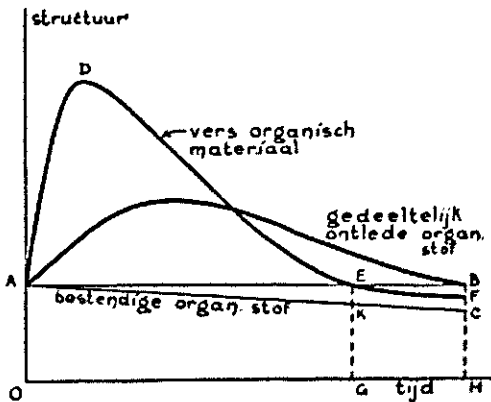


Fig. 6. Schematische voorstelling van het verloop der bodemstructuur na toediening van vers, resp. gedeeltelijk ontleed organisch materiaal.

met verloop van tijd constant blijven dan werd dit aangegeven door de lijn AEB. In werkelijkheid zal echter in de bodem aanwezig, tamelijk bestendig materiaal nog iets worden afgebroken, waardoor de structuur zeer langzaam slechter wordt (lijn AKC). Wordt bij A vers organisch materiaal in de bodem gebracht, dan ontleedt dit snel, waardoor in korte tijd een grote structuurverbetering ontstaat (A-D), die gevolgd wordt door een tamelijk sterke verslechtering (D-E). In de tijd OG is dus het oorspronkelijk structuurniveau weer bereikt (in E). Daarna verloopt de structuur ongeveer als zonder organische bemesting (E-F, ongeveer evenwijdig aan AKC). Wordt in A reeds gedeeltelijk ontleed organisch materiaal in de grond gebracht, dan duurt

het langer voordat een optimale structuur bereikt is; in dit optimum is de structuurverbetering aanmerkelijk minder dan in het geval van het verse materiaal, maar er is ook gedurende veel langere tijd een structuurverbetering merkbaar. Pas na tijd OH is in B het oorspronkelijke structuurniveau weer bereikt.

We zien dus, dat een structuurverbetering, verkregen door een bemesting met vers of gedeeltelijk ontleed organisch materiaal niet blijvend is. Voor instandhouding of verbetering van een bestaande bodemstructuur is dus een **geregelde organische bemesting noodzakelijk**. Wordt vers, gemakkelijk ontleedbaar materiaal gebruikt (zoals bv. bij groenbemesting), dan kan een flinke structuurverbetering bereikt worden, doch is voor een handhaving van de oorspronkelijke of van een betere structuur een snelle opeenvolging der bemestingen vereist. Werkt men met reeds gedeeltelijk ontleed organisch materiaal, dan bereikt men weliswaar minder grote structuurverbeteringen (bij gebruik van dezelfde hoeveelheid als in het geval van het verse materiaal), doch behoeft minder frequent te bemesten. Vermoedelijk schuilt hierin één der voordelen van het gebruik van goede, veel organisch materiaal bevatende composten.

Natuurlijk heeft behalve de aard van de organische meststof ook de hoeveelheid ervan een belangrijke invloed op het verloop van de structuur. In het algemeen blijkt een grotere hoeveelheid een grotere optimale verbetering van de structuur te geven en een langduriger werking te hebben.

Door het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen worden thans uitgebreide proeven genomen om bovenstaande, gedeeltelijk op buitenlandse literatuur, gedeeltelijk op eigen laboratorium- en veldproeven steunende beschouwingen onder Nederlandse praktijkomstandigheden kwantitatief te toetsen. Daarbij kan waardevol materiaal verkregen worden voor het geven van adviezen omtrent middelen ter verbetering van de bodemstructuur. We zullen nu aan deze middelen enige aandacht besteden.

Middelen tot verbetering van de bodemstructuur.

We zagen reeds, dat vooralsnog een blijvende structuurverbetering alleen te verkrijgen is langs de weg van oud grasland of met de practisch beter bruikbare methode van een **periodieke organische bemesting**. Gelukkig helpt de natuur ons bij deze bemesting een handje. Na iedere oogst immers blijft een hoeveelheid wortels en andere plantendelen in de bodem achter, waardoor een „natuurlijke” **periodieke organische bemesting** ontstaat. Hierdoor zullen alle factoren, die de groei van het wortelstelsel bevorderen of remmen uiteindelijk een structuurverbetering, resp. -verslechtering veroorzaken. Enkele voorbeelden kunnen dit toelichten.

Is bij een grond de **voeding van het gewas met N, P, K, sporenelementen enz.** niet optimaal, dan kan een bemesting met kunstmest hierin verbetering brengen. In het algemeen gaat met een betere ontwikkeling van het gewas een betere ontwikkeling van het wortelstelsel gepaard, hetgeen uiteindelijk resulteert in een verbetering van de bodemstructuur. Dit laatste blijkt b.v. uit tabel II. Bemestingen met V.A.M.-compost, gemaakt van wintervuil, met kolenas (dat dus geen organische stof bevat) of met kolengruis hebben vrijwel geen invloed op de bodemstructuur van een zandgrond indien deze onbegroeid is.

Bij een begroeiing met haver echter blijkt in Juni van het eerste jaar de

Tabel II. Invloed van een bemesting met V.A.M.-compost (wintervuil), kolenas of kolengruis op de bodemstructuur in de bouwvoor van een wel en niet begroeide zandgrond.

Bemesting	Hoeveelheid fractie < 0,3 mm bij aggr. 'analyse (gew. %)	
	Onbegroeid	Begroeid (haver)
geen bemesting	68	68
compost . . .	66	60
kolenas . . .	67	59
kolengruis . .	68	61

fractie < 0,3 mm op de bemeste veldjes reeds 7 à 9 gew. % lager en de structuur dus beter te zijn dan op het onbemeste veldje.

Ook het instellen van een voor de gewasgroei gunstiger grondwaterstand kan via het gewas een structuurverbetering veroorzaken. Tabel III geeft hiervan een voorbeeld, dat zich voordoet op het grondwaterstandsproefveld

Tabel III. Invloed van de grondwaterstand op de bodemstructuur in de bouwvoor van het grondwaterstandsproefveld Pr 657 op de proefboerderij „Jacob Sijpkens Heerd” te Nieuw-Beerta.

Monsternamen in	Fractie bestendige aggregaten 3,3—8,0 mm (gew. %) bij grondwaterstanden (cm ÷ m.v.)				
	40	60	90	120	150
Mei 1947	52	38	29	32	34
Dec. '47 en '48 gemiddeld	28	20	24	23	26

op de proefboerderij te Nieuw-Beerta. Ongeveer vijf jaar na aanleg van dit proefveld, waarop vijf verschillende waterstanden naast elkaar voorkomen, werden voor het eerst structuurverschillen in de zware Dollardklei van deze vijf objecten geconstateerd. Zoals uit tabel III blijkt was in Mei 1947 de structuur bij een grondwaterstand van 90 cm ÷ m.v. het best (de fractie 3,3—8,0 mm het kleinst); bij hogere, zowel als bij lagere grondwaterstanden was de structuur slechter. Hetzelfde beeld, hoewel minder sprekend doordat de structuur (in verband met de jaarlijkse „structuurgolf”) op alle objecten aanmerkelijk beter is, vertonen de resultaten van de bemonsteringen in de maand December van 1947 en 1948. De beste structuur treedt nu op bij een grondwaterstand van 60 cm ÷ m.v. Het structuurverloop bij veranderende grondwaterstand blijkt ongeveer parallel te lopen, met de daarbij optredende verandering van de wortelmassa in de bouwvoor. We moeten ons dit zo voorstellen, dat enerzijds een diepere grondwaterstand door de dikkere bodemlaag, die doorworteld kan worden (de wortels dringen in het algemeen niet in het grondwater) een beter gewas (de opbrengsten wijzen dit ook uit) en een grotere totale wortelmassa geeft, maar dat anderzijds die wortelmassa over een dikkere laag verdeeld kan zijn en het gewas daarom in de bouwvoor met een kleinere wortelmassa kan volstaan. Bij hoge grondwaterstanden zou dan een slechte groei van het gewas door te geringe dikte van de laag, die doorworteld kan worden, de overhand hebben. Na iedere oogst zal de „na-

tuurlijke" organische bemesting dus het grootst zijn bij grondwaterstanden in de buurt van 60 à 90 cm ÷ m.v., hetgeen na enkele jaren aan de structuur merkbaar wordt. Vermoedelijk spelen bij de zeer slechte structuur van het object 40 cm ÷ m.v. ook minder gunstige verteringsmogelijkheden van de wortelmassa een rol.

Niet alleen factoren, die de gewasgroei belemmeren of bevorderen, zullen invloed kunnen uitoefenen op de bodemstructuur, maar ook de vruchtwisseling zal in verband met de verschillende wortelmassa's, die verschillende gewassen in de bodem achterlaten, de structuur beïnvloeden. Dit blijkt bv. uit de tabellen IV en V.

Tabel IV. Invloed van verschillend intensieve aardappelverbouw op de bodemstructuur van een zavelgrond in N.W.-Friesland. Laag: 0—10 cm.

Vruchtwisseling	Fractie < 0,3 mm bij aggr. 'analyse (gew. %)
ieder jaar aardappelen .	44
om het jaar aardappelen .	36
nooit aardappelen . . .	29

De wortelmassa, die hakvruchten na de oogst in de bodem achterlaten is n.l. slechts ongeveer een tiende van de hoeveelheid organisch materiaal, die bv. granen als „natuurlijke" bemesting leveren. Bij intensieve verbouw van hakvruchten is deze „natuurlijke" voorziening van de bodem met organische stof dus slecht, hetgeen na enige tijd merkbaar wordt aan de bodemstructuur. De veel slechtere structuur (grotere fractie < 0,3 mm) van een zavelgrond bij een monocultuur van aardappelen in vergelijking met een vruchtwisseling zonder aardappelen blijkt uit tabel IV. In tabel V zijn twee verschillende vruchtwisselingen op eenzelfde perceel zavelgrond vermeld, met de bijbehorende waarden van de fractie < 0,3 mm. We zien, dat de vruchtwisseling op veldje 2 met drie maal hakvruchten in de jaren 1942—1947 een aanmerkelijk slechtere structuur veroorzaakt heeft dan de vruchtwisseling op veldje 4, waarin alleen in 1943 een hakvrucht voorkomt.

Ook parasitaire plantenziekten (bv. aardappelmotheid) kunnen via een

Tabel V. Invloed van de vruchtwisseling op de bodemstructuur in de bouwvoor van een zavelgrond (voormalige Centraal Kaliproefveld te Wehe).

	Jaar	Veldje 2	Veldje 4
vruchtwisseling	1942	zomertarwe	witte klaver
	1943	suikerbieten	stekbieten
	1944	kanariezaad	zomertarwe
	1945	stekbieten	wierbonen
	1946	aardappelen	wintergerst
	1947	zomertarwe	zomertarwe
fractie < 0,3 mm (gew. %) bij aggr. 'analyse in Juni '47.		65	46

slechter gewas en een geringere „natuurlijke” organische bemesting de structuur verslechteren.

Door de sterke wisselwerking, die er tussen gewas en structuur bestaat, werkt de structuur op langere termijn als versterker van het effect van factoren, die de groei van het gewas beïnvloeden. Wordt deze groei immers op enigerlei wijze nadelig beïnvloed, dan verslechtert de structuur, wat weer nadelig werkt op het gewas enz. Hetzelfde geldt ten aanzien van een gunstige beïnvloeding. Voor het verkrijgen van een zo goed mogelijke bodemstructuur en van een maximale bodemvruchtbaarheid is het dus noodzakelijk, dat de andere door de mens te beïnvloeden vruchtbaarheidsfactoren dan de bodemstructuur, zoals N-, P-, K-toestand, grondwaterstand enz. optimaal zijn. Is het door omstandigheden niet mogelijk een bepaalde vruchtbaarheidsfactor zo gunstig mogelijk te maken, dan moet in ieder geval de daardoor ontstane vermindering der „natuurlijke” organische bemesting gecompenseerd worden door een kunstmatige organische bemesting, evenals bij de verbouw van gewassen als hakvruchten, die slechts een kleine „natuurlijke” organische bemesting geven.

Aangezien de invloed van verschillende (kunstmatige) organische bemestingen op de bodemstructuur thans uitvoerig wordt onderzocht, is het nog niet mogelijk een uitgebreide uiteenzetting over dit onderwerp te geven, zodat we met het geven van enkele voorbeelden moeten volstaan.

Een zeer intensieve groenbemesting bij een vakkenproef (Vpr 22) op zandgrond op het terrein van het Landbouwproefstation, waarbij alle gewassen, die er groeien, worden ondergespit, brengt de fractie $< 0,3$ mm, zoals deze bij de natte aggregaatanalyse wordt bepaald, van 79 op 61 gew. %. Dit is een flinke structuurverbetering die echter wel als de maximaal door groenbemesting bereikbare is te beschouwen. In de praktijk is het effect dan ook meestal geringer. Zo vonden we op het ontginningsbedrijf van de heer J. Lugtenaar te Witteveen (Dr.) een structuurverbetering van de bouwvoor door onderploegen van een gewas spurrie, waarbij de fractie $< 0,3$ mm slechts verminderde van 73 tot 70 gew. % (de fractie $< 0,6$ daalde van 81 tot 74 gew. %!). Deze structuurverbetering zal dus maar ongeveer een derde van bovengenoemde maximale verbetering bedragen.

Het scheuren van grasland is ook als een zekere vorm van groenbemesting te beschouwen. Betreft het oud grasland, dan werkt, zoals reeds werd opgemerkt, de in de loop der jaren opgepotte humus, die bij het scheuren door de bouwvoor wordt gemengd, mee om de structuur te verbeteren. Bij het scheuren van een kunstweide is dit niet het geval. Wel wordt daarbij ook al in de jaren vóór het scheuren op lichte gronden de structuur beter door de verkleining der ontbindende krachten (bescherming van de bodem tegen de werking van het klimaat, ontbreken van grondbewerking) en de vergroting der bindende krachten (door microbiologische ontleding der afgestorven wortels en andere plantendelen). Dit kan geïllustreerd worden door een voorbeeld, afkomstig van bovengenoemd bedrijf te Witteveen. We vonden daar in de laag 2—10 cm op een perceel „oud” bouwland, op een éénjarige, op een tweejarige en op een 7 maanden tevoren gescheurde $2\frac{1}{2}$ -jarige kunstweide voor de fractie $< 0,3$ mm bij de natte aggregaatanalyse resp. 73, 67, 65 en 59 gew. %. Het wisselbouwsysteem heeft hier dus in de loop van ruim drie jaar een flinke structuurverbetering veroorzaakt.

Zoals uit tabel VI blijkt heeft stalmest op lichte gronden een gunstige in-

vloed op de bodemstructuur. De nawerking van een bemesting met stalmest schijnt echter in het algemeen niet lang te zijn. Vermoedelijk is hierdoor het verschil tussen de stalmest- en kunstmestobjecten op het proefveld Pr 120, dat één jaar en acht maanden na de laatste stalmestbemesting onderzocht werd, geringer dan het verschil op Pr 837, waar de bodemstructuur slechts 7 maanden na de laatste stalmesttoediening werd bepaald.

Over de invloed van V.A.M.- en andere composten op de bodemstructuur zijn uitgebreide onderzoekingen gaande. Oriënterende proeven met V.A.M.-compost op lichte gronden gaven nogal wisselende resultaten omtrent een beïnvloeding van de bodemstructuur. Waarschijnlijk speelt hierbij de verbetering van de bodemvruchtbaarheid door de anorganische bestanddelen van de compost en de terugwerking daarvan via het gewas op de structuur een rol.

Tabel VI. Invloed van stalmest op de bodemstructuur.

Proefveld	Bemonsterd op	Bemesting met stalmest	Fractie < 0,3 mm bij aggr. analyse (gew. %)	
			Stalmest *)	Kunstmest
Pr 837 (zand)	25 Nov. 1948	30 ton/ha in Mei 1946 en April 1948	60	68
Pr 120 (dalgrond)	15 Dec. 1948	30 ton/ha in April 1945 en April 1947	64	68

Tenslotte moet nog worden opgemerkt, dat bij de organische bemesting van zware gronden de moeilijkheid van een intensieve vermenging van meststof en grond dikwijls een beperkende factor is voor de structuurverbeterende werking van die meststof.

De bodemstructuur als vruchtbaarheidsfactor.

Voor de practijk is uiteraard de rendabiliteit van de structuurverbetering een zeer belangrijk vraagstuk. Laten we hier het directe voordeel, dat een betere bodemstructuur door zijn grotere resistentie tegen water- en winderosie heeft, buiten beschouwing, dan blijft over de vraag naar de opbrengstvermeerdering of de eventuele kwaliteitsverbetering van landbouwproducten, die door een structuurverbetering zouden kunnen ontstaan. Als antwoord op deze vraag kunnen thans nog maar enkele kwantitatieve gegevens verstrekt worden. Het onderzoek, dat ons deze gegevens moet verschaffen brengt n.l. bijzondere moeilijkheden met zich. Zo is het vrijwel niet mogelijk op een perceel een structuurproefveld aan te leggen in dezelfde geest als een bemestingsproefveld, dus een groep veldjes, die een verschillende bodemstructuur hebben, maar waarbij alle andere vruchtbaarheidsfactoren gelijk zijn. Het is daarom voor het bestuderen van de bodemstructuur als vruchtbaarheidsfactor noodzakelijk uit te gaan van een groot aantal percelen, die een verschillende structuur bezitten, maar waarvan dan de overige vruchtbaarheidsfactoren uiteraard ook verschillend zijn. Daar, zoals we reeds zagen, deze vruchtbaarheidsfactoren via het gewas weer de structuur beïnvloeden, is het

*) Bij de N-P-K-bemesting op beide proefvelden is rekening gehouden met de N, P en K in stalmest, zodat de N-P-K-werking op de objecten stalmest en kunstmest ongeveer gelijk is.

moelijk het aandeel van die factoren in het ontstaan van een opbrengstvermeerdering of van een eventuele kwaliteitsverbetering te scheiden van het aandeel, dat de structuur daarin heeft. Om deze en andere redenen is het noodzakelijk op elk van het grote aantal percelen, dat in het onderzoek betrokken moet worden, alle meetbare vruchtbaarheidsfactoren te bepalen. Hierdoor wordt een zeer omvangrijk cijfermateriaal verkregen, waaruit door een speciale bewerkingstechniek het aandeel van de structuur in de bodemvruchtbaarheid los geprepareerd moet worden.

Aan het Landbouwproefstation paste Ir Ferrari een dergelijke bewerking toe op de gegevens, verkregen van een reeks van 23 proefvelden met aardappelen in de omgeving van Klundert *). Enkele resultaten van dit onderzoek zijn in tabel VII samengevat. Hieruit blijkt, dat het bij een slechte bodem-

Tabel VII. De knolopbrengst van aardappelen (Eigenheimer) en de daarvoor benodigde stikstofbemesting bij slechte en goede bodemstructuur op zeekleigronden in W.-Noord-Brabant.

Structuur	Knolopbrengst zonder N-bemesting (q/ha)	Maximale knolopbrengst (q/ha)	Voor max. opbrengst benodigde N (kg/ha)
slecht	190	225	140
optimaal	275	350	80

structuur niet mogelijk is door een stikstofbemesting de opbrengst te verkrijgen, die een uitstekende structuur zelfs zonder stikstof geeft. Nu blijkt een slechte structuur bij de gehalten aan afslibbaar en organische stof van resp. 35 en 4 %, die gemiddeld in het beschouwde gebied voorkomen en bij de optimale grondwaterstand van ongeveer 130 cm \div m.v., een fractie bestendige aggregaten 1,1—4,8 mm te bezitten, die kleiner dan 45 gew. % of groter dan ongeveer 65 gew. % is. Maken we de structuur optimaal, door met behulp van de aangegeven middelen deze fractie ongeveer 55 gew. % te laten worden, dan stijgt de maximale knolopbrengst met 125 q/ha en blijkt bovendien ongeveer 60 kg/ha stikstof minder nodig te zijn. Ook is het rendement van de stikstof bij een betere structuur aanmerkelijk hoger dan bij een slechte (75 en 35 kg/ha meer opbrengst met resp. 80 en 140 kg/ha N; zie tabel VII).

Uit dit enkele voorbeeld blijkt reeds, dat het alleszins de moeite waard is de nodige aandacht aan de bodemstructuur te besteden. Door samenwerking van instituten van onderzoek, landbouwvoorlichtingsdienst en landbouwers zal het mogelijk zijn langs de weg van een verbetering van de bodemstructuur het nodige bij te dragen tot de zo noodzakelijke productieverhoging van de Nederlandse landbouw.

Groningen, December 1949.

*) Zie Landbouwk. Tijdschr. 61 (1949), 111—120.