

Bodemstructuur en structuurregelaars

door

Dr P. K. PEERLKAMP, Drs A. J. DE GROOT en Ir H. KUIPERS

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

Problemen rond de bodemstructuur

Het substraat, dat we met de verzamelnaam „grond” plegen aan te duiden, is samengesteld uit een zeer grote verscheidenheid van bouwstenen. Deze bestaan soms geheel uit anorganisch, soms geheel uit organisch materiaal, soms ook uit een combinatie van beide. Binnen deze drie groepen treden weer talloze variaties in samenstelling op, die in het bijzonder wat de organische stof betreft nog slechts ten dele bekend zijn, ondanks het vele onderzoek dat dienaangaande reeds is verricht. De afmetingen der gronddeeltjes wisselen eveneens tussen zeer wijde grenzen (ongeveer 0,01 micron tot enkele centimeters).

Dit mengsel van heterogene bestanddelen ligt, in het algemeen en vooral in de landbouwkundig bijzonder van belang zijnde bovenste paar decimeters, niet in een dichte pakking, maar vormt een meer of minder luchtig bouwsel. De aard van dit bouwsel, beoordeeld zowel naar zijn ruimtelijke eigenschappen als naar de bestendigheid van deze eigenschappen noemen we bodemstructuur.

Deze bodemstructuur is allesbehalve een materiaalconstante, doch een eigenschap die aan sterke wisselingen onderhevig is. Ze dankt haar ontstaan namelijk aan het samenspel van een groot aantal, ten dele sterk wisselende en moeilijk te beheersen krachten. We kunnen hierbij twee groepen onderscheiden:

- a) krachten die de bodem-bouwstenen of groepjes daarvan (aggregaten) aan elkaar binden, zoals coëns en adhaesie van kleien en van verschillende organische en anorganische stoffen in de bodem, capillaire krachten uitgeoefend door het bodemvocht, mechanische bindingen door wortels, wortelharen en myceliumdraden e.a.;
- b) destructieve krachten, hoofdzakelijk uitgeoefend door het klimaat (regenslag, wisseling van nat en droog en dientengevolge van zwel en krimp, uitzetting van bevrozend bodemwater, winddruk) en door de mens (grondbewerking, belopen en berijden van het bodemoppervlak).

Voor zover maximale sterkte en periodiciteit van deze krachten gemiddeld over langere tijd (bv. enkele jaren) nagenoeg gelijk blijven, stelt zich een gemiddelde toestand in, waaromheen de actuele bodemstructuur (d.w.z. de structuur op een zeker tijdstip) schommelt.

De eis, een groeiende bevolking van voedsel te voorzien, noodzaakt de mens echter, telkens weer in te grijpen in dit krachtenspel, waardoor verschuivingen van het structuurniveau optreden die soms tot rampzalige gevolgen aanleiding geven.

De pionier in een bebost, geaccidenteerd terrein kapt ter verkrijging van bouwland het bos, stelt daarmee de bodem sterker bloot aan klimaatsinvloeden en vermindert door deze ontbossing de aanvoer van organisch materiaal in de bodem. Hij gaat grondbewerkingen toepassen, waardoor bindingen tussen de bodembouwstenen verbroken worden en de microbiologische verbranding van organisch materiaal en daarmee het verdwijnen van organische kitstoffen in de bodem wordt bevorderd. Indien hij dan nog weinig aandacht schenkt aan de voorziening van zijn grond met organische stoffen en door de grondbewerkingen en het

zaaien of planten in de richting van de helling uit te voeren het oppervlakkig afstromen van water bevordert, zijn alle factoren aanwezig om het krachtenspel dusdanig in de richting der destructieve krachten te verschuiven, dat de bodemstructuur geheel degenerereert en steeds meer grond met het regenwater door beken en rivieren naar zee wordt gevoerd. Hetzelfde kan gebeuren, indien hellende graslanden te intensief worden beweide, waardoor de zode afsterft en de bodem haar bescherming verliest.

In vele delen van de wereld zijn spectaculaire voorbeelden te vinden van erosie, ontstaan door onoordeelkundige ontginning. In de Verenigde Staten van Noord-Amerika, waar zich vooral in het oostelijk deel sterke watererosie heeft voorgedaan, is de erosiebestrijding reeds sinds meer dan 20 jaar intensief aangepakt. Toch worden hier volgens op metingen gebaseerde schattingen jaarlijks nog ongeveer 3 milliard tonnen bouwen weidegrond door het regenwater weggespoeld. Ook in het vlakke centrale gedeelte der Verenigde Staten kwamen als gevolg van het onoordeelkundig in cultuur brengen of te intensief beweiden der prairie enorme grondverplaatsingen voor, niet door het water maar door de wind. In één stuifdag (11 Mei 1934) zijn hier naar schatting 300 miljoen tonnen grond verwaaid. Het is zeer begrijpelijk dat in een dergelijk land, waar het jaarlijkse grondverlies op ongeveer 5,4 milliard ton gesteld kan worden, waar van de totale bruikbare bodemoppervlakte 21 % door erosie vernield of sterk verarmd en 73 % meer of minder aangetast is, en waar de totale jaarlijkse schade door erosie ruim 3 milliard gulden bedraagt — ongeveer de helft daarvan is schade voor de boeren — met alle middelen getracht wordt de erosie te bestrijden.

Tot voor kort bestonden deze middelen hoofdzakelijk uit maatregelen om de destructieve krachten, op de bodem uitgeoefend door water en wind, te verzwakken, zoals het ploegen volgens de hoogtelijnen, het maken van terrassen, het aanbrengen van schermstroken van andere gewassen (afb. 1), het zoveel mogelijk bedekt houden van het bodemoppervlak en het beheersen van de afwatering. Voor een effectieve erosiebestrijding bleek echter tevens het versterken der bindende krachten in de bodem noodzakelijk. Daarom werd bij de „soil-conservation” tevens de nodige aandacht besteed aan de voorziening van de bodem met natuurlijk organisch materiaal. De mogelijkheden voor een bevredigende toepassing van deze methode zijn echter doorgaans gering en de moeilijkheden vele. Al lang werd dan ook uitgezien naar een kunstmatige kitstof als bondgenoot bij de erosiebestrijding. Deze schijnt thans onder de plastics gevonden te zijn in de vorm van de moderne „soil-conditioner” (structuurregelaar).

In ons land liggen de problemen rond de bodemstructuur geheel anders dan in Amerika. Door de vlakke ligging van Nederland speelt de watererosie hier slechts een ondergeschikte rol. De winderosie daarentegen is wel van belang en berokkent op onze zand- en dalgronden, gemiddeld over langere tijd, een jaarlijkse schade van naar schatting ongeveer 10 miljoen gulden. Door onze grote en nog steeds groeiende bevolkingsdichtheid zijn we gedwongen, van onze bodem



Afb. 1. Luchtfoto van een Amerikaans landschap met zgn. „contourstrips”, volgens de hoogtelijnen verloopende stroken met verschillende gewassen. (Foto: Soil Conservation Service.)

een veel intensiever gebruik te maken dan in de Verenigde Staten over het algemeen het geval is. Daar kan men in vele gebieden door gebruik van kunstmest nog grote opbrengstverhogingen bereiken. In ons land zitten we doorgaans aanmerkelijk dicht bij het „plafond” van het producerend vermogen van de bodem en moeten we in het bijzonder aandacht gaan schenken aan de minder effectieve en moeilijker te beheersen bodemvruchtbaarheidsfactoren, waartoe we de bodemstructuur kunnen rekenen.

Deze bodemstructuur heeft als landbouwkundige productiefactor een veelzijdige taak. Zij moet voldoende luchtig zijn om een teveel aan regenwater door te laten, om steeds de diffusie van zuurstof in en koolzuur uit de bodem mogelijk te maken, om de groeiende wortels niet te veel mechanische weerstand te bieden en om de temperatuurvereffening in de bodem niet te groot te maken. Aan de andere kant moet de structuur weer voldoende water kunnen vasthouden voor drogere perioden, het wortelstelsel als fundament van de plant voldoende mechanische steun bieden en een intensief contact tussen wortels en grond waarborgen. Aan deze ten dele tegenstrijdige (en hier niet volledig opgesomde) eisen voor de actuele structuur kan worden voldaan door de vorming van poreuze aggregaten van gemiddeld enkele mm's diameter, die gewoonlijk (wegens een zekere analogie met hun naamgenoten bij het brood) *kruimels* worden genoemd.

Eén van de belangrijkste eisen, die we aan deze kruimels moeten stellen, is een voldoende bestendigheid tegenover destructieve krachten en juist op dit punt blijven de meeste van onze zand- en dalgronden, vele zavel- en lössgronden en zelfs sommige kleigronden in gebreke. Door regenslag vallen, in het bijzonder bij de lichtere gronden, al spoedig de aggregaten aan het bodemoppervlak uiteen; er vormt zich een laagje met een éénkorrelstructuur en we zeggen dan, dat de bodem *verslemt*. Gedurende een periode zonder of met slechts zeer oppervlakkige grondbewerking degenereren ook de dieper gelegen aggregaten en de bouwvoor verdicht zich. Dit kan mechanisch nog worden bevorderd door lopen of rijden op het oppervlak. Het eerste speelt bv. een belangrijke rol bij het in elkaar zakken van de structuur bij kunstweiden op lichte gronden.

Bij zware gronden ligt de zaak meestal anders. Hier is de binding tussen de elementaire gronddeeltjes over het algemeen groter, waardoor de aggregaten beter weerstand kunnen bieden tegenover destructieve krachten. Slaagt men er in, door intensieve grondbewerking onder gunstige vochtcondities, eventueel gesteund door natuurlijke middelen als „doorvriezen” en krimpscheuren bij opdrogen, een min of meer compacte kleibodem in voor een zaaiwed voldoende fijne

aggregaten te verdelen, die doorgaans geen poreuze kruimels maar kleine dichte kluitjes zijn, dan kunnen deze onder natte omstandigheden opzwellen en, mede onder invloed van op het bodemoppervlak uitgeoefende druk, weer tot grote kluiten samenklonteren. Hoewel het mechanisme dus anders is dan bij het structuurverval op lichte gronden, waar de aggregaten stuk gaan, is het eindresultaat in beide gevallen een te dichte bodem. Vooral bij de zwaardere gronden zullen we dus ter bestrijding van structuurverval het samenklonteren van eenmaal gemaakte aggregaten moeten tegengaan.

Doordat het onderzoek naar de betekenis van de bodemstructuur als vruchtbaarheidsfactor nog jong is en zeer vele moeilijkheden meebrengt, beschikken we nog maar over weinig gegevens, waaruit kan blijken tot welke opbrengstverhogingen een verbetering van de bodemstructuur kan leiden. Dat deze van belang kunnen zijn, blijkt uit de volgende voorbeelden.

Bij een regionaal onderzoek naar de bodemstructuur in het Marnegebied (N.W.-Groningen) vond H. KUIPERS, dat globaal op 35 % van de percelen in dit gebied in 1952 meeropbrengsten suikerbieten, variërende van 0 tot ongeveer 15 %, verkregen zouden kunnen zijn indien de structuur optimaal was geweest.

Dat in een droog jaar de bodemstructuur van zeer veel belang kan zijn, vond FERRARI (2) in 1947 bij aardappelen in het noordwestelijke zeeleigebied van Noord-Brabant. Op percelen met een slechte structuur werden daar knolopbrengsten verkregen van 22,5 ton/ha, waarvoor 140 kilo stikstof per ha nodig was. Op percelen met zeer goede bodemstructuur bedroeg de opbrengst echter 35,0 ton/ha en daarvoor behoefde maar 80 kg/ha stikstof gebruikt te worden. In een volgend jaar met gunstiger weersomstandigheden was daarentegen geen structuurinvloed merkbaar.

*

Bodemstructuur en organische-stofvraagstuk

Hoewel een goede bodemstructuur naast haar directe betekenis voor de landbouwproductie en voor de bestrijding van erosie nog een aantal indirecte voordelen biedt (gemakkelijker grondbewerking op zware gronden, bufferwerking bij de ontwatering e.a.), blijkt uit het bovenstaande reeds voldoende dat het in ons land van belang is, aan de verbetering, ev. instandhouding van de bodemstructuur de nodige aandacht te besteden. De vraag is echter: hoe?

We moeten daartoe op de juiste wijze de krachten beïnvloeden, die bij de structuurgenese een rol spelen. Voor de lichtere gronden betekent dit het versterken der bindende en het verzwakken der destructieve krachten. Het laatste kan gebeuren door de bodem te beschermen tegen klimaatsinvloeden en door het beperken van grondbewerking. Beide zijn slechts tot op zekere hoogte mogelijk, zodat hier de oplossing vooral in een versteviging der bindingen gezocht moet worden. Daarbij kunnen we de mogelijkheid, dit te bereiken door verhoging van het gehalte aan afslibbare delen, om praktische redenen buiten beschouwing laten, zodat slechts een vergroting van de concentratie aan organische kitstoffen in de bodem als voornaamste methode overblijft.

Bij de zwaardere gronden zal ter verbetering van de bodemstructuur vooral getracht moeten worden, het weer aan elkaar bakken van eenmaal gevormde aggregaatjes te verhinderen. Hoewel het mechanisme hiervan nog niet geheel duidelijk is, blijken organische stoffen in de bodem dit te kunnen bewerkstelligen (vermoedelijk o.a. door omhulling van het aggregaatje). We zien hier dus, dat het vraagstuk van het regelen der bodemstructuur nauw verbonden is met dat van de voorziening van de bodem met organisch materiaal. Eén der belangrijkste problemen hierbij vormt de aard van dit organische materiaal.

Uit onderzoek van de organische stof in grond is gebleken, dat deze — indien we onverteerde plantenresten buiten beschouwing laten — voor ongeveer $\frac{2}{3}$

bestaat uit het met de naam *humus* aangeduide mengsel van donker gekleurde stoffen met colloïdale eigenschappen en een hoog moleculair gewicht. Deze humus is in de bodem gevormd uit afbraakproducten van hogere en lagere planten en (in mindere mate) dieren en in de grond voorkomende basen. Hij is tamelijk resistent tegen microbiologische aantasting en oxydatie door luchtzuurstof en bestaat nog weer uit drie groepen van stoffen:

- a) de zgn. voedingshumus, die relatief het gemakkelijkst aantastbaar is en uit chemisch actieve lignine, koolhydraten en een eiwitconcentraat bestaat;
- b) de zgn. stabiele humus, ten dele ontstaan door polymerisatie van geautoxydeerde en geammonificeerde actieve lignine en koolhydraten en bestaande uit actieve grijze en bruine huminezuren, waarvan eerstgenoemden als de stabielste vorm in de humusontwikkeling moeten worden beschouwd;
- c) de huminen, die weinig actief en in de bodem van minder belang zijn.

Hoewel door gebruik van de termen humus, stabiele humus en organische stof in verschillende betekenissen veel verwarring is ontstaan, heeft men reeds vroeg aangevoeld, dat het meer bestendige en colloïdaal verdeelde, donker gekleurde organische materiaal in de bodem, dat we wellicht het best met de boven aangegeven stabiele humus kunnen identificeren, voor bodem en gewas van grote betekenis is. Tot omstreeks 1940 ziet men het onderzoek over de organische stof in de bodem dan ook in het bijzonder toegespitst op de stabiele humus. Vooral in Duitsland heeft deze richting tot op heden opgang gemaakt. Deze Duitse school (o.a. LAATSCH en medewerkers) heeft de verbetering van de bodemstructuur door middel van organische stof speciaal gezocht in de productie van stabiele humus. Het lijkt echter de vraag of de opvatting, dat stabiele humus een goede bodemstructuur maakt, in zijn algemeenheid juist is, en men vraagt zich af, of een overgeleverde en niet voldoende experimenteel bevestigde a priori opvatting hier niet een belangrijke rol speelt. Weliswaar is uit microscopisch onderzoek van SIDERI (13) gebleken, dat klei-aggregaten gestabiliseerd kunnen worden door een omhullend ten dele anisotroop humushuidje, en volgt uit recent werk van o.a. LAATSCH (7), dat voor het vormen van goede humuscomponenten montmorilloniet nodig is, zodat men voor kleigronden enige aanwijzingen heeft over de rol die humus bij de aggregatie kan spelen, doch voor zandgronden is deze nog zeer onduidelijk.

Bovendien is na 1940 door Amerikaans en Engels onderzoek (10) komen vast te staan, dat bepaalde polysacchariden en polyuroniden, die bij de microbiologische omzetting van vers organisch materiaal in de bodem gevormd worden en niet tot de boven gedefiniëerde humus behoren, een zeer belangrijk aandeel kunnen hebben in de aggregatie, zowel van lichte als van zware gronden. Het grote bezwaar van deze producten is de geringe resistentie tegen microbiologische aantasting. Vooral door toedoen van actinomyceten worden ze snel omgezet en gaat de aanvankelijke verbetering van de bodemstructuur weer verloren. Slechts door een geregelde voorziening van de bodem met vers organisch materiaal — waarbij o.a. de afstervende wortelmasse een belangrijke rol speelt (9) — gelukt het, de structuur op een hoger niveau te handhaven.

Over de verhouding van de aandelen, die stabiele humuscomponenten enerzijds en de gemakkelijk aantastbare gomachtige producten anderzijds in het aggregatie-proces hebben, is nog vrijwel niets bekend. Wel moet worden aangenomen, dat de structuurverbeteringen, die men op bouwland meestal verkrijgt door een intensieve bemesting met tamelijk vers organisch materiaal of door verbetering van verschillende groeifactoren (10), hoofdzakelijk aan de door de Amerikaans-Engelse school bestudeerde stoffen zijn toe te schrijven. Over het algemeen zijn immers de levensomstandigheden voor de microben in de bouwvoor bij bouwland te gunstig voor humusvorming; vers orga-

nisch materiaal verbrandt hier praktisch volledig (3). Aan het bodemoppervlak bij grasland schijnt het milieu beter geschikt te zijn voor humusvorming. In principe ligt dus in een wisselbouwsysteem, waarbij de percelen beurtelings een tijd lang in gras gelegd worden, een mogelijkheid om het humusgehalte van de grond te verhogen. Het is echter nog de vraag, of bij de korte periode, dat men om praktische redenen een kunstweide kan aanhouden, de structuurverbetering na het scheuren niet meer is toe te schrijven aan het onderbrengen van een grote hoeveelheid min of meer vers organisch materiaal (zode) dan aan een verrijking van de grond met humus.

Aangezien dus de vorming van stabiele humus in de bodem onder praktijkomstandigheden een moeilijk te beheersen en meestal langdurig proces is, heeft men reeds lang getracht, de humificatie van organisch materiaal versneld buiten de bodem te doen plaats vinden. Hoewel hierbij ook andere redenen in het spel zijn, kan de compostering als een poging in deze richting beschouwd worden. Onze kennis omtrent de wijze, waarop het beschikbare organische materiaal behandeld moet worden om tot een zo effectief mogelijke humusvermeerdering van de bodem te geraken, is nog verre van volledig. Ook al zou ze dit echter wél zijn, dan nog blijft de moeilijkheid bestaan, dat de beschikbare hoeveelheid van dit materiaal naar schatting (1) niet voldoende is om de bestaande humusvoorraad op peil te houden.

*

Structuurregelaars

Uit het bovenstaande blijkt duidelijk, hoe er in de landbouw grote behoefte bestaat aan een product dat, in de bodem gebracht, het structuurverval tegengaat. Het moet daarbij zo goed mogelijk resistent zijn tegen microbiologische aantasting en tegen uitspoeling en geen toxische of andere schadelijke neveneffecten vertonen, terwijl het uiteraard gemakkelijk met de grond gemengd moet kunnen worden. Een dergelijk product noemen we een *structuurregelaar*.

Bij de pogingen, die gedaan zijn om structuurregelaars te bereiden vallen weer duidelijk de „Duitse” en de „Amerikaanse” school te onderscheiden. De eerste, die de oplossing zoekt in de richting van een *kunstmatige stabiele humus* en waartoe in ons land HUDIG en SIEWERTSZ VAN REESEMA (5) gerekend kunnen worden, is de oudste. Aan het einde der vorige eeuw werden reeds pogingen gedaan, een soort stabiele humus te maken, waarbij echter de werking als structuurregelaar maar bijzaak was. Dit laatste geldt ook ten dele voor de zgn. „mineraalturfcomposten”, die na 1930 in Duitsland als Biohum, Nettolin, Huminal e.d. in de handel werden gebracht en vooral als leveranciers van plantenvoedende stoffen bedoeld waren.

De door HUDIG en SIEWERTSZ VAN REESEMA omstreeks 1940 ontwikkelde producten X_1 (voor zandgronden) en X_2 (voor kleigronden) zijn daarentegen wél als structuurregelaars bedoeld. Uitgebreide veldproeven zijn alleen genomen met het product X_2 , dat destijds door de N.V. Calha in een proefinstallatie te Zwijndrecht werd gemaakt uit bij hoge temperatuur en druk geoxydeerd sphagnumveen, waaraan aluminium en ijzer werden toegevoegd. De resultaten zijn echter tot dusverre niet zodanig geweest, dat het product in de handel kon worden gebracht.

Sinds kort is er een andere stabiele humus op de markt, die door de Oostenrijker MARIAN ontwikkeld is en onder de naam *Actumus* door de Carbonated Organics Company te Londen wordt gefabriceerd, naar het schijnt uit lignine-achtige grondstoffen. Het is een fijn zwart poeder, dat droog of in water gesuspenderd in de grond gebracht kan worden. Volgens het voorschrift van de fabrikant moet ongeveer 125 kg/ha gegeven worden (wat dus neerkomt op een concentratie van ong. 0,006 % van de droge grond), op zwaar bemeste percelen meer. In volgende jaren zou een veel kleinere dosis ter aanvulling van uitgespoeld materiaal

voldoende zijn. Er wordt opgegeven, dat het product zowel voor lichte als voor zware gronden bruikbaar is. De eerste resultaten van laboratorium- en veldproeven, die door ons met Actumus genomen worden, lijken weinig hoopvol.

De opkomst van de kunststoffenindustrie bracht de eerste pogingen om door polymerisatie structuurregelaars te vervaardigen. In het begin trachtte men dit proces in de bodem te doen verlopen, nadat het mono-meer met de grond gemengd was. Proeven, reeds voor de laatste wereldoorlog uitgevoerd met natrium-abietaat en met calcium-acrylaat, gaven voor landbouwkundige toepassing ongunstige resultaten. Zodra druk op de bodem werd uitgeoefend, ontstond een zeer compacte laag, die wel voor militaire doeleinden (startbanen e.d.) goed bruikbaar bleek.

De in Amerika veel voorkomende vereniging van boer en laboratoriumonderzoeker in éénzelfde persoon en in dit geval in de persoon van CHARLES THOMAS, destijds directeur van de afdeling onderzoek van de Monsanto Chemical Company, was de directe oorzaak van een intensief pogen om tot structuurregelaars voor landbouwkundig gebruik te komen. THOMAS, die op zijn boerderij voortdurend in aanraking kwam met het erosie-vraagstuk entameerde een onderzoek, dat na door de oorlog te zijn vertraagd, in 1949 krachtig werd aangepakt. Voortbouwende op de gedachtengang van de „Amerikaanse school” ontwikkelden HEDRICK en MOWRY, samen met andere medewerkers van Monsanto en gesteund door adviezen van prof. QUASTEL, grotendeels langs empirische weg (meer dan 700 stoffen werden geprobeerd) de structuurregelaar *Krilium*. Op een symposium over verbetering van de bodemstructuur, georganiseerd door de American Association for the Advancement of Science, werd te Philadelphia op 29 December 1951 het bestaan van *Krilium* bekend gemaakt door de vice-president van Monsanto. Het werd onder het codenummer „CRD 189” of onder de naam „*Krilium*, formulation 9” aangediend als het natrium-zout van een polymeer van acrylonitril. In min of meer sensationele berichten verspreidde dit nieuws zich over de wereld. Allerlei chemische industrieën zochten naarstig in hun arsenaal naar mogelijkheden om zonder veel moeite ook een structuurregelaar te maken.

De veel acrylonitril producerende American Cyanamid Company kwam al gauw met *Aerofil* aan de markt, dat als strooibaar poeder („dry form”) of als oplosbare vlokken („wetable flakes”; om de structuurregelaar te versproeien) geleverd kan worden.

De strijdkreet „acrylonitril” werd aanmerkelijk getemperd toen Monsanto op 22 Mei 1952 plotseling het „CRD 186” of „*Krilium 6*” lanceerde. Dit gedeeltelijk calcium-zout van het copolymeer van vinylacetaat en maleïnezuur is, voor zover ons bekend, op het ogenblik de enige *Krilium*-soort, die voor landbouwkundige doeleinden (als „Merloam formulation” voor tuintjes of als „formulation Loamaker 631” voor de commerciële landbouw) in de handel wordt gebracht. Sinds het voorjaar van 1953 adverteert Monsanto met „*Bondite*”, dat als structuurregelaar ten dienste van de erosiebestrijding, speciaal bij wegebouw, wordt aangekondigd.

Vermoedelijk meer gedreven door onderlinge naijver dan door een helder inzicht in de economisch verantwoord toepassingsmogelijkheden in de landbouw kwamen steeds meer fabrikanten in de Verenigde Staten en elders met (nieuwe?) structuurregelaars aan de markt. In de zomer van 1952 vond men in vrijwel elke Amerikaanse krant één of meer advertenties, waarin bepaalde structuurregelaars uitvoerig werden aangeprezen, en vele warenhuizen, winkels in tuinbouwartikelen e.d. wijdden een gehele etalage aan een bepaald „soil conditioner”. Zonder ook maar enigszins volledig te zijn kunnen wij behalve *Krilium*, *Bondite* en *Aerofil* bv. noemen: *Aerisol* (van *Aerisol Co.*, New Ark), *Agriilon* (van de American Polymer Corp.; het natrium-zout van een copolymeer van acrylzuur), *Fluffium* (*Dreer*, Philadelphia; natrium-polyacrylaat), *Loamium*

(*White House Co.*, Harrison N.J.), *Poly-Ack* (*Wilson Organic Chemicals*), *Soilife* (*Mott Manufacturing Co.*, Mount Vernon, N.Y.), *Terrakem* (Niagara Chemical Division of the Food Machinery and Chemical Corporation), *Terrasol* (*Drum Chemical Co.*, New York; carboxymethylcellulose). Buiten de Verenigde Staten zijn o.a. als structuurregelaar geïntroduceerd of beproefd *Loxar* (*Canadian Industries Ltd.*; een polyacrylonitril) en *SRS 88/52* (*Union Chimique Belge*).

Door het aanbieden van steeds weer nieuwe merken structuurregelaars — begin 1953 waren er al ongeveer 50 verschillende — en de daarmee gepaard gaande grote reclame-acties dreigden er bij de adspirant-gebruikers in Amerika en daarbuiten misverstanden te ontstaan ten aanzien van de praktische toepassingsmogelijkheden. Het gevaar leek niet denkbeeldig, dat door teleurstelling bij te hoog gespannen verwachtingen de structuurregelaar in het algemeen in discredit zou geraken. Verschillende waarschuwingen werden dan ook geuit.

Op 18 Mei '52 vestigde BEAR, de hoofdredacteur van *Soil Science*, er in de *New York Herald Tribune* de aandacht op, dat de meeste producten met een tamelijk hoog gehalte (vaak 50 à 75 %) aan inactieve vulstof verkocht worden, waarmee men uiteraard bij het bepalen van de toe te dienen hoeveelheid rekening dient te houden. Op 16 Juli 1952 verscheen een eerste waarschuwing van het U.S. Department of Agriculture, waarin er op gewezen werd, dat naast een structuurregelaar ook natuurlijke organische stof voor de bodem noodzakelijk blijft en dat het effect van een structuurregelaar sterk van de dosering afhangt, ten aanzien waarvan door de producenten de meest uiteenlopende voorschriften werden gegeven. Het U.S.D.A. raadde aan, zich voorlopig tot een bescheiden proef te beperken en gaf in een tweede nota (21.11.1952) enige algemene richtlijnen voor het gebruik van structuurregelaars, er op wijzend, dat nog zeer veel onderzoek vereist is, alvorens een gefundeerd advies gegeven kan worden. In Februari 1953 maakte de Federal Trade Commission bekend, dat zij een onderzoek zou doen instellen naar de juistheid van de beweringen ten aanzien van het effect van structuurregelaars, zoals vermeld in advertenties, op verpakkingen e.d., aangezien men in verschillende gevallen hieraan moest twijfelen.

Uit dit alles blijkt wel, dat men ook in landbouwkringen in Amerika voelt, dat de tijd nog niet rijp is voor het uitspreken van een gefundeerd oordeel over het gebruik van structuurregelaars. Alvorens te kunnen adviseren over de beste wijze van toediening en de juiste dosering bij verschillende gronden, gewassen, klimatologische omstandigheden en typen van structuurregelaars zullen nog jaren intensief onderzoek nodig zijn.

Aan het *Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O.* werd, mede in verband met de uitvoering van het meststoffenbesluit (waaronder ook de structuurregelaars vallen, hoewel de meesten geen meststof zijn volgens het gewone spraakgebruik), dit onderzoek direct in het begin van 1952 aangevat. In verband met de beschikbare hoeveelheden structuurregelaar moest het aanvankelijk beperkt blijven tot een laboratoriumonderzoek naar de reactie van verschillende gronden op toediening van een structuurregelaar; in de zomer van 1952 konden nog een potproef en een paar zeer eenvoudige veldproefjes ter oriëntering over de reactie van het gewas aangezet worden. In het voorjaar van 1953 kwamen er enkele producten grotere hoeveelheden ter beschikking, zodat op een slempige zavelgrond te Hornhuizen tot aanleg van een groot trappenproefveld voor structuurregelaars kon worden overgegaan. Naar wij hopen zal het mogelijk blijken, het volgend jaar een dergelijke proef op zware zeeklei uit te voeren.

Op het ogenblik zijn de volgende producten in ons onderzoek betrokken: *Krilium* (—9, —6 en Merloam formulation), *Aerofil* (dry form en wetable flakes), *Agriilon* (typen NA en P), CMC, enkele Nederlandse

producten en verder Actumus en X₂, terwijl over een paar Duitse producten besprekingen gaande zijn. Alvorens nader in te gaan op de voornaamste resultaten van deze proeven, voor zover ze thans reeds bekend zijn, volgen hier eerst nog enkele opmerkingen over de wijze van toepassing van structuurregelaars en de fysisch-chemische achtergronden van hun werking.

*

Gebruik en werking van structuurregelaars

Over de hoeveelheid structuurregelaar, die per eenheid van oppervlak gebruikt moet worden, is men nog maar globaal georiënteerd. Ze hangt in de eerste plaats af van de dikte van de laag, die men wil behandelen en van de hoeveelheid vulstof, waarmee het actieve materiaal is versneden; verder van de aard van dit actieve materiaal, van de grond en van het gewas. De op de gebruiksaanwijzingen aangegeven doses zijn tot nu toe vrijwel uitsluitend gebaseerd op de reactie van de structuur en niet op die van het gewas, dat niet altijd gunstig reageert op de teweeggebrachte structuurverandering (14). Ook zijn er aanwijzingen (12), dat éénzelfde hoeveelheid actief materiaal in versneden vorm minder effectief kan zijn dan zonder bijmenging van vulstof.

Om een indruk te geven van de hoeveelheden, die volgens de producenten toegepast moeten worden, is de dosering voor enkele structuurregelaars in tabel I vermeld. Hieruit blijkt, dat in het algemeen 0,05 à 0,10 gewichtsprocenten van de droge grond aan actief materiaal gegeven moet worden, hetgeen voor de behandeling van een 15 cm dikke bouwvoor neerkomt op ongeveer 1 à 2 ton actief bestanddeel per ha of bij een 25 % handelsproduct op 4 à 8 ton/ha. Voor alleen een oppervlaktebehandeling of bij toepassing van dezelfde werkwijze als bij rijenbemesting zijn per keer natuurlijk aanmerkelijk geringere hoeveelheden (ruwweg 1/10) nodig. Bij verschillende producten (o.a. Krilium 9 en Agrilon) moeten ook plaatselijk te hoge concentraties vermeden worden, aangezien dan (bv. boven ong. 0,5 %) een ongewenste verslemping van de bodem kan optreden en het teveel aan structuurregelaar als een slijmige massa in en op de bodem verschijnt.

Een goede vermenging van de structuurregelaar met de grond is essentieel voor een succesvolle toepassing. Dit vereist een intensieve grondbewerking. Uit proeven, genomen met Krilium gemengd met een radioactief fosfor-isotoop, bleek dat alleen eggen en schijfeggen in het algemeen niet voldoende menging geeft. Afwisseling met kerende grondbewerking is blijkbaar noodzakelijk.

Bij de behandeling van een dikkere laag, bv. een 15 cm bouwvoor, verdient het aanbeveling, de halve hoeveelheid structuurregelaar eerst aan de bovenste helft van de laag toe te dienen en daarmee goed te vermengen, om na het keren van de gehele laag de oorspronkelijk onderste helft te behandelen.

Voor het werken met een poedervormige synthetische structuurregelaar moet de grond goed droog zijn, aangezien een dergelijk product door zijn hygroscopische

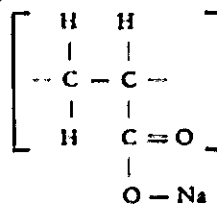
eigenschappen moeilijk met natte grond vermengd kan worden. Na de menging kan de grond worden bevochtigd.

De synthetische structuurregelaars zijn doorgaans oplosbaar, hetgeen enigzins de verspreiding kan bevorderen van plaatselijke ophopingen, die ontstaan zijn bij mechanische vermenging van een poedervormig product met de grond. Sommige structuurregelaars moeten in opgeloste toestand worden verspoten. Deze methode is in het bijzonder bruikbaar, wanneer slechts een dunne, oppervlakkige laag behandeld moet worden.

Ten aanzien van een verklaring voor de werking van structuurregelaars is wat de producten X₂ en Actumus betreft niets met zekerheid bekend en wat de synthetische structuurregelaars betreft nog slechts zeer weinig. We beperken ons hier dan ook tot enkele fysisch-chemische aspecten van een paar producten uit laatstgenoemde groep ¹⁾.

Voortbouwende op de wetenschap, dat de bij ontleding van vers organisch materiaal in de bodem ontstane polysacchariden en polyuroniden een sterk aggregatend vermogen bezitten, zocht men ter vervanging van deze microbiologisch weinig resistente stoffen naar een macromoleculair product, dat minstens even effectief t.a.v. van de structuur, maar daarbij microbiologisch resistent was. Stoffen als cellulose-acetaat, methylcellulose en carboxymethylcellulose bleken weliswaar grondaggregaten meer of minder te kunnen stabiliseren, doch in het algemeen niet de vereiste resistentie in de bodem te bezitten. Natrium-abietaat, dat eveneens de aggregatie bestendigt en een goede resistentie bezit, verhindert echter de gewenste bevochtiging van de aggregaten.

Een groot aantal van de tot nu toe in de handel gebrachte structuurregelaars zijn natriumzouten van geheel of ten dele hydrolytisch gesplitste acrylonitrilpolymeren. Als voorbeeld kunnen we Krilium 9 noemen. Dit product bevat in de eerste plaats geheel verzeepte cyaangroepen in de vorm van het natrium-zout:



Bovendien zijn nog stikstof-atomen ingebouwd, die ten dele als amidegroepen zijn gebonden. Indien het product verder wordt verzeept, wordt de oplosbaarheid groter. Krilium 9 vormt onoplosbare verbindingen met o.a. de in de bodem voorkomende ionen Ca⁺⁺, Cu⁺⁺ en Fe⁺⁺⁺. Het is een hydrophil colloid en wel een lineair electrolytpolymeer, waaruit in de bodemoplossing door dissociatie polyanionen ontstaan. Door de natuurlijke aanwezigheid van electrolyten (als natrium-, magnesium- en andere zouten) in het bodemvocht zal

¹⁾ Een uitvoeriger behandeling hiervan zal t.z.t. door dr JAC. VAN DER SPEK tezamen met Drs A. J. DE GROOT worden gepubliceerd.

TABEL I. Globale dosering van enkele structuurregelaars (volgens de voorschriften van de producenten).

structuurregelaar	vorm	aanbevolen hoeveelheid		dit is aan „actief” materiaal	
		in gew. % van droge grond	in kg/ha.dm	in gew. % van droge grond	in kg/ha.dm
Krilium 6 en 9	poeder, 100 %	0,05—0,10	700—1400	0,05—0,10	700—1400
Krilium Merloam	„ „ 25 %	0,2—0,4	2800—5600	0,05—0,10	700—1400
Aerotil (dry)	„ „ 40 %	0,1—0,3	1400—4200	0,04—0,12	560—1680
Aerotil (wett.fl.)	vlokken, 83 %	0,05—0,07	700—980	0,04—0,06	560—840
Agrilon P	poeder, 25 %	ong. 0,03	ong. 1300	ong. 0,02	ong. 325
Agrilon NA	oplossing, 15 %	„ 0,13	1900	„ 0,02	280
CMC—120 high	poeder, 100 %	0,05—0,10	700—1400	0,05—0,10	700—1400
Stabiele humus X ² *)	poeder, 70 %	0,12—0,16	1700—2300	0,03—0,11	1200—1600
Actumus *)	„ „ 80 %	0,006—0,012	85—170	0,005—0,010	70—140

*) „actief” materiaal = droge stof; rest is vocht.

KRILIUM ONDERZOEK

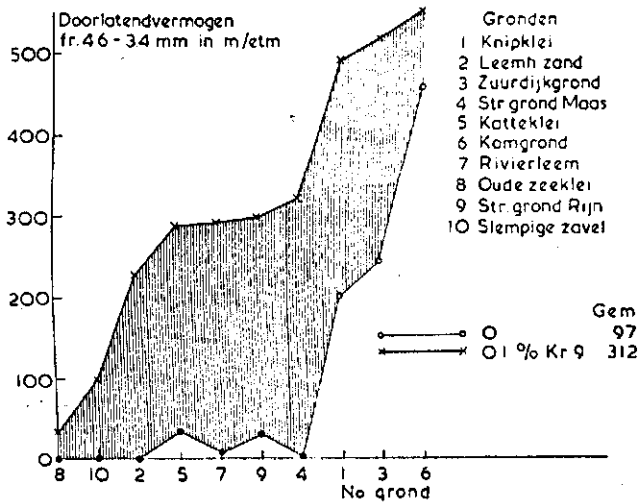


Fig. 2. Doorlatend vermogen voor water na 5 minuten percoleren bij verschillende gronden in de vorm van kunstmatig gemaakte aggregaten van 3,4—4,6 mm; wel en niet behandeld met Krilium 9.

het hooggeladen polymecrion, dat anders een staafjes-vorm heeft, de gedaante van een statistisch kluitje aannemen en zich naar buiten als ongeladen molecuul gedragen ²⁾.

Uit lichtverstrooiingsproeven kon voor Krilium 6 een moleculairgewicht van ongeveer 20.000 worden afgeleid. De structuur van de betrokken verbinding in aanmerking nemende, kan hieruit voor het kluitjevormig molecuul een diameter van enkele tiende microns worden berekend, een afmeting die vergelijkbaar is met de grootte van kleideeltjes. Een statistisch kluitje in een oplossing is echter zeer ijl van bouw, zodat de dichtheid van een dergelijk „opgerold” molecuul onvergelykbaar veel kleiner is dan die van een kleideeltje. Hierdoor is het verklaarbaar, dat voor het bestendigen van een aggregatie kan worden volstaan met de reeds vermelde kleine hoeveelheden structuurregelaar.

Op grond van bovengenoemde eigenschappen kunnen we ons nu de binding van Krilium 9 aan klei als volgt voorstellen. Bij nadering van een Krilium-anion tot de in de elektrische dubbellaag van een kleideeltje aanwezige Ca⁺⁺, Cu⁺⁺, Fe⁺⁺⁺ en eventuele andere ionen wordt een onoplosbaar Krilium-zout gevormd. Daar de orde van grootte van het polyanion overeenstemt met die van de kleideeltjes, kunnen tegelijkertijd verschillende dergelijke deeltjes meewerken aan het neerslaan van één polyanion, zodat verschillende kleideeltjes a.h.w. door bruggen worden verbonden. Door de ijle bouw van het polyanion zijn vele contactpunten tussen de negatieve groepen van dit ion en de positieve ionen uit de dubbellaag van een kleideeltje mogelijk, waardoor een hechtere binding tot stand kan komen. Verder is het niet uitgesloten te achten, dat naast de hier geschetste wijze van binding ook de in het polymeer aanwezige carbonamide-groepen een rol spelen bij de hechting aan de kleibestanddelen.

In verband met het voorgaande zij ook nog gewezen op het o.a. door KUIPERS en BOEKEL waargenomen feit, dat het stabiliserend vermogen van Krilium geringer wordt, indien een overmaat aan calcium aanwezig is (6). De vrije Ca⁺⁺ ionen slaan dan het polyanion neer, alvorens dit gelegenheid heeft gehad om de aan klei gebonden kalk te bereiken.

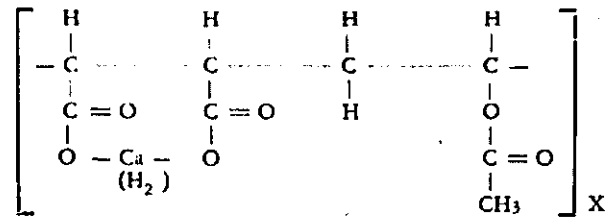
Hoewel de evenwichtinstelling van het adsorptieproces, die bepaald wordt door de diffusie- en oriëntatiesnelheid van de grote polymeer-moleculen, meer dan een maand kan duren, blijkt een groot deel van de adsorptie zich in enkele uren te voltrekken. De mate

²⁾ Voor een behandeling van de eigenschappen van polyelectrolyten zij verwezen naar desbetreffende artikelen van HERMANS (4).

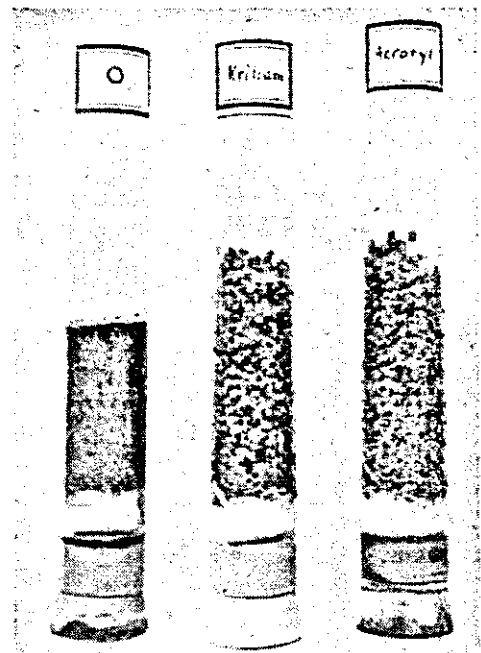
van adsorptie wordt echter behalve door de tijd ook beïnvloed door de concentratie aan vreemd electrolyt in de bodemoplossing. Door de vorming van een wolk van positieve ionen rondom een sterk negatief geladen polyanion worden de afstotende krachten tussen de polyanionen verminderd, waardoor deze elkaar minder hinderen bij de adsorptie aan de klei.

Tevens krijgen we — door de kluitjevorming — een afname van de hydrodynamische wisselwerking, die bij gestrekte moleculen zeer groot is. De extra bijdrage tot de viscositeit, het zgn. „electroviskeus effect”, dat veroorzaakt wordt door de „opgeblazen” toestand van het ketenmolecuul, wordt nl. onder invloed van een vreemd electrolyt teniet gedaan, hetgeen bv. fraai kan worden waargenomen bij toevoeging van groeiende hoeveelheden keukenzout aan een 0,5 %-ige oplossing van Krilium 9.

Het thans als „Merloam formulation” in de handel zijnde Krilium 6 bevat 75 % vulstof, die voor 1/3 uit zand (deeltjes groter dan 16 micron) en voor de rest o.a. uit een fijnere fractie bestaat. Het actieve bestanddeel is een gedeeltelijk calcium-zout van het copolymeer van maleïnezuur en vinylacetaat. Daar maleïnezuur geen homopolymeer vormt, kan het copolymeer hoogstens 50 % aan maleïnezuur-monomeren bevatten:



We veronderstellen, dat het bindingsmechanisme van Krilium 6 aan klei hetzelfde is als bij Krilium 9. Er worden nl. onoplosbare verbindingen gevormd met o.a. Al⁺⁺⁺, Ca⁺⁺ en Fe⁺⁺⁺ ionen. De oplosbaarheid van Krilium 6 wordt in de eerste plaats beperkt door de ingebouwde vinylacetaat-monomeren. Verder zijn de zure groepen zover met calcium verzadigd, dat het product nog juist oplosbaar is. Zodra het polyanion de in aanmerking komende ionen van de dubbellaag bereikt, zal het onoplosbaar worden. In overeenstemming hiermee verdwijnt de stabiliserende werking op



Afb. 3. Buisjes met leemhoudend zand, oorspronkelijk als aggregaten van 3,4—4,6 mm, na 6 min. percoleren met water. V.l.n.r.: O = niet behandeld met een structuurregelaar; Krilium = vermengd met 0,1 % Krilium 9; Aerofil = vermengd met 0,25 % Aerofil dry.

TABEL II. Invloed van 0,3 gew.% Krillium Merloam op het luchtgehalte (in vol.%)
Van 4 verschillende gronden.
(18 Nov. '52; onbegroeide Mitscherlich-potten; duplo-gemiddelden.)

grondsoort	onbehandeld	Krillium	verschil
leemhoudend zand (B.I., Gron.)	8,5	24,0 *)	+ 15,5 *)
slompige zavel (Leens)	6,5	12,0	+ 5,5
stugge zeeklei (Zuurdijk)	9,7	13,6	+ 3,9
kalkarme Dollard klei (Nieuwolda)	6,1	15,2	+ 9,1
middelbare fout	1,4	1,4	1,9

*) Het vochtgehalte is hier bij het Krillium-object 12 vol.% lager dan bij onbehandeld.

TABEL III. Invloed van 0,3 gew.% Krillium Merloam op de g.a.d. (mm) na 30 min. „nat” zeven
der fractie 4,6—8,0 mm bij 4 verschillende gronden.
(28 Oct. '52; met vlas begroeide Mitscherlich potten; duplo-gemiddelden.)

grondsoort	onbehandeld	Krillium	verschil
leemhoudend zand (B.I., Gron.)	1,6	3,7	+ 2,1
slompige zavel (Leens)	2,9	5,6	+ 2,7
stugge zeeklei (Zuurdijk)	4,4	5,3	+ 0,9
kalkarme Dollard klei (Nieuwolda)	4,2	5,5	+ 1,3
middelbare fout	0,2	0,2	0,2

de bodemaggregaten grotendeels, indien de Ca+H-door NH₄-ionen worden vervangen. Het is niet onmogelijk, dat men bovengenoemde beperking van de oplosbaarheid van Krillium 6 bij Krillium 9 bewust bewerkstelligd heeft door dit product slechts ten dele te verzeppen.

*

Enige resultaten van het onderzoek met structuurregelaars

Het zou ver buiten het bestek van dit artikel voeren, op deze plaats de vele proeven met structuurregelaars te refereren, die de laatste paar jaren in het buitenland zijn uitgevoerd.

Wat het onderzoek in ons land betreft zijn tot dusver slechts de resultaten van laboratoriumproeven gepubliceerd (6, 11). Deze zijn van dien aard, dat het uitvoeren van uitgebreide pot-, vak- en veldproeven volkomen gerechtvaardigd lijkt. Ter illustratie diene het volgende proefje.

Verschiede gronden werden in droge en fijnverdeelde toestand vermengd met 0,1 % Krillium 9 en tot kruimels met een diameter tussen 3,4 en 4,6 mm geaggregeerd, waarmee daarna percolatiebuisjes werden gevuld. In fig 2 is het doorlatend vermogen voor water na 5 minuten percoleren bij constant drukverval weergegeven. In alle gevallen blijkt het met Krillium behandelde monster aanzienlijk beter water door te laten, wat wijst op een grotere weerstand van de aggregaten tegen de destructieve krachten van water. Afb. 3 toont een drietal met een leemhoudend zand gevulde percolatiebuisjes na de proef. De aggregaten van de onbehandelde grond zijn uiteengevallen, waardoor de gehele grondkolom dichtgezaakt is, terwijl de structuur in de beide met een structuurregelaar behandelde monsters vrijwel onveranderd is gebleven. Eerst in Augustus 1952 beschikten we over een voldoende hoeveelheid structuurregelaar (Krillium Merloam) om een bescheiden potproef en een paar kleine veldproefjes te nemen. Hoewel het seizoen eigenlijk

al te ver gevorderd was, werd een potproef aangezet met vier verschillende grondsoorten. Bij elke grondsoort werden 4 potten gevuld met grond, die gemengd was met 0,3 % Krillium Merloam, en 4 potten met grond zonder structuurregelaar. Van elk viertal bleven twee potten onbegroeid, op de andere twee werd vlas gezaaid.

In de onbegroeide potten werd 18 November 1952 een bepaling van de grond:water:lucht-verhouding gedaan. Daarbij bleken er belangrijke verschillen in poriënvolume op te treden, die bij de zavelgrond, de Zuurdijkklei en de Dollardklei volledig in de verschillen in luchtvolume tot uiting kwamen. Bij het leemhoudende zand was dit laatste slechts ten dele het geval, omdat hier het vochtgehalte in de behandelde grond aanmerkelijk lager was. Uit tabel II, waarin de luchtvolumina zijn vermeld, volgt dat de toename van het luchtgehalte zeer aanzienlijk is. Alleen die voor de Zuurdijkklei is niet statistisch betrouwbaar.

Door de wortelmassa's was een bepaling van de grond:water:lucht-verhouding in de begroeide potten niet goed uitvoerbaar. Wel is bij deze potten een aggregaatanalyse toegepast, waarbij o.a. een door uitzeven van het luchtdroge monster verkregen fractie 4,6—8,0 mm gedurende 30 minuten onder water werd gezeefd (8). De verdeling van de afmetingen der aggregaten, die daarbij ontstaan, kan worden gekarakteriseerd door de zgn. „gemiddelde aggregaat-diameter” (g.a.d.), die in tabel III is weergegeven. Bij het beoordelen van de cijfers in deze tabel bedenke men, dat de uitgangstoestand van de g.a.d. 6,3 mm is en dat hoe lager de g.a.d. na het „nat” zeven is, hoe minder stabiel de betreffende aggregaten geweest zijn. We zien in alle gevallen een toenemen van de bestendigheid der aggregatie onder invloed van Krillium. De reactie van de Zuurdijkklei is ook hier weer het zwakst. Bij de onbegroeide potten werden soortgelijke resultaten gevonden.

Ter karakterisering van het gewas zijn de lengte en de opbrengst aan droge stof van het vlas bepaald. Door de veel te late inzaai hebben deze cijfers, die in

TABEL IV. Invloed van 0,3 gew.% Krillium Merloam bij 4 verschillende gronden op de opbrengst en lengte van vlas
(groeiperiode: Aug.—eind Oct. '52; Mitscherlich potten; duplo-gemiddelden.)

grondsoort	opbrengst aan droge stof (onbehandeld = 100)	lengte in cm		verschil
		onbeh.	Krillium	
leemhoudend zand (B.I., Gron.)	112	59,0	55,0	- 4,0
slompige zavel (Leens)	112	70,5	75,0	+ 4,5
stugge zeeklei (Zuurdijk)	97	53,0	53,0	0,0
kalkarme Dollard klei (Nieuwolda)	111	55,5	61,0	+ 5,5

TABEL V. Invloed van 0,3 gew.% Krillium Merloam op het luchtgehalte (vol.%) in de laag 3-8 cm — m.v. bij 3 gronden. (zand: 22 Dec. '52; zavel en klei: 27 Oct. '52; veldproeven; gemidd. van 4 plekken.)

grondsoort	onbehandeld	Krillium	verschil
leemhoudend zand (B.I., Gron.)	16,7	21,9	+ 5,2
slempige zavel (Leens)	9,3	18,5	+ 9,2
stugge zeeklei (Zuurdijk)	5,4	16,5	+ 11,1
middelbare fout	0,8	0,8	1,2

TABEL VI. Invloed van 0,3 gew.% Krillium Merloam op de g.a.d. (mm) na 30 min. „nat” zeven der fractie 4,6-8,0 mm uit de bouwvoor van 3 gronden. (zand: 22 Dec. '52; zavel en klei 27 Oct. '52; veldproeven; gemiddelden van het tussen () geplaatste aantal monsters.)

grondsoort	onbehandeld	Krillium	verschil
leemhoudend zand (B.I., Gron.)	3,4 (2)	5,2 (2)	+ 1,8
slempige zavel (Leens)	3,8 (2)	5,0 (3)	+ 1,2
stugge zeeklei (Zuurdijk)	4,6 (3)	5,2 (3)	+ 0,6
middelbare fout	0,2	0,2	0,3

tabel IV vermeld zijn, uiteraard alleen betekenis in relatieve zin. We zien, dat op de zavel en de Dollardklei de behandeling met Krillium een opbrengstverhoging van ruim 10 % en een sterkere lengtegroei veroorzaakt heeft. Het vlas stond op het leemhoudend zand zeer slecht, zodat de opbrengstbepaling hierbij onzeker is. Op de Zuurdijkklei werd geen opbrengstvermeerdering onder invloed van de structuurregelaar verkregen. Ook t.a.v. de structuur gedroeg deze grond zich, zoals we zagen, afwijkend. Wellicht was de periode van ongeveer drie maanden, dat de grond bij deze proef aan het klimaat buiten werd blootgesteld, te kort om de bij het vullen der potten mechanisch in een tamelijk goede actuele structuur gebrachte Zuurdijkklei weer in de slechte toestand te brengen, waarin ze normaliter verkeert.

Deze opvatting, dat het uitblijven van een duidelijke reactie van de Zuurdijkklei geweten moet worden aan de bijzondere omstandigheden van de potproef, wordt bevestigd door de resultaten van een veldproefje, waarbij deze grond wel reageerde. Op een drietal van de bij de potproef gebruikte gronden werd nl. in de zomer van 1952 een klein oppervlak met 0,3 gew. % Krillium Merloam behandeld, door deze structuurregelaar na uitstrooien op de enigszins ingedroogde grond door middel van spitten en inharken met de bovenste 15 cm te vermengen. De ingezaaide stoppelknollen mislukten helaas, zodat er vanwege het vergevorderde seizoen geen waarnemingen over de reactie van het gewas konden worden gedaan. Die van de bodem werd wel bepaald. De resultaten daarvan t.a.v. de in de tabellen II en III voor de potproef vermelde grootheden zijn in de tabellen V en VI weergegeven. Ze laten zien, dat de reactie in het veld van dezelfde aard is als die bij de potproef; alleen kan nu ook bij de Zuurdijkgrond een duidelijke toename van het luchtgehalte geconstateerd worden, dit in tegenstelling tot de potproef.

Ook visueel waren de verschillen tussen de wel en de niet met Krillium behandelde objecten zeer groot. Terwijl de onbehandelde grond kletsnat was, maakte de behandelde nog een rulle, vochtige indruk. Behalve bij het leemhoudend zand in de potproef bestond er echter tussen beide objecten geen verschil in vochtgehalte.

Door verschillende omstandigheden was het in 1953 niet mogelijk, op de proefplekjes een verantwoorde opbrengstbepaling te verrichten. Enkele waarnemingen van de eigenaars der percelen wijzen echter op een duidelijke reactie van het gewas. Op de slempige zavelgrond bv. werd in de herfst van 1952 wintertarwe gezaaid. In het volgende voorjaar stond dit gewas over het algemeen zo slecht, dat het ondergeploegd en een ander ingezaaid moest worden. Op het proefplekje was de stand van de wintertarwe echter zoveel beter, dat de boer niet aan ombouwen gedacht zou hebben als het gehele perceel zo was geweest. Ook op het proefplekje bij Zuurdijk werd een extra zware stand van de tarwe waargenomen.

Van de in 1953 genomen potten-, vak- en veldproeven kunnen uiteraard nog maar enkele voorlopige resultaten vermeld worden. De afbeeldingen 4 en 5 illustreren de reactie van een kleigrond op Krillium 6 bij een vakkenproef met suikerbieten: de behandelde grond is kruimelig aan het oppervlak, de onbehandelde is dichtgeslagen. In het begin was ook aan het gewas het verschil in behandeling duidelijk te herkennen; later werden de verschillen in het loof veel geringer. De resultaten t.a.v. biet- en suikeropbrengst zullen echter nog moeten worden afgewacht, alvorens een definitief oordeel geveld kan worden.

Over de opbrengst aan zomergerst, die op het dit jaar op de proefboerderij „Tammingaheerd” te Hornhuizen aangelegde structuurregelaarsproefveld werd verbouwd, kunnen wel reeds een paar voorlopige cijfers worden gegeven. De opbrengstverhogingen, verkregen door een behandeling van de grond met enkele structuurregelaars, bedragen in procenten van het gemiddelde der 10 onbehandelde veldjes bij gebruik van:

Krillium Merloam	14,8 (± 2,7; gem. v. 8 veldjes),
Aerotil (dry form)	4,8 (± 2,2; gem. v. 8 „) en
Aerotil (wett.fl.)	7,6 (± 3,7; gem. v. 6 „).

Tenslotte kan nog een praktijkproefje op een slempige zavelgrond in Mensingeweer vermeld worden, waarbij de landbouwer beschikte over een 5 lbs-bus Krillium Merloam. Dit werd op 50 m² ingezaaid bietenland uitgestrooid en zeer oppervlakkig ingeharkt. Aanvankelijk was geen resultaat zichtbaar, doch gedurende de natte zomer verkregen de suikerbieten op het behandelde deel een duidelijke voorsprong op die, welke op de rest van het perceel stonden. In de opbrengst kwam dit echter niet tot uiting.

*

Perspectieven voor het gebruik van structuurregelaars in Nederland

Hoewel het onderzoek naar de landbouwkundige betekenis van de moderne synthetische structuurregelaars nog in de kinderschoenen staat, is het effect van sommige producten op de bestendigheid der structuur van verschillende slibhoudende gronden zeer spectaculair, zoals door bovengenoemde cijfers en waarnemingen wordt geïllustreerd. Tevens blijkt uit de vermelde resultaten, dat deze structuurverbeteringen gepaard kunnen gaan met belangrijke verbeteringen van de gewasgroei.

Bij de tot nu toe onderzochte stabiele humus-producten (X₂ en Actumus) kon nog geen opvallende op de structuur betrekking hebbende reactie van bodem en gewas worden geconstateerd.

De thans in de handel zijnde synthetische structuurregelaars zijn alleen bruikbaar op slibhoudende gronden. Nu zijn er in ons land rond 460.000 ha bouw- en tuinland op klei- en zavelgronden. Ofschoon onze kennis,

enerzijds over de omvang der structuurgebreken op deze gronden en anderzijds over de mogelijkheden om deze gebreken door middel van structuurregelaars te elimineren, nog te enen male onvoldoende is om een kwantitatieve uitspraak te doen, kan zeker worden aangenomen, dat op een belangrijk deel van genoemd oppervlak *theoretisch* bezien het gebruik van goede synthetische structuurregelaars perspectieven biedt. *Praktisch* bezien is dit echter nog niet het geval, daar een dergelijk gebruik bij het huidige prijspeil der structuurregelaars over het algemeen economisch niet verantwoord is.

De laatste jaren waren op de akkerbouwbedrijven op onze klei- en zavelgronden de gemiddelde productiekosten ongeveer f 950 per ha; de bruto opbrengst was ongeveer f 1300 per ha. Nu is het mogelijk, dat na het gebruik van een structuurregelaar de opbrengst stijgt of de kosten dalen (door de mogelijkheid van een rationelere arbeidsverdeling als gevolg van een verlenging van de periode waarin het land te bewerken is, door vermindering van de benodigde trekkracht e.d.) of dat beide factoren een rol spelen. Stellen we dit nuttig effect, alleen om een idee te geven van wat een structuurregelaar voor landbouwkundige toepassing in het groot ongeveer mag kosten, op f 150 per ha per jaar, dan zijn we vermoedelijk al aan de hoge kant, omdat wisselende klimaatsomstandigheden de invloed van de structuur op het gewas sterk doen variëren van jaar tot jaar.

Zeer belangrijk voor de economie van het gebruik van een structuurregelaar is zijn *werkingsduur*. Uiteraard heeft men hierover nog niet voldoende ervaring kunnen opdoen. Het schijnt echter, dat bv. een Krilium-behandeling in elk geval 5 jaar effectief blijft. Bij laboratorium-proeven met radioactieve koolstof bevattend Krilium bleek verder, dat de resistentie tegen uitspoeling zeer groot is (slechts ruim 1 % wordt door grote hoeveelheden water uitgewassen), terwijl eveneens uit laboratoriumproeven is gebleken, dat de *microbiologische aantasting* zeer klein is. Laten we daarom, ter bepaling van de gedachten, de *werkingsduur* op 10 jaar stellen. Dan zou een behandeling van de bouwvoor met structuurregelaar ruwweg f 1500 per ha mogen kosten. Zoals we zagen is 1 à 2 ton actief materiaal per ha en per 15 cm bouwvoor nodig, zodat er bij een prijs in de orde van f 1 per kg actieve structuurregelaar waarschijnlijk goede perspectieven voor een toepassing in het groot zouden zijn.

Voor de op het ogenblik in ons land verkrijgbare synthetische structuurregelaars lopen de (voorlopige) prijzen uiteen van f 5 tot f 65 per kg actieve stof. Hiermede gepaard gaan grote verschillen in levensduur en vermoedelijk ook in effect. In elk geval is aan landbouwkundige toepassing op grote schaal nu nog niet te denken.

Toch zijn er op het ogenblik al wel een aantal gevallen, waarin een structuurregelaar soms praktisch kan worden toegepast, zoals wanneer slechts éénmalig

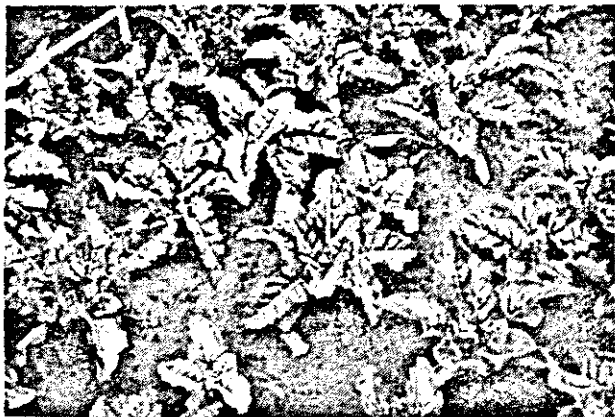
een zeer oppervlakkige behandeling nodig is (bv. bescherming van een wegberm of slootwal tegen erosie, totdat zich een grasmat heeft gevormd) of bij bepaalde intensieve teelten in de tuinbouw (maken van pot- of kasgronden).

Tenslotte moet nog even op het perspectief van de structuurregelaars t.a.v. het onderzoek van de bodemstructuur gewezen worden. Voorheen was het niet mogelijk, de structuur en in het bijzonder de bestendigheid daarvan te veranderen zonder tegelijkertijd andere vruchtbaarheidsfactoren te wijzigen, m.a.w. het was niet mogelijk, een structuurproefveld in de geest van bv. een stikstoftrappenproefveld aan te leggen. Men was daarom aangewezen op een bewerkelijk en duur plekkenonderzoek. Het gebruik van een structuurregelaar biedt nu in principe de mogelijkheid, het *ceteris-paribus-principe* ook in het landbouwkundig structuuronderzoek op slibhoudende gronden toe te passen, waardoor men dan sneller en goedkoper iets te weten zou komen over de betekenis van de bodemstructuur als vruchtbaarheidsfactor.

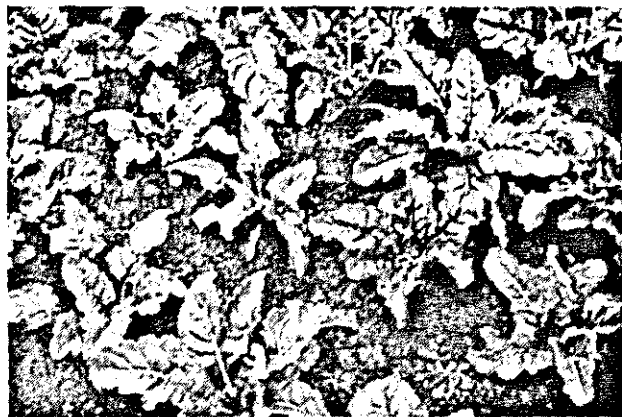
Het onderzoek betreffende de bodemstructuur zal zich daardoor in de toekomst kunnen gaan ontwikkelen in een richting parallel aan die, welke het bemestingsonderzoek is gegaan. Er zullen echter nog zeer vele jaren verlopen voor we t.a.v. de bodemstructuur een adviesbasis bezitten, welke vergelijkbaar is met die voor de bemesting van thans.

Literatuur

1. BRUIN, P.: Voorziening van de Nederlandse grond met organische stof en onderzoek betreffende de wijze, waarop deze verbeterd kan worden. Landb. Tijdschr. 62 (1950), 611-619.
2. FERRARI, Th. J.: Stikstofbemesting en bodemfactoren. Landb. Tijdschr. 61 (1949), 111-120.
3. HARMSEN, G. W.: Die Bedeutung der Bodenoberfläche für die Humusbildung. Plant and Soil 3 (1951), 110-140.
4. HERMANS, J. J.: Polyelectrolyten. Plastica 5 (1952), 332-356, 390-393.
5. HUDIG, J. en SIEWERTSZ VAN REESEMA, N. H.: Het probleem van de stabiliteit der humusstoffen. Landb. Tijdschr. 52 (1940), 371-398, 529-634, 882-896.
6. KUIPERS, H. en BOEKEL, P.: Resultaten van een laboratoriumonderzoek naar de werking van Krilium. Landb. Tijdschr. 64 (1952), 731-734.
7. LAATSCH, W.: Untersuchungen über Bildung und Anreicherung von Humusstoffen. Beitr. z. Agrarwissensch. III (1948).
8. PEERLKAMP, P. K.: Het onderzoek van de bodemstructuur. T.N.O.-Nieuws 2 (1947), 56-60.
9. PEERLKAMP, P. K.: The influence on soil structure of the "natural organic manuring" by roots and stubbles of crops. Trans. 4th Int. Congr. Soil Sci. 1950, I, 50-54.
10. PEERLKAMP, P. K.: De invloed van organische stof op bodemstructuur en winderosie. Landb. Tijdschr. 62 (1950), 594-610.
11. POWER, A.: Laboratoriumproeven met Krilium. Med. Dir. Tuinb. 16 (1953), 360-362.
12. RANEY, W. A.: Soil aggregate stabilisers. Soil Sci. Proc. 17 (1953), 76-77.
13. SIDERI, D. I.: The formation of structure in soil. V and VI. Soil Sci. 46 (1938), 267-271, 337-349.
14. SWANSON, C. L. W.: A new concept. Using chemicals for soil structure improvement. J. Soil and Water Cons. Apr. 1952, 61-67.



Afb. 4. Vakkenproef met structuurregelaars VPr 210. Grondsoort: klei. Object: zonder structuurregelaar. Datum: 23 Juni '52.



Afb. 5. Zelfde proef als op afb. 4. Object: 0,3 gew. % Krilium. Datum: 23 Juni '52.