

# SAMENSTELLING EN EIGENSCHAPPEN VAN ORGANISCHE STOF IN DE GROND

Drs. H. VAN DIJK

*Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Groningen*

## 1. INLEIDING

Het onderzoek van de organische stof in de grond vertoont een grote achterstand vergeleken met dat van de meeste overige bodembestanddelen. De bepaling van de granulaire samenstelling bij voorbeeld, behoort sinds lang tot het routineonderzoek van grondmonsters. Ten aanzien van de organische stof wordt daarentegen nog steeds volstaan met slechts het percentage hiervan in de grond te bepalen, alhoewel de praktijk zeer goed weet dat b.v. de organische stof in een jonge veenkoloniale grond niet gelijk is aan die in een oude esgrond.

Historisch kan men deze achterstand van het humusonderzoek voor een deel verklaren uit de verminderde belangstelling hiervoor ten gevolge van het ingang vinden van de theorie van VON LIEBIG over de plantenvoeding door minerale stoffen. Voordien dacht men dat de plantenvoeding alleen via de humus plaatsvond. De voornaamste oorzaak van de achterstand ligt echter in het materiaal zelf. De organische stof in de grond bestaat uit een uitermate ingewikkeld complex van verbindingen, die enerzijds voortdurend opnieuw worden opgebouwd en anderzijds aan ontleding onderhevig zijn. De bepaling van de samenstelling van de organische stof is dus geen eenvoudige zaak. Dit is echter nog maar de eerste stap in het humusonderzoek. Het gaat er immers uiteindelijk om de organische stof te kunnen waarderen als bodemvruchtbaarheidsfactor. Deze kwalitatieve waardering nu is een tweede moeilijke opgave, omdat het complex van organische verbindingen en hun ontledings- en opbouwprocessen van invloed zijn op sterk uiteenlopende bodemvruchtbaarheidsfactoren. Verderop wordt dit nader besproken.

## 2. HUMIFICATIE

In grote lijnen wordt de samenstelling en de humificatie van de organische stof in fig. 1 weergegeven.

Het in de loop van een jaar afstervend organisch materiaal, dat in de grond tot vertering komt, is voornamelijk afkomstig van planten, in geringere mate van micro-organismen en voor een klein deel van bodemdiertjes. Deze organische massa bestaat grotendeels uit koolhydraten (hemicellulosen en cellulose), eiwitten en lignine (het laatste ontbreekt bij dierlijk en microbiëel materiaal). Daarnaast zijn dikwijls kleine hoeveelheden harsen, wassen en vetten aanwezig. Allerlei insecten, wormen e.d., maar vooral micro-organismen (o.a. bacteriën, schimmels en actinomyceten) voeden zich met deze verbindingen. Daarbij worden deze via verschillende tussenproducten b.v. aminozuren, afgebroken tot eenvoudiger verbindingen als  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  en water.

Bovengenoemde stoffen worden niet alle even gemakkelijk afgebroken. Lignine b.v. wordt veel minder snel aangetast dan de koolhydraten. Er vindt dus tijdens de vertering van planteresten een relatieve toename van lignine plaats.

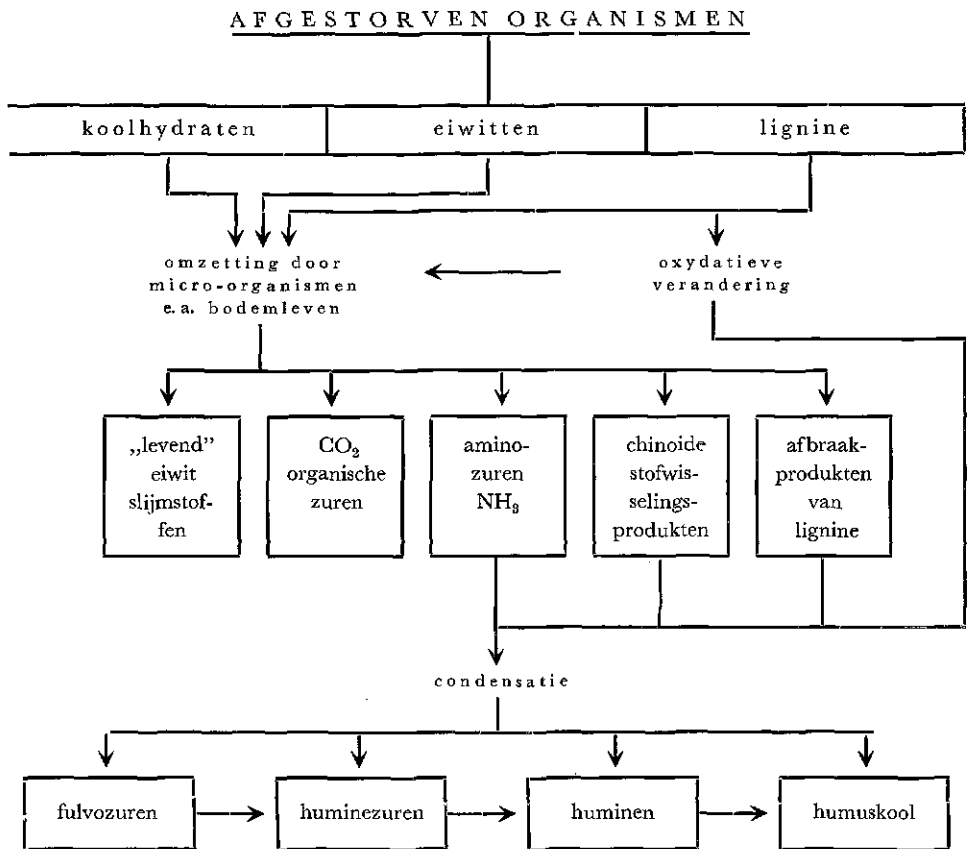


Fig. 1. Humificatie van stoffen die van afgestorven organismen afkomstig zijn

Voor een deel worden de afbraakproducten ook weer opgenomen en vastgelegd in het lichaam van levende organismen, vnl. in de vorm van eiwit. Door sommige bodemorganismen worden slijmstoffen afgescheiden waarin dikwijls koolhydraten, nl. polyuroniden voorkomen. Op de betekenis hiervan komen we later nog terug.

Ook onder gunstige omstandigheden gaat de afbraak niet door tot alle organische stoffen volledig in de eenvoudigste verbindingen, zoals koolzuur, ammoniak, water e.d. zijn omgezet. Er ontstaan daarnaast ook kleine hoeveelheden van verbindingen, die moeilijk of zelfs in het geheel niet worden aangetast. Dit zijn in het algemeen aromatische verbindingen, gedeeltelijk met een hoog moleculairgewicht, zoals de huminezuren. Ze ontstaan o.a. door condensatie van omzettings- en afbraakproducten van lignine en bepaalde stofwisselingsproducten van micro-organismen; ook stikstofverbindingen zoals  $\text{NH}_3$ , aminozuren e.d. worden hierbij ingebouwd.

Op basis van hun oplosbaarheid in alkalisch en zuur milieu worden deze bij de humificatie gevormde, amorf, donker gekleurde, organische stoffen wel in vier groepen ingedeeld nl.:

- a. de *fulvozuren*; een zeer ingewikkeld mengsel van allerlei verbindingen met een laag moleculairgewicht, die met koude verdunde loog uit de grond te extraheren zijn en bij aanzuren van deze extracten niet neerslaan, doch in oplossing blijven. Van deze fractie is nog maar betrekkelijk weinig bekend. Door verdere condensatie kunnen uit sommige verbindingen van de fulvozuurgroep huminezuren ontstaan.
- b. de *huminezuren*; verbindingen met een hoger moleculairgewicht die uit de loog-extracten bij aanzuren neerslaan (uitvlokken). Deze zuren worden beschouwd als de meest karakteristieke groep van verbindingen in de verteerde organische stof. Het meeste onderzoek is dan ook hieraan verricht. In droge toestand zijn het amorfe, sterk hygroscopische, zwartbruine, op de breukvlakken metaalachtig glanzende stoffen. Ze zijn in droge toestand vrijwel onoplosbaar in water, evenals hun zouten (humaten). Een uitzondering hierop vormen de alkali- en ammoniumhumaten die, afhankelijk van de bereiding, beter oplosbaar zijn. De huminezuren lossen in het algemeen gemakkelijk in alkalisch reagerende oplosmiddelen op. Het zijn zwakke zuren met een, in vergelijking met kleimineralen, hoge uitwisselingscapaciteit voor kationen en een groot bufferend vermogen. Ze bevatten ten minste twee soorten zure functies. De sterker zure eigenschappen zijn waarschijnlijk toe te schrijven aan de carboxyl-, de zwakkere aan de fenolische OH-groepen. De huminezuren binden selectief meerwaardige kationen tot ze ten slotte uitvlokken.
- Van de structuur van huminezuren is nog maar weinig bekend. Wel staat vast dat er in het grote molecuul chinoïde en heterocyclische (indool-) ringsystemen voorkomen. Uit polyfenolische verbindingen kan men in ammoniakaal of alkalisch milieu door oxydatie b.v. met zuurstof uit de lucht, synthetische verbindingen krijgen die een hoge mate van overeenkomst bezitten met huminezuren uit de grond.
- c. en d. De *huminen* en de *humuskool*. De eerstgenoemde verbindingen zijn nog met behulp van hete loog op te lossen, terwijl humuskool helemaal niet meer hierin oplost. Men vermoedt dat huminen en humuskool door verdere condensatie en verlies van carboxylgroepen (inkoling) uit huminezuren ontstaan. Uit landbouwkundig oogpunt worden deze fracties als vrijwel waardeloos beschouwd.

### 3. ANALYSEMETHODEN

Het staat wel vast dat de humificatie niet steeds gelijk en met dezelfde intensiteit verloopt. De humusvormen kunnen daardoor sterk verschillen. Allerlei factoren zijn hierop van invloed, zoals het klimaat (temperatuur, vochtigheid), samenstelling van de bodemflora en -fauna, samenstelling van het afgestorven organisch materiaal, doorluchting (aëratie) van de grond, grondsoort, zuurgraad van de grond, aanwezigheid van minerale voedingsstoffen, enz. Het is bekend dat onder gunstige omstandigheden in de tropen takken en zelfs boomstammen in enkele jaren vrijwel geheel verdwijnen, terwijl onder ongunstige omstandigheden, zoals lagere temperatuur, anaërobie door hoge grondwaterstand e.d., de afbraak nagenoeg geheel kan stagneren en veenvorming kan optreden. De invloed van de omstandigheden blijkt ook uit de onderscheiding in verschillende humusvormen zoals mull, moder en ruwe humus, die men op grond van morfologische kenmerken maakt.

We moeten dus over methoden beschikken om dergelijke verschillen in organische-stoftoestand vast te stellen. In de vorige paragraaf werd reeds de fractionering met be-

hulp van loog en zuur genoemd. Ook wordt wel een indeling gemaakt op grond van een verschillend soortelijk gewicht. Deze indeling hangt samen met het al of niet gebonden zijn aan slibdeeltjes e.d.

Een andere analyse van de organische stof in de grond wordt als volgt uitgevoerd. Eerst worden harsen, wassen en in water oplosbare stoffen bepaald door extractie met resp. ether, alcohol (of ook wel alcohol-benzeen 1 : 1) en water. Daarna worden de min of meer gemakkelijk aantastbare verbindingen als hemicellulosen en cellulose bepaald door gefractioneerde hydrolyse. Ook wordt wel acetolyse toegepast, o.a. met acetylbromide, waarmee behalve de koolhydraten ook de lignine wordt verwijderd. De overblijvende organische stof noemt men dan wel *echte* of *stabiele* humus. Dit analyse-schema heeft een zekere waarde voor het karakteriseren van b.v. veen en stalmest, maar biedt weinig perspectief voor het organische-stofonderzoek bij normale cultuurgronden. Daar blijken deze analyses te ruw te zijn om de verschillen in organische stof binnen één bodemtype en zelfs dikwijls tussen verschillende bodemtypen betrouwbaar aan te tonen.

Een van de meest gevoelige methoden ter karakterisering van de organische stof is de bepaling van de CO<sub>2</sub>-ontwikkeling en de stikstofmineralisatie. Dit is een maat voor de microbiologische aantastbaarheid van de organische stof. Een voordeel van de bepaling van deze grootheden is ook dat deze direct te interpreteren zijn als bodemvruchtbaarheidsfactoren. Deze bepaling wordt daarom al veel uitgevoerd. Voor de kenschetsing van de meer stabiele organische stof kan men dan b.v. het gehalte aan huminezuren bepalen, terwijl het ook zin kan hebben de uitwisselingscapaciteit van de organische stof als geheel te bepalen. Reeds werd aangetoond dat het verband tussen de uitwisselingscapaciteit en het humusgehalte bij verschillende typen zand- en dalgrond niet gelijk is.

Een van de eenvoudigste bepalingen, waarmee men dikwijls reeds karakteristieke verschillen kan aantonen, is de bepaling van de *koolstof-stikstof-verhouding* in de organische stof. In goede gronden, waar het verteringsproces onder gunstige omstandigheden verloopt, tendeert de C/N-verhouding in de organische stof steeds naar een waarde van 8 tot 12. Van de pas afgestorven planteresten, die een veel hogere C/N-verhouding hebben, verdwijnt dus relatief veel meer C dan N. Dit wordt veroorzaakt doordat de bij de afbraak van eiwitten vrijkomende ammoniak voor een deel weer wordt ingebouwd in het min of meer stabiele organische residu en voor een ander deel wordt vastgelegd in de vorm van „levend” eiwit, dat als alle eiwit een zeer laag C/N-quotiënt heeft.

Het organische-stofonderzoek is nog niet in het stadium van beproefde routinebepalingen gekomen. Hieraan wordt op verschillende plaatsen in de wereld echter wel doelbewust gewerkt.

#### 4. VOORBEELD VAN EEN VERGELIJKEND ONDERZOEK NAAR DE ORGANISCHE STOF BIJ ENKELE BODEMTYPEN

In samenwerking met de Stichting voor Bodemkartering is een vergelijkend onderzoek ingesteld naar de organische-stoftoestand bij meermolmgronden uit droogmakerijen in Noord-Holland (groep A in tabel 1), humeuze bovengronden van het type Woubrugge en het bovenland van Alphen a/d Rijn (groep B) en Westfriese humeuze klei- en zavelgronden, zg. „Woudgronden” (groep C). Enkele resultaten zijn in tabel 1 weergegeven. Het aantal bepalingen is nog niet voldoende om een kwan-

TABEL I. Resultaten van een vergelijkend onderzoek naar de organische-stoftoestand van drie soorten gronden

Groep	Bemonsterde laag in cm	% organische stof	% N <sub>t</sub>	C/N	% van C-totaal gemineraliseerd in 30 d.	% van N <sub>t</sub> gemineraliseerd in 42 d.	% huminezuren in organische stof
1	2	3	4	5	6	7	8
A <sup>1</sup>	10—20 à 30	26	1,1	13	1,0	1,2	5
	20 à 25—30 à 35	35	1,4	15		0,9	4
B <sup>2</sup>	10—20	16	0,9	11	1,5	1,2	11
	20—30 à 40	14	0,7	11		1,0	10
C <sup>3</sup>	5 à 10—20 à 30	8	0,5	10	1,8	1,4	16
	20 à 30—35 à 50	6	0,4	7		0,9	19

<sup>1</sup> A = meermolmgronden

<sup>2</sup> B = humeuze bovengronden van het type Woubrugge en bovenland van Alphen aan de Rijn

<sup>3</sup> C = „Woudgronden”

titatieve uitspraak te doen. De gegeven gemiddelden zijn dan ook nog niet geheel definitief. Enkele algemene trekken komen echter toch reeds duidelijk naar voren.

In de eerste plaats ziet men dat, naarmate het organische-stofgehalte lager is, ook het C/N-quotiënt afneemt. Nu is het bekend dat bij een pas in cultuur gebrachte grond waar vers organisch materiaal met een hoger C/N-quotiënt wordt ondergeploegd, in de loop der tijd dit quotiënt met het organische-stofgehalte daalt. Hetzelfde kan men verwachten bij het onderploegen van stro, dat een zeer hoge C/N-verhouding heeft. In deze gevallen betekent dus een betrekkelijk hoog C/N-quotiënt dat er nog vrij veel verteerbaar organisch materiaal aanwezig is. Het is echter een misvatting, die men vooral in buitenlandse literatuur tegenkomt, dat dit een algemeen geldende stelregel is, die ook opgaat als men verschillende bodemtypen vergelijkt. Men moet het hier integendeel juist omgekeerd stellen: bij gronden, die reeds lang als cultuurgrond worden gebruikt en die toch nog een betrekkelijk hoog C/N-quotiënt hebben, is in het algemeen de organische stof moeilijker aantastbaar. Een hogere C/N-verhouding gaat dan ook vaak samen met een hoger humusgehalte. Dit blijkt ook duidelijk uit het percentage van de organische stof dat bij de typen A, B en C in 30 dagen onder gelijke optimale omstandigheden door micro-organismen tot CO<sub>2</sub> afgebroken wordt en in mindere mate uit het percentage van de organisch gebonden stikstof dat in 6 weken wordt gemineraliseerd (kolom 6 en 7 uit de tabel). Hetzelfde werd gevonden bij andere onderzoeken b.v. bij de Overijsselse essen. De zwarte essen, ontstaan door eeuwenlange bemesting met plaggenmest, hebben gemiddeld een iets hoger humusgehalte en C/N-quotiënt dan de bruine essen waarin vermoedelijk in plaats van heideplaggen graszoden zijn verwerkt. Ook hier bleek nu dat in dezelfde tijd bij de bruine essen per gram organische stof meer CO<sub>2</sub> door microbiologische afbraak wordt ontwikkeld dan bij de zwarte essen.

Het onderlinge verschil in humusgehalte en C/N-verhouding neemt bij de types A, B en C dus, als gevolg van een verschillende verteringssnelheid, eerder toe dan af.

In kolom 8 van de tabel is het percentage huminezuren in de organische stof weergegeven. Dit blijkt duidelijk toe te nemen bij afnemend organische-stofgehalte. Dit wijst er eveneens op dat de organische stof bij het type C reeds verder is verteerd (omdat het

beter verteerbaar was) dan bij het type B en bij deze weer verder dan bij het type A. Alhoewel de uitwisselingscapaciteit per gram organische stof niet bepaald is, zal deze waarschijnlijk daardoor ook in de volgorde A-B-C toenemen.

## 5. BETEKENIS VAN DE ORGANISCHE STOF

Zoals in de inleiding reeds is opgemerkt is het geen eenvoudige opgave de organische stof kwalitatief te waarderen, aangezien deze van invloed is op diverse bodemeigenschappen. De volgende effecten kunnen worden genoemd:

a. De *mineralisatie* van plantenvoedende stoffen. Deze kwam reeds ter sprake. Hierbij moet allereerst worden gedacht aan stikstof, en in mindere mate ook aan fosfaat. Recente onderzoekingen leverden aanwijzingen dat ook  $\text{CO}_2$  of liever  $\text{HCO}_3^-$  door plantewortels kan worden opgenomen.

b. De *mobilisatie van voedingsstoffen*. Het is bekend dat voedingsstoffen als  $\text{CaCO}_3$  en  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  door koolzuur en organische zuren in een beter oplosbare vorm worden gebracht, waardoor ze beter opneembaar worden voor de planten. Bepaalde bestanddelen van de organische stof kunnen echter ook een ongunstige mobiliserende werking hebben. Bij recente onderzoekingen is gebleken dat zeer veel organische stoffen, vnl. allerlei zuren en looistoffen, afkomstig van plantaardig materiaal, de grond in sterke mate kunnen uitloggen, waardoor niet alleen de kationen, maar zelfs de kleideeltjes naar de ondergrond kunnen verdwijnen. Dank zij de werkzaamheid der micro-organismen worden de meeste van deze stoffen snel afgebroken voor ze hun destructieve invloed kunnen uitoefenen. Sommige van deze verbindingen, zoals looistoffen zijn echter moeilijk aantastbaar. Onder gunstige omstandigheden kunnen ook huminezuren mobiel worden en door een soort schutcolloidwerking op hun beurt kleimineralen, aluminium- en ijzerhydroxide e.d. in beweging brengen.

c. De *ionenuitwisseling en het bufferend vermogen* van de organische stof. Deze zijn in het bijzonder van belang voor zandgronden die zonder organische stof slechts een zeer lage uitwisselingscapaciteit bezitten. Zoals reeds werd opgemerkt hebben speciaal de huminezuren een grote uitwisselingscapaciteit voor kationen.

De aanwezigheid van organische stof is een levensvoorwaarde voor de bodemorganismen, die allerlei voedingsstoffen, vooral stikstof, maar ook fosfaat, zwavel e.d., tijdelijk kunnen vastleggen in hun lichaamssubstantie en daardoor als een soort biologische buffer kunnen werken.

Er zijn aanwijzingen dat huminezuren en ook andere organische verbindingen in de grond in staat zijn tot *chelate binding* van metaalionen (dit is een bepaalde vorm van complexe binding) en dat ze zo bij de opname en het transport van sporenelementen een rol spelen.

d. De *structuur* van de grond. Door sommigen wordt ook in dit opzicht aan huminezuren een belangrijke rol toegekend. De huminezuren bestaan in opgeloste toestand uit zeer kleine, min of meer bolvormige deeltjes. Bij het uitvlokken verenigen ze zich tot trosvormige aggregaatjes die, gehecht aan het kleioppervlak, een zekere kittende werking kunnen uitoefenen. Kleiballetjes, die met een humaatoplossing waren behandeld, vielen minder gemakkelijk in water uiteen. Het bleek echter dat de ligging van de consistentiegrenzen van zware klei ten opzichte van de veldcapaciteit door een dergelijke behandeling

praktisch weinig veranderde en dit bleek juist voor de structuurverbetering van kleigronden een belangrijk criterium te zijn. Nader onderzoek zal dan ook moeten uitmaken in hoeverre de bewering dat huminezuren een goede structuur veroorzaken, juist is.

Anders staat het met de werking van bepaalde polysacchariden en polyuroniden die, zoals eerder vermeld, o.a. in de slijmachtige afscheidingsprodukten van verschillende micro-organismen voorkomen. De gunstige invloed, die deze verbindingen op de bodemstructuur kunnen uitoefenen, is duidelijk komen vast te staan. De werking is echter slechts tijdelijk, daar deze stoffen ook betrekkelijk snel weer worden afgebroken, vooral door actinomyceten. De gunstige werking van deze produkten is te danken aan het feit dat het lineaire polymeren zijn, d.w.z. dat zij een ketenstructuur hebben, in tegenstelling tot de huminezuren. Dergelijke polymere verbindingen, die in oplossing als zeer ijle kluwens aanwezig zijn, kunnen zich hechten aan kleideeltjes en daarbij een soort ijle vlechtwerk vormen, waardoor de kleideeltjes bijeengehouden worden. Structuurregelaars als krilium e.d. werken volgens hetzelfde principe, maar zijn microbiologisch veel resistenter.

e. De organische stof is van betekenis voor de *waterhuishouding* van de grond. Het is bekend dat een hoger humusgehalte in het algemeen ook een hoger vochtbindend vermogen betekent. Belangrijk is de vraag, in hoeverre dit ook gepaard gaat met een verhoging van de hoeveelheid voor de plant beschikbaar vocht. Hiernaar werd een uitvoerig onderzoek ingesteld bij zandgronden uit de Gelderse vallei, Brabant en Noord Limburg. Daarbij is gebleken dat de invloed van het humusgehalte enigszins varieert voor verschillende gebieden. Gemiddeld bleek bij een stijging van het humusgehalte met 1% de hoeveelheid voor de plant beschikbaar vocht toe te nemen met 1,5 à 2,0 volumepercenten, dit is dus 1,5 à 2,0 mm per laag van 10 cm.

Een ander aspect van de invloed van de organische stof op de waterhuishouding is het verschijnsel van de *irreversibele indroging* van veengronden. Hierover werd in de laatste jaren een uitvoerig onderzoek verricht, waarbij gebleken is dat fysisch-chemisch gezien alle onderzochte veengronden moeilijk omkeerbaar kunnen indrogen, maar dat de indroging nooit volledig irreversibel is, daar ook de sterkst ingedroogde gronden nog weer een zekere hoeveelheid water kunnen opnemen. Dit vochtbindend vermogen bleek bovendien door langdurig contact met water weer toe te nemen. Schadelijke indroging kan reeds optreden bij gronden met een organische-stofgehalte van 12 à 15% en wordt vrijwel steeds veroorzaakt door een te diepe ontwatering in de zomer (50 cm of meer beneden het maaiveld).

Het verschijnsel kan nader worden omschreven als een bij indroging optredende, uiterst moeilijk omkeerbare krimp van de humussubstantie. Daarbij ontstaan vermoedelijk secundaire bindingen tussen de humusdeeltjes, die het weer zwellen sterk bemoeilijken.

f. Ten slotte moet worden vermeld dat de organische stof verbindingen kan bevatten die een *groeistofwerking* hebben of althans een *stimulerende invloed* uitoefenen op verschillende processen zoals ionenopneming door de wortels, de fermentactiviteit in de plant e.d. Dit betreft niet alleen sommige excretieprodukten van de microflora zoals bepaalde vitaminen en hormonen, maar ook huminezuren kunnen een gunstig effect hebben. Zo bleek een humaatoplossing in bepaalde concentraties de wortelgroei te stimuleren, terwijl ook de ionenopneming door deze verbindingen versterkt kan worden. (Toediening van humaat verhoogt de kationenuitwisselingscapaciteit van wortels.)

Daarnaast zijn er verschillende in de grond voorkomende, organische stoffen die wortelgroei en -functie nadelig beïnvloeden.

Het moge uit dit summier overzicht duidelijk zijn geworden dat de organische stof zeker geen terra incognita meer is in het bodemkundig onderzoek. Er werden reeds belangrijke vorderingen gemaakt. Het zal echter evenzeer duidelijk zijn dat vele vragen nog slechts aan het begin van hun oplossing staan en dat het antwoord slechts kan worden gevonden als onderzoekers uit verschillende vakwetenschappen hieraan gezamenlijk hun krachten geven.

#### LITERATUUR

- AMERICAN Society of Agronomy, *Advances in agronomy* 5 (1953) II.  
IMPERIAL Bureau of Soil Science, *Soils and fertilizers* 7 (1944) 119; 10 (1947) 1.  
KONONOWA, M. M., *Die Humusstoffe des Bodens*. Berlin, 1958.  
LAATSCH, W., *Dynamik der mitteleuropäischen Mineralböden*. Dresden/Leipzig, 1957.  
SCHEFFER, F. und B. ULRICH, *Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde III Humus und Humusdüngung I*. Stuttgart, 1960.  
WERK GROEP Omzettingen Organische Stof T.N.O. Organische stof in de grond. (Overdrukken uit *Mbl. Landbouwvoorlichtingsd.* 7 (1950) en *Landbouwk. Tijdschr.* 62 (1950).