

LANDBOUWPROEFSTATION EN BODEMKUNDIG INSTITUUT T.N.O.
GRONINGEN

STABIELE HUMUS
EN DE INTERPROVINCIALE
CALHA-HUMUSPROEVEN

1943—1947

WITH A SUMMARY:

STABLE HUMUS AND THE FIELD-TRIALS WITH SYNTHETIC
STABLE HUMUS IN THE NETHERLANDS, 1943—1947

Ir JAC. KORTLEVEN



STAATSDRUKKERIJ

UITGEVERIJBEDRIJF

INHOUD

	Blz.
I. NATUURLIJKE STABIELE HUMUS	3
1. Verschillende soorten van organische stof in de grond	3
2. Stabiliteit van humus	6
3. Eigenschappen van stabiele humus	9
4. Begrensdheid van de voorraad stabiele humus	11
Literatuur	14
II. KUNSTMATIGE STABIELE HUMUS	16
1. Historisch overzicht	16
2. Recente onderzoeken	17
3. Consequenties	25
Literatuur	27
III. INTERPROVINCIALE PROEVEN MET KUNSTMATIGE HUMUS 1943—1947 .	28
1. Voorgeschiedenis	28
2. Aanleg	30
3. Resultaten	35
4. Slotopmerkingen	41
IV. SAMENVATTING EN CONCLUSIES	42
V. TABLE OF CONTENTS (ENGLISH)	43
SUMMARY	44

I. NATUURLIJKE STABIELE HUMUS

1. VERSCHILLENDE SOORTEN VAN ORGANISCHE STOF IN DE GROND

Grond in natuurlijke omstandigheden bevat vaste, vloeibare en gasvormige bestanddelen, waarvan de eerste essentieel zijn; immers de beide laatste kunnen op zichzelf (of tezamen) geen „grond” vormen, de eerste daarentegen wel. Voor de plantengroei en het leven in de grond zijn zij echter alle drie van belang.

De vaste phase bestaat uit anorganisch en organisch materiaal in wisselende verhoudingen, variërende van vrijwel afwezig zijn van de ene groep tot vrijwel ontbreken van de andere. In het algemeen echter overwegen de anorganische bestanddelen, en maakt de organische stof slechts een fractie uit van het geheel. Desondanks heeft deze dan vaak een betekenis¹, die groter is dan men in evenredigheid aan de mate van voorkomen ervan zou verwachten.

Wie aan organische stof in de grond denkt, denkt aan humus. Deze vormt nl. een zo oud en vertrouwd begrip in de landbouw, dat het in latere jaren automatisch werd opgenomen in het vocabularium van de beoefenaars der landbouwwetenschappen, en weer later in dat der bodemkundigen. Door deze historische achtergrond is humus, hoewel een gangbaar begrip en zelfs een materie, die men in de praktijk van de landbouw weet te hanteren, toch een enigszins vaag begrip gebleven. Juist door de vertrouwdheid ermee, werd het — tot voor zeer kort — geen voorwerp van intensieve studie (zulks in tegenstelling met nieuwe begrippen als b.v. kunstmeststoffen). Het bleef dan ook weinig gedefinieerd, met het gevolg, dat onder hetzelfde woord vaak verschillende begrippen gerekend worden. Deze kunnen in hoofdzaak in 2 groepen onderscheiden worden, n.l.:

a. Humus in ruimere, d.i. in meer populaire zin, waarbij ertoe gerekend worden m.o.m. ver vergane overblijfselen van afgestorven planten en dieren (ook microflora en -fauna) in diverse stadia van ontleding, tot alle organische stof in de grond toe; ook wel de grond zelf, als die er veel van bevat, evenals organisch materiaal buiten de grond, maar bestemd voor toedienen aan de grond (als b.v. bladaarde);

b. Humus in engere, d.i. landbouw- en bodemkundige zin, zijnde een bepaald deel van de onder *a* genoemde humus.

Wij zullen verder de term humus slechts bezigen in de beperkte betekenis, en in het andere geval niet spreken van humus, maar de meer omvattende term organische stof gebruiken. Ook in deze meer beperkte betekenis heerst nog geen eenstemmigheid, en bestaan nog verschillende definities. Deze stemmen in het algemeen hierin wel overeen, dat zij humus omschrijven als te zijn *een mengsel van een groot aantal verbindingen (welk mengsel zich echter in verschillende opzichten gedraagt als een homogene stof) afkomstig van lichamen van hogere en lagere planten (in mindere mate van dieren), zover omgezet, dat geen celstructuur meer te herkennen is, donker (bruin en zwart) van kleur, met colloïdale eigenschappen, en onbekend, maar hoog moleculair gewicht*.

Het volgende schema geeft aan, in welke betrekking organische stof en humus tot elkaar staan. De organische stof is n.l. te splitsen in 3 groepen (welke natuurlijk niet scherp begrensd naast elkaar staan):

¹ Op de betekenis voor structuurverbetering en opbrengstverhoging zal in dit artikel niet worden ingegaan.

- A. Onveranderde stoffen in *afgestorven lichamen*: vetten, harsen, wassen, pektinestoffen, hemicellulosen, cellulosen, ligninen, eiwitten enz.;
- B. Stoffen uit A ontstaan door (chemische en biologische) *afbraak*: uron-zuren, pentosanen, fulvozuren, aminozuren enz.;
- C. Stoffen uit A en B opgebouwd, de *humus*.

In dit schema, waarin alle stoffen in het meervoud staan om aan te geven, dat zij niet homogeen zijn, maar bestaan uit mengsels van verwante stoffen, geven de 3 groepen tevens de 3 stadia in het proces van de humusvorming aan. Door SOUCI (26) wordt hiervan een aan WAKSMAN ontleende schematische voorstelling gegeven, welke — enigszins gewijzigd — in fig. 1 is opgenomen. Hierin ziet men langs welke weg groep A overgaat tot groep C; alles wat tussen A en C inligt, is groep B. Men ziet verder, dat uit het uitgangsmateriaal, behalve humus ook koolzuurgas en water ontstaat, zodat een gedeelte niet in de humus terecht komt, maar dat in de humus ook basen uit de grond worden opgenomen. Het blijkt dus, dat humus niet zonder meer een afbraakproduct is, maar een, na voorafgaande afbraak, uit bepaalde bouwstenen

FIG. 1. Schema van de humusvorming

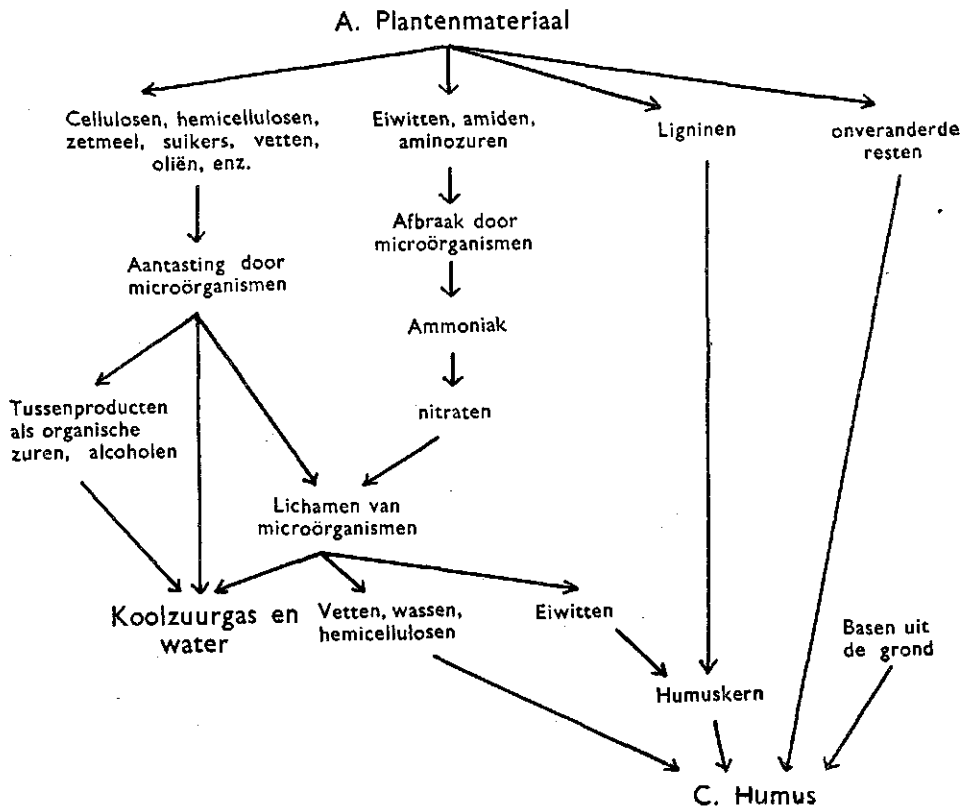


FIG. 1. Diagram of humus formation

wederom opgebouwd product. Hier is dus analogie met het lutum (de fijnere actieve bodemdeeltjes), dat geen afbraak zonder meer is van het bodemvormende gesteente, maar een (na verwerking) nieuw gevormd product; de analogie gaat nog verder, doordat beide bestaan uit deeltjes met colloïdale eigenschappen.

In de drie genoemde stadia neemt de mate van aantastbaarheid af van A naar C. Binnen C, de humus dus, neemt de mate van aantastbaarheid nog meer af. De humus wordt n.l. weer onderverdeeld in:

1. Humoligninezuren en zouten daarvan;
2. Huminezuren en zouten;
3. Huminen.

Evenals tevoren hebben wij ook hier weer te maken met gecompliceerde mengsels van nog onvoldoende definieerbare verbindingen; op grond van hun fysische en chemische eigenschappen zijn echter de componenten van elk dezer groepen, binnen de groep, nauw met elkaar verwant.

De humoligninezuren zijn chemisch nauw verwant aan lignine; zij vormen het eerste reactieproduct na de omzetting van lignine in de beginstadia der humificatie en zijn de meest aantastbare humusverbindingen. Bij verder voortschrijdende humificatie treden de huminezuren op de voorgrond en ontstaat stabiliteit. Huminen tenslotte zijn zover gestabiliseerd, dat zij vrijwel inactief geworden zijn; zij zijn dus in de bodem van minder belang. (Het C-gehalte, dat bij de huminezuren gem. 58 % bedraagt, is bij de huminen reeds tot 65 % gestegen; dit is het beginstadium van het verkolingsproces (25) en (26).

Van groot belang daarentegen zijn de groepen 1 en 2, die vanwege hun meerdere of mindere aantastbaarheid algemeen worden aangeduid met de namen *stabiele humus* resp. *instabiele humus of voedingshumus*.

De huminezuren (of stabiele humus) worden nog wel onderscheiden in *bruine* (Braunerdetype) en *grijze* (Schwarzerdetype) waarvan de tweede vergeleken met de eerste een hoger C-gehalte, groter stabiliteit, donderder kleur, steviger binding en moeilijker hydrolyseerbaarheid, vaster aanhechting van bivalente metaalionen, v.n. Ca (typische kalkhumaten, goed oplosbaar in NaF) vertonen. De bruine staan dus meer naar de kant der humoligninezuren, de zwarte naar die der huminen. Dit maakt het begrijpelijk, dat de bruine wel afzonderlijk voorkomen, maar de zwarte niet, doch steeds gemengd met de bruine; de zwarte verkeren n.l. in een verder stadium der humificatie, terwijl naast een bepaald stadium steeds alle voorgaande stadia mede aanwezig zijn. Fig. 2 geeft nog een overzicht van de gemaakte indeling en vermeldt de verhoudingen, waarin de verschillende vormen kunnen voorkomen.

FIG. 2. De organische stof in de grond gerangschikt van links naar rechts naar de afnemende van de aantastbaarheid

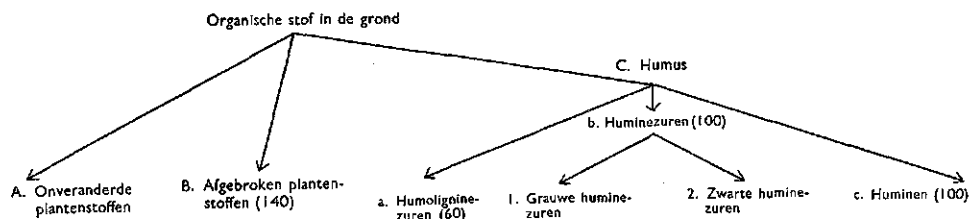


FIG. 2. Soil organic matter classified from left to right according to decrease of availability

Uit een tabel van RUSSELL (24) is n.l. af te leiden, dat als gemiddelde van een aantal gevallen per 100 delen stabiele humus aanwezig zijn 100 delen huminen; verder 60 delen instabiele humus, 140 delen afgebroken nog niet tot humus opgebouwd materiaal en wisselende hoeveelheden nog niet afgebroken materiaal. Op 100 dl. stabiele humus komen daarom voor (excl. de huminen) $60 + 140 +$ niet afgebr., d.i. 100, stabiel op 200 à 250 overige organische stof of 1 : 2 à 2,5. Bij een kleigrond met een bouwvoorgewicht van 2 mill. kg en 2% gloeiverlies zijn deze hoeveelheden: 10 ton stabiele humus, 6 ton instabiele, 14 ton afgebroken materiaal en vlak na de oogst van een graangewas 5 ton droge stof in wortel en stoppel, dus totaal 1 : 2,5. Zodra genoemde resten verteerd zijn, is de verhouding 1 : 2.

2. STABILITEIT VAN HUMUS

De stabiliteit of mate van aantastbaarheid betreft de resistentie tegen aantasting door microorganismen en luchtzuurstof. Het stabiel zijn wil evenwel niet zeggen, dat hier volkomen onaantastbaarheid bestaat. Op de lange duur en onder bepaalde omstandigheden worden ook deze verbindingen afgebroken, in de natuur, zowel als in het laboratorium; in het laatste geval zijn zij b.v. te oxyderen met kaliumpermanganaat, kaliumbichromaat en waterstofperoxyde (zoals bij de humusbepaling door natte verbranding).

Bij een goede (z.g. milde) humus zijn de zuren verzadigd met voornamelijk twee-waardige basen; anders heeft men z.g. zure humus. De laatste vorm, hoewel deze weinig aangetast wordt (en daardoor tot ophopingen leidt) behoort daarom nog niet tot de werkelijke stabiele humus (huminezuur) te behoren. Hetzelfde geldt voor ophopingen van organische stof bij anaërobie (vervening). Bij wijziging der omstandigheden blijken zij n.l. vaak niet stabiel (n.l. voor zover zij niet uit huminezuren of huminen bestonden). Zo gaat te diep ondergewerkte stalmest vervenen; na bovenbrengen verteert hij snel; evenzo kan turfstrooisel (ingebracht om stijve grond bewerkbaar te maken) verdwijnen en moet dan van tijd tot tijd opnieuw worden aangewend.

Ook kan onder bepaalde omstandigheden (welke is nog niet geheel opgehelderd) organische stof irreversibel indrogen. Dit is evenmin echte stabiele humus, daar het zich in hoge mate aan reacties onttrekt en dus uitgeschakeld is. Dit verschijnsel doet zich niet alleen voor in de z.g. indrogende venen (6), waar het de laatste tijd veel van zich doet spreken, maar ook op kleinere schaal in vele zandgronden; zo kan men b.v. in esgronden vaak tussen het zand kleine bonkjes organische stof, als het ware turfjes, opmerken.

FIG. 3. Verband tussen opbrengst en humusgehalte

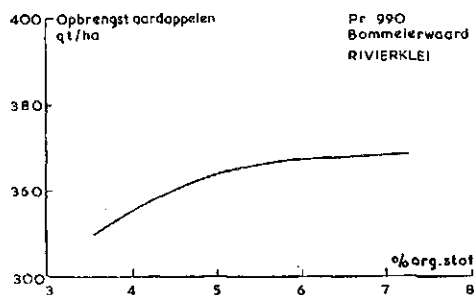


FIG. 3. Relation between yield and humus content

Er kunnen dus verschillende vormen van organische stof in de grond voorkomen, die er wel blijvend in aanwezig zijn, maar er geen nuttige functie uitoefenen. Dit kan worden aangetoond aan de hand van (voorlopig) cijfermateriaal, welwillend afgestaan door FERRARI, en ontleend aan diens onderzoek in de Bommelerwaard (PR 990) naar de invloed van verschillende bodemvruchtbaarheidsfactoren (fig. 3). Men ziet in de grafiek duidelijk, dat de invloed bij gescheurd grasland van een stijgend

organische stofgehalte op de opbrengst geleidelijk afneemt, en tenslotte verdwijnt. Het steeds hoger opvoeren van dit gehalte (wat ook zeer moeilijk is) moet dus niet ons doel zijn, maar het toevoeren van organische stof in de meest geschikte vorm. Hierop komen wij verderop nog terug.

Wij kunnen niet alleen in de landbouw, maar ook in de natuur verschillende wijzen van humusvorming opmerken, welke leiden tot verschillende eindproducten.

a. Vorming in zwak zuur tot alcalisch milieu; hierbij sterke menging door regenwormen en andere bodemdieren, welke ook zelf actief aan de humusvorming deelnemen in hun darmkanalen (13).

1. Bij voldoende luchttoevoer, vorming van echte humus (als boven beschreven).
2. Bij te geringe luchttoevoer is de omzetting onvolledig en brengt ook de aard en samenstelling der planten verschillen mee in het gevormde product, het laagveen. Dit bevat in het algemeen weinig cellulose, daar dit bij anaerobe ontleding wordt omgezet tot brandbare gassen en organische zuren (waterstof, methaan, azijnzuur, boterzuur); verder bevat het veel eiwit en lignine. Wordt het veen gedraineerd, dan treedt verdere ontleding op.
3. Is er een te rijke luchttoevoer, dan wordt alles geoxydeerd.

b. In zuur milieu is er geen transport en verwerking door bodemdieren. De wortels gaan niet diep, daardoor vorming van oppervlakkige humuslaag, hoogveen of ruwe humus, gekarakteriseerd door basenarmoede en herkenbare plantenresten. Evenals bij het laagveen worden hoogstens humoligninezuren opgebouwd. Deze kunnen bodemkundig een grote rol spelen bij de vorming van podsolgronden. Hoogveen zowel als laagveen zullen hier echter buiten beschouwing blijven.

Het is dus duidelijk, dat lang niet alle blijvende humus in onze gronden werkelijk waardevolle stabiele humus is; en voorts, dat een humusgehalte ons onvoldoende inlicht, als wij niets weten omtrent de vorm waarin deze humus aanwezig is, terwijl uit het bovenstaande nog volgt, dat een „humus”bepaling als gloeiverlies eigenlijk een „organische stof” bepaling is. Het spreekt dus vanzelf, dat een grond, die een hoger z.g. humusgehalte heeft dan een andere, nog niet beter behoeft te zijn, daar dit hogere gehalte slechts te danken kan zijn aan waardeloze humusvormen, welke op hun beurt weer te danken kunnen zijn aan ongunstige bodemomstandigheden. LÖHNIS (18) acht de waarde van deze bepalingen dan ook zeer gering. Zo vindt men (29) de volgende globale cijfers voor „humus”gehalte (tabel I):

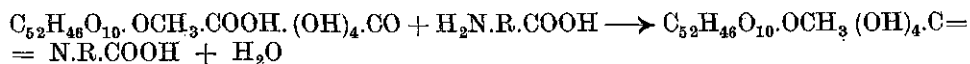
TABEL 1. Gemiddelde humusgehalten

Zavelgronden	1,5— 3 %	<i>Light clays</i>
Kleibouwland	2,5— 4,5 %	<i>Heavy clays</i>
Zandgrond	5 —10 %	<i>Sandy soils</i>
Dalgrond	7 —25 %	<i>Reclaimed peat soils</i>
Veengrond	40 —50 % en hoger	<i>Peat soils</i>

TABLE 1. Average humus content of some Dutch soil types

Het is dus duidelijk, dat dit niet alles „echte” humus is.

De opbouw der humuslichamen geschiedt doordat zich v.n. stikstofhoudende afbraakproducten van eiwitten met lignineachtige verbindingen (beide afkomstig van afgebroken plantenlichamen) door chemische en biochemische reacties zeer hecht koppelen tot lignineproteïne-complexen. Dit wordt door WAKSMAN aldus in formule gebracht:



Door polymerisatie en condensatie worden hieruit de grote moleculen gevormd, welke de kern der humuslichamen uitmaken; deze kern vormt 80 % van de humus, waaromheen zich stikstofverbindingen, looizuurproducten, anorganische verbindingen enz. bevinden. Voor het verloop dezer processen is een niet te zuur milieu vereist, daar de autoöxydatieve omzetting van lignine des te sneller verloopt naarmate de reactie minder zuur is; de lignine krijgt hierdoor het karakter van een zuur en neemt basen op. Tijdens de autoöxydatie, en niet ervoor of erna wordt NH_3 zeer sterk gebonden. De ontstane humus is stabiel, naarmate meer O en NH_3 is opgenomen. De binding tussen eiwitten en ligninen geschiedt in verhoudingen tussen 1 : 1 en 1 op 1,5, waarschijnlijk dichter bij 1 : 1,5.

De aldus gevormde complexen verkrijgen stabiliteit, doordat zij zekere hoeveelheden Fe, Al en Si opnemen, welke actieve plekken bezetten en daardoor de aantastbaarheid voor (biologische) oxydatie beperken. Deze elementen vormen voorts schakels bij de binding van humus en klei tot het klei-humuscomplex (een mengcolloïd, gevormd uit negatieve klei en positieve humusbestanddelen). Hierdoor gaat de stabilisering nog verder (28).

Op grond van recente onderzoeken (13), (14), (15), (16), (21), (23) is het waarschijnlijk geworden, dat voor een goede humificatie deze klei het kleimineraal montmorilloniet moet bevatten. Het laat zich aanzien, dat indien dit zou blijken juist te zijn, dit van verstrekkende invloed zou kunnen worden voor het organische stofprobleem bij gronden, die van nature genoemd materiaal niet of weinig bevatten, zoals zandgronden. Immers, de geciteerde auteurs komen tot de volgende uitspraken. Bevatten deze gronden wel kalk, dan zouden de humuszuren onoplosbare en dus duurzame calciumhumaten vormen met ongunstige eigenschappen als slechte bevochtigbaarheid en gering zwelvermogen (in droge toestand dus niet reagerende poeders en nat een structuurloze brei), in zuivere, colloïdarme zandgronden trage, dode, met de grove minerale delen van het zand niet reagerende materie. Echte zandgronden met hoog kalk- en humusgehalte zouden dus bij droogte echte stuifgronden en bij te veel vocht eveneens structuurloos zijn. Ophoping van deze calciumhumaten heeft dus geen doel. Ontbreken en kalk en kleimineraal, dan zou zich geen humus ophopen. In kalkhoudende klei zouden de voorwaarden voor de vorming van echte stabiele humus dus het gunstigst zijn. De grote vruchtbaarheid van deze gronden zien zij dan ook veel meer als het gevolg van een goed opgebouwd kleihumus complex dan van een hoog humus-gehalte (wat er dan ook meestal niet is). Ons streven behoeft dus, ook in deze gedachtengang, niet te zijn het humusgehalte hier hoog op te voeren, maar te zorgen, dat de humus van goede kwaliteit is, daar een betrekkelijk geringe hoeveelheid huminezuren, sorptief gebonden aan minerale kleicolloïden, het geheel met basen verzadigd, reeds voldoende kan zijn.

Aan zandgrond zouden de kleimineralen in compost of stalmest moeten worden toegevoegd. De vraag, of stadsvuilcompost VAM, waarvan het uitgangsmateriaal afkomstig is van 's-Gravenhage, gelegen op duinzand, dat geen kleimineralen bevat, op zandgronden door zijn kalkgehalte slechts tot calciumhumaten zou kunnen leiden, is in onderzoek.

3. EIGENSCHAPPEN VAN STABIELE HUMUS

De (eiwit)stikstof in de kern van het humuscomplex, welke stikstof globaal 3 % van het humuslichaam uitmaakt, ligt vast opgesloten binnen in deze moeilijk aantastbare verbindingen en is dus practisch ontoegankelijk. Dit is niet het geval met de stikstof van de circa 20 % van het geheel uitmakende lichamen, welke zich om de kern heen gegroepeerd hebben (deze bedroeg bij de synthetische humus van HUDIG zelfs 4% van het geheel).

Dit is geheel in overeenstemming met de oude uitspraak van HILGARD (8) dat een grond stikstofhonger heeft als de humus 2 % N bevat, dat bij 3 % N-werking onzeker is en bij 5 % en hoger N-toediening nutteloos (alles vooropgesteld, dat er voldoende humus aanwezig is). Deze feiten zijn zeer belangrijk, daar men moet bedenken, dat een groot deel van de stikstof in de grond zich in de organische stof bevindt, volgens LATHROP (17) is dit zelfs 97—99 %, terwijl ook MASCHHAUPT (20) uitgaat van de „zeker niet gewaagde veronderstelling, dat de . . . stikstof nagenoeg geheel aan den humus gebonden voorkomt”. MASCHHAUPT vond in zijn lysimeters voor het stikstofgehalte van de humus 6 %.

Het koolstofgehalte van de humus is vrij constant en beweegt zich om circa 58%, en dit ondanks het feit, dat humus een mengsel is van vele verbindingen; deze zijn echter zo aan elkaar verwant, dat zij gemiddeld steeds een ongeveer gelijk C-gehalte geven. (Dit gehalte werd reeds genoemd door SCHULZE in 1849 (27) en is dus niet een factor van VAN BEMMELEN, zoals wel gezegd wordt; op dit gehalte berust de humusbepaling door elementairanalyse: $\text{humus} = \text{C} \times \frac{100}{58} = 1,724 \text{ C}$).

De C/N verhouding is, voorzover de onbereikbare kernstikstof betreft, dus $\frac{58}{3} = \pm 19 \%$ en daalt naar gelang er stikstof buiten de kern aanwezig is tot omstreeks 10, waarbij dan de helft van de stikstof bereikbaar is. Bij de humusvorming wordt dus hiernaar toegewerkt, uitgaande van de plantaardige afval, waar het quotiënt in doorsnee 40 bedraagt (bij Leguminosen 25, bij graanstro omstreeks 80). Zo werden in een proef te Rothamsted (24) de in tabel 2 weergegeven waarden gevonden.

TABEL 2. C/N verhouding bij ongelijk humusgehalte volgens RUSSELL

	% C	% N	C/N	
Onbemest sedert 1843 . . .	0,87	0,095	9,2	<i>Since 1843</i>
Kunstmest volledig	0,98	0,099	9,9	<i>Complete fertilizer</i>
Idem zonder stikstof	0,98	0,090	10,6	<i>Complete fertilizer without nitrogen</i>
Stalmest sedert 1852	2,86	0,256	11,2	<i>Stable manure since 1852</i>
Idem + volledig kunstmest.	3,13	0,253	12,4	<i>Stable manure and complete fertilizer)</i>

TABLE 2. The coincidence of different humus content and C/N relationship according to RUSSELL

Onafhankelijk van giften aan N en organische stof en van de opbrengsten is de C/N verhouding vrijwel dezelfde. RUSSELL vermeldt nog een aantal C/N-quotiënten, voor koelere en voor tropische gebieden onder verschillende omstandigheden, waarbij wel de C- en N-gehalten sterk uiteenlopen, maar hun verhouding bij 10 ligt. Dit is dus een zeer kenmerkende waarde. Om dit te bereiken, moet er, uitgaande van materiaal met een C/N verhouding van 40 dus N worden toegevoegd of C verdwijnen. Bij gelijkblijvende hoeveelheid stikstof blijft van 40 kg C + 1 kg N dus over 10 kg C + 1 kg N, dus $\frac{100 \times 11}{41} = 27\%$. Dit vindt men dan ook vaak bij compostering

zonder stikstoftoevoeging, dat $\pm 30\%$ van de organische stof overblijft.

Bij inbrengen van organisch materiaal in de grond, vooral bij stro met een hoog C/N quotiënt, heeft men het gevaar van onttrekken van N aan de grond, ten einde de verhouding gunstiger te maken, waardoor tijdelijk stikstofhonger kan ontstaan. Ook bestaat de mogelijkheid, dat door verzamelen van luchtstikstof (azotobacter) de verhouding gunstiger wordt gemaakt, maar daartegenover ook de mogelijkheid van onttrekking door het gewas en uitspoeling, waardoor de verhouding ongunstig wordt beïnvloed en er nog aanzienlijk minder overblijft.

Een idee van deze processen krijgt men door de gemiddelde samenstelling van humus te vergelijken met de overeenkomstige gemiddelde gehalten van een aantal plantendelen (ontleend aan (24), tabel 3). De getallen in de kolommen 1 en 2 zijn gemiddelden van grenswaarden. Kolom 3 geeft aan hoeveel van de samenstellende bestanddelen van de plantendelen achterblijft in de humus, uitgedrukt in % van het uitgangsmateriaal. Om dit te weten te komen, is uitgegaan van lignine, die het meest resistent is, maar waarvan toch tijdens de humificatie wel iets verdwijnt (9). Er is dus aangenomen, dat van de lignine 75 % achterblijft, zodat deze komt van 20 (kolom 1) op 15 (kolom 3). De overige bestanddelen zijn hierop omgerekend in evenredigheid van de getallen in kolom 2. Kolom 4 ten slotte geeft de getallen van kolom 3 in % van de overeenkomstige getallen uit kolom 1.

TABEL 3. Omzettingen bij de humusvorming volgens RUSSELL

	Gehalten in % van de totale org. stof		Per 100 delen plantenresten gaat over in humus	Humus in % van planten- resten	
	Planten- delen	Humus			
Ruw eiwit.	15	33	11	72	<i>Crude albumen Lignin Cellulose and hemicellulose Miscellaneous</i>
Lignine	20	45	15	75	
Cellulose en hemi- cellulose.	50	13	4	8	
Diversen	15	9	3	20	
Totaal	100	100	33		
	<i>Vegetable matter</i>	<i>Humus</i>	<i>Parts transforming into humus per 100 parts of vegetable matter</i>	<i>Humus in percentage of vegetable matter</i>	
	<i>Contents in percen- tage of total organic matter</i>				

TABLE 3. Decompositions in humus formation after RUSSELL

$$C/N = \frac{\frac{1}{1,724} \times \text{totaal}}{\frac{1}{6,25} \times \text{ruw eiwit}} = \frac{\frac{1}{1,724} \times 100}{\frac{1}{6,25} \times 33} = 10$$

C/N in humus is dus weer 10, en ruw eiwit + lignine, die samen de humuskern vormen $\frac{11+15}{33}$ of circa 80 % van humus. De N in deze humus bedraagt $\frac{1}{6,25} \times 33 = 5\%$.

Het blijkt wederom, dat circa 1/3 van de organische stof humus wordt. Van de eiwitten gaat weinig verloren, zodat het gehalte hieraan stijgt. Ook aan lignine wordt het materiaal relatief rijker. Cellulose wordt grotendeels opgebruikt, evenals de overige bestanddelen.

Een idee van de grootte van deze waarden krijgt men door na te gaan, wat er nodig is om de grond met b.v. 1 % in humusgehalte te doen stijgen. Bij een bouwvoorgewicht van 1,5 miljoen kg is dit 15 000 kg humus. Hiervoor is 45 000 kg uitgangsmateriaal (droog) nodig (dat zijn de wortels- en stoppelresten van 10 graanoogsten) terwijl er 800 kg N in wordt vastgelegd, waarvan 400 kg onbereikbaar in de humuskern en 400 kg beschikbare stikstof, welke een reserve vormt, waaruit de stikstof geleidelijk kan worden vrijgemaakt; voor volledige humificatie van de restanten van één graangewas moet dus $800 : 10 = 80$ kg stikstof beschikbaar staan. Voorzover deze humus niet overgaat tot stabiele humus, wordt echter alles weer geleidelijk (grotendeels binnen een jaar) afgebroken en komt ook de kernstikstof weer beschikbaar.

De afbraak van cellulose en niet stabiele humus is voornamelijk een oxydatie; zuurstof wordt opgenomen en een vrijwel gelijke hoeveelheid koolzuurgas ontwikkeld. BEYERINCK (3) berekende, dat per jaar per ha 4000 kg organische stof wordt afgebroken in ons klimaat, waarbij 7000 kg CO₂ wordt gevormd. Latere opgaven hieromtrent lopen uiteen van opname van 700 l zuurstof per m₂ per jaar (en ontwikkeling van 1400 g CO₂) tot het 13-voud hiervan, d.i. een energieontwikkeling van 3500 cal tot het 13-voud (18) (24). Dit is dus door de planten opgeslagen zonne-energie, welke via de microorganismen weer beschikbaar komt voor plantenleven en daardoor voor mens en dier). Vóór en tijdens deze microbiologische ontleding heeft de niet tot de stabiele humus behorende organische stof nog een andere belangrijke functie; er worden n.l. gomachtige polysacchariden gevormd, welke de bodemdeeltjes verkitten, dus structuurverbeterend werken. Aanvoer en afbraak van deze stoffen betekenen dus een tijdelijke structuurverbetering, zodat er een regelmatige aanvulling moet zijn van dit materiaal. Hieruit blijkt dus, dat de niet stabiele humus eveneens een zeer belangrijke rol speelt. Zouden alle plantenresten overgaan tot stabiele humus, dan zou al deze energie aan het leven op aarde onttrokken worden, evenals de erin opgeslagen stikstof. Verder zouden zich in de loop der eeuwen ontzaglijke hoeveelheden stabiele humus opgehoopt hebben. Dat dit niet het geval is, bewijst, dat ergens een grens ligt voor de vorming van stabiele humus.

4. BEGRENSDHEID VAN DE VOORRAAD STABIELE HUMUS

Allereerst kan deze grens ontstaan wanneer geen of weinig humificatie optreedt, b.v. door te sterke oxydatie bij te veel aeratie (hetzij van nature of door overmatige grondbewerking) of bij te hoge temperatuur (zoals in de tropen, maar ook in koelere luchtstreken bij in de zomer onbedekte grond), en door onvoldoende N, waardoor het

grootste gedeelte van de organische stof verloren gaat en het C/N quotient zich herstelt door verbranding van het teveel aan koolstof (hiermede zijn de mogelijkheden, die humusvorming beletten, echter nog niet uitgeput).

Verder kan het zijn, dat de omstandigheden, nodig voor stabilisering van de humus, niet aanwezig zijn, dus b.v. dat er onvoldoende Fe, Al en Si, of klei (montmorilloniet) aanwezig zijn.

Indien aan alle geschetste voorwaarden is voldaan, dan zou nog de hoeveelheid van het vereiste kleimineraal een grens aan de vorming van stabiele humus kunnen stellen, bij welke grens alle hiervoor in aanmerking komende lutumdeeltjes omgeven zouden zijn door een mantel — van monomoleculaire dikte — van humuslichamen; op deze wijze wordt wel verondersteld, dat de aggregaatvormende deeltjes tot stand komen.

Er zijn dus verschillende factoren, waardoor te verklaren is, dat het humusgehalte soms na jarenlange toediening van organische stof hetzelfde blijft (22), en in het algemeen niet, of moeilijk te veranderen is. Dit gehalte is dus slechts te veranderen door wijziging van bovenstaande factoren (en andere factoren als b.v. pH, waarop echter niet dieper zal worden ingegaan). Er zijn gevallen, waar wel een verandering in humusgehalte is geconstateerd, als b.v. de Broadbalkproef te Rothamsted, waar door 75 jaar lang toedienen van stalmest het humusgehalte steeg van 1.5 tot 4,9 %; een door VENEMA (28) vermelde, vanaf 1878 lopende proef te Halle a.d. Saale, waar het steeg van 2 tot 2,8 %, een door MASCHHAUPT vermeld geval (20) waar door 12 jaar lang zeer zware stalmestgiftten te geven het humusgehalte steeg van 1,47 tot 1,76 %. Er zijn er meer, hoewel niet zeer talrijk. Hier moeten wij dus denken of aan een wijziging der genoemde factoren (waarvan speciaal de stikstofvoorraad voor wijziging vatbaar is, maar ook indirect structuurwijziging een rol gespeeld kan hebben) of aan een ophoping van inactief turfachtig materiaal. Tenslotte moet ook nog gedacht worden aan de mogelijkheid, dat de jaarlijkse aanvoer de jaarlijkse afvoer van instabiel materiaal overtreft, zodat hierdoor geleidelijk een ophoping optreedt. In elk geval is de hoeveelheid instabiel materiaal aan schommelingen onderhevig, doordat er jaarlijks bijkomt (aan wortel- en stoppelresten, stalmest, compost) en jaarlijks weer afgaat. Het gehalte aan stabiele humus is uiteraard veel constanter, en slechts snel en belangrijk te verminderen door een drastisch ingrijpen, dat zelfs deze stabiele humus blootstelt aan aantasting. Dit is b.v. het geval bij intensieve grondbewerking met kerend ploegen, waardoor de gehele bouwvoor sterk geaëreerd en aan zonbestraling blootgesteld wordt. Speciaal onze hakvruchten, welke veel grondbewerking meebrengen en als compensatie weinig wortels achterlaten, vormen een gevaar. Over het geheel staat ons bouwland er dus ongunstiger voor dan ons grasland.

Door schrijver dezes (11), (12) is een poging gewaagd een raming¹ te maken

¹ Deze raming is gebaseerd op:

a. De opvatting van SCHEFFER en van VENEMA, dat „goede” humus moet bestaan uit 30 % stabiele humus en 70 % niet stabiele organische stof, d.i. een verhouding van 1 : 2½. In de boven aan RUSSELL ontleende gegevens was deze verhouding 1 : 2½ wat een steun is voor deze anders nog weinig gefundeerde uitspraak. Ook anderen (10) vonden, dat de licht oxydeerbare humusbestanddelen in % van de totale organische stof bij een aantal gronden uiteenliep van 50—90 %.

b. De onderzoeken van HUDIG met synthetische stabiele humus, waaruit bleek, dat het deficit in doorsnede 0,1 % van het bouwvoorgewicht bedroeg. Daar als regel wel reeds enige stabiele humus aanwezig geweest zal zijn, moet de grond dus in totaal meer dan 0,1 % bevatten. Wij hebben veiligheidshalve deze 0,1 % aangehouden, waardoor de erop gebaseerde berekening aan de veilige kant blijft.

van de hoeveelheid stabiele en instabiele humus, welke onze landbouwgronden in doorsnee zouden moeten bevatten en hoeveel er jaarlijks nodig zou zijn om de bestaande humusvoorraad aan te vullen. Na aftrekking van wat er als aanvulling beschikbaar is, bleef er een jaarlijks tekort van ruim 1 miljoen ton voor het gehele land of 400 kg per ha cultuurgrond over. Inderdaad vond DEMOLON (5) bij 12 jaar achterwege laten van organische bemesting, dat door gemiddeld per jaar 440 kg organische stof toe te dienen, het humusgehalte op peil te houden was.

Dit lijkt weinig, maar toch zou op deze wijze doorgaande, alle humus in enkele eeuwen opgebruikt zijn. In genoemd artikel zijn ook middelen aangegeven om dit proces, dat verraderlijk is door zijn traagheid, daar het zelfs gedurende een mensentleven aan de aandacht kan ontsnappen, tegen te gaan.

In hetzelfde artikel wordt ook opgemerkt, dat het evenwel niet een *a priori* vaststaand feit is, dat deze middelen, d.w.z. de verschillende beschikbare vormen van organische stof (stalmest, compost, groenbemesting, kunstweide, wortelresten), voor de humusvorming van dezelfde betekenis zouden zijn. Een aanwijzing voor het tegendeel vindt men in (1), (2) en ook (7) (mogelijk zal bovengenoemde balans dus mettertijd hiermede moeten worden verfijnd). Hierin wordt een proef beschreven, waarin o.m. voorkomen de volgende objecten: 1 onbemest, 2 kunstmest (NaNO_3 , sup. en zw.k. à 50 kg N, 50 kg P_2O_5 en 60 kg K_2O per jaar), 3 stalmest (31,3 ton per jaar).

Tabel 4 geeft de verkregen opbrengsten.

TABEL 4. Humusvorming door stalmest en kunstmest

	Totaal opbrengst over 15 jaar in kg/ha	Meer dan 1	Org. stof in de bouwvoor	Meer dan 1	
1. Onbemest .	45 908	—	47 970	—	<i>No manure Artificials Stable manure</i>
2. Kunstmest	132 154	86 246	68 150	20 180	
3. Stalmest .	156 542	110 634	82 490	34 520	
	<i>Total yield in 15 years in kg per hectare</i>	<i>More than 1</i>	<i>Organic matter in the top-soil</i>	<i>More than 1</i>	

TABLE 4. Humus formation by stable manure and fertilizer

De redenering is nu als volgt. In object 2 is wel organische stof opgehoopt, maar alleen kunstmest toegediend. Zij moet dus afkomstig zijn van de grotere hoeveelheden wortel- en stoppelresten als gevolg van de sterkere ontwikkeling van het gewas, welke ook in de producties tot uiting komt. Deze beide grootheden worden nu aan elkaar evenredig gesteld (wat vanzelfsprekend een aanname is). Voor object 3 is hiermede te berekenen de humustoename als gevolg van wortel- en stoppelresten, groot 26400 kg ($86\,246 : 110\,634 = 20\,180 : x$; dus $x = 26\,400$). Het verschil ($34\,520 - 26\,400 =$) groot 8120 kg is dus afkomstig van de stalmest, of 1015 kg per jaar, of 25 % van de toegediende hoeveelheid droge organische stof.

Vormde 26400 kg ook 25 % van de wortel- en stoppelresten, dan zouden deze per jaar 7 ton moeten bedragen. Dit is nu uitgesloten bij 6 × graan, 1 × aardappelen, 3 × mais, 1 jaar lupine en 4 jaar kunstweide; gemiddeld zal dit zeker niet meer dan

3,5 bedragen hebben, zodat er zeker 50 % gehumificeerd is. Bij gelijke hoeveelheden droge organische stof in wortels en stalmest laten de eerste de dubbele hoeveelheid humus achter van de tweede, terwijl de hoeveelheid droge organische stof van wortels en stoppels aanzienlijk groter is dan die van de in de praktijk bruikbare en in totaal beschikbare hoeveelheid stalmest.

In de 3 objecten liepen de N en P_2O_5 gehalten parallel met de humusgehalten, en bedroegen in % hiervan resp. 4,9 en 1,7; de C/N verhouding was constant n.l. 11,7. Deze cijfers kunnen een aanwijzing zijn, dat de humus in de 3 objecten van gelijke geaardheid was.

Ook GERICKE (7) constateert, dat de kunstmest de humus niet vernietigt, maar doet toenemen, en zelfs, via de wortelontwikkeling in dit opzicht effectiever is dan stalmest.

Intussen kunnen onder andere omstandigheden geheel andere waarden gevonden worden. Zo ziet men in een artikel van schrijver dezes (12) dat in Pr 65 de wortel en stoppelresten géén humus achterlieten, en stalmest en compost 3% van de droge stof. Dit is ongeveer 25% van de organische stof in stalmest, en nog meer van die in compost.

Een ander voorbeeld in hetzelfde artikel is ontleend aan een proef te Jipsinghuizen. Hier kwamen voor de objecten:

1. Steeds kunstmest.
2. Stadscompost in 1925, verder als 1.
3. Stalmest in 1925, verder als 1.

Van 1927 tot 1930, dus uitsluitend op nawerking van stalmest en compost bleek in deze objecten de gehele wortel- en stoppelmasa gehumificeerd te worden, waarbij echter de toename in humusvoorraad niet evenredig was aan de opbrengsten.

Het is dus van belang, teneinde in staat te zijn de achteruitgang van de humusvoorraad te stuiten, in de literatuur gegevens te verzamelen over, en onze proeven toe te spitsen op de mate, waarin de verschillende beschikbare organische meststoffen bijdragen tot de humusvorming, en de voorwaarden, welke hiertoe vervuld moeten zijn.

LITERATUUR

1. BEAR, F. E. The Test of Time. *American Fertilizer* 109-12, (1948) 7-9, 24.
2. —, and R. M. SALTER, The residual effects of fertilizers. *West-Virginia Agr. Exp. St. Bull* 160, 1916.
3. BEYERINCK, M. W. L'influence des microbes sur la fertilité du sol et la croissance des végétaux supérieures. *Arch. néerl. des Sciences exact. et nat.* (2) IX (1904) Programme pour l'année 1904 VIII—XXXVI.
4. BRUIN, P. De betekenis van kalk en van organische bemesting voor de bodemvruchtbaarheid in Nederland. *Meded. „Centr. Bur. Rotterdam”*, 33 (1949) 15—31.
5. DEMOLON, M. A. Pertes de carbone en sol cultivé sans fumier depuis douze ans. *Comptes rendus hebdom. des séances de l'acad. d'Agric. de France* 35 (1949) 406.
6. DUIVERMAN, J. J. De landbouwscheikundige basis van het streekplan. *Diss. Wageningen* (1948).

7. GERICKE, S. Ernterückstände und Humushaushalt des Bodens *Chem. Ztg.* **67** (1943).
8. HILGARD, E. W. Zur Erkennung des Düngebedürfnisses der Boden für Stickstoff. *Deutsche landw. Presse* **22**, (1895) 490.
9. JENKINS, S. H. Organic Manures, *Techn. Comm.* 33 of the Imp. Bureau of Soil Sci. 1935.
10. KÖNIG, J., J. HASENBÄUMER und H. GROSZMAN. Das Verhalten der organischen Substanz des Bodens und der osmotischen Druck derselben. 3. *Landw. Versuchsstationen* **69** (1908) 22—31.
11. KORTLEVEN, JAC. Richtlijnen van het Compostonderzoek *T.N.O.-Nieuws*, **4** (1949) 85—93.
12. — De waarde van stadskompost als organische meststof. *Versl. Landbouwk. Onderz.* **56** 5 (1950).
13. LAATSCH, W. Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit. *Bau-Rundschau* **87** (1947) 327—342.
14. — Untersuchungen über die Bildung und Anreicherung von Humusstoffen. *Berichte über Landtechnik*, Heft 4, 1948.
15. — Untersuchungen über Bildung und Anreicherung von Humusstoffen. *Beiträge zur Agrarwissenschaft*. III, (1948).
16. —, und O. BIENECK Untersuchungen über den Wert des Mülls als Düngemittel und Kompoststrohstoff. *Ceres*, **1**. 7/8, (1948).
17. LATHROP, E. C. Organic nitrogen compounds in soils and fertilisers. *Journ. Franklin Inst.* **183** (1917) 169—206, 303—321, 465—498.
18. LÖHNIS, F. Handbuch der Landwirtschaftlichen Bakteriologie (1935) 225.
19. MASCHHAUPT, J. G. Lysimeteronderzoekingen II. *Versl. Landbouwk. Onderz.* **47** (4) A (1941) 393.
20. — Resultaten verkregen bij het onderzoek der Groninger klei- en zavelgronden (1943).
21. MATTSON, S. and E. KOUTLER-ANDERSON The acid-base condition in vegetation, litter and humus. *Lantbrukshögskolans Ann.*, Uppsala I—IV vol. 9, (1941), V vol. 10 (1942), VI—VII, vol 11, (1943).
22. MEYER, C. Het humusgehalte van de grond. *Landbouwk. T.* **53** (1941) 345—367.
23. MEYER, L. Ton-Humuskomplexe als Träger der Bodenfruchtbarkeit und als Bodenverbesserungsmittel. *Forschungsd.* **11** (1941) 344—355.
24. RUSSELL, E. J. Soil Conditions and Plant Growth (1932).
25. SCHEFFER, F. Agrikulturchemie C, Humus und Humusdüngung (1941).
26. SOUCL, S. W. Die Chemie des Moores (1938).
27. SPITHORST, C. De methodiek der Humusbepalingen. *Versl. Landbouwk. Onderz.* **38** (1932) 65—103.
28. VENEMA, K. C. W. Rapporten inzake VAMcompost 1941 (betreft vermoedelijk de door L. MEYER beschreven „Ewiger Roggenbau“).
29. VRIES, O. DE en F. J. A. DECHERING Grondonderzoek, Groningen (1948).

II. KUNSTMATIGE STABIELE HUMUS

1. HISTORISCH OVERZICHT

Het onderzoek betreffende het bereiden van stabiele humus is aanvankelijk gegroeid uit het streven om meststoffen zonder „ballaststoffen” te maken¹. De redenering was, dat bij het toedienen van plantenvoedingsstoffen in de vorm van minerale zouten, storende neveninvloeden konden uitgaan van de niet gebruikte bestanddelen, terwijl deze in het gunstigste geval altijd nog prijsverhogend werkten door hogere transportkosten. Dit zou te ondervangen zijn, door de plantenvoedende bestanddelen te binden aan organische verbindingen, die zelf ook een gunstige invloed op de grond konden uitoefenen door humusverrijking.

LÖHNIS (8) geeft een uitvoerig overzicht van pogingen in deze richting, waarvan de oudste reeds dateert van 1897. Hoewel de producten nooit veel opgang gemaakt hebben, is de idee toch steeds levend gebleven en na 1930, vooral in Duitsland, weer meer naar voren gekomen. Zo bereidden CROWTHER en BRENCHLEY (1) verbindingen uit kalium- en ammoniumzouten en bepaalde bruinkolen, welke rijk aan huminezuren zijn. SCHEFFER (16) deed hetzelfde met lignine. Na 1930 waren in Duitsland dergelijke humushoudende meststoffen uit turf bereid, in de handel onder namen als Huminal, Biohum, Nettolin, e.a. Dit waren z.g. „mineraalturfcomposten”². Biohum werd bereid met uitgerot rioolslib als leverancier der voedingszouten.

Nog onlangs werd een Frans procédé voor industriële bereiding van organische kunstmest uit turf in Frankrijk en Nederland gepatenteerd (Ned. Pat. aanvraag nr. 143210).

Verreweg de belangrijkste stoot in deze richting is in ons land gegeven door HUDIG, die omstreeks 1940 na omvangrijke en jarenlange studies kwam tot de industriële bereiding van actieve stabiele humus door humificering van turf met ammoniak onder toevoeging van mineralen (Al_2O_3 en Fe_2O_3) bij bepaalde omstandigheden van temperatuur en druk (6).

Omtrent deze kunstmatige humusmeststoffen zijn de meningen verdeeld. Zo is het oordeel van KAPPEN (7), dat geen der meststoffen, bereid door de vrije humuszuren in turf of bruinkool met basen te verzadigen, resultaat hebben opgeleverd, zodat de landbouw blijft aangewezen op de gebruikelijke wijze van voorziening met organische stof. SCHEFFER (17 pag. 166) zegt van dit soort producten dat zij als meststof goed voldeden, maar dat zij wat betreft hun werking op de grond nog onvoldoende onderzocht zijn, zodat hierover nog geen oordeel te vellen valt. SCHMIDT (19) echter constateerde, dat Nettolin werd afgebroken tot CO_2 , zodat een verhoogde CO_2 -ontwikkeling optrad, welke $5 \times$ zo sterk was als die bij turf (bij Huminal B was deze even snel als bij turf); verder — zonder evenwel gegevens te verschaffen, waaruit

¹ Of deze ballaststoffen werkelijk uitsluitend ballast zijn, staat overigens nog te bezien, nu blijkt, dat door het toenemende gebruik van hoogwaardige meststoffen steeds meer gebreksverschijnselen gaan optreden.

² Voor de bereiding hiervan bestond een handleiding, opgesteld door de „Torfhumusdienst” (3). Volgens deze handleiding moet men 1 baal hoogveenturf goed mengen met 5 kg kalkstikstof; 7 kg zwavelzure kalimagnesia (K_2SO_4 , MgSO_4 , 6 aq) en 7 kg Thomasslakkenmeel toevoegen met zoveel water als het materiaal kan opnemen. Hiervan een goed aangedrukte, dakvormige hoop maken van 1,20 breed en 0,60 m hoog, afgedekt met een handbreedte aan grond. Gedurende 4 weken hebben dan omzettingen plaats tussen turfmoel en zouten. Na 4 weken omzetten, waarbij de deklaag doorwerken. Daarna op dezelfde wijze weer opzetten, zo nodig bevochtigen en weer afdekken. Na nog eens 3 weken weer doorwerken, waarna het product gereed is.

de waargenomen feiten te verklaren zouden zijn —, dat Nettolin in het 1e jaar een aanzienlijk grotere opbrengst gaf dan de 10 × zo grote hoeveelheid stalmest (merkwaardigerwijs ondanks het feit, dat er minder N, P en K opgenomen was), in het 2e jaar echter een even veel lagere. Verder stelde MEYER (10) vast, dat het een sterke en lang aanhoudende nitraatvorming veroorzaakte.

Deze feiten moesten volgens MEYER aldus verklaard worden, dat de humus uit de turf geactiveerd was, wat zijn invloed op bodembioologische reacties betreft. Ook laboratoriumonderzoekingen wezen erop, dat Nettolin het meest actieve der in de handel gebrachte turfproducten was. Volgens SPRINGER (vermeld door MEYER) onderscheidde Nettolin zich van turf, doordat het gehalte aan huminezuren aanzienlijk was gestegen, terwijl dat aan lignine, evenals het reeds lage gehalte aan huminen nog duidelijk teruggelopen was. Hij acht het daarom waarschijnlijk (daar huminen niet gemakkelijk aantastbaar zijn) dat huminezuren gevormd zijn uit niet-gehumificeerd materiaal, vermoedelijk uit de ligninen. Deze zouden dus in aanzienlijke mate zijn omgezet in meer actieve, maar ook meer beweeglijke en gemakkelijker aantastbare vormen. Het gevaar was dus aanwezig, dat de ontstane verbindingen snel zouden worden verbruikt of gemakkelijk zouden uitspoelen. Dit bleek ook het geval te zijn (19). De aanwezige kalk (40 % op drooggewicht) werkte onvoldoende stabiliserend.

Om werkelijke stabiliteit te verkrijgen, zouden de beweeglijke humuszuren zich, meende MEYER (11), met een minerale aluminiumsilicaatcomponent moeten kunnen binden tot humuskleicomplexen. Daar deze component in Nettolin ontbrak, kwam hij ertoe het te behandelen met sterk adsorptieve klei, ten einde uit beide sterk adsorptieve componenten humusklei-„mengsels” te verkrijgen, geschikt als meststof en bodemverbeteringsmiddel.

Het bestaan hiervan was ook reeds lang bekend. Zo vermeldt LÖHNIS (8) een publicatie van 1904, waarin een gunstig resultaat besproken werd, verkregen met een humusmeststof, bereid uit turf met aluminiumfosfaat (en geconcentreerde kalizoutoplossing), verder vermeldt hij humuskiezelzuur-preparaten, waarover gepubliceerd werd in 1908 en 1909. Zelfs was het reeds aan SPRENGEL in 1826 bekend, dat humuszuren verbindingen konden aangaan met klei en ijzer (17 pag. 19). Voorts zijn in de praktijk van de landbouw aardcompost (21), toemaak e.d. waar grond met organische stof werd gemengd, oude bekenden. In recente tijd heeft HOWARD (5) met zijn Indrècompost ook doelbewust dit principe toegepast. In dit verband moge terloops gewezen worden op het door verschillende onderzoekers geconstateerde feit, dat in kleigronden het humusgehalte tot op zekere hoogte stijgt met het kleigehalte (bij een toename van het gehalte aan afslibbaar met 10 % stijgt het humusgehalte met ca 0,4 %). Het zou zeer aantrekkelijk zijn, dit in verband te brengen met de vorming van stabiele kleihumuscomplexen, ware het niet, dat nog geenszins bewezen is, dat deze complexvorming (mede) de geconstateerde stijging in humusgehalte veroorzaakt, zodat nog andere verklaringen mogelijk zijn.

2. RECENTE ONDERZOEKINGEN

MEYER gebruikte als Nettolin het sedert 1931 in de handel zijnde product van de „Vereinigte Bleicherdefabriken A. G. München in Moosburg bei Freising” met samenstelling: vocht 20 %, N 2,5 %, P_2O_5 2,8 %, K_2O 4,— %, $CaCO_3$ 32,8 %, org. stof 37,3 %, C in org. stof 64 %.

Van verschillende soorten klei bleek zuivere klei van het calcium-montmorilloniet-type het sterkst adsorptief te zijn; de formule hiervan is $\text{H}_2\text{O} \cdot 4 \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n \text{ aq.}$ volgens HOEFMANN (4). Daarom maakte MEYER gebruik van in Beieren veel voorkomende klei, welke een typische vertegenwoordiger vormt van het montmorilloniet-type: SiO_2 58 %, Al_2O_3 12 % (dus 4,47 SiO_2 : 1 Al_2O_3), Fe_2O_3 7,5 %, MgO 2,8 %, CaO 1,5 %, gloeiverlies 8,2 %.

Het Nettolin werd gedroogd en gezeefd. Het montmorilloniet werd gedroogd en stoffijn gemalen. Daarna werden zij innig vermengd en liet men ze bij een bepaalde vochtigheidsgraad en temperatuur gedurende een bepaalde tijd op elkaar inwerken (de juiste werkwijze wordt dus niet vermeld). Het eindproduct was volkomen homogeen, in vochtige toestand zeer poreus en sterk gekruimeld (zulks in tegenstelling zowel met Nettolin als met montmorilloniet).

Om te onderzoeken of een mengsel, dan wel een verbinding ontstaan was, werd de oplosbaarheid in verdunde ammoniak bepaald bij verschillende mengverhoudingen. Deze is zeer groot bij Nettolin, maar naarmate meer montmorilloniet gebruikt was op eenzelfde hoeveelheid Nettolin, ging hiervan in dezelfde hoeveelheid oplosmiddel minder in oplossing, en was er meer onoplosbaar geworden. Er heeft dus een vastlegging of stabilisering van de gemakkelijk oplosbare humusstoffen plaats gehad. Daar het eindproduct andere eigenschappen heeft dan de componenten, is het dus geen mengsel.

In de grafiek (fig. 4) is het verloop van de oplosbaarheid van eenzelfde hoeveelheid Nettolin bij verschillende toevoegingen van montmorilloniet weergegeven. Deze oplosbaarheidslijn verloopt asymptotisch aan beide assen. Vanaf de mengverhouding Nettolin: montm. = 1 : 1 à 1,5 verandert de oplosbaarheid weinig meer. Uit de grafiek is verder af te lezen, dat om b.v. 80 % oplosbaar te hebben, dus 20 % onoplosbaar, de verhouding Nettolin: montm. = 1 : 0,1 of 100 : 10 moet zijn; op deze

FIG. 4. Invloed van montmorilloniet op de oplosbaarheid van Nettolin en van NH_3 en K_2O in Nettolin.

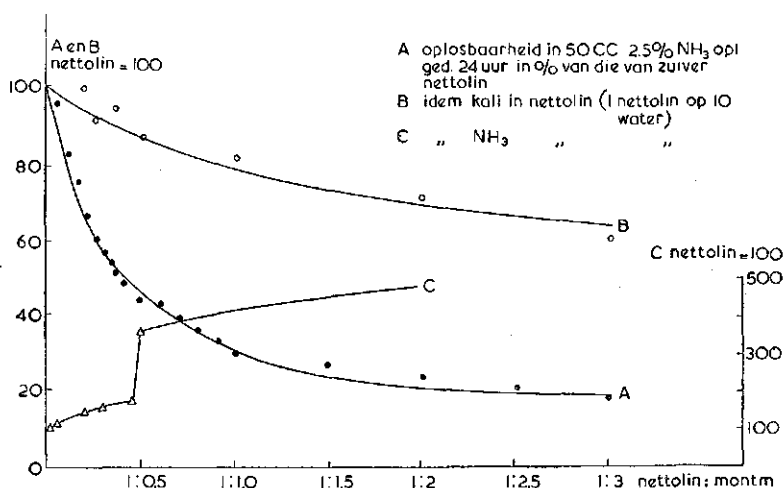


FIG. 4. Influence of montmorillonite on the solubility of Nettolin and of NH_3 and K_2O in Nettolin. A Solubility of Nettolin; B Id. of K_2O in Nettolin; C Id. of NH_3 in Nettolin.

wijze blijken per 100 delen Nettolin nodig te zijn om resp. 0—20—40—60—80—100 delen ervan oplosbaar te maken, resp. 0—10—22,5—65—250— ∞ % montmorilloniet. De hoeveelheid montmorilloniet, benodigd om eenzelfde hoeveelheid Nettolin oplosbaar te maken stijgt dus steeds sneller, n.l. zijn nodig voor het oplosbaar maken van de 1e, 2e, 3e, 4e en 5e fractie van 20 % van het Nettolin resp. 10—12,5—42,5—185— ∞ % montmorilloniet.

Het asymptotisch verloop wetigt het vermoeden, dat de vastlegging geschiedt langs adsorptieve weg, en dat er klei-humus-complexen gevormd zijn.

Verder werd nog bepaald de oplosbaarheid in water van K_2O en NH_3 uit het Nettolin bij een verhouding van Nettolin : H_2O = 1 : 10 (tabel 5).

TABEL 5. Oplosbaarheid van K_2O en NH_3 en adsorptieve binding van CaO bij stijgend montmorillonietgehalte

Nettolin: montmorilloniet	Opgelost in % van oplosbaar bij zuiver Nettolin			
	Nettolin	K_2O	NH_3	Adsorptief gebonden CaO in % van die in Nettolin
100 : 0	100	100	100	100
100 : 20	65	95	150	114
100 : 25	60	92	161	118
100 : 33	55	90	166	122
100 : 50	45	87	353	
100 : 100	30	78	405	156
100 : 200	21	69	475	215
100 : 300	18	63		298

Nettolin : montmorillonite	Nettolin	K_2O	NH_3	CaO held by adsorption, in % of CaO in Nettolin
	Dissolved in % of soluble with pure Nettolin			

TABLE 5. Solubility of K_2O and NH_3 and adsorptive retention of CaO with increasing montmorillonite content

De oplosbaarheid van K_2O verminderde dus, maar veel minder snel dan die van Nettolin zelf, zodat een gedeelte van de K_2O door de klei is geadsorbeerd. Door uitwisseling werd NH_3 vrijgemaakt, waarvan n.l. de oplosbaarheid sterk verhoogd werd. Opvallend is de markante stijging in oplosbaarheid van NH_3 tussen de mengsels met 33 en 50 % montm. (zie de grafiek in fig. 4).

Van de 18 % CaO in Nettolin is slechts een achtste gedeelte adsorptief gebonden of uitwisselbaar (bepaald volgens BEHERING met NH_4Cl). Deze hoeveelheid stijgt tot het drievoud bij toenemend kleiaandeel in het complex (tabel 5).

De eindproducten bevatten dus gestabiliseerde klei-humus-complexen, verder nog beweeglijk organisch materiaal, nog niet omgezet dus nog humificeerbaar materiaal en bovendien bezitten zij in het kleibestanddeel ook nog adsorberend materiaal.

Het laat zich dus aanzien, aldus concludeert MEYER, dat een menging met veel klei, waardoor een hogere stabiliteit en sterkere adsorptie verkregen wordt, van belang zal zijn voor zandgronden; maar dat daarentegen verhoging van de adsorptie

op zwaardere gronden wel eens overbodig of zelfs nadelig zou kunnen zijn; hiervoor zouden dus de minder gestabiliseerde en minder adsorptieve mengingen in aanmerking komen, terwijl de binding in de grond zou moeten plaats hebben aan de daarin aanwezige kleimineralen. Deze mening is ook SCHEFFER toegedaan (17 pag. 183), die zegt, dat toename in gehalte aan werkelijk stabiele humus (dus geen geconserveerde niet-stabiele producten) op zandgrond slechts mogelijk is door humusbestanddelen in de organische stof, welke gebonden zijn aan anorganische sorptiedragers, zodat de ideale mest voor deze gronden zou zijn aardcompost. Tegen dit laatste is echter aan te voeren, dat de aarde voor deze aardcompost dan echter niet mag bestaan uit niet sorptief zand, maar van elders moet worden aangevoerd.

Op deze onderzoeken voortbouwende, trachten SIEGEL en MEYER (20) door middel van een minerale component, wederom montmorilloniet, bij stal mest de verliezen aan humusstoffen, stikstof en droge stof in de ier en in weinig adsorberende gronden te verminderen. Hiervoor werd gebruik gemaakt van montmorilloniet, merk „Terrana, D” van de Vereingde Bleicherdefabriken A.G. München; deze werd uitgestrooid op dunne lagen van de mest, daar een innige menging niet mogelijk was. Bereid werd „koude mest” en „warme mest” volgens de hiervoor gegeven voorschriften. Na afloop van de stapeling werd met aarde afgedekt en 4 maanden met rust gelaten. Toegevoegd werd 5 % montmorilloniet op nat gewicht (volgens de bijgevoegde tabellen echter minder). De temperaturen van de koude mest lagen omstreeks 35°, met en zonder montmorilloniet (dus hoog voor koude mest); die van de warme mest met klei omstreeks 55° (dus laag voor warme mest) en zonder klei hoger; echter wordt niet vermeld, hoe groot dit verschil was. Het verloop is weer gegeven in tabel 6.

TABEL 6. Koude en warme mest met en zonder toevoeging van montmorilloniet

	Ingebracht			Gerotte mest		Verlies droge stof in %	
	Verse mest	Droge stof	Montm.	Droge stof	Droge stof excl. montm.		
Koud met ..	2709	570,8	115,—	630,6	515,6	9,7	
Koud zonder	2647	553,9	—	451,5	451,5	18,5	
Warm met ..	2612	548,7	109,5	521,3	411,8	24,9	
Warm zonder						23,8	
	<i>Fresh ma- nure</i>	<i>Dry matter</i>	<i>Montm.</i>	<i>Dry matter</i>	<i>Dry matter excl. montm.</i>	<i>Loss of dry matter in %</i>	
	<i>Applied</i>			<i>Rotten manure</i>			

TABLE 6. Cold and warm manure with and without addition of montmorillonite

De warme mest onder montmorilloniet is onder niet geheel vergelijkbare omstandigheden bereid, zodat het laatste cijfer, evenals de andere nog te noemen resultaten van warme mest zonder montmorilloniet niet zonder meer vergelijkbaar zijn.

Bij de koude mest is het verlies aan droge stof door montmorilloniet bijna de helft lager geworden; bij de warme mest, waar het verlies bovendien veel groter was, echter niet (hoewel dit niet voldoende bewezen is, zie boven).

TABEL 7. Invloed van montmorilloniet op C- en N-verlies in stalmest

	Verlies in %		C/N		Gem. N-gehalte van de ier in %	
	C	N	Verse mest	Gerotte mest		
Koud met . . .	16,4	9,-	20,5	19,-	0,173	<i>Cold with Cold without Warm with Warm without</i>
Koud zonder . .	28,-	10,9	20,9	17,-	0,184	
Warm met . . .	25,1	6,1	21,-	17,-	0,145	
Warm zonder . .	24,9	17,6	19,6	17,9	0,138	
	C	N	Fresh ma- nure	Rotten manure	Average N-Contents of soakwater in $\frac{0}{100}$	
	Loss in $\frac{0}{100}$		C/N			

TABLE 7. Influence of montmorillonite on C and N losses in stable manure

De C/N verhoudingsen ondergaan (zie tabel 7) geen noemenswaardige veranderingen tengevolge van de 4 behandelingen; gemiddeld dalen zij van 20,5 tot 17,7 dus blijven zij nog vrij hoog (de schrijvers komen hier tot geheel andere conclusies).

De N gehalten in de ier worden niet gewijzigd door montmorilloniet maar lopen wel uiteen bij koude en warme behandeling.

De verliezen aan organische stof en die aan N in de ier maken dus, dat de C/N verhouding praktisch gelijk blijft.

De humificatiegraad (d.i. de hoeveelheid koolstof in de met acetylbromide behandelde stof, C_h , in % van totaal koolstof, C_t), een maat voor de aanwezige huminezuren, is bij verse mest gewoonlijk ± 28 , bij verrotte mest 32; deze was hier in de verse mest 21,6 (dus laag) en steeg bij koude mest met en zonder montmorilloniet tot resp. 26,1 en 27,2 en bij warme mest met montmorilloniet tot 29,3. Ook hierop was dus geen of slechts een geringe invloed.

Voorzover gequalificeerd door C/N en humificatiegraad, zijn de ontstane producten gelijk van samenstelling, en bestaat de mogelijkheid, dat althans bij de koude mestbereiding de totale hoeveelheid organische stof, die overblijft, door montmorilloniet verhoogd wordt.

Hierna heeft MEYER zijn onderzoek nog verder uitgebreid. Zo is in plaats van montmorilloniet ook gebruik gemaakt van industriële afvalproducten, v.n. bruinkoolas, die echter volgens MEYER eerst een ontsluitingsproces moet ondergaan ter verhoging van de sorptiemogelijkheden; hij deelt hieromtrent mede (echter zonder enige exacte gegevens te vermelden), dat het resultaat gunstig was.

Daarna werd gebruik gemaakt van basaltmeel. Dit heeft een basisch karakter en vormt gemakkelijk leem (d.w.z. secundaire kleimineralen). Roggestro (C/N = 33) gemengd met 5 % kalkstikstof en 10 % basaltmeel werd op een betonbodem 2 m hoog opgestapeld, waarbij de temperatuur opliep tot 60–70° C. Na 4½ maand (toen C/N 23 was en het watergehalte 57,5 %) werd overgestapeld op een weide, waarin zich veel regenwormen bevonden. Het materiaal was los gestapeld, afgedekt en beschaduwde. Vele wormen, duizendpoten enz. gingen uit de grond in de hoop over. Er trad geen temperatuursverhoging meer op. Een jaar later werd, weer voor een jaar, opnieuw op de betonvloer gestapeld en afgedekt. Het materiaal bevatte toen

(na bijna $2\frac{1}{2}$ jaar) 51,2 % org. stof, 39,7 % as en 9,1 % vocht; pH = 6; C/N = 13,7; CO_2 = 7,46 %. Op het oog waren te onderscheiden roggestro — reeds goed verrot — en daarnaast volkomen aardachtig materiaal, te herkennen als excrementophoppingen, v.n. van wormen. Beide werden afzonderlijk geanalyseerd.

De gehaltecijfers van tabel 8 zijn uitgedrukt in % van totaal luchtdroog, behalve die tussen haakjes, welke in % van droge org. stof zijn uitgedrukt.

TABEL 8. Strocompost met basaltmeel, wel en niet door wormen verteerd

	Verrot stro	Excrementen	
Droge org. stof	85,—	21,4	<i>Dry organic matter</i>
As	6,8	64,8	<i>Ashes</i>
Vocht	8,2	6,4	<i>Moisture</i>
CO_2	—	7,4	CO_2
	100,—	100,—	
Ct (excl. CO_2)	39,3 (46,2)	16,1 (75,2)	<i>Ct (excl. CO_2)</i>
Ch	15,3 (18,—)	11,2 (52,3)	<i>Ch</i>
Humificatiegraad Ch/Ct . . .	38,9	69,5	<i>Humification degree Ch/Ct</i>
C/N	18,—	10,6	<i>C/N</i>
	<i>Rotten straw</i>	<i>Excreta</i>	

TABEL 8. Straw compost with basaltic meal, digested and not digested by worms

Begrijpelijkerwijze hebben de excrementen een veel hoger asgehalte dan het stro, daar dit niet of weinig met klei gebonden is; het org. stofgehalte is dienovereenkomstig lager. Evenzo het totale gehalte aan koolstof, echter niet evenredig. Het stro bevat in zijn organische stof een te laag C-gehalte (46,2), de excrementen te hoog (75,2), daar goede humus 58—60 % C bevat.

De in acetylbromide onoplosbare fracties ontlopen elkaar niet veel (15,3 en 11,2) en daardoor in verband met de ongelijke Ct, de humificatiegraad weer wel.

Als gevolg van het passeren door de wormenlichamen waren dus veel echte humusstoffen ontstaan, welke het resultaat waren van de hierin ondergane omvormingen van zowel het minerale als het organische deel bij innige aanraking, zodat de ontstane producten in statu nascendi op elkaar hadden kunnen inwerken. Er bleken uitsluitend bruine en geen zwarte huminezuren te zijn ontstaan. Deze hadden in de wormaarde een hoger basengehalte, v.n. Ca, zodat ze Ca-humaat bevatten; de kalk wordt dus door de wormen geconcentreerd. Bij het passeren door het wormenlichaam verandert dus het onverteerbare deel van het stro in een op bodemhumus gelijkend product, nadat de wormen het verteerbare er uit genomen hebben. Nu was reeds bekend, dat het minerale deel van de grond bij dit proces mechanisch verkleind, en dus door het vergrote oppervlak sterk aantastbaar en oplosbaar werd. Dit bleek ook uit de analyse van basaltmeel en wormaarde (in % op droge stof).

Röntgenographisch aan fijndisperse fracties werd in basaltmeel monoklien augiet vastgesteld en in de wormaarde calciet. Er had dus een biologische verandering plaats gehad. Kleimineralen werden echter niet gevonden. De schrijver concludeert hieruit, dat er dus geen „grond” gevormd was, hoe het product er ook op leek (de

term „grond” is hier m.i. niet gelukkig, daar volgens deze opvatting zandgrond, zonder kleimineralen, ook geen grond zou zijn.) Uit dit resultaat volgt echter, dat ook complexen gevormd kunnen worden met andere minerale bestanddelen dan kleimineralen.

Wij kunnen hier ook de conclusie trekken (welke schr. niet getrokken heeft), dat, als het in $2\frac{1}{2}$ jaar niet gelukt deze te vormen, het dan geen zin heeft te trachten deze in de composthoop uit de primaire mineralen te doen vormen. Het is dan altijd voordeliger uit te gaan van montmorilloniet. Er is bij dit onderzoek helaas geen vergelijking gemaakt tussen met basaltmeel en met montmorilloniet ontstaande producten. MEYER blijft echter in latere publicaties de voorkeur geven aan montmorilloniet.

In 1941 b.v. gaf MEYER (12) een samenvatting van diverse gezichtspunten en van eigen onderzoekingen op dit gebied. Hij wijst erop, dat gebleken is, dat de hiervoor beschreven, zelf bereide klei-humus-complexen slechts ontstaan zijn door oppervlaktewerking, waarbij de Ca-ionen de verbinding vormden; er was dus geen innige, sorptieve binding, welke wel aanwezig is bij goede humus in natuurlijke omstandigheden, b.v. in de zwarte aarde van Midden-Duitsland. Het minerale deel hiervan bestaat uit kristallijne Al- en Fe-silicaten met de structuur van montmorilloniet en glimmer, en het organische deel uit kristallijne humuszuren van grafietachtige structuur. De laatste bevinden zich binnen in het kristalrooster van de eerste. Het lukte echter niet, dit zelf tot stand te brengen. Dit is wel gelukt bij kunstmatige permutieten, d.w.z. aluminiumsilicaten ($\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 = 1 : 3$) in niet kristallijne colloïdale toestand met hoge sorptiecapaciteit. Deze werden bereid door bij een oplossing van natriumhumaat en natriumsilicaat zoveel AlCl_3 toe te voegen, dat de verhouding (omgerekend) $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 = 1 : 3$ ontstond. Het neerslag werd bij 50° gedroogd, nadat door behandeling met chloriden kationen waren toegevoegd. Van de ontstane complexen loste niets in water op, ook niet de eenwaardige kationen Na, K en NH_4 . In proeven volgens de kiemplantenmethode van NEUBAUER en in potproeven bleken de planten ze wel te kunnen bereiken. Deze complexen waren zeer innig gebonden. Hieruit wordt de conclusie getrokken, dat voor deze innige binding het minerale en organische gedeelte niet kant en klaar aan elkaar moeten worden toegevoegd, daar dan slechts een oppervlakkige binding optreedt, doch dat zij zich in statu nascendi onderling moeten binden. In de bodem betekent dit dus, dat gelijktijdig naast elkaar gevormd moeten worden: 1e kristallijne fracties der secundaire montmorilloniet- en glimmerachtige kleimineralen door verwerking van de reserve aan primair gesteente (via zeolotische en permutitische tussentrappen); en 2e hiertussenin huminezuren uit de organische stof.

Tegen deze zienswijze valt van mineralogisch standpunt, wel een en ander op te merken, speciaal tegen de mening, dat het minerale en het organische gedeelte van het klei-humuscomplex zich in statu nascendi onderling zouden moeten binden. Na bespreking met VAN DER MAREL kunnen de bedenkingen hiertegen als volgt geformuleerd worden. Naar de nieuwere inzichten vormt het kleimineraal montmorilloniet, waarvan de afmetingen in de afzonderlijke, niet geaggregeerde deeltjes gaan tot $\pm 100 \mu\mu \times 5 \mu\mu$, met diverse organische verbindingen, welke OH-groepen bezitten — zoals glycerine, gelatine, lignine, evenals water — een complexe verbinding, doordat de OH-groep zich tegen de O-ionen van het montmorillonietkristal aanlegt. Zodoende komt de brug — OH O < tot stand, welke een zekere mate van stabiliteit bezit.

De betreffende organische verbindingen hechten zich niet alleen aan de buitenzijde van het kristal, maar *schuiven* ook tussen de kristalroosterplaten van montmorilloniet (dit in tegenstelling met de opvatting van MEYER, dat zij voor een innige doordringing naast en door elkaar en gelijktijdig zouden moeten ontstaan). Door dit inschuiven van de organische verbindingen wijken de roosterplaten uiteen en worden dan nog slechts door van der Waalse krachten bijengehouden. Bij gebruik van water wordt, zoals uit het onderzoek van MAC EWAN (9) blijkt, een uitwijking geconstateerd van een veelvoud van $3 \text{ \AA}$ (ÅNGSTRÖM-eenheden); dit stemt ongeveer overeen met de grootte van het watermolecuul (maximaal bevinden zich 4 van deze lagen tussen de platen). Bij gebruik van albuminen vonden ENSMINGER en GIESKING (2) een uit elkaar wijken van niet minder dan $\pm 45 \text{ \AA}$.

Waar dus verschillende organische verbindingen, ook in geval van grote moleculen als bij de albuminen, zich spontaan kunnen binden aan, en zelfs tussen de kristalroosterplaten, moet de kans zeer groot worden geacht, dat ook huminezuren hiertoe in staat zijn; dit is echter niet bewezen, daar hiermede nimmer geëxperimenteerd is (wat zeker nodig zal zijn).

De noodzaak van het gelijktijdig ontstaan van beide componenten welke door MEYER wordt vooropgezet, is dus in elk geval aan twijfel onderhevig. Ook dit ontstaan zelf van kleimineralen is niet zonder bedenkingen. Immers, kleimineralen ontstaan niet zomaar in de grond door verwerking van de grovere mineralen. Integendeel, dit geschiedt slechts onder bepaalde voorwaarden, waaraan zeker niet altijd voldaan zal zijn in onze landbouwgronden (aldus VAN DER MAREL). Zo wordt b.v. montmorilloniet slechts gevormd uit vulkanische assen bij verwerking onder water of in een semi-ariëd klimaat.

De montmorilloniet-humusverbinding zou, zoals gezegd, als gevolg van het voorkomen van OH-groepen in het molecuul van huminezuur door middel van de $-\text{OH} \dots \text{O} =$ brug een zekere stabiliteit bezitten tegen aantasting door microben en door chemicaliën (o.a. acetylbromide, dat gebruikt wordt om de „stabiële humus” te bepalen). De aggregaatvorming in de grond, waarop de structuur berust, zou dan te verklaren zijn, doordat montmorilloniet bruggen vormt tussen de aanwezige humusdeeltjes; hierdoor ontstaat een honingraatstructuur, waarbij ook gronddeeltjes worden ingesloten, en de tussenliggende poriën water of lucht kunnen bevatten.

Ook ijzer, aluminium, kalk, kiezelzuur enz. kunnen in meer of mindere mate humusdeeltjes onderling verkitten. De hierbij optredende bindingen veroorzaken echter, zoals uit de onderzoeken van LAATSCH en MEYER duidelijk naar voren komt, een veel geringere stabiliteit dan bij binding aan montmorilloniet het geval is.

Door deze andere zienswijze inzake het mechanisme van de vorming van het kleihumuscomplex, worden de volgende conclusies van MEYER uit zijn onderzoeken niet aangetast.

Vorming van colloïdale *echte* humus in de grond is afhankelijk van het feit, of de geschikte mineraalreserve (nog) aanwezig is en of er voldoende basen — v.n. Ca — aanwezig zijn om de complexen te verzadigen, terwijl volgens SCHEFFER (17 pag. 47) slechts die humusstoffen aan klei gebonden worden, die basische eigenschappen hebben; dit zijn dus de huminezuren door hun stikstof-eiwit-gehalte en hoe hoger het N-gehalte is, hoe sterker de binding. Ontbreken en kalk en kleimineraal, dan zal zich geen humus ophopen (18). Is er wel kalk, maar geen minerale component, dan geven de humuszuren slechts calciumhumaten. In kalkhoudende klei zijn de voor-

waarden voor de vorming van complexen dus veel gunstiger dan in zandgrond (zeker alle Nederlandsche zee- en rivierkleigronden bevatten wel enige procenten montmorilloniet).

De geschetste processen komen ook tot stand in de darmkanalen van de bodemfauna, en in de composthoop, waar de verwerking (waarbij volgens MEYER kleimineralen gevormd worden) veel sneller gaat door het gevormde koolzuur en andere zuren, hoge temperaturen en hoog vochtgehalte.

Als slot van dit overzicht willen wij met een enkel voorbeeld aantonen, hoezeer de idee van de vorming van stabiele klei-humus-complexen in Duitsland — en zulks in tegenstelling met ons land — reeds gemeengoed geworden is, en wel aan de hand van een aanhaling uit een dezer dagen verschenen brochure van een verkleinings-apparaat. Hiermede kunnen allerlei grove organische stoffen als stalmest, stro, plantaardige afval enz. verkleind worden, terwijl onder de voordelen, welke worden opgesomd ten aanzien van de compostbereiding wordt medegedeeld dat men er ook „de onmisbare vermenging” met basische stoffen voor de winning van *stabiele humusvormen* mee kan bereiken; hiertoe zijn silicaten en carbonaten (van Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO) b.v. in de vorm van *klei- en leemgrond*, fijne mergel, Thomasmeel, noodzakelijk en het meest geschikt”.

3. CONSEQUENTIES

Na deze uiteenzettingen zal het dus duidelijk zijn, dat deze richting van onderzoek aandacht verdient. Want de hierboven weergegeven denkbeelden plaatsen het organische stof vraagstuk in een geheel nieuw licht. Zij voeren immers tot de volgende conclusies (aannemende, dat zij reeds voldoende gefundeerd zijn, wat o.i. niet geheel zeker is):

Er moet aan vele voorwaarden voldaan zijn, wil het mogelijk zijn, de grond met *echte* humus te verrijken.

De grote vruchtbaarheid van sommige humus en klei bevattende gronden — mits de reactie neutraal of zwak alcalisch is — is veel meer het gevolg van een goed opgebouwd complex (13), dan van een hoog humusgehalte (wat er in kleigrond dan meestal ook niet is). Ons streven moet dus niet zozeer zijn het humusgehalte op te voeren, dan wel te zorgen, dat de humus van goede kwaliteit is. Een geringe hoeveelheid huminezuren, sorptief gebonden aan minerale colloïden (dus klei), het geheel met basen verzadigd, is reeds voldoende.

Waar zandgrond deze kleimineralen mist, moeten zij dus b.v. in compost of stalmest worden toegevoegd¹.

Bij kleigronden zal de verwerking de beperkende factor zijn voor de vorming der complexen, als inderdaad de meest hechte complexen tot stand komen bij het gelijktijdig ontstaan van de minerale en organische component, terwijl de verwerking een slechts traag proces is. Hierin zou mogelijk de verklaring te zoeken kunnen zijn voor het feit, dat in de interprovinciale stabiele humusproefvelden (Hoofdstuk III) in de gevallen, waar er effect op de structuur was, dit zich pas na minstens 3 jaar ging

¹ Het is begrijpelijk, dat in stadsvuilcompost VAM, waarvan het uitgangsmateriaal afkomstig is van den Haag, dat op duinzand gelegen is, weinig kleimineralen gevonden worden (onderzoek VAN DER MAREL). Een proef is ingezet, waarbij stadsvuil met montmorilloniet behandeld is, teneinde de invloed hiervan op de humificatie na te gaan.

openbaren. In deze proeven, die alle genomen zijn op kleigronden (welke keuze in overeenstemming is met de resultaten van de onderzoeken van MEYER), is geen onderzoek verricht aangaande aard en hoeveelheid der voorkomende kleimineralen; het overigens niet verklaarbare optreden c.q. uitblijven van effect met de kleimineralen in verband te brengen is aanlokkelijk, doch o.i. nog niet toelaatbaar.

Het is te hopen, dat in deze richting zal worden doorgewerkt, aangezien het — na al de eisen waaraan volgens de voorgaande beschouwingen voor de vorming der complexen voldaan moet zijn — duidelijk is, dat nog gezocht zou moeten worden naar methoden voor doeltreffende toepassing van de door MEYER aangegeven principes. Te verwachten is, dat de zekerste en snelste weg tot vorming van stabiele klei-humuscomplexen gaat via de stalmest — en composthoop, of zelfs via de fabriek, terwijl dit voor uitgesproken zandgronden zelfs de enige is (tenzij kleimineraal als meststof zou kunnen worden toegediend). Indien deze onderzoeken worden voortgezet, moeten zij hand in hand gaan met mineralogisch onderzoek.

LITERATUUR

1. CROWTHER, E. M. and W. E. BRENCHELEY. The fertilizing value of humic materials. *Journ. Agr. Sci.* **24** (1934) 156—176.
2. ENSMINGER, L. E. and J. E. GIESEKING. The adsorption of proteins by montmorillonitic clays. *Soil Sci.* **48** (1939) 467—474.
3. FRUHSTORFER, A. Humusbeschaffung durch Torfschnellkompost. *Landbau u. techn.* Berlin **5** (1936).
4. HOFMANN, U., K. ENDEL und D. WILM., Röntgenographische und kolloidchemische Untersuchungen über Ton. *Angew. Chemie* **47** (1934) 539.
5. HOWARD, V. A. and J. D. WAD. The Waste Products of Agriculture, their Utilisation as Humus (1931).
6. HUDIG, J. en N. H. SIBUWERTSZ VAN REESEMA. Het probleem van de stabiliteit der Humusstoffen. *Landbouwk. T.* **52** (1940) 371-398, 529-576, 577-634, 882-886.
7. KAPPEN, H. Die künstliche Versorgung des Bodens mit Humus. *Dtsch. landw. Presse* **61** (1934) 535.
8. LÖHNIS, F. Handbuch der landw. Bakteriologie (1935) 548 e.v.
9. MAC EWAN, D. M. C. Complexes of clays with organic compounds. *Trans. Faraday Soc.* (1948) 349—367.
10. MEYER, L., Die Düngewirkung von Nettolin, einem technisch aus Hochmoortorf hergestellten neuen Humus; *Z. f. Pfl. Ern. Düng. u. Bodenk. B* **12** (1933) 262—281.
11. — Darstellung und Verwendung von Humus — Ton — Gemischen als Träger von Pflanzennährstoffen und als Bodenverbesserungsmittel; *Z. f. Pfl. Ern. Düng. u. Bodenk. A* **39** (1935) 211—224.
12. — Ton — Humuskomplexe als Träger der Bodenfruchtbarkeit und als Bodenverbesserungsmittel. *Forschungsd.* **11** (1941) 344—355.
13. — Über Entstehung und Bildung der Ton-Humus Komplexe; *Forschungsd.* Sonderh. **17** (1942) 38.
14. — Mittel und Wege der Humusanreicherung zum Zwecke der Bodenverbesserung; *Forschungsd.* Sonderh. **17** (1942) 72.
15. — Experimenteller Beitrag zu makrobiologische Wirkungen auf Humus und Bodenbildung. *Bodenk. u. Pfl. Ern.* **29** (1943) 119—140.
16. SCHEFFER, F. Masnahmen zur Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit; *Kühn-Archiv* **33**, (1938) 96—100
17. — Agrikulturchemie, C. Humus und Humusdüngung (1942).
18. — Über die Humusanreicherung in statischen Düngungsversuchen; *Forschungsd.* Sonderh. **17** (1942) 84.
19. SCHMITT, L. Beiträge zur Frage der Wirkung der Kunstmistes „Nettolin“, *Dtsch. landw. Presse* **61** Nr 42/43 (1934).
20. SIEGEL, O. und L. MEYER. Untersuchungen über Lagerung und Wirkung von Stalldünger; Teil IV Wirkung einer Beimischung von Montmorillonit-Ton auf Rotte und Humifizierung des Stallmistes; *Z. Bodenk. u. Pfl. Ern.* **7** (1938) 190—199.
21. VENEMA, K. C. W. Derde rapport inzake de mechanische compostering van Stadsvuil (1942) (uitgebracht voor de Commissie voor de verwerking van stedelijke afvalstoffen).

III. INTERPROVINCIALE STABIELE HUMUSPROEVEN 1943—1947

1. VOORGESCHIEDENIS

Bij rondschriften No. S 401 dd 23-7-1942 verzocht de toenmalige Inspecteur van de Landbouw aan een aantal Rijkslandbouwconsulenten, veldproeven aan te leggen met stabiele humus X_2 . Dit product, bereid uit sphagnumveen door oxydatie onder pH-regeling met ammoniak bij 120—125° C en 10 atm. druk werd aangediend als stabiele en actieve humus. Het zou bestaan uit een aantal phenol- en carboxyl-groepen in verhouding 1 : 1. Het molecuul, dat een chinoïde karakter had, bevatte kern-N in een indolbinding, was donkerbruin tot zwart van kleur; het dispergeerde in oplossingen van éénwaardige basen en sloeg met 2-waardige basen en met waterstof weer uit de dispersie neer. Het zou weerstand bieden aan biologische verbranding. Wanneer de uitwisselbare basen door NH_4 waren vervangen bij een pH van 6,5, stond de uitwisselbare N tot de kern-N in verhouding van $\pm 4 : 3$. Door het Al-gehalte kon de stof op fijne klei kleven en deze aggregeren, en dus structuurverbeterend werken op kleigronden. Het geheel had een adsorptie capaciteit van 2,25 millival per g bij pH 6,5. Het bevatte aluminium, om de aanhechting op klei te bevorderen. (Het product X_1 , bestaande uit kiezelzuur, aluminium en humus, was meer geschikt voor zandgrond). Doordat er echter slechts weinig Al werd toegevoegd ($2\frac{1}{2}$ % Al_2O_3 op droge stof) werd slechts een deel der COOH-groepen gebonden; zodoende ontstond een acceptor met vrije COOH- en OH-groepen.

Met de Calhahumus X_2 zouden volgens HUDIG en VAN REESEMA de plastische eigenschappen van klei verminderd worden, waardoor deze minder vast aan elkaar plakt en gemakkelijker uiteenvalt. Dit zou dus kunnen leiden tot een gemakkelijker en daardoor goedkoper grondbewerking en tot grondbewerking op een gunstiger tijdstip, terwijl het ook niet uitgesloten zou zijn, dat de structuurverbetering als zodanig reeds een oogstvermeerdering ten gevolge had.

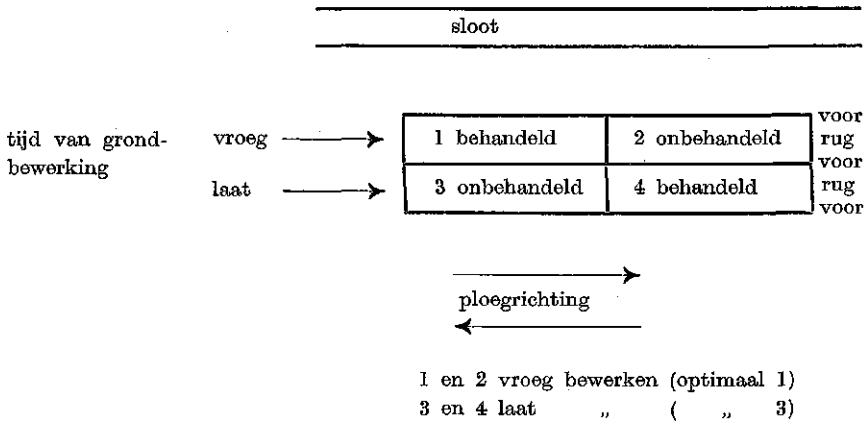
De stof is een amorph zwart poeder, en werd destijds bereid door de N.V. Calha, waarvan de directie gevoerd werd door de N.V. Calvé, Delft en de N.V. Handelsvereniging „Amsterdam”. De N.V. Calha had een proefinstallatie met laboratorium opgesteld in één der fabrieken van de N.V. Mij tot Expl. der Verenigde Oliefabrieken „Zwijndrecht” te Zwijndrecht. Gewerkt werd volgens een procédé, uitgewerkt door SIEUWERTSZ VAN REESEMA (zie *Landbouwk. T.* 1940 No's 639/642 en 1942 No. 660). Deze werkwijze was geöctrooieerd, en het octrooi bevond zich tot medio 1946 in handen van de N.V. Calha.

Voorafgaande aan bovengenoemd rondschrift was in een vergadering te Utrecht onder voorzitterschap van Ir G. VEENSTRA, waaraan werd deelgenomen door Prof. Ir. J. HUDIG, Prof. Dr. O. DE VRIES en enige Rijkslandbouwconsulenten, een voorlopig plan opgesteld. Voorts werd besloten, dat in een vooronderzoek te Groningen aan grondmonsters verschillende eigenschappen van de grond zouden worden bepaald, en te Zwijndrecht onder leiding van VAN REESEMA onderzocht zou worden, of de monsters op stabiele humus reageerden, terwijl laatstgenoemde tevens de drempelwaarden zou bepalen, aangevende de doseringen, waarboven geen verbetering door calhahumus meer te verwachten zou zijn.

In de vergadering op 15 Juli 1942 onder leiding van Ir. WIND, waaraan werd deelgenomen door vertegenwoordigers van de Directie van de Landbouw, het Centraal Instituut voor Landbouwkundig Onderzoek te Wageningen, het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut te Groningen, enige Rijkslandbouwconsulenten en de N.V. Calha, werden de plannen nader vastgesteld. Besloten werd tot 2 schema's van veldproeven.

FIG. 5. Interprovinciale proefschema's voor Calha-humusproefvelden

Schema A.



Schema B

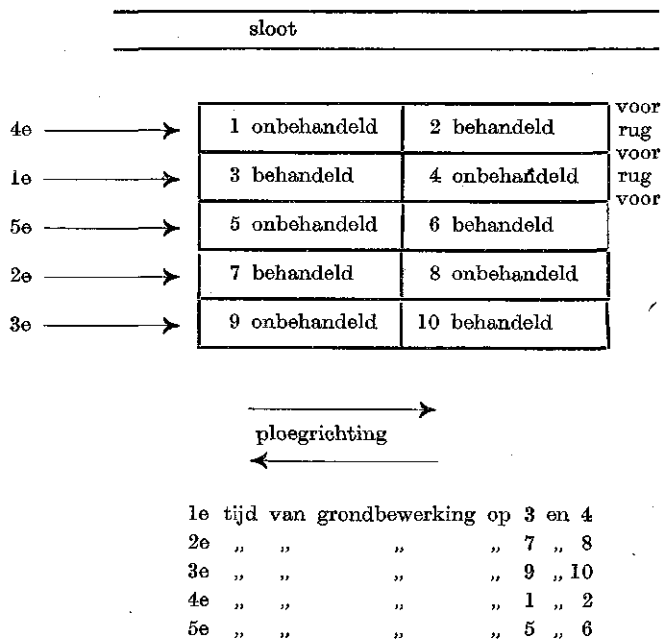


FIG. 5. Designs of interprovincial synthetic humus trialfields.

Schema A zou omvatten (fig. 1):

1. Calhamus, vroeg bewerken (d.w.z. zodra dit veldje zich bewerken liet)
2. Geen calhahumus, vroeg bewerken (als 1).
3. Calhahumus, laat bewerken (als 4).
4. Geen calhahumus, laat bewerken, (d.w.z. zodra dit veldje hiervoor be-
kwaam was).

In deze opzet werd dus op de resultaten vooruitgelopen door a priori aan te nemen, dat de behandeling het tijdstip van bewerkbaarheid in gunstige richting zou verschuiven. Bij uitblijven van dit verschijnsel verviel het verschil in tijdstip van bewerkbaarheid.

Elk object kwam in enkelvoud te liggen. Om het verschil in tijdstip van bewerking mogelijk te maken, moest de breedte van elk veldje die van een akker zijn, desnoods een halve akker. De lengte werd zo gekozen, dat elk veldje ten minste 5 are werd; gemiddeld werd gerekend op $7\frac{1}{2}$ are. Dit gold eveneens voor:

Schema B; dit zou omvatten (fig. 5) 5 verschillende tijdstippen van grond-
bewerking in plaats van 2.

In de in aanmerking komende ambtsgebieden zouden steeds 4 proeven van serie A en 1 van serie B voorkomen:

- a. Aanwending najaar '42 en najaar '43: N.Gr., O.Ge., NH, ZHE, WB.
- b. Idem voorjaar '43 en najaar '43 of voorjaar '44: N.Gr., W.Fr., O.Ge., Z.Ge.,
U., NZH, Z., W.Br.

In totaal dus 52 A en 13 B.

Bij de najaarstoediening werd de stabiele humus gedurende de stoppelbewerking met de grond gemengd, natuurlijk niet op verschillende tijdstippen.

Volgens de lijsten der veldproeven waren in 1943 en 1944 aangelegd 56 proeven volgens schema A en 7 volgens schema B.

Behalve deze interprovinciale proeven legde het CILO 2 proefvelden aan, om de invloed van verschillende stabiele humusgiften bij de aanleg van grasland na te gaan, en 2 proefvelden op oud grasland. Het landbouwproefstation te Groningen legde één proefveld aan, om stabiele humus te vergelijken met andere structuurverbeterende middelen (stalmest en zuiveringsslibcompost), en één proefveld volgens schema A, waarover een stikstoffsosfaatrapenproef aangelegd is, om de invloed van een eventuele structuurverbetering op de stikstof- en fosfaathuishouding te kunnen nagaan. Ook werd besloten het in 1940 gemundeerde zeekleigebied in Westelijk Noordbrabant mede in het interprovinciaal onderzoek te betrekken, wat echter door oorlogsomstandigheden niet is doorgegaan.

2. AANLEG

Er werd overeengekomen, als grondsoort te nemen *niet te ver ontkalkte midden-zware tot zware kleigronden* (zee- en rivierklei). Vermeden moesten worden lichte en zeer zware gronden (daar het product, waarmee de proeven genomen zouden worden, niet voor deze typen gronden bestemd was), alsmede gronden, die reeds in een goede humustoestand verkeerden. Ook mocht de grond niet te ver ontkalkt zijn, daar een goede kalktoestand een onmisbare voorwaarde is voor een goede structuur, terwijl de stabiele humus kalk hierin niet kan vervangen. Structuurverval als gevolg van een slechte kalktoestand moest dus vermeden worden.

Zoals reeds gezegd, zou tevoren door analyse worden uitgemaakt, of de grond voor het doel geschikt was en hoeveel stabiele humus per ha moest worden aangewend. Aanbevolen werd tweemaal zoveel terreinen te bemonsteren als er proefvelden zouden komen. De monsters werden onderzocht, gedeeltelijk te Zwijndrecht en gedeeltelijk aan het Bedrijfslaboratorium voor Grondonderzoek. Het ene gedeelte werd door VAN REESEMA onderzocht volgens de kruimelproef (Landbouwk. T. (1940) 593), welke moest aangeven of, en in welke mate de grond op behandeling met stabiele humus reageerde en welke dosis het optimale effect zou leveren. In het 2e gedeelte werd volledig grondonderzoek verricht (pH, humus, granulaire samenstelling, CaCO_3 , P-getal, P-citr., K.HCl, S, V en T). Het voorschrift, dat de proeven op middenzware tot zware klei moesten komen, is nogal ruim opgevat. Van de onderzochte monsters had bijna de helft minder dan 40 % afslibbaar, terwijl dit het geval was bij 33 van de 63 uitgezochte proefterreinen. Ruim de helft der proeven lag dus op lichte klei of zavel. Bij een groot deel der onderzochte terreinen was de bemestingstoestand onvoldoende: 66% had een P-citr. beneden 40, 55 % een K-HCl beneden 0,020.

Zouden er in een ambtsgebied weinig niet te veel ontkalkte gronden voorkomen, dan kon de proef worden gecombineerd met een bekalkingsproef, b.v. door 2 schema's A naast elkaar te leggen, één met kalk en één zonder. Dit is gebeurd met O.Ge. 642 en 643. (Geheel bekalkt werden O.Ge 695 en 736). Want aan de eis t.a.v. de kalktoestand kon evenmin worden voldaan: 40 % van de ingezonden monsters had een pH kleiner dan 7 en bevatte minder dan 0,2% CaCO_3 , bij 60% was de verzadigingsgraad beneden de 100, bij 38 % beneden de 90 en bij 14 % beneden de 80. Zodoende zijn 20 proefvelden aangelegd op percelen, die meer of minder ontkalkt waren. In de proeven met kalk en stabiele humus bleek de invloed van de kalk op de structuur groter dan die van stabiele humus.

Bij het vooronderzoek door VAN REESEMA werd het te verwachten effect van de behandeling met stabiele humus gekarakteriseerd door de volgende grootheden:

1. MV = maximale verbetering, d.w.z. de (volgens de kruimelproef) maximaal mogelijke vergroting van het kruimeloppervlak in % van het kruimeloppervlak bij de onbehandelde grond.

$$MV = \frac{\text{Kruimel oppervlak maximaal} - \text{kruimel oppervlak onbehandeld.}}{0,01 \text{ kruimeloppervlak onbehandeld.}}$$

2. VZFr 1—3 mm = verbetering zeeffractie 1—3 mm, d.w.z. het gewicht van de zeeffractie 1—3 mm behandeld, gedeeld door idem onbehandeld.

$$VZFr 1—3 \text{ mm} = \frac{\text{gewicht zeeffractie 1—3 behandeld.}}{\text{gewicht zeeffractie 1—3 onbehandeld.}}$$

3. DrW = drempelwaarde, d.i. de hoeveelheid stabiele humus in % van luchtdroge grond, nodig om de maximaal mogelijke vergroting van het kruimeloppervlak te verkrijgen.

$$DrW = \frac{\text{Stabiele humus bij MV.}}{0,01 \text{ luchtdroge grond.}}$$

Het is duidelijk, dat de MV moet afhangen van VZFr 1—3 mm, echter is MV betrokken op oppervlakken van gronddeeltjes en VZFr op gewichten, MV op de

gehele grond en VZFr op één fractie, zodat de mate, waarin VZFr tot uitdrukking komt in MV, mede afhankelijk is van het percentage, dat deze fractie uitmaakt van de gehele grond; verder drukken beide grootheden de verkregen toestand op andere wijze in de oorspronkelijke toestand uit, n.l. geeft MV aan de oppervlaktevermeerdering in procenten van het oorspronkelijke oppervlak, en VZFr 1—3 hoeveel maal groter het gewicht geworden is (een MV = 10 betekent dus dat het kruimeloppervlak met 10 % gestegen is; VZFr 1—3 mm = 10 betekent, dat het gewicht dezer fractie met 900 % is gestegen; VZFr 1 betekent echter gelijkblijven van deze fractie); tenslotte kan de fractie 1—3 mm vanuit kleinere fracties worden aangevuld, maar ook verliezen door vorming van kruimels groter dan 3 mm. Ondanks dit alles blijkt er (fig. 6) een verband tussen beide grootheden aanwezig te zijn, dat tot een VZFr

FIG. 6. Verband tussen de maximale verbetering (MV) en de verbetering van de zeeffractie (VZFr 1—3)

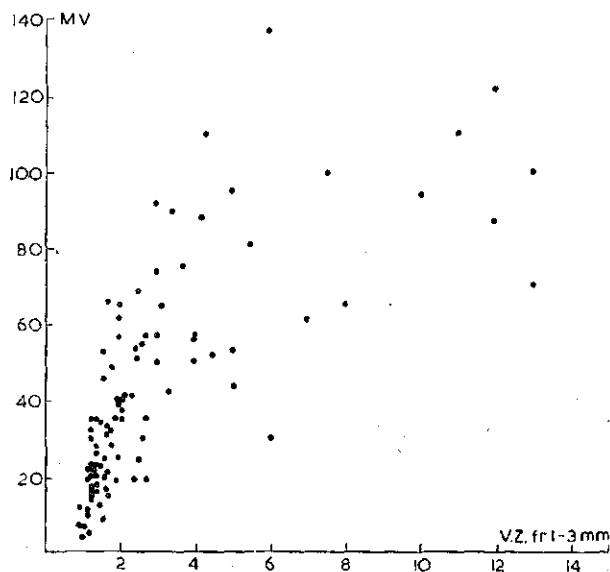


FIG. 6. Relation between the maximum improvement (MV) and the improvement of the fraction 1—3 mm (VZFr 1—3)

1—3 van ± 3 practisch rechtlijnig is; daarboven (waar echter slechts weinig gevallen voorkomen) blijft MV steeds meer achter. Opvallend is, dat tussen VZFr 1 en 2 48 gevallen liggen, 20 tussen 2 en 3 en in de volgende klassen steeds minder. De helft van de gevallen vertoont dus een vergroting van het gewicht der zeeffractie tussen 0 en 100 %; hierbij ligt de vergroting van het totale kruimeloppervlak tussen 4 en 66 %. MV en VZFr 1—3 mm bleken beide iets af te nemen bij stijging van het kleigehalte. Dit betekent, dat naarmate de grond zwaarder is, stabiele humus in het laboratorium minder effect heeft.

De DRW vertoonde geen sterk verband met de beide andere grootheden, d.w.z.

dat de hoeveelheid stabiele humus nodig, om eenzelfde structuurverbetering te krijgen, sterk uiteen kan lopen; zij vertoonde evenmin een sterke samenhang met het kleigehalte. De drempelwaarden groeperen zich in het algemeen rond 0,1 % droge organische stof op gedroogde grond, bij lichtere gronden is zij gewoonlijk nog lager (0,075 en lager). Het product bevatte echter 30 % vocht, zodat men in de meeste gevallen kwam op hoeveelheden van 3500—4500 kg per ha, rekenende op een bouwvoor van 20 cm. Bij het laboratorium onderzoek vertoonden vrijwel alle gronden een toename van de fractie in de buurt van 3 mm, behalve waar deze fractie reeds bij de onbehandelde grond een hoge top vormde. In het laboratorium trad dus een duidelijke aggregaatvorming op.

VAN REESEMA verzoekt bij de ingediende monsters tevens een beschrijving van de productiviteit en de eigenschappen te geven, speciaal van slechte eigenschappen, daar hij voor de proefterreinen gronden met structuurgebreken wilde uitzoeken. De voor proefveld uitgezochte gonden hadden gemiddeld minder humus dan de niet uitgezochte. pH, granulaire samenstelling, CaCO_3 , P en K ontlepen elkaar weinig (tabel 9).

TABEL 9. Grondonderzoek voor de keuze der proefterreinen

	Humus (Elem.)	pH— H_2O	90 μ ^	90—16 μ	16 μ v	CaCO_3	P-get.	P-citr.	K. HCl	
Uitgezocht.	2,63	6,98	12,6	41,6	40,1	0,31	1,8	38,9	0,022	<i>Chosen</i>
Uitgeschakeld . . .	3,47	7,03	11,0	37,9	44,7	0,30	1,6	37,2	0,024	<i>Abandoned</i>

	S	T-S	T	V	MV %	VZ fr 1-3	DrW	
Uitgezicht	23,2	3,75	27,3	86,4	42,4	6,2	0,105	<i>Chosen</i>
Uitgeschakeld . .	27,-	4,48	31,6	86,5	28,4	3,2	0,090	<i>Abandoned</i>

TABEL 9. Analytical data for choosing experimental fields

Gemiddeld zijn de uitgezochte gronden mogelijk iets lichter dan de andere. Zoals te verwachten is bij lager humus- en kleigehalte, is het basenbindend vermogen bij de uitgezochte gronden lager; de verzadigingsgraad is echter weer gelijk.

Van de voor proefveld uitgezochte monsters mochten op grond van deze laboratoriumgrootheden inderdaad sterkere resultaten verwacht worden dan van de overige. De drempelwaarde ligt als gemiddeld iets hoger. Binnen elk der beide groepen kwam echter nog een sterke variatie voor. Zo zien wij, als wij binnen de eerste groep (die der uitgezochte terreinen) afzonderlijk nemen de gevallen, waarvoor de laagste stabiele humusgift (ad 3375 kg per ha) werd berekend, tegenover die met de hoogste gift (6750 kg/ha), de in tabel 10 vermelde cijfers.

TABEL 10. Grondonderzoek bij gronden met — in het laboratorium — ongelijke humusbehoefte

	Humus (Elem.)	pH— H_2O	90 μ ^	90—16 μ	16 μ v	CaCO_3	P-get.	P-citr.	K. HCl
3 375	2,2	7,2	10,-	52	31,8	0,36	2	40	0,022
6 750	3,7	7,05	15,9	32	45,8	0,25	1,6	29,5	0,020

	S	T-S	T	V	MV %	VZFr 1-3	DrW
3375	20,2	2,9	23,1	87	51,4	11,4	0,075
6750	28,3	2,8	31,1	92	40,7	1,8	0,160

TABEL 10. Analytical data of soils with — in the laboratory — unequal want of humus

Hier doet zich het enigszins onverwachte feit voor, dat de meeste humus moet worden toegediend, als het humusgehalte het hoogst is.

Dit echter als gevolg van het feit, dat het humusgehalte stijgt met het gehalte aan de fractie $< 16\mu$. De toe te dienen hoeveelheid is sterk afhankelijk van het gehalte aan afslibbare delen; bij een hoger gehalte aan afslibbaar, wat gepaard gaat met een hoger humusgehalte, is de optimale humusgift hoger.

Bij de gronden met meer fijne fractie is het basenbindend vermogen vanzelfsprekend hoger, echter ook het basengehalte, en als gevolg hiervan zelfs de verzadigingsgraad. De meeste humus voor structuurverbetering bleek hier dus nodig op de chemisch rijkere gronden. Echter blijkt uit de volgende gegevens, dat daarbij de te verkrijgen structuurverbetering geringer is.

Volgens deze berekening zou op zwaardere gronden *meer* stabiele humus nodig zijn, om een *kleiner* structuureffect te bereiken.

Het is van belang op te merken, dat de 3 grootheden (MV, VZFr en DrW) een duidelijke samenhang blijken te vertonen met andere vruchtbaarheidsfactoren, en dus bodemkundige waarde hebben; zij zouden van betekenis kunnen zijn voor het organische stof- en structuuronderzoek.

Gerekend werd op gemiddeld 4500 kg stabiele humus per ha. Daar deze bijna 160 kg direct opneembare stikstof bevatte, moest de toediening in tweeën plaats hebben (zie bovenbeschreven proefplan). Gelijktijdig moest in de onbehandelde gedeelten een aequivalente hoeveelheid kalksalpeter worden toegediend. De stikstof van de stabiele humus bleek na een jaar volledig uitgewerkt te zijn. De samenstelling van de gebruikte Calhahumus was: Ammoniakstikstof 3,48 %, Totaal stikstof 7,08, As 3,97 en Vocht 25,8 %.

Daar aan een goede menging met de grond veel waarde wordt gehecht, werd de volgende gedragslijn opgesteld:

Bij *najaarsaanwending* op *zware grond* hoogstens 1500 kg, na ploegen op 20 cm 8 cm diep inwerken, daarna wintergraan (bij voorkeur gerst). Na de oogst stoppel-ploegen en na ploegen op 20 cm het restant inwerken in 12 cm (lieft met de schijfegge); daarna stoppelgewas. Tenslotte in de late herfst ploegen. De verschillen in tijdstip van bewerking kwamen dus eerst in 1944 (voor aardappelen en bieten) tot uitvoering.

Bij *najaarsaanwending* op *lichte grond* hoogstens 1500 kg na ploegen op 20 cm, 8 cm diep inwerken. Rogge voor groenbemesting zaaien. Voorjaar 1943 20 cm ploegen, restant humus 12 cm diep inwerken en bieten of aardappelen verbouwen. In 1944 bieten of aardappelen na diverse bewerkingstijdstippen.

Bij *voorjaarsaanwending* de halve hoeveelheid 10 cm inwerken met de schijvenegge, zonder ploegen; gewas vroege aardappelen, pootaardappelen, zomergerst of erwten (om de vroege stoppel). Na de oogst stoppelploegen, ploegen op 20 cm en de humus inwerken, bij voorkeur met de schijfegge in ± 10 cm. Daarna koolzaad voor zaadwinning of een stoppelgewas, gevolgd door een zomergewas, waarbij de verschillende bewerkingstijden toe te passen.

Door eerst aan 8 cm en na kerend ploegen aan 12 cm de humus toe te voegen in $\pm$ evenredige hoeveelheden werd gehoopt 20 cm bouwvoor gelijkmatig ervan te voorzien. Alle genoemde grondbewerkingen dienden eveneens te worden uitgevoerd bij de O-objecten.

In het jaar van aanwending behoeften geen oogstbepalingen te worden verricht, in verband met de stikstofwerking, hoewel aan de O-veldjes een evenredige hoeveelheid N werd gegeven. Dit betreft dus 1943 en voor het 2e gedeelte van de gift 1944.

3. RESULTATEN

a. De proefvelden

Volgens de lijsten der veldproeven waren in 1943 en 1944 aangelegd de volgende proeven (tabel 11).

TABEL 11. Aantal proeven

	Schema A	Schema B
N.Gr.	8	2
W.Fr.	4	1
O.Ge.	8	
Z.Ge.	3	1
U	4	
N.H. + W.M. . . .	8	2
NZH	4	
ZHE	6	1
Z.	3	
WB	8	
	56	7
	Design A	Design B

TABLE 11. Number of trials

Als gevolg van de oorlogsomstandigheden werden ook in andere opzichten de proeven zeer weinig consequent doorgevoerd. Zo werd in sommige gevallen de 2e gift nooit toegediend; verschil in tijdstip van bewerking is nooit toegepast; de verslagen kwamen zeer onvolledig binnen; waarnemingen en opbrengstbepalingen werden onvoldoende verricht en nog minder gerapporteerd, terwijl de structuurwaarnemingen, daar ze door verschillende personen beoordeeld werden, niet uniform zijn.

b. Invloed op de structuur.

De invloed op de structuur werd op verschillende wijzen geconstateerd, soms was de kruimelige bovenlaag dikker, of waren de kluiten kleiner, ook waren de breukvlakken minder scherp, in andere gevallen was het inwendige van de kluiten poreuzer, de grond minder klevend, of natter of droger enz. Of deze veranderingen ook verbeteringen waren, is niet nagegaan door de bewerkbaarheid van de grond vast te stellen. Ook is niet rechtstreeks na te gaan, of zij gecorreleerd zijn met de stand van het gewas of de opbrengst, daar slechts in enkele gevallen de structuur en stand en/of opbrengst van dezelfde proef waren vastgesteld. De structuur-bepalingen¹ werden in de jaren 1943 t/m 1946 verricht door Ir. SIEUWERTSZ VAN REESEMA, de Rijkslandbouwconsulenten, de proefveldhouders en door en onder leiding van Ir. FERWERDA van het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O.. Daar deze waarnemingen zeer subjectief zijn², lijkt het beter, slechts de door

Van deze proeven dienden eenmaal de algemene gegevens te worden ingevuld op een speciaal formulier en de jaarsverslagen eveneens op speciale formulieren. Van deze gegevens zijn er, mede als gevolg van de oorlogsomstandigheden, slechts een beperkt aantal binnengekomen: slechts 31 algemene gegevens (dus van de helft der geregistreerde proeven), 29 jaarverslagen 1943, 9 idem van 1944, 11 van 1945, 9 van 1946 en 9 van 1947 (bovendien nog enkele zeer onvolledige, o.a. zonder opbrengstgegevens en standcijfers). De gegevens waarover wordt beschikt, berusten dus grotendeels op incidentele waarnemingen van VAN REESEMA en van personeel van het proefstation.

¹ Dit betreft uitsluitend *visuele* structuurbeoordelingen.

² Visuele bepalingen zijn *uiteraard* subjectief.

één instantie verrichte als maatstaf te nemen, en wel die van het Proefstation, daar dit verreweg de meeste gegevens verzamelde. Wij zien dan in 1943 een gunstig effect bij 9 van de 23 verrichte waarnemingen; in 1945 bij 13 van de 30; in 1946 bij 17 van de 52 en in 1947 bij 19 van de 31. Gemiddeld over 1945 t/m 1947 reageerde nog niet de helft van het totale aantal gevallen gunstig.

In 1944 is het aantal waarnemingen te gering. In 1946 werd een begin gemaakt, de structuurwaarnemingen zoveel mogelijk in cijfers vast te leggen, en door één persoon ¹ te doen uitvoeren, zodat ze over alle proefvelden vergelijkbaar waren. In dit jaar liep het aantal gunstige gevallen terug (mogelijk als gevolg van de andere wijze van bepalen; echter kunnen ook jaarsinvloeden een rol spelen), om in 1947 weer te stijgen.

1945 t/m 1947 reageerden minstens tweemaal gunstig: N.Gr. 845—847, W. Fr. 391—394, O.Ge 641—642—643—644, Z.Ge 314 en 316, NH 395, NZH 143, ZHE 472—570, W.Br 1122. Minstens tweemaal zonder reactie ² bleven: N.Gr. 849, O.Ge 695—737—762, U 322—323—324—325, NH 398—400, NZH 144, WB 1113. Dit wil nog niet zeggen, dat dit werkelijk de allergunstigste resp. allerongunstigste gevallen zijn, daar niet alle proefvelden elk der 3 jaren geobserveerd werden. Echter reageerde de eerste groep in elk geval sterker dan de tweede. Nemen wij nu de gemiddelden der analyse-cijfers (zoals deze bepaald zijn in 1942/43) voor deze beide groepen, dan krijgen wij de waarden, weergegeven in tabel 12.

TABEL 12. Grondonderzoek in verband met structureffect

	Humus (Elem.)	pH—H ₂ O	90 μ ^	90—16 μ	16 μ v	CaCO ₃	P-get.	P-citr.	K. HCl
A	3,3	6,9	12	37	47	0,137	2	33	0,020
B	3,3	6,7	16	33	44	0,100	1,5	31	0,019

	S	T-S	T	V	MV %	VZFr 1-3	DrW	Berekende hoeveelheid humus voor maximale verbetering
A	24,7	5,6	30,3	84	42	2,4	0,10	4500
B	25,6	4,7	30,3	83	41	5,-	0,11	4750
								<i>Calculated quantity of humus for maximum improvement</i>

A = Gunstige gevallen (*Favourable cases*).

B = Overige gevallen (*Other cases*).

TABEL 12. Soil analysis in connection with effect on structure

¹ De assistent R. HARDERS.

² Hieronder zijn ook enkele gevallen van nadelige reactie.

Het structuureffect blijkt op geen enkele wijze samen te hangen met de vooraf bepaalde grootheden: beide groepen zijn gemiddeld practisch aan elkaar gelijk. Zij maken dan ook beide deel uit van de gronden, die in 1942/43 op grond van deze bepalingen werden uitgezocht als proefterrein, omdat deze bepalingen een grote kans op structuurverbetering beloofden. Er moeten dus andere — niet bij de voorafgaande analyses bepaalde — factoren zijn, welke maken, dat desondanks de stabiele humus in het ene geval een gunstige en in het andere geval geen, of een ongunstige invloed op de structuur heeft. Aan de andere kant doet het feit, dat er geen enkel verband gevonden wordt tussen de 3 criteria van VAN REESEMA en het structuureffect op de uitgezochte terreinen, het vermoeden rijzen, dat evenzo het uitzoeken — op grond van de bepalingen in 1942 — uit een groot aantal terreinen, van die gronden, waarop resultaten te verwachten zouden zijn (en waarop de proeven genomen zijn), wel eens op een fictie zou kunnen berusten.

VAN REESEMA meende (in 1946) als oorzaak van het uithlijven van effect in een aantal gevallen het feit te moeten zien, dat in 1942 ten gevolge van de oorlogsomstandigheden geen gebruik kon worden gemaakt van zuiver aluminiumsulfaat, maar van in de handel zijnde zwavelzure klei, een product, bereid uit klei en zwavelzuur, waaruit het Aluminiumsulfaat verkregen werd door oplossen in water, waarbij men meende, dat het kiezelzuur achterbleef. Het bleek echter, dat dit product nog aanzienlijke hoeveelheden colloïdaal kiezelzuur of kiezelzuurcomplexen bevatte, welke niet te verwijderen waren. Daar hierdoor een gedeelte van het aluminium als kiezelzuurverbinding vastgelegd en gedesactiveerd zou zijn geworden, was er slechts 1 % actief aluminium inplaats van 2,5 % in aanwezig, doordat $1\frac{1}{2}$ % aan Si gebonden zou zijn. Bij gronden met lage drempelwaarde hindert dit niet zo erg, en is 1 % voldoende; bij hoge drempelwaarde echter is 1 % te weinig en werkt het product niet. De benodigde hoeveelheid had dus belangrijk groter moeten zijn dan de berekende en toegediende (hoewel naar VAN REESEMA zelf vermeldt, de reactie op zijn standaardklei normaal was geweest). Zodoende zou er een onderdosering ontstaan, en de drempelwaarde niet bereikt zijn. Mogelijk ligt hierin inderdaad mede een verklaring voor het niet méér algemeen zijn van het structuureffect. Hierbij moge dan echter worden opgemerkt, dat het naar onze mening onjuist is geweest, dat de doseringen te velde gebaseerd zijn geworden op laboratoriumbepalingen met een ander product dan in de proefvelden zou worden toegediend.

Teneinde aan de wens van VAN REESEMA tegemoet te komen, werd in 1946 besloten een aanvullende gift toe te dienen op 18 proefvelden, en wel door de behandelde velden in de lengterichting in tweeën te verdelen, waarbij een helft onbehandeld bleef en de andere werd aangevuld. Verder werd op het proefveld W.Fr. 391 een stikstoftrappenproef aangelegd met 0—15—35—60—90 kg N op beide objecten. Het motief hiervoor was, dat de stikstof uit de Calhahumus in 1946 zeker uitgewerkt was, zodat de hoogte van het productieniveau beter kon worden vastgesteld door middel van opbrengstcurven. Toen besloten werd, de proeven na 1947 te staken, kon het resultaat van de aanvullende gift, waarmee in het najaar van 1946 begonnen kon worden, door de stikstofwerking van het product in het jaar van toediening zeker niet meer tot uiting komen op de producties, terwijl, zoals gebleken is, de invloed op de structuur zich eerst enkele jaren na toediening het sterkst doet gelden.

In het najaar van 1947 werd door PEERLKAMP bij 34 proefvelden de verdeling van de afmetingen der bestendige aggregaten bepaald met de methode van het nat zeven. Bij 21 van deze proefvelden bleek de fractie 1,1—4,8 mm, welke als een

maat voor de structuur beschouwd kan worden, op de met stabiele humus behandelde veldjes groter dan op de onbehandelde. De verschillen varieerden van 0,6—12,0 gew. % met een gemiddelde van 4,6 gew. %. Op de overige 13 velden veroorzaakte de behandeling een vermindering van de fractie 1,1—4,8 mm, variërende van 1,0 tot 7,2 gew. %, met een gemiddelde van 3,6 gew. %. Ook uit dit onderzoek blijkt dus geen in één richting gaande invloed van de stabiele humus op de structuur. Wil men de resultaten voor de verschillende proefvelden samenvatten, dan zou gemiddeld van een tendens tot structuurverbetering gesproken kunnen worden. Ter vergelijking van deze, door een behandeling met stabiele humus ontstane verschillen met die welke op andere wijze (b.v. door wisselbouw) veroorzaakt kunnen worden, zij verwezen naar de resultaten van de natte aggregaatanalyse bij ZHE 763 (najaar 1947). De ene helft van dit proefveld was een 2 jaar oude kunstweide en leverde aan bestendige aggregaten in de fractie 1,1—4,8 mm op behandeld 49,7 en op onbehandeld 46,2 gew. %. De andere helft was bouwland (met bij de bemonstering wikken) en gaf voor genoemde fractie op wel en niet behandeld resp. 37,8 en 30,8 gew. %. Op beide helften dus een structuurverbetering door stabiele humus, maar een veel grotere verbetering door de aanleg van kunstweide.

De resultaten van de natte aggregaatanalyse wijzen dus in dezelfde richting als die van de visuele structuurbeoordeling. Ook de bij deze laatste gevonden verschillen in structuur, tengevolge van de behandeling met stabiele humus, waren gering en niet steeds gelijk gericht. Wel meent FERWERDA geconstateerd te hebben, dat waar het structuuraspect veranderde, dit steeds in dezelfde richting is gegaan (kluitten kleiner, poreuzer en minder gebonden, terwijl dit meestal gepaard ging met meer afgeronde vormen, ruwere breukvlakken en een regelmatigere verdeling van het water door de grond). Dit zou echter in het algemeen voor zwaardere gronden op een structuurverbetering, voor lichtere op een structuurverslechtering wijzen, terwijl, zoals werd aangetoond, geen verschil in zwaarte was te constateren tussen de terreinen, waarop een structuurverbetering optrad en die, waarbij dit niet het geval was.

De werking van de stabiele humus is dus niet voor een eenvoudige verklaring vatbaar, maar is — zoals eigenlijk ook wel te verwachten was — gecompliceerd en bevat nog veel, dat onopgehelderd is.

c. De opbrengsten.

Opbrengstgegevens zijn zeer onvolledig binnen gekomen, n.l. (behalve die over 1943 en 1944) over 1945 van 11 proefvelden, over 1946 van 9 en over 1947 van 9. Die over 1943 en 1944 zullen wij weglaten, daar deze nog te sterk onder invloed van het aanvankelijke stikstofeffect kunnen staan. Over de jaren 1945—1947 plaatsen wij, evenals bij de structuur gedaan is, de gevallen, waarbij in die jaren minstens $2 \times$ een gunstige, tegenover die, waarbij minstens $2 \times$ geen gunstige invloed op de structuur geconstateerd werd, teneinde na te gaan, of structuurwijziging ook invloed had op de opbrengsten. Hierbij kwamen uiteraard slechts in aanmerking die proefvelden en die jaren, waarover opbrengsten gerapporteerd zijn. Als opbrengst is steeds tezamen genomen korrel + stro, wortel + loof, 1e en 2e snede. De objecten met Calha zijn daarna uitgedrukt in % van die zonder Calha. Het resultaat is samengevat in tabel 13.

Hoewel vooral onder B het aantal gevallen zeer gering is, meen ik hierin toch een aanwijzing te mogen zien, dat de structuur en de opbrengst (mogelijk als gevolg

TABEL 13. Opbrengst in verband met structuureffect

	Proefveld	Jaar	Gewas	Opbrengst in % onbehandeld	
A. Minstens 2× gunstig effect op structuur <i>At least twice a favourable effect on structure</i>	N.Gr 849	1945	Wintertarwe	95	<i>Winter wheat</i>
	W.Fr 391	1945	Voederbieten	111	<i>Mangolds</i>
	W.Fr 392	1945	Aardappelen	100	<i>Potatoes</i>
	W.Fr 393	1945	Aardappelen	103	<i>Potatoes</i>
	W.Fr 394	1945	Aardappelen	107	<i>Potatoes</i>
	W.Fr 392	1946	Aardappelen	82	<i>Potatoes</i>
	W.Fr 393	1946	Aardappelen	100	<i>Potatoes</i>
	W.Fr 394	1946	Aardappelen	105	<i>Potatoes</i>
	O.Ge 641	1946	Rode klaver	85	<i>Red clover</i>
	O.Ge 642	1946	Rode klaver	106	<i>Red clover</i>
	O.Ge 643	1946	Wintergerst	118	<i>Winter barley</i>
	W.Fr 391	1947	Rode klaver	98	<i>Red clover</i>
	W.Fr 392	1947	Haver	100	<i>Oats</i>
	W.Fr 393	1947	Zomergerst	100	<i>Spring barley</i>
	O.Ge 641	1947	Haver	113	<i>Oats</i>
	O.Ge 642	1947	Wintertarwe	110	<i>Winter wheat</i>
	Gemidd.			102	<i>Average</i>
B. Minstens 2× zonder gunstig effect op structuur <i>At least twice without favourable effect on structure</i>	N.Gr 845	1945	Zomergerst	93	<i>Summer barley</i>
	O.Ge 695	1946	Voederbieten	71	<i>Mangolds</i>
	O.Ge 695	1947	Tarwe	96	<i>Wheat</i>
	NH 400	1947	Aardappelen	113	<i>Potatoes</i>
	Gemidd.			93	<i>Average</i>
	<i>Trial field</i>	<i>Year</i>	<i>Crop</i>	<i>Yield in % of untreated</i>	

TABEL 13. Yield in connection with effect on structure

van de structuur) in dezelfde zin beïnvloed kunnen worden, waarbij het van het hoogste belang is op te merken, dat deze invloed gunstig maar ook *nadelig* zijn kan. Het toepassen in de praktijk, in het stadium waarin het onderzoek zich bevond toen dit werd afgebroken, zou dus een gevaarlijke maatregel zijn. Indien de 2 % opbrengstverhoging onder A wezenlijk zou zijn, dan zou zij vele jaren moeten blijven bestaan om de behandeling betaald te maken. Dat bij een gunstige structuurbeïnvloeding de opbrengst niet of niet noemenswaard verandert, kan de mening van HUDIG en SIEUWERTSZ VAN REESEMA bevestigen, dat oogstvermeerdering niet altijd zeker is, als geen gebruik gemaakt wordt van de eigenschap, dat met X₂ behandelde grond eerder bewerkbaar is. Het is niet nagegaan, of er verschillen optraden in het tijdstip, waarop de grond zich bewerken liet, en indien zij er geweest zijn, is hiermede geen rekening gehouden (in strijd met het voorschrift voor deze proeven).

In de aan de proeven voorafgaande, zeer uitvoerige analyses werd geen verband gevonden met de latere resultaten. In 1944 werd van een aantal proeven wederom grondonderzoek verricht; het resultaat, met dezelfde grootheden in 1942 bepaald, treft men aan in tabel 14.

TABEL 14. Grondonderzoek na inverken van de stabiele humus

Proef/Tijd. v. monstern.	Humus (Elem.)	pH	16	< 16	CaCO ₃	P-ge.	P-ctr.	K.HCl	V	S	T
Minstens 2 × gunstig effect op structuur <i>At least twice a favourable effect on structure</i>											
O.Ge 641 1942 . '45 Nov. '45	2,5 2,6	7,— 6,95	60	38	0,08 0,012	2, 1,5	27 26	0,011 0,011			
O.Ge 643 1942 . '45 Nov. '45	2,9 3,3	6,80 6,55	66 63	34 34	0,011 0,06	2 2	26 23	0,014 0,014			
O.Ge 644 1942 . '45 Juli '44	4,1 2,8	7,05 5,95	26 66	66 37	0,11 0,15	2,5 2	24 19	0,017 0,017			
O.Ge 695 1942 . '44 Aug. '44	2,1 2,1	7,10 7,—	70 68	28 30	0,08 0,05	1 2	22 15	0,017 0,015	57 83 83	11,2 12,4 13,4	20 15 16
Minstens 2 × ongunstig effect op structuur <i>At least twice an unfavourable effect on structure</i>											
O.Ge 737 1942 . '44 Aug. '44	3,5 4,0	6,45 6,35	59 59	38 38	0,08 0,11	2 2,5	43 28 ¹⁾	0,023 0,016	83 79	18,4 14,7	22 25
O.Ge 762 1942 . '46 Mrt '46	1,8 1,3	6,30 6,60	73 74	25 24	0,06 0,12	1 2	13 20	0,016 0,009	71	16,1	23
U 322 1942 . '45 Oct. '45	1,6 2,1	6,55 6,10	73 40	26 58	0,0 0,05	4 1	34 32	0,014 0,015			
U 323 1942 . '45 Oct. '45	2,7 2,8	6,65 6,—	43 19	55 78	0,0 0,07	2 1	24 19	0,011 0,017			
U 325 1942 . '45 Oct. '45	4,2 4,5	5,75 6,25	17 23	77 73	0,012	1 1	15 31	0,019 0,020			
O.Ge 736 1942 . '44 Aug. '44	2,1 2,0	6,30 7,05	25 71	70 27	0,020	1 3	24 60	0,020 0,014			
ZHE 763 1942 . '45 Nov. '45	1,8 1,7	7,05 8,—	73 72	25 22	0,04 0,03	3 4	50 46	0,010 0,009			
ZHE 764 1942 . '45 Nov. '45	1,8 1,7	8,— 7,35	71 69	25 25	3,90 4,49	1 2	33 34	0,015 0,020			
	1,6 1,8	7,85 7,85	73 71	21 23	4,45 4,55	1 1	31 27	0,016 0,014			
							24	0,014			
Trial/Time of sampling											

Beh. = treated. Onb. = untreated.

¹⁾ Als gemiddelde van 41 en 15 voor 2 veldjes. Zeer waarschijnlijk is ook in 1942 een plaats met hoog P-ctr. benomsterd.

TABEL 14. Soil analysis after action of the synthetic humus

In deze cijfers valt m.i. geen enkel verband aan te wijzen met de geconstateerde proefresultaten. Wij tasten dus nog volkomen in het duister inzake het mechanisme van de opgetreden verschijnselen. Mogelijk hadden de 3 groot:eden van SIEUWERTSZ VAN REESEMA opheldering kunnen geven; deze zijn echter na 1942 niet meer bepaald. Nog bestaat de mogelijkheid, dat mineralogisch onderzoek hier de verklaring had kunnen geven. Want, zoals in de beide eerste hoofdstukken is beschreven, is volgens de mening van vele moderne onderzoekers voor de vorming in de grond van actieve stabiele humus de aanwezigheid nodig van kleimineralen, speciaal montmorilloniet (en van kalk). Het product bevat geen kleimineraal, zodat het aangewezen is op de aanwezigheid hiervan in de grond. En hieromtrent zijn geen bepalingen gedaan. Verder was, zoals reeds werd besproken, een groot aantal der proefterreinen te ver ontkalkt. Aan in onvoldoende mate aanwezig zijn van montmorilloniet en/of kalk is mogelijk het negatieve resultaat in een groot gedeelte der proeven toe te schrijven, en aan het niet verrichten van mineralogisch onderzoek het onverklaarbaar zijn der resultaten.

4. SLOTOPMERKING

Eind Augustus 1946 besloot de N.V. Calha haar werkzaamheden te staken. Het product, dat vanaf dat moment niet meer aangemaakt zou worden, had dus ook geen verdere praktische betekenis meer. Toch werd besloten, de nog bestaande proeven nog tot eind 1947 te handhaven (zoals bij de opzet reeds de bedoeling was) omdat het even goed van belang bleef te weten, of een dergelijk product een verbetering der gronden en een gunstige invloed op de groei van het gewas zou kunnen hebben. Immers was de mogelijkheid geenszins uitgesloten, dat er wel eens weer soortgelijke producten aan de markt zouden worden gebracht (b.v. uit het buitenland) en de Commissie Meststoffenbesluit daarover uitspraak zou moeten doen.

Om dezelfde reden besloot het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. de volgende proeven aan te houden:

O.Ge 642—643, Z.Ge 316, NZH 145, W.Br. 1112—1113—1122 resp. onder de nummers PR 1124—1125—1126—1127—1128—1129—1130.

De overige proeven zouden, voorzover nog aanwezig, slapende gehouden worden, teneinde zonodig wederom opgenomen te kunnen worden. Gezien de lange lijdensweg dezer proeven staat het te bezien, of dit met een aantal van belang mogelijk zou zijn.

In de aangehouden proeven onder PR-nummer worden thans slechts visuele structuurbepalingen verricht.

Het lijkt mij echter nuttig, nu het organische stof en structuuronderzoek meer naar voren komt, en de toepassingsmogelijkheden van veen in studie genomen worden, de voortzetting der proeven krachtiger en meer doelbewust ter hand te nemen, o.a. door de toediening van stabiele humus te herhalen, de opbrengsten weer vast te stellen en het laboratoriumwerk te intensiveren, ten einde achter het mechanisme der reacties te komen; en daar een grond niet alleen stabiele, maar ook instabiele humus nodig heeft, zou toediening hiervan in verschillende vormen mede in het onderzoek betrokken moeten worden.

Aantrekkelijk zou evenwel zijn, om in samenwerking met HUDIG — eventueel met een verbeterd product — een aantal nieuwe proeven op te zetten.

IV. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

In Hoofdstuk I wordt in het kort het voorkomen en de vorming van stabiele humus in de natuur besproken. Het resultaat van recent onderzoek wordt naar voren gebracht, dat heeft aangetoond, dat hiervoor, behalve organische stof (humine-zuren), de aanwezigheid van kleimineralen (speciaal montmorilloniet) nodig zou zijn.

Hoofdstuk II behandelt de pogingen stabiele humus kunstmatig te bereiden, teneinde een gereed product aan de grond te kunnen toevoegen. Bij de hieronder het meest naar voren komende onderzoeken van de laatste 15 jaar, werden eveneens de gunstigste resultaten verkregen, indien montmorilloniet was toegevoegd.

In Hoofdstuk III treft men aan een beschrijving van de interprovinciale proeven, die genomen zijn met het synthetische product van HUDIG en SIEUWERTSZ VAN REESEMA, in de handel gebracht onder de naam Calhamumus X₂. De resultaten dezer proeven hebben tot de volgende conclusies geleid.

1. Door een reeks van ongunstige omstandigheden hebben de besproken proeven inzake Calhamumus X₂ veel van hun waarde ingeboet, en kan niet worden gesproken van resultaten, doch slechts van aanwijzingen.

2. De door VAN REESEMA bepaalde waarden MV (maximale vergroting van het kruimeloppervlak), VZFr 1—3 mm (verbetering van het gewicht van de zeeffractie van 1—3 mm) en DEW (hoeveelheid stabiele humus voor maximale verbetering) hangen samen met een aantal bodemkundige grootheden; mogelijk hadden zij van belang kunnen zijn voor de ontwikkeling van het organische stof- en structuur-onderzoek. Aan de hand van genoemde criteria werden uit een groot aantal gronden, die voor proefveld uitgezocht, waar een sterk structuureffect te verwachten was.

3. Een gunstig structuureffect trad slechts op in bijna de helft der gevallen. Waarom de andere helft niet — of misschien zelfs ongunstig — reageerde, blijkt nergens uit, ook niet uit de analyses, verricht in 1942 vóór de proef, en die van 1945 en 1946, terwijl de drie sub 2 genoemde criteria ook geen enkel houvast geven. Er zijn dus nog andere, niet in het onderzoek betrokken, factoren in het spel.

4. Hierbij wordt gedacht aan het al of niet in voldoende aanwezig zijn van montmorilloniet, daar hiervan de mogelijkheid van vorming van een actief en stabiel kleihumuscomplex afhankelijk zou zijn. Hiernaar werd evenwel geen onderzoek ingesteld. Verder waren de gronden in het algemeen te ver ontkalkt.

5. In de gevallen, waar geen of een nadelig structuureffect werd geconstateerd, werd gemiddeld de opbrengst door de behandeling nadelig beïnvloed. De bij een gunstig structuureffect geconstateerde gemiddelde opbrengstverhoging was echter zo gering, dat zij niet renumeratief is.

6. De verkregen aanwijzingen rechtvaardigen het voortzetten der nog bestaande 7 proeven, of liever nog het opnieuw doen van serieus uitgevoerde proeven onder betere omstandigheden en met mineralogisch onderzoek.

V. CONTENTS

	Page
I. STABLE HUMUS IN NATURE	3
1. Different kinds of soil organic matter	3
2. Stability of humus	6
3. Properties of stable humus	9
4. Limits to the amount of stable humus	11
Literature	14
II. ARTIFICIAL STABLE HUMUS	16
1. Historical review of the subject	16
2. Recent investigations	17
3. Consequences	25
Literature	27
III. INTERPROVINCIAL SYNTHETIC HUMUS FIELD-TRIALS IN 1943—1947 . .	21
1. The products and the inducement to the trials	28
2. Laying out of the trialfields	30
3. Results	35
4. Additional remarks	41
IV. SUMMARY AND CONCLUSIONS	42
V. SUMMARY IN ENGLISH	44

SUMMARY: STABLE HUMUS AND THE FIELD-TRIALS WITH SYNTHETIC
STABLE HUMUS IN THE NETHERLANDS 1943—1947

By stable humus we mean such part of the soil humus as offers resistance to oxydation and microbial attack, is unsoluble in acetyl bromide and consists principally of humic acids.

In Chapter I occurrence and formation of stable humus in nature are discussed. Recent investigations have suggested that to obtain the most stable type of stable humus viz. that in the form of active and stable clay-humus-complexes the presence of organic matter (humic acid) and of clay-mineral (montmorillonite) should be required.

Chapter II deals with the attempts to make synthetic stable humus. Here again the most promising results were obtained when montmorillonite was added to the treated organic matter.

Chapter III gives a detailed description of the field-trials on clay-soils during the years 1943—1947 with the synthetic humus product made in Holland by SIEUWERTSZ VAN REESEMA, called Calha-humus X₂.

As these experiments were started during World War II, they have badly suffered from a long series of adverse circumstances, from which regrettable fact the number of the conclusions to be drawn from the material is more limited than might otherwise have been the case. Still, the few conclusions to the drawing of which we feel justified, are of some importance.

1. A favourable effect on soil structure occurred in half of the cases; in a vast material of analytical data we did not succeed in finding a clue for the solving of the problem why the other half showed no improvement in structure, so that other factors not ascertained are in play.

2. For these facts, possibly the presence or absence of montmorillonite in the soils in question might again be held responsible. However, this has not been ascertained as no mineralogical analysis has been made.

3. In the cases where no improvement in structure occurred the yields decreased while on the other hand there was practically no response in yield to an improvement in soil structure.

4. We feel justified in recommending the continuing of the experiments under better circumstances and together with mineralogical analysis.