

Nederlandsch Boschbouw-Tijdschrift

Oprichter Dr. J. R. Beversluis
Orgaan van de

Nederlandsche Boschbouwvereniging

15e Jaargang

No. 12

December 1942

Oorspronkelijke Bijdragen

DE HUMUS ONZER BOSSCHEN EN HEIDEN

door

W. BEIJERINCK.

(Voordracht, gehouden op den 16en Wetenschappelijken
Boschbouwcurcus te Wageningen op 10 October 1942.)

"The importance of humus in human economy seldom receives sufficient emphasis. Suffice to say that it probably represents the most important source of human wealth on this planet. Nature has stored in and upon the earth, in the form of humus, the source of a vast amount of readily available energy, a large part of the carbon needed for life processes, and most of the combined nitrogen, so much needed for plant growth."

(S. A. Waksman, Humus, p. 397.
London, 1936.)

I. INLEIDING.

De omzettingsprocessen, waaraan de afgestorven organismen onderworpen zijn, verlopen, zooals tal van chemische processen in de Natuur, 'in de richting' eener vorming en eventueele accumulatie der meest resistente stoffen als eindproducten. Hier zij slechts herinnerd aan de krijtbeddingen, dolomietgesteenten, kiezelaarde afzettingen en petroleumlagen, alsmede aan het diepzeeslib der oceanen. Ook het humificatieproces en de verdere langzame inkoling van de humusstoffen tot bruinkool, steenkool en graphiet, zijn hiervan voorbeelden.

Indien deze ontleding der organische stoffen niet plaats vond, zou het leven op Aarde vrij spoedig onmogelijk worden. H. Schroeder (1919)¹⁾ heeft bij zijn studie over de totale productie van het groene plantendek der Aarde, het koolstofgehalte der organische stoffen, in alle boschbodems en boschvegetaties te zamen vastgelegd, als equivalent aan 1060 biljoen kg CO₂ berekend, dat is ca. de helft van de totale hoeveelheid CO₂ van de atmosfeer. Tweederde van de totale hoeveelheid CO₂, die door de vegetatie der Aarde per jaar wordt gebruikt, n.l. 140 biljoen kg, zou door de boschvegetatie worden gebruikt, terwijl ± de helft hiervan in den bodem zou terugkeeren als plantenresten.

¹⁾ De auteursnamen met jaartallen verwijzen naar de literatuurlijst aan het eind van dit artikel.

W a k s m a n (1936) zegt naar aanleiding hiervan : „Deze feiten rechtvaardigen voldoende het hechten van een groote betekenis aan de omzettingen der organische massa in den boschbodem, zoowel uit een oogpunt van boschbouweconomie als tot beter begrip van den kringloop der voedingsstoffen in de Natuur.”

De jaarlijks geproduceerde organische resten van alle bosschen op Aarde bevatten ongeveer 1 % van de totale hoeveelheid CO_2 van de atmosfeer. Dus waren de organische resten, uitsluitend der bosschen, niet opgenomen in diverse kringloopprocessen, dan zouden over ongeveer 100 jaar de CO_2 voorraden van de atmosfeer daardoor alleen reeds zijn uitgeput. Omdat, naast chemische en physische werkingen, ook een belangrijk deel der levensvormen deze resten weer aantast en omzet in : H_2O , CO_2 , NH_3 , levende materie en tal van andere stoffen, kan het leven zich handhaven.

Toch blijft een deel der organische reststoffen buiten het bereik der levende materie, o.a. in den vorm van echte humusstoffen. Onderstaand overzicht, dat is ontleend aan W a k s m a n ' s monographie over humus (1936) geeft ons eenig denkbeeld van de belangrijkheid der humus-accumulaties op Aarde.

Koolstof in de atmosfeer	600	biljoen kg	} 17000
„ „ de hydrosfeer	16400	„ „	
„ „ anthracietkool	422	„ „	} 6176
„ „ bitum. kool	2732	„ „	
„ „ bruinkool	1499	„ „	
„ „ veen	1123	„ „	
„ „ den bodem (30 cm)	400	„ „	
„ „ levende materie	700	„ „	700

Men zou zich kunnen afvragen of bij een dergelijke opvoering van organische reststoffen toch niet op den duur het leven wordt teruggedrongen, vooral als wordt bedacht dat ongeveer $\frac{1}{4}$ gedeelte van het koolstofkapitaal aan de atmosfeer en hydrosfeer is onttrokken en vastgelegd. Voorloopig behoeven wij ons hierover niet bezorgd te maken, omdat gedurende de minstens 500 millioen jaren, die het leven op Aarde heeft doorgemaakt, de reststoffen slechts een uiterst kleine fractie vormen van de in dien tijd geproduceerde levende stof. Bovendien worden, alleen reeds door toedoen van den mensch, enorme hoeveelheden der kaustobiolithen thans weer in den snelleren kringloop der stoffen opgenomen.

De afbraak der organische stoffen in de Natuur zullen wij in het vervolg aanduiden met de woorden : *ontbinding* of *ontleding*.

Een deel der ontbindingsproducten wordt dus direct weer opgenomen voor de synthese van levende materie. Een ander deel komt eerst vrij, om dan langs verschillende wegen be-

schikbaar te komen, eveneens voor den opbouw der levende stof. De overige stoffen worden tenslotte omgevormd of opgehoopt tot meer resistente verbindingen, zooals: echte humusstoffen, cutine, suberine, wassen, harsen, enz.. Door fysisch-chemische processen worden die dan verder langzaam omgevormd, o.a. door inkoling, door bitumineering, dan wel door verbranding.

De vorming der humusstoffen wordt aangeduid met het woord: *humificatie*. Hieruit blijkt dus dat er een scherp onderscheid tusschen de begrippen ontleding en humificatie dient te worden gemaakt.

Een tweede algemeen verschijnsel bij de omzettingprocessen in de Natuur is de tendenz om evenwichtstoestanden in het leven te roepen tusschen de hoeveelheid geproduceerde organische stof in een bepaald milieu en de aldaar opgehoopte humusstoffen. Volgens de humusklimaatwet van Jenny zou dit verschijnsel in hoofdzaak samenhangen met de temperatuur en humiditeit. In een bepaald bodem zou na eenigen tijd, onder gelijkblijvende omstandigheden (vegetatiedek, temperatuur, vochtigheid) een vrij constant blijvende hoeveelheid humus aanwezig zijn. Hierop zullen wij nog nader komen te spreken.

Deze beide tendenzen, n.l. de vorming van resistente eindproducten en het bereiken van bepaalde evenwichtsverhoudingen bij het humificatieproces in de Natuur maken het mogelijk dit overigens dynamische systeem ook van een statistische zijde te benaderen.

II. HUMUS EN HET HUMIFICATIEPROCES.

a. *Het begrip humus.* Onder humusstoffen worden tegenwoordig verstaan:

Die reststoffen van organischen oorsprong, welke zich kenmerken door een groot aantal verbindingen (complexen) van wisselende samenstelling, waarvan de hoofdgroep (nucleus) bestaat uit: ligninederivaten en proteïnen, in meer resistente bindingen als z.g. lignoproteïnen, waarbij als bijmengsels doorgaans nog voorkomen: ligninen, koolhydraten, vetten, org. zuren, alcoholen, aldehyden en nog tal van andere stoffen.

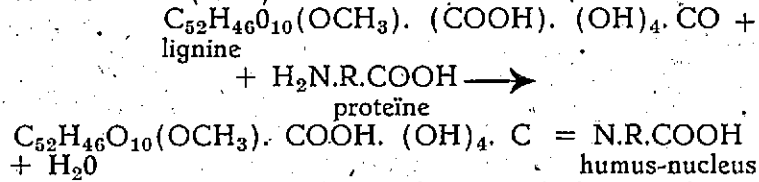
De wisselende samenstelling van deze massa, die zich kenmerkt door haar licht- tot donkerbruine tinten, wordt bepaald door:

- 1e, den aard der organische stoffen, waaruit zij is gevormd;
- 2e, de voorwaarden, waaronder de ontleding heeft plaats gehad;
- 3e, de mate, waarin de stoffen zijn omgezet.

Zuivere humus (ligno-proteïne) zou zich kenmerken door het niet oplossen in acetyl-bromide, waarin nagenoeg alle bijkomstige stoffen, ook lignine en ligninezuren, geheel of nagenoeg geheel oplossen, (volgens Karrer en Bodin-

Wieger (1921), Groszkopf (1926) en Springer (1931, 1932).

Als voorbeeld eener formule voor een ligno-proteïne geeft Waksman (1936):



en voegt hieraan toe, dat dit complex vrij stabiel is en in hooge mate basen vermag te binden. Men stelle zich echter niet voor, dat de lignoproteïne complexen of hun gemodificeerde vormen onafhankelijk bestaan van de andere humus componenten. Zij komen waarschijnlijk niet alleen gebonden aan basen voor, maar ook aan andere organische en anorganische stoffen. Het zou derhalve even onjuist zijn om humus als een enkelvoudige chemische verbinding te beschouwen als dat men een plant of dier als zulk een elementair systeem zou opvatten.

Volgens de meer recente onderzoekingen van onze landgenoot Griffioen (1938) zouden de ligninen ontstaan uit pectinen door reductie. Uit de ligninen, die een neutrale reactie vertoonen, zouden dan door oxydatie de ligninezuren ontstaan, die op hun beurt door hydrolyse, condensatie, polymerisatie en binding aan proteïnen, humuszuren opleveren. Griffioen's onderzoekingen over het voorkomen van ligninen en humus (de laatste als donker gekleurde stof) in het duramen van ebbenhout maken het waarschijnlijk, dat de echte-humusvorming in een steriel milieu, d.w.z. zonder inwerking der microben kan plaats vinden. Dat neemt echter niet weg dat wel de invloed van de levende hoogere plant, o.a. door enzymwerking, mogelijk blijft.

Toch is de rol der microben bij de humusvorming in den bodem van groote beteekenis, zooals door Waksman en anderen is aangetoond. Wel is deze microbenwerking in de eerste plaats een indirecte, doordat zij de gemakkelijk aantastbare stoffen, zooals suikers, zetmeel, cellulose, hemicellulosen, eiwitten, vetten, oliën enz. het eerst afbreken, waardoor de nog niet of althans weinig aangetaste ligninen zich ophoopen in het residu. Hun percentage neemt in de ontlede massa toe.

Hoewel het ware zuurkarakter der huminezuren volgens de onderzoekingen van Fischer (1914) en Odén (1920) vrijwel zeker is, moet er toch ook mede rekening worden gehouden, dat de humusstoffen zich in de Natuur gedragen als hydrophiele kolloïden, — zoowel in fijn- als grof dispersen toestand voorkomen en adsorptieve werkingen vertoonen, naast absorptie.

b. *Ontbinding en humificatie.* Ontleding of ontbinding der afgestorven organismen kan op zeer uiteenlopende wijze

plaats vinden, afhankelijk van de uitgangsstoffen en de er mede samenreffende milieufactoren. Potonié (1910) gaf een vrij eenvoudig overzicht der ontledingsprocessen in de Natuur. Dit overzicht is wel niet volledig, daar geen rekening is gehouden o.a. met de trophie, d.w.z. de voedingstoestand van het milieu en met de temperatuur, maar in hoofdzaak gaat het wel om de drie door hem genoemde processen, n.l.:

1. het *vergaan*, d.w.z. de volledige omzetting, zonder dat organische resten overblijven, zooals dit bij een volledige verbranding (oxydatie) geschiedt.
2. de *humificatie*, zooals wij die kennen bij de veenvorming, de overige humusvorming en verdere inkoling. Als eindproducten ontstaan steeds C-rijkere en H-armere verbindingen.
3. de *bitumineering*, d.w.z. de afbouw door gistings- (fermentatie-) processen, waarbij als eindproducten o.a. resistente paraffinen optreden.

Gaat men nu na welke factoren, in de Natuur bij deze omzettingsprocessen op elkaar inwerken, dan zijn hierbij drie complexen te onderscheiden, n.l.:

1. De *primaire milieufactoren* of uitgangsfactoren, bijv. : water (chem.), aëratie, verdere trophie, licht, humiditeit, temperatuur en tijd;
2. De *secundaire milieufactoren* of afgeleide factoren, bijv. : ontbindingsgraad der organische stoffen, hun humificatiegraad, de zuurgraad, en de kolloïdtoestand.
3. De *levende materie* of de tegenspelende factoren, zooals : de levende organismen, de correlaties der bionten, de uitbreidingsmogelijkheden der bionten en de antropogene invloeden.

Om inzicht te verkrijgen in dit gecompliceerde samenspel is het noodig de complexen eerst te analyseeren in meer enkelvoudige factoren, en deze dan op hun werking na te gaan. Het komt er nu voor ons op aan de belangrijkste factoren, onder weglating der bijkomstige, op verschillende wijze te combineeren (synthèse) en te zien wat daaruit resulteert.

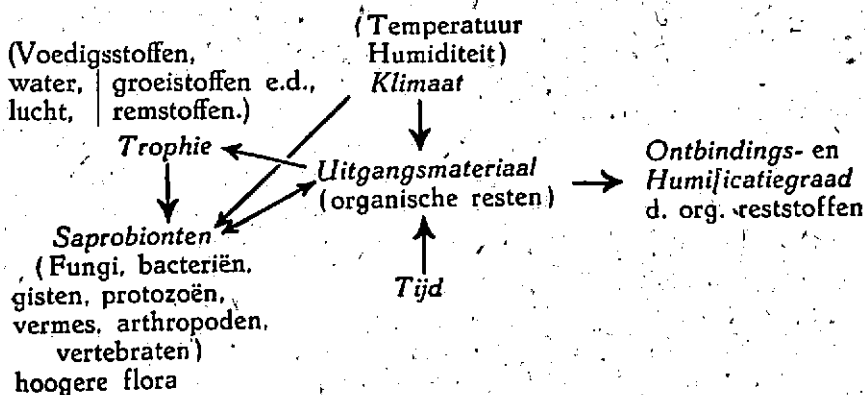


Fig. 1. Schema van het humificatieproces in de Natuur.

Op Fig. 1 is zoo'n eenvoudiger schema samengesteld, dat meer overzichtelijk is. Het begrip trophie omvat echter, behalve water, lucht en verdere voedingsstoffen, ook de groeistoffen e.d. en de remstoffen of gifstoffen. De klimatologische factoren kunnen hier ter vereenvoudiging teruggebracht worden tot : *temperatuur* en *humiditeitsgraad*, welke laatste veelal wordt uitgedrukt in het humiditeitsquotient $\frac{N}{S}$ waarin N voorstelt : den totalen jaarlijkschen neerslag in mm en S het absolute verzadigingsdeficit, uitgedrukt in mm kwik. Is bijv. de jaarlijksche neerslag 900 mm en het verzadigingsdeficit 3 mm, dan is de humiditeitsgraad 300, een getal dat tevens de grens aangeeft tusschen de humide en meer aride gebieden der Aarde. De biologische zoowel als de chemische omzettingprocessen zijn in sterke mate van de temperatuur afhankelijk. Voor het leven liggen zij in hoofdzaak tusschen 0 en 40°C, soms nog hooger. Maar de *optimum*temperaturen voor de biologische omzettingprocessen liggen voor de verschillende levensvormen soms ver uiteen. Zoo naderen de optimumtemperaturen voor vele bacteriologische processen vaak meer de 40° dan die der hoogere organismen. In de tropen hebben dan ook de omzettingen in een zeer versneld tempo plaats, dat veelal geen gelijken tred houdt met de stofproductie door de hoogere vegetatie, terwijl daar tevens de humiditeit, om tot humusaccumulatie te komen, zoo hoog dient te zijn als zelden voorkomt. In de tropische regenwouden of nabij de kust komt het dan nog tot belangrijke humusophooping, evenals in het gebergte met zijn lagere temperaturen en grootere humiditeit. Volgens Mohr (1916) zou de humusaccumulatie op het land bij 25°C ophouden. Hij stelt het verloop der humusaccumulaties als volgt voor. (Zie Fig. 2).

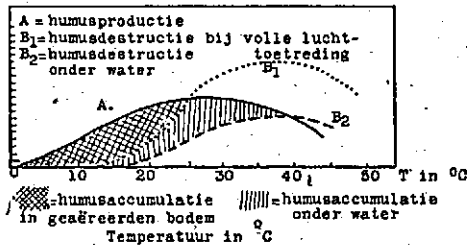


Fig. 2. Humusaccumulatie en humusontleding in den bodem volgens Mohr, 1916.

Naar het Noorden, bijv. in den subarctis, is de humiditeit zeer groot en geeft dan ook aanleiding tot humusvorming op groote schaal. De lagere temperaturen doen echter de microbiologische processen in vertraagd tempo verlopen, terwijl door de hoogere vegetatie nog vrij veel stof wordt geproduceerd. Hier zien wij dan ook een uitgebreide humusaccumu-

latie. Nog noordelijker, in den arctis, is de organische-stof-productie dusdanig verminderd, dat deze een humusaccumulatie op groote schaal belet.

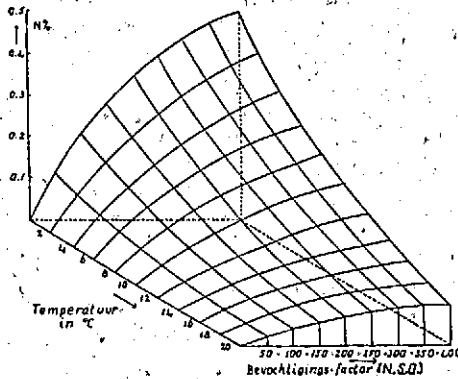


Fig. 3. Geïdealiseerd Bodemstikstof-Klimaat-Vlak (naar H. Jenny, 1930).

Deze klimatologische invloeden vinden hun uitdrukking in de reeds genoemde humus-klimaatwet van Jenny (1930). Op Fig. 3 is voor een bepaald bodemtype met een bepaald vegetatiedek de betrekking tusschen temperatuur, vochtigheidsgraad en bodemstikstof (N) aangegeven. De laatste als zijnde ongeveer een maatstaf voor het humusgehalte, daar voor ieder bodemtype, na verloop van eenigen tijd, onder overigens gelijkblijvende omstandigheden (temperatuur, vocht, vegetatiedek) een vrijwel constante verhouding tusschen koolstof- en stikstofgehalte blijft bestaan (C/N), waarbij het C-gehalte wederom als een index voor het org. stofgehalte in den bodem kan worden aangenomen.

Naast het klimaat en binnen een bepaald klimaatgebied speelt de trophietoestand een groote rol, daar hierdoor een selecteerende werking wordt uitgeoefend op de organismen, die de organische stoffen moeten omzetten. Deze levensvormen kunnen aangeduid worden met het woord: *saprobionten*. De alkalische of zure reactie van het geheele complex van stoffen, de meerdere of mindere mate van aëratie en de hoeveelheid water, waarin de voedingsstoffen zijn opgelost, alsmede hun kolloïdtoestand geven tal van mogelijkheden voor het optreden van zêér uiteenlopende organismegroepen (biocönos).

Zoo heeft R. Falck (1927—'28) aangetoond, dat er in den boschbodem twee verschillende groepen van fungi kunnen voorkomen, waarvan de eene groep zoowel cellulose als lignine ontleedt, terwijl de andere groep wel de cellulose aantast, maar de lignine intact laat. Hij noemt deze processen respectievelijk: *corrosie* en *destructie*. Als voorbeeld van een corrosieve zwam vond hij: *Clitocybe nebularis*, terwijl *Coniophora cerebella*

een destructieve zwam is. In dit laatste geval, dus bij destructie, zullen de ligninen worden gespaard en beschikbaar blijven voor ev. verdere omzettingprocessen, die leiden tot de vorming van ligno-proteïnen of ware humuszuren. Falck liet boombladeren eerst ten deele door *Coniophora* omzetten, steriliseerd en *Coniophora* geënt, dan vond wel verdere afbraak en groei van de zwam plaats. Hieruit concludeerde hij dat de lignine in het eerste geval moest zijn omgezet in een vorm (b.v. humus), waarin een verdere afbraak door lignine aantastende organismen niet gemakkelijk meer plaats had. Hierdoor zouden de vorming en accumulatie van de zure boschhumus kunnen worden verklaard.

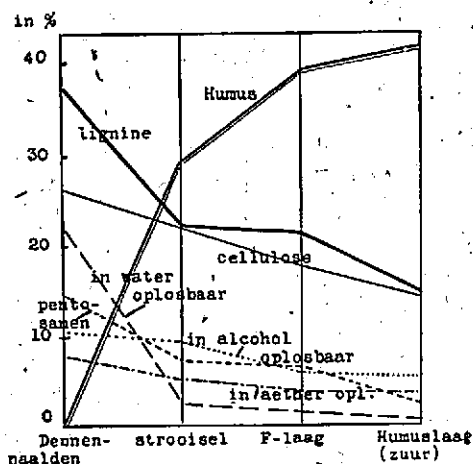


Fig. 4. Ontbinding van dennennaalden bij de omzetting in organische massa van boschgrond (naar Groszkopf, 1935).

De processen, die leiden tot een vorming van echte humusstoffen (lignoproteïnen) bij de ontbinding der afgevalen bladeren vertoont volgens de onderzoekingen van Groszkopf (Fig. 4) een sterke daling van het ligninegehalte en een stijging van het humusgehalte. Reeds een dor blad of een dennennaald in de strooisellaag heeft een hoge mate van humificatie ondergaan. De verdere humificatie verloopt dan steeds langzamer. Hier moet echter ook rekening worden gehouden met een mogelijke destructie van de echte humusstoffen zelf, waarover wij nog komen te spreken.

De trophietoestand wordt ten deele beheerscht door het uitgangsmateriaal (de organische resten) zelf, voor een ander deel werken de oplosbare minerale bestanddeelen er aan mede.

Bovendien kunnen werkingen als die der groeistoffen en reststoffen (giften) hun invloed doen gelden.

Het *uitgangsmateriaal*, de afgestorven plantaardige en dierlijke stoffen zijn geenszins gelijkvormig bij een en de zelfde levensvorm. De chemische samenstelling van een plantensoort kan, al naar mate zij op vruchtbaren (electrolytrijken) dan wel onvruchtbaren (electrolytarmen) bodem heeft gegroeid, aanmerkelijk variëren. Als voorbeeld kunnen wij bijv. de gewone struikheide nemen.

CALLUNA!

	N	Ether extract	Crude fibre	SiO ₂ free ash	Ca O	P ₂ O ₅
Average	1.29	2.73	25.18	2.13	0.54	0.20
Limits	0.84—2.11	1.41—4.51	18.36—32.19	1.28—3.55	0.38—0.87	0.10—0.41

(According to Lander and Comrie (1936) en % of the dry mass.)

Influence of the soil on the composition of the ash of Calluna according to E. Wolff and L. F. Rötthe, in v. Linstrouw (1929). (In % of total ash.)

Soil	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	SiO ₂	Cl
Dolomite	4.81	10.23	26.49	8.39	2.71	0.61	5.22	29.78	4.86
id.	2.71	11.93	12.97	10.39	12.77	0.60	2.29	45.81	0.51
Liasandstone	6.42	5.41	33.48	8.03	2.02	4.01	1.44	32.72	1.83
id.	29.58	15.56	6.67	1.54	5.30	1.03	30.94	4.10	
Clay soil	10.65	0.86	12.02	6.70	4.95	10.89	1.73	48.08	—

Op bovenstaande tabellen komt dit genoegzaam tot uitdrukking. Dit beteekent tevens, dat hierdoor weer een selectie zal plaats hebben onder de omzettende organismen, bijv. in dien zin, dat, hetzij fungi dan wel bacteriën het omzettingsproces inluiden, met alle gevolgen van dien. De protozoën als bacteriënvreters, de aardwormen als protozoënvreters, de insecten als wormvreters en de vertebraten o.a. als insectivoren, hangen daarvan af en zullen dus al dan niet optreden en het geheele omzettingsproces al dan niet kunnen beïnvloeden. Maar ook, indien wij van Falk's onderzoekingen uitgaan, zien wij, dat de omzettingsprocessen kunnen verlopen in de richting eener vorming en accumulatie van huminezuren, dan wel in andere richtingen.

Het verband tusschen deze drie aan elkaar geketende factoren (*uitgangsmateriaal*, *trophie* en *saprobionten*) is ten deele als een kringloopproces op te vatten, waarop verdere factoren, als *tijdsduur* en *klimaat* inwerken. Wij kunnen dit schematisch voorstellen door een tetraeder waarvan de zes

kantlijnen de factoren voorstellen (Fig. 5) en de inhoud de mate van humificatie. Alleen de basislijn a—b, die het organische uitgangsmateriaal voorstelt, kan als een bepaalde grootte worden aangehouden, terwijl alle andere factoren dan van wisselende grootte kunnen zijn, wat weergegeven kan worden door een wisselende lengte der respectieve tetraëderkantèn. *Ontbinding en humificatie* gaan in de Natuur meestal samen, hoewel in verschillende mate. Bij ver voortgeschreden

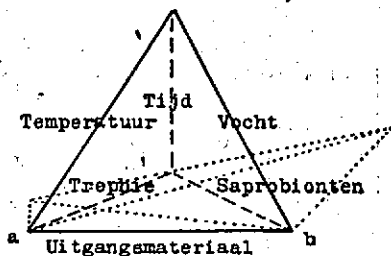


Fig. 5. De inhoud van den tetraëder met vaste basiszijde a—b stelt voor: den humificatiegraad. (orig.)

ontbinding der organische stoffen kan weinig of nagenoeg geen humificatie voorkomen, zooals dit bijv. in de z.g. bruinaarden is te zien, evenals bij krachtige rottingsprocessen (koolbladeren, kadavers) en bij verbranding. Zoowel goede ontbinding als humificatie treft men o.a. aan in goeden tuinen en boschgrond (teelaarde, milde boschhumus).

Aan den anderen kant kan bij een matige ontbinding (waarbij bijv. nog duidelijk plantenstructuren waarneembaar zijn) zoowel een zwakke als een intensieve humificatie plaatsgrijpen. Voorbeelden hiervan zijn bijv. voor 't eerste geval: de zure boschhumus, het jonge mosveen en voor 't tweede geval het oudere mosveen.

Overzien wij nu de verschillende humustypen, dan kunnen deze volgens U. Springer (1931), als op bijgevoegde tabel (pag. 571) worden voorgesteld.

III. OPHOOPING EN AFBRAAK DER HUMUSSTOFFEN IN DE BOSSCHEN.

Naast de processen, die leiden tot een vorming van humusstoffen verlopen doorgaans ook gelijktijdig de afbraakprocessen van den gevormden humus. Men beschouwd terecht of te onrecht de humusstoffen als de meer resistente complexen, die moeilijker door microben zouden worden aangetaast. Of dit juist gezien is, moet in het midden worden gelaten, want in de Natuur hebben wij te maken met onreine humus. De synthetisch in het laboratorium verkregen humusstoffen zijn inderdaad vaak moeilijk aantastbaar, maar gezien de zeer gecompliceerde en uiterst variabele bouw der humusvormen, die voorkomen, kan hier niet worden ggeneralisi-

Typering en indeeling der humusvormen in den bodem. (Naar U. Springer, 1932.)

	Bodemtype:	Omzetting in % reine humus	Humificatie- getal	Kleurgetal HZ:ZG	Humingehalte	C/N	Humusz. binding	Dispersiteit	Bodemreactie
I. Organogene bodemtypen.	1. Hoogveen (sphagnum v.)	matig (46—49)	zeer goed (81—93)	176—188	hoog	↑ wijder wordend	meest vrij	middelmatig	sterk zuur
	2. Zure bosch- humus (-turf)	matig, (58—60)	goed (55—77)	92—128	matig		idem	idem	sterk- matig
	3. Moerasveen	matig (46)	—	—	hoog		aan CaO rest vrij	gering	matig, zw. zuur
	4. Veenarde (dalgrond)	matig goed	—	—	matig		> 10	idem	idem
II. Minerogene bodemtypen.	5a. Podsoltype gedegr. br. a.	matig (46—52)	matig (32—33)	62—75	gering geen	> 10	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	hoog	sterk, matig z.
	5b. Podsol-A ₁ (koolachtige h.)	(z) goed (86)	zeer goed (114)	133	matig	> 10	idem	idem	idem
	6. Bruinearde (boschgrond)	goed (70)	zw., matig (15—29)	20, ca. 50	geene	ca. 10	meest CaO	gering	neutr., alk
	7. Rendzinatepe	goed (57—65)	goed (34—46)	52, 81	gering.	idem	CaO en MgO	idem	idem
	8. Zw. aarde d. steppen e.d.	z. goed (71—91)	z. goed (81—109)	109—143	matig, onbr.	idem	idem	idem	idem
	9. Kalkh. veenbodem	z. goed (81—82)	z. goed (71—92)	87—114	matig	idem	idem	idem	idem

seerd. In ieder geval staat vast, dat onder natuurlijke omstandigheden de gevormde boschhumus zich kan ophoopen dan wel volledig weer kan verdwijnen.

Over het algemeen blijft in de koele en gematigde humide gebieden, waartoe ook Nederland behoort, steeds een zeker kwantum humus over in den boschbodem, wat er op wijst dat het afbraaktempo niet heelemaal gelijken tred heeft gehouden met het vormingstempo, althans aanvankelijk. De vraag of dit uit een oogpunt van stofwisselingseconomie en boschbouweconomie in het bijzonder al dan niet gewenscht is, is niet zoo eenvoudig te beantwoorden.

Wederom zijn het de omstandigheden, die bepalen of humus zich zal accumuleeren dan wel zal verdwijnen.

Zooals wij zagen leert de humus-klimaatwet van Jenny ons de afhankelijkheid van het z.g. humuscontingent van het klimaat, het bodemtype en het vegetatiedek. Temperatuur en vochtigheidsgraad spelen daarbij de hoofdrol. Daarnaast is het weer de trophietoestand die doorslaggevend werkt, waarbij dan komt: de aard van het humusdek zelf met de belangrijkste gif- en groeistoffen.*

Dit geldt echter alleen voor de recente, pas gevormde humusdepôts. Iets anders wordt het, wanneer in den bodem onzer hedendaagsche cultuurboschen humusdepôts uit vroegere tijden aanwezig zijn, zooals dit bijv. het geval kan zijn bij de aanwezigheid van z.g. podsolprofielen met humuszandsteenbanken. Hier wordt de humusomzetting veel gecompliceerder en afhankelijk van bepaalde opzettelijk aangebrachte melioraties. Ook de hydrologische toestand kan hier van groote beteekenis zijn, daar bijv. eutroof bodemwater en bewegend bodemwater oplozend kunnen werken op de fossiele humuszandsteenbanken. Behalve dat de afbraakcondities in arme gronden met humuszandsteenbanken veel slechter zijn, vooral wat de N. mobilisatie betreft, moet ook terdege rekening worden gehouden, met een door de bankvormingen in den ondergrond geschapen nieuwen toestand, voor zooverre het betreft den kringloop der stoffen tusschen de drie basisfactoren van onzen tetraëder, n.l. trophie, saprobionten en organische reststoffen. Is een electrolyt rijkere (voedzamere) ondergrond bereikbaar voor de boomwortels, b.v. van den zomereik, dan zal een dergelijk eikenbosch bodemverbeterend kunnen werken door het omhoog brengen van voedingsstoffen uit diepere lagen, waarvan dan een gedeelte terugkeert in den humus. Is dat niet mogelijk, dan moet de vegetatie genoegen nemen met het bodemcomplex, dat is gelegen boven de bankvormingen. Hierbij komt tevens een geheel andere bodemwatertoestand, waardoor alleen die planten het zullen kunnen volhouden, die hun waterhuishouding daarnaar kunnen regelen, zooals *Calluna*, de heide. Loofhoutgewassen zullen hier een kwij-

nend bestaan, dan wel in het geheel geen bestaan kunnen vinden. De ondiepe bodemlaag* is n.l. veel sterker aan een periodieke overmaat van water en daarop volgende sterke uitdroging onderworpen; krijgt min of meer een steppen-karakter.

IV. BETEKENIS VAN DEN HUMUSTOESTAND VOOR DEN BOSCHBOUW, IN VERBAND MET BOSCH EN HEIDE IN NEDERLAND.

Het verschijnsel der podsoleering zien wij het krachtigst optreden in gebieden met een koud humied klimaat of een gematigd, zeer humied klimaat. De bodemkaart van *Stremme* (1928) leert ons, dat het vooral N.-Europa en NO Europeesch Rusland zijn, waar de sterkst gepodsoleerde boschbodems typen optreden. Ons land heeft wel podsol-bodems, maar hun karakter is hoofdzakelijk fossiel, althans bestaan weinig concrete waarnemingen over het vormen van volledige podsolprofielen, in meer recente tijden. Evenmin zien wij in ons land en NW Duitschland, waar eens uitgebreide veenvormingen hebben plaats gehad, boven den waterspiegel uit (ombrogene venen), thans nog een dergelijke veenvorming van beteekenis. Dit wordt nu wederom in verband gebracht met de humiditeitstoestand en de temperatuur. Raadpleegt men bijv. de kaart van Europa met de lijnen van gelijk humiditeitsquotient van *A. Meyer* (1926), dan stelt de 300 lijn ongeveer de grens tusschen humide en aride gebieden voor. In Zuid-Noorwegen, Ierland en de Alpen wordt de extreem hooge waarde van 1000 bereikt, terwijl in N. Schotland waarden tusschen 800 en 1000 liggen. Voor Nederland zijn hieronder de N/S getallen der laatste 10 jaren, waarvan gegevens beschikbaar waren, aangegeven uit de gegevens van de Bilt en ontleend aan het Meteorologisch Jaarboek. Het gemiddelde ligt dus bij 579, wat met de kaart van *A. Meyer* in overeenstemming is. Het gebied der sterke podsoleering in Europa valt voor het grootste deel samen met de z.g. naaldhoutzone, terwijl de loofbosschen vooral op de zwak gepodsoleerde bodemtypen en bruinaar-

Jaar	Gem. Jaartemp.	Gem. dampsp.	Gem. neerslag mm.	Gem. N/S (humiditeit)
1930	10,7	7,9	910	579
1931	9,7	7,5	772	529
1932	10,4	7,9	744	500
1933	10,2	7,5	511	290
1934	11,3	8,0	710	362
1935	10,7	7,8	917	518
1936	10,5	7,8	750	455
1937	9,5	8,1	726	981
1938	9,7	7,9	782	738
1939	9,6	7,9	839	839

den voorkomen. In ons land wordt echter de zure boschhumusvorming nog in de hand gewerkt door een tweede verschijnsel, waardoor de klimaatinvloed gedeeltelijk wordt versterkt, n.l. dat der arme uitgeloopte zanden. Zijn Ca, Mg en andere gemakkelijk bewegelijke electrolyten uit het minerale bodemskelet verdwenen, dan kunnen de vrije humuszuren niet worden verzadigd en blijven in fijn dispersen kolloïdtoestand bestaan, worden gemakkelijk omlaag gespoeld, waarbij dan successievelijk een binding aan F_2O_3 en Al_2O_3 plaats heeft en op bepaalde diepte uitvlokking tot stand komt. In de bovenlagen blijft daardoor een zuurgraad bestaan (pH = 3,5—4,5) waarbij bacteriewerking gering wordt, zoodat hoofdzakelijk schimmels en andere fungi de de omzetting bewerkstelligen en ongunstig kunnen beïnvloeden. Waar voldoende electrolyt, vooral Ca en Mg aanwezig is in de bovenlagen, komt het in ons land meestal niet meer tot bankvormingen in den ondergrond en evenmin tot een accumulatie van zure humus aan de oppervlakte, omdat voldoende omzettende organismen optreden. (Saprobionten e.a.) Op electrolyt-arme gronden daarentegen kan zich bij ons wel degelijk zure humus ophoopen. Hieruit volgt ook, dat niet zoozeer de hoeveelheid gevormde humus van doorslaggevende beteekenis is voor de plantengroei dan wel de *hoeftandigheid* en vooral de *evenwichtstoestand* tusschen opbouw en afbraak, dus de *snelheid* van dit opbouw- en afbraakproces.

De snelheid is ten deele afhankelijk van de temperatuur, een klimaatfactor waaraan betrekkelijk weinig te veranderen valt. Het evenwicht tusschen opbouw en afbraak van humus is tot zekere hoogte echter wel te beïnvloeden door de trophietoestand te regelen (bekalking, bemesting bij boschaanleg op arme gronden, gepaard gaande met zoo snel mogelijke sluiting van het loofdak door den aanplant van menghoutsoorten met hooge bladproductie, zooals dit tegenwoordig op empirische gronden reeds geschiedt. De invloed van het uitgangsmateriaal zelf (de plantenresten) uit zich soms ook, vooral in cultuurboschen. Dat wil zeggen, dat met het ouder worden der boschen veranderingen intreden in den humustoeestand van den boschbodem. Hiermede gaan dan natuurlijk ook veranderingen gepaard in de samenstelling der boschflora en -fauna, in de eerste plaats der saprobionten (successies). Door Griffith c.s. en Fisher is dit in New England (Ver. Staten) onderzocht. Op Fig. 6 is dit verloop door hen aangegeven voor naaldhoutboschen, die naderhand in diverse loofhoutboschen (A, B, C) werden omgevormd.

Een zelfde houtsoort echter, die in een bepaald milieu grondverbeterend werkt in den zin eener vorming van milde humus kan in een ander milieu aanleiding geven tot vorming van zuren boschhumus en accumulatie daarvan. Hetzelfde

geldt voor de heidevegetatie. Ook de struikheide kan aanleiding geven tot vorming van zuren humus in overmaat, ev. met als gevolg: humuszandsteenvorming, dan wel een uitnemende milde humus leveren, die door tuinders wordt gewaardeerd. In ons land hangt dit ten nauwste samen met den trophietoestand van den mineralen ondergrond, althans met het in het bodemwater opgeloste deel daarvan.

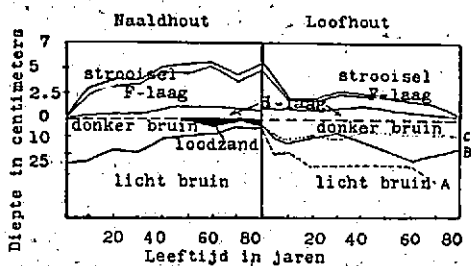


Fig. 6. Ontwikkeling van boschbodemprofielen onder naaldhout en daarop volgende loofhoutvegetatie (A, B en C).
(Volgens Griffith, Hartwell en Shaw) 1930.

Stelt men zich voor, dat een kale grond, met nagenoeg geen humus, begint te begroeien, dan hangt het verloop van de humusaccumulatie en -destructie aanvankelijk vooral af van de aanwezige oplosbare minerale zouten, hun reactie en concentratie. De autotrophe organismen beginnen dan ook met de organische stofproductie. Pas later komen de heterotrophe organismen er bij. Hieruit zien wij dat juist de beginvegetaties van doorslaggevende beteekenis kunnen zijn voor het verdere verloop der humushuishouding in den bodem. Maar deze beginvegetaties hebben het niet voor het kiezen. Zij worden door het milieu geselecteerd. De begintoestand van den bodem (trophietoestand) is derhalve bij den boschaanleg van de grootste beteekenis. Een voorraadsbemesting op daarvoor in aanmerking komende gronden zal derhalve bij den boschaanleg van veel voordeel kunnen worden, want verloopt het humusevenwicht eenmaal in de goede richting, dan bestaat op arme dekzanden, waaronder op niet te groote diepte meer voedingsstoffen bevattende lagen voorkomen (zooals dit bijv. in Drenthe veelal het geval is), goede kans voor een rationeele houtproductie. De diepwortelende houtsoorten kunnen in zoo'n geval bodemverbeterend gaan werken. Iets anders is het op diepzandige droge terreinen met electrolytarmen bodem, zooals die bijv. op de Veluwe voorkomen. Daar bewegen de problemen zich in de eerste plaats om het vochthoudend vermogen der bovenlagen (kiembéd, plantbed). Hier zijn groenmestgewassen van belang. Waar bovendien bankvormingen op zulke terreinen het contact verbreken met de diepere lagen, wordt de toestand nog ongun-

stiger, doordat hierdoor in de eerste plaats het verdampingsdeficit kleiner wordt (snellere uitdroging van de lagen boven de bank), dan in diepzandige terreinen, waar het water gelegenheid krijgt dieper weg te zakken. Bovendien zijn de humuszandsteenbanken meestal in de ontkalkte dekzanden gelegen (verlegde fluvioglaciale zanden). Waar het gestuwd praeglaciaal nabij de oppervlakte of bloot ligt, dan wel keileemresten, kunnen door den vaak belangrijk grootere vruchtbaarheid (electrolyten) betere resultaten worden verwacht. Op diepzandige terreinen zonder bankvormingen behoeft men voor watergebrek in den bodem niet zoo bevreesd te zijn in ons humide klimaat, wel echter indien banken of voor de boomwortels ondoordringbare lagen voorkomen.

Op terreinen als de Veluwe zijn de banken dus een groot kwaad en dienen verwijderd te worden vóór den boschaanleg. In Drente, met zijn over het algemeen hooge grondwaterstanden boven de grondmoraine (keileem), vormen de banken dikwijls een gemakkelijker te bestrijden kwaad. Door het aanleggen van rabatten en diepe greppeling, waarbij het uitgegraven zand over de rabatten wordt verspreid, kunnen goede boschgronden ontstaan (bijv. het Asser Stadsbosch, Veenhuizen), zonder dat de banken behoeven verwijderd te worden. Dit is echter alleen mogelijk, waar een overmaat van voedsaam bodemwater ter beschikking van den boomgroei staat.

Het „bezint eer gij begint” geldt vooral ook bij den boschaanleg op armen zandgrond. Helaas is in vroeger jaren al te vaak beboscht, niet alleen met verkeerde houtsoorten, maar ook door verkeerde of geen melioraties toe te passen. De gevolgen daarvan laten na vele tientallen jaren nog hun sporen achter in een verkeerden humustoestand van den boschbodem. De ontwikkeling van het jonge, pas geplante of gezaaide bosch is dikwijls van beslissenden invloed op den verderen groei en de houtproductie. Is eenmaal de humushuishouding in goede banen geleid, dan zullen ook de boomen op verreweg de meeste onzer gronden zich goed ontwikkelen. In vele opzichten is de humustoestand onzer bosschen een index voor hun gezondheidstoestand. Binnen het Nederlandsche klimaatgebied behoeft geen zure boschhumus voor te komen, zooals dit bijv. in de Noord-Zweedsche natuurlijke naaldhoutbosschen wel het geval is. Een andere vraag is of in ons land alle slechtere gronden voor bosschen in aanmerking komen, gezien uit een economisch oogpunt. In bepaalde gevallen kunnen de melioratiekosten dusdanig hoog stijgen, dat het daarin gestoken kapitaal wellicht op andere wijze meer nut had kunnen afwerpen. Een verkeerde humustoestand in het Nederlandsche bosch is als regel het gevolg van een verkeerden trophietoestand.

LITERATUUR.

1. Falck, R.: Ueber korrosive und destruktive Holzzer-
setzung und ihre biologische Bedeutung. Ber. deutsch.
bot. Ges. 44: 652—664. 1927. — Nachweise der Hu-
musbildung und Humuszehrung durch bestimmte Ar-
ten höherer Fadenpilze im Waldboden. Forstarchiv,
6: 366—377. 1930.
2. Fischer, G.: Die Säuren und Kolloide des Humus.
Kühn's Arch. 4: 1—136. 1914.
3. Fisher, R. T.: Soil changes and silviculture on the
Harvard forest. Ecology, 9: 6—11. 1928.
4. Griffioen, K.: A study on the dark coloured dura-
men of ebony. Rec. trav. bot. Néerl., 31. 1934.
5. Griffith, B. G., Hartwell, E. W. and Shaw,
T. E.: The evolution of soils as affected by the old
field white pine — mixed hardwood succession in
Central New England. Harvard Forest Bull. 15. 1930.
6. Groszkopf, W.: Ueber die Umwandlung des Lignins
in Huminsäuren und Humine bei der Bildung von
Humus und Braunkolen aus Nadelholzresten. Brenn-
stoff-Chemie, 7, 293—299. 1926.
7. Groszkopf, W.: Wie verändern sich stofflich und
morphologisch die Fichtennadeln bei der Bildung von
Auflagehumus in geschlossenen Fichtenbeständen?
Forstl. Jahrb., 193, 48—111.
8. Jenny, H.: Gesetzmäßige Beziehungen zwischen Bo-
denhumus und Klima. „Die Naturwissenschaften“,
18: 859—866. 1930.
9. Karrer, P. u. Boding Wiegler, B.: Zur Kennt-
nis des Lignins. Helv. chim. Acta, 4: 700. 1921; 6:
817—822. 1923.
10. Meyer, A.: Chemie der Erde, II. p. 209. 1926.
11. Mohr, E. C. J.: Opkomst en ondergang van cultures
een humuskwestie? Bekn. Versl. Bodem. Congr.
Djocja, 61—68. 1916.
12. Müller, P. E.: Studien über die natürlichen Humus-
formen und deren Einwirkung auf Vegetation und
Boden. Berlin. 1887.
13. Odén, S.: Die Koagulation der Tone und die Schutz-
wirkung der Humussäure Journ. Landw. 67: 177—
208. 1920.
14. Potonié, H.: Die Entstehung der Steinkohle und der
Kaustobiolithe überhaupt. Berlin. 1910.
15. Schroeder, H.: Die jährliche Gesamtproduktion der
grünen Pflanzendecke der Erde. Die Naturwissen-
schaften, 7: 8—12, 23—29. 1919.
16. Springer, U.: Die organische Stoffe, besonders die
echten Humusstoffe und ihre Zustandsformen im

Boden. Soil. Research. Suppl. Proc. Intern. Soc. Soil
Sci. 3: 39—70. 1932.

17. *Stremme, H.*: General Map of the Soils of Europe.
Int. Soc. Soil Sci. 1928.
 18. *Waksman, S. A.*: Humus. Origin, chemical composition and importance in Nature. London. 1936.
-