

C 1626

I N S T I T U U T V O O R B O D E M V R U C H T B A A R H E I D
G R O N I N G E N

C/N-VERHOUDING EN HOEDANIGHEID
VAN DE ORGANISCHE STOF IN DE GROND

-

Literatuuroverzicht

door

H.P. de Roos

isn: 2250190

I N H O U D

	pag.
Voorwoord	2
1. Inleiding	3
2. C/N-verhouding in de grond	3
2.1. Variatie tussen diverse grondsoorten	4
2.2. Variatie tussen verschillende diepten	6
3. C/N-verhouding van speciale fracties van de organische stof	7
3.1. Aantastbare en bestendige organische stof	7
3.2. Fulvozuren en huminezuren	8
4. Invloed van vegetatie op de C/N-verhouding in de grond	10
4.1. Ongecultiveerde gronden	10
4.2. Cultuurgronden	12
5. Invloed van organische bemesting op de C/N-verhouding	15
6. Invloed van anorganische bemesting en pH op de C/N-verhouding	16
6.1. Stikstofbemesting	16
6.2. Fosfaatbemesting	18
6.3. Bekalking en zuurgraad van de grond	18
7. Overige factoren, die verband houden met de C/N-verhouding	20
7.1. Bodembewerking	20
7.2. Waterhuishouding en temperatuur	20
8. Verband tussen C/N-verhouding en mineralisatie van C en N	21
8.1. Verband tussen C/N-verhouding en C-mineralisatie	21
8.2. Verband tussen C/N-verhouding en N-mineralisatie	23
Samenvatting en conclusies	24
Literatuur	26

Voorwoord

Ter karakterisering van de organische stof in grond en meststoffen wordt vaak de verhouding waarin de elementen koolstof en stikstof hierin aanwezig zijn opgegeven. Ondanks het vele onderzoek dat hierover is verricht kan van een communis opinio over de vraag wat deze C/N-verhouding nu eigenlijk betekent niet worden gesproken. Dit vindt zijn verklaring in het feit dat met het enkele gegeven, i.c. de C/N-verhouding de organische stof niet voldoende wordt gekarakteriseerd. De tegenstrijdigheid van sommige uitspraken is deels het gevolg van ongeoorloofde generaliseringen. Zo heeft men hetgeen men vond over het verloop van de C/N-verhouding bij de vertering van min of meer vers organisch materiaal dikwijls zonder meer overgedragen op de "humus" in de grond. Eveneens heeft men zich onvoldoende gerealiseerd dat een hoge C/N-verhouding bij gronden waar door de een of andere oorzaak de vertering van het organische materiaal wordt geremd, niet dezelfde betekenis heeft als een even hoge C/N-verhouding bij gronden waar de omstandigheden voor de vertering al vele jaren gunstig zijn.

Daarnaast is ook verwarring gesticht door een onjuiste interpretatie van de feitelijke gegevens. Een voorbeeld hiervan is de bekende uitspraak van Waksman, die tevens de meest gangbare opvatting over de betekenis van de C/N-verhouding weergeeft: "The wider the C/N-ratio, the more readily will the humus decompose, under normal conditions". Waksman baseerde deze uitspraak (die op zichzelf overigens in vele gevallen wel opgaat) op gegevens die, zoals Engel reeds in 1934 liet zien, hier juist het omgekeerde demonstren.

Bij ons organische stof-onderzoek wordt o.a. nagegaan in hoeverre uit de C/N-verhouding in combinatie met andere gegevens, conclusies kunnen worden getrokken ten aanzien van de hoedanigheid van de organische stof. In het kader van dit onderzoek werd door de analist A de Roos het hierna volgende literatuuroverzicht gemaakt. Om een meer afgerond beeld te krijgen werd daarbij tevens gebruik gemaakt van enkele niet eerder gepubliceerde gegevens uit het onderzoek van wijlen dr. Hooghoudt en van ondergetekende.

Groningen, augustus 1962
drs. H. van Dijk

1. Inleiding

De in de grond aanwezige organische stof is een van de belangrijkste factoren, die de vruchtbaarheid van de grond bepalen. Onder normale omstandigheden kan de totale hoeveelheid organische stof in de grond als vruchtbaarheidsindex worden gebruikt (73). De organische stof in de grond is onontbeerlijk voor de adsorptie en de uitwisseling van voedingselementen, voor het bodemleven, de waterhuishouding en de structuur van de grond (42). Waksman (124) vat de invloed van de organische stof op de processen in de grond en de groei van het gewas als volgt samen:

- a. de levering van voedingsstoffen aan het gewas, b.v. stikstof en fosfor;
- b. de beïnvloeding van de fysische toestand van de grond, speciaal het vochthoudend en bufferend vermogen;
- c. de verschaffing van sommige elementen en verbindingen, waaronder sporenelementen en auxinen, die beperkende factoren zouden kunnen zijn voor de groei van zekere gewassen op bepaalde gronden;
- d. de begunstiging van de ontwikkeling van antagonistische organismen, die dienen om zekere belangrijke plantenziekten te bestrijden.

Deze organische stof is niet constant van samenstelling en eigenschappen en daarom zijn er vele pogingen gedaan om grootheden te vinden, die de hoedanigheid daarvan weergeven.

Wie het eerst gebruik gemaakt heeft van het quotiënt koolstof/stikstof als een hulpmiddel voor de karakterisering van de organische stof in de grond, is onduidelijk. Volgens sommigen is Lawes in 1883 de eerste geweest, anderen eisen de eer hiervan echter op voor Kaserer (15, 117). Thans wordt de bepaling van de C/N-verhouding voor het onderzoek van de organische stof in de grond veel toegepast. De betekenis, die men er wel aan toekent blijkt o.a. uit de volgende stellingen: "De C/N-verhouding is het voornaamste criterium ter beoordeling van de verteringstoestand van de organische stof in de grond" (33). "De in een vruchtbare grond aanwezige organische stof wordt (naast andere grootheden) gekarakteriseerd door een nauwe C/N-verhouding" (62). Er zijn ook verschillende onderzoekers (16, 48, 69, 71, 93) die ontkennen, dat er een correlatie zou bestaan tussen C/N-verhouding en vruchtbaarheid van de grond.

2. C/N-verhouding¹⁾ in de grond

Aanvankelijk werd, vooral in Engeland, aangenomen dat ¹⁾ In plaats van de C/N-verhouding vindt men in de literatuur ook wel opgegeven het percentage N in de organische stof (in andere publikaties wel de grootheid P" genoemd). Voorzover het organische stofgehalte hierbij is berekend uit het percentage C x een bepaalde factor (meestal 1,724; ook wel 1,8) zijn de C/N-verhouding en "P" verschillende uitdrukkingen voor eenzelfde grootheid. Dikwijls is "P" echter berekend als het N-gehalte betrokken op het gloeiverlies. In dat geval drukken P en C/N niet precies hetzelfde uit, want het C-gehalte van de organische stof (en dus ook de vermenigvuldigingsfactor) is niet constant. Knibbe en Marsman (58) vonden tussen C bepaald en

C berekend uit gloeiverlies (factor 1,8) ^N slechts in 22% van de onderzochte gevallen absolute overeenstemming. In 20% van de gevallen was de afwijking meer dan 2 eenheden.

de C/N-verhouding in de grond in een nagenoeg constant evenwicht verkeert en een waarde van ongeveer 10 bezit. Felber (31) kwam tot de conclusie, dat het C/N-quotiënt in de meeste gevallen 8,5-9 is, in humusrijke gronden 10 en in humusarme gronden 7-7,5. (In plaats van een directe bepaling van de organische stof werd dit zelfs wel eenvoudig berekend door het N-gehalte van de grond met een constante factor te vermenigvuldigen (15)). Het is mogelijk, dat men destijds alleen goede landbouwgronden heeft onderzocht, waarin de C/N-verhouding inderdaad tendeert naar een waarde van 8-12 (27). Men kwam echter al spoedig van deze mening terug (69, 71). Uit talloze onderzoeken, die in de loop van de tijd zijn verricht, blijkt een grote verscheidenheid, zowel tussen verschillende grondsoorten, als tussen de verschillende diepten in een bepaalde grond. Roemer en Scheffer (95) stellen, dat de C/N-verhouding afhankelijk is van de aard en de eigenschappen van de aanwezige organische stof en zich, al naar gelang de grondsoort en het bodemtype, tussen wijde grenzen beweegt. Ook klimaat, vegetatie, bemesting, bodemreactie en landbouwkundige maatregelen hebben volgens hen op de C/N-verhouding een zeer grote invloed.

2.1. Variatie tussen diverse grondsoorten

Door Mattson en Koutler-Andersson (75) werd een uitvoerig onderzoek ingesteld naar de veranderingen, die allerlei plantaardige materialen ondergaan bij vertering in verschillende gronden en onder uiteenlopende omstandigheden van pH, vochtigheid, aeratie e.d. Voor wat betreft de C/N-verhouding komen zij tot de volgende conclusies:

- a. De voornaamste verandering, die optreedt tijdens het humificatieproces is een stijging van het gehalte aan colloïdale zuren in de organische stof, onder gelijktijdige fixatie van stikstof in deze zuren. Hierbij wordt de C/N-verhouding dus lager.
- b. Dit proces verloopt sneller onder aerobe dan onder anaerobe omstandigheden. Vandaar dat C/N in anaerobe **venen** hoger is dan in aerobe "mor" of "mull".
- c. Er is een evenwicht tussen de vorming van deze colloïdale organische zuren en hun afbraak (door oxydatie) tot CO₂ en H₂O. Bij een hoge basenbezetting en pH ligt dit evenwicht méér ten gunste van de vorming van deze zuren (en C/N dus lager) dan bij een lage basenbezetting en pH.

Volgens Allison c.s. (3) zijn ook de in de grond aanwezige anorganische colloïden van invloed op de vertering. Door de binding van organische stof aan kleideeltjes (klei-humuscomplex) zou in gronden met een hoog kleigehalte uit gemakkelijk te ontleden plantaardig materiaal meer humus worden gevormd dan in gronden met weinig klei of andere anorganische colloïden.

Tabel 1 vermeldt enkele in grond voorkomende percentages koolstof en stikstof, alsmede het quotiënt daarvan (zie ook tabel 4). Russell (98) geeft een overzicht van de frequentieverdeling van de C/N-verhouding in een aantal niet nader omschreven Engelse en Amerikaanse gronden. Deze zijn opgenomen in tabel 2, terwijl tabel 3 een frequentieverdeling weergeeft van de C/N-verhouding in een aantal door Knibbe en Marsman (58) onderzochte bodemtypen in Overijssel

en de Achterhoek. (Tabel 7 (§4. 1) geeft deze verdeling voor enkele veensoorten in Nederland).

Tabel 1. Enkele percentages C en N en C/N-verhoudingen in verschillende gronden (zie ook tabel 3).

Aantal monsters	Grondsoort	% C	% N	C/N	Literatuur
25	kale slikken Biesbos	-	-	26	de Groot (37)
63	kleigronden, Biesbosspolders	-	-	7-16	
13	jonge Zuiderzeegrond	3,5	0,344	9,9	
68	jonge Wieringermeerleem	1,4	0,139	10,0	Hissink en Spithost (46)
24	jonge N.O.-polderleem	1,6	0,150	10,8	
34	humeuze kleigr. (Z-H) 8-13 cm	12,3*	0,91	14	Hooghoudt (niet gepubl.)
8	slibhoudende leem	2,25	0,207	10,8	Stevenson (117)
70	leem	1,55	0,146	10,5	Leighty en Shorey (69)
10	potklei Groningen	2,56	0,084	29,4	ten Have (41)
30	zandgronden Drenthe	3,3*	0,15	22	van Dijk (niet gepubl.)
7	hoogveen (Königsmoor)	55,7	0,91	61,8	Frercks en Puffe (33)
60	diverse veengronden (Z-H en Utr.) variërend van	51,6*	0,75	69	Hooghoudt (niet gepubl.)
	tot	25,4*	2,02	13	Hissink (45)
10	detritus (N.O.P.)	20,4*	1,17	17	van Dijk (26)
20	"zwartveen" Drenthe	56,7	1,01	56	Hooghoudt (niet gepubl.)
20	kasgronden Westland	14,1	1,01	14	

*) % C is berekend uit $\frac{\% \text{ org. stof}}{1,8}$

Tabel 2. Verdeling van de C/N-verhouding in enkele gronden (Russell (98)).

Aantal	herkomst	diepte	percentage v.d. onderzochte monsters met C/N				
			<5,5	5,5-8,4	8,5-11,4	11,5-14,4	>14,4
50	Engeland	bouwvoor	-	6	76	18	-
63	U.S.A.	bouwvoor	-	11	38	21	30
63	"	onder bouwv.	4	39	28	15	14
63	"	ondergrond	23	56	13	6	2

Tabel 3. Verdeling van de C/N-verhouding in enkele bodemtypen in Overijssel en de Achterhoek (Knibbe en Marsman (58)).

Aantal	grondsoort	percentage v.d. onderzochte monsters met C/N				
		10-12,9	13-15,9	16-18,9	19-22	>22
35	humuspodzolen	4	28	20	28	20
17	humusijzerpodzolen	18	59	18	5	0
16	gleygronden	44	50	0	6	0
36	essen	25	30	39	6	0
16	IJsselgronden	94	6	0	0	0
19	kragge-ontginningsgr.	0	21	58	21	0

Alle drie tabellen geven een indruk van de wijd uiteenlopende waarden van de C/N-verhouding. Het ligt voor de hand (en dit komt o.a. ook duidelijk naar voren uit het genoemde

onderzoek van Mattson en Koutler-Andersson) dat niet alleen de omstandigheden van de vertering, maar ook de aard van het verterende organische materiaal (vooral de vegetatie) voor deze grote variatie mede-verantwoordelijk is. Verderop wordt hierop nog nader ingegaan. Hier moet echter nog worden opgemerkt dat de vegetatie, althans bij ongecultiveerde gronden, dikwijls in belangrijke mate wordt bepaald door de milieuomstandigheden bijv. waterhuishouding, voedselrijkdom etc. Men denke slechts aan de venen.

2.2. Variatie tussen verschillende diepten

Uit de beschikbare gegevens (zie o.a. tabel 2 en 4) krijgt men de indruk, dat over het algemeen de C/N-verhouding met grotere diepte daalt (5, 25, 40, 62a, 68, 69, 71, 117). Vele onderzoekers menen dan ook dat dit regel is. Uit tabel 4 blijkt echter dat er dan nogal wat uitzonderingen op deze "regel" zijn.

Tabel 4. Verschillen in de C/N-verhouding tussen de diverse bodemlagen.

Grondsoort	Diepte cm	% C	% N	C/N	Literatuur
zandgrond	0-15	0,65	0,046	14	Rodrigues (94)
"	30-45	0,32	0,023	14	
"	60-90	0,20	0,019	11	
"	120-150	0,22	0,018	12	
klei	0-15	1,19	0,165	7	idem
"	30-45	0,28	0,082	3	
"	60-90	0,16	0,071	2	
"	120-150	0,08	0,063	1	
slibhoudend leem	0-12,5	3,74	0,325	12	Stevenson c.s. (118)
"	35-47,5	1,37	0,132	10	
"	65-82,5	0,65	0,079	8	
"	82,5-107,5	0,54	0,065	8	
podsol	0-20	-	0,23	13	Anderson en Byers (5)
"	20-30	-	0,14	11	
"	30-45	-	0,08	10	
"	45-90	-	0,07	7	
klei (Dollardpolders)	0-20	1,98	0,230	8,6	Maschhaupt (74)
"	20-40	1,55	0,191	8,1	
veenachtige grond	boven	19,2	1,36	14,1	Hissink (45)
"	onder	21,0	1,28	16,5	
laagveen	boven	48,5	2,09	23,2	idem
"	onder	31,4	1,89	16,6	
leemgrond (Vecht)	boven	-	-	13	Knibbe en Marsman (58)
"	onder	-	-	16	
bruine es	boven	-	-	11,5	
"	onder	-	-	14,5	
zwartbruine es	boven	-	-	15	
"	onder	-	-	18	
zwarte es	boven	-	-	16	
"	onder	-	-	20	
2 humuspodzoden	boven	-	-	16/17	
"	onder	-	-	20/16	
4 kraggeontginningen	boven	-	-	18,17,16,16	
"	onder	-	-	21,20,18,30	
humeuze klei (Alfen a/d Rijn)	10-20	10,4	0,93	11	
"	20-30/35	8,3	0,71	12	
meermolmgronden (N.H.)	10-20/30	14,9	1,14	13	
"	20/25-30/37	20,5	1,40	15	
"woudgronden" (N.H.)	5/10-20/30	4,9	0,56	9	van Dijk (niet gepubl.)
"	20/30-35/50	3,2	0,39	8	
zandgronden (tuinbouw Langstraat)	0-20	1,81	0,150	12	
	30-40	1,01	0,096	10	

Volgens de theorie van Mattson en Koutler-Andersson (zie §2) zou te verwachten zijn dat C/N in het algemeen stijgt met de diepte. Een grotere rijkdom aan basen en een betere aeratie zou immers de produktie van colloïdale organische zuren met een lagere C/N-verhouding bevorderen. In deze richting zien Knibbe en Marsman (58) dan ook de verklaring van het feit dat zij in Overijssel en de Gelderse Achterhoek in het algemeen een hogere C/N-verhouding vinden in de onder- dan in de bovengrond. (De uitspraak van Mattson en Koutler-Andersson, dat hun proeven het plausibel maken, dat de C/N-verhouding daalt met de diepte moet wel op een vergissing berusten).

Anderzijds is niet bewezen, dat humusafbraak, evenals afbraak van vers plantenmateriaal in de grond altijd en overal leidt tot een verlaging van de C/N-verhouding. Verder zou bij podsolen een uitspoeling van N-armere verbindingen naar de ondergrond misschien een rol kunnen spelen (zie §. 3.2).

Anderson en Byers (5) wijzen er op dat het voorkomen van vers afgestorven materiaal in de bovengrond een factor is, die de C/N-verhouding kan verwijderen, terwijl het verschil in karakter van microbiologische processen in de verschillende lagen eveneens een rol kan spelen.

Overigens doet zich bij de bepaling van de C/N-verhouding bij diepere lagen nog een complicatie voor: Het stikstofgehalte van de grond wordt n.l. gewoonlijk bepaald volgens Kjeldahl, waarbij van de stikstof in anorganische vorm de ammoniak-stikstof kwantitatief wordt meebepaald. Nu is het percentage uitwisselbare $\text{NH}_4\text{-N}$ in de grond gewoonlijk van de orde van grootte van 0,001%. Op een totaal N-gehalte van enkele tiende procenten is dit dus te verwaarlozen. Dit wordt echter anders als het totaal N-gehalte eveneens laag is, zoals in diepere lagen vaak het geval is. Daar komt nog bij dat, zoals o.a. door Stevenson c.s. (118) en Rodrigues (94) werd aangetoond, $\text{NH}_4\text{-ionen}$ in het tralierooster van kleimineralen kunnen worden gefixeerd. Stevenson (117) toonde aan dat door deze oorzaken het percentage $\text{NH}_4\text{-N}$ van de totale N bij enkele leemgronden van 0 tot 100 cm steeg van ongeveer 4% tot ca. 30%. De C/N-verhouding van de grond daalde van 0-100 cm van 12 tot 6, die van organische stof van 12 tot 8.

3. C/N-verhouding van speciale fracties van de organische stof

Het is algemeen bekend, dat de organische stof in de grond een verzameling is van diverse verbindingen. Verschillende onderzoekers hebben nagegaan, wat de C/N-verhouding is in sommige van die stoffen, teneinde een indruk te krijgen in hoeverre de voortgang van het verteringsproces kan worden afgeleid uit de C/N-verhouding.

3.1. Aantastbare en bestendige organische stof

Bij het afsterven van materiaal, afkomstig van flora en fauna, geraken vele verbindingen in de grond. Voornamelijk zijn dit koolhydraten, eiwitten en lignine. Het C/N-quotiënt van het verse plantaardige materiaal (stoppels en wortels) is in het algemeen vrij hoog. De levende organismen in de grond gebruiken deze verbindingen als voedsel,

waarbij via allerlei tussenprodukten deze stoffen worden ontleed tot o.a. CO_2 , H_2O en NH_3 . De C/N-verhouding van de tussenprodukten varieert binnen wijde grenzen, al naar gelang het percentage stikstof, dat zij bevatten. Zo zullen aminozuren, die uit eiwitten ontstaan, vrij snel verdwijnen, doch er worden behalve de ontwijkende gasen enkele produkten gevormd, die misschien dienen voor de synthese van microbiologische weefsels in de vorm van "levend eiwit", terwijl nog een residu overblijft. Langs deze weg wordt de C/N-verhouding, die voor aminozuren $\pm 1,5-8$ bedraagt, verhoogd tot $\pm 5-20$ voor het residu (21). Daarentegen levert de vertering van de nagenoeg of geheel N-vrije koolhydraten en lignine, naast eindprodukten als CO_2 en H_2O , een residu dat door inbouw van stikstof een veel lagere C/N-verhouding heeft dan de uitgangsstoffen. Daardoor krijgen we als totaal-effect in het algemeen een verlaging van de C/N-verhouding bij de vertering van vers plantenmateriaal. (Zie o.a. het reeds eerder aangehaalde onderzoek van Mattson en Koutler-Andersson). Stewart (119) stelt dat, hoever de C/N-verhouding in de grond zich met de ouderdom van het materiaal ook vernauwt, deze nimmer de C/N-verhouding van proteïnen (= ca. 6) zal bereiken.

Hénin en Turc (43) pasten een fractionering op basis van soortelijk gewicht toe, waarbij de onverteerde organische stof gescheiden werd van de verteerde, die inmiddels aan kleideeltjes was gebonden. De C/N-verhouding bleek te dalen met de densiteit. Het onverteerde en gedeeltelijk verteerde materiaal was soortelijk lichter dan het verteerde gedeelte. Het C/N-quotiënt van deze beide uitersten bedroeg resp. 20,5 en 8. Ook anderen (49, 81) hebben zich met een dergelijke methode bezig gehouden. Men koos een mengsel van organische oplosmiddelen met een s.g. van ongeveer 2, waarmee de onverteerde fractie met de hoogste C/N-verhouding bij centrifugeren kon worden gescheiden van de aan klei gebonden verteerde organische stof met de laagste C/N-verhouding. Hoewel deze methoden niet in het algemeen geschikt zijn voor de onderscheiding van verteerde en verse organische stof geven zij wel een beeld van de daling van de C/N-verhouding bij humificatie.

3.2. Fulvozen en huminezen

Door condensatie van omzettings- en afbraakprodukten kunnen eveneens min of meer stabiele verbindingen ontstaan, die volgens hun oplosbaarheid in zuren en basen verdeeld worden in fulvozen, huminezen, huminen en humuskool (27).

Aangezien de beide eerstgenoemde stoffen uit landbouwkundig oogpunt van betekenis zijn als dragers van belangrijke eigenschappen van de organische stof, werden zij aan een nauwgezet onderzoek onderworpen.

Het gedeelte van de met alkali geëxtraheerde organische stof, dat na aanzuren van het extract in oplossing blijft, wordt met de verzamelnaam fulvozen aangeduid. Bij voortgaande humificatie worden deze relatief rijker aan C en desamineren, waarbij zij overgaan in niet-wateroplosbare huminezen (92). De vrije fulvozen, d.w.z. de fulvozen, die niet aan kleideeltjes gebonden zijn, zijn dus in water oplosbaar, hetgeen tot gevolg heeft, dat zij betrekkelijk gemakkelijk uitspoelen naar de diepere lagen. Stevenson

(117) vond, dat het percentage huminezuren met grotere diepte daalt; daar de C/N-verhouding aldaar eveneens lager is concludeerde hij daaruit, dat de stikstofrijkere bestanddelen van de organische stof, die in de ondergrond voorkomen, geassocieerd moeten zijn met de fulvozuurfractie. Ook Schlichting (105) vond in een "Heidemoorpodsol-A-Horizon" slechts geringe hoeveelheden isoleerbare fulvozuren, terwijl deze in de B-horizon waren opgehoopt.

Stevenson c.s. (118) vonden, dat de huminezuurfractie in de door hen onderzochte gronden geen bijdrage levert aan de vernauwing van de C/N-verhouding op grotere diepte. Dit blijkt zowel uit de extractie hiervan met natriumpyrofosfaat als met NaOH, welke laatste methode een grotere hoeveelheid organische stof extraheert en tevens de verbindingen, die rijker zijn aan stikstof. Tabel 5 illustreert zowel het verschil tussen NaOH en pyrofosfaat-extractie als de afwijking der huminezuren van de "regel" der dalende C/N-verhoudingen met grotere diepte en het verschil tussen de C/N-verhoudingen van extracten uit diverse grondsoorten.

Tabel 5. C/N-verhouding van huminezuren, op verschillende wijzen geëxtraheerd uit verschillende lagen van de grond.

Grond	diepte cm	C/N grond	C/N h.z. Na ₂ P ₂ O ₇	C/N h.z. NaOH	Literatuur
Elliot silt loam	0-12,5	11,5	17,7	10,6	Stevenson c.s. (118)
"	35-47,5	10,4	23,1	15,7	
"	65-82,5	8,2	25,5	15,7	
"	82,5-107,5	8,3	22,1	10,1	
Braunerdepodsol	10-20	9,5	13,5		Schlichting (105)
Heidemoorpodsol	10-20	24,7	28,3		
"	50	35	30,2		

Het valt op in tabel 5 dat de C/N-verhouding van de huminezuren in het algemeen hoger is dan die van de grond waaruit ze werden geëxtraheerd. Dit is niet strijdig met de vermelde waarnemingen van Mattson en Koutler-Andersson (die trouwens de huminezuren niet afzonderlijk hebben geanalyseerd). Deze onderzoekers vergeleken n.l. de C/N-verhouding van de colloïdale organische zuren met die van het oorspronkelijke plantenmateriaal dat zij aan de grond hadden toegevoegd.

Van Dijk (niet gepubl.) vond eveneens dat de C/N-verhouding der geëxtraheerde huminezuren afhankelijk is van het extractiemiddel en verder dat deze C/N-verhouding bij sommige gronden hoger, maar bij andere lager is dan die van de totale organische stof in de betreffende grond.

Ook Bremner (13) concludeert, dat er geen constante verhouding bestaat tussen de C/N-verhouding van de grond en die van zijn extracten. Schlichting (105) vond in de C/N-verhoudingen van de huminezuren uit twee verschillende podsolen minder verschil dan in de verhouding C/ α -amino-N. (De op deze wijze gebonden stikstof zou de organische stof behoeden

tegen een al te snelle afbraak, waardoor te weinig N beschikbaar zou komen voor de plant). Springer en Klee (115) achten de bepaling van de C/N-verhouding van loog- en pyrofosfaatextracten naast die van de grond zelf belangrijk om een goede karakteristiek van de humusvormen te verkrijgen. Ook zij wijzen op het nut van de bepaling van α -amino-N als een der manieren voor een goede differentiëring van de humusvormen.

Scheffer c.s. (103) bepaalden in de pyrofosfaatextracten van een aantal tropische gronden de concentratie aan huminezuren langs kolorimetrische weg. De hierbij gevonden z.g. $Q_{4/6}$ -waarde¹⁾ was gecorreleerd met de C/N-verhouding volgens de benaderingsformule: $Q_{4/6} = 0,23 \text{ C/N}$. Men verklaart dit uit het feit, dat met toenemend gehalte aan stikstof in de huminezuren in het absorptiespectrum een verschuiving in het rood plaatsvindt, hetgeen een afname van de $Q_{4/6}$ -waarde tot gevolg heeft.

De aanleiding tot dit kolorimetrisch onderzoek was voornamelijk deze, dat verschillende onderzoekers twee typen van huminezuren onderscheiden, n.l. "Grau-" en "Braun"-huminezuren. De "Grau"-huminezuren zouden een lagere C/N-verhouding hebben dan het "Braun"-type en mede daardoor veel gunstiger eigenschappen hebben. Bewijzen hiervoor werden echter niet geleverd, terwijl gezien recente onderzoeken het zelfs zeer de vraag is of we hier inderdaad met twee verschillende typen van huminezuren te doen hebben.

Over de C/N-verhoudingen in de fulvozuurfractie zijn helaas geen nadere gegevens beschikbaar.

4. Invloed van vegetatie op de C/N-verhouding in de grond

In §2.1 werd reeds opgemerkt dat het verschil in C/N-verhouding bij verschillende gronden mede veroorzaakt wordt door een verschillende vegetatie op deze gronden. Thans zal nader worden ingegaan op de invloed van de vegetatie op de C/N-verhouding bij dezelfde grond. Hierbij zullen tevens veengronden worden besproken.

4.1. Ongecultiveerde gronden

De aard van de vegetatie speelt volgens Jongerius (55) een belangrijke rol in het stikstofgehalte van de grond: "Iedere plantesoort heeft namelijk een binnen zekere grenzen variërend karakteristiek C/N-quotiënt, in die zin dat dit quotiënt voor de vegetatie, die van nature thuishoort op rijke gronden, laag is, terwijl de soorten van basenarme gronden een hoog C/N-quotiënt hebben. Heeft men nu een vegetatie met een hoog C/N-quotiënt op rijke grond, dan is het stikstofgehalte van het strooisel toch laag". Door Mattson en Koutler-Andersson wordt dit weer herleid tot een verschillend gehalte aan colloïdale organische zuren: "Acid vegetation such as the podzol flora has a lower acid content than plants of a higher base status".

In tabel 6 worden enkele verschillen weergegeven in de C/N-verhoudingen van gelijke gronden met verschillende vegetatie.

1) Onder de $Q_{4/6}$ -waarde wordt verstaan het quotiënt van de extinctie van het grondextract bij 472 $m\mu$ en die bij 664 $m\mu$. Deze $Q_{4/6}$ -waarde typeert dus de kleur van het huminezuur. (E. Welte - Zur Konzentrationsmessung von Huminsäuren. Z.Pfl. Düng.Bodenk. 74 (1956) 219-227).

Tabel 6. Invloed van de vegetatie op de C/N-verhouding in enkele ongecultiveerde gronden.

Begroeiing	C/N strooisel	C/N grond < 0,5 mm	C/N grond < 2 mm	Literatuur
Quercus ilex	44	15,5	20	} Albareda (1)
Pinus pinea	111	24,5	31,5	
	<u>C/N grond</u>			
sparrebos	26,0-42,3			} Jenny (51)
pijnbos	33,5-54,9			
prairie	11,7			} idem
bos	12,6			

Hieruit blijkt een grote differentiatie tussen de C/N-verhoudingen van de grond onder verschillende begroeiingen. Pijnbomen geven een veel wijdere C/N-verhouding aan de grond dan eiken, zowel in de deeltjes < 0,5 mm als in de deeltjes < 2 mm. De veel hogere C/N-verhouding van het strooisel der pijnbomen t.o.v. die van het eikenstrooisel speelt hier ongetwijfeld een grote rol. Zelfs blijkt pijnbos een nog wijder C/N-quotiënt te veroorzaken dan sparrenbos. Het gras van de prairie bewerkstelligt een nauwere C/N dan bos op dezelfde grondsoort.

Tabel 7 geeft de voorlopige verdeling van de C/N-verhouding bij enkele veensoorten in Nederland. (Het aantal onderzochte monsters is nog te klein om deze cijfers als definitief te beschouwen). Behalve het zwartveen zijn al deze monsters afkomstig van gronden, die reeds in cultuur zijn. Ze zijn echter genomen van diepere lagen en kunnen dus als "ongecultiveerd" veen worden beschouwd.

Tabel 7. Voorlopige verdeling van de C/N-verhouding bij enkele veensoorten in Nederland (van Dijk (26) en niet gepubl. gegevens van Hooghoudt en van Dijk).

Aantal monsters	Veensoort	Percentage van de onderzochte monsters met C/N*				
		< 15	15-29,9	30-44,9	45-60	> 60
14	bosveen	71	29	-	-	-
11	zegge- en berkeveen	-	75	25	-	-
8	mosveen Z.H.	-	37,5	50	12,5	-
10	detritus N.O.P.	-	100	-	-	-
19	"zwartveen" Dr. (vnl. mosveen)	-	-	-	63	37

* C berekend uit $\frac{\% \text{ org. stof}}{1,8}$ (behalve bij zwartveen)

Duidelijk blijkt uit de cijfers de invloed van de oorspronkelijke vegetatie op de C/N-verhouding van het veen.

De spreiding in de C/N-verhouding bij dezelfde veensoort wordt voor een deel veroorzaakt door het feit dat het geen monoculturen van zegge enz. zijn geweest. Het veen is genoemd naar de plantesoort die sterk overwoog. Voor een belangrijk

deel is de spreiding echter ook een gevolg van een verschil in verteringsgraad. Dit wordt duidelijk geïllustreerd door de cijfers vermeld in tabel 8. De oorzaken van deze verschillen in verteringsgraad kunnen zijn een (eventueel tijdelijk) betere ontwatering (en aeratie), maar ook een grotere activiteit van waterdiertjes e.d. Het voert hier te ver daarop nader in te gaan.

Tabel 8. Invloed van de verteringsgraad op de C/N-verhouding bij enkele veensoorten (niet gepubliceerde gegevens van Hooghoudt).

Omschrijving	herkomst	aantal monsters	% C*)	% N	C/N
grobbladig mosveen, weinig verteerd	Duivendracht	1	51,6	0,9	57,3
" " vrij sterk "	"	1	49,0	1,5	32,7
veenmosveen weinig "	"	1	52,1	1,2	43,4
" matig "	Waverveen	1	50,6	1,6	31,6
" vrij sterk "	"	1	52,4	2,2	23,8
zeggeveen weinig "	"	1	51,4	1,6	32,1
" vrij sterk "	"	1	50,2	3,0	16,7
bosveen weinig "	div. plaatsen	2	42,1	3,9	10,8
" matig "	"	5	33,4	6,4	5,2
" sterk "	"	3	28,2	8,1	3,5

*) berekend uit $\frac{\% \text{ org. stof}}{1,8}$

4.2. Cultuurgronden

Afhankelijk van grondsoort en oorspronkelijke vegetatie kan de C/N-verhouding wel meer dan 40% in ruim 20 jaar dalen, indien deze grond in cultuur wordt gebracht (40). Tabel 9 vermeldt enige cijfers, waaruit deze daling blijkt.

Tabel 9. Invloed van cultivering der grond op de C/N-verhouding.

	% C	% N	C/N	Literatuur
struiken	8,8	0,36	24}	Walker (126)
geploegd; $\frac{1}{2}$ jaar braak	3,0	0,20	15}	
weiland $2\frac{1}{2}$ jaar	5,9	0,43	14}	
" 12 jaar	9,4	0,68	14}	
" 16 jaar	11,0	0,80	14}	
" 19 jaar	9,8	0,81	12}	
struiken en varens	10,1	0,31	33}	Walker c.s. (128)
klaver en gras $1\frac{1}{2}$ jaar	4,2	0,20	21}	
" 3 jaar	4,7	0,22	21}	
" 5 jaar	4,8	0,30	16}	
" 8 jaar	5,6	0,43	13}	
" 15 jaar	6,2	0,45	14}	
" 25 jaar	6,3	0,59	11}	

De daling van de C/N-verhouding vindt dus zijn oorzaak in de vermindering van de hoeveelheid koolstof bij cultivering van de woeste grond. Wel daalt ook het percentage stik-

stof enigszins, doch in veel mindere mate, zodat de oorspronkelijke C/N-verhouding sterk vernauwt. Is de grond in cultuur gebracht als grasland, dan blijkt de C/N-verhouding zich nog verder te vernauwen, doch dan voornamelijk door de verhoging van het percentage stikstof (126). De hoge C/N-verhouding van de woeste grond ging in dit geval dus samen met een goede aantastbaarheid van de organische stof. Door de cultivering werden de omstandigheden drastisch gewijzigd, waarbij de afbraak de opbouw ging overtreffen en de C/N-verhouding daalde. Het gras veroorzaakte een hernieuwde opbouw van organische stof (zowel het percentage C als N steeg), doch dit ging samen met een verdere verlaging van de C/N-verhouding.

Daartegenover vond Durasov (25) in Kazakhstan juist het omgekeerde: cultuurgronden hadden een wijdere C/N-verhouding dan de woeste gronden. De onderzochte gronden hadden echter in onontgonnen toestand reeds een vrij lage C/N-verhouding, hetgeen de auteur toeschrijft aan het droge klimaat van Kazakhstan. Door cultivering zou het vochtgehalte van de grond groter worden en de C/N-verhouding stijgen (zie hierover § 7.2.). In tabel 10 zijn een aantal van de door Durasov gevonden waarden opgenomen. Op de gecultiveerde gronden werd voornamelijk graan verbouwd. (Over de vegetatie op de onontgonnen grond wordt niets vermeld).

Tabel 10. Enkele C/N-verhoudingen in gronden van Kazakhstan (Durasov (25)).

Grondsoort		Aantal monsters	% C	% N	C/N
zeer humeuze, non-solonetz chernozems	woest	4	6,33	0,503	10,6
	cult.	12	6,76	0,610	11,1
zeer humeuze solonetz chernozems	woest	7	6,28	0,615	10,2
	cult.	6	5,92	0,568	10,5
matig humeuze, non-solonetz chernozems	woest	14	4,38	0,427	10,2
	cult.	24	4,30	0,385	11,1
matig humeuze solonetz en kalkhoudende solonetz chernozems	woest	17	4,14	0,434	9,5
	cult.	16	4,32	0,404	10,6
licht humeuze, non-solonetz chernozems	woest	8	2,74	0,290	9,5
	cult.	11	2,62	0,254	10,3
licht humeuze solonetz en kalkhoudende solonetz chernozems	woest	14	2,84	0,336	8,5
	cult.	5	2,75	0,298	9,2
donker kastanje-, non-solonetz gronden	woest	18	2,01	0,197	10,1
	cult.	23	1,78	0,167	10,6
donker kastanje-, solonetz en kalkh. solonetz gronden	woest	24	2,19	0,307	7,1
	cult.	23	2,36	0,287	8,2

Tabel 11 illustreert de invloed van de inpoldering en incultuurneming van Biesbos en Lollard op de C/N-verhouding. (Het onderzoek van de Groot toonde aan dat de C/N-verhouding in bepaalde gevallen wel degelijk iets met bodemvruchtbaarheid te maken kan hebben).

Tabel 11. C/N-verhoudingen bij Dollard en Biesbos voor en na de inpoldering.

	% C	% N	C/N	Literatuur
Dollard kwelder	2,99	0,27	11	Maschhaupt (74)
Dollard polders	1,82	0,22	8	
<u>Brabantse Biesbos:</u>				
kale slikken	-	-	26	de Groot (37 en 38)
grienden	-	-	19,8	
bedijkt na 1918	-	-	12,2	
" 1874-1918	-	-	11,6	
" 1857-1874	-	-	10,5	
" 1552-1857	-	-	9,1	

In tabel 12 worden enkele door verschillende onderzoekers gevonden resultaten weergegeven, die betrekking hebben op de invloed van het gewas op de C/N-verhouding.

Tabel 12. Invloed van het gewas op de C/N-verhouding.

Gewas	Bemonstering na	% C	% N	C/N	Literatuur
alfalfa	7 jaar	3,1	0,31	10,0	Gupta (39)
bromegrass	"	3,0	0,29	10,1	
maïs	"	2,5	0,27	9,3	
akkerbouw	0 jaar			12,2	Blair en McLean (11)
"	3 jaar			12,9	
braakland	0 jaar			12,7	
"	3 jaar			12,8	
hooiland	26 jaar	0,73	0,073	10,0	Penman (89)
na scheuren wisselbouw	35 jaar	0,60	0,066	8,4	
kunstweiden op zandgrond (0-20 cm) (N. Brabant)	3 jr. oud	1,76	0,104	17,0	Roggen (96)
	>20 " "	2,46	0,204	12,1	

Een gewas als maïs veroorzaakt t.o.v. gras lagere C/N-verhoudingen in de grond, terwijl in de proef braakland/akkerbouw niet veel verschil valt te ontdekken. Opvallend is ook, dat maïs een veel sterkere daling in het percentage N heeft veroorzaakt dan alfalfa en gras. Ook Salter en Green (101) constateerden het grootste verlies aan organische stof door maïs. Het percentage C daalde echter nog sterker dan dat van N, zodat de C/N-verhouding na 31 jaar gedaald was van 9,4 tot 8,8. Haver veroorzaakte een wat kleiner verlies aan stikstof, waarbij de C/N-verhouding gelijk bleef (9,5) en tarwe het kleinste verlies (C/N = 9,7). Maïs had tweemaal zo destructief gewerkt op het gehalte aan organische stof als haver of tarwe, terwijl het tussenvoegen van hooioogsten de jaarlijkse verliezen aan beide elementen enigszins reduceerde.

Het onderzoek van Penman (89) laat nog scherper het verlies aan organische stof uitkomen, wanneer van gras

wordt overgegaan op wisselbouw. Ook hier is de C/N-verhouding verlaagd; deze verlaging komt eveneens voort uit een sterkere daling van het percentage C dan dat van N. Ook anderen (19, 36, 40, 73) constateerden een verlies aan organische stof bij zowel akker- als wisselbouw. Roggen (96) onderzocht het omgekeerde geval, n.l. het verloop van C/N bij overgang van akkerbouw op kunstweide bij zandgrond. Hij constateerde (evenals Walker) een stijging van het C-gehalte, maar relatief een nog sterkere stijging van het N-gehalte, zodat de C/N-verhouding ook hier daalde.

Uit deze gegevens blijkt wel dat ook bij één bepaalde grond de C/N-verhouding nog geen maat is voor het gehalte aan organische stof. Om een idee te krijgen van het verloop hiervan in de tijd zal ook het percentage koolstof afzonderlijk moeten worden beschouwd. De verliezen en winsten aan stikstof alleen, veroorzaakt door de bebouwing zijn volgens Lyon en Bizzell (70) geen betrouwbare gids voor de produktiviteit van de grond. Zij achten de voornaamste factor de aard van het gewas, dat gedurende het voorafgaande seizoen werd verbouwd.

5. Invloed van organische bemesting op de C/N-verhouding

Aangezien dus bij vele culturen de organische stof langzamerhand uit de grond verdwijnt, dienen er middelen gezocht te worden om deze vermindering op te heffen en de voorraad organische stof in de grond op peil te houden. Stalmest, groenbemesting, stoppels en andere oogstresten zijn enkele van de middelen, die regelmatig worden toegepast. Voordat het gewas zijn nut hieruit kan trekken, moeten deze materialen ontleed worden, waarbij de snelheid van ontleding een belangrijke factor kan zijn. De vorming van slijmachtige stoffen schijnt een bewijs te zijn, dat deze vertering onder optimale condities verloopt (108). De C/N-verhouding van het onverteerde plantenmateriaal is ongeveer 45 tot meer dan 100, terwijl in een goede, vruchtbare grond deze verhouding ongeveer 10 à 12 is.

Stro en stoppels hebben een C/N-verhouding van ongeveer 80 à 100 en indien deze aan de grond worden toegevoegd zonder dat voldoende stikstof aanwezig is zal de C/N-verhouding van de grond dienovereenkomstig verhoogd worden (23). Is echter voldoende stikstof aanwezig, dan zal na vertering het C/N-quotiënt van het stro door de opname van stikstof en het verlies aan koolstof zover zijn gedaald, dat zijn invloed op de C/N-verhouding van de grond nauwelijks meer merkbaar is. Per ton stro is hiervoor ongeveer 9 à 10 kg N nodig, welke hoeveelheid in de loop van 1 of 2 jaar door mineralisatie weer beschikbaar komt voor de plant (4,63). Bevat de grond veel stikstof, b.v. door verbouw van leguminosen, dan kan het onderbrengen van stro dienen om deze stikstof vast te leggen, waardoor enerzijds N behoed wordt tegen uitspoeling en anderzijds de voorraad organische stof in de grond wordt aangevuld, zonder dat de C/N-verhouding te veel verwijdt (16, 31, 57, 63). Sturgis (120) meent, dat uit zijn proeven met uitgeperst suikerriet + stikstof een vernauwing van de C/N-verhouding in de grond blijkt, doch hij concludeert dit uit een verschil van niet meer dan 0,2. Een gelijktijdige analysefout van +0,01% C en -0,001%

N kan dit verschil reeds veroorzaken.

Sommige onderzoekers (6, 28, 40, 83, 85, 114) vonden weinig of geen invloed van stalmest en groenbemesting op de C/N-verhouding in de grond. Schmalfuss (107) twijfelt zelfs aan de betekenis van stalmest als bron van organische stof. Dit produkt zou slechts van nut zijn voor de toevoer van stikstof en andere meststoffen. Daarentegen wijst Kortleven (66) er op, dat de vermeerdering van de humusvoorraad dermate klein is, dat deze moeilijk analytisch is aan te tonen. Bij nauwkeurig onderzoek blijkt stalmest de voorraad organische stof dan ook duidelijk te vermeerderen (66, 85, 131). In hoeverre deze beide tegenover elkaar staande meningen verband houden met de C/N-verhouding in de grond is uit de publikaties niet af te leiden¹⁾. Wel is het in het algemeen zo, dat aanvankelijk de C/N-verhouding in de grond iets hoger zal gaan liggen door de aanvoer van vers materiaal met een hoog C/N-quotiënt, doch bij voortgaande vertering vernauwt deze weer door verlies aan koolstof en opname van stikstof. Worden afgestorven plantenresten met een nauwe C/N-verhouding ondergebracht, dan kan het C/N-quotiënt van de grond misschien aanvankelijk iets dalen, doch bij de vertering van het verse materiaal zal ook hier het evenwicht in die grond hersteld worden, doordat de gemineraliseerde stikstof, die niet nodig is voor de synthese van "levend eiwit", verdwijnt door uitspoeling of anderszins (104). Het hangt voorts ook van de aard van het materiaal af, hoe snel de vertering zal verlopen. Vlinderbloemigen met een vrij nauwe C/N-verhouding zullen gemakkelijker verteren dan b.v. houtachtige, ligninehoudende materialen met een wijd C/N-quotiënt (3, 20, 98, 100, 126, zie ook § 8).

In hoeverre de in de grond aanwezige organische stof verteerd is, is volgens sommige onderzoekers o.a. vast te stellen uit het methoxylgehalte (dat daalt bij voortgaande vertering) en de Z.G.²⁾ waarde, die stijgt bij humificatie. Volgens Kosaka c.s. (68) is het methoxylgehalte gecorreleerd met de C/N-verhouding, doch uit de publikatie van Nehring en Kretschmer (85) blijkt hiervan niets.

Samenvattend kan dus gezegd worden, dat de C/N-verhouding in de grond niet sterk wordt beïnvloed door toegevoerd organisch materiaal, indien dit goed wil ontleden en daarbij voldoende stikstof kan opnemen.

6. Invloed van anorganische bemesting en pH op de C/N-verhouding

6.1. Stikstofbemesting

Zoals vermeld, nemen verse materialen met een betrekkelijk hoog C-gehalte op de een of andere wijze stikstof op tijdens de vertering (78). In dergelijke gevallen, waar een overmaat aantastbare organische C aanwezig is, zal uit een stikstofhoudende meststof N worden gebonden in organische vorm en de C/N-verhouding van het verse materiaal worden verlaagd. Nehring en Kretschmer (85) vonden bij vergelijking

1) van Dijk (pers. meded.) vond bij een esgrond (Heino, PO 168) een duidelijke invloed van een regelmatige bemesting met stalmest op de C/N-verhouding van de organische stof in de grond. Een publikatie hierover is in voorbereiding.

2) Z.G. = "Zersetungsgrad", bepaald met acetylbromide.

van een aantal langjarige bemestingsproeven (18-78 jaar) wel een duidelijke vermeerdering van de hoeveelheid organische stof bij een gecombineerde bemesting met stalmest en anorganische meststof, doch toepassing van deze laatste alleen had een veel kleinere invloed, zowel op de percentages C en N afzonderlijk als op de C/N-verhouding. Uit de hoge Z.G.-waarden bleek, dat de organische stof op de onbemeste en mineraal bemeste proeven voor het grootste deel uit stabiele humus bestond, hetgeen niet uit de C/N-verhouding kon worden geconcludeerd.

Ook Dodge en Jones (19) vonden weinig invloed van een NPK-bemesting op de C/N-verhouding. Schmalfuss (107) wijst op een belangrijk aspect van de anorganische bemesting in het algemeen. Wanneer het gewas voldoende wordt voorzien van de nodige elementen, zal de opbrengst groot zijn, waardoor ook meer oogstresten, zoals wortels en stoppels, kunnen worden toegevoegd aan de grond en het percentage organische stof wordt verhoogd. Ook volgens een publikatie van Kortleven en Pijl (67) schijnt de hoeveelheid organische stof in de grond bij anorganische bemesting gehandhaafd te worden. Zoals reeds vermeld, behoeft dit niet van invloed te zijn op de C/N-verhouding, mits voldoende minerale stikstof voor de vertering aanwezig is. Wanneer de toevoeging van N-houdende meststoffen wordt nagelaten of niet voldoende is, werkt het gewas uitputtend op de grond. De plant kan nog zeer lang stikstof opnemen uit de in de grond aanwezige voorraad organisch gebonden stikstof, doch daarbij wordt ingeteerd op de "oude kracht", hetgeen zichtbaar wordt in een steeds wijder wordende C/N-verhouding (102).

De meningen van sommigen (o.a. 98), dat toevoeging van stikstof aan de grond nodig zou zijn om organische koolstof vast te houden en aldus de organische stof in de grond te vermeerderen, is volgens Pinck c.s. (90) onjuist. Allison (2) stelt, dat na volledige humificatie nog 25% van de oorspronkelijk toegevoegde C resteert. Het hoofdprodukt van de microbiologische ontleding is namelijk CO_2 . Het verlies door de ontsnapping van deze CO_2 is zo groot, dat in 2-6 maanden de helft van de oorspronkelijk aanwezige C reeds is verdwenen, mits voldoende N aanwezig is. N-bemesting van een grond met een tekort aan stikstof heeft derhalve in de eerste plaats een verhoogde afbraak tot gevolg, indien nog aantastbaar materiaal aanwezig is (waarbij dus CO_2 wordt verwijderd en de C/N-verhouding daalt). Hij concludeert, dat plantenresten met 1,5% of meer N ($\text{C/N} \approx 30$) voldoende stikstof bezitten om aan de behoefte van de microben tegemoet te komen. Engel (29) noemt in dit opzicht 2% voldoende.

Indien het gevaar bestaat, dat door het onderbrengen van stro teveel minerale stikstof aan de grond wordt onttrokken kan dit vooraf worden gecompenseerd (34). Ook in anaerobe omgeving of zonder voldoende stikstof verloopt de omzetting van stro wel, doch minder snel, terwijl de C/N-verhouding slechts langzaam daalt (122). Pinck c.s. (90) vonden, dat van stro en stoppels na 1 jaar composteren nog 47% van de oorspronkelijk aanwezige C resteert, na toevoeging van ureum echter nog slechts 38%. Gerretsen c.s. (35) vonden na 3 maanden resp. 79 en 59%, waarbij de oorspronkelijke C/N-verhouding van 81,5 daalde tot resp. 40 en 13,5; na 8 maanden

den resteerde 47% van de oorspronkelijke C in de strocompost zonder ureum en 33% in die met ureum. De C/N-verhoudingen waren toen resp. 11,5 en 16 (!). De micro-organismen die voor de vertering zorgdragen moeten dus stikstof uit de lucht hebben opgenomen, waardoor uiteindelijk de C/N-verhouding op hetzelfde peil is gekomen als wanneer stikstof werd toegevoegd. Van den Hende (42) bereidde een strocompost met behulp van CaNCN. Het stro was na 8 maanden broei bij 25° C geheel verteerd, terwijl de C/N-verhouding van het eindprodukt 20 was.

6.2. Fosfaatbemesting

Betreffende de invloed van fosfaatbemesting op de C/N-verhouding lopen de meningen uiteen. Sommigen (28, 91) vonden geen invloed, doch anderen (7, 107) ontdekten een nauwe samenhang tussen stikstof en fosfaat. Er schijnt verband te bestaan tussen C en organisch gebonden P en ook tussen N en organisch gebonden P in de grond (97). Bij gebrek aan fosfaat zou er meer oplosbare N in de grond aanwezig zijn, veroorzaakt door een verhoogde mineralisatie van organisch gebonden stikstof. Dit gebrek zou dus op de stikstof uitputtend werken en de C/N-verhouding doen stijgen. Bij de ontleding van plantaardig materiaal schijnt stikstof echter van meer belang te zijn dan fosfaat (44).

6.3. Bekalking en zuurgraad van de grond

De bevindingen omtrent de invloed van bekalking van de grond op de voorraad organische stof, resp. C/N-verhouding in de grond lopen sterk uiteen. Op een lemige zandgrond vonden noch Eberhardt en Krzysch (28) noch Kick (56) enige noemenswaardige invloed van toegevoegde kalk op de C/N-verhouding. Sievers (110) beweert, dat indien Ca al invloed heeft, dit element alleen de afbraak van vers organisch materiaal versnelt en de opbrengst van het gewas verhoogt, doch het C/N-quotiënt in de grond onveranderd laat.

Hier tegenover staan de resultaten van anderen, die wel invloed vonden van de bekalking op het peil van de organische stof of op de C/N-verhouding. Köhnlein (61) stelt in zijn theorie over de "plaatselijke humusspiegel"¹⁾, dat deze moet dalen door bekalking, waardoor de afbraak van de organische stof de opbouw zal gaan overtreffen. Barrow (7) constateerde inderdaad een versnelde afbraak door bekalking. Frercks en Puffe (32, 33) vonden dezelfde invloed van bekalking en waarschuwen tegen een te groot gebruik van kalk op "Moorböden und Sandmischkulturen", aangezien daardoor de voorraad organische stof te sterk zou dalen. Ook Kortleven (64) vond, "dat bekalking het humusgehalte verlaagt, en dit des te zwakker naarmate het lager is, zodat bij lage humusgehalten en binnen de normaal in de praktijk te verwezenlijken pH-veranderingen de verlaging te verwaarlozen is, maar bij hoge humusgehalten enige procenten kan belopen". Aangezien geen gegevens over het N-gehalte beschikbaar zijn, is uit zijn proeven geen beeld te verkrijgen van de invloed van bekalking op de C/N-verhouding.

1) Hieronder verstaat Köhnlein het evenwichtsniveau waarop het humusgehalte van een bepaalde grond zich bevindt of uiteindelijk zal gaan bevinden als resultante van alle "Umwelteinflüsse" (62).

De C/N-verhouding zal volgens Russell (98) in een zure omgeving hoger liggen dan in een neutrale omgeving. Hij voorspelt dit uit de theorie van Mattson inzake de vorming van huminezuren (zie §2.1 en §4.1). In overeenstemming hiermee is het onderzoek van Koepf (59) waarbij alle onderzochte bosgronden zuur tot sterk zuur waren en tevens een wijde C/N-verhouding (tot 33) hadden. Daarentegen constateerden Eberhardt en Krzysch (28) slechts geringe verschillen in de C/N-verhouding van een zandgrond, waarvan de pH in 33 jaar was gestegen van 3,7-6,2.

Door een te lage zuurgraad kan de mineralisatie worden vertraagd, waardoor de C/N-verhouding in de grond hoog blijft. Duchaufour en Jaquin (23) vonden bij bosgronden dat de C/N-verhouding bij een pH van 5-7 een minimum-waarde (van 8-12) heeft. Dit zou dan H/Ca-humusrijke mull¹⁾ betreffen. Beneden pH 5 stellen zij H-humus bevattende mor met een C/N groter dan 15, terwijl Ca-humus alkalisch is en een C/N van 14-15 zou hebben. Ook Spannagel (112) vond bij verhoging van de pH door bekalking een actievare microflora, waardoor een betere mineralisatie en een verhoogde gewasopbrengst tot stand kwam. Nieschlag c.s. (86) vonden, dat vooral koolzure kalk een daling van de C/N-verhouding bewerkstelligde door de begunstiging van de inbouw van stikstof in de humus. Hierop wijzen ook Duchaufour en Mangenot (24): in zuur milieu zijn de micro-organismen niet in staat $\text{NH}_4\text{-N}$ om te zetten in organisch gebonden N en huminezuren te synthetiseren. Indien de grond echter met CaCO_3 geneutraliseerd wordt ontwikkelt zich een uit bacteriën en gisten bestaande microflora, die $\text{NH}_4\text{-N}$ in organische vorm omzetten en inbouwen in huminezuren, waardoor de C/N-verhouding sterk daalt. Op deze wijze zou kalk in staat zijn een mor om te zetten in een biologisch actieve mull.

Zöttl (134) vond in een mull met een C/N van 20 dan ook een veel kleinere invloed van de bekalking op de mineralisatiesnelheid dan in "Rohhumus" (mor) met een C/N van 25-30, waarin de bacteriën minder gunstige omstandigheden ontmoeten voor hun ontwikkeling. Hij wijst er echter op dat, wanneer "Rohhumus" een te lage redoxpotentiaal (kleiner dan 0,40) heeft, bekalking verlies van N tot gevolg kan hebben. De ontstane NH_4 wordt dan door een te lage bacteriewerking

1) Onder een mullgrond wordt hier verstaan een grond onder bos of heide, waarop veel strooisel ligt, maar waar geen scherp afgescheiden organische horizont is. De hoeveelheid organische stof neemt geleidelijk naar de diepte af, terwijl de oppervlakkige horizonten doorgaans zijn gekenmerkt door een kruimelige structuur. Het dierleven is meestal rijk en er komen veel regenwormen voor. Een mullgrond is dus sterk gehomogeniseerd en duidt op grote bodemvruchtbaarheid. Een morgrond wordt daarentegen gekenmerkt door een dikke strooisellaag, die aan het oppervlak uit losse strooiselresten kan bestaan, doch iets dieper als een sterk viltige, door schimmelweefsel doorwoekerde mat samenhangt. De grens tussen de organische laag en de onderliggende (meestal zandige) minerale laag is scherp. Er is geen rijk dierleven. Een morgrond is heterogeen en kan worden beschouwd als een zeer ongunstige, zure landhumusvorm op arme grond (55).

niet snel genoeg omgezet in nitraat, doch er ontstaat door gistactiviteit misschien nitriet en moleculaire stikstof die ontwijkt. De C/N-verhouding zal daardoor dus stijgen.

7. Overige factoren, die verband houden met de C/N-verhouding

7.1. Bodembewerking

Uit het onderzoek van Walker (126; zie tabel 9) blijkt reeds de grote invloed die het ontginnen op de C/N-verhouding van oorspronkelijk woeste gronden kan hebben. De C/N-verhouding daalde daar n.l. in een half jaar van 24 tot 15. Ook anderen (28, 121) vonden een duidelijke invloed van de bodembewerking op de C/N-verhouding en de afbraak van organische stof. Bij diepploegen wordt de C/N-verhouding in de ondergrond gelijk aan die van de bovengrond, waardoor in het door Eberhardt en Krzysch (28) onderzochte geval de nieuwe C/N-verhouding als het gemiddelde tussen boven- en ondergrond iets lager kwam te liggen dan in de oorspronkelijke bouwvoor. Als oorzaak van de hogere C/N-verhouding in de diepere lagen neemt men bovendien de diepere beworteling aan, waardoor enerzijds meer stikstof uit de ondergrond wordt opgenomen en anderzijds ook in de ondergrond afgestorven plantenresten terechtkomen. Köhnlein (61) verwacht, dat door een geïntensiveerde bodembewerking de "humusspiegel" zal worden verlaagd door een sterkere ontwikkeling van de microflora als gevolg van de betere aeratie. Inderdaad bleek bij verschillende grondbewerkingsproeven het C-gehalte te dalen en wel sterker dan het N-gehalte, hetgeen een daling van het C/N-quotiënt tot gevolg had (61, 121). Tegenover deze waarnemingen valt de opmerking van Sievers (110) op, dat variaties in bodembewerking wel grote verschillen kunnen geven in de opbrengsten, maar geen duidelijke invloed hebben op de organische stof in de grond, noch op het gehalte aan koolstof of stikstof. Een algemene regel schijnt dus ook hier niet te bestaan.

7.2. Waterhuishouding en temperatuur

Ook het klimaat is van invloed op het peil van de organisch gebonden koolstof en stikstof in de grond. In de in §2 reeds genoemde beschouwingen van Mattson en Koutler-Andersson (75) komt ook de hypothese voor, dat de C/N-verhouding in natte streken wijder moet zijn dan in droge. In humide streken zou de organische stof de grond "uitlogen", waarbij het gehalte aan basen en dus ook dat aan colloïdale organische zuren zou dalen en de C/N-verhouding dus zou stijgen. Inderdaad hebben verschillende onderzoekers een hogere C/N-verhouding in humide streken geconstateerd (12, 17, 25, 51, 84). Anderen vonden echter het omgekeerde (54, 99, 111). Köhnlein (62) stelt, dat het C-gehalte stijgt in dat deel van een landbouwgrond, dat door de een of andere oorzaak te nat wordt. In de loop der jaren zou het verschil tussen normale en te natte delen zelfs zichtbaar worden door kleurverschil. Minderman (79) constateerde dat zandgronden met een zeer sterk doorlatend vermogen arm zijn aan humus (morgrond). Vooral waar grof zand aanwezig is, zal er ook weinig of geen capillaire opstijging zijn van grondwater, waardoor de bovenlaag arm blijft aan mineralen. (Ook hieruit

komt dus het verband tussen basengehalte en C/N-verhouding naar voren). In de door Minderman onderzochte zandgronden zou de waterhuishouding de voornaamste factor zijn in de vorming van een mull- of een morgrond. Waksman en Purvis (125) stellen, dat afwisselend droge en natte perioden de vertering sterk kunnen bevorderen. Birch en Friend (10) vonden in een grond met 8,51% C en 0,69% N ($C/N = 12,33$), die zij 204 maal een cyclus van bevochtigen op veldcapaciteit - 5 dagen ontleden bij 25°C - 48 uur drogen bij 100°C deden ondergaan, een daling van de C/N-verhouding tot 8,41 waarbij 63,5% van de koolstof en 46,4% van de stikstof was gemineraliseerd. Een dergelijk resultaat vond Birch (9) ook in andere proeven. Het is voorts bekend (zie §4.1) dat venen na ontwatering kunnen gaan verteren, waarbij een daling van de C/N-verhouding optreedt.

Ook de temperatuur beïnvloedt de vertering van het organische materiaal. In warme streken zal het zelfs moeilijk zijn om de voorraad organische stof in cultuurgronden op een voldoende hoog peil te houden (121). McLean (71) en Mutatkar e.a. (84) beweren dat in een warme omgeving de C/N-verhouding hoger ligt dan in koude zones, doch men concludeert dit uit een minieme verandering in de C/N-cijfers. Slechts in de decimalen ligt enig verschil, hetgeen dus allerminst betrouwbaar is te noemen (zie §5). Men kan hoogstens concluderen tot een niet blijken van enig verschil tussen warme en koude streken. Ook Dean (17) vond bij zijn onderzoek op Hawaii geen verband tussen C/N en temperatuurverschillen. Daartegenover staan de veel aannemelijker conclusies van anderen. Jenny (50) toont aan, dat de C/N-verhouding in warme streken lager ligt dan in koude. Juist in tropische streken met hun afwisselend droge en natte perioden zal mede tengevolge van de hoge temperaturen een snelle vertering plaatsvinden en de C/N-verhouding van het goed aantastbare materiaal snel dalen. Dit wijzen ook de reeds genoemde proeven van Birch (9, 10) uit. Witkamp en van der Drift (132) constateerden, dat de afbraak in zowel mull- als morgrond hoofdzakelijk afhangt van de regenval en minder van de temperatuur. Jensen (52) vond echter een snelle stijging van bacteriologische ontleding van organisch materiaal bij verhoogde temperatuur. Nömmik (87) vond een betere strovertering bij 24°C dan bij lagere temperatuur.

Dit alles wijst er toch wel op, dat ook de temperatuur een belangrijk aandeel heeft in de omstandigheden, die de vertering van vers organisch materiaal (en dus de daling van de C/N-verhouding van dat materiaal) bepalen.

8. Verband tussen C/N-verhouding en mineralisatie van C en N

8.1. Verband tussen C/N-verhouding en C-mineralisatie

Een belangrijke functie in de grond vervullen de micro-organismen. Zoals in §3.1 reeds vermeld, worden de organische materialen, afkomstig van afgestorven plantaardige en dierlijke organismen, door hen afgebroken, bij volledige afbraak tot eenvoudige verbindingen als CO_2 , H_2O , NH_3 , enz. Een deel van de afbraakprodukten wordt gebruikt voor de opbouw van het microbenweefsel, terwijl daarnaast ook verbindingen worden opgebouwd, die tezamen de verteerde organische stof in de grond vormen (123). Hierbij neemt de bestendigheid

ten opzichte van afbraak door microorganismen toe (de CO₂-ontwikkeling wordt minder intensief) en daalt in het algemeen de C/N-verhouding. Des te lager de C/N-verhouding, des te kleiner is dan de aantastbaarheid. Dit houdt echter niet in dat een gelijke waarde voor de C/N-verhouding bij organische stof van verschillende herkomst ook een gelijke aantastbaarheid betekent. Hier speelt de aard van het oorspronkelijke materiaal een zeer belangrijke rol (16, 20, 80, 129). Zo toonde lucerne met een C/N-verhouding van 14,5 in een zandgrond een CO₂-ontwikkeling, die na 65 dagen een totaalbedrag van 85% van de toegevoegde C was, terwijl stro met een C/N-verhouding van 100 een CO₂-ontwikkeling vertoonde van 50% van de toegevoegde C (60). Bij dennenaalden (C/N = 37) werd slechts 27% van de oorspronkelijk aanwezige C in CO₂ omgezet.

Daar de organische stof in de grond vaak eveneens van verschillende herkomst is is het niet verwonderlijk dat de C/N-verhouding zonder meer nog niets zegt over de aantastbaarheid. Het is dus bepaald niet zo dat een geringe CO₂-ontwikkeling bij gronden met een hoog C/N-quotiënt altijd toegeschreven moet worden aan ongunstige omstandigheden voor de vertering. Van Dijk (27) stelt het dan ook omgekeerd: "bij gronden, die reeds lang als cultuurgrond worden gebruikt en die toch nog een betrekkelijk laag C/N-quotiënt hebben, is in het algemeen de organische stof moeilijker aantastbaar. Een hogere C/N-verhouding gaat dan ook vaak samen met een hoger humusgehalte". In het voorwoord wordt reeds de kritiek gememoreerd van Engel (30) op een uitspraak van Waksman. Engel nam de volgende tabel over van Waksman:

C-Gehalt %	0,910	1,684	1,860	2,889
C/N-Verhältnis	10,0	11,8	12,0	12,4
Durch "Bodenatmung"				
flüchtig gewordener	120	188	168	231
Kohlenstoff, mg				

Hij citeert dan Waksmans conclusie: "The wider the C/N-ratio, the more readily will the humus decompose, under normal conditions". Daarna vervolgt Engel: "Die Umrechnung der C-Verluste auf den Kohlenstoff lässt dagegen folgendes Bild entstehen:

Je 1 g Kohlenstoff				
flüchtig gewordene				
Kohlensäure, mg	48,2	40,9	33,0	29,3

Je weiter also das C/N-Verhältnis, desto langsamer zersetzt sich der Humus! Oder auch, je reicher der Boden an Humus, desto langsamer greifen die Mikroorganismen ihn an. Ich möchte diese für die vier Böden zutreffende Feststellung nicht verallgemeinern, aber sie dürfte in vielen Fällen zutreffen". Engel wijst er vervolgens nog op, dat de langzame ontleding geen gevolg, maar oorzaak is van het hogere humusgehalte.

Is de humificatie voltooid en de C/N-verhouding tot het in een bepaalde grond voorkomend evenwicht genaderd, dan daalt met de activiteit van de microflora ook het microbengetal (53). De activiteit van het bodemleven zal echter nim-

mer geheel stilstaan. De CO₂-ontwikkeling gaat door, zolang er nog maar enig aantastbaar materiaal aanwezig is, zij het tenslotte op zeer laag niveau (106).

8.2. Verband tussen C/N-verhouding en N-mineralisatie

In §5 en §6.1 kwam de vastlegging van stikstof door onverteerd plantaardig materiaal met een hoge C/N-verhouding ter sprake. Voor een deel wordt deze stikstof vastgelegd in de lichaamssubstantie van de microorganismen waarvan het aantal zeer snel stijgt (meer dan de helft van de geconsumeerde organische stof kan in celsubstantie worden omgezet (o.a. 52)). Wanneer het gemakkelijk aantastbare materiaal verdwenen is, sterft de microbenpopulatie weer gedeeltelijk af, waarbij via autolyse weer een deel van de vastgelegde stikstof vrijkomt. Voorzover de stikstof is ingebouwd in de meer bestendige humus wordt deze moeilijker geremineralsiseerd.

Hieruit volgt reeds dat er geen verband zal zijn tussen C/N-verhouding en N-mineralisatie in het algemeen. Immers, uit vers eiwitrijk materiaal zoals b.v. lucernemeel met een relatief lage C/N-verhouding van ca. 15 zal bij vertering sneller en meer stikstof vrijkomen dan uit oude overjarige stalmest met een C/N-quotiënt van b.v. 10, waaruit de gemakkelijk mineraliseerbare N is verdwenen en de aanwezige N grotendeels in vrij bestendige organische verbindingen is ingebouwd. Hieruit moet ook verklaard worden, dat de stikstofwerking van stalmest het grootst is bij een C/N-verhouding van ca. 20 (16a). Ook Brown en Allison (14) vonden geen verband tussen de C/N-verhouding van aan de grond toegevoegd organisch materiaal van verschillende herkomst en de N-mineralisatie.

Owen c.s. (88) en van Driel (21) vonden dat er bij de afbraak van aminozuren minder stikstof in minerale vorm vrijkomt naarmate de C/N-verhouding hoger was. Uit het onderzoek van Zöttl (134) en Barrow (8) blijkt dat dit een algemene regel is bij materiaal met een vergelijkbare aantastbaarheid (voorzover het zich althans in gelijke verteringscondities bevindt). Zöttl constateerde eveneens dat er géén verband bestaat tussen de C/N-verhouding en de N-mineralisatie bij humusvormen van ongelijke microbiologische aantastbaarheid. Zo bleek een moeilijk aantastbare mull, waarin veel bestendige humus voorkomt, wat de N-mineralisatie betreft niet te vergelijken met een "Rohhumus" of een "moder".

Wel vond Zöttl (133) een zeer duidelijk verband tussen de C/N-verhouding van 25 verschillende bosgronden (waaronder allerlei typen met verschillende opstanden) en de verhouding C-gemin./N-gemin. (Hij incubeerde deze gronden bij 20° C in een donkere vochtige omgeving, na de monsters op een vochtgehalte van 60% van hun watercapaciteit gebracht te hebben). De mullmonsters met nauwe C/N-quotiënten vertoonden lage C-gemin./N-gemin.-quotiënten, terwijl bij de "Rohhumus"-monsters beide verhoudingen hoog lagen. Vergelijkbare verhoudingen zouden volgens deze auteur ook in akkerbouwgronden bestaan, waar het mineralisatiequotiënt ongeveer dubbel zo hoog zou zijn als de C/N-verhouding.

Resumerend kan dus worden gezegd dat de C/N-verhouding zonder meer, geen maatstaf is voor de te verwachten N-mine-

ralisatie. Wel geven de drie grootheden C/N-verhouding, C- en N-mineralisatie gezamenlijk een belangrijke inlichting over de hoedanigheid van de organische stof.

Samenvatting en conclusies

Een van de grootheden voor het bepalen van de hoedanigheid van de organische stof in de grond is de C/N-verhouding. Deze verhouding is afhankelijk van diverse factoren. In een literatuuroverzicht wordt deze afhankelijkheid besproken.

De C/N-verhouding in de grond varieert tussen wijde grenzen. Verschillende onderzoekers nemen als regel aan, dat deze verhouding daalt met grotere diepte, doch er blijken nogal wat uitzonderingen te zijn. Plaatselijke omstandigheden bepalen hier mede de variatie tussen de diverse lagen van de grond.

Door vertering van vers plantaardig materiaal daalt de C/N-verhouding hiervan. Er is geen rechtlijnig verband tussen de C/N-verhouding van de bij deze vertering ontstane huminezuren en die van de organische stof in de grond als geheel.

De vegetatie is van grote invloed op de C/N-verhouding van de grond. De verteringsgraad speelt echter, vooral bij veengronden, hierbij ook een belangrijke rol. Door cultivering van gronden met een natuurlijke vegetatie van struiken, varens e.d. en na inpoldering van kwelders en slikken daalt de C/N-verhouding tengevolge van een sterkere vermindering van het percentage C dan dat van N bij de afbraak van de aanwezige organische stof. Onder grasland kan de C/N-verhouding dan nog verder dalen, doch hier door opbouw van organische stof, waarbij het percentage N sneller stijgt dan het percentage C. Continue granenverbouw doet de voorraad organische stof in de grond vaak langzaam dalen waarbij de C/N-verhouding van de resterende organische stof zowel kan stijgen als dalen. Ook bij een bepaalde grond is de C/N-verhouding dus geen maat voor het gehalte aan organische stof in die grond. Verlies of winst aan organische stof in de loop der jaren moet blijken uit de C-cijfers afzonderlijk.

Door organische bemesting wordt de C/N-verhouding van de grond niet sterk beïnvloed, indien het toegevoerde materiaal goed wil ontleden en voldoende stikstof bevat of kan opnemen.

Onvoldoende bemesting met stikstofhoudende meststoffen doet de C/N-verhouding van de grond stijgen. Door stikstofbemesting kan deze verhouding dalen, niet zo zeer door vermeerdering van het percentage stikstof, doch vooral doordat het percentage koolstof daalt als gevolg van een snellere vertering van de organische stof in de grond.

Hoewel er aanwijzingen bestaan, dat P-gebrek de C/N-verhouding doet stijgen, is de invloed van fosfaatbemesting op de C/N-verhouding niet geheel duidelijk.

Bekalking van de grond kan in sommige gevallen de C/N-verhouding in die grond doen dalen door bevordering van de vertering van organische stof. Dit geldt echter meestal alleen voor die gronden, die te zuur zijn voor een optimale ontwikkeling van het microbenleven.

Bodembewerking bevordert de aeratie van de grond en daarmee de vertering van organische stof, waardoor de C/N-verhouding kan dalen. Een algemene regel schijnt echter ook hier niet te zijn.

Een te hoog vochtgehalte remt de vertering en doet daarmee de C/N-verhouding van de organische stof hoger blijven. Verhoogde temperaturen bevorderen daarentegen de vertering van de organische stof en daling van de C/N-verhouding daarvan.

De intensiteit van de CO₂-ontwikkeling als gevolg van microbiologische afbraak van de organische stof hangt in de eerste plaats af van de aard (herkomst) van het organische materiaal en pas in tweede instantie van de C/N-verhouding. Een lage C-mineralisatiesnelheid (geringe aantastbaarheid) van de organische stof in de grond komt zowel bij hoge als bij lage C/N-verhouding voor.

Bij vergelijking van plantenmateriaal en humusvormen met ongelijke microbiologische aantastbaarheid bestaat er evenmin een betrekking tussen de C/N-verhouding en N-mineralisatie. Deze betrekking bestaat alleen bij materialen met gelijke aantastbaarheid. Bij vergelijking van verschillende humusvormen, ontstaan uit verschillend plantaardig materiaal, is wel een duidelijk verband gevonden tussen de C/N-verhouding en de verhouding C-gemin./N-gemin.

Over de hoedanigheid van de organische stof in de grond kan op grond van de C/N-verhouding alléén dus geen uitspraak worden gedaan.

Literatuur

1. ALBAREDA, J.M. Chemisches Studium vom Humus verschiedener Bodentypen in Spanien. Z.Pfl.Düng.Bodenk. 69 (1955) 86-93.
2. ALLISON, F.E. Does nitrogen applied to crop residues produce more humus? Proc.Soil Sci.Soc.Amer. 19 (1955) 210-211.
3. ALLISON, F.E., M.S. SHERMAN and L.A. PINCK. Maintenance of soil organic matter. I. Inorganic soil colloid as a factor in retention of carbon during formation of humus. Soil Sci. 68 (1949) 463-479.
4. ALTEN, F. und W. WERNER. Die Festlegung des Stickstoffes bei biochemischen Umsetzungen im Boden. Agrochimica 5 (1960) 40-50.
5. ANDERSON, M.S. and H.G. BYERS. The carbon-nitrogen ratio in relation to soil classification. Soil Sci. 38 (1934) 121-138.
6. ARMY, T.J. and J.C. HIDE. Effects of green manure crops on dryland wheat production in the Great Plains area of Montana. Agron.J. 51 (1959) 196-198.
7. BARROW, N.J. The effects of varying the nitrogen, sulfur, and phosphorus content of organic matter on its decomposition. Austr.J.Agric.Res. 11 (1960) 317-338.
8. BARROW, N.J. A comparison of the mineralization of nitrogen and of sulfur from decomposing organic materials. Austr.J.Agric.Res. 11 (1960) 960-969.
9. BIRCH, H.F. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. Plant and Soil 10 (1958) 9-31.
10. BIRCH, H.F. and H.T. FRIEND. Resistance of humus to decomposition. Nature 191 (1961) 731-732.
11. BLAIR, H.W. and H.C. McLEAN. Total nitrogen and carbon in cultivated land, and land abandoned to grass and weeds. Soil Sci. 4 (1917) 283-293.
12. BLOMBERG, N. and W.E. HOLMES. The carbon-nitrogen ratios in some Hawaiian soils. Hawaii Agric.Exp.Sta.Progr.Rep. 122 (1959) 7.
13. BREMNER, J.M. Studies on soil organic matter. Part 3: The extraction of organic carbon and nitrogen from soil. J.Agric.Sci. 39 (1949) 280-282.
14. BROWN, P.E. and F.E. ALLISON. The influence of some common humusforming materials of narrow and wide nitrogen-carbon ratios on bacterial activities. Soil Sci. 1 (1916) 49-75.
15. CARBON-NITROGEN and other ratios. Soils and Fert. 8 (1945) 135-137.
16. CHANDRA, P. and W.B. BOLLEN. Effect of wheat straw, nitrogenous fertilizers and carbon-to-nitrogen ratio on organic decomposition in a sub-humid soil. J.Agric. Food Chem. 8 (1960) 19-24.
- 16a. CREMER, L.C.N. DE LA LANDE. Stikstofwerking van overjarige stalmeest. Landbk.T. 73 (1961) 366-370.
17. DEAN, L.A. The effect of rainfall on carbon and nitrogen contents and carbon:nitrogen ratios of Hawaiian soils. Proc.Soil Sci.Soc.Amer. 2 (1938) 455-459.
18. DICKSON, B.A. and R.L. CROCKER. A chronosequence of soils and vegetation near Mount Shasta, California. J.Soil Sci. 4 (1953) 142-154.

19. DODGE, D.A. and H.E. JONES. The effect of long term fertility treatment on the nitrogen and carbon content of prairie soils. J.Amer.Soc.Agron. 40 (1948) 778-785.
20. DOUGHTY, J.L. The rate of decomposition of plant roots. Scientif.Agric. 21 (1941) 429-432.
21. DRIEL, W. VAN. Studies on the conversions of amino acids in soil. Diss. Amsterdam 1961.
22. DUCHAUFOUR, P. Note sur les types d'humus forestier et leur rapport carbone/azote (C/N). Trans. 4th Int.Congr. Soil Sci. 2 (1950) 108-111.
23. DUCHAUFOUR, P. et F. JAQUIN. De l'influence comparée de deux légumineuses sur la teneur en azote d'un sol calcaire. C.R.Acad.Sci. Paris 244 (1957) 1256-1258.
24. DUCHAUFOUR, P. et F. MANGENOT. Recherches sur l'évolution expérimentale de certains humus. Ann.Agron. A7 (1956) 158-181.
25. DURASOV, A.M. Carbon-nitrogen ratio in the soils of Kazakhstan. Soviet Soil Sci. No. 7 (1961) 725-728.
26. DIJK, H. VAN. "Veenaarde"-onderzoek. I. Het veen van de Vinkeveense plassen. Rapport I.B. VI (1960).
27. DIJK, H. VAN. Samenstelling en eigenschappen van de organische stof in de grond. Bodemkunde. 's-Gravenhage 1961, 59-66.
28. EBERHARDT, W. und G. KRZYSCH. Stickstoffgehalt und C/N-Verhältnis eines lehmigen Sandbodens und ihre Abhängigkeit von Pflugarbeit und Düngung. Z.Pfl.Düng.Bodenk. 85 (1959) 117-123.
29. ENGEL, H. Über den Einfluss des C/N-Verhältnisses in verschiedenen organischen Substanzen auf die Umsetzungen des Stickstoffes im Boden. Z.Pfl.Düng.Bodenk. A19 (1931) 314-325.
30. ENGEL, H. Kritische Bemerkungen zur "Bodenatmung". Z.Bakt. 90 (1934) 158-161.
31. FELBER, P. Über das Gleichgewicht zwischen Stickstoff und Kohlenstoff im Boden. Mitt.Landw.Lehr.K.K.Hochschule f.Boden III no. 1 Wenen 1916, 23-54.
32. FRERCKS, W. und D. PUFFE. Untersuchungen über die Zersetzung der organischen Substanz in Moorböden und Sandmischkulturen mittels der Stoffgruppenanalyse, insbesondere unter dem Einfluss der Kalkung. Z.Pfl.Düng.Bodenk. 83 (1958) 7-27.
33. FRERCKS, W. und D. PUFFE. Über ergänzende Untersuchungen zu Stoffgruppenanalysen an Moorböden und Sandmischkulturen unterschiedlicher Aufkalkung. Z.Pfl.Düng.Bodenk. 83 (1958) 42-54.
34. GERRETSEN, F.C. Over stalmeestbereiding en strocompost. Maandbl. Landbouwvoorl. 7 (1950) 281-288.
35. GERRETSEN, F.C., J.A. GROOTENHUIS en G.J. KOLENBRANDER. De compostering van stro, met en zonder compost-activators. V.L.O. 62.1 (1956).
36. GOSDIN, G.W., M. STELLY and W.E. ADAMS. The organic matter and nitrogen content and carbon-nitrogen ratio of Cecil soil as influenced by different cropping systems on classes II, III and IV land. Proc.Soil Sci.Soc.Amer. 14 (1950) 203-208.
37. GROOT, A.J. DE. Mangaangebreek in Nederland. Landbk.T. 69 (1957) 564-573.

38. GROOT, A.J. DE. Mangaantoeestand van Nederlandse en Duitse holocene sedimenten in verband met slibtransport en bodemgenese. Diss.Utrecht (1962).
Idem. Influence of age and organic matter on the availability of manganese in marine and estuary soils. Trans.6th Congr.Internatl.Soil Sci.Soc. II (1956) 531-539.
39. GUPTA, U.C. The influence of different cropping schemes on the amino acid content, total nitrogen, and total organic carbon content of soil. Diss.Abstr. 22 (1961) 3.
40. HAAS, H.J., C.E. EVANS and E.F. MILES. Nitrogen and carbon changes in Great Plains soils as influenced by cropping and soil treatments. Techn.Bull.U.S.Dept.Agric. No. 1164 (1957).
41. HAVE, J. TEN. Enige gegevens over C/N-verhouding van diverse gronden. Rapp. L.P.S.-B.I. (z.j.).
42. HENDE, A. VAN DEN. Kunstmatige organische meststof als humusbron voor onze gronden. Landbk.T. 7 (1954) 557-567.
43. HÉNIN, S. et L. TURC. Essais de fractionnement des matières organiques du sol. Trans.Int.Congr.Soil Sci. 4 (1) (1950) 152-154.
44. HILTBOLD jr., A.E. Carbon-phosphorus-nitrogen relations during decomposition of plant residues. Diss.Abstr. 16 (1956) 842.
45. HISSINK, D.J. Onderzoek van grond- en baggermonsters uit polders en plassen, gelegen ten Oosten van de Utrechtsche Vecht, enz. V.L.O. 24 (1920) 13-143.
46. HISSINK, D.J. en C. SPITHOST. Het gehalte aan stikstof (N) van eenige Nederlandsche cultuurgronden en van de nieuwe Zuiderzeegronden. V.L.O. 38 (1932) 105-110.
47. HOLTZ, H.F. and S.C. VANDECAVEYE. Organic residues and nitrogen fertilizers in relation to the production and humus content of Palouse silt loam. Soil Sci. 45 (1938) 143-163.
48. IRITANI, W.M. The nitrogen release of vegetable crop residues during incubation as related to their chemical composition. Diss.Abstr. 19 (1959) 2423-2424.
49. JEANSON-LUUSINANG, C. Fractionnement par densité de la matière organique des sols. Ann.Agron. 11 (1960) 481-497.
50. JENNY, H. Relation of temperature to the amount of nitrogen in soils. Soil Sci. 27 (1929) 169-188.
51. JENNY, H. Factors of soil formation. London/New York 1941.
52. JENSEN, H.L. Contribution to the microbiology of Australian soils IV. Proc.Linn.Soc.N.S.W. 61 (1936) 27-55.
53. JOHNSTON, H.H. Chemical, physical and biological properties of soil organic matter. Diss.Abstr. 20 (1960) 4523.
54. JONES, T.A. A study of carbon-nitrogen ratios on the irrigated soils of the Sudan Gezira. J.Soil Sci. 2 (1958) 277-279.
55. JONGERIUS, A. De micromorfologie van de organische stof. Bodemkunde. 's-Gravenhage 1961, 43-58.
56. KICK, H. Beobachtungen über den Abbau organischer Masse im Boden unter dem Einfluss der Kalkung. Z.Pfl.Düng. Bodenk. 74 (1956) 1-10.
57. KICK, H. und R. DÖRR. Untersuchungen zur Versorgung von Ackerböden mit organischer Masse durch Stroh und Stallmist. Z.Pfl.Düng.Bodenk. 70 (1955) 124-138.

58. KNIBBE, M. en B.A. MARSMAN. Bewerking van C/N-gegevens uit Overijssel en de Gelderse Achterhoek. Rapport no. 1604 (1958) Stiboka.
59. KOEPF, H. Experimenteller Beitrag zur Bodenbeurteilung mittels biochemischer Methoden. II. Z.Pfl.Düng.Bodenk. 67 (1954) 271-277.
60. KOEPF, H. Zur Dynamik des Abbaues organischer Substanzen in verschiedenen Böden. Z.Pfl.Düng.Bodenk. 73 (1956) 48-59.
61. KÖHNLEIN, J. Der Humushaushalt im landwirtschaftlichen Betrieb und seine Abhängigkeit von Futterbau und Viehhaltung. Kieler Milchw.Forsch.ber. 2 (1957) 419-457.
62. KÖHNLEIN, J. Über die Zusammenhänge zwischen der relativen Lage des Humusspiegels und der Nährstoffanlieferung des Bodens. Z.Acker u.Pfl.bau 108 (1959) 149-158.
- 62a. KONONOWA, M.M. Die Humusstoffe des Bodens. Berlin 1958.
63. KORTLEVEN, J. Het onderbrengen van stro in de grond. V.L.O. 57.6 (1951).
64. KORTLEVEN, J. De invloed van bekalking op het humusgehalte. Landbk.T. 67 (1955) 33-44.
65. KORTLEVEN, J. Organische stof en humus. Landb.voorl. 18 (1961) 130-135.
66. KORTLEVEN, J. De betekenis van organische bemesting voor grond en gewas. Bodemkunde. 's-Gravenhage 1961, 67-75.
67. KORTLEVEN, J. en H. PIJL. De voorziening van de grond met organische stof, voorheen en thans. Landbk.T. 66 (1954) 90-98.
68. KOSAKA, J., C. HONDA and A. IZEKI. Deformation of humic acid by acid treatment. Soil Sci. and Plant Nutrit. 7 (1961) 90-93.
69. LEIGHTY, W.R. and E.C. SHOREY. Some carbon-nitrogen relations in soils. Soil Sci. 30 (1930) 257-266.
70. LYON, T.L. and J.A. BIZZELL. Nitrogen accumulation in soil as influenced by the cropping system. J.Amer.Soc. Agron. 25 (1933) 266-272.
71. McLEAN, W. The carbon-nitrogen ratio of soil organic matter. J.Agric.Sci. 20 (1930) 348-354.
72. McLEAN, W. Effect of hydrogen peroxide on soil organic matter. Proc.2nd Int.Congr.Soil Sci.Leningrad II (1930) 182.
73. McLEAN, W. The carbon-nitrogen ratio of soil organic matter. Proc.2nd Int.Congr.Soil Sci.Leningrad II (1930) 181.
74. MASCHHAUPT, J.G. Bodemkundige onderzoekingen in het Dollardgebied II. V.L.O. 62.3 (1956).
75. MATTSON, S. and E. ANDERSSON. The acid-base condition in vegetation, litter and humus I-IV. Ann.Agric.Coll. Sweden 2 (1941) 1-73.
76. MATTSON, S. and E. KOUTLER-ANDERSSON. The acid-base condition in vegetation, litter and humus. VI. Ammonia fixation and humus nitrogen. Ann.Agric.Coll.Sweden 11 (1943) 107.
77. MERKER, J. Untersuchungen an den Ernten und dem Boden des Versuchs "Ewiger Roggenbau", Halle-Saale. Kühn-Archiv 70 (1956) 153-215.

78. MEIJER, L. Experimenteller Beitrag zu mikrobiologischen Wirkungen auf Humus- und Bodenbildung. Z.Bodenk.u.Pfl. 29 (1942) 119-140.
79. MINDERMAN, G. Mull and mor in relation to soil water regime of a forest. Plant and Soil 13 (1960) 1-27.
80. MINDERMAN, G. Enige facetten van het bodemleven. Bodemkunde. 's-Gravenhage 1961, 7-15.
81. MONNIER, G., L. TURC et C. JEANSON-LUUSINANG. Une méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol. Ann.Agron. 13 (1962) 55-63.
82. MONTOULIAK, G. Zur Charakterisierung der organischen Bodensubstanz in mitteldeutschen Ackerböden. Kühn-Archiv 72 (1958) 79-169.
83. MOREL, R., A. RICHER et P. MASSON. Étude expérimentelle de la variation du taux de matière organique du sol dans le champ d'expériences de la station agronomique de Grignon. Ann.Agron. série A 7 (1957) 183-204.
84. MUTATKAR, V.K. and S.P. RAYCHAUDHURI. Carbon and nitrogen status of soil of arid and semi-arid regions of India. J.Ind.Soc.Soil Sci. 7 (1959) 255-262.
85. NEHRING, K. und H. KRETSCHMER. Humusuntersuchungen an Dauerdüngungsversuchen. Wiss.Z.Univ.Rostock 2 (1959/60) 187-192.
86. NIESCHLAG, F., M. MÜLLER und H. WESTERHOFF. Die Einfluss einer Aufkalkung auf die Humusversorgung verschiedener Ackerböden. Landw.Forsch. 8 (1956) 63-71.
87. NÖMMIK, H. Mineral nitrogen immobilization and carbon dioxide production during decomposition of wheat straw in soil as influenced by temperature. Acta Agric.Scand. 12 (1962) 81-94.
88. OWEN, O., G.W. WINSOR and M.I. DELONG. Effect of carbon/nitrogen ratio upon the formation of nitrate and ammonia from amino-acids in soil. Nature 166 (1950) 152.
89. PENMAN, F. Effects on Victorian soil of various crop rotation systems with particular reference to changes in nitrogen and organic matter under cereal cultivation. Proc.Brit.Commonw.Spec.Conf. in Agric. (1949) 457-465.
90. PINCK, L.A., F.E. ALLISON and M.S. SHERMAN. Maintenance of soil organic matter II. Losses of carbon and nitrogen from young mature plant materials during decomposition in soil. Soil Sci. 69 (1950) 391-401.
91. PRATT, P.F., B. GOULBEN and R.B. HARDING. Changes in organic carbon and nitrogen in an irrigated soil during 28 years of fertilization. Proc.Soil Sci.Soc.Amer. 21 (1957) 215-219.
92. PROCH, J. Zusammensetzung und Eigenschaften wasserlöslicher Humusstoffe. Wiss.Z.Hochsch.f.Landw.Prod.genoss.in Meissen 4 (1961) 87-96.
93. READ, J.W. Practical significance of the organic carbon-nitrogen ratios in soils. Soil Sci. 12 (1921) 491-495.
94. RODRIGUES, G. Fixed ammonia in tropical soils. J.Soil Sci. 5 (1954) 264-274.
95. ROEMER, Th. und F. SCHEFFER. Lehrbuch des Ackerbaues 4. Aufl. (1953) Berlin/Hamburg.
96. ROGGEN, J.C. Onderzoek naar vorming en karakter van de humus bij kunstweiden op zandgronden. Rapp. L.P.S.-B.I. (z.j.).

97. ROOS, H.P. DE. Voorkomen en mineralisatie van organische fosforverbindingen in de grond. Rapport I.B. 42 (1959).
98. RUSSELL, E.J. Soil conditions and plant growth 8th Ed. London 1950.
99. RUSSELL, J.C. and W. McRUER. The relation of organic matter and nitrogen content to series and type in virgin grassland soils. Soil Sci. 24 (1927) 421-452.
100. SALTER, F.J. The carbon-nitrogen ratio in relation to the accumulation of organic matter in soils. Soil Sci. 31 (1931) 413-430.
101. SALTER, R.M. and T.C. GREEN. Factors affecting the accumulation and loss of nitrogen and organic matter in cropped soils. J.Amer.Soc.Agron. 25 (1933) 622-630.
102. SCHEFFER, F. Die Bedeutung des organisch gebundenen Stickstoffs für Boden und Pflanze. Agrochim. 5 (1961) 126-149.
103. SCHEFFER, F., R. SUNKEL und E. WELTE. Über Humuseigenschaften in Böden der wechselfeuchten Tropen. Naturwiss. 45 (1958) 274-275.
104. SCHEFFER, F. und B. ULRICH. Lehrbuch des Agrikulturchemie und Bodenkunde III. Teil, Band I. Stuttgart 1960.
105. SCHLICHTING, E. Zur Kenntnis des Heidehumus I-III. Z.Pfl. Düng.Bodenk. 61 (1953) 1-12, 97-107, 193-204.
106. SCHMALFUSS, K. Über Nährhumus. Forsch.Dienst Sonderh. 17 (1941) 15-18.
107. SCHMALFUSS, K. Mineraldüngung, Pflanzenenertrag und organische Bodensubstanz. Z.Pfl.Düng.Bodenk. 20 (1960) 50-58.
108. SHRIKHANDE, J.G. Effect of narrow carbon-nitrogen ratio and of naturally occurring tannins in decomposing plant materials upon the production of mucus. Soil Sci. 49 (1940) 1-8.
109. SHRIKHANDE, J.G. The biological decomposition of green manures. Ind.J.Agric.Sci. 15 (1945) 95-103.
110. SIEVERS, F.J. Further evidence concerning the significance of nitrogen in soil organic matter relationships. J.Amer. Soc.Agron. 22 (1930) 10-13.
111. SIEVERS, F.J. and H.F. HOLTZ. The influence of precipitation on soil composition and soil organic matter maintenance. Wash.Agric.Exp.Stat.Bull. 176 (1923).
112. SPANNAGEL, G. Humusbildung unter dem Einfluss von Kalk in Verbindung mit der Entwicklung einer reichen Bodenfauna. Trans.7th Int.Congr.Soil.Sci.II (1960) 695-701.
113. SPRINGER, U. Der heutige Stand der Humusuntersuchungsmethodik mit besonderer Berücksichtigung der Trennung, Bestimmung und Charakterisierung der Huminsäure-Typen und ihre Anwendung auf charakteristische Humusformen. Bodenk.u.Pfl. 6 (1938) 312-373.
114. SPRINGER, U. In welchem Ausmass ist eine Humusvermehrung durch Mineraldüngung, Stallmist- und Kompostdüngung möglich? Z.Pfl.Düng.Bodenk. 46 (1949) 146-234.
115. SPRINGER, U. und J. KLEE. Die Charakterisierung und Unterscheidung von Waldhumusformen mittels der Natronlauge- und Natriumpyrophosphat-Extraktionen und der Stickstoff-Fraktionierung. Z.Pfl.Düng.Bodenk. 80 (1958) 109-126.

116. STEVENSON, F.J. Distribution of the forms of nitrogen in some soil profiles. Proc.Soil Sci.Soc.Amer. 21 (1957) 283-287.
117. STEVENSON, F.J. Carbon-nitrogen relationships in soil. Soil Sci. 88 (1959) 201-208.
118. STEVENSON, F.J., A.P.S. DHARIVAL and M.B. CHOUDRI. Further evidence for naturally occurring fixed ammonium in soils. Soil Sci. 85 (1956) 42-46.
119. STEWART, R. Quantitative relationships of carbon, phosphorus and nitrogen in soils. Illinois Agric.Exp. Stat.Bull. 145 (1910).
120. STURGIS, M.B. Determination of the rate of decomposition of organic matter under field conditions. Soil Sci. 34 (1932) 19-23.
121. THERON, J.J. Die herstel van grondhumus deur middel van bemeste grasrusoeste. S.A.Tijdskrif v.Landb. wetenskap 4 (1961) 415-430.
122. TROCMÉ, S. Influence du degré d'aérobiose sur certaines propriétés colloïdales des acides humiques formés au cours de la fermentation du fumier. Ann.Agron. 4 (1953) 15-25.
123. WAKSMAN, S.A. Influence of microorganisms upon the carbon-nitrogen ratio in soils. J.Agric.Sci. 14 (1924) 555-562.
124. WAKSMAN, S.A. The microbiologist looks at soil organic matter. Proc.Soil Sci.Soc.Amer. 7 (1943) 16-21.
125. WAKSMAN, S.A. and E.R. PURVIS. The influence of moisture upon the rapidity of decomposition of lowmoor peat. Soil Sci. 34 (1932) 323-336.
126. WALKER, T.W. The accumulation of organic matter in grassland soils. Trans.6th Int.Congr.Soil Sci. (1956) 409-416.
127. WALKER, T.W. and A.F.R. ADAMS. Studies on soil organic matter II. Influence of increased leaching at various stages of weathering on levels of C, N, S, and organic and total P. Soil Sci. 87 (1959) 1-11.
128. WALKER, T.W., B.K. THAPA and A.F.R. ADAMS. Studies on soil organic matter III. Accumulation of carbon, nitrogen, sulfur, organic and total phosphorus in improved grassland soils. Soil Sci. 87 (1959) 135-140.
129. WINSOR, G.W. Mineralization and immobilization of nitrogen in soil. J.Sci.Food Agric. 2 (1958) 792-801.
130. WINSOR, G.W. and A.G. POLLARD. Carbon-nitrogen relationships in soils I-IV. J.Sci.Food Agric. 7 (1956) 134-149, 613-624.
131. WISSELINK, G.J. Een vijftienjarige proef met stalmest en stoppelgewassen op humeuze zandgrond te Heino. V.L.O. 66.17 (1961).
132. WITKAMP, M. en J. VAN DER DRIFT. Breakdown of forest litter in relation to environmental factors. Plant and Soil 15 (1961) 295-311.
133. ZÖTTL, H. Beziehungen zwischen Mineralstickstoff-Anhäufung und Kohlendioxyd-Produktion von Waldhumusproben im Brutversuch. Z.Pfl.Düng.Bodenk. 90 (1960) 132-138.

134. ZÖTTL, H. Dynamik der Stickstoffmineralisation im organischen Waldbodenmaterial II. Einfluss des Stickstoffgehaltes auf die Mineralstickstoff-Nachlieferung. Plant and Soil 13 (1960) 183-206. III pH-Wert und Stickstoff-Nachlieferung. ibid. 207-223.