

(Aus der Hauptabteilung Agrarforschung und Biotechnologie des Österreichischen Forschungszentrums Seibersdorf Ges. m. b. H., Leiter: Univ.-Doz. Dr. Othmar Horak, und der Bundesanstalt für Bodenwirtschaft Wien, Leiter: Hofrat Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Otto H. Danneberg)

Schonende Extraktion und chromatographische Kennzeichnung von Huminstoffen in Müll- und Müllklärschlammkomposten

Von S. A. MOHAMAD, O. H. DANNEBERG, K. SCHAFER und M. H. GERZABEK

(Mit 2 Abbildungen)

Zusammenfassung

Zur Feststellung der Bildung von Huminstoffsystemen im Zuge der Rotte von Müll- und Müllklärschlammkomposten wurden vier Kompostproben verschiedenen Alters aus den Kompostwerken Biomüll (Wien) und Traiskirchen (Niederösterreich) entnommen, die Huminstoffe daraus extrahiert und in die Stoffgruppen Fulvosäuren und Braunhuminsäuren fraktioniert. Extrakte, Fulvosäuren und Braunhuminsäuren wurden chromatographisch an porenkontrolliertem Glas mit einem Porendurchmesser von 17,0 nm untersucht. In den Chromatogrammen wurden die Farbstoffverteilung durch Messung der Extinktion bei 400 nm und die Kohlenstoffverteilung verfolgt und der Verlauf der auf Kohlenstoff bezogenen spezifischen Extinktion berechnet. Die Maxima dieser spezifischen Extinktionen wurden als Stoffkonstanten von „Reinhuminstoffen“ bestimmt und zur Berechnung der Kohlenstoffverteilung der „Reinhuminstoffe“ verwendet. Die Kohlenstoffverteilung der begleitenden Nichthuminstoffe ergab sich als Differenz.

Die spezifischen Extinktionen von „reinen Fulvosäuren“ lagen zwischen 30 und 75, die von „reinen Braunhuminsäuren“ zwischen 80 und 280.

Jüngere Komposte ergaben ein niedrigeres Verhältnis von „Rein-Braunhuminsäuren“ : „Rein-Fulvosäuren“. Im Verlauf der Nachrotte wurde zunächst eine Polymerisation der Huminstoffe festgestellt, der jedoch eine Abbauphase mit Huminstoffdepolymerisation folgte.

Schlüsselworte: Chromatographie, Huminstoffe, Müllkompost, Müllklärschlammkompost.

Characterization of humic substances from town refuse and refuse-sewage sludge composts

Summary

Four samples of different age from the compost plants "Biomüll" (Vienna) and "Traiskirchen" (Lower Austria) were collected for characterization of humic sub-

stances. Humic substances were extracted from compost samples and fractionated into fulvic acid (FA) and brown humic acid (BHA). FA and BHA-extracts were investigated by exclusion chromatography on controlled pore glass (CPG) of 17 nm pore diameter. Elution was followed by on line measurements of extinction at 400 nm and of organic C distribution, specific extinctions were calculated as a measure of purity of humic substances. Maxima of specific extinctions were used for calculation of the organic C distribution of pure humic substances in the chromatograms. Differences to the measured organic C distribution were attributed to the accompanying non-humic substances.

Maximal specific extinctions were between 30–75 for “pure fulvic acids” and 80–280 for “pure brown humic acids”.

Fresh compost showed a low BHA:FA-ratio. Polymerization of humic substances during ripening of the compost and thereafter depolymerization of the humic substances was observed.

Key-words: chromatography, humic substances, refuse-sewage sludge compost, town refuse compost.

1. Einleitung

Die Zusammensetzung der organischen Substanz von Komposten bestimmt — neben der Schadstofffracht — die Qualität von Komposten. Ihre Kenntnis ist nicht zuletzt für die Prozeßführung in der Kompostierung wichtig (GERZABEK 1991, GERZABEK et al. 1992). Die zur Beurteilung von Qualität und Prozeßfortschritt wichtigste Komponente der organischen Substanz ist die der Huminstoffe.

Lösliche und unlösliche Huminstoffe sind in den Substraten ihres Vorkommens immer mit Nichthuminstoffen vergesellschaftet. Eine selektive Extraktion löslicher Huminstoffe gelingt nicht (DUBACH und MEHTA 1963, BREMNER 1965, DANNEBERG 1973), sodaß Huminstoffextrakte stets auch wechselnde Mengen von Nichthuminstoffen enthalten. Aus dieser Tatsache ergibt sich die Forderung, Huminstoffe von den sie begleitenden Nichthuminstoffen zu trennen bzw. zu unterscheiden. Auf diese Notwendigkeit wurde besonders von DUBACH und MEHTA (1963) hingewiesen. Die zur Gewinnung von Huminstoffen notwendigen Extraktionen verursachen häufig eine Folge tiefgreifender und keinesfalls immer in Einzelheiten bekannter Vorgänge und Veränderungen. Da Huminstoffe keine isolierten Bestandteile eines Gemenges darstellen, sondern auf vielerlei Art mit Substanzen ihrer Umwelt verbunden sind, kann eine unsachgemäße Gewinnung nachhaltige Veränderungen hervorrufen (ZIECHMANN 1980). In der vorliegenden Arbeit wird über die Anwendung einer schonenden Extraktion mittels eines chelatisierenden Harzes und einer nachfolgenden chromatographischen Charakterisierung an einem Müll- und Müllklärschlammkompost berichtet.

2. Material und Methoden

2.1 Komposte

Folgende Komposte wurden für die Untersuchungen verwendet:

- Müllkompost des Werkes Biomull / Beginn Nachrotte, Jungkompost, 10 mm (K1)
- Müllkompost des Werkes Biomull / Ende Nachrotte, 1 Woche gelagert, 10 mm (K2)

- Müllkompost des Werkes Biomüll / Reifkompost, nach fünfmonatiger Lagerung, 10 mm (K3)
- Müllklärschlammkompost des Werkes Traiskirchen / Reifkompost, nach sechsmonatiger Lagerung (K4)

2.2 Extraktionsverfahren

Aus den luftgetrockneten Komposten wurden die Huminstoffe durch viermalig aufeinanderfolgende Extraktion mit einem komplexbildenden Ionentauscher (Chelex 100, Fa. BioRad, USA) und Wasser gewonnen (DANNEBERG 1973, DANNEBERG und SCHAFFER 1974). Das Verhältnis von Kompost : Harz : Wasser betrug 10 g : 25 g : 50 ml. Die Extraktionen wurden in 250 ml fassenden Zentrifugenbechern aus Plastik durchgeführt. Nach der Zentrifugation (30 min bei 12 000 U/min in einer Sorvallzentrifuge Type RC5-B) wurden die überstehenden Extrakte in 50-ml-Röhrchen dekantiert und ein zweites Mal bei 15 000 U/min zentrifugiert. Der dabei verbliebene Rückstand wurde in das ursprüngliche Schüttelgefäß zurückgebracht. Dann wurden neuerlich 50 ml Wasser zugesetzt. Durch Schütteln über die Nacht entstand ein zweiter Extrakt. Der Vorgang wurde fortgesetzt, bis vier Extrakte aus jeder Kompostprobe gewonnen waren. Die vereinigten Extrakte wurden sofort nach der Gewinnung tiefgefroren und anschließend gefriergetrocknet. Die gefriergetrockneten Extrakte waren vollständig wasserlöslich und im Tiefkühlfach über längere Zeit haltbar.

Die angewandte Extraktionsmethode erlaubt, wie auch andere Extraktionen, nur die Gewinnung eines Teilhuminstoffsystems. Die Ausbeute schwankt in einem weiten Bereich. Die aus der Untersuchung des extrahierbaren Anteils abgeleiteten Schlüsse sind tatsächlich im strengen Sinn nur für diesen extrahierbaren Anteil gültig. Da der nicht extrahierbare Teil des Huminstoffsystems jedoch einer näheren Untersuchung überhaupt nicht zugänglich ist, bleibt kaum ein anderer Weg, als vom löslichen Anteil auf den unlöslichen zu schließen.

2.3 Die Herstellung von Huminstoffpräparaten für die Chromatographie

Gefriergetrocknete Extrakte wurden in destilliertem Wasser zu 100 ml gelöst. Zur Herstellung von Fulvosäure-(FS-)Präparaten wurden 10-ml-Aliquote der Extrakte mit HCl auf pH=1 angesäuert. Nach Abtrennen der Huminsäuren durch Zentrifugation (10 min bei 5000 U/min) wurde der Überstand dekantiert, der Rückstand mit einem kleinen Volumen 0,1 N HCl gewaschen und die Waschflüssigkeit mit dem ersten Überstand vereinigt. Die gelbe, salzsaure Lösung der FS wurde tiefgefroren und gefriergetrocknet.

Zur Gewinnung von Brahuminsäure-(BHS-)Präparaten wurden 10-ml-Aliquote der Extrakte mit dem gleichen Volumen 24%iger NaCl-Lösung versetzt und die Grauhuminsäure (GHS) durch Zentrifugation bei 17 000 U/min abgetrennt (FLAIG 1966). Der Überstand, die Summe FS+BHS, wurde mit HCl auf pH=1 eingestellt. Die so gefällten BHS wurden abzentrifugiert und mehrmals mit 0,1 N HCl gewaschen, um den Überschuß an NaCl zu entfernen. Schließlich wurden die BHS durch Schütteln mit etwas Wasser und einer Spatelspitze Chelex 100 in Lösung gebracht, vom Harz abfiltriert, tiefgefroren und gefriergetrocknet.

2.4 Chromatographie

Zur Chromatographie benützten wir eine Glassäule mit 18 mm Durchmesser und 1000 mm Länge. Sie war entsprechend der mitgelieferten Füllvorschrift und unter Verwendung eines Rüttelgerätes mit porenkontrolliertem Glas (CPG, Fa.

Elektro-Nucleonics, USA; bezogen durch Serva, Heidelberg) einer Körnung von 120 bis 200 mesh gefüllt. Der Porendurchmesser der verwendeten CPG-Charge betrug 17,0 nm. Nach Füllung wurde die Säule mit Elutionslösung, die im Liter 0,02 Mol $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ und 0,05 Mol NaCl enthielt, ins Gleichgewicht gebracht. Zur Chromatographie wurden gefriergetrocknete Präparate von FS und BHS in 10 ml der Elutionslösung gelöst. 3 ml davon wurden mit einer Präzisionspritze auf die Säule aufgetragen und mit Hilfe eines Durchflußphotometers die Extinktion bei 400 nm und mit einem Total Carbon Monitor (TCM 400/P, Carlo Erba, Italien) die Kohlenstoffkonzentration in mg C/l gemessen (DANNEBERG 1979, DANNEBERG und ULLAH 1982). Zusätzlich wurden 3-ml-Aliquote der Extrakte chromatographisch untersucht.

Von allen Präparaten wurden zwei parallele Chromatogramme aufgenommen, aus denen, bei entsprechender Übereinstimmung, eine Mittelwertskurve errechnet wurde. Die GHS wurden als Differenz (Extrakt-BHS-FS) ermittelt.

Die relative Molekülgröße der eluierten Stoffe wurde mittels eines Verteilungskoeffizienten (K_d) beschrieben:

$$K_d = \frac{V_e - V_o}{V_t - V_o}$$

V_e ... Elutionsvolumen
 V_t ... Salzvolumen
 V_o ... Ausschlußvolumen

3. Ergebnisse

Abbildung 1 gibt als Beispiel das Chromatogramm eines Braunhuminsäurepräparates der Kompostprobe K2 wieder. Sowohl die Farbstoffverteilung als auch die C_{org} -Verteilung zeigen zwei Maxima, eines im hochmolekularen (K_d 0) und eines im niedermolekularen (K_d 0,5) Bereich des Chromatogramms. Allerdings ist die Kohlenstoffkurve mit der Farbstoffkurve nicht deckungsgleich, was auf die mitextrahierten, ungefärbten Nichthuminstoffe zurückgeführt werden kann. Berechnet man spezifische Extinktionen ($E_{1\%}^{1\text{cm}}$) so zeigt sich, daß diese nicht konstant sind, sondern ebenfalls Maxima und Minima im Chromatogrammverlauf aufweisen. Das Maximum der spezifischen Extinktion zeigt jenen Punkt an, an dem die Huminstofffraktion mit dem höchsten Reinheitsgrad vorliegt (Tab. 1). Dabei wird vorausgesetzt, daß die spezifische Extinktion im Verlauf des Chromatogramms konstant ist (DANNEBERG und ULLAH 1982). Typischerweise sind die GHS bei einem K_d -Wert von ca. 0,0, die BHS bei K_d -Werten von 0,46 bis 0,50 und die Fulvosäuren bei Werten von über 0,60 mit den geringsten Mengen begleitender Nichthuminstoffe verunreinigt.

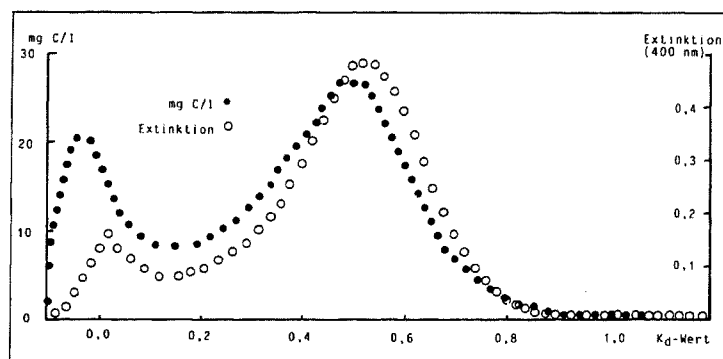


Abb. 1: Chromatogramm eines Braunhuminsäurepräparates (BHS); Kompost Biomull, Ende der Nachrotte (K2).

Tabelle 1

Maxima von $E_{1\text{cm}}^{1\%C}$ in den Chromatogrammen, spezifische Extinktion von „Reinhuminstoffen“

Fraktion	Probe	K_d max	Wert
FS	K1: Beginn Nachrotte, Biomull	0,62	50,00
	K2: Ende Nachrotte, Biomull	0,66	60,39
	K3: Reifkompost, Biomull	0,62	52,00
	K4: Reifkompost, Traiskirchen	0,62	89,90
BHS	K1: Beginn Nachrotte, Biomull	0,50	273,6
	K2: Ende Nachrotte, Biomull	0,50	245,1
	K3: Reifkompost, Biomull	0,46	276,7
	K4: Reifkompost, Traiskirchen	0,50	224,8
GHS	K1: Beginn Nachrotte, Biomull	-0,015	245
	K2: Ende Nachrotte, Biomull	-0,015	229
	K3: Reifkompost, Biomull	-0,015	444
	K4: Reifkompost, Traiskirchen	0,02	103,6

Berechnet man mit Hilfe des maximalen spezifischen Extinktionskoeffizienten einer Huminstofffraktion eine weitere Kohlenstoffkurve, kann durch Differenzbildung der Verlauf der Nichthuminstoffverteilung ermittelt werden (Abb. 2). Dabei können sich mehrere Subfraktionen ergeben. Die quantitative Auswertung aller Komposte durch Integration ist in Tabelle 2 zusammengefaßt.

Tabelle 2

Ergebnisse der Huminstoffcharakterisierung der untersuchten Komposte und Vergleich mit früheren Resultaten

	Beginn Nach- rotte	Ende Nach- rotte	Reif- komp.	Reif- komp.	Reif- komp.	Reif- komp.	Anaerobe Mieten- teile	Aerob unfer- tig	Schwarz- erde, Humus DANNE- BERG und ULLAH 1982
	Bio- mull	Bio- mull	Bio- mull	Trais- kirchen	DANNE- BERG et al. 1983	1984	DANNEBERG und SCHAEFFER 1984	1984	
mg C/g Kompost	K1	K2	K3	K4	MK	MKK	MKK	MKK	Boden
extrahierbar	6,46	11,82	11,72	14,51	—	15,2	15,2	20,8	—
Karbonat-C	1,90	4,54	4,83	4,15	—	5,3	5,1	9,1	—
Organischer-C	7,27	7,65	8,86	7,81	9,76	9,9	10,3	11,7	—
Rein FS	1,70	1,02	1,83	2,07	1,31	1,3	1,9	3,0	0,56
NHSt in FS	0,89	0,74	0,73	0,99	1,09	1,2	1,8	1,9	0,57
Rein BHS	1,70	1,98	2,51	1,18	3,77	4,0	2,7	5,0	0,50
NHSt in BHS	1,18	1,50	1,36	1,19	2,07	1,5	2,9	1,2	0,30
Rein GHS	0,50	1,55	0,54	1,02	0,58	—	—	—	1,17
NHSt in GHS	0,52	4,98	4,73	8,03	1,44	—	—	—	0,40
Rein BHS: Rein									
FS	1,00	1,94	1,37	0,57	2,87	3,1	1,4	1,7	0,89
HSt	3,90	4,55	4,88	4,27	5,66	5,3	4,6	8,0	2,23
NHSt	2,59	7,22	6,82	9,55	3,60	2,7	—	—	1,27
HSt: NHSt	1,50	0,63	0,72	0,45	1,57	—	—	—	1,75
Rein HS: Rein									
FS	1,29	3,46	1,66	1,06	3,32	—	—	—	2,98

HS: Huminsäuren

NHSt: Nichthuminstoffe

Bei den Komposten des Werkes Biomull konnte eine weitgehend vollständige Serie untersucht werden, die den Verlauf des Rotteprozesses gut beschreibt. Die

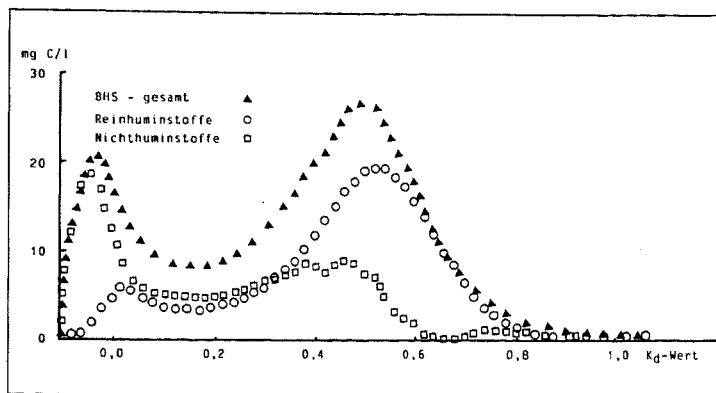


Abb. 2: Reinhuminstoffe und begleitende Nichthuminstoffe in der Braunhuminsäurefraktion des Kompostes Biomull, Ende der Nachrotte (K 2).

Reinfulvosäuren nehmen im Laufe der Nachrotte zunächst ab, dann jedoch wieder zu. Dagegen zeigen die Rein-GHS zunächst eine Zunahme, dann wieder eine Abnahme. Die Braunhuminsäuren steigen stetig an. Im Zuge der Nachrotte fand also zunächst Huminstoffbildung und Polymerisation statt; im weiteren Verlauf jedoch begann der Huminstoffabbau deutlich zu werden, was zu einer Abnahme der GHS mit einer entsprechenden Zunahme von BHS und FS führte. Dies wird auch durch die Verhältniszahlen BHS:FS und HS:FS unterstrichen.

Die Nichthuminstoffe in den FS- und BHS-Fractionen zeigen wenig Unterschiede. Einerseits unterliegen sie dem Abbau durch Mikroorganismen, andererseits werden die hier untersuchten extrahierbaren Fraktionen durch Nachlieferung aus der großen Menge an nicht extrahierbarer Substanz offenbar laufend ergänzt. In den GHS-Fractionen tritt eine deutliche Menge an Carbonat auf. Die Präsenz von Carbonaten ergibt sich aus der Extraktion und Probenvorbereitung. Nur die GHS-Fraktion wird nicht angesäuert. Carbonate, die mit den Huminstoffen extrahiert wurden, treten somit auch noch im Chromatogramm auf.

Der Reifkompost aus Traiskirchen (K4) zeigt im Gegensatz zu den Biomullkomposten beträchtlich höhere Gehalte an Rein-FS und niedrigere an Rein-BHS; dementsprechend ist das Verhältnis BHS:FS mit etwa 0,6 deutlich niedriger. Die GHS sind hier höher, möglicherweise durch eine verstärkte Bindung an anorganische Bestandteile.

4. Diskussion

Die mit der angewandten Methode extrahierbaren organischen Kohlenstoffmengen liegen bei Böden zwischen 13 und 56 % des gesamten C_{org} -Pools (GERZABEK und ULLAH 1989). In der vorliegenden Arbeit wurden etwas unter 5 % extrahiert. Dies deutet darauf hin, daß der Humifizierungsgrad der Komposte und die in bodenähnlicher Bindungsform vorliegenden C_{org} -Mengen entsprechend niedriger sind. Große Schwankungen der Ausbeute werden auch von NaOH-Extraktionen berichtet (BOYD und SOMMERS 1990).

Über chromatographische Untersuchungen von Komposten verschiedenen Alters berichteten DANNEBERG (1981) und DANNEBERG und SCHAFFER (1984). DANNEBERG et al. (1983) legten eine chromatographische Untersuchung von Reifkompost des Werkes Biomull vor, die direkt vergleichbare Resultate erbrachte. Ferner wurde von DANNEBERG und ULLAH (1982) das Huminstoffsystem eines Tschernosems untersucht. Diese Ergebnisse, welche durchwegs mit gleicher Methodik

wie der hier verwendeten erzielt wurden, ermöglichen direkte Vergleiche. Auftretende Unterschiede sind ausschließlich auf die Verschiedenheiten des untersuchten Materials zurückzuführen.

Der Vergleich erfolgt anhand von Tabelle 2. Der hier untersuchte Kompost 3, Reifkompost, Biomull (Spalte III) zeigt gegenüber dem früher untersuchten (Spalte V) höhere Mengen an Rein-FS, niedrigere Mengen an Rein-BHS und nur um wenig niedrigere Mengen an GHS. Auch die Summe der Huminstoffe ist niedriger. Dementsprechend ist der Kompost K3 auch durch niedrigere Verhältniszahlen Rein-BHS : Rein-FS und Rein-HS : Rein-FS gekennzeichnet. Die von DANNEBERG et al. (1983) untersuchte Probe stammte aus einer zum Verkauf angebotenen, verpackten Kompostcharge, deren Reifezustand unbekannt war; die Humifizierung war offenbar weiter fortgeschritten als die von Kompost 3.

Auch der von DANNEBERG und SCHAFFER (1984) untersuchte, reife Müllklärschlammkompost (Spalte VI) zeigt höhere Verhältniszahlen von Rein-BHS:Rein-FS als der Kompost 3. Er weist auch eine niedrigere Menge an Rein-FS und eine beträchtlich höhere an Rein-BHS auf.

Gegenüber dem Reifkompost Biomull, K3, zeigt der Reifkompost Traiskirchen, K4 (Spalte IV), eine noch nicht so weit fortgeschrittene Rotte durch höhere Mengen an Rein-FS und niedrigere an Rein-BHS an. Allerdings sind im Traiskirchner Kompost bereits beträchtliche Mengen an GHS vorhanden, welche jedoch nur zu zwei Dritteln hochmolekulare Huminstoffe darstellen. Das Auftreten niedermolekularer Huminstoffe, welche sich bei der Fällung mit NaCl wie GHS verhalten, konnte bereits früher gezeigt werden (DANNEBERG und SCHMIDT 1978, DANNEBERG et al. 1980). Vergleicht man das Verhältnis Rein-BHS:Rein-FS, so zeigt sich die noch nicht so weit fortgeschrittene Rotte von Kompost 4 ebenfalls deutlich. Auch bei anaeroben Verhältnissen in den Kompostmieten bilden sich nur wenig polymerisierte Huminstoffsysteme aus, wie eine von DANNEBERG und SCHAFFER (1984) untersuchte Probe eines anaeroben Kompostes zeigte. Möglicherweise ist daher die geringere Polymerisation im Reifkompost Traiskirchen auf eine teilweise anaerobe Rotte zurückzuführen.

Der hier untersuchte Jungkompost K2 aus Biomull, Ende Nachrotte (Spalte II), läßt sich mit dem früher untersuchten jüngeren Müllklärschlammkompost (Spalte VIII) gut vergleichen. Die extrahierbare Menge an organischem Kohlenstoff ist geringer, das Verhältnis Rein-BHS:Rein-FS ist jedoch nur unwesentlich verschieden. Demgegenüber zeigt der Kompost K1, Beginn Nachrotte Biomull (Spalte I) geringere Huminstoffsummen und niedrige Verhältniszahlen von Rein-BHS:Rein-FS und Rein-HS:Rein-FS, also ein noch weniger weit polymerisiertes Huminstoffsystem.

DANNEBERG (1971) untersuchte den Fortschritt der Rotte von Pflanzenmaterial. Er konnte durch Messung der Extinktion die Huminstoffe bestimmen und in OD (optischen Dichten), also in Relativzahlen angeben; die Umrechnung in Absolut-einheiten war zu dieser Zeit ebenso wenig möglich wie eine Erfassung der Nicht-huminstoffe. Er stellte fest, daß sich sowohl die Menge der Huminstoffe als auch ihre Verteilung im Huminstoffsystem auf die Stoffgruppen FS und BHS im Zuge des Fortschreitens der Kompostierung veränderten. Diese Veränderungen sind sowohl durch Aufeinanderfolge von Zyklen der Huminstoffneubildung und des Huminstoffabbaues als auch durch eine relative Huminstoffanreicherung durch den allgemeinen Abbau der organischen Substanz bedingt.

Die in der vorliegenden Arbeit erzielten Ergebnisse stimmen mit dieser Vorstellung weitgehend überein. Der Fortschritt der Rotte zeigt sich als ein Prozeß, der zunächst zu einer Erhöhung der hochmolekularen Anteile führt. Die höchste Polymerisation wird jedoch nicht bei Reifkompost, sondern etwa in der zweiten

Hälfte der Nachrottephase erreicht. In den weiteren Reifephasen kommt es häufig wieder zum teilweisen Abbau von Huminstoffen.

Die Summe an extrahierbaren Nichthuminstoffen (NHSt) ist nach Ende der Hauptrotte relativ niedrig; offenbar sind diese durch mikrobielle Verwertung während der Hauptrotte weitgehend erschöpft. Im Zuge der Nachrotte häufen sich jedoch wieder extrahierbare Nichthuminstoffe an. Bei Reifkomposten stellt sich ein Verhältnis HSt: NHSt von etwa 0,6 bis 1,9 ein, dies entspricht einem Anteil von etwa 60 % an NHSt. Der gleiche Anteil wurde von DANNEBERG (1981) in Traubentresterkomposten gefunden. In Substraten mit fortgeschrittener Humifizierung, besonders im Boden, ergeben sich dagegen Verhältniszahlen von 1,75, was einem Anteil von 30 % NHSt entspricht (SCHNITZER 1978, DANNEBERG und ULLAH 1982). Dementsprechend sollte der von DANNEBERG et al. (1983) untersuchte Reifkompost (Spalte V), welcher eine Verhältniszahl von 1,57 zeigt, das Produkt einer sehr weit fortgeschrittenen Humifizierung darstellen.

Die spezifischen Extinktionen von Rein-Huminstoffen, die im Zuge dieser Arbeit gefunden wurden, lassen sich meist mit denen früherer Arbeiten gut vergleichen. So ergaben sich für Fulvosäuren Werte zwischen 50 und 90 bei ausgereiften Komposten, Jungkomposte zeigten niedrigere Werte. Nach DANNEBERG (1982) zeigen Fulvosäuren aus Traubentresterkomposten Werte zwischen 87 und 95, Fulvosäuren aus Müllklärschlammkomposten zwischen 80 und 127, solche aus Jungkomposten von 39. An Bodenfulvosäuren wurden von DANNEBERG und ULLAH (1982) Werte von 129 bestimmt.

Für Braunhuminsäuren (BHS) ergaben sich in der vorliegenden Arbeit spezifische Extinktionen zwischen 80 und 280. Für BHS aus Traubentresterkomposten wurden Werte zwischen 122 und 180 gefunden, BHS aus Müllklärschlammkomposten ergeben spezifische Extinktionen zwischen 90 und 160, Tschernosem-Braunhuminsäuren von etwa 380.

Für Grauhuminsäuren (GHS) ergaben sich in der vorliegenden Arbeit die Werte mit den größten Schwankungen mit einem Maximum von 444. Hier sind aufgrund der Berechnung der Grauhuminsäuren als Differenz die Meßfehler sicherlich am größten. DANNEBERG et al. (1983) untersuchten den löslichen Anteil der Grauhuminsäuren aus dem Reifkompost Biomull. Sie fanden spezifische Extinktionen, welche im Mittel denen von Braunhuminsäuren desselben Kompostes entsprachen; es ergab sich ein Wert von 208. Dementsprechend sollten auch hier Werte um 200 am wahrscheinlichsten sein. Deutlich niedrigere Werte dürften auf nicht vollständig abgetrennte Nichthuminstoffe zurückzuführen sein. Offen bleiben muß jedoch vorläufig die Erklärung für den extrem hohen Wert der Grauhuminsäuren aus Kompost 3, Reifkompost Biomull. Es ist wenig wahrscheinlich, daß Kompostgrauhuminsäuren so hohe Werte ergeben wie Grauhuminsäuren aus Tschernosem; die spezifische Extinktion für Tschernosem-GHS wurde von DANNEBERG und ULLAH (1982) mit 450 angegeben. Allenfalls könnte als Erklärung für die großen Unterschiede der spezifischen Extinktionen auch die Heterogenität des Ausgangsmaterials herangezogen werden. Fest steht, daß sich Huminstoffe aus Klärschlämmen qualitativ von Bodenhuminstoffen unterscheiden (BOYD und SOMMERS 1990).

Die chromatographische Untersuchung des Huminstoffsystems der Komposte ergab somit ein im wesentlichen abgerundetes Bild der Humifizierungsvorgänge. Sie scheint eine deutliche Bereicherung der Methodik der Kompostuntersuchung darzustellen.

Vorläufig muß jedoch offen bleiben, wie weit eine derartige Charakterisierung Aussagen auf die ökologische und pflanzenbauliche Wirksamkeit von Komposten zuläßt. Dazu sind sicher noch weitere Untersuchungen nötig.

Literatur

- BOYD, S. A. and L. E. SOMMERS, 1990: Humic and fulvic acid fractions from sewage sludge and sludge-amended soils. In: MACCARTHY, P., C. E. CLAPP, R. L. MALCOLM and P. R. BLOOM: Humic substances in soil and crop sciences: selected readings. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 203–220.
- BREMNER, J. M., 1965: Organic Nitrogen in Soils. In: BARTHOLOMEW, W. V. and F. E. CLARK, eds.: Soil Nitrogen. Agronomy Nr. 10. American Society of Agronomy, Inc. Publisher, Madison.
- DANNEBERG, O. H., 1971: ^{15}N -Untersuchungen als Beitrag zur Kenntnis der Humifizierungsprozesse. Teil II: Huminstoffaufbau und Stickstoffumbau während der Rotte von Maisstroh. Die Bodenkultur 22, 264–278.
- DANNEBERG, O. H., 1973: Über die Extraktion von Huminstoffen aus Schwarzerde. Die Bodenkultur 24, 111–119.
- DANNEBERG, O. H., 1979: Automatische Messung von Kohlenstoff in wäßrigen Säuleneluat. J. Chromatography 178, 583–587.
- DANNEBERG, O. H., 1981: Eine Möglichkeit zur Trennung von Huminstoffen und Nicht-huminstoffen. Die Bodenkultur 32, 93–104.
- DANNEBERG, O. H., 1982: Die Charakterisierung der Humuseigenschaften von Komposten (Ein Methodenvorschlag). OEFZS-Bericht 4138.
- DANNEBERG, O. H. und K. SCHAFFER, 1974: Eine einfache kolorimetrische Analyse des Huminstoffsystems. Die Bodenkultur 25, 360–368.
- DANNEBERG, O. H. und J. SCHMIDT, 1978: Die Charakterisierung von Huminstoffsystemen durch Chromatographie an porenkontrolliertem Glas. Die Bodenkultur 29, 1–11.
- DANNEBERG, O. H., H. S. JENISCH und E. RICHTER, 1980: Der Humushaushalt eines alpinen Pseudogleys unter Curvuletum. MaB-Hochgebirgsprogramm Hohe Tauern, Bd. 3, 109–129.
- DANNEBERG, O. H. und S. M. ULLAH, 1982: Chromatographische Unterscheidung von Huminstoffen und Nichthuminstoffen aus Schwarzerdehumus. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 145, 526–538.
- DANNEBERG, O. H., K. SCHAFFER and S. MOHAMAD, 1983: Separation of humic and nonhumic substances extracted from a town refuse compost. Int. Symp. Humus et Planta VIII, Prag.
- DANNEBERG, O. H. und K. SCHAFFER, 1984: Kompostuntersuchungen mit chromatographischer Unterscheidung von Humin- und Nichthuminstoffen. Landw. Forsch. Kongreßband 1984, 487–497.
- DUBACH, P. and N. C. MEHTA, 1963: The chemistry of soil humic substances. Soils and Fertilizers 26, 293–300.
- FLAIG, W., 1966: Humusstoffe. In: LINSER, H., Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung. Bd. 22/1, Springer-Verlag.
- GERZABEK, M. H., 1991: Kriterien des Reifegrades von Komposten — Methoden zur Charakterisierung der organischen Substanz. OEFZS-Bericht 4584.
- GERZABEK, M. H. and S. M. ULLAH, 1989: Humic substances in soils from Bangladesh, Namibia and Canada. Int. Agrophysics 5, 197–203.
- GERZABEK, M. H., S. A. MOHAMAD, O. H. DANNEBERG und K. SCHAFFER, 1992: Schwermetalle in den Huminstoffen eines Müll- und Müllklärschlammkompostes. Die Bodenkultur 43, 21–27.
- SCHNITZER, M., 1978: Humic substances: chemistry and reactions. In: SCHNITZER, M. and S. U. KHAN, eds.: Soil organic Matter. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Oxford, New York.
- ZIECHMANN, W., 1980: Huminstoffe. Verlag Chemie, Weinheim.

(Manuskript eingelangt am 20. Jänner 1993, angenommen am 16. April 1993)

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. Dr. Safah A. MOHAMAD, Ing. Kriemhilde SCHAFFER und Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Martin H. GERZABEK, Hauptabteilung Agrarforschung und Biotechnologie, Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf Ges. m. b. H., A-2444 Seibersdorf; Hofrat Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Otto H. DANNEBERG, Bundesanstalt für Bodenkultur, Denisgasse 31–33, A-1200 Wien