

sinkt. Die wachstumsfördernden Konzentrationen hängen von verschiedenen Faktoren ab. Die chemische Konstitution ist z. B. maßgebend für die Beständigkeit der Verbindungen im Zellgeschehen, für die Löslichkeit im Zellsaft und für die Affinität zu den verschiedenen Stoffwechselsystemen. Dadurch können Verbindungen in einem breiteren Konzentrationsbereich das Wachstum fördern, wie z. B. Indolyl-3-essigsäure, andere dagegen nur in einem engeren, wie z. B. in der von uns verwendeten Modells substanz Thymohydrochinon.

Diese Grundlagenforschungen sind notwendig, um für verschiedene Probleme, denen sich die Praxis gegenübergestellt sieht, Unterlagen zu verschaffen. In Deutschland steht die Verwertung von Getreidestroh, in anderen Ländern z. B. die von Erdnußschalen, von Rückständen der Weinbereitung oder von Maisstroh an.

Eine Voraussetzung für die Umwandlung der organischen Stoffe in Humussubstanzen ist die Anwesenheit von durch die Mikroorganismen verwert-

baren Stickstoffverbindungen. Diese Tatsache, zusammen mit den Befunden der älteren Literatur und den vorgenannten über die Beeinflussung des Stoffwechsels der Pflanze durch Humusstoffe, regen dazu an, Stickstoffdüngemittel herzustellen, die einen Teil des Stickstoffs in organischer Bindung enthalten, um unangenehme Begleiterscheinungen der erforderlichen, sehr hohen Gaben ausschließlich ionogen gebundenen Stickstoffs zu vermeiden. Auch in diesem Zusammenhang sind die Untersuchungen mit den erwähnten Modellsbstanz geradezu unerlässlich.

Zusammenfassend kann man feststellen: Was früher in dem einen oder anderen Falle bei der Bearbeitung des Humus noch als Einzeluntersuchung möglich war, läßt sich heute nur dann mit Erfolg bearbeiten, wenn das Gesamtproblem gleichzeitig unter verschiedenen Gesichtspunkten und in Zusammenarbeit der verschiedenen naturwissenschaftlichen Fachrichtungen in Angriff genommen wird.

Walter Sauerlandt und Otto Graff, Institut für Humuswirtschaft

DIE STROHDECKE AUF DEM ACKERBODEN

Das Mähdruschverfahren führte zu der arbeitswirtschaftlichen Überlegung, das Stroh nicht mehr insgesamt zu bergen, sondern z. T. als Ersatz für Stallmist an Ort und Stelle liegen zu lassen. Es wird dabei stillschweigend vorausgesetzt, daß das Stroh ähnlich wie ein aus Kot, Harn und Streu aufbereiteter Dünger wirkt. Damit tauchen aber Fragen auf, die einer wissenschaftlichen Klärung bedürfen.

Das Stroh wird in der Praxis entweder eingepflügt oder als Decke aufgebracht. Die folgenden Ausführungen beziehen sich nur auf das letztere Verfahren.

Die länger liegende Strohdecke führt zu einer Rotte an Ort und Stelle unter tätiger Beteiligung der Mikroflora und Fauna des Bodens. Der von den Kleintieren mehr oder weniger unverdaute Teil der Nahrung wird mit dem gleichzeitig aufgenommenen Boden vermischt wieder ausgeschieden. Diese Losungsbällchen — eine Bezeichnung nach KUBIENA — bleiben zurück. An ihrer Form und Zusammensetzung lassen sich die beteiligten Tiergruppen erkennen.

Bild 1 zeigt derartige Losung im Innern eines Strohhalmes, wobei mineralreichere und mineralärmere Ablagerungen zu erkennen sind.

Die Strohverarbeitung auf dem Acker ist also mit einem Transport von Boden in die Strohdecke

durch Kleintiere verbunden, wobei der Boden sowohl auf dem Stroh als auch innerhalb der Halme abgelegt wird. Dabei werden beträchtliche Mengen von Boden bewegt.

Die Versuche wurden in Mulchrahmen durchgeführt (1) (Übersicht 1).

Unter Abzug des der Zersetzung der organischen Masse entsprechenden prozentualen Anstiegs der Mineralanteile wurden bis Mitte August 1,56 g, bis Mitte Oktober jedoch 17,43 g Bodenteile in das Stroh befördert. In dem ungleich höheren Wert im Oktober kommen die günstigeren Lebensbedingungen der Bodenkleintiere im Herbst zum Ausdruck. Wie aus Bild 2 abzulesen ist, führt die



Bild 1: Kotkrümel von Kleintieren innerhalb eines Weizenstrohhalmes. Dünnschliff, M 20 : 1*).

*) Die Dünnschliffe und Aufnahmen der Bilder 1, 2 und 3 sind durch Dr. ALTEMÜLLER, Institut für Bodenbearbeitung der FAL, erstellt.

Übersicht 1

Inhalt an organischer Substanz und Mineralteilen je Mulchrahmen (ca. 0,2 m²)

Datum der Untersuchungen	Organische Substanz		Mineralteile			
	g/Rahmen	Verlust		Zunahme		
		g	%		g	%
Zu Beginn: 17. 5. 57	92,14	—	—	7,35	—	—
30. 7. — 10. 8. 57	71,08	21,06	22,9	18,94	11,59	157,7
1. 10. — 22. 10. 57	59,05	33,09	35,9	34,77	27,42	373,1

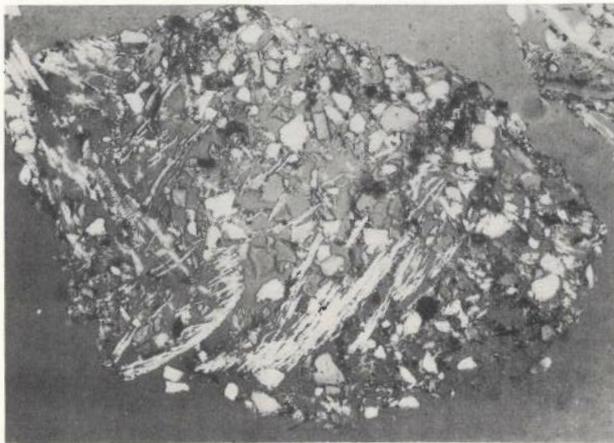


Bild 2: Ein Kotkrümel stark vergrößert. Dünnschliff, M 90 : 1.

Vererdung des Strohes zu einer umfassenden Durchmischung der organischen Masse mit mineralischen Teilen.

Es sind im polarisierten Licht die hell aufleuchtenden Quarz- und Cellulosepartikel zu erkennen. Daneben sind schwer zersetzliche, noch weitgehend intakte Elemente der Wasserleitung des Strohes, wie Tracheiden, zu erkennen. Feine, dunkelgefärbte Substanzen treten insbesondere an den Randzonen des Krümelns auf.

Durch die gleichzeitige Aufnahme an Nahrung und Boden sowie durch die mechanische Durchmischung im Darmtraktus der Kleintiere ist für eine weitgehende Verbreitung der Mikroorganismen gesorgt. Die Voraussetzungen für die schnell einsetzenden, aeroben Umsetzungen sind geschaffen.

Als Beispiel für den Stoffabbau in einem Strohabdeckungsversuch vom 2. 9. bis 27. 11. 1958 sind folgende Werte ermittelt (Übersicht 2).

Übersicht 2
Stoffabbau des Strohes

(je Mulchrahmen 135,5 g Weizenstroh [Trockenmasse])

	Vor dem Versuch		am 27. 11. 1958	
	g	g	g	Verlust %
ätherlöslich	1,40	0,67		52,1
wasserlöslich	11,67	6,00		48,6
Cellulose	81,09	45,57		43,8
Lignin	22,03	20,99		4,7

Als Stickstoffquelle wurde Schafharn verwendet. Das verrottete Stroh wies bei Beendigung des Versuches ein pH von 8,06 auf. Der Abbau der ätherlöslichen und wasserlöslichen Anteile, aber auch der Cellulose (2), ist in knapp 3 Monaten relativ flott verlaufen. Das Lignin zeigte eine weitaus geringere Abnahme (3).

Cellulose-Abbau

Die wasserlöslichen organischen Stoffe, aber auch die ätherlöslichen Anteile, werden von den im Boden in reicher Zahl vorhandenen Mikroorganismen abgebaut. Bei der direkten Zufuhr von Stroh zum Ackerboden muß dem Abbau der Cellulose und des Lignins besondere Beachtung geschenkt werden. „Noch recht rätselhaft ist“ — nach RIPPPEL — „der in der Natur so bedeutsame aerobe Abbau der Cellulose“ (4). Wie aus der Übersicht 2

ersichtlich ist, sind 44 % der Cellulose bei schwach alkalischer Reaktion aus dem Stroh-Bodengemisch unter aeroben Bedingungen zersetzt worden. Cellulosevibrionen, Cytophagen und Myxobakterien dürften an diesen Zersetzungen beteiligt gewesen sein, wobei insbesondere die beiden letzten Gruppen größere Mengen schleimartiger Stoffe (u. a. Uronsäuren) bilden. Die Cytophagen und Cellulosevibrionen benötigen zu ihrer Entfaltung eine gewisse Menge an Calcium und Eisen, die Cytophagen darüber hinaus noch Kupfer und Mangan, wie BORTRELS nachwies (5).

Der Gehalt an Ca, Fe, Mn und Cu im Stroh von Weizen und Hafer gleicher Sorten und gleicher Düngung, aber verschiedener Standorte, wurde analytisch ermittelt und folgende Werte gefunden (Übersicht 3).

Übersicht 3
Gehalt an Ca, Fe, Mn und Cu im Stroh

Strohart Sorte	Weizenstroh Carsten VI		Haferstroh Regent, Firlbeck II	
	I (Vö)	II (R)	I (Vö)	II (R)
Ca g/kg	0,78	1,86	2,29	2,00
Fe g/kg	0,24	0,52	0,16	1,20
Mn p.p.m	15,20	39,20	16,60	19,40
Cu p.p.m	18,00	2,50	19,20	2,90

Wenn der Eisengehalt des Strohes auch recht beträchtlichen Schwankungen unterliegt, so dürften die im Stroh vorhandenen Mengen aber ebenso wie der Gehalt an Calcium stets für diese Umsetzungen ausreichen. Während der Mangan-gehalt relativ geringe Streuung aufweist, ist diese bei Kupfer standortabhängig groß. Auf die bekannte Bedeutung des Kupfers für die Phenoloxidasen sei hingewiesen. Weiteren Untersuchungen muß es vorbehalten bleiben, den zur Cellulosezer- setzung erforderlichen Gehalt an Ca, Fe, Mn und Cu im Stroh, bzw. das sich für diese biologischen Um- setzungen ergebende Düngebedürfnis für einzelne Mikronährstoffe zu einem reibungslosen Cellulose- abbau zu ermitteln.

Bei längerer Lagerung ohne zusätzliche Dünger- gaben tritt im allgemeinen eine Zunahme der Azidität des Strohes ein, wie aus Übersicht 4 ent- nommen werden kann.

Übersicht 4
Reaktion des Strohes bei Lagerung auf Ackerboden
(pH [H₂O])

Strohart Standort	Roggenstroh		Weizenstroh	
	Völken- rode 1957 (L 83)	Völken- rode 1958 (L 84)	Völken- rode 1957 (L 80)	Salz- dahlum 1957 (L 80)
Januar	—	—	—	—
Februar	—	—	—	—
März	—	—	—	—
April	—	7,21	—	—
Mai	—	8,13	7,19	7,19
Juni	—	6,25	7,06	7,21
Juli	7,15	6,73	6,80	6,94
August	7,05	6,95	6,57	6,72
September	6,69	7,57	6,47	6,51
Oktober	6,09	5,75	6,16	6,60
November	—	—	—	—
Dezember	—	—	—	—

Der Versuch mit Roggenstroh (1958) zeigt im Ver- lauf der Lagerung größere Schwankungen in der Reaktion.

Durch Zusatz von organischen bzw. mineralischen Düngemitteln kann die Reaktion des Strohes beeinflusst werden (Übersicht 5).

Übersicht 5
Reaktion des Strohes mit und ohne Schafharn
(pH [H₂O])

Monat	Weizenstroh 1958			
	feucht		trocken	
	ohne N	mit N*)	ohne N	mit N
September	7,50	7,37	7,76	8,34
Oktober	7,88	7,92	7,21	8,12
November	8,11	8,17	7,40	8,65

*) in Form von Schafharn.

Während die Reaktion des Strohes bei reichlichen Niederschlägen mit und ohne Stickstoff nicht beeinflusst wurde, traten unter wesentlich trockeneren Bedingungen recht deutliche Reaktionsverschiebungen auf. Im Gegensatz zu den annähernd neutralen Reaktion fordernden bakteriellen Cellulosezersetzern sind Pilze, die organische Säuren im Verlauf des Abbaus bilden, auch bei höheren Aziditätsgraden in ihrer Entwicklung nicht gehemmt. Physiologisch saure Düngemittel (schwefelsaures Ammoniak, Superphosphat) fördern die Pilze, physiologisch alkalische hemmen sie. Das Bild 3 zeigt Pilzwachstum auf Weizenstroh, dem Superphosphat als Phosphor-Quelle zugesetzt wurde. Die Cellulose wurde, wie mikroskopisch in polarisiertem Licht erkannt werden kann, an diesen Stellen fast völlig abgebaut.

Die stärkere Entwicklung von Pilzen gegenüber cellulosezersetzenden Bakterien wird durch Witterungseinflüsse (Temperatur und Feuchtigkeit) beeinflusst. Durch Bildung organischer Säuren wurden Aziditätsgrade von pH 6 und darunter im Verlauf des milden und trockenen Winters 1958/59 erreicht, während in den wärmeren und feuchteren Herbstmonaten schwach alkalische Werte gemessen und Pilze in den Dünnschliffen dann nicht oder nur vereinzelt gefunden wurden.

Lignin-Abbau

Unter den mikrobiell so mannigfaltigen Abbauwegen des auf dem Ackerboden lagernden Strohes tritt eine Ligninzerersetzung zweifellos ein, ohne daß der Vorgang noch im einzelnen bekannt ist. Allein den Basidiomyceten wird die Fähigkeit zugeschrieben, natürliches Lignin zu zersetzen. Aus Waldböden konnte LINDBERG (6) Bodenhymenomy-

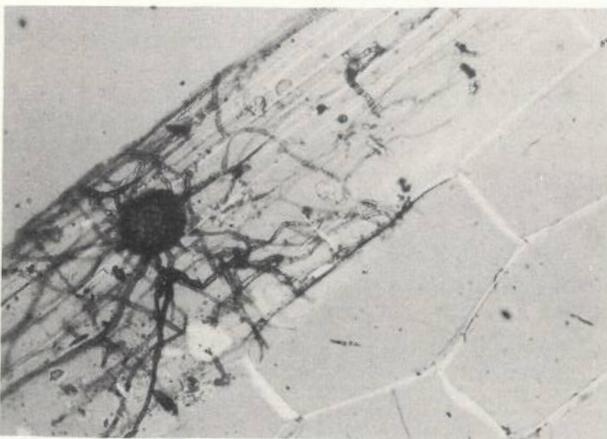


Bild 3: Pilzgewebe auf Stroh. Dünnschliff, M 420 : 1.

ceten isolieren. Jedoch sind unsere Kenntnisse über das Vorkommen dieser höheren Pilze im Ackerboden äußerst gering. Es kann daher auch nicht ohne weiteres mit enzymatischem Abbau durch Laccase, einer von Bodenhymenomyceten gebildeten Polyphenoloxydase, gerechnet werden. LINDBERG (6a) konnte zwar in Modellversuchen einen Ligninabbau mit einer Reihe von Bodenhymenomyceten erreichen, doch fehlt bisher der Nachweis, daß Basidiomyceten bei (kurzfristigen!) Strohecken auf dem Acker mitwirken. Neben dieser, bei saurer Reaktion verlaufenden Ligninzerersetzung, ist auch mit chemisch oxydativem Abbau des Lignins bei schwach alkalischer Reaktion nach Herauslösen der Cellulose zu rechnen. Die aeroben Verhältnisse der Strohecke dürften diesen Vorgang begünstigen. Sprunghafte Verringerungen des Ligningehaltes bei Reaktionen im Bereich von pH 8 bis pH 9 und ausreichender, aber nicht überreichlicher Befeuchtung machen diesen Abbauweg durchaus wahrscheinlich (Übersicht 6).

Übersicht 6
Lignin im rottenden Weizenstroh sowie Verlust an organischer Masse
Mittelwerte November 1958

			zusätzlich befeuchtet	trocken gehalten
Lignin	Bei Beginn 2. 9. 1958	%	18,70	18,70
	Mulchrahmen	g	22,03	22,03
	November 1958	%	27,13	21,38
	Mulchrahmen	g	20,43	17,26
	Verlust	g	1,60	4,77
		%	7,30	21,70
organische Masse	Verlust	%	42,27	36,47
H ₂ O-Gehalt	November 1958	%	75,90	48,80
Trockenmasse		%	24,10	51,20
Mineral- Anteil*)	November 1958 Mulchrahmen	g	13,40	8,30

*) abzüglich Ascheanteil des frischen Strohes.

Die durch verschiedene Befeuchtungsgrade erzielten Unterschiede im November 1958 seien zusammengefaßt:

Im gerotteten Stroh ist

der H₂O-Gehalt befeuchtet > trocken,
die Trockenmasse befeuchtet < trocken,
der Mineralanteil befeuchtet > trocken,
der Verlust an organischer Masse befeuchtet > trocken,
der Verlust an Lignin befeuchtet < trocken,

Neben geringerem Verlust an organischer Masse bei relativ trockener Lagerung trat demnach ein höherer Verlust an Lignin ein. Wir müssen daher zunächst mit einem höheren oxydativen Abbau des Lignins rechnen. Die enge Verknüpfung von Huminsäuren und Lignin erfordert besondere Beachtung der biologischen und chemischen Umsetzungen, die das Lignin in der lagernden Strohecke erleidet.

Kohlenstoffgehalt im Boden

Diese sind ferner auch deshalb besonders reizvoll, weil unter Strohecken, die im Dezember 1956 und 1957 auf Winterung ausgebracht wurden, nicht unerhebliche Zunahmen an organisch gebundenem Kohlenstoff ermittelt werden konnten (Übersicht 7).

Übersicht 7

Organisch gebundener Kohlenstoff in mg je 100 g Boden

Datum der Untersuchungen	ohne organische Düngung	Mistkompost	Frischmist	Stroh
9. 7. 57	1114	1111	1222	1300
26. 9. 57	1031	1057	1103	1264
1. 8. 58	1084	1175	1245	1345
13. 11. 58	1131	—	—	1273
22. 4. 59	1071	1139	1146	1238
Mittelwerte 1957/59	1086	1121	1179	1284

Organische Düngung dz/ha:

Mistkompost: 200 dz 19. 12. 56 und 3. 12. 57
 Frischmist: 125 dz 19. 12. 56 und 3. 12. 57
 Stroh: 25 dz 19. 12. 56 und 3. 12. 57

Diese Mengen waren abgestimmt auf einen Anteil von jeweils rd. 20 dz/ha organische Masse.

Selbst unter Berücksichtigung einer geringeren Zersetzung des Strohes, als bisher beobachtet, übersteigt die Zunahme an organisch gebundenem Kohlenstoff dessen Zufuhr. Das Substanzgewicht des Bodenvolumens (0-20 cm) nahm zur gleichen Zeit nur geringfügig — innerhalb der Fehlergrenzen — ab. Der Kohlenstoffgehalt des Bodens wird im Mittel durch die geringen Mistkompostmengen nicht, durch Frischmist stärker und am deutlichsten durch Stroh beeinflusst. Der aus versuchstechnischen Gründen im Verlauf von 2 Jahren zweimalige Anbau von Winterung (1956/57: Wintergerste, 1957/58: Winterroggen) beeinflusst den Kohlenstoffgehalt des Bodens nicht unerheblich durch die Wurzelmassen dieser Getreidearten. Wie FLAIG (7) und BÖRNER (8) zeigten, führen wasserlösliche Abbauprodukte des Strohes (Oxybenzoesäure, Vanillinsäure, Ferulasäure, p-Oxyzimtsäure) im Vegetationsversuch zu einer Förderung des Wurzelwachstums, jedoch nur bei den geringsten verabreichten Gaben. Ob neben dem fördernden Einfluß auch noch mit einer gewissen Hemmung der Zersetzung der Wurzelmassen gerechnet werden muß, sei noch dahingestellt.

Das Stroh wird, wie SPRINGER (10) zeigte, bei der kompostartigen Zersetzung in Humusstoffe übergeführt. In Strohkomposten konnte eine Zunahme der sorbierenden Bestandteile, d. h. eine Erweiterung des T/C-Verhältnisses, festgestellt werden (11).

Die großen Cellulosemengen, die mit dem Stroh in den Boden gelangen, geben Anlaß, an frühere Untersuchungen von BUCKSTEEG (9) über die beim aeroben Celluloseabbau mögliche Stickstoffbindung anzuknüpfen. Bei der Rotte von Bedeckungstroh haben sich in unseren Versuchen Stickstoffverluste erst nach langer Zeit bemerkbar gemacht, gelegentlich konnten anfänglich mäßige Zunahmen beobachtet werden.

Zusammenfassung

In den vorstehenden Ausführungen sind einige Fragen angeführt, die in den letzten Jahren etwas eingehender untersucht wurden. Es kann sich dabei nur um einen kleinen Ausschnitt der mit der direkten Zufuhr von Stroh zum Boden in Verbindung stehenden Probleme handeln. In der kommenden Zeit sollen die Untersuchungen des rottenden Strohes mittels des Dünnschliffverfahrens nach KUBIENA erweitert werden. Die beigefügten

Bilder zeigen, daß diese Methode einen trefflichen Einblick gewährt. Weiterhin sind eingehende bodenbiologische Untersuchungen erforderlich, insbesondere ist der Nachweis von Basidiomyceten im Ackerboden anzustreben. Damit wäre es möglich, Unterlagen über den Abbauvorgang des Lignins im rottenden Stroh beizubringen. Das Lignin sollte bei aerober Rotte unter Einbau von Stickstoff weitgehend humifiziert werden; eine schwach alkalische Reaktion dürfte für einen oxydativen Abbau besonders günstige Bedingungen bieten. Solche Untersuchungen erfordern die analytische Bearbeitung von zahlreichen Einzelproben. In Zusammenarbeit mit dem Chemischen Zentrallaboratorium der FAL werden Verfahren für Routineanalysen entwickelt, die den Nachweis der organischen Stoffe bzw. enggefaßter Stoffgruppen aufzeigen, die im Verlaufe des Abbaus von Lignin und Cellulose im rottenden Stroh gebildet und von dort in den Boden eingewaschen werden.

Da sich die bislang gewonnenen Einblicke ausschließlich auf Strohecken ohne Untersaaten beziehen, sind künftig weitere Anwendungsarten des Strohes eingehend zu studieren. Bodenart und Klima sind weitere Faktoren, denen größte Bedeutung für die Klärung des gesamten Fragegebietes beizumessen ist.

Schrifttumsnachweis

1. GRAFF, O.: Eine einfache Methode zur Beobachtung der Rotte von organischen Düngern und Mulchmaterialien. — Z. Acker- u. Pflanzenbau **104** (1957) S. 189—190.
2. ADAMS, G. A. u. A. E. CASTAGNE: Holocellulose from straws. — Canad. J. Res. Sect. B **26** (1948) S. 325—334.
3. RITTER, G. J., R. M. SEBORG u. R. L. MITCHEL: Factors affecting quantitative determination of lignin by 72% sulfuric acid method. — Ind. Eng. Chem., Analyt. Edit. **4** (1932) S. 202—204.
4. RIPPEL-BALDES, A.: Grundriß der Mikrobiologie. — 3. Aufl. S. 195, Springer-Verlag 1955.
5. BORTELS, H.: Die Bedeutung einiger Spurenelemente für Cellvibrio- und Cytophaga-Arten. — Arch. f. Mikrobiol. **25** (1956) S. 226—245.
6. LINDBERG, G.: Über die Physiologie der ligninabbauenden Bodenhyphenomyceten. — Symbolae botanicae Upsalienses **VIII** (1944) H. 2, S. 1—183.
- 6a LINDBERG, G.: Ligninabbau und Phenoloxydasebildung der Bodenhyphenomyceten. — Z. Pflanzenern., Düng. u. Bodenkd. **69** (1955) S. 142—150.
7. FLAIG, W.: Die Chemie organischer Stoffe im Boden und deren physiologische Wirkung. — Verhandlungen der II. und IV. Komm. d. Intern. Bodenkundl. Gesellsch. Hamburg, Vol. **II** (1958) S. 11—45.
8. BÖRNER, H.: Der papierchromatographische Nachweis von Ferulasäure in wäßrigen Extrakten von Getreidestroh und Getreiderückständen. — Naturwissenschaft **42** (1955) S. 583 u. Beitr. Biol. Pfl. **33** (1956) S. 33.
9. BUCKSTEEG, W.: Zur Frage der symbiontischen Beziehungen zwischen zellulosezersetzenden und stickstoffbindenden Bakterien. — Zentralbl. f. bakt. Parasitenkd. u. Infektionskrankheiten, Abt. **II** **95** (1936) S. 1—4.
10. SPRINGER, K.: Über Komposthuminsäuren aus verschiedenen pflanzlichen Ausgangsstoffen. — Z. Pflanzenern., Düng. u. Bodenkd. **69** (1955) S. 66—71.
11. SAUERLANDT, W. u. M. MARZUSCH-TRAPPMANN: Untersuchungen über Stallmist- und Strohkompost. — Z. Acker- u. Pflanzenbau **98** (1954) S. 233—251.