

47

SONDERDRUCK

aus

LANDWIRTSCHAFTLICHE FORSCHUNG

zugleich Zeitschrift des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

Herausgegeben von

H. Kück
Bonn

H.-J. Oslage
Braunschweig-Völkenrode

U. Ruge
Hamburg

F. Scheffer
Göttingen

E. Schlichting
Stuttgart-Hohenheim

L. Schmitt
Darmstadt

W. Wöhlbier
Stuttgart-Hohenheim

BAND 28 · HEFT 2

1975



J. D. SAUERLÄNDER'S VERLAG, FRANKFURT AM MAIN

LANDWIRTSCHAFTLICHE FORSCHUNG

BAND 28

Heft 2

INHALTSVERZEICHNIS

<i>H.-H. Nölle, P. van Bommel, H. Härig und P. Helmkamp</i>	Ein Verfahren zur Auswertung von Düngungsversuchen bei Zierpflanzen Method for evaluation of fertilizer trial in ornamentals	83
<i>E. Große-Brauckmann</i>	Zur Technik des Gefäßversuches: Einfluß der Schattenwirkung des Drahtkäfigs auf den Ertrag und die Phosphataufnahme von Rotklee On the technique of the pot investigation: The influence of the shadow of the wire cage on the yield and phosphate uptake of red clover	95
<i>F. Rassadi und A. Amberger</i>	Veränderung organischer Stoffgruppen im Verlaufe der Verrottung von Weizenstroh Changes in organic groupings during the decomposition of wheat straw	102
<i>F. Führ, K. H. Domsch und W. Mittelstaedt</i>	Untersuchungen mit Polyurethan-Hartschaum auf Basis von ¹⁴ C-markiertem Diphenylmethan-diisocyanat (MDI) zu Fragen der Mineralisierung und Aufnahme durch Pflanzen Investigation with polyurethane rigid foam on basis of ¹⁴ C-labelled diphenylmethane-diisocyanate (MDI) on the mineralization and uptake by plants	116
<i>H. W. Scharpenseel und H. Beckmann</i>	Schwermetalluntersuchungen an terrestrischen, hydromorphen und subhydrischen Böden aus ländlichen sowie stadt- und industrienahen Bereichen Heavy metal investigations on terrestrial, hydromorphous and subhydric soils from country and town areas near to industrial regions	128
<i>G. Bachthaler, G. Sommer und A. Stritesky</i>	Die Aufkalkung saurer Urgesteinsböden aus der Sicht des Kartoffelbaues The Ameliorative Liming of acid soils as an aspect of potato-cultivation	135
<i>H. Schüller, Th. Reichard und K. Németh</i>	Beziehungen zwischen P-Düngung, Ertrag, P-Entzug und Methoden der Bodenuntersuchung. 1. Mitteilung Relations between Phosphorus Fertilization, Yield, Phosphorus Removal and Soil Test Methods	147
<i>A. Zeller und J. Schönbrunner</i>	Ein mikroskopischer Schnelltest zur Bestimmung von Harnstoff in Mischfuttermitteln A quick microscopic test for the determination of urea in feedstuffs	158
<i>G. Crößmann und W. Egels</i>	Untersuchungen über den Cadmiumgehalt in Einzelfuttermitteln Research concerning the cadmium contents in single feedstuffs	164
BUCHBESPRECHUNG		174

Beilagenhinweis

Diesem Heft liegen Titelblatt, Inhaltsverzeichnis und Register zu Band 27 (1974) der Zeitschrift „Landwirtschaftliche Forschung“ bei.

Redaktionelle Anweisungen und Impressum siehe 3. und 4. Umschlagseite

Veränderung organischer Stoffgruppen im Verlaufe der Verrottung von Weizenstroh

(Aus der Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau München und dem Institut für Pflanzenernährung der TU München-Weihenstephan)

Von F. RASSADI und A. AMBERGER *)

Eingegangen am 25. 3. 1974

Betriebs- und arbeitswirtschaftliche Überlegungen haben häufig zu einer Verringerung bzw. Abschaffung des Viehbestandes in landwirtschaftlichen Betrieben geführt. Dadurch ebenso wie durch eine strohlose Aufstallung ist der Strohbedarf für Einstreu geringer geworden. Dagegen hat eine ständig steigende Anwendung mineralischer Düngemittel in der Landwirtschaft zu höheren Korn- und Stroherträgen geführt. Stroh wird deshalb in vielen Fällen nicht mehr zur Erzeugung von Stallmist geborgen, sondern — aus Gründen der Rationalisierung — unmittelbar als Humusdünger in den Boden eingearbeitet.

Die Wirkung einer Strohdüngung auf die Erträge der folgenden Kulturen bzw. auf die Bodenfruchtbarkeit hängt weitgehend von der Geschwindigkeit des Strohabbaus, der biologischen Festlegung bzw. Freisetzung von Stickstoff und — damit eng zusammenhängend — dem Grad der Humusbildung ab.

Unseren Modellversuchen liegt folgende Fragestellung zugrunde: Welche stofflichen Veränderungen ergeben sich während der Verrottung von Weizenstroh über einen Zeitraum von 50 Wochen unter Zusatz verschiedener Stickstoffmengen in Form von Harnstoff bzw. Kalkstickstoff.

Versuchsanstellung

Lufttrockenes Weizenstroh wurde auf 1 bis 2 cm Länge gehäckselt und in Glasgefäßen der Verrottung unterworfen. In jedes Gefäß wurden 300 g organische Substanz eingewogen und mit 0; 0,5; 1,0 bzw. 1,5 % N (bezogen auf Organische Substanz) in Form von Harnstoff (H₁, H₂, H₃) bzw. Kalkstickstoff (K₁, K₂, K₃) versetzt. Der Gefäßinhalt wurde zwecks gleichmäßiger Durchfeuchtung zunächst alle 2 bis 3 Tage, von der 10. Woche ab (zur Vermeidung von NH₃-Verlusten) nur mehr einmal wöchentlich gut durchgemischt. Von dem Rottmaterial wurden wöchentlich bis zur 5. Woche, sodann 5wöchentlich bis zur 50. Woche Proben entnommen.

Methodik

Im frischen Rottmaterial wurde der pH-Wert (in Wasseraufschwemmung) mittels Glaselektrode bestimmt. Alle übrigen Untersuchungen erfolgten im lufttrockenen Material; die Trocknung wurde bei 50 °C im Umlufttrockenschrank vorgenommen.

Die organische Substanz (OS) wurde durch Glühverlust, der Kohlenstoffgehalt (C) nach SPRINGER-KLEE (1) ermittelt. Direkt reduzierende Zucker (DRZ) wurden in sehr kleinen Mengen nach der Mikromethode von HAGEDORN-JENSEN (2) mit Ferricyanamid, in zuckerreicherem Material nach SCHOORL-LUFF (3) mit Kupfersulfat bestimmt. Die Berechnung erfolgte als Glucose. Nach Inversion reduzierende Zucker wurden nach der gleichen Methode wie die DRZ bestimmt und mit diesen zusammen als Gesamtzucker (GZ) bezeichnet. Die Berechnung erfolgte ebenfalls als Glucose. In der Tabelle 1 ist die Differenz $GZ - DRZ =$ „Di- bzw. Oligosaccharide“ (Kohlenhydratfraktion IV) angeben.

*) 805 Freising-Weihenstephan.

Zur Bestimmung der gesamthydrolysierbaren Kohlenhydrate (GHK) wurde die Substanz 3 Stunden mit 2%iger HCl hydrolysiert und die erhaltenen Zucker nach SCHOORL-LUFF ermittelt. Diese Fraktion schließt teils einfache Zucker (Mono- und Disaccharide), zum größten Teil aber solche ein, die erst durch Hydrolyse von Polysacchariden wie Stärke, Dextrinen, Pektinen sowie Uronsäuren, teilweise veränderte Cellulose u. a. freigemacht werden. In den Tabellen 1 und 7 ist die Differenz $GHK - GZ =$ „hydrolysierbare Kohlenhydrate“ (HK) angegeben.

Die Bestimmung der Pentosane erfolgte durch Hydrolyse mit 12%iger HCl, Destillation und Fällung des übergegangenen Furfurols mit Phloroglucin (4).

Der Cellulosegehalt wurde durch Hydrolyse mit 80%iger H_2SO_4 ermittelt, als Glucose berechnet und mit dem Faktor 0,9 multipliziert.

Die Bestimmung des Gesamtstickstoffs erfolgte nach KJELDAHL. Zur Bestimmung des H_2O -unlöslichen Stickstoffs wurde 1 g Substanz mit 50 ml H_2O eine halbe Stunde geschüttelt, filtriert und bis zum Verschwinden der Ammoniumreaktion ausgewaschen (5). Die Berechnung des H_2O -löslichen Stickstoffs erfolgte durch Subtraktion des H_2O -unlöslichen Stickstoffs vom Gesamtstickstoff.

Der nicht-hydrolysierbare Stickstoff wurde nach achtstündiger Hydrolyse mit 6 N HCL unter Rückfluß nach BREMNER (6) erhalten, der hydrolysierbare Stickstoff aus der Differenz von Gesamtstickstoff zu nicht-hydrolysierbarem Stickstoff errechnet. Nitratstickstoff (NO_3-N) wurde nach der Methode von BALKS und REEKERS (7) mit 1,2,4-Xylenol colorimetrisch bestimmt.

Zur Messung des Farbwertes (FW) wurde die Probe mit 5%iger Phosphorsäure 20 Min. bei ca. 60°C vorbehandelt und dann wie zur Bestimmung der Humifizierungszahl (HZ) nach SPRINGER (8) verfahren. Der Farbwert gibt die Lichtabsorption von 1 g Organischer Substanz (laugelöslcher Anteil) in 100 ml 0,2%iger NaOH bei 1 cm Schichtdicke mit Filter S 57 (ELKO) an. Multipliziert man den Farbwert mit dem Faktor 3,8 dann erhält man die Humifizierungszahl nach SPRINGER.

Die Huminsäuren (Hs) wurden nach WAGNER (9) in alkalischem Extrakt durch Säureausfällung isoliert, getrocknet (60°C), mit Alkohol-Benzolgemisch (1:1) ausgewaschen und als Glühverlust quantitativ bestimmt.

Die Huminstoffe (Hst) bzw. der Zersetzungsgrad (ZG), d. h. die Huminstoffe in Prozent der Organischen Substanz, wurden nach dem Sulfacetolyseverfahren (AcS) nach SPRINGER (10) festgestellt; das Auswaschen des Rückstandes erfolgte mit 5%iger Kaliumbisulfat-Lösung statt mit Aceton.

Die ermittelten Stoffgruppen müssen unter dem Gesichtspunkt betrachtet werden, daß es sich hier nicht um chemisch klar definierte Verbindungen handelt, denn auch die z. B. als Cellulose, Pentosane, hydrolysierbare Kohlenhydrate oder Gesamtzucker ausgewiesenen Fraktionen stellen in gewisser Hinsicht eine konventionelle Zusammenfassung unterschiedlicher chemischer Verbindungen dar, die lediglich etwa gleiches Verhalten während des Abbaues zeigen. Insbesondere scheidet auch eine genaue Definierung bzw. Trennung der verschiedenen Huminstoffe z. B. am Fehlen geeigneter Lösungsmittel und Trennungsmethoden; Huminstoffe besitzen bekanntlich auch keinen Schmelzpunkt und lassen sich nicht kristallisieren (11).

Ergebnisse

(Die umfangreichen Analyseergebnisse können nur in stark gekürzter Form wiedergegeben werden; nicht alle im Text besprochenen Zahlen sind daher in den Tabellen aufgeführt).

Zusammensetzung des Weizenstrohes

Für die biologische Zersetzung bzw. den Verlauf der Rotte von organischem Material ist dessen Zusammensetzung insbesondere der Gehalt an verschiedenen organischen Stoffgruppen von maßgeblicher Bedeutung (Tabelle 1).

Tab. 1
Zusammensetzung des Weizenstrobes
(Ausgangsmaterial, % i. d. TS)

Gesamt-N	0,49
nicht hydrolysierbarer N	0,13
H ₂ O-unlöslicher N	0,33
Gesamt-C	52,60
C/N-Verhältnis	107
<i>Kohlenhydratfraktionen</i>	
I. in 80 %iger H ₂ SO ₄ hydrolysierbare Kohlenhydrate (Cellulose)	43,50
II. in 12 %iger HCL hydrolysierbare und als Furfural bestimmte Kohlenhydrate (Pentosane)	28,48
III. in 2 %iger HCL hydrolysierbare Kohlenhydrate (HK)	26,90
IV. nach Säureinversion reduzierende Zucker (Di- bzw. Oligosaccharide)	0,50
V. direkt reduzierende Zucker (DRZ)	1,30
<i>Mineralstoffe</i>	
Asche	4,70
P	0,13
K	0,42
Ca	0,26
Mg	0,09

Das Ausgangsmaterial hat einen Gesamtstickstoffgehalt von 0,49 % und ein C/N-Verhältnis von 107; ferner wurden 43,5 % Cellulose, 28,5 % Pentosane, 26,9 % hydrolysierbare Kohlenhydrate und 1,8 % Gesamtzucker ermittelt.

Veränderung der Reaktion und des C/N-Verhältnisses während der Rotte

Als Folge einer rasch einsetzenden mikrobiellen Tätigkeit stiegen die pH-Werte in der 0-Variante innerhalb der 1. Woche von 6,7 im Ausgangsmaterial auf 8,5 an (Tabelle 2).

Tab. 2
pH-Werte (H₂O-Aufschwemmung) im Rottematerial

Rottezeit (Wochen)	Harnstoff					Kalkstickstoff		
	0	H ₁	H ₂	H ₃	K ₁	K ₂	K ₃	
0	6,7	—	—	—	—	—	—	
2	7,3	7,7	9,0	9,1	7,7	8,0	8,3	
5	7,3	7,1	8,3	8,9	7,8	7,9	8,0	
10	7,2	7,0	8,2	8,3	8,2	8,4	8,2	
20	6,7	6,5	7,8	8,3	8,2	8,3	8,1	
50	6,6	5,6	7,0	6,9	8,4	8,4	8,5	

Unter dem Einfluß von NH₃-entwickelnden Düngesalzen war die Reaktion teilweise noch höher, durch Harnstoff zunächst mehr als durch Kalkstickstoff. Dagegen hält in den K-Gruppen die NH₃-Anlieferung und damit die pH-Erhöhung über eine längere Zeit hinweg an. Die alkalisierende Wirkung des Kalkes im Kalkstickstoff ist offenbar von untergeordneter Bedeutung da zwischen K₁ und K₃ keine nennenswerten Unterschiede in der Reaktion bestehen. Wohl aber wirkt sich eine über kurze Zeit hinweg höhere Ammoniakentwicklung in den H₂- bzw. H₃-Gruppen auf den pH-Wert aus. In der 0-Variante ist nach zwischenzeitlichem Anstieg die Reaktion zu Versuchsende praktisch wieder auf dem Ausgangspunkt angelangt.

Das sehr weite *C/N-Verhältnis* (Tabelle 3) des Weizenstrohes (107) veränderte sich ohne Stickstoffzusatz anfangs nur langsam und erreichte nach 50 Wochen schließlich 52. Durch Zugabe von Harnstoff, teilweise auch durch Kalkstickstoff erweiterte sich das *C/N-Verhältnis* nach einer Woche Rotte vorübergehend sehr stark, bedingt durch größere NH_3 -Verluste als Folge einer raschen Harnstoffspaltung. In den Versuchsgruppen mit Kalkstickstoffzusatz waren diese Verluste infolge langsamerer NH_3 -Freisetzung wesentlich geringer.

Tab. 3
C/N-Verhältnis im Rottematerial

Rottezeit (Wochen)	Harnstoff						Kalkstickstoff	
	0	H ₁	H ₂	H ₃	K ₁	K ₂	K ₃	
0	107	48	31	23	48	31	23	
2	101	48	52	70	52	34	33	
5	93	40	36	42	40	29	25	
10	90	34	29	28	40	24	19	
20	73	27	22	25	30	18	15	
50	52	19	16	15	18	13	11	

Das engste *C/N-Verhältnis* erzielte schließlich das Rottematerial der K₃-Gruppe (*C/N* = 11); dieser Wert entspricht etwa der Organischen Substanz in Böden des gemäßigten Klimas (REMEZOW, 12). Damit ist der Punkt erreicht, wo der mikrobielle Abbau des Strohs praktisch zum Stillstand kommt (GROH, 13).

Abbau der organischen Stoffgruppen

Die Zersetzung verlief in der Kontrollgruppe infolge Mangels an Stickstoff (*C/N* = 107) langsam; nach 50 Wochen waren noch 59 % der Ausgangsmenge vorhanden (Tabelle 4); durch Zugabe von 0,5 bzw. 1 % N als Harnstoff wurde der Abbau in den ersten Wochen merklich beschleunigt, während in H₃ bzw. in allen Kalkstickstoff-Gruppen anfangs eine gewisse Hemmung festzustellen war, offenbar bedingt teils durch sehr starke NH_3 -Entwicklung teils durch die Gegenwart von freiem Cyanamid. Ähnliche Beobachtungen haben wir in Modellversuchen mit Maisstroh nach Zusatz hoher Gaben von Kalkstickstoff gemacht (14). In Freilandversuchen fanden SPRINGER, KLEE und WAGNER (5) den stärksten Schwund von Weizenstroh, wenn Kalkstickstoff, SPRINGER und SEISCHAB (15), wenn höhere Gaben Harnstoff zugegeben wurden. Der Abbau verlief in den verschiedenen Rotteabschnitten (Tabelle 4) je nach Höhe und Form der Stickstoffgabe unterschiedlich schnell.

Tab. 4
Abbau der Organischen Substanz von Weizenstroh
(in g/Gefäß bzw. % der Ausgangsmenge)

Rottezeit (Wochen)	0		H ₁		Harnstoff H ₂		H ₃		K ₁		Kalkstickstoff K ₂		K ₃	
	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%
0	300	100	300	100	300	100	300	100	300	100	300	100	300	100
2	278	93	246	82	267	89	281	94	272	91	281	94	293	98
5	253	84	213	71	214	71	234	78	245	82	228	76	233	78
10	240	80	176	59	178	59	178	59	202	67	193	64	190	63
20	205	68	139	46	139	46	140	47	162	54	137	46	152	51
50	177	59	106	35	103	34	85	28	90	30	91	30	90	30

Am Ende des Versuches wurde in allen Versuchsgruppen mit Stickstoff ein ähnlich großer organischer Rückstand (ca. 30 % der Ausgangsmenge) festgestellt.

Der Abbau der Cellulose verlief in der 0-Gruppe sehr viel langsamer als in den Gruppen mit Stickstoffzusatz (Tabelle 5). Nach anfänglicher Hemmung ging die Cellulosezersetzung in H₃ sowie in den K-Gruppen ziemlich gleichmäßig vonstatten. Bis zur 10. Woche wurden in H₁ bzw. K₂ am meisten Cellulose umgesetzt; nach 50 Wochen waren in den Harnstoffgruppen 9 bis 12 %, in den Kalkstickstoffvarianten nur mehr 5 bis 9 % vorhanden.

Tab. 5
Abbau der Cellulose in Weizenstroh
(in g/Gefäß bzw. % der Ausgangsmenge)

Rottezeit (Wochen)	0		H ₁		Harnstoff H ₂		H ₃		K ₁		Kalkstickstoff K ₂		K ₃	
	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%
0	129	100	129	100	129	100	129	100	129	100	129	100	129	100
2	121	94	89	69	105	81	118	91	110	85	117	91	125	97
5	97	75	74	57	77	60	91	71	98	76	81	63	85	66
10	98	76	53	41	61	47	61	47	70	54	55	43	61	47
20	78	60	34	26	35	27	41	27	44	34	34	26	40	31
50	41	32	15	12	16	12	11	9	11	9	9	7	7	5

Der Pentosengehalt des Ausgangsmaterials betrug 28,48 % in der TS, entsprechend 90 g/Versuchsgefäß. Obwohl diese Stoffgruppe (Xylane, Galaktane usw.) oftmals als schwer zersetzlich beschrieben wird, konnten wir einen ziemlich raschen Abbau feststellen (Tabelle 6).

Tab. 6
Abbau der Pentosane in Weizenstroh
(in g/Gefäß bzw. % der Ausgangsmenge)

Rottezeit (Wochen)	0		H ₁		Harnstoff H ₂		H ₃		K ₁		Kalkstickstoff K ₂		K ₃	
	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%
0	90	100	90	100	—	—	90	100	90	100	—	—	90	100
2	82	91	69	77	—	—	81	90	78	87	—	—	86	96
5	76	84	58	64	—	—	64	71	65	72	—	—	56	62
10	26	29	21	23	—	—	21	23	17	19	—	—	14	16
20	24	27	18	20	—	—	19	21	20	22	—	—	14	16
50	20	22	13	14	—	—	10	11	9	10	—	—	5	6

In den Gliedern mit Stickstoffzusatz wurden innerhalb von 50 Wochen 86 bis 94 % der ursprünglich vorhandenen Pentosane umgesetzt. In den Kalkstickstoffgruppen sowie in H₃ verlief die Zersetzung in den ersten 3 Wochen aus den erwähnten Gründen langsamer, ging später aber umso rascher vor sich. Der Abbau der Pentosane ist demnach deutlich stickstoffabhängig. Am Ende der Rotte waren noch 6 % (K₃) bis 14 % (H₁), in der 0-Gruppe aber noch 22 % der Pentosane vorhanden.

Die hydrolysierbaren Kohlenhydrate (HK) stellen keine einheitliche Stoffgruppe dar; sie bestehen zum größten Teil aus Fruktosanen und Pentosanen, daneben aus Stärke, Pektinen, Uronsäuren und dergl. In unserem Versuch wurden — abgesehen von den 0-Gruppen — rund 20 bis 30 % bereits in den ersten 3 Wochen abgebaut (Tabelle 7).

Das sehr weite *C/N-Verhältnis* (Tabelle 3) des Weizenstrohes (107) veränderte sich ohne Stickstoffzusatz anfangs nur langsam und erreichte nach 50 Wochen schließlich 52. Durch Zugabe von Harnstoff, teilweise auch durch Kalkstickstoff erweiterte sich das *C/N-Verhältnis* nach einer Woche Rotte vorübergehend sehr stark, bedingt durch größere NH_3 -Verluste als Folge einer raschen Harnstoffspaltung. In den Versuchsgruppen mit Kalkstickstoffzusatz waren diese Verluste infolge langsamerer NH_3 -Freisetzung wesentlich geringer.

Tab. 3
C/N-Verhältnis im Rottematerial

Rottezeit (Wochen)	Harnstoff						Kalkstickstoff	
	0	H ₁	H ₂	H ₃	K ₁	K ₂	K ₃	
0	107	48	31	23	48	31	23	
2	101	48	52	70	52	34	33	
5	93	40	36	42	40	29	25	
10	90	34	29	28	40	24	19	
20	73	27	22	25	30	18	15	
50	52	19	16	15	18	13	11	

Das engste *C/N-Verhältnis* erzielte schließlich das Rottematerial der K₃-Gruppe (*C/N* = 11); dieser Wert entspricht etwa der Organischen Substanz in Böden des gemäßigten Klimas (REMEZOW, 12). Damit ist der Punkt erreicht, wo der mikrobielle Abbau des Strohs praktisch zum Stillstand kommt (GROH, 13).

Abbau der organischen Stoffgruppen

Die Zersetzung verlief in der Kontrollgruppe infolge Mangels an Stickstoff (*C/N* = 107) langsam; nach 50 Wochen waren noch 59 % der Ausgangsmenge vorhanden (Tabelle 4); durch Zugabe von 0,5 bzw. 1 % N als Harnstoff wurde der Abbau in den ersten Wochen merklich beschleunigt, während in H₃ bzw. in allen Kalkstickstoff-Gruppen anfangs eine gewisse Hemmung festzustellen war, offenbar bedingt teils durch sehr starke NH_3 -Entwicklung teils durch die Gegenwart von freiem Cyanamid. Ähnliche Beobachtungen haben wir in Modellversuchen mit Maisstroh nach Zusatz hoher Gaben von Kalkstickstoff gemacht (14). In Freilandversuchen fanden SPRINGER, KLEE und WAGNER (5) den stärksten Schwund von Weizenstroh, wenn Kalkstickstoff, SPRINGER und SEISCHAB (15), wenn höhere Gaben Harnstoff zugegeben wurden. Der Abbau verlief in den verschiedenen Rotteabschnitten (Tabelle 4) je nach Höhe und Form der Stickstoffgabe unterschiedlich schnell.

Tab. 4
Abbau der Organischen Substanz von Weizenstroh
(in g/Gefäß bzw. % der Ausgangsmenge)

Rottezeit (Wochen)	0		H ₁		Harnstoff				K ₁		Kalkstickstoff		K ₃	
	g	%	g	%	H ₂	H ₃	H ₃	H ₃	g	%	K ₂	K ₂	g	%
0	300	100	300	100	300	100	300	100	300	100	300	100	300	100
2	278	93	246	82	267	89	281	94	272	91	281	94	293	98
5	253	84	213	71	214	71	234	78	245	82	228	76	233	78
10	240	80	176	59	178	59	178	59	202	67	193	64	190	63
20	205	68	139	46	139	46	140	47	162	54	137	46	152	51
50	177	59	106	35	103	34	85	28	90	30	91	30	90	30

Tab. 7
Abbau der hydrolysierbaren Kohlenhydrate in Weizenstroh
 (in g/Gefäß bzw. % der Ausgangsmenge)

Rottezeit (Wochen)	0		H ₁		Harnstoff				Kalkstickstoff					
	g	%	g	%	H ₂		H ₃		K ₁		K ₂		K ₃	
					g	%	g	%	g	%	g	%	g	%
0	85	100	85	100	85	100	85	100	85	100	85	100	85	100
2	70	82	61	72	66	78	74	87	69	81	70	82	74	87
5	66	78	49	58	54	64	58	68	63	74	55	65	55	65
10	62	73	43	51	41	48	43	51	51	60	44	52	42	49
20	51	60	31	36	30	35	30	35	36	42	27	32	26	31
50	41	48	19	22	18	21	30	35	14	16	12	14	13	15

Die Unterschiede zwischen den Stickstoffvarianten sind relativ gering; offenbar kann der Stickstoffbedarf der Mikroorganismen in allen Fällen gedeckt werden. Die Rotte verlief bis zum Ende der 10. Woche ziemlich intensiv, d. h. es wurde in dieser Zeit die Hälfte der hydrolysierbaren Kohlenhydrate abgebaut. In den Versuchsgliedern mit Kalkstickstoff — besonders in K₁ — ging der Abbau der HK-Fraktion zunächst langsamer, später aber schneller als in den Harnstoffgruppen vor sich. Gegen Ende des Versuches waren in der 0-Gruppe noch 48 % der Ausgangsmenge übrig; dagegen hat sich ein verhältnismäßig intensiver Abbau in den Kalkstickstoffgruppen, nämlich bis auf 14 bis 16 % der Ausgangsmenge vollzogen gegenüber 21 bis 35 % Rest in den H-Gruppen.

Tab. 8
Abbau der Gesamtzucker in Weizenstroh
 (in g/Gefäß bzw. % der Ausgangsmenge)

Rottezeit (Wochen)	0		H ₁		Harnstoff				Kalkstickstoff					
	g	%	g	%	H ₂		H ₃		K ₁		K ₂		K ₃	
					g	%	g	%	g	%	g	%	g	%
0	5,1	100	5,1	100	5,1	100	5,1	100	5,1	100	5,1	100	5,1	100
1	2,3	45	2,9	57	3,1	60	3,1	45	3,2	60	3,8	80	4,2	80
2	2,3	45	2,7	53	2,9	57	2,2	43	2,3	45	3,2	60	3,4	66
3	1,5	29	1,3	26	1,9	37	2,1	41	2,2	43	2,2	43	2,4	47
4	0,0	—	0,62	12	0,63	12	0,67	13	0,70	14	1,4	27	1,5	29
5	0,0	—	0,0	—	0,0	—	0,0	—	0,0	—	0,7	12	0,7	13

Die im Ausgangsmaterial vorhandene geringe Menge an Gesamtzuckern von 5,1 g je Gefäß wurde sehr rasch abgebaut (Tabelle 8). In fast allen Versuchsgliedern waren spätestens nach 5 Wochen Rottezeit keine Zucker mehr nachzuweisen; in den mit Kalkstickstoff versehenen Gefäßen ging der Abbau etwas langsamer vor sich.

Vergleich des Abbaues der Kohlenhydratfraktionen im Weizenstroh

Vergleicht man den Abbau von Zellulose, Pentosanen, HK und GZ in der 0- und H₁-Gruppe zu verschiedenen Rottestadien, dann ergeben sich die in Tabelle 9 dargestellten Verhältnisse. Die GZ sind sehr schnell verbraucht, unabhängig von der Stickstoffzugabe. Dagegen werden Pentosane, HK und Cellulose langsamer abgebaut; die Zersetzung wird aber durch Stickstoffzusatz merklich beschleunigt.

Tab. 9
Abbau der Kohlenhydratfunktion in Weizenstroh
 (in % der Ausgangsmenge)

Versuchsgruppen und Rottezeit		Cellulose	Pentosane	HK	GZ
0	1. Woche	98	96	94	45
	25. Woche	51	26	54	—
	50. Woche	32	22	48	—
H ₁	1. Woche	83	83	79	57
	25. Woche	19	17	28	—
	50. Woche	11	14	22	—

Veränderung der Stickstofffraktionen

Der Abbau bestimmter Stoffgruppen kann also durch zusätzliche Stickstoffgaben beschleunigt werden. Ein großes Angebot an Nahrungsstoffen (Stroh) löst eine starke Vermehrung der Mikroben und erhöhte Bildung von Mikroorganismeneiweiß durch Aufnahme von mineralischem Stickstoff aus. Ein Teil des zugesetzten Stickstoffs reagiert aber als Ammoniak mit freien bzw. durch Zersetzung frei gewordenen Stoffen, wie z. B. Lignin (16). Auch Eiweiß selbst kann mit Lignin, Gerbstoffen und dgl. sehr feste Verbindungen eingehen (WAKSMANN, 17). BREMNER (15) konnte feststellen, daß zugesetzter Stickstoff in Strohkomposten nach 120 Tagen Rottezeit zu 32 % in HCl-unlöslicher Form, zu 39 % als Aminostickstoff, zu 10 % als Amidstickstoff und zu 4 % in Form von Aminoszuckern vorliegt. Ähnliche Werte fanden SPRINGER und Mitarbeiter (10); allein in der wasserlöslichen Fraktion konnten von BARNSTEIN (19) 30 % Eiweiß gefällt werden. Somit dürfte in verrottetem Stroh ein erheblicher Teil des organischen Stickstoffs in Form von Eiweiß vorliegen, während der Rest in mehr oder minder stark humifizierten aromatischen bzw. heterocyclischen Verbindungen enthalten ist.

Gesamtstickstoff

Weizenstroh ist stickstoffarm und hat demnach ein weites C/N-Verhältnis. Trotzdem treten in der 0-Variante nach 3 - 4 wöchiger Rotte geringe Stickstoffverluste in Form von Ammoniak aus den Zersetzungsprozessen auf (Tabelle 10). Nach 50 Wochen erscheint die Stickstoffbilanz aber sogar positiv; es ist also ein geringer zunächst noch unerklärbarer Stickstoffzuwachs erfolgt. Möglicherweise hat eine gewisse Stickstoffbindung aus der Luft durch Bakterien stattgefunden. Ähnliche Beobachtungen konnte auch SPRINGER (1) machen.

Tab. 10
Veränderungen des Gesamt-N-Gehaltes im Verlaufe der Rotte von Weizenstroh
 (in g/Gefäß bzw. % der organischen Substanz)

Rottezeit (Wochen)	0		H ₁		Harnstoff				Kalkstickstoff					
	g	%	g	%	H ₂ g	H ₂ %	H ₃ g	H ₃ %	K ₁ g	K ₁ %	K ₂ g	K ₂ %	K ₃ g	K ₃ %
0	1,53	0,51	3,03	1,01	4,53	1,51	6,03	2,01	3,03	1,01	4,53	1,51	6,03	2,01
2	1,36	0,49	2,60	1,06	2,55	0,96	1,97	0,70	2,63	0,97	4,15	1,48	4,74	1,53
5	1,34	0,53	2,66	1,25	2,96	1,38	2,78	1,19	2,79	1,14	3,97	1,74	4,83	2,07
10	1,34	0,56	2,64	1,51	3,18	1,79	3,26	1,83	2,58	1,28	3,89	2,02	5,05	2,67
20	1,40	0,68	2,65	1,91	3,19	2,30	2,88	2,06	2,71	1,68	4,06	2,97	5,07	3,34
50	1,81	1,02	2,64	2,52	3,07	2,98	3,25	3,80	2,75	3,07	3,96	4,37	4,92	5,45

In den H-Gruppen sind die Verluste an Stickstoff mit Höhe des zugesetzten Harnstoffes vor allem nach der 1. Woche besonders hoch.

Harnstoff zersetzt sich bekanntlich sehr rasch, so daß zeitweise eine große Menge Ammoniak frei wird, die von den Mikroorganismen nicht schnell genug verwertet, d. h. in Eiweiß umgesetzt werden kann. In den Kalkstickstoff-Gruppen sind die Stickstoffverluste weniger groß; der NH_3 -Fluß ist, bedingt durch die hemmende Wirkung des Cyanamids, sehr viel langsamer und kann daher von den Mikroorganismen viel besser verwertet werden. In der K_1 - und H_2 -Variante verhält sich die Stickstoffumsetzung ähnlich; das relativ geringe Stickstoffangebot kann gleichermaßen aufgenommen werden. Zwischen H_2 und K_2 bzw. H_3 und K_3 bestehen dagegen letztlich erhebliche Unterschiede in den Stickstoffverlusten und damit auch in der Menge des für die Verrottung verbleibenden Stickstoffs.

Nicht-hydrolierbarer und wasserunlöslicher Stickstoff

Der durch HCl nicht-hydrolierbare Stickstoff gilt im allgemeinen sowohl für Pflanzen als auch für Mikroorganismen als schwer verwertbar. Er umfaßt sehr unterschiedliche Pflanzeninhaltsstoffe nichteiweißartiger Natur wie Chlorophyll, Phosphatide, Alkaloide usw. und ist vor allem in den Humusstoffen der Rotteprodukte enthalten.

Weniger scharf ist die Unterscheidung zwischen wasserunlöslichem und wasserlöslichem Stickstoff, da dieser auch vom pH-Wert und anderen Faktoren abhängig ist. Der wasserunlösliche Stickstoff ist, außer in den nicht-hydrolierbaren organischen Stoffen, besonders im Eiweiß enthalten, das im Verlaufe der Rotte verschiedenlich verändert bzw. humifiziert werden kann (5, 18). Nicht-hydrolierbarer und wasserunlöslicher Stickstoff sind zwei Fraktionen, die nicht in unmittelbarem Zusammenhang stehen. Bildet man — unter Vorbehalt der analytisch nicht sehr scharfen Trennung von wasserlöslichem und -unlöslichem Stickstoff — die Differenz zwischen der nicht-hydrolierbaren und der wasserunlöslichen Fraktion, so ergibt sich der sogenannte „Differenz-N“, welcher immerhin gewisse Rückschlüsse auf die Verfügbarkeit des Stickstoffs für Mikroorganismen bzw. Pflanzen erlaubt. In der nicht-hydrolierbaren und in der H_2O -unlöslichen Fraktion ist der Stickstoff zumindest zeitweilig festgelegt, im ersten Fall chemisch stark gebunden und damit für Lebewesen schwer verwertbar, im letzteren Fall bzw. als „Differenz-N“ vorwiegend in Eiweiß bzw. in der Körpersubstanz der Mikroben.

Der nicht-hydrolierbare Stickstoff blieb in der 0-Variante im Verlaufe der ersten zwei Wochen ziemlich gleich. Dagegen erfuhren der H_2O -unlösliche Stickstoff und der „Differenz-N“ eine deutliche Zunahme (Tabelle 11). Nach der 2. Woche nahm der nicht-hydrolierbare Stickstoff etwas zu und blieb dann bis zur 50. Woche auf gleicher Höhe, dagegen stieg der H_2O -unlösliche Stickstoff bis zu diesem Zeitpunkt um etwa 50 % an. In den H_1 bis H_3 -Varianten nahm der nicht-hydrolierbare Stickstoff entsprechend der Menge an zugegebenem Harnstoff zu Beginn der Rotte deutlich zu. Die H_2O -unlösliche Stickstofffraktion stieg besonders in der Gruppe H_1 nach 2 Wochen stark an, weniger dagegen in H_2 und H_3 infolge zeitweiliger Hemmung der Mikrobentätigkeit durch hohe Ammoniakkonzentrationen und -verluste. Die Differenz zwischen nicht hydrolierbarem und H_2O -unlöslichem Stickstoff nahm in den H-Gruppen während der ganzen Versuchsdauer stark zu. In den K-Gruppen wurde der zugegebene Stickstoff in den ersten Wochen in noch stärkerem Umfange in die nicht-hydrolierbare Fraktion überführt; der H_2O -unlösliche Stickstoff stieg (mit Ausnahme von K_1) anfangs wesentlich stärker an als in den H-Gruppen. Die Festlegung des Stickstoffs in Mikrobeneiweiß nimmt allgemein bis zur 20. Woche mehr oder minder stark zu. Die geringeren Stickstoffverluste der K-Gruppen sowie der stärkere Einbau des Stickstoffs in die Organische Substanz während der Rotte sind auf die langsamere und allmähliche Umwandlung des

Tab. 11
H₂O-unlöslicher und nicht-hydrolysierbarer Stickstoff im Verlaufe der Rotte von Weizenstroh
 (g/Gefäß)

Rottezeit (Wochen)	Harnstoff				Kalkstickstoff								
	H ₂ O- unlös. N	0 nicht hydrol. N	H ₁ nicht hydrol. N	Diff.	H ₂ O- unlös. N	H ₂ nicht hydrol. N	Diff.	H ₂ O- unlös. N	K ₂ nicht hydrol. N	Diff.	H ₂ O- unlös. N	K ₃ nicht hydrol. N	Diff.
0	1,03	0,39	1,03	0,64	1,03	0,39	0,64	1,03	0,39	0,64	1,03	0,39	0,64
2	1,26	0,38	2,13	0,88	2,13	0,45	1,68	2,10	0,84	1,26	2,10	0,84	1,26
5	1,26	0,46	2,25	0,80	2,25	0,51	1,74	3,14	0,97	2,17	3,14	0,97	2,17
10	1,23	0,44	2,24	0,79	2,24	0,51	1,73	3,65	0,95	2,70	3,65	0,95	2,70
20	1,26	0,42	2,33	0,84	2,33	0,57	1,76	3,43	0,99	2,44	3,43	0,99	2,44
50	1,58	0,45	2,26	1,13	2,26	0,50	1,76	3,53	0,87	2,66	3,53	0,87	2,66

Kalkstickstoffs in die biologisch und chemisch besonders gut verwertbare Ammoniakform zurückzuführen. Der „Differenz-N“ nahm in den K- und H-Gruppen bis zur 50. Woche gleichermaßen zu und zwar umso mehr, je höher die Kalkstickstoffgabe war. Diese Zunahme erfolgte auch noch zwischen der 20. und 50. Woche, also in einem Rottestadium, in dem der nicht-hydrolysierbare Stickstoff bereits wieder abnahm. Vermutlich unterliegen die bis zu diesem Zeitpunkt gebildeten Humusstoffe noch einer teilweisen Umwandlung.

Nitratstickstoff wurde in keinem Falle zugesetzt. Nach FLIEG und GROSS (20) wird Nitrat nur gebildet, wenn der Stickstoffgehalt des Strohs 2 % übersteigt. Eine Prüfung nach 25 Wochen Rotte ergab ähnlich wie in dem Versuch von SPRINGER (5) nur geringe Mengen, nämlich in der 0-Gruppe 0,08 %, in den K-Gruppen 0,05 bis 0,07 % $\text{NO}_3\text{-N}$; in den H-Gruppen war überhaupt kein Nitrat nachzuweisen. Nach 50 Wochen war eine sehr geringe Erhöhung des Nitratgehaltes festzustellen; in den H-Gruppen betrug er 0,24 bis 0,57 % $\text{NO}_3\text{-N}$.

Huminstickstoff: Ein großer Teil des im Ausgangsmaterial vorhandenen bzw. zugesetzten Stickstoffs geht während der Zersetzung in eine schwerer lösliche Form über. Am stärksten gebunden und demnach am wenigsten verfügbar erscheint der in den Huminstoffen festgelegte Stickstoff. Er ist in hohem Maße abhängig von dem Gesamtstickstoffgehalt des Ausgangsmaterials und der zugesetzten Stickstoffform, wie aus der Tabelle 12 ersichtlich ist.

Tab. 12
Huminstickstoff in Weizenstroh nach 25 Wochen Rotte
(g/Gefäß bzw. % der AcS*)-unlöslichen Huminstoffe)

Rottezeit (Wochen)	Versuchsgruppen									
	0		H ₁		H ₃		K ₁		K ₃	
	g	% Hst	g	% Hst	g	% Hst	g	% Hst	g	% Hst
25	0,27	1,36	0,27	0,84	0,39	1,42	0,32	0,94	0,94	2,74

*) AcS = Sulfacetolyse.

Nach 25 Wochen betrug der Gehalt an Huminstickstoff in der Kontrollgruppe 1,36 %, in den K-Varianten aber stets mehr als in den H-Gruppen.

Humifizierung im Verlaufe der Rotte

Die Bildung von Humusstoffen zeigt sich schon äußerlich in einer zunehmend dunkleren Verfärbung an. Bis heute ist es noch nicht gelungen, einen genauen Ablauf der vielfältigen Vorgänge während der natürlichen Entstehung dieser Stoffe zu geben. SPRINGER hat versucht, Analysenverfahren auszuarbeiten, um die während der Rotte entstehenden Humusstoffe hinsichtlich ihrer Eigenschaften und ihres Verhaltens im Boden zu charakterisieren. Die einfachste Methode dafür ist zweifellos die Bestimmung des Farbquotienten (FQ) und der Humifizierungszahl (HZ) (SPRINGER, 8). Anstelle der letzteren verwendet WAGNER (21) den Farbwert (FW), der praktisch dasselbe aussagt wie die Humifizierungszahl. Er stellt ein Maß für die Dunkelfärbung bzw. die Absorption des Lichtes durch laugelöslliche Humusstoffe, wie vor allem Huminsäuren und ihre Vorstufen (Hymatomelansäuren, Fulvosäuren usw.) dar und läßt gewisse Schlüsse zu auf die quantitative und qualitative Art der Humusbildung. Das unverrottete Weizenstroh selbst liefert bereits einen Farbwert, der dadurch entsteht, daß beim Kochen mit Lauge etwas Lignin gelöst wird und sich durch Oxydation an der Luft bräunlich färbt.

Der Beginn der Humifizierung setzt in der H₁-Gruppe schon nach einer Woche, in den meisten Gruppen aber erst in der 2. Woche ein (Tabelle 13). In der H₃-Gruppe macht sich, gleichlaufend mit der Zersetzung, eine gewisse Verzögerung der Humifizierung bemerkbar, vermutlich bedingt durch die dispergierende Wirkung des Ammoniaks auf die Huminsäurebildung. Ähnlich verhalten sich die K-Varianten, in denen der Farbwert nach Abbau der gefärbten Pflanzenstoffe sogar anfangs etwas zurückgeht, aber nach der 2. Woche (K₁) oder nach der 3. bzw. 4. Woche (K₂ bzw. K₃) anzusteigen beginnt. Nach vier Wochen liegen die Farbwerte aller Gruppen etwa auf gleicher Höhe; bis zur 50. Woche aber nimmt die Dunkelfärbung unterschiedlich rasch und stark zu. Die Durchschnittswerte von der 5. bis zur 50. Woche sind am niedrigsten in der 0-Gruppe, am höchsten in der H₁- bzw. H₃-Gruppe.

Huminsäuren (Hs): In allen 0-Gruppen beginnt die Bildung meßbarer Mengen an Huminsäuren erst nach der 4. Woche. Höhere Stickstoffgaben erzeugen im Verlaufe der Rotte größere Huminsäuremengen (Tab. 13). Gegen Versuchsende ist die Huminsäurebildung in den K-Varianten etwas größer als in den H-Gruppen.

Huminstoffe (Hst): Huminstoffe sind biologisch sehr resistente und schwer hydrolysierbare Rotteprodukte. SPRINGER (10) erfaßte sie mittels Bromacetolyse (AcB) oder Sulfacetolyse (AcS). Sie enthalten vor allem laugelösliche, beständige Humuskomplexe und z. T. auch echte, stärker kondensierte und höher polymerisierte Huminsäuren. Durch die genannten Lösungsmittel gehen ein Teil des Lignins (das noch nicht in Huminstoffe umgewandelt ist) sowie Eiweißstoffe und andere hydrolysierbare Verbindungen in Lösung, zurück bleiben die echten Huminstoffe (Tabelle 13).

Die Huminstoffbildung setzte schon 2 bis 3 Wochen nach Versuchsbeginn ein, wurde aber erst nach etwa 5 Wochen deutlich nachweisbar. Sie stieg bis etwa zur 25. Woche verhältnismäßig rasch, später langsamer an. Zwischen der 20. und der 50. Woche sind in allen Gruppen die größten Mengen an Huminstoffen zu finden. Manchmal war zu Versuchsende allerdings bereits eine geringe Abnahme angedeutet. Die geringste Menge an Huminstoffen wurde, wie zu erwarten war, in der 0-Gruppe gebildet, da dort die Zersetzung des Strohes am langsamsten ging. In den N₁- und N₂-Gruppen entstanden durch entsprechende Harnstoff- wie auch Kalkstickstoffgaben etwa gleiche Mengen an Huminstoffen. Insgesamt wurden in den K-Gruppen etwas mehr Huminsäuren und Huminkomplexe gebildet als in den H-Gruppen. Die Ursache dafür dürfte in der langsameren NH₃-Entwicklung aus dem Kalkstickstoff, demzufolge geringeren Stickstoffverlusten und möglicherweise in der direkten Reaktion von Cyanamid mit Rotteprodukten zu suchen sein.

Zusammenfassung

Weizenstroh wurde in einem Modellversuch (300 g Org. Subst./Gefäß) unter Zusatz von 0/0,5/1,0/1,5 % N als Harnstoff (H₁, H₂, H₃) bzw. Kalkstickstoff (K₁, K₂, K₃) einer 50wöchigen Rotte unterworfen und der Abbau verschiedener Kohlenhydrate, die Veränderung der Stickstofffraktionen und die Humusbildung untersucht. Das Ausgangsmaterial hatte einen Gesamtstickstoffgehalt von 0,49 % und ein C/N-Verhältnis von 107; es waren 43,5 % Cellulose, 28,5 % Pentosane, 26,9 % hydrolysierbare Kohlenhydrate und 1,8 % Gesamtzucker enthalten.

Mit Beginn der Strohzerstörung stiegen die pH-Werte innerhalb der ersten Woche infolge unterschiedlicher NH₃-Entwicklung von 6,7 auf maximal 9,2 (H₃) an und nahmen später langsam ab. Das C/N-Verhältnis verengte sich ohne Stickstoffzusatz nur langsam und betrug nach 50 Wochen 52; in den Harnstoff- bzw. Kalkstickstoffgruppen wurden Endwerte von 15 bis 19 bzw. 11 bis 18 erreicht. Der Abbau von Cellulose,

Tab. 13

Humifizierung im Verlaufe der Rotte von Weizenstroh

Farbwerte (FW): Extinktion von 1 g Org. Substanz nach Säurevorbehandlung
Huminsäuren (Hs): g/Gefäß — Huminstoffe (Hst): g/Gefäß nach Sulfacetolyse

Rottezeit (Wochen)	0			H ₁			Harnstoff			H ₂		
	FW	Hs	Hst	FW	Hs	Hst	FW	Hs	Hst	FW	Hs	Hst
0	0,30	—	—	0,30	—	—	0,30	—	—	0,30	—	—
2	0,38	—	—	0,46	—	—	0,40	—	—	0,33	—	—
5	0,65	0,33	10,6	0,67	6,6	15,6	0,67	6,9	23,4	0,61	2,8	12,7
10	0,85	0,41	16,0	1,19	8,1	20,6	0,95	10,2	22,7	0,91	9,9	21,4
20	0,98	5,1	21,6	1,62	6,9	31,7	1,82	10,1	39,4	1,40	10,8	28,8
50	1,70	7,0	26,7	3,20	8,4	34,4	2,42	11,5	36,4	3,42	13,6	37,8

Rottezeit (Wochen)	K ₁			Kalkstickstoff			K ₂			K ₃		
	FW	Hs	Hst									
0	0,30	—	—	0,30	—	—	0,30	—	—	0,30	—	—
2	0,38	—	—	0,32	—	—	0,31	—	—	0,31	—	—
5	0,56	5,0	13,8	0,80	9,3	19,5	0,70	8,6	14,0	0,70	8,6	14,0
10	0,77	6,1	20,6	0,83	8,5	23,7	1,28	11,0	22,6	1,28	11,0	22,6
20	1,15	7,4	31,6	1,41	9,8	34,3	1,36	11,4	29,7	1,36	11,4	29,7
50	3,03	10,1	35,0	2,64	12,4	35,3	2,84	14,1	40,0	2,84	14,1	40,0

Pentosanen und hydrolysierbaren Kohlenhydraten verlief in der Kontrollgruppe infolge Stickstoffmangel langsamer als in den Stickstoffgruppen. Kalkstickstoff beschleunigte den Abbau der Cellulose und Pentosane mehr als Harnstoff. Die geringe Menge an Gesamtzucker (1,8 %) war schon nach kurzer Zeit abgebaut. Der Gesamtstickstoff nahm in allen Stickstoffzusatzgruppen im Laufe der Rotte ab; die Stickstoffverluste waren im Falle des Kalkstickstoffs geringer als die des Harnstoffs. H₂O-unlöslicher und nicht-hydrolysierbarer Stickstoff nahmen bis zum Ende der Rotte erheblich zu (höchste Werte in den K-Gruppen, niedrigste in der Kontrolle). Die Farbwerte waren in den Harnstoffgruppen fast immer höher als in den 0- und K-Gruppen. Im letzten Abschnitt der Rotte wurden in den K-Varianten am meisten Huminsäuren und Huminstoffe gebildet.

Summary

RASSADI, F., und A. AMBERGER: *Veränderung organischer Stoffgruppen im Verlaufe der Verrottung von Weizenstroh (Changes in organic groupings during the decomposition of wheat straw).*

Landwirtsch. Forsch. 28, 1975

In a pilot investigation (300 g organic substances per vessel) wheat straw was subjected, with the addition of 0, 0.5, 1.0, 1.5 % N as urea (H₁, H₂, H₃), respectively calcium cyanamide (K₁, K₂, K₃), to 50 weeks decomposition, during which the breakdown of various carbohydrates, the changes in the nitrogen fractions and the formation of humus were studied. The starting material had a total nitrogen content of 0.49 % and a C/N ratio of 107; there were 43.5 % cellulose, 28.5 % hydrolysable carbohydrates and 1.8 % total sugar.

At the start of the decomposition of the straw, the pH rose during the first weeks, following the generation of ammonia, from 6.7 to a maximum of 9.2 (H₃), and then fell slowly back. The C/N ratio fell without the addition of nitrogen only slowly, and after 50 weeks stood at 52; in the urea and calcium cyanamide groups, final values of 15 and 19 respectively were reached. The break-down of cellulose, pentosans and hydrosable carbohydrates proceeded more slowly in the control groups where there was a nitrogen deficit, than in the nitrogen groups. Calcium cyanamide accelerated the break down of the cellulose and the pentosans more than did urea. The small amount of total sugar (1.8 %) was decomposed after a very short time. In all the groups to which nitrogen had been added, the total nitrogen diminished during the course of the decomposition; in the case of the calcium cyanamide the nitrogen losses were smaller than with urea. Waterinsoluble and unhydrolysable nitrogen increased considerably up to the end of the decomposition (with highest values in the K groups, and lowest in the control). The colour values were nearly always higher in the urea groups than in the 0- and K-groups. During the last section of the decomposition, mostly humic acid and humus were formed in the K-variants.

Résumé

RASSADI, F., und A. AMBERGER: *Veränderung organischer Stoffgruppen im Verlaufe der Verrottung von Weizenstroh (Transformation des groupes de matières organiques au cours de la pourriture de la paille de blé).*

Landwirtsch. Forsch. 28, 1975

La paille de blé fut soumise à une pourriture de 50 semaines durant une expérience en laboratoire (300 g de substance organique par vase) en ajoutant 0, 0,5, 1,0, 1,5 % N

Tab. 13

Humifizierung im Verlaufe der Rotte von Weizenstroh
 Farbwerte (FW): Extinktion von 1 g Org. Substanz nach Säurevorbehandlung
 Huminsäuren (Hs): g/Gefäß — Huminstoffe (Hst): g/Gefäß nach Sulfacetolyse

Rottezeit (Wochen)	0			H ₁			Harnstoff			H ₂			H ₃		
	FW	Hs	Hst	FW	Hs	Hst	FW	Hs	Hst	FW	Hs	Hst	FW	Hs	Hst
0	0,30	—	—	0,30	—	—	0,30	—	—	0,30	—	—	0,30	—	—
2	0,38	—	—	0,46	—	—	0,40	—	—	0,40	—	—	0,33	—	—
5	0,65	0,33	10,6	0,67	6,6	15,6	0,67	6,9	23,4	0,67	6,9	23,4	0,61	2,8	12,7
10	0,85	0,41	16,0	1,19	8,1	20,6	0,95	10,2	22,7	0,95	10,2	22,7	0,91	9,9	21,4
20	0,98	5,1	21,6	1,62	6,9	31,7	1,82	10,1	39,4	1,82	10,1	39,4	1,40	10,8	28,8
50	1,70	7,0	26,7	3,20	8,4	34,4	2,42	11,5	36,4	2,42	11,5	36,4	3,42	13,6	37,8

Rottezeit (Wochen)	K ₁			Kalkstickstoff			K ₂			K ₃		
	FW	Hs	Hst									
0	0,30	—	—	0,30	—	—	0,30	—	—	0,30	—	—
2	0,38	—	—	0,32	—	—	0,31	—	—	0,31	—	—
5	0,56	5,0	13,8	0,80	9,3	19,5	0,70	8,6	14,0	0,70	8,6	14,0
10	0,77	6,1	20,6	0,83	8,5	23,7	1,28	11,0	22,6	1,28	11,0	22,6
20	1,15	7,4	31,6	1,41	9,8	34,3	1,36	11,4	29,7	1,36	11,4	29,7
50	3,03	10,1	35,0	2,64	12,4	35,3	2,84	14,1	40,0	2,84	14,1	40,0

comme l'urée (H1, H2, H3) ou les azotes de chaux (K1, K2, K3) et on analysa la désintégration de différents hydrates de carbone, la transformation des fractions d'azotes et la formation d'humus. La matière de départ avait une teneur totale en azotes de 0,49 % et une proportion C/N de 107, elle contenait 43,5 % de cellulose, 28,5 % de pentosane, 26,9 % d'hydrates de carbone hydrolysables et 1,8 % de sucre.

Quand la décomposition de la paille commença, les valeurs Ph passèrent au cours de la première semaine de 6,7 à un maximum de 9,2 (H3) à la suite des divers développements du NH₃, et ont ensuite lentement décliné. Le contenu en C/N n'a décliné que lentement sans ajouter d'azotes, et s'éleva à 52 après 50 semaines; dans les groupes urée ou le cas échéant les groupes d'azotes de chaux on atteint des dévaluations de 15 à 19 ou de 11 à 18. La désintégration de la cellulose, des pentosanes et des hydrates de carbone hydrolysables se déroula plus lentement dans le groupe des contrôle (à la suite du manque d'azotes) que dans le groupe des azotes. Les azotes de chaux hâtèrent la décomposition de la cellulose et du pentosane plus que l'urée. L'infime quantité de sucre (1,8 %) avait déjà disparu en peu de temps. Le total d'azotes déclinait dans tous les groupes avec additifs d'azotes au cours de la pourriture, les pertes d'azotes étaient plus infimes dans le cas de l'urée que dans le cas de la chaux. Les azotes H₂O insolubles et non hydrolysables s'accrurent considérablement jusqu'à la fin de la pourriture (valeurs les plus hautes dans les groupes K, les plus petites dans le groupe de contrôle). Les valeurs chromatiques étaient presque toujours plus élevées dans les groupes urée que dans les groupes O ou K. Au cours du dernier stage de la pourriture il se forma surtout des acides humiques et des corps humiques dans la variante K.

Schriftum

1. SPRINGER, U. u. J. KLEE: Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde. 71, 193, 1955
2. HAGEDORN-JENSEN: Handbuch der landw. Versuchs- u. Untersuchungsmethodik (Methodenbuch) IV, 16 - 18, 1953
3. SCHOORL-LUFF: sh. Nr. 2, IV, 16 - 18, 1953
4. HERRMANN, R.: sh. Nr. 2, III, 39, 1951
5. SPRINGER, U., J. KLEE u. A. WAGNER: Bayer. Landwirtschaft. Jb. 39, 528 - 551, 1962
6. BREMNER, J. M.: Agric. Sci. Part. I, II, III, 39, 1949
7. BALKS, R. u. I. REEKERS: Landwirtschaft. Forsch. 13, 134, 1960
8. SPRINGER, U.: sh. Nr. 2, I, 55, 1955
9. WAGNER, A.: Sonderdruck aus Bayer. Landwirtschaft. Jb. 42, Sonderh. 5, 1965
10. SPRINGER, U.: sh. Nr. 2, I, 53, 1955
11. SCHEFFER, F. u. B. ULRICH: Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde, III. Teil, Humus und Humusdüngung. Enke-Verlag, Stuttgart 1960
12. REMEZOW, N. P.: Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde. 30, 285, 1933
13. GROH, A. W.: Mitt. Dt. Landwirtschaft.-Ges. 81, 1704 - 1706, 1966
14. AMBERGER, A. u. A. WAGNER: Landwirtschaft. Forsch. SH 19, 116 - 124, 1965
15. SPRINGER, U. u. F. SEISCHAB: Bayer. Landwirtschaft. Jb. 38, Heft 3, 259 - 300, 1961
16. MATTSON, S. and E. KOUTLER-ANDERSON: Ann. of Agric. coll. of Sweden 10, 284, 1942 und 11, 107, 1943 (zit. n. BREMNER, J. M. — sh. Nr. 6)
17. WAKSMANN, S. A. u. K. E. BLANKS: Handbuch der Bodenlehre VIII, Berlin 1931 u. Erg.Bd. I, 1939
18. BREMNER, J. M.: Agric. Sci. 45, 469, 1955
19. BARNSTEIN, F.: Landwirtschaft. Versuchsstat. 54, 327 - 336, 1900
20. FLIEG, O. u. G. GROSS: Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde. 13, 380 - 384, 1934
21. WAGNER, A.: Untersuchungen über die nach mehrjähriger organischer Düngung gebildeten Huminsäuren unter Vergleich mit natürlichen Huminsäuren verschiedener Herkunft. Diss. Hohenheim, 1957

Richtlinien

für Veröffentlichungen in der Zeitschrift LANDWIRTSCHAFTLICHE FORSCHUNG

Die Schriftleitung bittet, bei der Einreichung von Manuskripten zur Veröffentlichung folgende Hinweise zu beachten: Die *Beiträge* und zu *besprechende Bücher* sind zu senden an die Schriftleitung, D-61 Darmstadt 1, Postfach 1144. Die *Rechtschreibung* und *Schreibweise von Nomenklaturen und Fachausdrücken* sollen nach den Angaben in „Einheitliche Schreibweise in naturwissenschaftlichen Werken“ von Herrmann erfolgen. Dasselbe gilt für *Abkürzungen von Zeitschriftentiteln*. Soweit die Manuskripte dem nicht Rechnung tragen, werden sie von der Schriftleitung entsprechend bearbeitet. Im übrigen wird bei Einsendung von *Manuskripten* zugleich die schriftliche Bestätigung erbeten, daß es sich um eine Originalarbeit handelt, die bisher auch auszugsweise nicht an anderer Stelle veröffentlicht worden ist.

Eingesandte Manuskripte sollen mit der Schreibmaschine 1¹/₂zeilig mit etwa 4 cm breitem Rand und einseitig geschrieben sein.

Der *Titel der Arbeit* soll möglichst prägnant formuliert sein.

Es wird gebeten, nach Möglichkeit die *englische und französische Übersetzung* des Titels der Arbeit sowie eine kurze Zusammenfassung (Inhaltsangabe) in englischer und französischer Sprache mitzuliefern, andernfalls einen kurzen Text, der zur Übersetzung geeignet ist.

Die Anzahl der *Tabellen und Abbildungen* ist auf das sachlich unbedingt notwendige Maß zu beschränken. Bilder sollen nicht in den Text eingeklebt sein, sondern für sich oder auf eigenen Blättern am Schluß der Arbeit eingereicht werden. Fotografische Vorlagen (Hochglanzfotos) sollen kontrastreich sein. Bei Zeichenvorlagen ist auf klischerfähige Ausführung zu achten. Zu den Abbildungen werden knappe, klare Unterschriften erbeten, die auf einem besonderen Blatt dem Manuskript beizufügen sind.

Hinweise für die Abfassung des Abschnittes „Schrifttum“

Im Interesse einer dringend notwendigen Einheitlichkeit soll der Abschnitt „Schrifttum“ unter genauer Beachtung der nachfolgenden Hinweise abgefaßt werden:

1. Die Überschrift lautet „Schrifttum“.
2. Bei jeder Schrifttumsangabe werden die Zeilen voll ausgeschrieben; vorausgestellt wird (wie hier) nur die laufende Nummer.
3. Im Text werden die Zitatstellen in der Reihenfolge des Auftretens laufend nummeriert, bei wiederholtem Auftreten des gleichen Zitats mit der gleichen Nummer.
4. Im Verzeichnis „Schrifttum“ entspricht die Reihenfolge der Zitate und damit die laufende Numerierung derjenigen im Text. Muß der Abschnitt „Schrifttum“ neu abgefaßt werden, weil er den vorstehenden Hinweisen nicht entspricht, wird gebeten, vor die nunmehr geltende die frühere Numerierung zu schreiben (bitte mit Bleistift), damit die Nummern im Text durch die Schriftleitung korrigiert werden können.
5. Die Literaturzitate enthalten zunächst Familiennamen und Anfangsbuchstaben der Vornamen des Autors bzw. Herausgebers (in Großbuchstaben). Die Anfangsbuchstaben werden nachgestellt; bei mehreren Autoren werden nur die Anfangsbuchstaben der Vornamen des erstgenannten Verfassers nachgestellt, die der folgenden stehen vor dem Familiennamen. Es folgen bei Büchern der Titel, die Auflagenbezeichnung, evtl. die Bandnummer, der Verlag und das Erscheinungsjahr. Bei Zeitschriftenaufsätzen werden der nach „Herrmann, Einheitliche Schreibweise in naturwissenschaftlichen Werken. 2. Auflage, Neumann Verlag 1965“ abgekürzte Zeitschriftentitel, die unterstrichene Bandzahl, Anfangsseitenzahl und schließlich Jahreszahl, jeweils durch Komma getrennt (keine Klammern), angegeben.

Die Zeitschrift „Landwirtschaftliche Forschung“ veröffentlicht Originalarbeiten aus dem Gebiet der landwirtschaftlichen Forschung, insbesondere aus den Arbeitsgebieten der einzelnen Fachgruppen des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten.

Hauptschriftleiter: Prof. Dr. L. Schmitt, *Schriftleiter:* Dipl.-Ing. agr. H. Zarges, beide 61 Darmstadt 1, Postfach 1144, Bismarckstraße 41A, Telefon (061 51) 2 16 18.

Sonderdrucke: Die Verfasser erhalten auf Wunsch zum Selbstkostenpreis 30 Sonderdrucke. Bei größerem Bedarf sind besondere Vereinbarungen mit dem Verlag zu treffen.

Erscheinungsweise: Die Zeitschrift „Landwirtschaftliche Forschung“ erscheint jeweils in einem Band mit vier Heften, die in vierteljährlichen Abständen herausgegeben werden. Außerdem erscheinen nach Bedarf Sonderhefte, die besonders in Rechnung gestellt werden.

Bezugsmöglichkeiten: Die Zeitschrift „Landwirtschaftliche Forschung“ kann durch den in- und ausländischen Buchhandel oder direkt vom Verlag bezogen werden. Das Abonnement gilt bei Aufgabe der Bestellung für einen Band; es läuft weiter, wenn nicht unmittelbar nach Lieferung des Schlußheftes eines Bandes eine Abbestellung erfolgt.

Bezugspreis: Preis eines Bandes (4 Hefte) DM 96,— (empf. Richtpreis) zuzüglich Versandkosten. Preis der Sonderhefte je nach Umfang verschieden.

Verlag: J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M., Finkenhofstraße 21. Bankkonten: Commerzbank A. G., Frankfurt a. M. (Konto-Nr. 5408075); Stadtparkasse Frankfurt a. M. (Girokonto 96958). Postscheckkonto: Frankfurt a. M. Nr. 896.

© J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 1975

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks,
der photomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung vorbehalten.

Satz und Druck: Graphische Kunstanstalt Wilhelm Herr, Gießen

Printed in Germany