

Nährstoffbilanz im Kompoststall für Mastschweine

Robert KAUFMANN, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon

Werner HELLER, Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau (FAW), CH-8820 Wädenswil

Markus BIERI, Biotechnik und Umweltsysteme, Ingenieurgesellschaft, CH-8803 Rüschlikon

Neue Tierhaltungssysteme müssen Fortschritte bei der Umweltverträglichkeit aufweisen. Ein wichtiges Kriterium ist die Effizienz der Stickstoffverwendung. Beim Kompoststall werden Mastschweine auf einem 50 cm tiefen Sägemehlbett gehalten. Die gasförmigen N-Verluste im Stall wurden mittels Input-Output-Bilanz ermittelt. Mit Hilfe von Bodenproben konnte man die Nährstoffverlagerungen unter dem Mietenzwischenlager beurteilen. Die N-Auswaschungen an der Miete erwiesen sich als gering. Im Stall dagegen wurden erhebliche N-Mengen emittiert.

Die vorliegende Arbeit stützt sich auf Erhebungen bei einem Kompoststall ab, der von 1993 bis 1996 an der FAT untersucht wurde. Bei diesem neuen Stallsystem werden Mastschweine auf einer rund 50 cm tiefen Sägemehlschicht während mehrerer Umtriebe gehalten. Zum Unterhalt der biologischen Vorgänge muss eine regelmässige Pflege des Bettes erfolgen. Dabei wird kotreiches Material aus stärker belasteten Zonen der Buchten mit Sägemehl aus weniger belasteten Zonen gemischt. Ein wichtiges Forschungsziel war die Entwicklung von Stalleinrichtungen, die diese Arbeitsabläufe rationalisieren.

Die Untersuchungen konnten einige Vorteile dieses Haltungssystems bestätigen. Die Funktion in einem natürlich belüfteten, knapp isolierten Gebäude ist gegeben, womit es sich als Umbaulösung anbietet. Ein konventioneller Teilspaltenbodenstall erfordert höhere Investitionen und Betriebskosten. Der Unterschied liegt hauptsächlich in der Gülletechnik und -lagerung. Sägemehl ist in den technologischen Eigenschaften Hackschnitzel und Stroh überlegen. Es konnten in diesem System praxisübliche Mastleistungen erzielt werden. Ausländische Untersuchungen und eigene Beobachtungen weisen zudem auf die gute Annahme des Systems durch die Tiere hin.

Die Unterstützung der biologischen Prozesse hängt von der regelmässigen mechanischen Bearbeitung ab. Das Material wird alle sechs bis zehn Monate gewechselt und kann direkt als Grunddünger im Ackerbau verwendet oder zuerst auf Mieten zwischengelagert werden. Die Untersuchungen an der FAT dienten vorab der verfahrenstechnischen Verbesserung des Systems: Verbesserung der Bedienerfreund-

lichkeit, Reduktion des Arbeitszeitbedarfs, Erarbeitung von technischen Kennziffern bezüglich Einstreuart und -tiefe, Umsetzintensität. Dank Weiterentwicklung der Stalleinrichtungen und Änderungen an der Umsetzorganisation konnte das Verfahren rationalisiert werden.

Ein neues Tierhaltungssystem wird heute zusätzlich danach beurteilt, wieweit es bezüglich Minimierung der Nährstoffverluste einen Fortschritt bringt und damit zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit der Tierhaltung beiträgt. Besonders zu beachten ist der Stickstoffkreislauf. Im Kompoststall mit Sägemehl wurden tiefere Ammoniakkonzentrationen gemessen als in Tiefstreu mit Stroh oder Vollspaltensystemen (Hoy *et al.* 1994). Holländische Messungen bei Praxisbetrieben bestätigen, dass die NH_3 -Emissionen aus dem Kompoststall zwar rund halb so gross (1,1 kg N/Tier, Jahr) sind wie bei Güllesy-

stem, jedoch zusätzlich noch 1,9 kg N in Form von Lachgas (N_2O) emittiert wird. Die Gesamtemissionen von N liegen damit über denjenigen von Güllesystemen (Groenestein 1993). Das Endprodukt dürfte, bedingt durch die lange Verweilzeit im Stall, relativ stabil sein und bei der Lagerung und Ausbringung tiefere Verluste bringen.

Ein haushälterischer Umgang mit den betriebseigenen Düngern ist aus verschiedenen Gründen aktuell: Die Reduktion von Emissionen (vor allem Ammoniak) und Gewässerbelastung (Senkung Nitrat-Gehalt im Grundwasser) sind klare Anforderungen an die Produktionsverfahren. Direktzahlungssysteme (wie IP und Bio) erlauben nur einen reduzierten Düngerzukauf. Ein schonender Umgang mit den Hofdüngern (besonders N) ist in diesen Fällen dringend angezeigt. Nicht zuletzt ermöglicht das Vermeiden von Nährstoffverlusten einen gewissen Kostenspareffekt.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Frage der N-Verluste sowohl im Stall als auch am Zwischenlager (Walm). Auf der Basis der ermittelten Verlustwerte soll ein Vergleich zu üblichen Güllesystemen aufzeigen, welches Haltungssystem als Gesam-

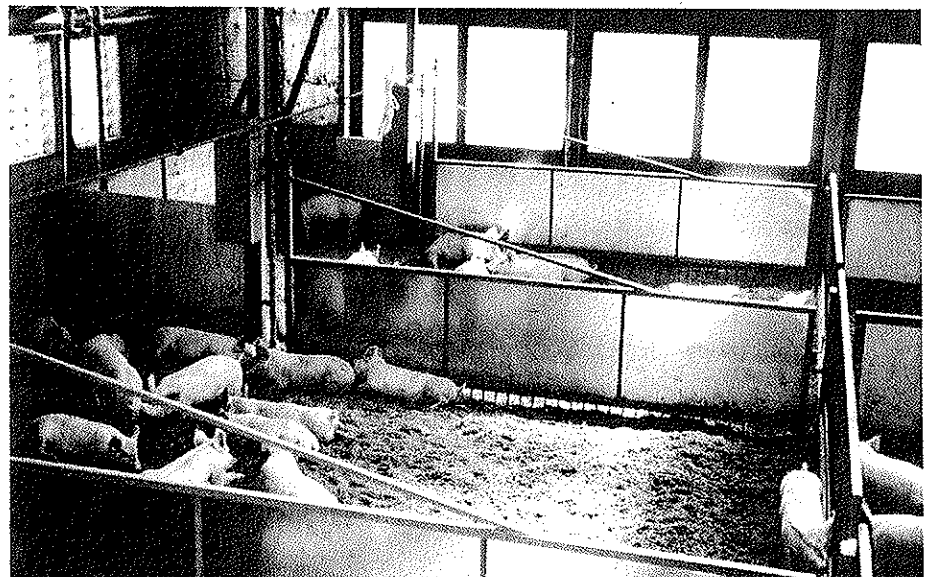


Abb. 1. Blick in den Kompoststall für Mastschweine, mit Sägemehl als Einstreumaterial.

tes betrachtet - das heisst von der Fütterung bis zur Ausbringung - den Nährstoff am effizientesten umsetzt.

Wenn im folgenden von Kompost die Rede ist, meint man das Sägemehl-Kot-Harnmisch aus der beschriebenen Tiefstreuhaltung von Mastschweinen. Die Folgerungen sind nur beschränkt auf Komposte aus grünem Siedlungsabfall übertragbar.

N-Emissionen mit Input/Output-Bilanz ermitteln

Für die Untersuchungen der Stickstoffverluste im Stall stand ein Kompoststall (Abb. 1) im Praxismassstab zur Verfügung. Die natürliche Lüftung des in Einfachbauweise erstellten Stalles verumöglichte die direkte quantitative Ermittlung der Verluste in der Stallabluft. Deshalb wurden die gasförmigen Stickstoffverluste im Stall mittels Input/Output-Bilanz berechnet.

Für die Erstellung dieser Bilanz werden die dem Stallsystem zugeführten und abgeführten N-Mengen ermittelt. Aus der Differenz ergeben sich die gasförmigen Verluste, da aufgrund der Tiefstreuersituation keine Verluste über Abwässer vorliegen können.

Input: Zufuhr von zwei verschiedenen Futtern (Vormast, Ausmast), Gehalt gemäss Lieferantangaben, Futterbedarf ermittelt aufgrund der Abrechnungen des EDV-gesteuerten Fütterungssystems.

Output: Fleischproduktion entspricht dem Zuwachs ermittelt durch Wägungen beim Ein- und Ausställen. Der Kompost wurde nach jeder Phase beim Ausräumen des Stalles gewogen und dessen Gehalt bestimmt.

Nährstoffverlagerung unter der Miete

Um die Verlagerungen bei der Feldrandkompostierung und die Verluste durch Nachgärungen zu bestimmen wurde das Material für sechs Monate (Winter 1993-1994) an Trapezmieten gelegt. Ein mechanisches Umsetzen diente dem Aufbau der regelmässigen Mietenform. Anschliessend erfolgte das Abdecken mit einem Vlies. Die Hälfte der Mieten wurde zwecks Förderung der Prozesse regelmässig weiter umgesetzt. Mit einem Heustockthermometer konnte die Temperaturentwicklung im Kernbereich verfolgt werden (Abb. 2).

Nach Abschluss des Versuches erfolgten das Zurückwägen des Kompostes und die Bestimmung des Gehaltes. Zur Untersu-

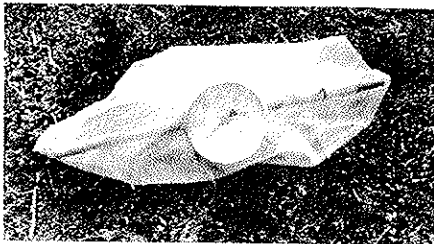


Abb. 2. Messung der Temperaturentwicklung im Kern des Kompostwalmes.

chung der Nährstoffeinträge in den Boden wurden pro Mietenstandort und Kontrollfläche zehn zufällig verteilte Einstiche bis in eine Tiefe von 60 cm vorgenommen und das Probenmaterial nach Tiefenstufen (in cm: 0-10; 10-20; 20-30; 30-60) getrennt analysiert. Als Kontrolle diente die an den Mietenstandort angrenzende, 5 bis 10 m entfernte Fläche entlang des Fahrweges.

Analysenmethodik

Die Analysen von Bodenproben und Kompostproben erfolgten durch das Bodenzentrum der FAW nach den Analysenmethoden gemäss Band 1 der Schweizerischen Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten. Zur Bestimmung des Phosphor (P)- und Kalium (K)- Gesamtgehaltes wurde das Probenmaterial verascht, mit Salzsäure extrahiert und anschliessend filtriert. Im Filtrat wurde die Konzentration von Phosphor photometrisch und die Kalium-Konzentration mittels Atom-Absorptions-Photospektrometrie gemessen. Die Bestimmung der Nitrat- und Ammoniumgehalte geschah photometrisch und der Salzgehalt mittels einer Elektrode. Der Gesamtstickstoff der Kompostproben wurde nach der Analysenmethode

AOAC-Nr. 2.050 (Salicylatmethode, Kjeldahl-Labor) durchgeführt, bei der allfällig vorhandenes Nitrat erfasst wird.

Walm: wenig Nachrotte, hohe K-Verfrachtung

Während der Lagerung am Walm waren nur noch unwesentliche Temperaturerhöhungen nachzuweisen (Abb. 3). Selbst häufigeres Umsetzen (Variante «intensiv») bewirkte kein deutlich anderes Temperaturverhalten. In keinem Fall wurden Temperaturen erreicht, die eine Hygienisierungswirkung (um 70 °C) haben könnten. Dieses träge Verhalten der Mikrobiologie muss mit der langen Vorrottephase (zehn Monate) im Stall zusammenhängen. Diese Folgerung wird unterstützt durch die Tatsache, dass nur gerade 5 % des eingebrachten Stickstoffes am Walm verloren gingen (Tab. 1).

Zu beachten sind die massiven Verlagerungen von Kalium in die obersten 10 cm des Bodens (Abb. 4). Es erweist sich als wesentlich mobiler als der Phosphor. Die absorbierenden Eigenschaften des Walmmaterials beeinflussen diesen Ausschwemmprozess vermutlich ebenfalls, wie der Vergleich von Sägemehl (feine Struktur, gute absorbierende Eigenschaften) und Hackschnitzel (grobkörnig, geringere absorbierende Eigenschaften) zeigt. Die Frachten unter dem Hackschnitzelwalm sind deutlich höher.

Gehaltvoller Grunddünger

Der Kompost weist, bezogen auf die Frischsubstanz, vergleichbare Nährstoff-

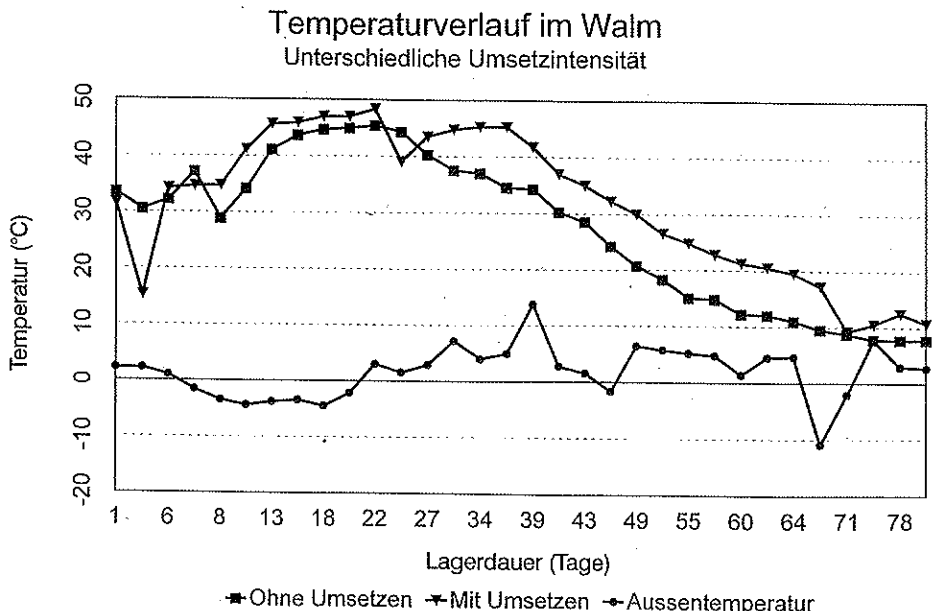


Abb. 3. Temperaturverlauf in der Trapezmiete ab November 1993.

Tab. 1. Nährstoffbilanz während der Mietenlagerung

Periode November 1993 - März 1994	Menge (kg)	Phosphor		Stickstoff	
		Gehalt (%)	Menge (kg)	Gehalt (%)	N _{tot} (kg)
An Walmen gelegt ¹⁾	21 900	1,38	303,1	1,47	321,6
Walmmenge Ende ¹⁾	18 821	1,63	306,2	1,62	305,7
Differenz			-1,0		4,9

1) Analysen: W. Heller, FAW, 31.3.1994.

mengen wie andere Hofdünger auf (Abb. 5). Die Phosphatmengen sind hingegen deutlich höher. Auf Phosphatbasis verglichen entspricht eine Tonne Kompost etwa 4 m³ Gülle oder der Menge von ein bis eineinhalb Mastplätzen. Der P-Gehalt des Kompostes steht in einem Zusammenhang zum TS-Gehalt, der Verweildauer im Stall und dem Massenschwund durch den Abbau organischer Substanz, welche mit einer Konzentration der Nährstoffe einhergeht (Tab. 2). Pro ausgebrachter Tonne Kompost kann demnach der P-Gehalt bis zu einem Faktor 3 variieren. Weniger weit ist die Bandbreite bei N_{tot}, da parallel zum Eintrag von Stickstoff über die Exkremente ins System gleichzeitig ein zeitabhängiger gasförmiger Verlust erfolgt.

Über die Fütterung gelangten bei den Versuchen im Mittel 4 kg N_{tot} pro Mastschwein in das System (Tab. 3). Das frische Sägemehl hat wenig nachweisbaren N-Gehalt. Im Output-Material, das heisst im Zuwachs und dem entnommenen Kompost, konnten lediglich 2 kg pro Schwein nachgewiesen werden, womit sich insgesamt 50 % des zugeführten Stickstoffs verflüchtigt haben müssen. Die Kontrolle mittels P-Bilanz, welche theoretisch infolge des geschlossenen Systems «Stall» keine Differenz aufweisen dürfte, deutet durch die sehr kleine Abweichung von 3,9 % auf eine gute Absicherung der Ergebnisse hin.

Dieser hohe gasförmige N-Verlust erstaunt nicht. Das Milieu im Kompostbett begünstigt die NH₃-Verluste: hoher pH, erhöhte Temperaturen, mechanische Bearbeitung. Gleichzeitig liegen in tieferen Schichten reduzierende Verhältnisse vor, was wiederum die Austreibung von Lachgas (N₂O) fördert.

N-Effizienz der Güllesysteme besser

Für die Beurteilung der gesamten N-Effizienz eines Tierhaltungssystem sind neben der Verflüchtigung im Stall weitere Verlustquellen wie Lagerung und Ausbringung mitzubetrachten. Aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse ist unter Beizug von Standardwerten von Güllesystemen und neueren Literaturswertungen (Walther *et al.* 1994; Menzi *et al.* 1997) ein Vergleich zwischen Gülle- und Kompoststallsystem zulässig (Tab. 4). Der Kompoststall weist weniger Lager- und Ausbringungsverluste auf, was aber die hohen Stallverluste nicht zu kompensieren vermag. Bezogen auf ein Mastschwein bei gleichen Bedingungen steht der Pflanze aus dem Kompoststall noch rund die Hälfte des Stickstoffes (0,64 kg) zur Verfügung als bei der Vollgüllevariante (1,41 kg). Nicht berücksichtigt sind mögliche Ausschwemmungen des Nitrats und die erhebliche Bandbreite der NH₃-Verluste bei der Ausbringung ab-

hängig von Aussentemperatur und Ausbringtechnik. Kompost dürfte diesbezüglich wesentlich nutzungsflexibler sein, vergleichbar mit dem Einsatz von Mist.

Folgerungen

Wie die Nährstoffgehalte verschiedener Sägemehlkomposte in Abhängigkeit von der Belastung durch Tiere, Lagersituation usw. zeigen, können diese sehr stark variieren, was sich auf die Nährstoffbilanz des Betriebs und die Düngungsplanung auswirkt. Es ist anzunehmen, dass ähnliche Abweichungen vor allem im Bereich P und K auch bei anderen Hofdüngern, besonders bei den verschiedenen Mistarten auftreten und bei der weiteren Verfeinerung von Nährstoffbilanzrechnungen zu berücksichtigen sind.

Sägemehlkompost kann als relativ P-reicher, organischer Grunddünger angesehen werden. Bezüglich N-Effizienz schneidet er vor allem wegen der hohen, verfahrensbedingten Stallverluste schlechter ab. In Gegenden mit Konzentrationen in der Schweineproduktion und entsprechenden Gewässerschutzproblemen könnte diese Eigenschaft aber zur Entlastung von Nährstoffüberschüssen beitragen. Dank hohem TS-Gehalt ist der Kompost gut transportierbar, womit ein Export in Gebiete mit Nährstoffdefizit einfacher ist als bei Gülle. Die Zwischenlagerung an der Trapezmiete verursacht keine wesentlichen N-Verluste. Dies ist grösstenteils auf die vorgängig lange Aufenthaltszeit im Stall und den darum am Walm nur noch wenig nachklingenden mikrobiologischen Prozesse zurückzuführen. Nicht zu vernachlässigen sind K-Verlagerungen in die oberste Bodenschicht unterhalb des Walms. Ein häufiger Wechsel des Standortes und eine

Nährstoffverfrachtung unter dem Kompostwalm

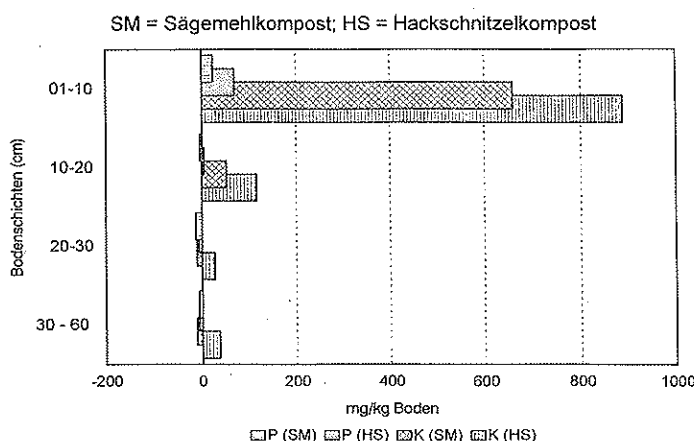


Abb. 4. Nährstofffrachten unter der Trapezmiete nach Bodenschichten und Mietenmaterial.

Nährstoffgehalte Hofdünger im Vergleich

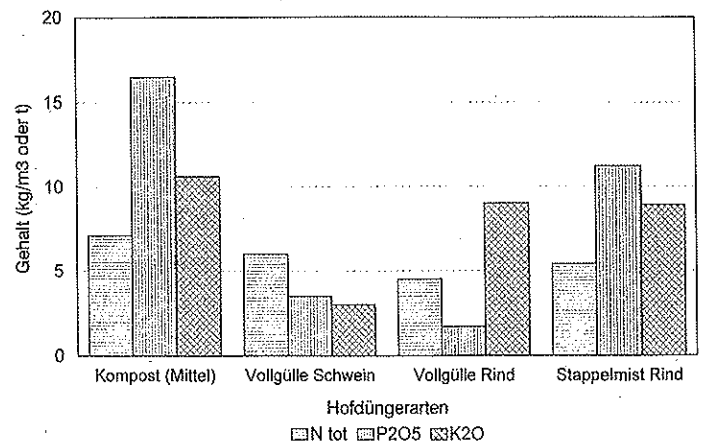


Abb. 5. Nährstoffgehalte in der Frischsubstanz diverser Hofdünger.

Tab. 2. Gehaltswerte diverser Hofdünger gemäss deren Vorbehandlung

Nährstoffwerte in kg pro m ³ oder t	Bezug	TS (%)	P ₂ O ₅	K ₂ O	N _{tot}
Kompost					
Direkt aus Stall (6 Monate belegt)	t	33	6,1	6,8	3,9
Direkt aus Stall (10 Monate belegt)	t	35	11,1	9,4	5,1
Nach 6 Monaten Walmfäuerung (Stall 10 Monate)	t	44	16,5	10,6	7,1
Durchschnitt			11,2	8,9	5,4
Ausgewählte Hofdünger¹⁾					
Vollgülle Schwein (unverdünnt)	m ³	6	3,5	3,0	6,0
Vollgülle Schwein (1:1 verdünnt)	m ³	3	1,8	1,5	3,0
Vollgülle Rind (unverdünnt)	m ³	9	1,7	9,0	4,5
Vollgülle Rind (1:1 verdünnt)	m ³	4,5	0,9	4,5	2,3
Stapelmist Rind	t	19	3,1	7,0	5,0

1) Quelle: Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (Walther et al. 1994).

Tab. 3. Input-/Output-Bilanz im Kompoststall

Total aller Versuchsphasen	Mengen ¹⁾ (kg)	N-Bilanz		P-Bilanz	
		Gehalt (%)	N _{tot} (kg)	Gehalt (%)	P (kg)
Input					
Vormasfütter	83 405 ²⁾	17,6	2345	0,7	543
Ausmasfütter	176 933 ²⁾	14,7	41 57	0,6	1149
Einstreu	75 242	0,0	0	0,0	0
Total			6502		1692
pro Tier ³⁾			4,0		1,0
Output					
Fleisch (= Zuwachs)	96 323 ⁴⁾	2,2	2081	0,5	511
Kompost	111 913 ⁵⁾	1,0	1164	1,0	1116
Total			3245		1627
pro Tier			2,0		1,0
Differenz = Stallverluste	Total		3257		66
Differenz (% von Input)	pro Tier		2,0		0,0
			50,1		3,9

1) Frischsubstanz

4) Stoll (1994)

2) Gehalt = Rohprotein

5) Nach Ausmisten

3) Anzahl Tiere: 1627

Tab. 4. N-Bilanz pro Mastschwein

	Kompoststall		Güllesystem	
	N-tot kg ¹⁾	Verluste ²⁾ %	N-tot kg ¹⁾	Verluste ²⁾ %
Nährstoffe in der Ausscheidung	2,74³⁾		2,80⁴⁾	
- Stallverluste	2,03	74	0,48	17 ⁸⁾
= Nährstoffe nach Ausmisten	0,71 ⁵⁾		2,32	
- Lagerverluste	0,04	5 ⁶⁾	0,20	8 ⁸⁾
= Nährstoffe nach Lagerung	0,67		2,13	
- Feldverluste	0,03	5 ⁷⁾	0,72	34 ⁸⁾
= Nährstoffe nach Ausbringung	0,64		1,41	
Totaler N-Verlust	2,10	77	1,39	50

1) Geltungsbereich: 50 kg Zunahmen; Multiphasenfütterung

2) Verluste in % der jeweiligen Betrachtungsstufe

3) Kalkuliert: Futterinput - Fleischoutput

4) Abgeleitet von Standardwerten (Walther et al. 1994);

5 kg / Mastschwein für 75 kg Zunahme, zirka 15 % N-Überschuss in der Ration

5) Gemäss Wägungen und Analysen des Kompostes

6) Lagerversuch 1993-1994

7) Schätzung

8) Menzi et al. (1997)

anschliessende Bepflanzung ist angezeigt. Zu empfehlen ist ausserdem die direkte Ausbringung auf das Feld, falls dies vom betrieblichen Ablauf her möglich ist.

LITERATUR

Greenstein C.M., 1993. Animal-waste management and emission of ammonia from livestock housing systems: Field studies. Symposium nitrogen flow in pig production. Wageningen.

Hoy St., Müller K. und Willig R., 1994. Zur Ammoniak-Konzentration bei zwei Systemen der Mastschweinehaltung auf Tiefstreu mit Bioaktivator im Vergleich zur Vollspaltenbodenhaltung. *Tierärztliche Umschau* 7.

Menzi H., Frick R., Kaufmann R. und Keck M., 1997. Ammoniak-Emissionen in der Schweiz: Ausmass und technische Beurteilung des Reduktionspotentials. Schriftenreihe (in Bearbeitung), FAL, Rekenholz.

Stoll P., 1994. Parameter für die Berechnung von Nährstoffbilanzen (unveröffentlicht). Eidgenössische Forschungsanstalt, Posieux.

Walther U., Menzi H., Ryser J.-P., Fleisch R., Jeangros B., Kessler W., Maillard A., Siegenthaler A.F. und Vuilloud P.A., 1994. Hofdüngernormen. In «Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau», LBL, Lindau.

RÉSUMÉ

Bilan des éléments nutritifs dans la porcherie d'engraissement à litière profonde biomâtrisée

Les nouveaux systèmes de stabulation pour les animaux doivent offrir des progrès en matière environnementale. L'efficacité concernant l'utilisation de l'azote en est un des principaux critères. Dans la porcherie à litière profonde biomâtrisée, les animaux sont gardés sur une litière de sciure profonde de 50 cm. Tout comme dans le compostage, la litière est remuée mécaniquement à intervalles réguliers. Les pertes d'azote par volatilisation se produisant dans la porcherie ont été déterminées à l'aide d'un bilan des intrants et des sortants. Afin d'évaluer les transferts d'éléments nutritifs au-dessous de l'andain servant de dépôt intermédiaire, des échantillons ont été prélevés dans différentes couches du sol. Le lessivage d'azote depuis l'andain s'est avéré faible. Les émissions d'azote mesurées dans la porcherie étaient, par contre, notables. Pour cette raison, les pertes d'azote totales - dans la porcherie, lors du stockage et de l'épandage - sont nettement plus élevées pour la litière profonde biomâtrisée (2,1 kg/animal) que pour les systèmes à lisier (1,4 kg/animal).

SUMMARY

Nutrient balance in the biobed system for fattening pigs

New animal housing systems must offer some improvement in terms of environmental friendliness. One of the key criteria is the efficiency as regards the use of nitrogen. In the biobed system the pigs are housed on a 50 cm deep sawdust bed. Like in composting, the bedding is turned mechanically at regular intervals. N volatilisation in the pig house was determined by means of an input-output balance. Soil samples were taken from different layers to assess the translocation of nutrients underneath the windrow used for intermediate storage. N leaching from the windrow was found to be negligible. N emissions in the pig house, however, were considerable. Therefore, total nitrogen loss (pig house, storage and spreading) is markedly higher in the biobed system (2.1 kg/animal) than in slurry-producing systems (1.4 kg/animal).

KEY WORDS: deep litter, pig housing system, sawdust, nutrient balance