

# Zur Frage der Unterflursicherung nichtstationärer Stallmistzwischenlagerung mit Bentonit oder Stroh

Thomas Dewes, Andreas Petersen und Liliane Schmitt

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Fachgebiet Ökologischer Landbau, Holzkoppelweg 2, D-24118 Kiel

Angenommen: 7. Januar 1996

## Zusammenfassung – Summary

An einem über das Winterhalbjahr 93/94 eingerichteten Zwischenlager aus Rindermist wurde die Eignung von Bentonit und Stroh zur Sicherung des Bodens vor eindringenden Stofffrachten geprüft. Während der 185tägigen Lagerung sickerten 250 g N<sub>i</sub> (davon 68% als NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) und 695 g K<sup>+</sup>/m<sup>3</sup> Mist aus. Diese Stofffrachten drangen in den Boden ein, wobei im Bodenwasser mit zunehmender Tiefe abnehmende NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N und K<sup>+</sup>-Konzentrationen, aber zunehmende, jedoch unbedenkliche NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-Konzentrationen festgestellt wurden. Unter den mit Bentonit gesicherten Prüfgliedern waren die NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N- und K<sup>+</sup>-Konzentrationen im Bodenwasser immer deutlich geringer als unter den Prüfgliedern mit Stroh bzw. unter denen ohne Unterflursicherung. Beide Kationen wurden in hohem Maße in der Bentonit-Schicht sorbiert, was günstige Voraussetzungen für deren Rückführung in den Betriebskreislauf bot. Im Boden unter der Stroh-Schicht war vor allem der N<sub>min</sub>-Gehalt vermindert. Dies könnte durch eine mikrobielle Rückbindung von Stickstoff aufgrund des hohen C-Angebotes erklärt werden.

## On the Problem of Protecting the Base Area beneath intermediate manure Storage Piles on Non-Permanent Sites with Bentonite or Straw

The suitability of bentonite and straw as materials for protecting the soil against the infiltration of leached nutrients was tested on an intermediate storage pile of cattle manure established during the winter months of 93/94. During the 185-day storage period, 205 g of N<sub>i</sub> (68% in the form of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) and 695 g K<sup>+</sup>/m<sup>3</sup> were leached out of the manure. These nutrients seeped away into the soil, but with increasing depth, the concentrations of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N and K<sup>+</sup> in the soil water dropped while those of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> rose not to harmful levels. Under the test piles whose base areas had been protected with bentonite, the concentrations of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N and K<sup>+</sup> in the soil water were in all cases significantly lower than under the test piles with straw base or no base protection. Both cations were to a large degree absorbed by the bentonite layer, and thus were readily available for recycling. The N<sub>min</sub> content in particular was reduced in the soil beneath the straw layer. One possible explanation for this fact is that nitrogen was reincorporated by microorganisms due to the plentiful supply of carbon.

## 1 Einleitung

Stallmist wird vor seiner Verwendung als Düngemittel häufig am Feldrand gelagert, weil in beengten Hoflagen die Kapazität hierzu nicht ausreicht, in der Nähe von Siedlungen Geruchsbelastungen beanstandet werden, oder sein Transport zu hoffernen, später zu düngenden Schlägen außerhalb von Arbeitsspitzen abgewickelt werden soll. Darüber hinaus werden Stallmistmieten im Feld aber auch angelegt, um eine Rotte einzuleiten und damit den Düngewert des Materials zu beeinflussen. Obwohl also die Gründe für das Einrichten von Stallmistzwischenlagern verschieden sein können, ist ihnen gemeinsam, daß sie sich außerhalb dafür vorgesehener Anlagen, also auf unbefestigtem Boden befinden, in den dann austretender Mistsickersaft eindringen kann. Dies führt häufig zu Kritik und aufgrund der bestehenden Rechtslage (insb. §34 Wasserhaushaltsgesetz [Reinhaltung von Gewässern], §324 Strafgesetzbuch [Bodenverunreinigung] sowie §326 Strafgesetzbuch [Umweltgefährdende Abfallbeseitigung]) auch zu Gerichtsverfahren. Befürchtet wird, daß austretender Mistsickersaft nach Art, Menge und Beschaffenheit geeignet sein könnte, den Boden oder das Grundwasser zu verunreinigen oder diese in anderer Weise zu verändern.

Zur Bildung von Mistsickersaft kommt es durch Druck (Preßwasser), Abbau organischer Substanz (Prozeßwasser) und Niederschlag (*Glathe* und *v. Metzzen*, 1937; *Dewes et al.*, 1991), wobei Menge und Zusammensetzung der austretenden Flüssigkeit in weiten Grenzen streuen. Im Boden unter Stallmistzwischenlagern werden erhöhte N<sub>min</sub>- und K<sup>+</sup>-Gehalte, jedoch meist nur geringfügig und nicht gesichert erhöhte N<sub>i</sub>-Gehalte gefunden (vgl. *Berner*, 1990; *Dewes et al.*, 1993; *Falter* und *Köpke*, 1992). Dennoch ist eher unwahrscheinlich, daß Stallmistzwischenlager maßgeblich zur NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Befrachtung des Grundwassers beitragen, denn abgesehen von dem außerordentlich geringen Flächendeckungsgrad, den sie einnehmen, enthält der aus ihnen austretende Mistsickersaft kaum NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, sondern überwiegend NH<sub>4</sub><sup>+</sup> und N<sub>org</sub> (*Dewes et al.*, 1991), deren Mineralisierung bzw. Nitrifikation auch nach Abräumen des Mistes nur sehr langsam und keinesfalls quantitativ verlaufen (*Dewes et al.*, 1993). Darüber hinaus wird das wenige, dabei gebildete NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kaum verlagert, weil die Infiltrationsrate unter Stallmistzwischenlagern deutlich herabgesetzt ist (*v. Wistinghausen*, 1989; *Dewes et al.*, 1993). Im Hinblick auf die sickersaftbedingten K<sup>+</sup>-Verluste konstatierten *Nolte* und *Werner* (1994), daß diese bei Betrieben, deren Düngeregime auf Stallmist basiert, die

Tabelle 1: Übersicht über die eingesetzten analytischen Verfahren.

Table 1: Overview of the individual analytical methods used.

	Mistsickersaft	Bodenwasser	Boden
$N_i$	<i>Bremner &amp; Mulvaney</i> (1982)	-----	<i>Bremner &amp; Mulvaney</i> (1982)
$N_{org}$	$N_{org} = N_i - N_{min}$	-----	$N_{org} = N_i - N_{min}$
$N_{min}$			
$NH_4^+$	<i>Bremner</i> (1965)	<i>Weatherburn</i> (1967)	<i>Kandeler</i> (1993)
$NO_3^-$	<i>Dewes &amp; Schmitt</i> (1990)	<i>Dewes &amp; Schmitt</i> (1990), modifiziert	<i>Schmitt</i> (1992), modifiziert
$K^+$	<i>VDLUFA</i> (1973)	<i>VDLUFA</i> (1973)	<i>VDLUFA</i> (1973)

maßgebliche Verlustquelle für  $K^+$  darstellen, und daß sie um etwa 85% reduziert werden könnten, wenn das Austreten von Sickersaft verhindert oder die Stofffracht recycelt würde. Hier wird deutlich, daß es nicht nur aus Gründen des vorbeugenden Gewässerschutzes, sondern auch aufgrund wirtschaftlicher Überlegungen sinnvoll wäre, die sickersaftbürtigen Stofffrachten durch geeignete Unterflursicherungen im Immissionsbereich zu halten und damit einer Rückführung in den Nährstoffkreislauf des Betriebes zugänglich zu machen. Dies kann mit betonierten Mistplatten erreicht werden, die allerdings den Boden versiegeln, zur stationären Lagerung zwingen, eine flexible Kapazitätsanpassung weitgehend ausschließen und in erheblichem Umfang Kapital binden.

Diese Nachteile eines ansonsten zuverlässigen Verfahrens gaben den Ausschlag zu prüfen, ob statt dessen semipermeable, temporär installierte Unterflursicherungen aus Bentonit oder Stroh in Frage kommen. Bentonit ist ein Ton, dessen Eigenschaften durch das in der Hauptsache in ihm enthaltene Dreischichtsilikat Montmorillonit bestimmt werden. Insbesondere die hohe Kationenaustauschkapazität von etwa 70 mmol/100 g lassen Bentonit für den hier diskutierten Zweck geeignet erscheinen. Im Unterschied dazu kann von Stroh erwartet werden, daß es die anfallende Flüssigkeit ganz oder teilweise bindet, wobei sein Wasseraufnahmevermögen maßgeblich von der Art der Konfektionierung abhängt (vgl. *Matthias*, 1992). Darüber hinaus stellt Stroh aufgrund seines weiten C:N-Verhältnisses von 100–150:1 eine Kohlenstoffquelle dar, die der heterotrophen Mikroflora zur Rückbindung des im Sickersaft mitgeführten Ammoniums vorgelegt werden kann.

## 2 Material und Methoden

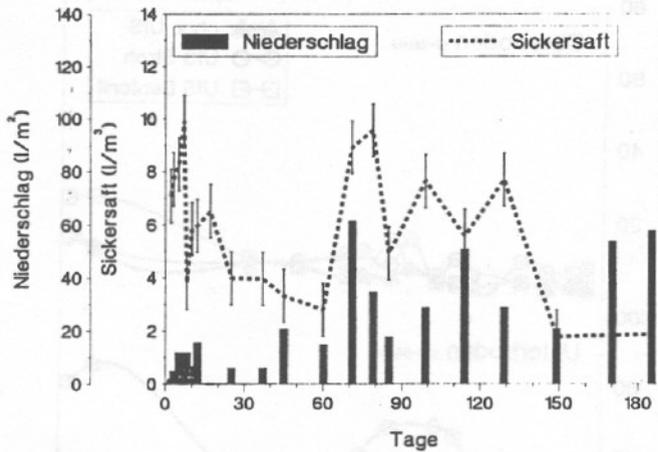
An einem Standort der Bodenart IS (Ton/Schluff/Sand: 8,4/17,4/74,2 Gew.-%;  $d_B = 1,54 \text{ g/cm}^3$ ; gesättigte Wasserleitfähigkeit in 5–10 cm Bodentiefe  $k_r = 48 \text{ cm/d}$ ) wurde ein Stallmistzwischenlager mit zufallsverteilt zugeordneten Unterflursicherungen (UfS) entweder aus einer verdichteten Lage Stroh vom Rundballen (UfS Stroh) oder aus Ben-

tonit (UfS Bentonit) eingerichtet. Bei letzterem handelte es sich um einen Montmorillonit-Ton (Süd-Chemie AG, München), bei dem  $Ca^{2+}$ -Ionen durch  $Na^+$ -Ionen substituiert wurden, um die Quellfähigkeit zu erhöhen. Dieses Material wurde in einer Aufwandmenge von  $9 \text{ kg/m}^2$  mit der Fräse ca. 20 cm tief in den Boden eingearbeitet. Eine weitere Variante blieb ungesichert (ohne UfS). Jedes Prüfglied nahm eine Grundfläche von  $3 \times 2,5 \text{ m}$  in Anspruch und war in 3facher Wiederholung angelegt. Auf dem so vorbereiteten Boden wurde eine anfangs 1,5 m hohe Walmenmiete aus Rindermist (19,2% TM, 8,6% C, 0,51%  $N_i$ , 0,53%  $K_2O$ ) mit dem Miststreuer aufgesetzt. Pfannenlysimeter dienten der Ermittlung von Sickersaftmenge und Stofffracht. Nach Aufsetzen der Miete wurden seitlich unter jedes Prüfglied in zwei Bodentiefen je 2 keramische Saugkerzen getrieben, wobei die erwünschte Solltiefe trotz Zuhilfenahme einer Justiervorrichtung nur annähernd getroffen wurde. Diese Ungenauigkeit konnte zugunsten ungestörter Bodenprofile in Kauf genommen werden, da zum Abschluß der Untersuchungen die Profile geöffnet, und die exakte Position der Kerzen nachträglich bestimmt wurde. Dabei zeigte sich, daß sich die flach eingesetzten Kerzen in 5–28 cm (Oberboden), die tieferen in 39–56 cm Bodentiefe (Unterboden) befanden.

In anfangs kurzen, später längeren Abständen wurde sowohl Mistsickersaft als auch Bodenporenwasser (letzteres mit einer max. Saugspannung von 85 kPa) entnommen und bis zur Analyse tiefgefroren. Der Mist lagerte vom 4. 10. 93 bis zum 7. 4. 94 (185 Tage). Nachdem er abgeräumt war, wurden unter jedem Prüfglied und zum Vergleich auch im benachbarten Feldbereich Bodenproben aus 0–5/5–10/10–30/30–60 cm Tiefe gezogen. Die analytischen Verfahren, denen Mistsickersaft, Bodenporenwasser und Boden unterzogen wurden, sind in Tab. 1 zusammengefaßt. Für die jeweiligen Ergebnisse wurden, sofern der Varianzquotiententest signifikante Mittelwertunterschiede auswies, Grenzvariationsbreiten zum Zwecke der Mittelwertvergleiche errechnet. Mittelwerte, die sich mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% oder darunter voneinander unterscheiden, gelten als gesichert verschieden.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

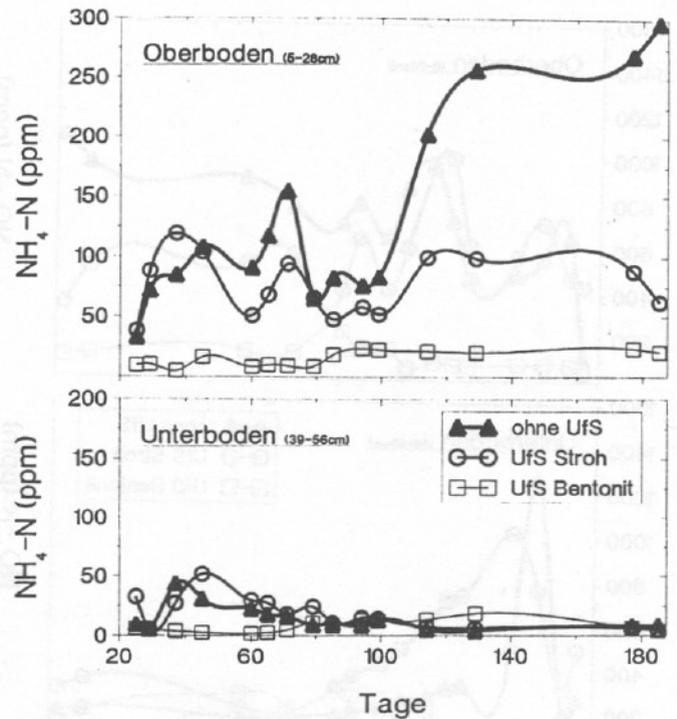
Während der 185tägigen Mistlagerung traten  $117 \text{ l}$  Sickersaft/ $\text{m}^3$  Mist aus, die  $205 \text{ g } N_i/\text{m}^3$  und  $695 \text{ g } K^+/\text{m}^3$  mitführten. In früheren Untersuchungen, ebenfalls an einem Zwischenlager von Rindermist, wurde während einer ähnlich langen Zeit mit  $117 \text{ l/m}^3$  zwar dieselbe Sickersaftmenge, aber mit  $119 \text{ g } N_i/\text{m}^3$  ein deutlich geringerer Stickstoffaustrag ermittelt (*Dewes et al.*, 1991); die  $K^+$ -Fracht wurde seinerzeit nicht erfaßt. Übereinstim-



**Abbildung 1:** Niederschlag und Sickersaftanfall während einer 185-tägigen Lagerung (4.10.93–7.4.94) von Rindermist.  
**Figure 1:** Precipitation as well as the amount of leaching during storage of cattle manure for 185 days (04/10/93 to 07/04/94).

mend mit dem damaligen Befund, stand auch hier die Menge anfallenden Sickersaftes nur zu späteren Rottestadien in Beziehung zur gefallenem Niederschlagsmenge (Abb. 1). Auch konnte noch einmal bestätigt werden, daß der größte Teil der Stickstofffracht als  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  (68% des N) vorliegt, und daß die Nährstoff-Konzentration von Mistsickersaft mit fortschreitender Rotte abnimmt. Im hier vorgestellten Fall waren nach 25 Tagen (14% der gesamten Lagerzeit) bereits 61% der  $\text{N}_T$ -Fracht, 58% der  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ -Fracht und 51% der  $\text{K}^+$ -Fracht angefallen.

Wenige Tage nach Einrichten des Mistplatzes trat bei UfS Stroh seitlich an der Mietensohle Sickersaft aus. Offenbar hatte das wenig gesplissene und zu dieser Zeit sicherlich noch kaum mikrobiell angegriffene, eher hydrophobe Stroh mehr eine dränende als eine wasseraufnehmende Wirkung. Bei den Prüfgliedern ohne UfS wurde demgegenüber ein wesentlich geringerer und bei denen mit UfS Bentonit gar kein seitlicher Sickersaftaustritt festgestellt. Am 25. Tag konnte dann das erste Bodenwasser gewonnen werden. Im Unterbodenwasser wurden im Vergleich zum Oberbodenwasser unter allen Prüfgliedern durchgängig niedrigere Konzentrationen an  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  (gesichert an 10 von 15 Meßterminen) und meist niedrigere Konzentrationen an  $\text{K}^+$  (gesichert an 4 von 15 Terminen) festgestellt. Die  $\text{NO}_3^-$ -N-Konzentrationen wiesen dagegen ausnahmslos einen umgekehrten Gradienten auf, waren also unten höher als oben (gesichert an 7 von 15 Terminen). Die Wirkungen der verschiedenen Unterflursicherungen verdeutlichen die Abbildungen 2–4. Dort ist zu erkennen, daß sowohl die  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ - als auch die  $\text{K}^+$ -Konzentration im Oberbodenwasser unter den Prüfgliedern ohne UfS stärker zunahm als unter denen mit UfS Stroh und unter diesen wiederum stärker als unter UfS Bentonit. Die im Oberbodenwasser maximal erreichten  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ -Konzentrationen betragen bei UfS Bentonit 24 ppm (94. Tag), bei UfS Stroh 119 ppm (37. Tag) und ohne UfS 297 ppm (185. Tag, vgl. Abb. 2, oben). Die



**Abbildung 2:** Zeitlicher Verlauf der  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ -Konzentrationen im Bodenwasser unter Stallmistzwischenlagern mit unterschiedlichen Unterflursicherungen.  
**Figure 2:** Time course of the  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  concentration in the soil water beneath intermediate manure storage piles with different types of base protection.

entsprechenden  $\text{K}^+$ -Konzentrationen betragen bei UfS Bentonit 222 ppm (99. Tag), bei UfS Stroh 1002 ppm (65. Tag) und ohne UfS 1088 ppm (185. Tag, vgl. Abb. 3, oben). Im Unterbodenwasser waren die  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ -Konzentrationen durchgängig, die  $\text{K}^+$ -Konzentrationen dagegen nur nach längerer Lagerzeit geringer; Austräge aus dem oberen Bodenbereich fanden also im Falle von  $\text{NH}_4^+$  nur in geringem (vgl. Dewes et al., 1993), aber im Falle von  $\text{K}^+$  durchaus in größerem Maße statt (vgl. Dewes und Schmitt, 1994). Besonders hervorzuheben ist, daß die Konzentration beider Kationen unter UfS Bentonit im Unterbodenwasser auch dann niedrig blieb, wenn bei den anderen Prüfgliedern Peaks auftraten. Dies steht in Zusammenhang mit den unter diesem Prüfglied festgestellten niedrigen  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ - und  $\text{K}^+$ -Konzentrationen im Oberbodenwasser und ist Ausdruck der hohen Sorptionsfähigkeit von Bentonit für  $\text{NH}_4^+$  und  $\text{K}^+$ . Bei UfS Stroh und ohne UfS war auffallend, daß die  $\text{K}^+$ -Konzentration im Unterbodenwasser bald nachdem ein Peak erreicht war wieder abnahm, obwohl sie im Oberbodenwasser weiterhin hoch blieb. Ähnliches gilt – jedoch weit weniger ausgeprägt – auch für  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ . In beiden Fällen könnte dies unter Bezug auf die Erfahrungen von v. Wistinghausen (1989) und Dewes et al. (1993) mit einem allmählich zurückgehenden Infiltrationsvermögen zu erklären sein, das möglicherweise die Folge einer Verblockung des Porenraumes mit Schleimstoffen war. Unter solchen Vorausset-

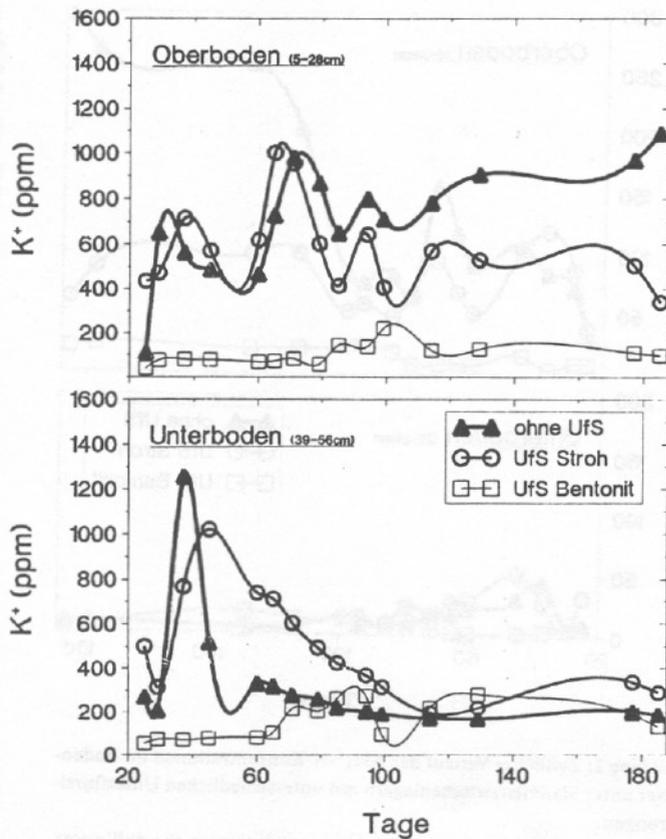


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf der  $K^+$ -Konzentrationen im Bodenwasser unter Stallmizwischenlagern mit unterschiedlichen Unterflursicherungen.

Figure 3: Time course of the  $K^+$  concentration in the soil water beneath intermediate manure storage piles with different types of base protection.

zungen wäre es denkbar, daß die Verlagerung der betreffenden Stofffracht in die Tiefe mit der Zeit nachgelassen hatte, und daß lateraler Wasserfluß dann nachfolgend die im Unterboden zunächst akkumulierten  $NH_4^+$ - und  $K^+$ -Frachten wieder abtransportierte. Darüber hinaus kann die Abnahme der  $NH_4^+$ -N-Konzentration aufgrund der vorliegenden Ergebnisse aber auch durch mikrobielle Oxidation erklärt werden (vgl. Abb. 4), denn sowohl unter UfS Stroh als auch unter den Prüfgliedern ohne UfS nahm die  $NO_3^-$ -N-Konzentration im Unterbodenwasser mit der Zeit zu, ohne daß darüber, also im Oberbodenwasser, zuvor ähnlich hohe Werte gemessen worden wären. Es ist also weniger von  $NO_3^-$ -Verlagerung, als vielmehr von Nitrifikation auszugehen, die sich zudem offenbar quantitativ vollzog, wie ein Vergleich der Größenordnungen zwischen den  $NH_4^+$ -N- und den  $NO_3^-$ -N-Konzentrationen im Unterbodenwasser unter den betreffenden Prüfgliedern zeigt (Abb. 3 und 4, unten).

Die maximalen  $NO_3^-$ -N-Konzentrationen wurden in allen Fällen im Unterbodenwasser, und zwar 177 Tage nach Einrichtung des Stallmizwischenlagers erreicht. Sie betragen bei den Prüfgliedern ohne UfS im Mittel 46 ppm, bei denen mit UfS Stroh 84 ppm und bei denen mit UfS

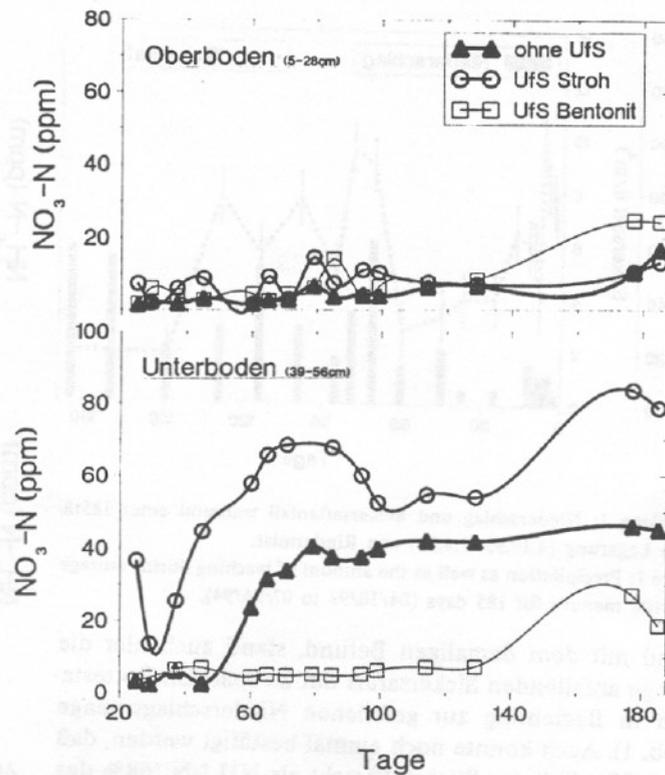


Abbildung 4: Zeitlicher Verlauf der  $NO_3^-$ -N-Konzentrationen im Bodenwasser unter Stallmizwischenlagern mit unterschiedlichen Unterflursicherungen.

Figure 4: Time course of the  $NO_3^-$ -N concentration in the soil water beneath intermediate manure storage piles with different types of base protection.

Bentonit 27 ppm. Zum Vergleich sei angeführt, daß beispielsweise *Strebel und Renger (1982)* im Sickerwasser unter Acker zu ähnlicher Jahreszeit bis zu 73 ppm  $NO_3^-$ -N feststellten. Die  $NO_3^-$ -N-Konzentration im Bodenwasser lag also hier, unmittelbar unter den kleinräumig begrenzten Stallmizwischenlagern meist, und nach Einbringen von UfS Bentonit durchgängig darunter. Allerdings steht die absolute Höhe der unter Stallmizwischenlagern zu messenden Ionen-Konzentrationen immer in Beziehung zu denjenigen, die am betreffenden Standort gegeben sind. Im hier diskutierten Fall befand sich das Zwischenlager auf einer Grünbrache, was außerordentlich niedrige Konzentrationen an  $NO_3^-$ -N (Oberboden: 0,9–4,6 ppm, Unterboden: 1,4–5,1 ppm) und  $NH_4^+$ -N (Oberboden: <0,01–1,6 ppm, Unterboden: <0,01–0,7 ppm) im Bodenwasser begründete, so daß durch die zusätzlichen Stoffausträge mit Sickersaft nicht die Größenordnung an  $N_{min}$  überschritten wurde, wie sie ansonsten auch bei landwirtschaftlicher Nutzung gegeben sein kann.

Nach 185 Tagen wurde das Stallmizwischenlager abgeräumt und die unter den einzelnen Prüfgliedern befindlichen Bodenprofile geöffnet. Ein Vergleich der Verhältnisse unter den Prüfgliedern ohne UfS mit denen im benachbarten Feldbereich ergab dann, daß der  $N_i$ -Gehalt im Boden in 0–60 cm Tiefe auf etwa das 1–3fache, der  $NH_4^+$ -

Tabelle 2:  $N_i$ -,  $NH_4^+$ -N-,  $NO_3^-$ -N- und  $K^+$ -Gehalte (mg/100 g) im Bodenprofil nach 185tägiger Stallmistlagerung und im benachbarten Feldbereich, sowie Veränderungen (%) derselben durch Unterflursicherungen aus Stroh oder Bentonit (ohne Unterflursicherung = 100%).

Table 2:  $N_i$ -,  $NH_4^+$ -N-,  $NO_3^-$ -N and  $K^+$  contents (mg/100 g) in the soil profile, and also in the surrounding area, after 185 days of storing stable manure, as well as changes (%) in these contents when straw or bentonite is used to protect the base areas beneath the manure piles (value for unprotected base area = 100%).

Tiefe (cm)		benachbarter Feldbereich (mg/100 g)	ohne UFS (mg/100 g)	UFS Bentonit (%)	UFS Stroh (%)
0-5	$N_i$	86,3	101,8	127,5	99,7
	$NH_4^+$ -N	0,10	16,1	172,9	76,2
	$NO_3^-$ -N	0,07	0,16	75,0	50,0
	$K^+$	110,2	212,1	102,1	92,0
5-10	$N_i$	82,2	103,5	99,2	94,7
	$NH_4^+$ -N	0,05	10,9	157,5	79,4
	$NO_3^-$ -N	0,06	0,12	108,3	50,0
	$K^+$	111,1	157,1	108,2	92,6
10-30	$N_i$	64,1	81,2	113,8	110,4
	$NH_4^+$ -N	0,04	1,49	215,4	45,6
	$NO_3^-$ -N	0,04	0,28	157,1	117,9
	$K^+$	102,7	108,7	117,4	96,5
30-60	$N_i$	19,3	55,6	69,8	57,8
	$NH_4^+$ -N	0,04	0,27	18,5	14,8
	$NO_3^-$ -N	0,04	0,22	72,7	95,5
	$K^+$	110,7	113,4	89,6	76,4

N-Gehalt auf das 7–218fache, der  $NO_3^-$ -N-Gehalt auf das 2–7fache und der  $K^+$ -Gehalt auf das 1–2fache angestiegen war (vgl. Tab. 2). Die größten Unterschiede zwischen dem Bodenbereich unter und neben dem Stallmistzwischenlager bestanden also im  $NH_4^+$ -N-Gehalt, was nicht nur damit zusammenhängt, daß unverhältnismäßig hohe  $NH_4^+$ -Frachten ausgesickert waren, sondern auch damit, daß  $NH_4^+$ -N in den als Referenz herangezogenen Feldbereichen aufgrund besserer Bedingungen zur Nitrifikation nur in sehr geringem Maße vorhanden war. Insgesamt war festzustellen, daß die sickersaftbürtigen Nährstofffrachten bereits ohne Unterflursicherungen in hohem Maße im Immissionsbereich, d. h. im eng begrenzten Oberboden (0–10 cm) retardierten. Dies gilt vor allem für  $NH_4^+$ -N und  $K^+$  und entspricht insoweit den bisherigen Erfahrungen (vgl. Dewes et al., 1993; Dewes und Schmitt, 1994). Der Vergleich mit dem benachbarten Feldbereich macht allerdings deutlich, daß eine gewisse Verlagerung von N-Verbindungen stattgefunden hatte. So wurden im unteren Bodenprofil, wie schon im Bodenwasser während der vorausgegangenen Stallmistlagerung, höhere  $NO_3^-$ -N-Gehalte gefunden als oben, wobei jedoch die absolute Größenordnung insgesamt so gering blieb, daß darin kein besonderes Gefahrenpotential gesehen werden kann. UFS Stroh führte im Vergleich zu den Prüfgliedern ohne UFS zu marginal geringeren  $N_i$ - und  $K^+$ -, sowie zu meist deutlich und gesichert geringeren  $NH_4^+$ -N- und  $NO_3^-$ -N-Gehalten. Beides wäre mit der Annahme zu erklären, daß ein Teil des Sickersaftes vom Stroh gebunden, d. h. also

bereits oberhalb der Bodenoberfläche zurückgehalten wurde und im übrigen dort das erhöhte C-Angebot zu einer gewissen mikrobiellen Rückbindung von  $N_{min}$  geführt hatte. Welchen Anteil die nach dem Einrichten des Zwischenlagers beobachteten seitlichen Sickersaftabflüsse und möglicherweise auch Auswaschung am Zustandekommen dieser Ergebnisse hatten, konnte nicht bestimmt werden. Abweichend von Sciborski und Zimmermann (1989) führt eine Zusammenschau aller Resultate hier dennoch nicht dazu, Stroh zur Unterflursicherung von Stallmistmieten zu empfehlen. Der arbeitstechnische Aufwand ist zu groß, als daß er durch den geringen Rückhalt von  $N_i$  und  $K^+$  zu rechtfertigen wäre. Vor allem schlägt aber nachteilig zu Buche, daß die  $NO_3^-$ -N-Gehalte im Unterbodenwasser unter UFS Stroh die höchsten überhaupt waren. Anders verhielt es sich unter UFS Bentonit. Hier waren die während der Stallmistlagerung im Bodenwasser gemessenen  $NH_4^+$ - und  $K^+$ -Konzentrationen deutlich vermindert, nach Abräumen des Lagers im Boden selbst dann aber bis in eine Tiefe von 30 cm erhöht (Bentonit wurde bis auf ca. 20 cm eingearbeitet). Beide Befunde ergänzen sich komplementär und machen deutlich, daß Bentonit als Filter gewirkt hat. Dabei wurde  $NH_4^+$  anteilig stärker zurückgehalten als  $K^+$ . Überschlägig berechnet ist mit dem Sickersaft eine  $NH_4^+$ -Fracht von 11 mol/m<sup>2</sup> und eine  $K^+$ -Fracht von 19 mol/m<sup>2</sup> am Mietengrund angefallen, die zusammen ca. 85% der gesamten Kationenfracht ausgemacht haben dürften (vgl. Diederichsen, 1977). Nach Schleuß (1992) kann bei Böden, die mit dem hier zugrunde liegenden Standort vergleichbar sind, mit einer Kationenaustauschkapazität von umgerechnet etwa 25–30 mol/m<sup>2</sup> (bezogen auf eine Mächtigkeit von 20 cm) gerechnet werden. Kationenfrachten, die diese Austauschkapazität übersteigen (hier in der Größenordnung von 5–10 mol/m<sup>2</sup>), werden in die Tiefe verlagert. Um sie im Immissionsbereich zu halten, wäre überschlägig berechnet, Bentonit in einer Aufwandmenge von 7–14 kg/m<sup>2</sup> erforderlich. Die bei UFS Bentonit eingesetzte Menge betrug 9 kg/m<sup>2</sup>; es ist zu erwarten, daß mit höheren Mengen auch ein weitergehender Rückhalt der im Mistsickersaft mitgeführten Kationenfrachten, vor allem von  $K^+$ , erreicht werden kann.

## Danksagung

Diese Arbeit profitierte von der finanziellen Förderung des Fachgebietes Ökologischer Landbau der Universität Kiel durch die EDEN-Stiftung in Bad Soden, wofür die Autoren herzlich danken. Dank gebührt auch der Süd-Chemie AG in München für die Bereitstellung von Bentonit.

## Literatur

- Berner, A. (1990): Composting – environmental effect of leachates, in Dijkma, A., E. Nikiema, D. Lairon and P. Ott: Agricultural alternatives and nutritional self-sufficiency. Proc. 7th Int. Sci. Conf. of IFOAM, Ouagadougou, 307–316.

- Bremner, J. M. (1965): Inorganic forms of nitrogen, in Black, C. A. (ed.): Methods of soil analysis II. Am. Soc. of Agron., Inc., Madison, Wisconsin, 1149–1178.
- Bremner, J. M. and C. S. Mulvaney (1982): Nitrogen – Total, in Page, A. L. (ed.): Methods of soil analysis II. Am. Soc. of Agron., Inc., Madison, Wisconsin, 595–624.
- Dewes, T., E. Ahrens und O. Willing (1991): Sickersaft-Austrag und Stickstoff-Fracht aus Mistmieten. *J. Agronomy & Crop Science* 166, 145–151.
- Dewes, T., E. Ahrens und C. Koch (1993): Stickstoff-Eintrag und -Verbleib im Boden unter offenen und abgedeckten Mistmieten, *J. Agronomy & Crop Science* 170, 73–83.
- Dewes, T. und L. Schmitt (1990): Nitrat-Bestimmung in Mist-Sickersaft mittels UV-Absorption. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 153, 365–367.
- Dewes, T. und L. Schmitt (1994): Deposition von Stickstoff und Kalium aus Stallmiststapeln in Böden unter langjährig genutzten Mistplätzen. *Agribiol. Res.* 47(2), 115–123.
- Diederichsen, H. (1977): Untersuchungen zum Wasserverbrauch und Abwasseranfall sowie zu tierhaltungsbedingten Sickersäften auf zwei ostholsteinischen Betrieben. Dissertation, Universität Kiel.
- Falter, H. H. und U. Köpke (1992): Composting plant of Wiesengut experimental farm: Determination of nutrient losses during storage of farmyard manures. *Proc. 9th Int. Sci. Conf. of IFOAM, Sao Paulo*, 38.
- Glathe, H. und O. v. Metzén (1937): Vergleichende Stalldüngerlagerungsversuche. *Z. Bodenkd. Pflanzenernähr.* 5, 192–208.
- Kandeler, E. (1993): Bestimmung von Ammonium, in Schinner, F., R. Öhlinger, E. Kandeler und R. Margesin (Hrsg.): *Bodenbiologische Arbeitsmethoden*. 2. Aufl., Springer Verlag, Berlin, 366–368.
- Matthias, J. (1992): Mechanische Aufbereitung als Mittel zur Verbesserung der Kompostierbarkeit pflanzlicher Reststoffe. Dissertation, Universität Göttingen.
- Nolte, C. and W. Werner (1994): Investigations on the nutrient cycle and its components of a biodynamically-managed farm. *Biol. Agriculture and Horticulture*. 10, 235–254.
- Schleuß, U. (1992): Böden und Bodenschichten einer Norddeutschen Moränenlandschaft – Ökologische Eigenschaften, Vergesellschaftung und Funktionen der Böden im Bereich der Bornhöveder Senkette. *EcoSys Beiträge zur Ökosystemforschung*, Suppl. Bd. 2.
- Schmitt, L. (1992): N-Mineralisierung verschiedener Böden bei aerober Inkubation in Abhängigkeit von mineralischen und organischen Düngemitteln unter besonderer Berücksichtigung möglicher Priming-Effekte. Dissertation, Universität Giessen. Wiss. Fachverlag P. Fleck, Niederkleen.
- Sciborski, J. und K.-H. Zimmerman (1989): Stallungswirtschaft und Festmistbereitung unter Berücksichtigung chemisch-analytischer, düngewirtschaftlicher und technologischer Gesichtspunkte. Dissertation, Universität Potsdam.
- Strelbel, O. and M. Renger (1982): Field measurements on solute load transported from unsaturated sandy soils to the groundwater beneath arable land, grassland and coniferous forest, in *Int. Ass. of Hydrogeologists (Eds.): Proc. Int. Symp. on Impact of Agricultural Activity on Ground Water. Memoires Vol. XVI, part. 1, Prague*, 347–357.
- VDLUFA (Hrsg., 1973): *Die Untersuchung von Düngemitteln, Methodenbuch II*. Verlag Neumann, Melsungen.
- Weatherburn, M. W. (1967): Phenol-Hypochlorite Reaction for determination of Ammonia. *Analytical Chemistry* 39(8), 971–974.
- Wistinghausen, E. V. (1989): Untersuchungen zur Belastung von Grundwasser durch Nitrataustrag aus Stallmistkompost auf unbefestigtem Boden, in *Ministerium für ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Baden-Württemberg (Hrsg.): Informationen für die Landwirtschaftsberatung in Baden-Württemberg* 8, 3–40.