

## **Unvermeidbare NH<sub>3</sub>-Emissionen aus mineralischer Düngung (Harnstoff) und Pflanzenmulch unter Verwendung einer modifizierten Messtechnik**

A. Weber, R. Gutser, U. Schmidhalter<sup>32</sup> und G. Henkelmann<sup>33</sup>

### **Einleitung**

Nachhaltige Landwirtschaft verlangt neben der Schonung natürlicher Ressourcen auch eine Verminderung der Umweltbelastungen. Dies trifft insbesondere für die Emission N-haltiger Spurengase in die Atmosphäre zu. Besondere Bedeutung kommt hierbei der Minimierung von NH<sub>3</sub>-Emissionen zu. Dieses Schadgas stellt einen wesentlichen N-Verlust für die landwirtschaftliche Produktion dar und ist mitverantwortlich für die Versauerung und Eutrophierung naturnaher Ökosysteme.

Die Hauptmenge des emittierten NH<sub>3</sub> stammt aus der Landwirtschaft und hier zu nahezu 90 % aus der Tierproduktion. Die NH<sub>3</sub>-Verluste treten bereits im Stall und während der Lagerung der tierischen Exkremente auf und können bei nicht sachgemäßer Applikationstechnik auf die landwirtschaftlichen Flächen hohe Emissionsraten erreichen.

Innerhalb der mineralischen Düngemittel wird insbesondere dem Harnstoff ein hohes NH<sub>3</sub>-Verlustpotential zugeschrieben. In Laborexperimenten wurden NH<sub>3</sub>-Emissionen nach Harnstoffdüngung von bis zu 30 % der gedüngten N-Menge in Abhängigkeit von Temperatur und Bodenart, Bodenwassergehalt und Boden-pH (Vermoesen et al., 1996), unter besonderen Bedingungen sogar von über 50 % der gedüngten N Menge nachgewiesen (De Datta, 1995).

Neben Düngemitteln sind nicht produktiv verwertete pflanzliche Aufwüchse, die als Mulchmaterial oberflächlich auf dem Feld verbleiben, Quellen für NH<sub>3</sub>-Emissionen. Die NH<sub>3</sub>-Verluste sind im wesentlichen abhängig vom N-Gehalt und C/N-Verhältnis des Mulchmaterials (Glasener und Palm, 1995; Larsson et al., 1998) sowie den Witterungsbedingungen während der Zersetzungsphase (Temperatur, Niederschläge).

Zielsetzung der im ersten Teil dieser Arbeit vorgestellten Untersuchungen ist die Quantifizierung von NH<sub>3</sub>-Emissionen nach der Ausbringung von Harnstoff und harnstoffhaltigen Mischdüngern im Vergleich zu Kalkammonsalpeter unter Freilandbedingungen. Im zweiten Teil stehen die NH<sub>3</sub>-Verluste nach dem Mulchen von Klee gras und von Zwischenfrüchten bei unterschiedlichen Bewirtschaftungsintensitäten im Mittelpunkt.

<sup>32</sup> Andreas Weber, Dr. Reinhold Gutser, Prof. Dr. Urs Schmidhalter; Technische Universität München, Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Am Hochanger 2, D-85350 Freising-Weißenstephan

<sup>33</sup> Günter Henkelmann, Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Menzinger Straße 54, D-80638 München

## Material und Methoden

### Standort

Sämtliche dieser Arbeit zugrunde liegenden Versuche wurden auf Flächen der Versuchsstation Dürnast des Lehrstuhls bei Freising durchgeführt. Der Standort Weihenstephan-Dürnast ist klimatisch gekennzeichnet durch ein jährliches Temperaturmittel von 7,4 °C und einer Niederschlagssumme von 800 mm. Der Versuchsstandort liegt im tertiären Hügelland Südbayerns, der Boden stellt eine tiefgründige Braunerde aus Lößlehm (uL) mit einem pH-Wert von 6,3 dar.

### Messtechnik für NH<sub>3</sub>-Emissionen

Die Erfassung der NH<sub>3</sub>-Emissionen erfolgte nach dem Prinzip der dynamischen Kammermethode mit Hilfe einer modifizierten Messtechnik (Abbildung 1). Jede der 6 jeweils gleichzeitig verwendeten Kammern überdeckte ¼ m<sup>2</sup> Bodenoberfläche und wurde kontinuierlich mit Umgebungsluft, die aus ca. 3 m Höhe angesaugt wurde, durchströmt. Am Kammerausgang wurde von jeder Messstelle kontinuierlich Probenluft entnommen und über eine Messstellenschaltung einem Analysator (CLD700AL+NH<sub>3</sub>-Konverter, Fa. EcoPhysics, Gürten [CH]) zur Bestimmung der NH<sub>3</sub>-Konzentration zugeleitet. Mit Hilfe der Differenz der NH<sub>3</sub>-Konzentration zwischen der Umgebungsluft und der Probenluft der Kammern sowie der durch die Kammern strömenden Luftmenge wurde ein Emissions- bzw. Depositionsfluß errechnet.

Durch täglich mehrmaliges Versetzen der Kammern auf der Messparzelle wurden Einflüsse auf das Klima der Kammern und auf die Bodenoberfläche (höhere Temperatur, stärkere Austrocknung) minimiert und dadurch nahezu natürliche Bedingungen realisiert. Der gleichzeitige Einsatz von 6 Messkammern ermöglichte vergleichende Messungen auf Parzellen mit verschiedenen N-Düngern bzw. unterschiedlichen Mulchmaterialien. Die Messperioden dauerten jeweils 10 Tage nach der Düngerapplikation bzw. zwischen 2 und 3 Wochen nach dem Mulchen von Klee gras und Zwischenfrüchten.

### Versuchsdurchführung

Die Mineraldünger wurden stets oberflächlich zu Winterweizen ausgebracht. Die Düngungsmaßnahmen erfolgten in den Jahren 1999 und 2000 zu mehreren Zeitpunkten auf ungedüngten Parzellen in Höhe von jeweils 80 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Aufwüchse von Klee gras, Leguminosen- und Örettich-Zwischenfrucht wurden als stehender Bestand mit einem praxisüblichen Mulchgerät zerkleinert und oberflächlich verteilt. Die N-Düngung der Zwischenfrüchte (Vorfrucht Wintergerste) erfolgte mit Kalkammonsalpeter zur Saat in den N-Stufen 40, 80 und 120 kg N ha<sup>-1</sup>.

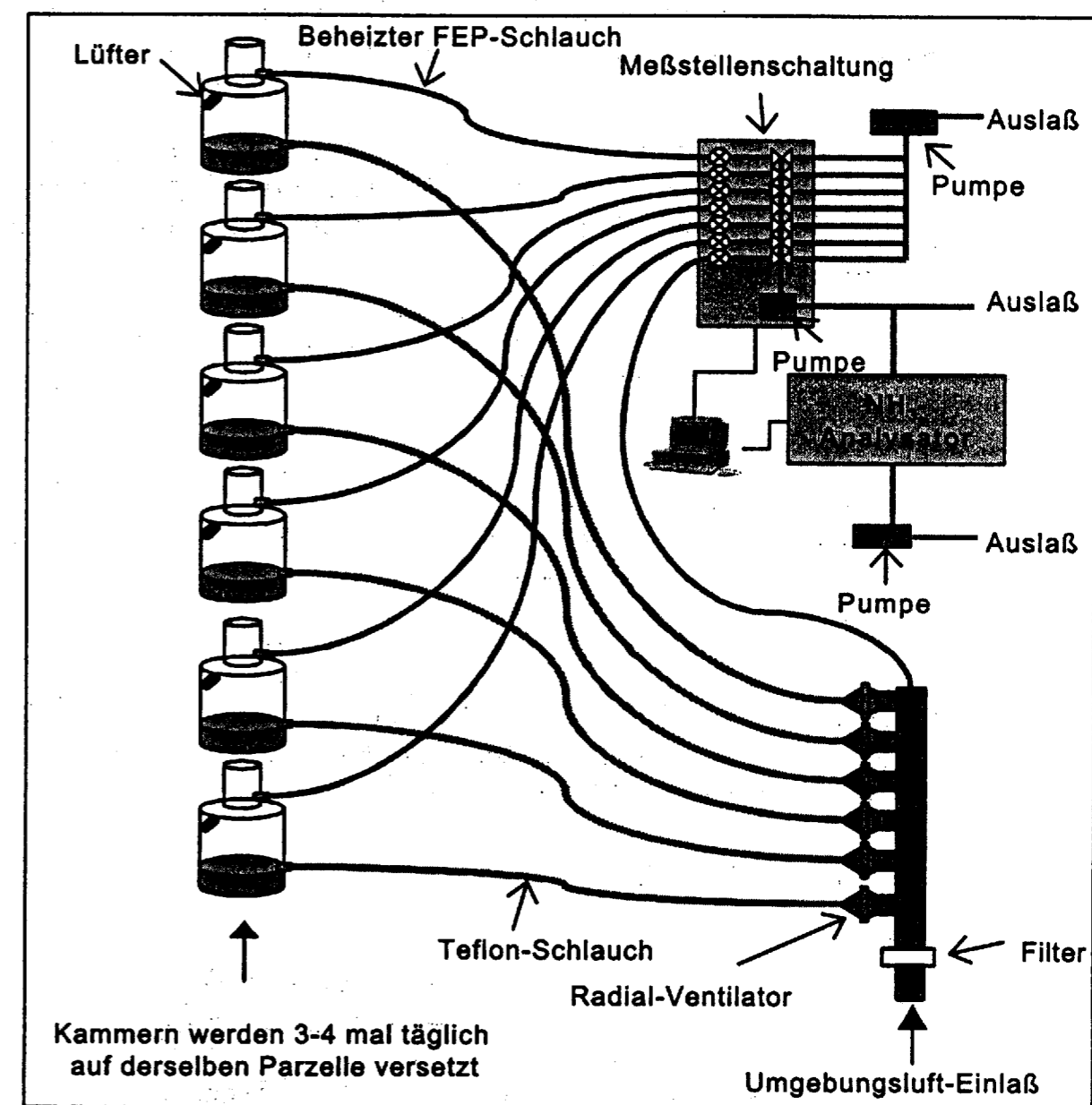


Abbildung 1: Modifiziertes dynamisches Kammerensystem zur Erfassung von NH<sub>3</sub>-Emissionen aus mineralischen Düngemitteln und pflanzlichem Mulchmaterial

### Ergebnisse

#### NH<sub>3</sub>-Emissionen nach mineralischer N-Düngung

Die NH<sub>3</sub>-Emissionen nach der Ausbringung von Mineraldüngern unterlagen sowohl 1999 als auch 2000 starken Schwankungen (Tabelle 1). Nach Harnstoff-Anwendung wurden im Vergleich zu Kalkammonsalpeter (KAS) höhere NH<sub>3</sub>-Emissionen nachgewiesen. Die maximalen NH<sub>3</sub>-Verluste

betragen für Harnstoff nach der Ausbringung Ende April 2000 4,4 kg NH<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup> bzw. 5,5 % der ausgebrachten N-Menge. Bei KAS wurden in der gleichen Messperiode lediglich 1,2 kg NH<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup> bzw. 1,5 % emittiert.

Tabelle 1: NH<sub>3</sub>-Verluste nach Ausbringung verschiedener N-Dünger zu unterschiedlichen Terminen zu Winterweizen (Düngung 80 kg N ha<sup>-1</sup>) und ausgewählte Witterungsfaktoren während der 10-tägigen Messperioden

Düngungs-termin	Ha <sup>1</sup>	Ha-AS <sup>2</sup>	AHL <sup>3</sup>	KAS <sup>4</sup>	Ø-Temperatur	Niederschlag-summe
				% <sup>5</sup>	°C	mm
<b>1999</b>						
Ende März	0,6	-	0,2	<0,1	7,7	11,1
Anfang April	-0,1	-	-0,1	<0,1	7,7	26,1
Ende April	0,5	-	0,4	0,1	13,3	0,5
Ende Mai	2,6	-	0,9	0,1	19,1	49,5
Mitte Juni	-0,1	-	-0,1	-0,1	12,4	22,1
<b>2000</b>						
Ende März	0,6	0,3	-	<0,1	5,7	41,7
Anfang April	0,2	0,2	-	0,2	8,0	32,3
Ende April	5,5	4,6	-	1,5	15,4	4,8
Anfang Juni	1,4	1,3	-	0,7	18,5	9,5

<sup>1</sup>Harnstoff granuliert; <sup>2</sup>Harnstoff-Ammonsulfat; <sup>3</sup>Ammonium-Nitrat-Harnstoff-Lösung; <sup>4</sup>Kalkammonsalpeter; <sup>5</sup>% vom ausgebrachten Dünger-N

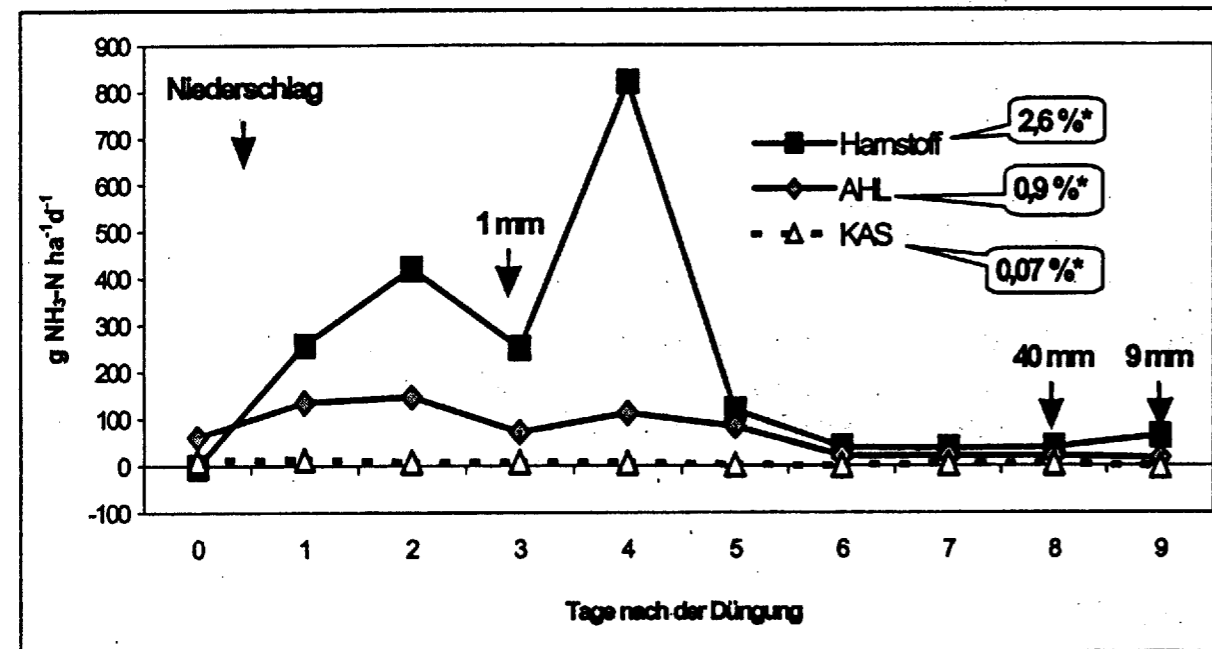


Abbildung 2: Verlauf der NH<sub>3</sub>-Emissionen nach der Ausbringung von mineralischen N-Düngern Ende Mai 1999 (N-Menge: 80 kg ha<sup>-1</sup>) - \* % von ausgebrachten Dünger-N

Die NH<sub>3</sub>-Emissionen standen in direkter Beziehung zu den Temperaturen

während der jeweiligen Messperiode (Tabelle 1). Sowohl im Jahr 1999 als auch 2000 wurden bei Temperaturen über 15 °C deutlich höhere NH<sub>3</sub>-Verluste gemessen als bei niedrigeren Temperaturen. Dieser Effekt wird jedoch von Niederschlägen und der Luftfeuchte überdeckt. Fallen Niederschläge direkt im Anschluss an die Düngerausbringung, wie z. B. zur Düngung Anfang Juni 2000, reduzieren diese die NH<sub>3</sub>-Emissionen erheblich trotz relativ hoher Temperaturen.

Ein ähnlicher Sachverhalt konnte zur Düngung Ende Mai 1999 festgestellt werden (Abbildung 2). Bereits geringe Regenfälle in Höhe von 1 mm am 4. Tage nach der Düngerausbringung bewirkten eine Verringerung der NH<sub>3</sub>-Verluste auf ca. 2 kg NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup> bei Temperaturen von im Durchschnitt über 19 °C. Die reichlichen Niederschläge gegen Ende der Messperiode hatten keinen Einfluss mehr auf die Gesamt-NH<sub>3</sub>-Emissionen.

Nach Düngerausbringung im zeitigen Frühjahr (März bis April), bei Temperaturen unter 10 °C und regelmäßigen Niederschlägen während der Messperioden waren die NH<sub>3</sub>-Verluste durchwegs sehr gering (für Harnstoff <1 % der gedüngten N-Menge).

Nach der Ausbringung von Ammonium-Nitrat-Harnstofflösung (AHL) im Jahr 1999 waren die NH<sub>3</sub>-Verluste im Vergleich zu Harnstoff insbesondere bei günstigen Verlustbedingungen (Ende Mai '99 und Ende April '00) deutlich reduziert, erreichten aber das Niveau von KAS nicht. Die Anwendung des Mischdüngers Harnstoff-Ammonsulfat (Ha-AS) in 2000 führte nur zu einer geringfügigen Verminderung der NH<sub>3</sub>-Emissionen gegenüber Harnstoff.

Die Temperatur und die Niederschlagsverteilung während der Hauptverlustphase (bis 5 Tage nach der Düngung) stellten sich als die wesentlichen Einflussfaktoren auf die NH<sub>3</sub>-Verluste nach der Ausbringung von Harnstoff heraus. Hohe Verlustraten von bis über 30 % der ausgebrachten N-Menge, die in früheren Untersuchungen festgestellt wurden, konnten mit diesen Messungen unter natürlichen Bedingungen im Freiland nicht bestätigt werden. Auch bei günstigen Verlustbedingungen überstiegen die NH<sub>3</sub>-Emissionen in beiden Jahren keinesfalls 6 % der ausgebrachten N-Menge.

Dieses Ergebnis wird durch Langzeit-Düngungsversuche unterstützt, in denen nach Harnstoff-Düngung ähnliche Erträge und N-Aufnahmen der Pflanzen erzielt wurden wie bei Vergleichsdüngern (KAS, ASS).

### NH<sub>3</sub>-Emissionen nach dem Mulchen von Pflanzenmaterial

Mulchen ist eine Bewirtschaftungsmaßnahme zur Pflege von aus der Produktion genommenen Ackerschlägen sowie zur Aufbereitung von Zwischenfrüchten zum Zweck der organischen Düngung. Als Folge der ablaufenden Zersetzungsprozesse an diesem oberflächlich dem Boden aufliegendem organischen Material kann auch NH<sub>3</sub> freigesetzt werden.

Nach dem Mulchen von Klee gras im Oktober 1999 traten innerhalb von 2 Wochen NH<sub>3</sub>-Emissionen von bis zu 3,4 kg N ha<sup>-1</sup> bzw. 6 % der im

Ausgangsmaterial enthaltenen N-Menge auf (Tabelle 2). Mit steigendem N-Gehalt und folglich verringertem C/N-Quotienten des Mulchmaterials nahmen die  $\text{NH}_3$ -Emissionen deutlich zu.

In einem weiteren Versuchsansatz wurden die  $\text{NH}_3$ -Emissionen aus gemulchten Zwischenfrüchten in einer 3 wöchigen Messperiode untersucht (Tabelle 2). Aus N-reichem Leguminosen-Mulch (Erbsen-Wicken-Gemenge) wurden  $9,5 \text{ kg NH}_3\text{-N ha}^{-1}$  emittiert. Bei Ölrettich stiegen die  $\text{NH}_3$ -Verluste mit ebenfalls zunehmendem N-Gehalt bzw. fallendem C/N-Quotient des Mulchmaterials (Wirkung der Steigerung der N-Düngung) auf maximal  $1,3 \text{ kg NH}_3\text{-N ha}^{-1}$ . Wohl als Folge der geringeren Umsetzbarkeit des Ölrettichmaterials waren hier die  $\text{NH}_3$ -Verluste insgesamt geringer als bei der Leguminosen-Zwischenfrucht.

Tabelle 2:  $\text{NH}_3$ -Emissionen nach dem Mulchen von Klee gras und Zwischenfrüchten bei unterschiedlicher N-Düngung im Oktober 1999

Fruchtart	N-Düngung	N-Gehalt	C/N	NH <sub>3</sub> -Emissionen	
	kg N ha <sup>-1</sup>			% i. TS	kg NH <sub>3</sub> -N ha <sup>-1</sup>
<b>Hauptfrucht<sup>2</sup> (4. Schnitt)</b>					
Kleegras A	-	4,7	8	<u>3,4</u>	6
Kleegras B	-	4,2	10	1,7	3
<b>Zwischenfrüchte<sup>3</sup></b>					
Leguminosen (Erbsen-Wicken)	-	3,6	11	<u>9,5</u>	4
Ölrettich	40	1,6	25	0,1	<1
	80	2,1	19	0,2	<1
	120	2,2	18	1,3	1,2

<sup>1</sup> % der N-Menge im Mulchmaterial; <sup>2</sup> Messphase 2 Wochen; <sup>3</sup> Messphase 3 Wochen

Erst 5-6 Tage nach dem Mulchen des Pflanzmaterials setzte die Verlustphase ein (Abbildung 3). Wohl als auslösende Ursache gingen Niederschlagsereignisse voraus. Entsprechend den Untersuchungen mit Zwischenfrüchten wirkten sich während dieser Hauptverlustphase Niederschläge mit zugleich stärker sinkenden Temperaturen vermindern auf die  $\text{NH}_3$ -Verluste aus. Andererseits waren für die  $\text{NH}_3$ -freisetzenden Abbauprozesse ein ausreichender Feuchtezustand des aufliegenden Mulchmaterials notwendig, so dass geringe Niederschläge (<2-3 mm) meist förderlich waren.

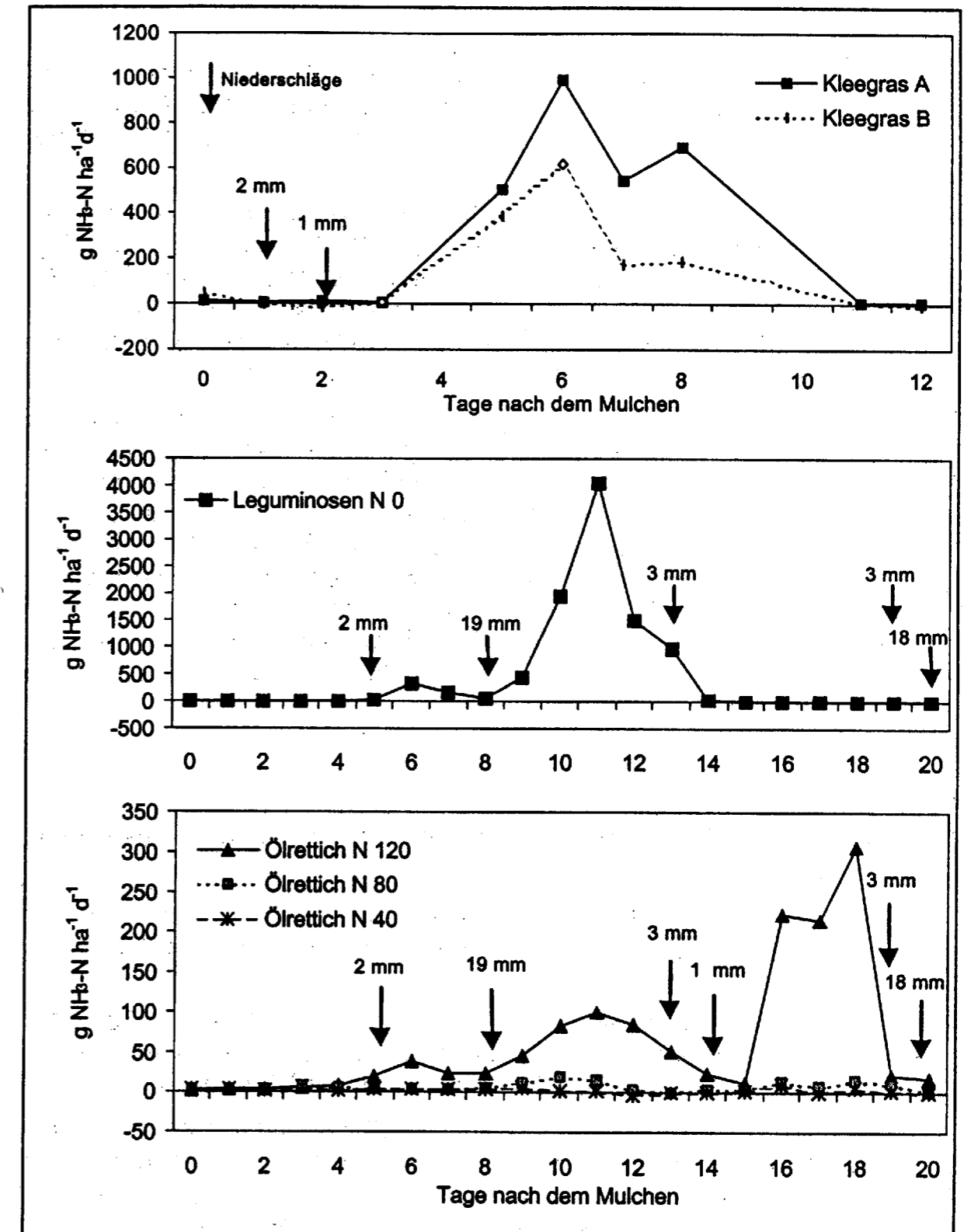


Abbildung 3: Verlauf der  $\text{NH}_3$ -Emissionen nach dem Mulchen von Kleegras sowie von Leguminosen (Erbsen-Wicken)- und Ölrettich-Zwischenfrucht (Oktober 1999)

## Zusammenfassung

Mit der modifizierten dynamischen Kammermethode konnten unter natürlichen Bedingungen im Freiland  $\text{NH}_3$ -Emissionen nach Anwendung mineralischer N-Düngemittel und nach dem Mulchen von Pflanzenmaterial bestimmt werden.

Die  $\text{NH}_3$ -Verluste nach Harnstoff-Düngung lagen mit 1-6 % der ausgebrachten N-Menge zwar höher als nach KAS-Düngung (max. 1 %), Verlustraten von über 30 %, wie in Laboruntersuchungen ermittelt, konnten mit diesen Freilandmessungen nicht annähernd bestätigt werden. Das  $\text{NH}_3$ -Verlustrisiko nach Harnstoffdüngung unter den klimatischen Bedingungen Südbayerns ist wesentlich geringer als bislang angenommen.

Die Messungen an gemulchtem Pflanzenmaterial belegen, dass auch in Betrieben ohne Tierhaltung beachtliche  $\text{NH}_3$ -Verluste aus der Pflanzenproduktion auftreten können. Innerhalb 3 Wochen nach dem Mulchen von Leguminosen-Zwischenfrucht erreichten die  $\text{NH}_3$ -Emissionen bis zu  $10 \text{ kg NH}_3\text{-N ha}^{-1}$ . Diese relativ hohen Werte können bei mehrmaligem Mulchen von Klee gras-Aufwüchsen noch überschritten werden (bis zu  $3,4 \text{ kg NH}_3\text{-N ha}^{-1}$  je Mulchen). Die  $\text{NH}_3$ -Verluste nahmen mit steigendem N-Gehalt bzw. fallendem C/N-Quotient des Mulchmaterials zu. Die höchsten  $\text{NH}_3$ -Verlustraten traten aus feuchtem Mulchmaterial nach Regenfällen auf.

## Literatur

De Datta S. K., 1995: Nitrogen transformation in wetland rice ecosystems. *Fertilizer Research* **42**, 193-203

Glasener K. M., und Palm C. A., 1995: Ammonia volatilisation from tropical legume mulches and green manures on unlimed and limed soils. *Plant Soil* **177**, 33-41

Larsson L., Ferm M., Kasimir-Klemedtsson M., Klemendsson L., Esala M., Kirchmann H., 1998: Ammonia and nitrous oxide emissions from grass and alfalfa mulches. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **51**(1), 41-46

Vermoesen A., Demeyer P., Hofman G., Van Cleemput O., 1996: Ammonia volatilization from mineral N-fertilizers, influenced by pH, temperature and soil moisture content. *Transactions of the 9<sup>th</sup> nitrogen workshop*, Technische Universität Braunschweig, September 1996, 573-576