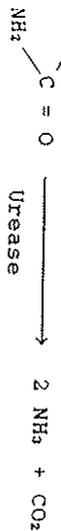


Harnstoffumsetzung im Boden und NH₃-Verluste

A. Amberger*

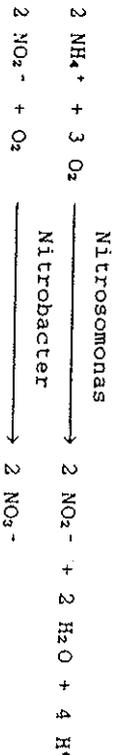
Einleitung

Die Umsetzung von Harnstoff (Ha) im Boden erfolgt bekanntlich durch das ubiquitär vorkommende Enzym Urease nach der Gleichung



NH₃ reagiert mit Wasser: NH₃ + H₂O → NH₄⁺ + OH⁻

Daran schließt sich der Vorgang der Nitrifikation an:



Über den zeitlichen Ablauf bzw. die Abhängigkeit der einzelnen Teilschritte von Klima- und Bodenfaktoren herrscht häufig noch Unklarheit. So wird der Ha in deutschen Fachbüchern teilweise als "langsamwirkender N-Dünger" beschrieben (im Gegensatz zur internationalen und vor allem amerikanischen Literatur). Diese Unsicherheiten haben uns veranlaßt, diese Fragen zu klären, vor allem im Hinblick darauf, unter welchen Bedingungen Ammoniakverluste nach Harnstoffanwendung zu erwarten sind.

Ergebnisse

1. Harnstoffumsetzung im Boden bei verschiedener Temperatur
 a) Vor 10 Jahren haben wir (Vilsmeyer und Amberger, 1980) in aeroben Bebrütungsversuchen nachgewiesen (Abb.1), daß die Hydrolyse von Harnstoff (Lösung in den Boden eingearbeitet) weitgehend unabhängig von der Temperatur (2 - 5 - 10° C) schon in wenigen (1 - 3) Tagen erfolgt. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit anderen Arbeiten, wie Bremner und Mitarbeiter (1975), wonach das Enzym Urease selbst durch eine Temperatur von -20° C nicht geschädigt wird. Dagegen ist die Nitrifikation ein sehr stark temperaturabhängiger Vorgang: so bleibt bei 2° C das Ammonium über 40 d hinweg erhalten, erst bei 10° C erfolgt ein steiler Anstieg der Nitratkurve nach etwa 2 Wochen.

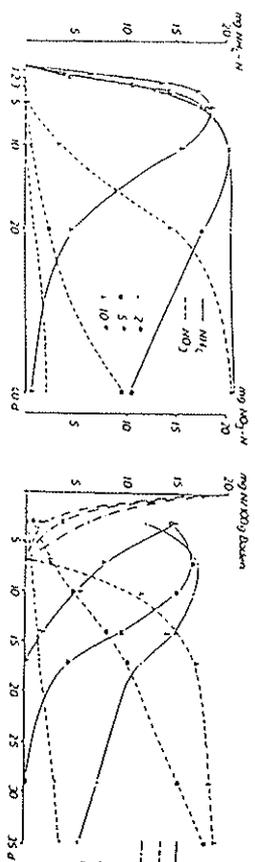


Abb.1: Umsetzung von Harnstoff (eingearbeitet) zu Ammonium und Nitrat in Löbbrannerde, pH 6,2 Bebrütungsversuch, 100 g Boden + 20 mg N als Ha-Lösung

Abb.2: Umsetzung von Harnstoff (eingearbeitet) zu Ammonium und Nitrat in Löbbrannerde, pH 6,4 Bebrütungsversuch: 100 g Boden + 20 mg N als Ha-Lösung.

b) Das gleiche Bild ergab sich in neueren Versuchen mit einer in den Boden eingemischtem Harnstofflösung (Abb.2). und Messung von Harnstoff, Ammonium und Nitrat bei 1 - 8 - 15° C.
 c) Ein Vergleich von Harnstoff "eingearbeitet" gegenüber oberflächlicher Ausbringung (nicht aufgeführt), ergab einen etwas schnelleren Verlauf der Nitrifikation (im Falle der Einbringung).

d) In weiteren Bebrütungsversuchen wurde die Frage untersucht, welchen Einfluß die Größe von auf die Bodenoberfläche applizierten Harnstoffgranulaten auf die Umsetzung hat (gemessen an der NH₄-Entwicklung). Aus der Tab.1 ist zunächst wiederum ersichtlich die rasche Hydrolyse von Harnstoff unabhängig von der Temperatur (Anstieg des Ammonium), dagegen die starke Temperaturabhängigkeit der Nitrifikation (Rückgang des Ammonium).

Tab.1: Umsetzung von Harnstoff in Löbbrannerde (pH 6.4) (oberflächlich ausgebracht)

Tage	1°		8°		15°	
	Ha-Lsg.	G.I	Ha-Lsg.	G.II	Ha-Lsg.	G.II
3	6	5	3	7	6	3
7	16	11	11	14	12	11
10	16	15	9	14	13	13
14	10	11	12	9	13	15

G.I = Granulat I (= 2 mm ø)
 G. II = Granulat II (= 4 mm ø)

Die Granulation (im Vergleich zur Harnstofflösung) führt anfangs (insbesondere bei niedriger Temperatur) zu einer gewissen Verzögerung der Ammoniumentwicklung durch Auflösung der Harnstoffkristalle. Diese hält wiederum bei niedriger Temperatur länger an.

Daraus ergab sich die Frage möglicher Ammoniakverluste nach Harnstoffanwendung bei unterschiedlicher Temperatur.

2. Ammoniakverluste nach Harnstoffanwendung

Die Bestimmung der NH_3 -Verluste erfolgte in den Versuchen a - c im Windtunnel (Amberger und Huber, 1988) unter Freilandbedingungen bei einem Luftstrom von 2 m/sec (G. Wein, 1990).

a) Harnstoff auf Brache oberflächlich ausgebracht (Abb. 3) im Juli/August bei Temperaturen von 10 - 24° C und ca. 80 % relativer Luftfeuchte (RF) führte zu Verlusten von ca. 44 % (bezogen auf NH_4-N); ähnliche, teilweise sogar höhere Verluste traten nach Düngung mit Ammonitrat-Harnstoff (AHL)-Lösung auf. Dagegen waren die Verluste nach Kalkammonsalpeter (KAS)-Düngung 19 % und nur bei hohem Boden-pH (9 % freies Carbonat) doppelt so hoch.

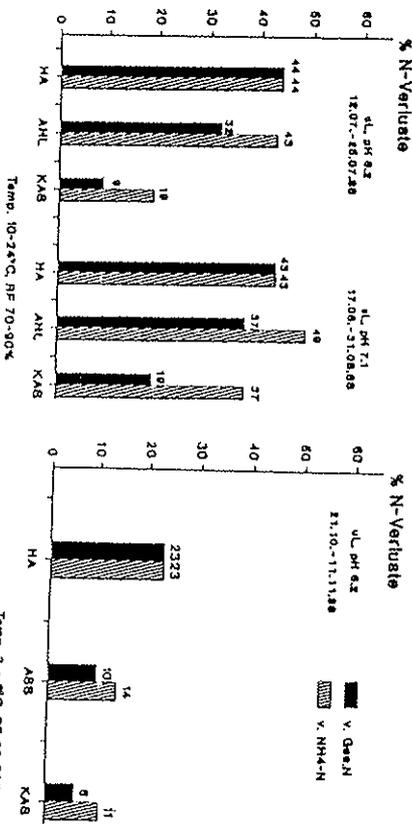


Abb.3: Ammoniakverluste - Brache (ausgebr. Menge: 150 kg N/ha)

Abb.4: Ammoniakverluste - Grünland (ausgebr. Menge: 100 kg N/ha)

b) Auf Grünland (Grasstoppel) im Oktober/November ausgebracht (Abb.4) bei niedriger Temperatur (- 2 bis 8° C) und 80 % RF waren die Verluste insgesamt geringer, im Falle von Harnstoff aber wiederum etwa doppelt so hoch wie nach Ammonsalpeter- (ASS) bzw. KAS-Düngung.

c) Zu Winterweizen in verschiedenen Entwicklungsstadien ausgebrachte Dünger (Abb.5) ergaben im Januar/Februar bzw. März bei Temperaturen von 1 - 14° C und ca. 70 % RF NH_3 -Verluste die Hälfte) während die Verluste aus KAS-Düngung unbedeutend waren.

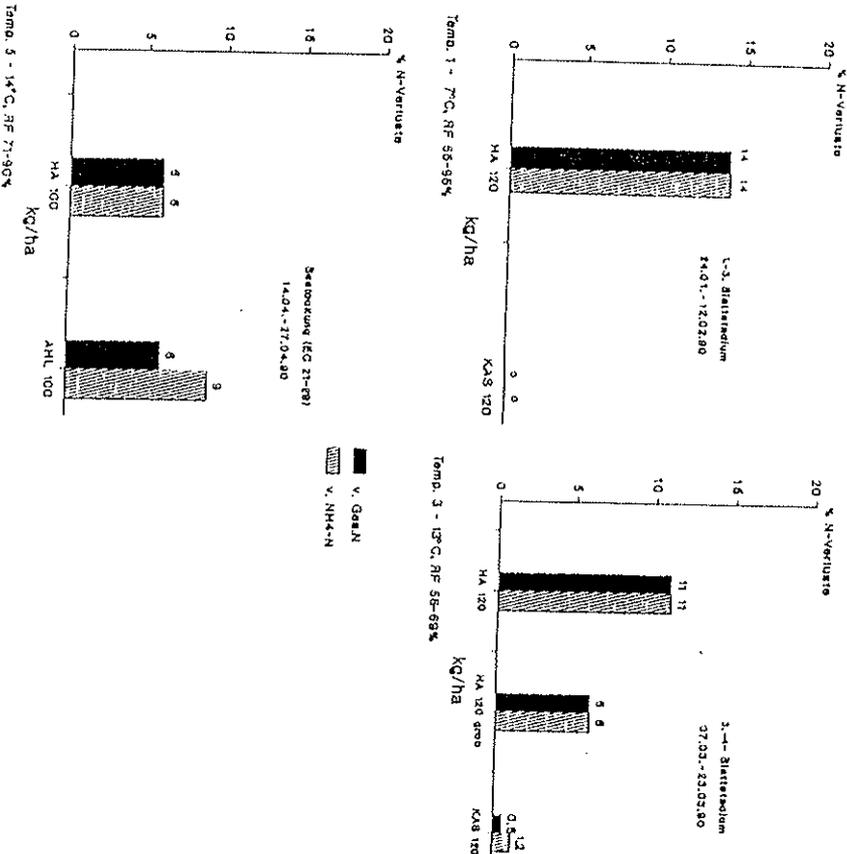


Abb.5: Ammoniakverluste - Winterweizen

d) Im April nach der Bestockung waren die Verluste insgesamt gering, bedingt durch die bereits einsetzende N-Aufnahme der Pflanzen und eine gewisse Schutzwirkung des Pflanzenbestandes gegen NH_3 -Verluste durch stärkere Luftbewegung. Ammoniakverluste im Gefäßversuch mit künstlicher "Bewindung" (1 m/sec) ermittelt durch die unterschiedliche N-Aufnahme der Pflanzen (indirekte und unspezifische Methode)

Methodik:

"Gewindung": 4 Wochen nach N-Düngung täglich 6 Stunden
 Niederschlag (simuliert): 2 Wochen nach der Düngung 1 mm, 3 Wochen nach der Düngung 7 mm

N-Düngung:

a) vor der Saat (Nov.) in den Boden eingemischt
 b) 1-3-Blattstadium (Jan.) auf den gefrorenen Boden ausgebracht

Ergebnisse:

Bei Einmischung von Ha- oder AHL-Lösung in den Boden vor der Saat entstehen Mindererträge (NH₃-Verluste) von ca. 10 % gegenüber KAS.

Bei oberflächlicher Applikation auf den gefrorenen Boden ist die N-Aufnahme aus Ha um 30 - 40 %, aus AHL-Lösung um ca. 20 % geringer als aus KAS.

Tab.2: Erträge (TS) und Gesamt-N-Entzüge von Winterweizen - Ul, pH 6,3

Düngung	a) einmischen vor der Saat (Nov.)		b) oberfl. auf gefror. Boden (Jan.)	
	Erträge (g/Gef)	N-Entzüge (mg/Gef.)	Erträge (g/Gef.)	N-Entzüge (mg/Gef.)
Korn	ε	ε	Korn	ε
Stroh	ε	ε	Stroh	ε
ohne N	8,8	21,3	30,1	148
			8,8	21,3
			30,1	148
N1 als Ha				
Ha	29,4	49,6	79,0	404
AHL	29,6	50,1	79,7	407
KAS	31,5	52,5	84,0	447
			32,8	51,7
			84,5	448
N2 als Ha				
Ha	46,3	70,6	116,9	690
AHL	48,1	73,9	122,0	721
KAS	52,6	79,3	131,9	782
			51,3	78,0
			129,3	780
GD₃				
			1,9	2,9
			3,4	22,3

N1 0.4 g/Gef.
 N2 0.8 g/Gef.

Die hohen Verluste nach Ha-Düngung auf gefrorenen Boden lassen sich damit erklären, daß trotz geringerer täglicher Verlustraten (wie in anderen Versuchen ermittelt) die Ammoniumphase bei

niedriger Temperatur aber sehr viel länger anhält, die Düngertlösung nicht in den Boden eindringen und damit keine Nitrifikation und N-Aufnahme durch Pflanzen erfolgen kann.

Die Tatsache, daß KAS in beiden Fällen (Nov. bzw. Jan.) die gleichen N-Entzüge ergibt, beweist, daß die für Ha und AHL ermittelten Verluste tatsächlich auf NH₃-Verflüchtigung und nicht auf eine N-Immobilisierung im Boden zurückzuführen sind. Nitratauswaschung scheidet unter diesen Versuchsbedingungen aus.

Zusammenfassung:

Die Ha-Hydrolyse zu Ammonium erfolgt im Boden schnell und weitgehend temperaturunabhängig. Dagegen ist die Nitrifikation sehr stark temperaturabhängig.

Größere Ha-Granulate auf den Boden ausgebracht, verzögern die Ammoniumbildung anfangs geringfügig.

Eine bei niedriger Temperatur (Frost) bedingte längere (über Wochen anhaltende) Ammoniumphase erhöht die Gefahr von insgesamt großen NH₃-Verlusten, insbesondere bei stärkerer Luftbewegung und mangelnder Infiltration des gelösten Ha in den Boden. Die nach Ha- oder AHL-Düngung - oberflächlich ausgebracht - ermittelten sehr hohen NH₃-Verlusten (> 40 %) können durch Einarbeitung weitgehend minimiert werden.

Die geringsten Verluste weist in jedem Fall KAS auf, aufgrund seiner strukturstabilen Granulate.

Diese Erkenntnisse sollten in der praktischen Düngung berücksichtigt werden, um ökonomische Verluste und eine ökologische Belastung der Umwelt (Luft) zu verringern.

Literatur:

Amberger, A. und Huber, J. (1988): Ammonia losses after slurry application. Commission of The European Communities, Treatment and use of organic sludge and liquid agricultural wastes, Cost project 687, Liebfeld June 1988
 Vilsmeier, K. und Amberger, A. (1980): Umsetzung von Cyanamid, Harnstoff und Ammonsulfat in Abhängigkeit von Temperatur und Bodenfeuchtigkeit. Z. Pflanzenernährung 143, 47-54.
 Wein, G. (1990): Ammoniakverflüchtigung nach Applikation organischer und organischer Düngemittel unter Freilandbedingungen (Diplomarbeit TU München-Weihenstephan)
 Zantua, M.M. und Bremner, J.M. (1975): Preservation of soil samples for assay of urea activity. Soil. Biol. Biochem. 7, 297-299.