

aus: Tagungsband Landtechnik Welthenstephan "Neue Techniken zum umweltgerechten und wirtschaftlichen Einsatz von mineralischen und organischen Düngern" am 11.11.1992, Neumarkt/Opf. (38-48)

Strategien zur Optimierung der Stickstoffwirkung von Flüssigmist

Reinhold Gutser und Paul Dosch

Es ist hinlänglich bekannt, daß die Stickstoffverwertung von Flüssigmist durch die Kulturpflanzen deutlich unter der von Mineraldüngern liegt (Mineraldüngeräquivalente von Gülle-N: 20 - 80). Ursachen bzw. Folgen der geringen N-Ausnutzung sind:

- Nitratauswaschung
- Ammoniakverflüchtigung
- Denitrifikation (N_2, N_2O)
- N-Immobilisation (NH_4 -Stickstoff)
- schlechte Verfügbarkeit des organischen N.

Verluste und Festlegung von Stickstoff werden häufig durch Fehler in der Gülleanwendung ermöglicht bzw. verschärft.

Die Umweltverträglichkeit eines Düngemittelsatzes wird unter anderem an Stickstoffbilanzen (z.B. einfache Bilanz, N-Abfuhr, N-Düngung) beurteilt; es werden weitgehend ausgeglichene Bilanzen gefordert. In einer in Vorbereitung befindlichen Düngemittelanwendungsverordnung wird auch bei organischen Düngern der Input an Gesamtstickstoff berücksichtigt.

In langjährigen Lysimeterversuchen konnten wir zeigen, daß Güllesysteme auf Basis Gesamtstickstoff gegenüber ausschließlicher Mineraldüngung Mindererträge bewirken, bezüglich der NO_3 -Auswaschung bestanden jedoch keine Unterschiede (Tab.1). Auf Basis NH_4 -Stickstoff erzielten Güllesysteme allerdings mindestens gleich hohe Ertragswirkungen wie Mineraldüngung, die N-Auswaschung war jedoch deutlich erhöht (Tab.2). Diese Ergebnisse kamen zustande trotz weitgehend optimalem Einsatz von Gülle (Minimierung von NH_3 -Verlusten!) und weisen auf die im Güllesystem grundsätzlich vorhandene Problematik der optimalen N-Verwertung durch Kulturpflanzen hin (ähnliche Probleme treten mit allen organischen Düngern auf).

Tab. 1: Vergleich Mineraldüngung - Gülle/Mineraldüngung: Basis Gesamt-N (Gülle)

Lysimeter 1983 - 1991

Düngung kg N/ha	"Bilanz"	Erträge (relativ)	Auswaschung kg N/ha mg NO_3 /l Stick.
KAS	167 +44	=100	44 76
Gülle/KAS	190 +98	92	44 73

72% Gülle
28% KAS

(Gutser, 1991)

Tab. 2: Vergleich Mineraldüngung - Gülle/Mineraldüngung: Basis NH_4 -N (Gülle)

Lysimeter 1983 - 1991

Düngung kg N/ha	"Bilanz"	Erträge (relativ)	Auswaschung kg N/ha mg NO_3 /l Stick.
KAS	120 +24	=100	36 60
Gülle/KAS	120 +22	102	45 74

60% Gülle
40% KAS

(Gutser, 1991)

Verluste durch Nitratauswaschung

Der Ammoniumstickstoff der Gülle wird vor allem unter wärmeren Bodentemperaturen schnell nitrifiziert. Der Zeitpunkt der Gülleapplikation ist so zu wählen, daß für das gebildete Nitrat stets aufnahmefähige Pflanzen vorhanden sind (auch N-Konservierung durch die Strohhülle). Eine Düngung in den wachsenden Bestand oder kurz vor der einsetzenden Vegetation minimiert in der Regel die Nitratauswaschung; besonders wirksam erweist sich diesbezüglich der Anbau von Zwischenfrüchten (Tab.3).

Verluste durch NH_3 -Verflüchtigung

Gülle besitzt ein hohes Verlustpotential für Ammoniak; die höchsten Verluste treten bereits in den ersten Stunden nach der Gülleapplikation auf. Grundsätzlich lassen sich durch eine umgehende Einarbeitung, noch besser durch direkte Injektion oder direktes "Eindringen" oder "Einhacken" der Gülle in den Boden NH_3 -Verluste weitestgehend vermeiden. Im Gegensatz zu diesen Techniken zeigte verspätete Einarbeitung nach 1 oder gar 4 Tagen nur noch eine geringe N-Wirkung der Gülle zur Zwischenfrucht (Abb.1).

(Gutser, 1991)

Tab. 3: Mittlere N-Auswaschung - Lysimeter 1983-1991
System KAS bzw. Gülle/KAS: 167 kg Ges./ha

Düngung	kg N/ha	Auswaschung mg NO ₃ -l Sickerw.
Gülle z. Zwifrucht	27	54
Gülle März/April	45	74
Gülle Okt/Nov (+ Didin)	59 (51)	97 (84)
KAS	44	76
ohne N	39	49

(Gutser, 1991)

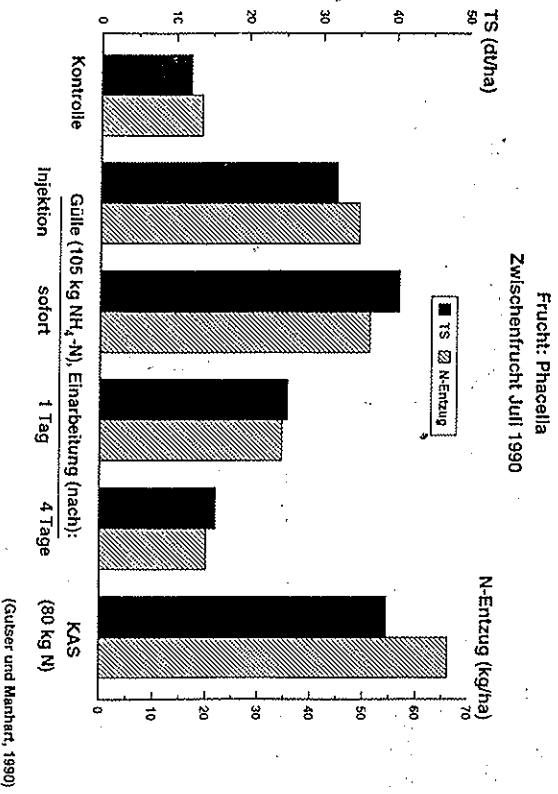


Abb. 1: N-Wirkung von Gülle nach unterschiedlicher Applikationstechnik

Im Vergleich zur flächigen Verteilung (Prallteiler) führt eine bodennahe Bandapplikation von Gülle zum bestockenden oder schossenden Getreide zu merklich geringeren NH₃-Verlusten (Abb.2).

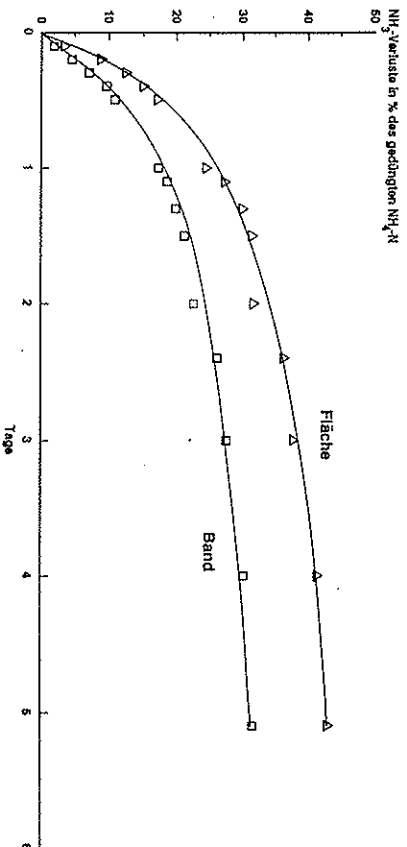


Abb. 2: NH₃-Verluste nach Gülleapplikation zu Winterweizen (EC 30) in Abhängigkeit von der Applikationsform
N-Gabe: 70 kg NH₄-N/ha

Grundsätzlich läßt sich auch durch spezielle Aufbereitungstechnik der Gülle und hier insbesondere durch Verbesserung des Infiltrationsverhaltens der Gülle (Einwandern in den Boden) ein Beitrag zur Verringerung der NH₃-Verdampfung leisten. Durch Separierung erzeugte feststoffarme Gülle brachte geringere NH₃-Verluste als übliche Gülle (Abb.3).

Ähnliche Wirkungen sind auch von Güllen aus Biogasanlagen bekannt. Durch sinnvolle Kombinationen von Einfachmaßnahmen lassen sich die NH₃-Verluste nach der Güllapplikation beachtlich vermindern; gemessen an den N-Entzügen der Pflanzen konnte in Gefäßversuchen durch Eindringen feststoffarmer Güllen deren Mineraldüngeräquivalent von 35 auf 101 erhöht werden (Tab.4).

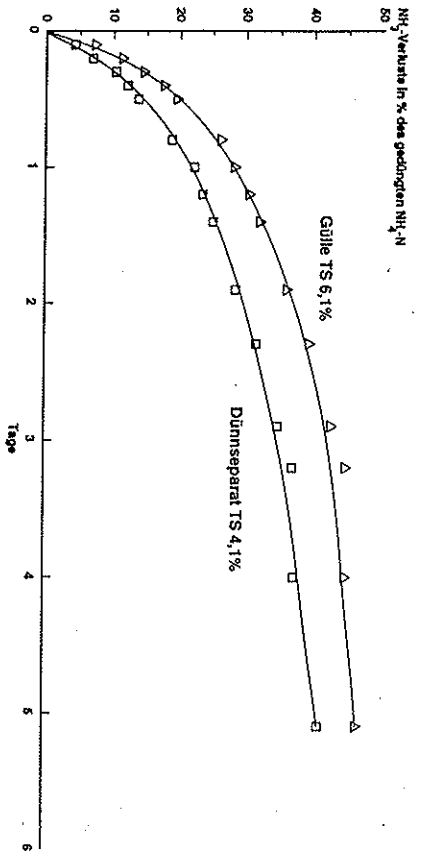


Abb. 3: Einfluß eines durch Separierung verminderten TS-Gehaltes der Gülle auf die NH₃-Verflüchtigung bei flächiger Applikation
N-Gabe: 70 kg NH₄-N/ha

Tab. 4: Gefäßversuch zur NH₃-Problematik von Gülle

Düngung (0,6 g N/Gef.)	Applikation	N-Entzug (mg N/Gef.)	Mineraldünger-äquivalent
ohne N	---	137	---
Rindergülle	oberflächlich	312	35
Rindergülle feststoffarm	"Eindrillen"	649	101
Mineraldüngung	Teilgaben	643	100

Es sind demnach in einer NH₃-konservierenden Applikationstechnik noch bedeutsame Reserven bezüglich Optimierung der N-Verwertung von Gülle vorhanden.

Verluste durch Denitrifikation

Dieser Teilvorgang des N-Umsatzes ist noch verhältnismäßig wenig erforscht, da methodische Schwierigkeiten bestehen. Aus Versuchen mit Gülle zu Grünland ist bekannt, daß die Höhe der Stickstoffverluste durch die Art der Applikationstechnik beeinflusst werden können (Tab. 5).

Tab. 5: N-Verluste durch Denitrifikation nach Gülleedüngung zu Grünland

Applikation: Frühjahr, 250 kg Ges.N/ha

Applikationstechnik	N-Verluste (kg N/ha)	
	Verflüchtigung NH ₃ -	Denitrifikation
oberflächlich	53	5
Injektion	2	18

(Thompson et al., 1987)

Durch Injektion konnten zwar die NH₃-Verluste weitestgehend ausgeschlossen werden, allerdings stiegen die Denitrifikationsverluste signifikant an. In der Entwicklung geeigneter Güllestrategien müssen grundsätzlich sämtliche Verlustwege für Stickstoff berücksichtigt werden. Eine Verminderung der NH₃- oder NO₃-Verluste auf Kosten höherer Verluste durch Denitrifikation wäre demnach sowohl in ökonomischer als auch vornehmlich in ökologischer Hinsicht nicht zu vertreten. Als Endprodukt der Denitrifikation kann neben N₂ bekanntlich auch mehr oder weniger N₂O-Stickstoff auftreten ("Ozon-Killer"). Wir sind derzeit mit der Fragestellung beschäftigt, ob eine gezielte Applikation (Band, Injektion) von feststoffarmer Gülle zu einer Zunahme der Denitrifikationsverluste führt.

N-Immobilisation

Die Festlegung von N_{min}-Stickstoff (NO₃⁻, NH₄⁺-N) im Boden durch Mikroorganismen bezeichnet man als N-Immobilisation. Die Zufuhr von mikrobiell verfügbarem Kohlenstoff über organische Dünger erhöht die biologische Aktivität und damit auch das Immobilisationspotential des Bodens. Als Folge von Immobilisationsvorgängen wird der NH₄⁺-Stickstoff der Gülle schlechter verwertet als Mineraldünger (Tab. 6).

Tab. 6: Verwertung von KAS und NH_4 -Stickstoff der Gülle durch Zuckerrüben (^{15}N) - (kg N/ha)

Düngung (kg N/ha)	N-Aufnahme		N-Auswaschung	
	Düngung	Boden	Düngung	Boden
ohne N	---	97	---	57
KAS (120 N)	71 (59%)	111	1	61
Gülle März (100 N)	32 (32%)	156	1	82
Gülle (100 N) zur Zwischenfrucht	18 (18%)	182	3	34

Lysimeter im 7. Jahr - 1988

(Vilmeler und Gutscher, 1989)

Die Immobilisation des mineralischen Stickstoffs und die Zufuhr von bedeutenden Mengen an organisch gebundenem Stickstoff erhöht das N-Potential der gülleredüngten Böden. Die höhere N-Nachlieferung aus deren Bodenvorrat kommt nicht nur den Kulturpflanzen zu gute, sondern bewirkt auch höhere Verluste durch NO_3 -Auswaschung (eventuell auch Denitrifikation). Die Freisetzungsrate von immobilisiertem Gülle- oder Mineraldüngestickstoff unterscheidet sich in den

Tab. 7: Verfügbarer Düngestickstoff im Anwendungsjahr und in den Folgejahren (^{15}N)

Düngung	verfügbarer N *			
	% v. Düngung 1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr
KAS	60	11	4	10
Gülle März	33	9	4	9
Gülle z. Zwifr.	21	11	4	5

Lysimeter 1988 - 1991

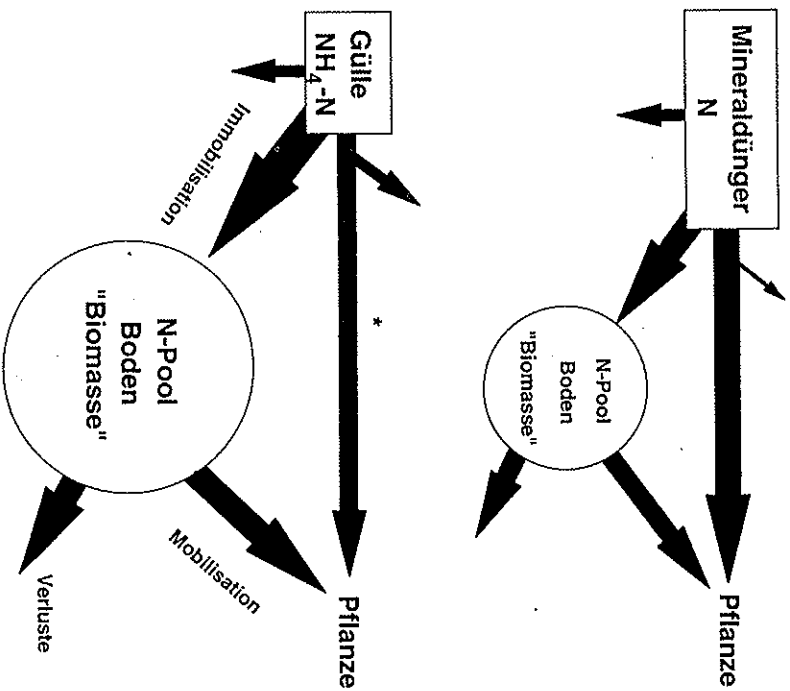
Fuchtfolge: Zuckerrüben - Winterweizen - Wintergerste - Zuckerrüben

* N (Aufnahme + Auswaschung)

(Gutscher und Claassen, 1992)

Folgejahren kaum (Tab. 7), so daß 4 Jahre nach der Anwendung von Güllestickstoff

(NH_4) noch 66 - 74 % gegenüber von "nur" 46 % bei Mineraldüngern im Boden feststellbar waren. Entscheidend für eine gute Güllerverwertung ist also eine gute Wirkung im Anwendungsjahr. Das unterschiedliche Verhalten von Mineraldünger- und Güllestickstoff im System Boden/Pflanze ist in Abb. 4 schematisch dargestellt.



* direkter Weg zur Pflanze: gering nach Einarbeitung in Boden; größer bei Düngung in den Bestand (aber NH_3 !)

Abb. 4: Verhalten von Mineraldünger- und Gülle (NH_4 -Stickstoff im System Boden/Pflanze (Schema)

Die N-Immobilisation von Stickstoff läßt sich durch Separieren der Gülle vermindern; der NH_4 -Stickstoff der feststoffarmen, d.h. C-armen Gülle bleibt besser verfügbar für die Pflanzen und erzielt folglich deutlich höhere Mineraldüngerequivalente (Tab. 8, 9). Ähnliche Effekte zeigt auch Biogasgülle.

Tab. 8: C-Gehalt der Gülle und N-Immobilisation
Modellversuch (^{15}N)

Düngung	Immobilisation (% von Düngung)	
	Sand	Löß
Rindergülle	4,4	44
	C % i. Fil.S. 2,0 0,6 ↓	16 34 ↓
KAS	7	13

Tab. 9: Verringerung der N-Immobilisation durch Separierung der Gülle

(Wilsmeier und Gutser, 1989)

Düngung (0,3 g N/Gef.)	Applikation	N-Entzug (mg N/Gef.)	Mineraldünger-äquivalent
ohne N	—	59	—
Rindergülle	sofortige	197	69
Rindergülle feststoffarm	Einarbeitung	279	110
Mineraldüngung	"	259	100

Folgerung: Separierung vermindert die Immobilisation von Gülle-N um bis zu 30%!

Diese positiven Eigenschaften feststoffarmer Gülle dürfte in erster Linie nach Einarbeitung in den Boden zum Ausdruck kommen. Gezielte Applikation der Gülle in den wachsenden Bestand (Band, Eindringen, Injektion) vermindert grundsätzlich die N-Immobilisation.

Ergebnisse von Feldversuchen zu Mais und Winterweizen Unabhängig von der Applikationstechnik (Injektion, Band) erreichte feststoffarme Gülle stets höhere Maiserträge als übliche Rindergülle (Abb. 5). Die Injektion ca. 15 cm neben die Maisreihe erreichte signifikante Mehrerträge gegenüber oberflächlicher Bandapplikation an die Maisreihe und zeigte Vorteile gegenüber KAS.

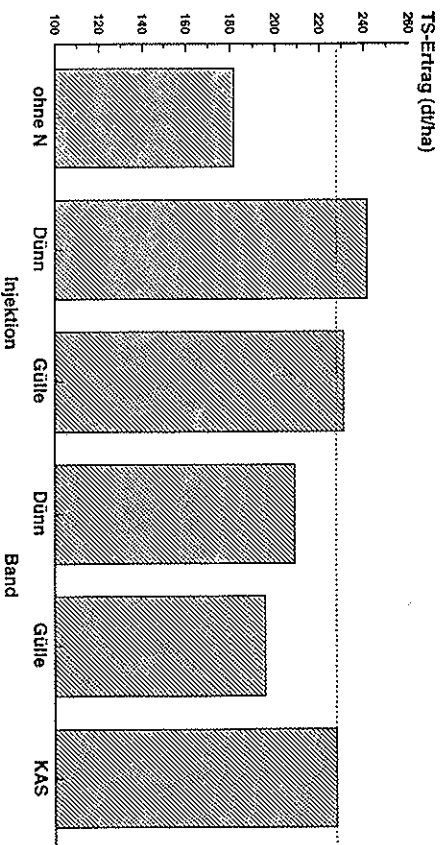


Abb. 5: TS-Erträge von Mais in Abhängigkeit von Aufbereitung und Applikationstechnik N-Gabe (kg/ha): 30 N (KAS) einheitlich + 60 N (Gülle-NH₄ bzw. KAS) bei 20 cm Wuchshöhe

Auch zu Winterweizen (Applikation: Schobbeginn) erwies sich separierte Gülle sowohl nach flächiger wie auch gezielter Applikation im Band der üblichen Rindergülle überlegen (Abb. 6). Die beste Wirkung wurde durch Bandapplikation (Schleppschlauchtechnik) von separierter Gülle erreicht, mit deutlicher Überlegenheit gegenüber KAS.

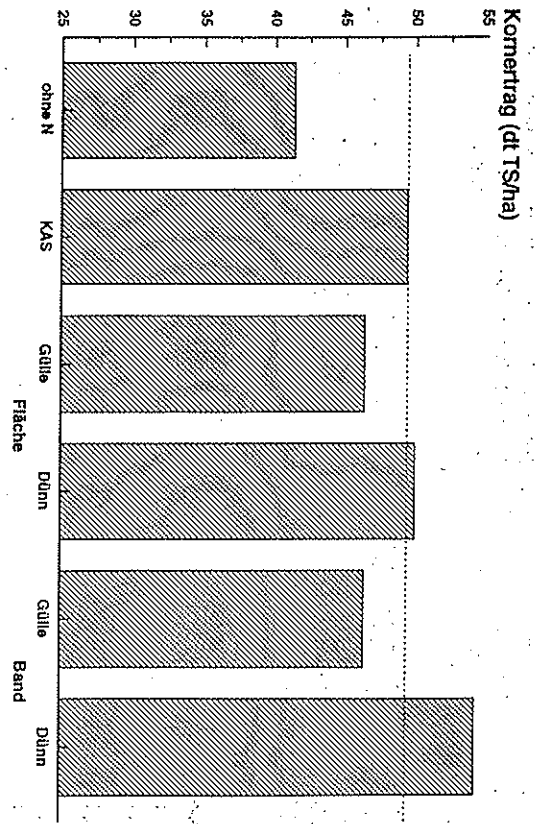


Abb. 6: Rindergülle (\pm separiert) zu Winterweizen - Schoßbeginn einheitliche N-Startgabe: 60 kg N als KAS, dann 60 kg N/ha (Gülle: $\text{NH}_4\text{-N}$)

Schlussfolgerungen

Die weitgehende Minimierung von N-Verlusten und N-Immobilisation sind entscheidende Voraussetzungen für eine gute und umweltgerechte Gülleverwertung. Einsatzzeitpunkt, Applikationstechnik (Einarbeitung, Injektion, Banddüngung) sowie Gülleaufbereitung (z.B. Separierung) bestimmen sehr wesentlich die Verlustpotentiale durch NO_3 -Auswaschung, NH_3 -Verflüchtigung, möglicherweise auch Denitrifikation (N_2 , N_2O) und das Ausmaß sowie die Dauer der Verfügbarkeit des NH_4 -Stickstoffs für die Pflanzen. Die Kombination verschiedener Maßnahmen lassen additive oder synergistische Effekte erwarten.

Literatur

Sämtliche Originalliteraturen sind über die Autoren erhältlich, ebenso wie eine große Anzahl von wissenschaftlichen Publikationen des Lehrstuhls für Pflanzenernährung der TU München-Weihenstephan über Arbeiten zum Problem "Gülle".