

Zur Nährstoff- und Sonderwirkung von Festmist

R. GUTSER

1 Einleitung

Die Gesamtwirkung von Festmist setzt sich aus einer unmittelbaren Nährstoffwirkung (N, P, K, Ca, Mg, S, Spurenelemente) sowie Sonderwirkungen zusammen. Letztere gehen in wesentlichen von der enthaltenen organischen Substanz aus und beeinflussen physikalische, chemische und mikrobiologische Bodeneigenschaften, z.B. Struktur und Aggregatstabilität, C- und N-Gehalte bzw. Sorptionsvermögen sowie biologische Aktivität (C-Umsatz, Mobilisation und Immobilisation von Nährstoffen). Zwischen Nährstoff- und Sonderwirkungen bestehen vielfältige Wechselbeziehungen (z.B. indirekte Nährstoffwirkung durch höhere Mobilität von Boden Nährstoffen oder besseren Wachstumsvoraussetzungen der Pflanzen (Wurzelwachstum, Aneignungsvermögen).

Die Gesamtwirkung von Festmist ist im wesentlichen abhängig von der stofflichen Zusammensetzung, z.T. auch von der Ausbringungstechnik (Verteilgenauigkeit) und Anwendungsstrategie (Menge, Zeitpunkt, Einarbeitung, NH_3 -Verluste); wichtige Parameter sind u. a. abbaubarer Kohlenstoff (je nach Rottegrad 50 bis 80 % von C), C/N-Quotient (12 bis 25), Anteil des NH_4 -Stickstoffs am Gesamt-N (5 bis 25 % je nach Strohannteil; Rottedauer, NH_3 -Verlust während Lagerung, Trennung Fest- und Flüssigphase (Jauche) (s. a. Gutser, 1990). Die Wirkung von Festmist wird in der Regel in Langzeitversuchen ermittelt. Im folgenden werden einige wichtige Ergebnisse von Dauerversuchen auf Lössböden in Halle-Lauchstädt bzw. Weihenstephan und anderer Versuchsstellen mitgeteilt. Bezüglich der Wirkung auf leichten Böden wird auf das Referat Asmus (1993) verwiesen.

2 Sonderwirkung von Festmist

Die Sonderwirkung von Festmist wird in einem Vergleich der Düngungsvarianten "NPK mineralisch" (= 100) und "NPK mineralisch + Stallmist" ermittelt und erreicht in Halle-Lauchstädt (Tab. 1) bis 4 % Mehrertrag.

Je nach Güte des Standorts und Optimierung der mineralischen Düngung werden Mehretrage zwischen 0 und 10 % erzielt, auch z.T. in Abhängigkeit von weiteren organischen Düngungsmaßnahmen (Erlreeste, Zwischenfrüchte). In Weihenstephan beträgt der als Sonderwirkung ausgewiesene Mehrertrag 9 % (mittlere mineralische N-Düngung, keine weitere organische Düngung) (s. Tab. 7).

Weitere Sonderwirkungen siehe Kapitel Nährstoffwirkungen.

Tab. 1: Stallmist-Versuch Halle-Lauchstädt, 76 Jahre; Erträge in t/ha bzw. relativ (NPK = 100)

Düngung	Kartoffeln (Fris)	Zurüben (Fris)	WWeizen (86% TS)	SoGerste (86% TS)
ungedüngt	92	264	42	19
NPK	307 = 100	517 = 100	58 = 100	44 = 100
NPK + Stallmist (200 dt jedes 2. Jahr)	= 104	= 104	96	102

(Quelle: Anonym, 1992; 80 Jahre statischer Versuch Lauchstädt)

3 Nährstoffwirkung von Festmist

Die in den Langzeitversuchen erarbeiteten Ergebnisse beinhalten z.T. mehr oder weniger starke Wechselbeziehungen mit Sonderwirkungen. Die Nährstoffwirkung wird meist mit der Differenzmethode (Mehrertrag gegenüber einer Nullparzelle in % der zugeführten Gesamtnährstoffmenge) errechnet, z.T. auch mit der Wirkung (Ausnutzung) einer Mineraldüngung (nicht immer gleiche Aufwandmengen) verglichen.

3.1 Stickstoff

In Weihenstephan schwankt die N-Verwertung von Stallmist (im 3jährigen Rhythmus appliziert) je nach Anrechnungszeit zwischen 33 und 38 % (Tab. 2). Bezogen auf eine 3jährige Fruchtfolge werden davon etwa die Hälfte bereits im Anwendungsjahr (Folgerfrucht) ausgenutzt. Die Mineraldüngung wird zu 55% verwertet. In beiden Varianten werden höhere N-Mengen vom Feld abgefahren als über die N-Düngung zugeführt (\varnothing 16 bzw. 19 kg N/ha⁻¹, a⁻¹) - (N-Zufuhr über Niederschläge, biologische N_2 -Fixierung etc.). Die positivere N-Bilanz des Stallmist-Gliedes macht sich in einem etwas höheren N-Gehalt (s.a. C-Gehalt), aber kaum in einem höheren Mineralisierungspotential des Bodens bemerkbar - die Hydrolyisierbarkeit (6 N HCl) der Stickstoffverbindungen ist etwas geringer, der "Stallmist-Boden" weist höhere Huminstoffgehalte auf (Tab. 3). Durch Stallmist kann demnach eine bessere Humusqualität aufrechterhalten werden als durch mineralische N-Düngung.

3.2 Phosphor

Die P-Ausnutzung der Stallmistdüngung beträgt in Weihenstephan (Tab. 4) und Lauchstädt (Tab. 8) etwa 40 %; die tatsächliche P-Abfuhr liegt im jährlichen Mittel um ca. 10 bis 12 kg P₂O₅/ha höher als die P-Zufuhr. Der Stallmist-P kann demnach langfristig zu 100 % verwertet werden, z.T. wohl bedingt durch die Sonderwirkung der organischen Substanz (s. oben).

Die rechnerische Verwertung der P-Mineraldüngung beträgt nur 18 % (hohes Düngungsintervall); die hohe P-Düngung führt zu einer P-Anreicherung des Bodens. Aus den Versuchsergebnissen darf zudem gefolgert werden, daß auf dieser Lössbraunerde für mittlere bis ho-

he Pflanzenerträge eine P-Versorgung der Krume von ca. 7 mg faktatischem P_2O_5 / 100 g Boden ausreichend ist.

Tab. 2: Stallmist-Versuch Weihenstephan (seit 1935), *N-Wirkung* (Schlag C)
Boden: ul.; einheitliche PK-Düngung

Düngung	Entzug (=Abfuhr) $kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$	Ausnutzung %
N_0	50	-
Stallmist	69	38*
Mineraldünger	92	55

N-Ausnutzung (Differenzmethode) 1940-1986: 33%*
 1. Jahr 16% 19%
 2. Jahr 9% 13%
 3. Jahr 8% 6%
 (Quelle: Bosch, 1980)

Tab. 3: Stallmist-Versuch Weihenstephan (seit 1935 - Schlag C):
Bodenuntersuchung (Krume 0 bis 25 cm) - 1974

Düngung	N_t mg N · 100g ⁻¹ davon nicht hydrolisierbar %	mg C/100 g	C_t davon			N-Nachlieferung	
			Fulvo- säure	Humir- säure	Humine + Streust.	Mineral- Rate ¹	Geßb- versuch ²
N_0	96	807	42	22	36	0,24	1,51*
Stallmist	111	978	35	25	40	0,27	1,46*
Mineraldünger	104	891	40	16	44	0,25	1,43*

(Quelle: Bosch, 1980)
 * mit pH-Ausgleich
 1 Incubation, Starford (1972) mg N · 100 g⁻¹
 2 3 x Weidelgras \sum mg N · 100 g⁻¹

Tab. 4: Stallmist-Versuch Weihenstephan (1934-1974), *P-Wirkung* (Schlag D)
Boden: ul.; einheitliche NK-Düngung (e 90 kg N + 144 kg $K_2O\ ha^{-1}\ a^{-1}$)
Bodenuntersuchung (Krume) 1974

P ₀	pH Ø	mg P_2O_5 /100 g Boden		Düngung $kg\ P_2O_5\ ha^{-1}\ a^{-1}$	Entzug (= Abfuhr)	Ausnutzung %
		Ges.	DL-P			
Stallmist	5,7	153	2	-	30	-
Mineraldünger	6,1	172	7	30	40	40
Ø Mineraldünger	6,1	200	14	76	43	18

Die NaOH ("Fe-, Al-P")- und H_2SO_4 ("Ca-P")-löslichen Anteile der anorganischen P-Fraktion des Bodens (Krume 0 bis 25 cm) wird durch Stallmist im Vergleich zur P_0 -Parzelle nicht verändert (Tab. 5), die hohe Mineraldüngung erhöht besonders die NaOH-lösliche Fraktion, aber auch das organische P. Stallmist-P - dieses liegt im Rindermist bekanntlich zu 60 bis 80 % in anorganischer Form vor - führt nicht zu einem Anstieg des organischen P des Bodens.

Tab. 5: Stallmist-Versuch Weihenstephan (1934-1985), *P-Wirkung* (Schlag D), Bodenuntersuchung (0-25 cm) - 1985

Düngung	*anorganisches P* (n. Scharafat) mg P_2O_5 /100 g		davon (%) NaOH H_2SO_4 löslich		*organisches P* (n. Bray) mg P_2O_5 /100 g
	P ₀	54	57	43	43
Stallmist	65	60	40	40	30
Mineraldünger	89	70	30	30	44

Die gute P-Wirkung von Stallmist ist neben der unmittelbaren Nährstoffwirkung auch auf Sonderwirkungen zurückzuführen. So diffundiert mineralisches Düngephosphat auf dem langjährig mit Stallmist versorgten Boden besser als auf der langjährig mineralisch über Entzug gedüngten Vergleichsvariante oder dem P_0 -Glieb (Tab. 6), so daß daraus eine gute Verfügbarkeit für die Pflanzen abgeleitet werden kann.

Tab. 6: Stallmist-Versuch Weihenstephan (seit 1934), *P-Diffusion in organisch und mineralisch gedüngten Böden* Bodenblockmethode mit P_{32} ; Bodenentnahme (Krume): 1973

Düngung	Diffusion in % d. Düngung
P ₀	11,4
Stallmist	15,6
Mineraldünger	12,6

(Quelle: Amann, 1980)

3.3 Kalium

Die K-Wirkung von Festmist entspricht im Weihenstephaner Versuch in etwa der einer Mineraldüngung (Tab. 7). Die mittlere K-Ausnutzung beträgt 51% und damit etwas weniger als im Versuch in Lauchstädt (59%, s. Tab. 8). Mit Ausnahme des Versuchsgliedes "Stallmist + Mineraldüngung" liegen negative Bilanzsalden (Düngung-Abfuhr) vor. Der Lössboden zeigt eine gute Pufferung (einheitliche Gehalte an DL- K_2O trotz Bilanzen von -32 bis -83 kg $K_2O\ ha^{-1}\ a^{-1}$); Nachlieferbares K (HCl) und K-Nachlieferung korrelieren mit den K-Bilanzsalden deutlich besser.

Tab. 7: Stallmist-Versuch Weißenstephan (1942-1973), "K-Wirkung" (Schlag A) - seit 1912 Boden: uL; 300 dt Stallmist/ha alle 3 Jahre ; einheitliche NP-Düngung (N mittel-optimal, P optimal)

	Bilanz	Bodenuntersuchung 1975 (Krumme, mg K ₂ O/100 g Boden)		
		DL-K ₂ O	HCl-K ₂ O	K-Fix
K ₀	- 83	7	37	22
Stallmist	- 53	8	40	21
Mineraldünger	- 32	8	43	4
Stallmist + Mineraldünger	+ 8	11	48	1

(Quelle: Amberger und Gutscher, 1976)

Wie oben mehrfach erwähnt, werden auf dem Lößboden in Lauchstädt im wesentlichen ähnliche Ausnutzungen der im Festmist enthaltenen Nährstoffe (N,P,K) wie in Weißenstephan erzielt (Tab. 8). Die gegenüber der Zufuhr um 17 (P) bis 44 (K) % höheren Abfuhr weisen neben der guten Verfügbarkeit der enthaltenen Nährstoffe auch auf nicht unerhebliche Sonderwirkungen des Festmistes (org. Substanz) hin. Im Falle des N sind allerdings auch beachtliche Zugewinne durch N-Immission, z.T. u.a. auch durch frei lebende Mikroorganismen zu berücksichtigen.

Tab. 8: Ausnutzung der Stallmist-Nährlemente, (Lauchstädt, ø 60 Jahre)

Untersuchungsgröße	N (+ PK)	kg ha ⁻¹ a ⁻¹ P (+ NK)	K (+ NP)
Leitung Boden	45	22	69
Entzug (= Abfuhr)	72	34	117
Mehrerzeugung	27	12	48
Zufuhr d. Stallmist	61	29	81
Ausnutzung %	44	41	59
Entzug x100	118	117	144
Zufuhr			

(Quelle: Ansoerge, 1965 und 1966)

Auch in einem 25jährigen Stallmistversuch in Landsberg (ca. 50 km südwestlich von München) zeigt der organische Dünger eine gute Nährstoffwirkung, insbesondere für N und K (Tab. 9). Auf diesem einheitlich niedrigen Düngerniveau wird Stallmist-N besser verwertet als Mineraldünger-N.

Trotz der in der Stallmist-Variante im Vergleich zu Mineraldüngung deutlich negativeren P- und K-Bilanz (Düngungs-Abfuhr) ist der Rückgang des DL-löslichen P und K des organisch gedüngten Bodens merklich geringer (Abb. 1) Die höheren Mengen an mobilen P- und K-Vorräten werden durch synergistische Wirkungen der organischen Substanz von Stallmist erklärt (Schön et al., 1976; Niederbude et al., 1977).

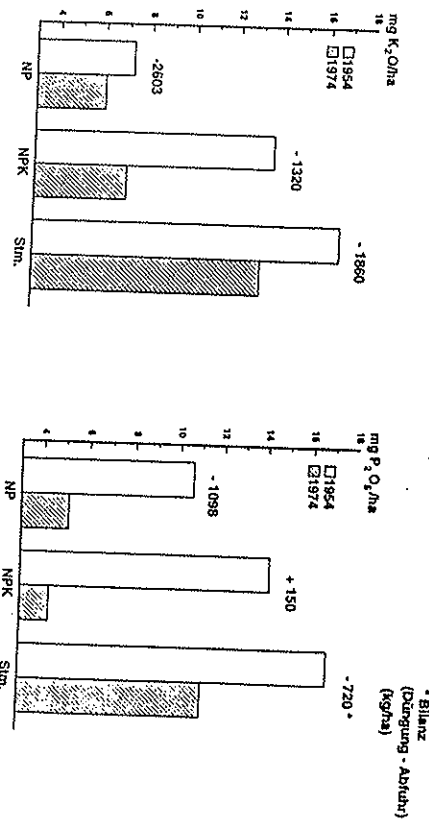
Tab. 9: Stallmist-Versuch Landsberg 1951-1975, "Vergleich Stallmist/Mineraldg. auf einheitlich niedrigem N-Niveau"; Boden: uL; ø Stallmistgabe: 1.000dt ha⁻¹ a⁻¹

Nährstoff Variante	Düngung		Entzug	Ausnutzung %
	kg ha ⁻¹ a ⁻¹			
N				
N ₀	-	75	-	-
Stallmist	32	93	56	56
Mineraldünger	38	93	47	47
P ₂ O ₅				
P ₀	-	44	-	-
Stallmist	18	47	17	17
Mineraldünger	53	47	6	6
K ₂ O				
K ₀	-	104	-	-
Stallmist	55	130	47	47
Mineraldünger	76	129	33	33

Fruchtfolge: 67% Getreide, 19% Kartoffeln, 14% Leguminosen
(Quelle: Schön et al., 1976)

Laktatäisches P und K des Bodens (DL)

(pH (KCl) - 1974; NPK 5,8 Stm. 6,7)



(Quelle: Schön et al., 1975)

Abb. 1: Stallmist-Versuch Landsberg 1950-1975

4 Sonderfrage der N-Wirkung von Festmist

Während in üblichen Düngungsversuchen die Verwertung des Stallmist-N nur durch das Differenzverfahren abgeschätzt werden kann, lassen Tracer-Versuche mit ¹⁵N die Ausnutzung durch Pflanzen und den Düngerrest im Boden besser ermitteln. In langjährigen Versuchen in Leipzig wird Stallmist-N zu 27 %, Mineraldünger zu 62 % von den Pflanzen ausgenutzt (Abb. 2). Stallmist bewirkt demnach eine deutlich stärkere Anreicherung des Bodenvorrates. Der in

Boden und Pflanze nicht wieder gefundene Dünger-N wird als Verlust bezeichnet und beträgt einheitlich 25 bis 27 % der Düngermenge. Ähnliche Ergebnisse erzielen wir in Ver-gleichversuchen (Lysimeter) mit Flüssigmist und Mineraldünger (Tab. 10).

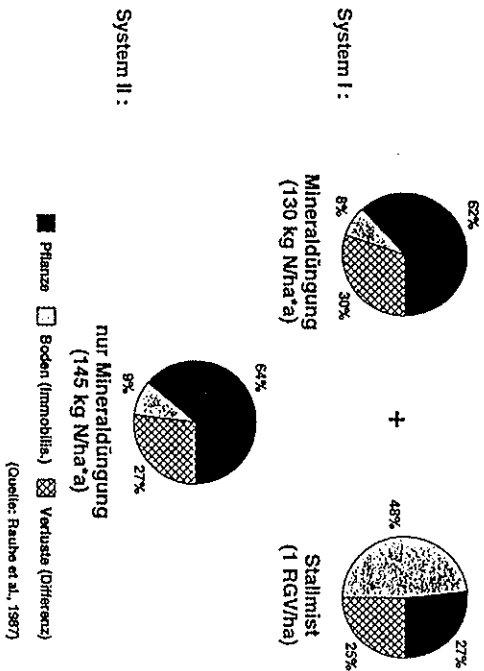


Abb. 2: N-Verwertung von Stallmist und Mineraldüngung, N-Versuch Leipzig (1967-1983)

Tab. 10: Verwertung von KAS und NH₄-Stickstoff der Gülle durch Zuckerrüben ('15N); Lysimeter im 7. Jahr - 1988 (kg N/ha)

N-Düngung	N-Aufnahme Düngung	N-Aufnahme Boden	N-Auswaschung Düngung	N-Auswaschung 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 Zwiffrucht	18 (18 %)	182	3	34

* % v. Düngung
(Quelle: Wislmeier und Gutscher, 1990)

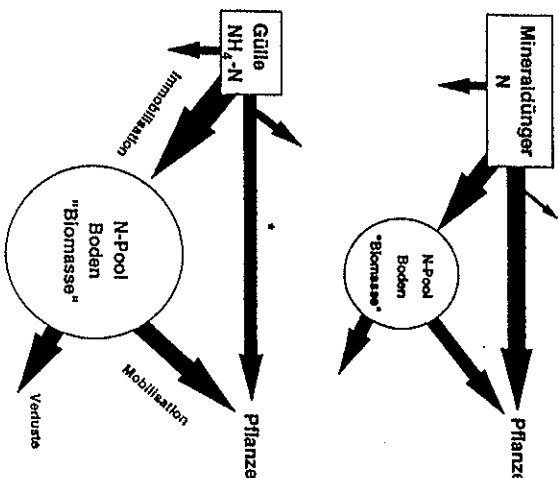
Mineraldünger-N wird im Anwendungsjahr zu 59 %, der NH₄-N der Gülle nur zu 32 % (in Kombination mit Zwischenfrucht nur zu 18 %) von Zuckerrüben verwertet. Der durch lang-jährige Anwendung von Gülle angereicherte Boden-N ermöglicht höhere N-Aufnahmen der Pflanzen aus dem N-Pool des Bodens, allerdings nimmt auch die Auswaschungsgefährdung für Nitratschlüssel zu. In unseren Versuchen kann auch gezeigt werden, daß der im Anwen-dungsjahr nicht verwertete Mineraldünger- und Gülle(NH₄)-N in den Folgejahren praktisch eine gleiche Verfügbarkeit zeigt (Tab. 11).

Tab. 11: Verfügbarer Düngestickstoff im Anwendungsjahr und in den Folgejahren ('15N); Lysimeter 1988-1991

Düngung	% v. Düngung	% v. Rest-N im Boden			
		1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr
KAS	60	11	4	4	10
Gülle März	33	9	4	4	9
Gülle zur Zwiffrucht	21	11	4	4	5

Fruchtfolge: Zuckerrüben - Winterweizen - Wintergerste - Zuckerrüben
verfügbarer N = (N-Aufnahme + N-Auswaschung)
(Quelle: Gutscher, 1990)

Ursache für die schwächere Ausnutzung des Gülle (NH₄)-Stickstoffs ist im wesentlichen die stärkere Immobilisation im Boden (Festlegung durch Mikroorganismen), die mit steigenden Gehalten an abbaubarem Kohlenstoff im Dünger zunimmt (Gutscher und Dösch, 1992). Abbil-dung 3 gibt ein vereinfachtes Schema über den N-Umsatz von Mineraldünger- und Gülle-stickstoff wieder.



* direkter Weg zur Pflanze: gering nach Einarbeitung in Boden; größer bei Düngung in den Bestand

Abb. 3: Verhalten von Mineraldünger- und Gülle (NH₄)-Stickstoff im System Boden/Pflanze (Schemata)

Für die Beurteilung des Stallmist-N ist zu berücksichtigen, daß der darin enthaltene Stick-stoff zum größten Teil (75 bis 95 %) bereits in organischer Bindung vorliegt und somit noch

deutlicher als Gülle den N-Pool des Bodens erhöhen dürfte. Entsprechend lassen sich insbesondere auch bei höheren Aufwandmengen (z.B. ab einem Viehbesatz größer als 2 GV/ha) durch Festmist gegenüber Gülle - die Umstellung der Stallhaltungssysteme wird derzeit in erster Linie aus ökologischen Gründen diskutiert - keine wesentlichen Auswirkungen auf das Gefährdungspotential für NO_3 -Auswaschung erwarten. In einem mehrjährigen Lysimeterversuch auf sandigen Lehnen nimmt die Ausnutzung des Stallmist-N durch die Pflanzen mit steigenden Gaben deutlich ab, die Auswaschung steigt bereits ab der mittleren Gabe ($120 \text{ N} = \text{ca. } 2 \text{ RGV/ha}$) deutlich an (Tab. 12)

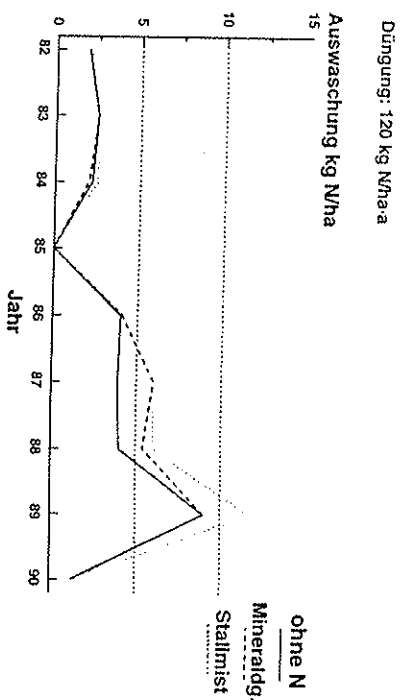
Tab. 12: Lysimeter-Versuch, Stallmist/Mineraldünger 1982-1990
Limburgerhof, sandiger Lehm, 450-600 mm Niederschlag
N-Gabe: 60-120-180 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$
Fruchtfolge: Getreide + Zwischenfrüchte

Düngung	Entzug ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$)	Ausnutzung (%)	Auswaschung ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$)
N_0	96	-	34
Stallmist	121	41	36
	126	26	41
	140	24	47
Mineraldünger	138	70	40
	187	76	37
	211	64	57

(Quelle: Dressel et al., 1992)

In den Varianten mit Mineraldüngung nimmt die Auswaschung erst bei höherem N-Niveau (180 N), aber dann sprunghaft zu (geringere Pufferung, z.B. über N-Immobilisation). Die zunehmende Auswaschunggefährdung für Stickstoff nach mehrjähriger Zufuhr hoher Stallmismengen wird im Verlauf des N-Austrages dieses jährigen Lysimeterversuches ersichtlich (Abb. 4).

Als Folge der bereits während der Stallmistlagerung eingetretenen NH_3 -Verluste und den Umsetzungen während des Rotteprozesses (Einbau von NH_4 -Stickstoff in die organische Substanz) enthält Festmist nur noch geringe NH_4 -Mengen (5 bis 25 % vom Gesamt-N) und besitzt demnach nur noch ein geringes Potential für gasförmige NH_3 -Verluste. Diese schwanken im Modellversuch (Windtunnel) zwischen 3-5 % des aufgetragenen Gesamtstickstoffs (Tab. 13). Bezogen auf die zugeführten NH_4 -Mengen betragen die Verluste allerdings 19 bis 45 %, d.h. der Vorgang der Abgasung läuft in ähnlicher Intensität ab wie z.B. aus Flüssigmist.



(Quelle: Dressel et al., 1992)

Abb. 4: N-Austrag nach Stallmist- und Mineraldüngung im Lysimeterversuch Limburgerhof, N-Düngung: $120 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$

Tab. 13: NH_3 -Verluste nach oberflächlicher Applikation von Stallmist (Verlustpotential - Windtunnel)

Boden	Bezugsbasis	NH_3 -Verluste	
		frischer Stallmist (21% $\text{NH}_4\text{-N v. N}$)	verrotteter Stallmist (14% $\text{NH}_4\text{-N v. N}$)
Sand, pH 5,5	$\text{NH}_4\text{-N}$ Ges. N	19	32
		4	3
Löß, pH 7,1	$\text{NH}_4\text{-N}$ Ges. N	26	45
		5	5

Messdauer: 12 Tage
(Quelle: Amberger, 1990)

5 Schlussfolgerungen

Die Gesamtwirkung von Festmist setzt sich aus Nährstoff- und Sonderwirkungen zusammen. Sie läßt sich bestenfalls in Langzeitergebnissen und da nur annäherungsweise erfassen. Die Sonderwirkung erreicht je nach Standortbedingung, Höhe der mineralischen und ergänzenden sonstigen organischen Düngung Mehrerträge von 0 bis 10 % (Mineraldüngung = 100).

Festmist besitzt eine insgesamt gute Nährstoffwirkung, z.T. bedingt durch Wechselbeziehungen mit der enthaltenen organischen Substanz. Die P- und K-Wirkung entspricht mindestens der von Mineraldüngern, so daß die enthaltenen Nährstoffmengen in der Düngebilanz voll zu berücksichtigen sind. Probleme für die Feinsteuerung der N-Düngung landwirtschaftlicher und gartenbaulicher Kulturen bereitet der Umsatz des Festmist-N im Boden. Festmist-

N liegt überwiegend (ca. 75 bis 95 %) in organischer Bindung vor und wird deshalb von den Pflanzen (2- bis 3-jähriger Düngungsrythmus) nur zu 35 bis 40 % (im Anwendungsjahr etwa zu 20 %) ausgenutzt. Der Rest erhöht den N-Pool des Bodens und damit dessen Stickstoff-Nachlieferungspotential, was zweifelsfrei für die Ertragsicherheit der angebauten Kulturen von Vorteil ist, mit dem aber auch Nachteile bezüglich eines höheren Gefährdungspotentials für die Nitratauswaschung verbunden sind. Mit steigendem Stallmistangebot sinkt die Ausnutzungsrate durch die Kulturpflanzen und nimmt die Verlustgefährdung zu, und dies bereits ab einem Viehbesatz zwischen 1 - 2 RGV/ha. Wenn auch das unmittelbare Auswaschungsrisiko nach Stallmistdüngung im Vergleich zur Gülledüngung gering ist (nur 5 bis 25 % des Gesamt-N liegen als $\text{NH}_4\text{-N}$ vor, im Gegensatz von 50 bis 70 % bei Gülle), so sollten sich Berater und Landwirte stets der unvermeidbaren Nachteile einer Eutrophierung der Böden durch überzogene Festmistgaben (hohe Viehdichten) bezüglich hoher N-Verluste insbesondere als Nitratauswaschung bewusst sein. Festmist ist sicherlich ein ausgezeichnete Dünger für die Mehrernte und Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, im Übermaß appliziert wird die Bodenfruchtbarkeit jedoch vermindert, weil der Boden seine Puffer- und Filterfunktion verliert.

6 Literatur

- Arnann, C. (1980): Versuche und Untersuchungen zur Wirkung organischer Substanzen auf die Mobilität von Boden und Düngersphosphat. Weihenstephan, TU München, Diss.
- Amberger, A. (1990): NH_3 -Verluste aus der Anwendung organischer und anorganischer Dünger. VDLUFA-Schriftenreihe, Kongreßband 1989, H. 30, S. 103-108.
- Amberger, A., Gutscher, R. (1976): Effect of long-term potassium fertilization on crops and potassium dynamics of a brown earth (Weihenstephan). Ann. agron. H. 27, 643-657.
- Anonymus (1982): 80 Jahre statischer Versuch Lauterstädt - Tagungsbericht, Akad. Landwirtschaftswiss., DDR, S. 205.
- Ansoerge, H. (1969): Nährstoffaufnahme und Nährstoffbilanzen im "Statischen Düngungsversuch Lauterstädt" nach 60-jähriger Versuchsdauer (1.-3. Mitt.). Thaeer-Archiv (Berlin) H. 9, S. 221-242 und S. 631-650.
- Ansoerge, H. (1968): Nährstoffaufnahme und Nährstoffbilanzen im "Statischen Düngungsversuch Lauterstädt" nach 60-jähriger Versuchsdauer (1.-3. Mitt.). Thaeer-Archiv (Berlin) H. 10, S. 259-277.
- Asmus, F. (1993): Anwendung von Festmist und Jauche im Pflanzenbau. Fachgespräch "Umweltverträgliche Verwertung von Festmist" in Waltersdorf/Thüringen, 26./27.11.1992. KTBL-Arbeitspapier Nr. 182.
- Bosch, M. (1980): Bodeneigenschaften, Erträge und Mineralstoffentzüge einer Ackerbauniederlande unter dem Einfluß langjähriger Düngung mit verschiedenen Stickstoffformen. Weihenstephan, TU München, Diss.
- Dressel, J., Weigelt, W., Mockel, D. (1992): Langjährige Untersuchungen über die Wirkung von Stickstoff aus Mineraldüngung und Stallmist (Lysimeterversuche). Agricol. Res. H. 45, S. 177-185.
- Gutscher, R. (1990): Grundlagen der Nährstoffwirkung von Gülle und Festmist. Tagungsband "Umwelt-schonende Verwertung von Fest- und Flüssigmist auf landwirtschaftlichen Nutzflächen". Landtechnik Weihenstephan, 27./28.05.1990.

Gutscher, R., Dösch, P. (1992): Strategien zur Optimierung der Stickstoffwirkung von Flüssigmist. Tagungsband Landtechnik Weihenstephan "Neue Techniken zum umweltgerechten und wirtschaftlichen Einsatz von mineralischen und organischen Düngern" am 11.11.1992. Neumarck/Opf., S. 38-48.

Niederbuckde, E.A., Becher, H.H., Schön, M. (1977): Veränderungen von Eigenschaften einer Schwarzerde-Parabraunerde als Folge von Stallmist- und Mineraldüngung. Landw. Forsch. H. 30, 29-45.

Raube, K., Hobernik, J., Siebert, B. (1987): Untersuchungen zur langfristigen Wirkungsmechanismen von Stallmist-N und Mineral-N im System Pflanze-Boden. Arch. Acker- und Pflanzenbau u. Bodenkunde, H. 31, S. 711-718.

Schön, M., Niederbuckde, E.A., Mahkorn, A. (1976): Ergebnisse eines 20-jährigen Versuches mit Mineral- und Stallmistdüngung im Lößgebiet bei Landsberg (Lech). Z. Acker- und Pflanzenbau H. 143, S. 27-37.

Vilsmeier, K., Gutscher, R. (1990): N-Ausnutzung nach Mineral- und Gülledüngung (^{15}N) im Weihenstephaner Lysimeter. VDLUFA-Schriftenreihe, Kongreßband 1989, H. 30, S. 175-180.

Zur Nährstoff- und Sonderwirkung von Festmist

R. GUTSER

1 Einleitung

Die Gesamtwirkung von Festmist setzt sich aus einer unmittelbaren Nährstoffwirkung (N, P, K, Ca, Mg, S, Spurenelemente) sowie Sonderwirkungen zusammen. Letztere gehen im wesentlichen von der enthaltenen organischen Substanz aus und beeinflussen physikalische, chemische und mikrobiologische Bodeneigenschaften, z.B. Struktur und Aggregatstabilität, C- und N-Gehalte bzw. Sorptionsvermögen sowie biologische Aktivität (C-Umsatz, Mobilisation und Immobilisation von Nährstoffen). Zwischen Nährstoff- und Sonderwirkungen bestehen vielfältige Wechselbeziehungen (z.B. indirekte Nährstoffwirkung durch höhere Mobilität von Bodennährstoffen oder besseren Wachstumsvoraussetzungen der Pflanzen (Wurzelwachstum, Aneignungsvermögen).

Die Gesamtwirkung von Festmist ist im wesentlichen abhängig von der stofflichen Zusammensetzung, z.T. auch von der Ausbringtechnik (Verteilgenauigkeit) und Anwendungsstrategie (Menge, Zeitpunkt, Einarbeitung, NH_3 -Verluste); wichtige Parameter sind u. a. abbaubarer Kohlenstoff (je nach Rottegrad 50 bis 80 % von C), C/N-Quotient (12 bis 25), Anteil des NH_4 -Stickstoffs am Gesamt-N (5 bis 25 % je nach Strohanteil, Rottedauer, NH_3 -Verlust während Lagerung, Trennung Fest- und Flüssigphase (Jauche) (s. a. Gutser, 1990). Die Wirkung von Festmist wird in der Regel in Langzeitversuchen ermittelt. Im folgenden werden einige wichtige Ergebnisse von Dauerversuchen auf Lößböden in Halle-Lauchstädt bzw. Weißenstephan und anderer Versuchsstellen mitgeteilt. Bezüglich der Wirkung auf leichten Böden wird auf das Referat Asmus (1993) verwiesen.

2 Sonderwirkung von Festmist

Die Sonderwirkung von Festmist wird in einem Vergleich der Düngungsvarianten "NPK mineralisch" (= 100) und "NPK mineralisch + Stallmist" ermittelt und erreicht in Halle-Lauchstädt (Tab. 1) bis 4 % Mehrertrag.

Je nach Güte des Standorts und Optimierung der mineralischen Düngung werden Mehrerträge zwischen 0 und 10 % erzielt, auch z.T. in Abhängigkeit von weiteren organischen Düngungsmaßnahmen (Erntereste, Zwischenfrüchte). In Weißenstephan beträgt der als Sonderwirkung ausgewiesene Mehrertrag 9 % (mittlere mineralische N-Düngung, keine weitere organische Düngung) (s. Tab. 7).

Weitere Sonderwirkungen siehe Kapitel Nährstoffwirkungen.

Tab. 1: Stallmist-Versuch Halle-Lauchstädt; 76 Jahre; Erträge in dt/ha bzw. relativ (NPK = 100)

Düngung	Kartoffeln (FriS)	ZuRüben (FriS)	WiWeizen (86% TS)	SoGerste (86% TS)
ungedüngt	92	254	42	19
NPK	307 = 100	517 = 100	56 = 100	44 = 100
NPK + Stallmist (200 dt jedes 2. Jahr)	= 104	= 104	96	102

(Quelle: Anonym, 1982; 80 Jahre statischer Versuch Lauchstädt)

3 Nährstoffwirkung von Festmist

Die in den Langzeitversuchen erarbeiteten Ergebnisse beinhalten z.T. mehr oder weniger starke Wechselbeziehungen mit Sonderwirkungen. Die Nährstoffwirkung wird meist mit der Differenzmethode (Mehrentzug gegenüber einer Nullparzelle in % der zugeführten Gesamtnährstoffmenge) errechnet, z.T. auch mit der Wirkung (Ausnutzung) einer Mineraldüngung (nicht immer gleiche Aufwandmengen!) verglichen.

3.1 Stickstoff

In Weihenstephan schwankt die N-Verwertung von Stallmist (im 3jährigen Rhythmus appliziert) je nach Anrechnungszeit zwischen 33 und 38 % (Tab. 2). Bezogen auf eine 3jährige Fruchtfolge werden davon etwa die Hälfte bereits im Anwendungsjahr (Folgefucht) ausgenutzt. Die Mineraldüngung wird zu 55% verwertet. In beiden Varianten werden höhere N-Mengen vom Feld abgefahren als über die N-Düngung zugeführt ($\bar{\sigma}$ 16 bzw. 19 kg N·ha⁻¹·a⁻¹) - (N-Zufuhr über Niederschläge, biologische N₂-Fixierung etc.). Die positivere N-Bilanz des Stallmist-Gliedes macht sich in einem etwas höheren N_t-Gehalt (s.a. C-Gehalt), aber kaum in einem höheren Mineralisierungspotential des Bodens bemerkbar - die Hydrolysierbarkeit (6 N HCl) der Stickstoffverbindungen ist etwas geringer, der "Stallmist-Boden" weist höhere Huminstoffgehalte auf (Tab. 3). Durch Stallmist kann demnach eine bessere Humusqualität aufrechterhalten werden als durch mineralische N-Düngung.

3.2 Phosphor

Die P-Ausnutzung der Stallmistdüngung beträgt in Weihenstephan (Tab. 4) und Lauchstädt (Tab. 8) etwa 40 %; die tatsächliche P-Abfuhr liegt im jährlichen Mittel um ca. 10 bis 12 kg P₂O₅/ha höher als die P-Zufuhr. Der Stallmist-P kann demnach langfristig zu 100 % verwertet werden, z.T. wohl bedingt durch die Sonderwirkung der organischen Substanz (s. oben).

Die rechnerische Verwertung der P-Mineraldüngung beträgt nur 18 % (hohes Düngungs-niveau); die hohe P-Düngung führt zu einer P-Anreicherung des Bodens. Aus den Versuchsergebnissen darf zudem gefolgert werden, daß auf dieser Lößbraunerde für mittlere bis ho-

he Pflanzenerträge eine P-Versorgung der Krume von ca. 7 mg laktatlöslichem P_2O_5 / 100 g Boden ausreichend ist.

Tab. 2: Stallmist-Versuch Weihenstephan (seit 1935), "N-Wirkung" (Schlag C)
Boden: uL; einheitliche PK-Düngung

	Düngung	Entzug (=Abfuhr)	Ausnutzung %
	kg·ha ⁻¹ ·a ⁻¹		
N ₀	-	50	-
Stallmist	50	69	38*
Mineraldünger	76	92	55

N-Ausnutzung (Differenzmethode) 1940-1986: 33 %*

1. Jahr	16%	19%
2. Jahr	9%	13%
3. Jahr	8%	6%

(Quelle: Bosch, 1980)

Tab.3: Stallmist-Versuch Weihenstephan (seit 1935 - Schlag C);
Bodenuntersuchung (Krume 0 bis 25 cm) - 1974

Düngung	N _t		mg C/100 g	C _t davon			N-Nachlieferung	
	mg N · 100g ⁻¹	davon nicht hydrolysiert %		Fulvo-säure	Huminsäure	Humine + Streust.	Mineral. Rate ¹	Gefäß-versuch ²
N ₀	96	11.6	807	42	22	36	0.24	1.51*
Stallmist	111	13.6	978	35	25	40	0.27	1.46*
Mineraldünger	104	11.9	891	40	16	44	0.25	1.43*

(Quelle: Bosch, 1980)

* mit pH-Ausgleich

¹ Incubation, Stanford (1972) mg N · 100 g⁻¹

² 3 x Weidelgras Σ mg N · 100 g⁻¹

Tab. 4: Stallmist-Versuch Weihenstephan (1934-1974), "P-Wirkung" (Schlag D)
Boden: uL einheitliche NK-Düngung (ø 90 kg N + 144 kg K₂O·ha⁻¹·a⁻¹)
Bodenuntersuchung (Krume) 1974

	pH Ø	mg P ₂ O ₅ /100 g Boden		Düngung kg P ₂ O ₅ ·ha ⁻¹ ·a ⁻¹	Entzug (= Abfuhr)	Ausnutzung %
		Ges.	DL-P			
P ₀	5.7	153	2	-	30	-
Stallmist	6.1	172	7	30	40	40
Ø Mineraldünger	6.1	200	14	76	43	18

Die NaOH ("Fe-, Al-P")- und H₂SO₄ ("Ca-P")-löslichen Anteile der anorganischen P-Fraktion des Bodens (Krume 0 bis 25 cm) wird durch Stallmist im Vergleich zur P₀-Parzelle nicht verändert (Tab. 5), die hohe Mineraldüngung erhöht besonders die NaOH-lösliche Fraktion, aber auch das organische P. Stallmist-P - dieses liegt im Rindermist bekanntlich zu 60 bis 80 % in anorganischer Form vor - führt nicht zu einem Anstieg des organischen P des Bodens.

Tab. 5: Stallmist-Versuch Weihenstephan (1934-1985), "P-Wirkung" (Schlag D), Bodenuntersuchung (0-25 cm) - 1985

Düngung	"anorganisches P" (n. Scharafat)			"organisches P" (n. Bray) mg P ₂ O ₅ /100 g
	mg P ₂ O ₅ /100 g	davon (%) NaOH H ₂ SO ₄ löslich		
P ₀	54	57	43	34
Stallmist	65	60	40	30
Mineraldünger	89	70	30	44

Die gute P-Wirkung von Stallmist ist neben der unmittelbaren Nährstoffwirkung auch auf Sonderwirkungen zurückzuführen. So diffundiert mineralisches Düngerphosphat auf dem langjährig mit Stallmist versorgten Boden besser als auf der langjährig mineralisch über Entzug gedüngten Vergleichsvariante oder dem P₀-Glieder (Tab. 6), so daß daraus eine gute Verfügbarkeit für die Pflanzen abgeleitet werden kann.

Tab.6: Stallmist-Versuch Weihenstephan (seit 1934), "P-Diffusion in organisch und mineralisch gedüngten Böden" Bodenblockmethode mit P³²; Bodenentnahme (Krume): 1973

Düngung	Diffusion in % d. Düngung
P ₀	11.4
Stallmist	15.6
Mineraldünger	12.6

(Quelle: Amann, 1980)

3.3 Kalium

Die K-Wirkung von Festmist entspricht im Weihenstephaner Versuch in etwa der einer Mineraldüngung (Tab. 7). Die mittlere K-Ausnutzung beträgt 51% und damit etwas weniger als im Versuch in Lauchstädt (59 %, s. Tab. 8). Mit Ausnahme des Versuchsgliedes "Stallmist + Mineraldüngung" liegen negative Bilanzsalden (Düngung-Abfuhr) vor. Der Lößboden zeigt eine gute Pufferung (einheitliche Gehalte an DL-K₂O trotz Bilanzen von -32 bis -83 kg K₂O·ha⁻¹·a⁻¹). Nachlieferbares K (HCl) und K-Naßfixierung korrelieren mit den K-Bilanzsalden deutlich besser.

Tab. 7: Stallmist-Versuch Weißenstephan (1942-1973), "K-Wirkung" (Schlag A) - seit 1912
 Boden: uL; 300 dt Stallmist/ha alle 3 Jahre ; einheitliche NP-Düngung (N mittel-optimal, P optimal)

	Bilanz	Bodenuntersuchung 1975 (Krume, mg K ₂ O/100 g Boden)		
		DL-K ₂ O	HCl-K ₂ O	K-Fix
K ₀	- 83	7	37	22
Stallmist	- 53	8	40	21
Mineraldünger	- 32	8	43	4
Stallmist + Mineraldünger	+ 8	11	48	1

(Quelle: Amberger und Gutser, 1976)

Wie oben mehrfach erwähnt, werden auf dem Lössboden in Lauchstädt im wesentlichen ähnliche Ausnutzungen der im Festmist enthaltenen Nährstoffe (N,P,K) wie in Weißenstephan erzielt (Tab. 8). Die gegenüber der Zufuhr um 17 (P) bis 44 (K) % höheren Abfuhr weisen neben der guten Verfügbarkeit der enthaltenen Nährstoffe auch auf nicht unerhebliche Sonderwirkungen des Festmistes (org. Substanz) hin. Im Falle des N sind allerdings auch beachtliche Zugewinne durch N-Immission, z.T. u.a. auch durch frei lebende Mikroorganismen zu berücksichtigen.

Tab. 8: Ausnutzung der Stallmist-Nährelemente, (Lauchstädt, ø 60 Jahre)

Untersuchungsgröße	kg·ha ⁻¹ ·a ⁻¹		
	N (+ PK)	P (+ NK)	K (+ NP)
Lieferung Boden	45	22	69
Entzug (= Abfuhr)	72	34	117
Mehrentzug	27	12	48
Zufuhr d. Stallmist	61	29	81
Ausnutzung %	44	41	59
$\frac{\text{Entzug}}{\text{Zufuhr}} \times 100$	118	117	144

(Quelle: Ansorge, 1965 und 1966)

Auch in einem 25jährigen Stallmistversuch in Landsberg (ca. 50 km südwestlich von München) zeigt der organische Dünger eine gute Nährstoffwirkung, insbesondere für N und K (Tab. 9). Auf diesem einheitlich niedrigen Düngungsniveau wird Stallmist-N besser verwertet als Mineraldünger-N.

Trotz der in der Stallmist-Variante im Vergleich zu Mineraldüngung deutlich negativeren P- und K-Bilanz (Düngungs-Abfuhr) ist der Rückgang des DL-löslichen P und K des organisch gedüngten Bodens merklich geringer (Abb. 1) Die höheren Mengen an mobilen P- und K-Vorräten werden durch synergistische Wirkungen der organischen Substanz von Stallmist erklärt (Schön et al., 1976; Niederbudde et al., 1977).

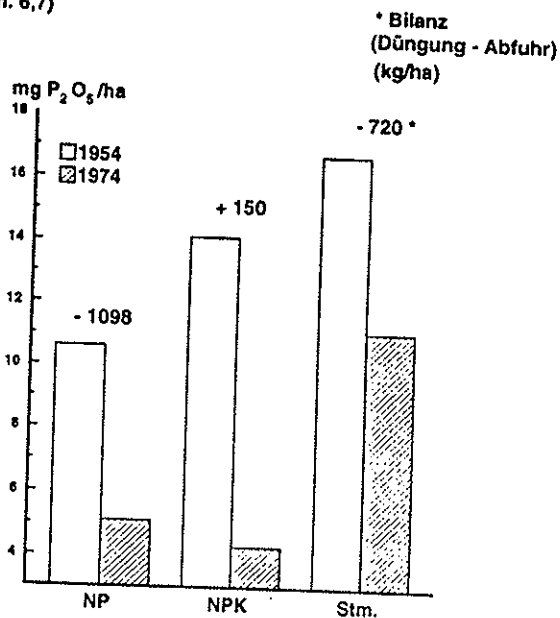
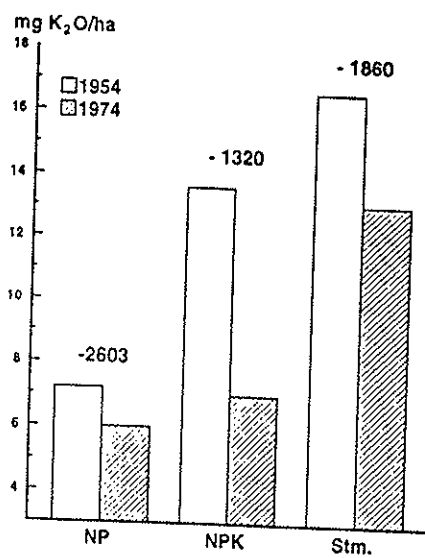
Tab. 9: Stallmist-Versuch Landsberg 1951-1975, "Vergleich Stallmist/Mineraldg. auf einheitlich niedrigem N-Niveau"; Boden: uL; ø Stallmistgabe: 100dt·ha⁻¹·a⁻¹

Nährstoff Variante		Düngung	Entzug	Ausnutzung
		kg·ha ⁻¹ ·a ⁻¹		%
N	N ₀	-	75	-
	Stallmist	32	93	56
	Mineraldünger	38	93	47
P ₂ O ₅	P ₀	-	44	-
	Stallmist	18	47	17
	Mineraldünger	53	47	6
K ₂ O	K ₀	-	104	-
	Stallmist	55	130	47
	Mineraldünger	76	129	33

Fruchtfolge: 67% Getreide, 19% Kartoffeln, 14% Leguminosen
(Quelle: Schön et al., 1976)

Laktatlösliches P und K des Bodens (DL)

(pH (KCl) - 1974: NPK 5,8 Stm. 6,7)



* Bilanz (Düngung - Abfuhr) (kg/ha)

(Quelle: Schön et al., 1975)

Abb. 1: Stallmist-Versuch Landsberg 1950-1975

4 Sonderfrage der N-Wirkung von Festmist

Während in üblichen Düngungsversuchen die Verwertung des Stallmist-N nur durch das Differenzverfahren abgeschätzt werden kann, lassen Tracer-Versuche mit ¹⁵N die Ausnutzung durch Pflanzen und den Düngerrest im Boden besser ermitteln. In langjährigen Versuchen in Leipzig wird Stallmist-N zu 27 %, Mineraldünger zu 62 % von den Pflanzen ausgenutzt (Abb. 2). Stallmist bewirkt demnach eine deutlich stärkere Anreicherung des Bodenvorrates. Der in

Boden und Pflanze nicht wieder gefundene Dünger-N wird als Verlust bezeichnet und beträgt einheitlich 25 bis 27 % der Düngermenge. Ähnliche Ergebnisse erzielen wir in Vergleichsversuchen (Lysimeter) mit Flüssigmist und Mineraldünger (Tab. 10).

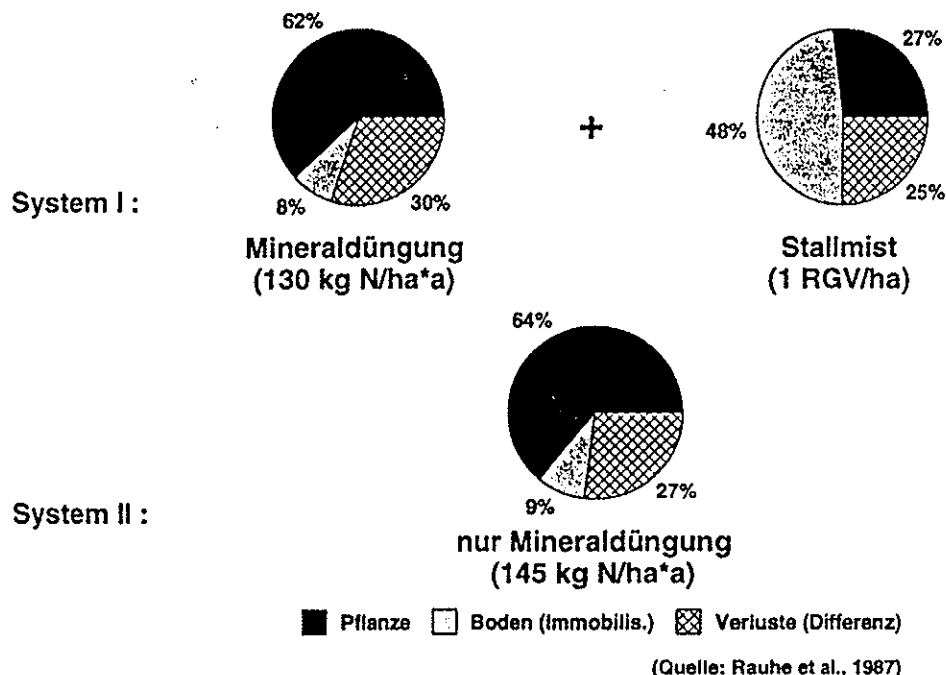


Abb. 2: N-Verwertung von Stallmist und Mineraldüngung, N-Versuch Leipzig (1967-1983)

Tab. 10: Verwertung von KAS und NH₄-Stickstoff der Gülle durch Zuckerrüben (¹⁵N); Lysimeter im 7. Jahr - 1988 (kg N/ha)

N-Düngung	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 ZwiFrucht	18 (18 %)	182	3	34

* % v. Düngung
(Quelle: Vilsmeier und Gutser, 1990)

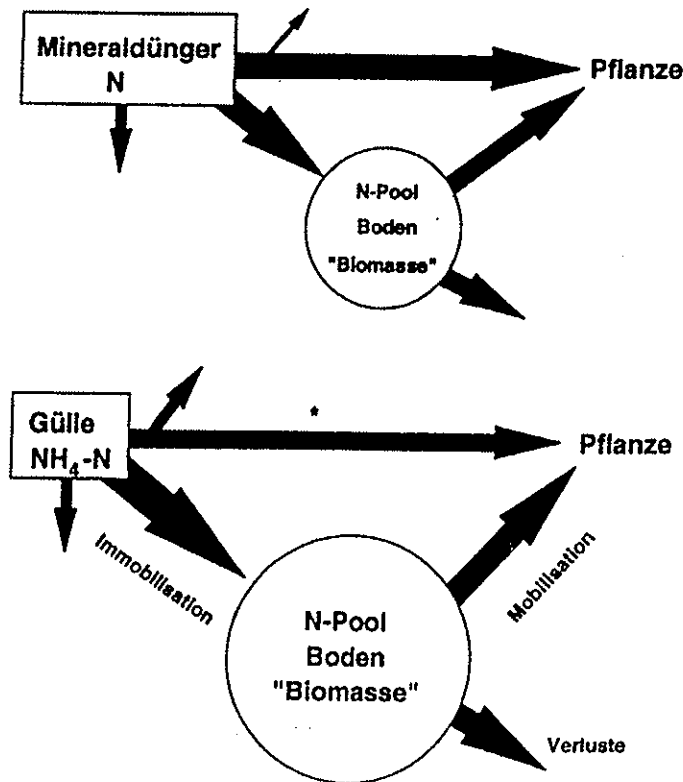
Mineraldünger-N wird im Anwendungsjahr zu 59 %, der NH₄-N der Gülle nur zu 32 % (in Kombination mit Zwischenfrucht nur zu 18 %) von Zuckerrüben verwertet. Der durch langjährige Anwendung von Gülle angereicherte Boden-N ermöglicht höhere N-Aufnahmen der Pflanzen aus dem N-Pool des Bodens, allerdings nimmt auch die Auswaschungsgefährdung für Nitratstickstoff zu. In unseren Versuchen kann auch gezeigt werden, daß der im Anwendungsjahr nicht verwertete Mineraldünger- und Gülle(NH₄)-N in den Folgejahren praktisch eine gleiche Verfügbarkeit zeigt (Tab. 11).

Tab. 11: Verfügbarer Düngestickstoff im Anwendungsjahr und in den Folgejahren (^{15}N); Lysimeter 1988-1991

Düngung	% v. Düngung	% v. Rest-N im Boden		
	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr
KAS	60	11	4	10
Gülle März	33	9	4	9
Gülle zur ZwiFrucht	21	11	4	5

Fruchtfolge: Zuckerrüben - Winterweizen - Wintergerste - Zuckerrüben
 verfügbarer N = (N-Aufnahme + N-Auswaschung)
 (Quelle: Gutser, 1990)

Ursache für die schwächere Ausnutzung des Gülle (NH_4)-Stickstoffs ist im wesentlichen die stärkere Immobilisation im Boden (Festlegung durch Mikroorganismen), die mit steigenden Gehalten an abbaubarem Kohlenstoff im Dünger zunimmt (Gutser und Dosch, 1992). Abbildung 3 gibt ein vereinfachtes Schema über den N-Umsatz von Mineraldünger- und Güllestickstoff wieder.



* direkter Weg zur Pflanze: gering nach Einarbeitung in Boden; größer bei Düngung in den Bestand

Abb. 3: Verhalten von Mineraldünger -und Gülle (NH_4)-Stickstoff im System Boden/Pflanze (Schema)

Für die Beurteilung des Stallmist-N ist zu berücksichtigen, daß der darin enthaltene Stickstoff zum größten Teil (75 bis 95 %) bereits in organischer Bindung vorliegt und somit noch

deutlicher als Gülle den N-Pool des Bodens erhöhen dürfte. Entsprechend lassen sich insbesondere auch bei höheren Aufwandmengen (z.B. ab einem Viehbesatz größer als 2 GV/ha) durch Festmist gegenüber Gülle - die Umstellung der Stallhaltungssysteme wird derzeit in erster Linie aus ökologischen Gründen diskutiert - keine wesentlichen Auswirkungen auf das Gefährdungspotential für NO_3 -Auswaschung erwarten. In einem mehrjährigen Lysimeterversuch auf sandigem Lehm nimmt die Ausnutzung des Stallmist-N durch die Pflanzen mit steigenden Gaben deutlich ab, die Auswaschung steigt bereits ab der mittleren Gabe (120 N = ca. 2 RGV/ha) deutlich an (Tab. 12)

Tab. 12: Lysimeter-Versuch, Stallmist/Mineraldünger 1982-1990
 Limburgerhof, sandiger Lehm, 450-600 mm Niederschlag
 N-Gabe: 60-120-180 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$
 Fruchtfolge: Getreide + Zwischenfrüchte

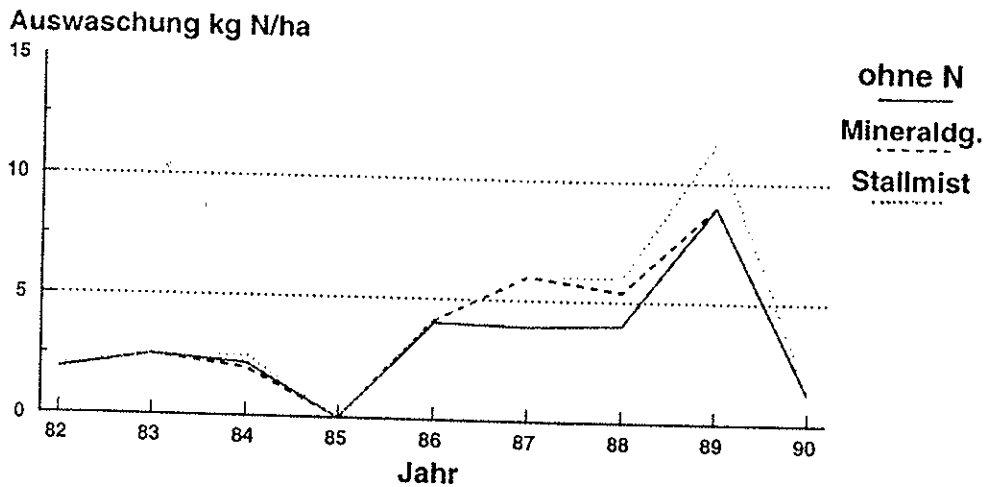
Düngung	Entzug ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$)	Ausnutzung (%)	Auswaschung ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$)
N_0	96	-	34
Stallmist 60	121	41	36
120	126	26	41
180	140	24	47
Mineraldünger 60	138	70	40
120	187	76	37
180	211	64	57

(Quelle: Dressel et al., 1992)

In den Varianten mit Mineraldüngung nimmt die Auswaschung erst bei höherem N-Niveau (180 N), aber dann sprunghaft zu (geringere Pufferung, z.B. über N-Immobilisation). Die zunehmende Auswaschungsgefährdung für Stickstoff nach mehrjähriger Zufuhr hoher Stallmistmengen wird im Verlauf des N-Austrages dieses 9jährigen Lysimeterversuches ersichtlich (Abb. 4).

Als Folge der bereits während der Stallmistlagerung eingetretenen NH_3 -Verluste und den Umsetzungen während des Rotteprozesses (Einbau von NH_4 -Stickstoff in die organische Substanz) enthält Festmist nur noch geringe NH_4 -Mengen (5 bis 25 % vom Gesamt-N) und besitzt demnach nur noch ein geringes Potential für gasförmige NH_3 -Verluste. Diese schwanken im Modellversuch (Windtunnel) zwischen 3-5 % des aufgetragenen Gesamtstickstoffs (Tab. 13). Bezogen auf die zugeführten NH_4 -Mengen betragen die Verluste allerdings 19 bis 45 %, d.h. der Vorgang der Abgasung läuft in ähnlicher Intensität ab wie z.B. aus Flüssigmist.

Düngung: 120 kg N/ha·a



(Quelle: Dressel et al., 1992)

Abb. 4: N-Austrag nach Stallmist- und Mineraldüngung im Lysimeterversuch Limburgerhof, N-Düngung: 120 kg N·ha⁻¹·a⁻¹

Tab. 13: NH₃-Verluste nach oberflächlicher Applikation von Stallmist (Verlustpotential - Windtunnel)

Boden	Bezugsbasis	NH ₃ -Verluste	
		frischer Stallmist (21% NH ₄ -N v. N _t)	verrotteter Stallmist (14% NH ₄ -N v. N _t)
Sand, pH 5,5	NH ₄ -N	19	32
	Ges.N	4	3
Löß, pH 7.1	NH ₄ -N	26	45
	Ges.N	5	5

Meßdauer: 12 Tage
(Quelle : Amberger, 1990)

5 Schlußfolgerungen

Die Gesamtwirkung von Festmist setzt sich aus Nährstoff- und Sonderwirkungen zusammen. Sie läßt sich bestenfalls in Langzeitversuchen und da nur annäherungsweise erfassen. Die Sonderwirkung erreicht je nach Standortbedingung, Höhe der mineralischen und ergänzenden sonstigen organischen Düngung Mehrerträge von 0 bis 10 % (Mineraldüngung = 100).

Festmist besitzt eine insgesamt gute Nährstoffwirkung, z.T. bedingt durch Wechselbeziehungen mit der enthaltenen organischen Substanz. Die P- und K-Wirkung entspricht mindestens der von Mineraldüngern, so daß die enthaltenen Nährstoffmengen in der Düngerbilanz voll zu berücksichtigen sind. Probleme für die Feinsteuerung der N-Düngung landwirtschaftlicher und gartenbaulicher Kulturen bereitet der Umsatz des Festmist-N im Boden. Festmist-

N liegt überwiegend (ca. 75 bis 95 %) in organischer Bindung vor und wird deshalb von den Pflanzen (2- bis 3jähriger Düngungsrythmus) nur zu 35 bis 40 % (im Anwendungsjahr etwa zu 20 %) ausgenutzt. Der Rest erhöht den N-Pool des Bodens und damit dessen Stickstoff-Nachlieferungspotential, was zweifelsohne für die Ertragssicherheit der angebauten Kulturen von Vorteil ist, mit dem aber auch Nachteile bezüglich eines höheren Gefährdungspotentials für die Nitratauswaschung verbunden sind. Mit steigendem Stallmistangebot sinkt die Ausnutzungsrates durch die Kulturpflanzen und nimmt die Verlustgefährdung zu, und dies bereits ab einem Viehbesatz zwischen 1 - 2 RGV/ha. Wenn auch das unmittelbare Auswaschungsrisiko nach Stallmistdüngung im Vergleich zur Gülledüngung gering ist (nur 5 bis 25 % des Gesamt-N liegen als $\text{NH}_4\text{-N}$ vor, im Gegensatz von 50 bis 70 % bei Gülle), so sollten sich Berater und Landwirt stets der unvermeidbaren Nachteile einer Eutrophierung der Böden durch überzogene Festmistgaben (hohe Viehdichten) bezüglich hoher N-Verluste insbesondere als Nitratauswaschung bewußt sein. Festmist ist sicherlich ein ausgezeichneter Dünger für die Mehrung und Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, im Übermaß appliziert wird die Bodenfruchtbarkeit jedoch vermindert, weil der Boden seine Puffer- und Filterfunktion verliert.

6 Literatur

Amann, C. (1980): Versuche und Untersuchungen zur Wirkung organischer Substanzen auf die Mobilität von Boden und Düngerphosphat. Weihenstephan, TU München, Diss.

Amberger, A. (1990): NH_3 -Verluste aus der Anwendung organischer und anorganischer Dünger. VDLUFA-Schriftenreihe, Kongreßband 1989, H. 30, S. 103-108.

Amberger, A., Gutser, R. (1976): Effect of long-term potassium fertilization on crops and potassium dynamics of a brown earth (Weihenstephan). Ann. agron. H. 27, 643-657.

Anonymus (1982): 80 Jahre statischer Versuch Lauchstädt - Tagungsbericht, Akad. Landwirtsch.-Wiss., DDR, S. 205.

Ansonge, H. (1965): Nährstoffaufnahme und Nährstoffbilanzen im "Statischen Düngungsversuch Lauchstädt" nach 60jähriger Versuchsdauer (1.-3. Mitt.). Thaer-Archiv (Berlin) H. 9, S. 221-242 und S. 631-650.

Ansonge, H. (1966): Nährstoffaufnahme und Nährstoffbilanzen im "Statischen Düngungsversuch Lauchstädt" nach 60jähriger Versuchsdauer (1.-3.Mitt.). Thaer-Archiv (Berlin) H.10, S. 259-277.

Asmus, F. (1993): Anwendung von Festmist und Jauche im Pflanzenbau. Fachgespräch "Umweltverträgliche Verwertung von Festmist" in Walterdorf/Thüringen, 26./27.11.1992. KTBL-Arbeitspapier Nr. 182.

Bosch, M. (1980): Bodeneigenschaften, Erträge und Mineralstoffentzüge einer Ackerbraunerde unter dem Einfluß langjähriger Düngung mit verschiedenen Stickstoffformen. Weihenstephan, TU München, Diss.

Dressel, J., Weigelt, W., Mockel, D. (1992): Langjährige Untersuchungen über die Wirkung von Stickstoff aus Mineraldüngung und Stallmist (Lysimeterversuche). Agribiol. Res. H. 45, S. 177-185.

Gutser, R. (1990): Grundlagen der Nährstoffwirkung von Gülle und Festmist. Tagungsband "Umweltschonende Verwertung von Fest- und Flüssigmist auf landwirtschaftlichen Nutzflächen". Landtechnik Weihenstephan, 27./28.06.1990.

Gutser, R., Dosch, P. (1992): Strategien zur Optimierung der Stickstoffwirkung von Flüssigmist. Tagungsband Landtechnik Weihenstephan "Neue Techniken zum umweltgerechten und wirtschaftlichen Einsatz von mineralischen und organischen Düngern" am 11.11.1992, Neumarkt/Opf., S. 38-48.

Niederbudde, E.A., Becher, H.H., Schön, M. (1977): Veränderungen von Eigenschaften einer Schwarzerde-Parabraunerde als Folge von Stallmist- und Mineraldüngung. Landw. Forsch. H. 30, 29-45.

Rauhe, K., Hobernik, J., Siegert, B. (1987): Untersuchungen zur langfristigen Wirkungsmechanismen von Stallmist-N und Mineral-N im System Pflanze-Boden. Arch. Acker- und Pflanzenbau u. Bodenkunde, H. 31, S. 711-718.

Schön, M., Niederbudde, E.,A., Mahkorn, A. (1976): Ergebnisse eines 20jährigen Versuches mit Mineral- und Stallmistdüngung im Lößgebiet bei Landsberg (Lech). Z.Acker- und Pflanzenbau H. 143, S. 27-37.

Vilsmeier, K., Gutser, R. (1990): N-Ausnutzung nach Mineral- und Gölledüngung (^{15}N) im Weihenstephaner Lysimeter. VDLUFA-Schriftenreihe, Kongreßband 1989, H. 30, S. 175-180.