

Untersuchungen zur verbesserten Gülleverwertung im Maisanbau. 1. Mitteilung: Verwertung von Güllestickstoff durch Silo- und Körnermais bei unterschiedlichen Applikationsverfahren

Investigations for Improved Slurry Utilization in Maize. 1. Report: Utilization of Nitrogen in Slurry by Maize (Silage and Grain) Using Different Application Techniques

F.-X. Maidl, E. Sticksel & R. Valta

Lehrstuhl für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, TU München-Weihenstephan

Zusammenfassung

In Südbayern wurden in zweijährigen Feldversuchen der Trockenmasseertrag und die N-Aufnahme von Silo- und Körnermais bei unterschiedlichen Güllemengen und -ausbringungsverfahren untersucht. Geprüft wurden die Verfahren Gülledüngung zur Saat mit bzw. ohne Einarbeitung sowie Güllereihendüngung im 6-Blatt-Stadium bei Güllemengen von 50 kg $\text{NH}_4\text{-N ha}^{-1}$ bzw. 100 kg $\text{NH}_4\text{-N ha}^{-1}$. Als Vergleich diente eine mineralische N-Düngung. Die Applikationstechnik hatte einen deutlichen Einfluß auf die Ertragsbildung und die N-Aufnahme. Gülleausbringung mit sofortiger Einarbeitung zur Saat führte zu beiden Ernteterminen zu Trockenmasseerträgen und N-Entzügen, die denen bei ausschließlich mineralischer N-Düngung entsprachen. Ohne Einarbeitung war die Ertragswirksamkeit der Gülle stark unterdurchschnittlich, während spät im 6-Blatt-Stadium ausgebrachte Gülle in Kombination mit einer mineralischen N-Startdüngung insbesondere zur Kornreife eine günstige Wirkung erreichte. Bei sofortiger Einarbeitung der Gülle zur Saat konnte mineralischer Stickstoff vollständig durch den NH_4 -Stickstoff der Gülle ersetzt werden. Bis zum Erntetermin „Kornreife“ nahmen die Bestände sowohl bodenbürtigen Stickstoff als auch organisch gebundenen Stickstoff der Gülle in einem hohen Maße auf, was an der Berechnung von Mineraldüngerequivalenten deutlich wurde. Selbst bei Höchstserträgen konnten deutliche N-Unterbilanzen eingehalten werden.

Schlüsselworte: Mais, Gülle, Ertrag, N-Entzug

Summary

Dry matter yield and N-uptake of maize (silage and grain) were recorded for different amounts of slurry and application techniques in a two-year field trial in South Bavaria. The techniques were “without incorporation”, “with incorporation” and slurry application at “6-leaf-stage” with slurry amounts of 50 kg $\text{NH}_4\text{-N ha}^{-1}$ and 100 kg $\text{NH}_4\text{-N ha}^{-1}$ respectively. Mineral N-fertiliser was used to calculate slurry $\text{NH}_4\text{-N}$ availability. The method of slurry application strongly influenced dry matter yield and N-uptake. For both harvesting dates, slurry application with immediate incorporation led to dry matter yields and N-uptakes corresponding to values obtained with exclusive mineral nitrogen fertilisation. Slurry “without incorporation”

reached yields and N-uptakes far below average. Slurry application in the 6-leaf-stage proved beneficial in combination with mineral starter N-fertilisation when harvesting at grain maturity. When slurry was incorporated at seeding, mineral fertiliser could be replaced completely by $\text{NH}_4\text{-N}$. At grain maturity, maize plants could use soil borne nitrogen as well as organically bound nitrogen of slurry in high amounts. This was confirmed by calculating the mineral fertiliser equivalents of slurry.

Keywords: Maize, slurry, yield, N-uptake

Einleitung

Der N-Überschuß Deutschlands im Bereich der Landwirtschaft von derzeit ca. 110 kg N ha^{-1} landwirtschaftliche Nutzfläche (BACH & FREDE 1998) wird mit Blick auf die Tragfähigkeit der von N-Einträgen betroffenen Ökosysteme übereinstimmend als zu hoch eingeschätzt (z. B. ANONYMUS 1994), so daß hier Minimierungsmaßnahmen zu entwickeln sind. Einen wichtigen Ansatzpunkt stellt dabei die verbesserte Rückführung des im wirtschaftseigenen Dünger enthaltenen Stickstoffs in den Nährstoffkreislauf dar. Insbesondere eine erhöhte Ausnutzung des $\text{NH}_4\text{-N}$ in Flüssigmist ermöglicht es, den Einsatz von mineralischem N-Dünger zu reduzieren und so N-Überrisiken in der Landwirtschaft abzubauen.

Flüssigmist wird bevorzugt im Maisanbau eingesetzt, da diese standfeste Kultur hohe Güllegaben toleriert (LÜTKE-ENTRUP et al. 1993). Allerdings bestehen bei der Gülledüngung im Maisanbau erhebliche Stickstoffverlustrisiken. So begünstigt die warme Witterung zur Maissaat gasförmige NH_3 -Verluste bei der Ausbringung (HORLACHER & MARSCHNER 1990). Weiterhin besteht während der langsamen Jugendentwicklung, in der der Boden über einen Zeitraum von etwa 6 Wochen nur sehr schwach durchwurzelt ist, insbesondere auf leichten Standorten die Gefahr der Nitratverlagerung mit dem Sickerwasser (MAIDL & FISCHBECK 1989, STICKSEL et al. 1994). Technische Lösungen für einen umweltgerechten Gülleinsatz wurden zwar entwickelt (DOSCH et al. 1995), die vor allem auf die rasche Einarbeitung der Gülle nach der Ausbringung abzielen. Allerdings wird von verschiedenen Autoren ein hohes Angebot an rasch verfügbarem Stickstoff für eine ausreichende Jugendentwicklung der Maispflanzen als unerlässlich angesehen (MAIDL & FISCHBECK 1989). Des-

halb ergibt sich vielfach die Forderung, zusätzlich zur Gülle eine mineralische N-Gabe zur Saat zu verabreichen.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es, verfahrenstechnische Lösungen zu entwickeln, die einen verbesserten Gülleinsatz in der Praxis ermöglichen. Dazu wurden unterschiedliche Applikationstechniken und -termine sowie Kombinationen mit mineralischem N-Dünger geprüft. Zudem war zu klären, ob eine ausschließliche N-Versorgung der Maisbestände über Gülle möglich ist. Die Untersuchungen wurden auf Böden mit unterschiedlichen Wasserhaushaltseigenschaften durchgeführt, um die Einsatzmöglichkeiten der geprüften Düngungsstrategien auf verschiedenen Standorten beurteilen zu können.

Material und Methoden

Versuchsstandort

Die Feldversuche wurden 1994 und 1995 im südbayerischen Tertiären Hügelland, ca. 40 km nördlich von München, jeweils auf einem leichten und einem schweren Standort durchgeführt. Wichtige Bodenkennwerte enthält Tab. 1. Die Standorte wurden viehlos bewirtschaftet.

Witterung, Pflanzenwachstum und Nitraddynamik

Für die Hauptwachstumszeit des Mais von Mai bis September liegen die langjährigen Mittelwerte des Niederschlages bei 457 mm und der Temperaturen bei 14,8 °C. Die Witterung im Untersuchungszeitraum ist in Tab. 2 dargestellt. Die Niederschlagsmenge wurde jeweils vor Ort erhoben, während die Tagestemperaturen und langjährigen Mittelwerte von der Wetterstation Freising-Weihenstephan des Deutschen Wetterdienstes bezogen wurden.

Im Jahre 1994 fielen während eines Zeitraumes von 8 Wochen nach der Saat (Mai und Juni) auf dem schweren Standort lediglich 27 mm Niederschlag, während auf dem leichten Boden bei 79 mm Niederschlag die Trockenheit weniger stark ausgeprägt war (Tab. 2). Auf dem schweren Standort war daher in 1994 die Jugendentwicklung der Maispflanzen gegenüber dem leichten Standort trockenheitsbedingt beeinträchtigt. Der leichte Standort wies zur Maissaat einen N_{\min} -Gehalt (0-75 cm) von 69 kg N_{\min} ha⁻¹ auf, während auf dem schweren Standort 40 kg N_{\min} ha⁻¹ gemessen wurden.

Im Folgejahr betrug die Niederschlagsmenge im gleichen Zeitraum auf dem leichten Standort 252 mm bzw. 180 mm auf dem schweren Standort (Tab. 2). Aufgrund der angefallenen Sickerwassermenge und der Nitrattiefenverteilung wurde von VALTA (1999) auf eine teilweise Auswaschung des zur Saat auf dem leichten Standort ausgebrachten Stickstoffs geschlossen. Die N_{\min} -Werte zur Saat lagen unter denen des Vorjahres (leichter Standort: 38 kg N_{\min} ha⁻¹, schwerer Standort: 33 kg N_{\min} ha⁻¹).

Im Jahre 1995 erreichten die Bestände infolge von Nachtfrösten und niedrigeren Durchschnittstemperaturen

Tab. 2: Monatliche Niederschlagsmengen (N) und Temperaturmittelwerte (T) der Vegetationsperioden 1994 und 1995 sowie langjährige Mittelwerte

Monthly precipitation (N) and mean air temperature (T) during the vegetation periods 1994 and 1995 and long-term average

		Mai	Jun	Jul	Aug	Sep
1994	N (mm) ^{S1}	18	61	48	78	95
	N (mm) ^{S2}	12	15	42	63	95
	T (°C)	12,7	16,3	20,1	18,1	13,4
1995	N (mm) ^{S1}	74	178	82	82	53
	N (mm) ^{S2}	67	113	78	112	53
	T (°C)	12,3	13,6	19,4	16,5	11,6
langjähriges Mittel	N (mm)	83	116	108	89	61
	T (°C)	11,8	16,6	16,7	16,0	12,8

^{S1}: leichter Standort, ^{S2}: schwerer Standort

sowohl zur Korn- als auch zur Siloreife lediglich ca. 75% der Trockenmasseerträge des Vorjahres.

Die Siloreife der Maisbestände lag in beiden Versuchsjahren in der ersten Septemberdekade, die Kornreife wurde in der ersten Oktoberdekade erreicht.

Anlage und Durchführung der Versuche

Die Maissaat erfolgte jeweils am 02. Mai mit einer Bestandesdichte von 10 Pflanzen m⁻², die Reihenweite betrug 0,75 m (Sorte: Mona, FAO 240). Pflanzenschutzmaßnahmen wurden optimal durchgeführt.

Geprüft wurden die Faktoren mineralische N-Düngung (Kalkammonsalpeter, KAS) (Faktor I) und Gülledüngung (Rindergülle) (Faktor II) mit den in Tab. 3 dargestellten Stufen.

Als Versuchsanlage wurde eine zweifaktorielle Streifenanlage gewählt. Auf eine vollständig orthogonale Versuchsanlage wurde verzichtet, da die Kombination einer mineralischen Reihendüngung mit einer Güllereihendüngung im 6-Blatt-Stadium nicht sinnvoll erscheint. Kombiniert geprüft wurden die ersten drei Stufen beider Prüffaktoren (Tab. 3) mit allen Stufen des jeweils anderen Faktors, was die Bildung von zwei orthogonalen Versuchskernen („KAS-Kern“, „Gülle-Kern“) zur Folge hatte. Diese spezifizierte Form der Streifenanlage ist in der statistischen Verrechnung berücksichtigt. Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den orthogonalen Gülle-Kern, während in einer zweiten Mitteilung (STICKSEL et al. 1999) Daten des KAS- und des Gülle-Kernes genutzt werden. Die Prüfung der Faktoren erfolgte in 4facher Wiederholung, wobei die Stufen randomisiert zu liegen kamen. Es wurden 4-reihige Parzellen mit einer Bruttogröße von 24 m² angelegt.

Tab. 1: Bodenphysikalische und bodenchemische Kennwerte der Versuchsflächen

Physical and chemical properties of the trial sites

	Bodenart	C _{org} (%) ¹	N _t (%) ¹	nFK (mm) ²	FK (mm) ²
leichter Standort	IS	1,77	0,19	140	190
schwerer Standort	tL – uL	1,05	0,15	210	420

¹ im A_p-Horizont, ² bezogen auf den durchwurzelbaren Raum

Tab. 3: Versuchsfaktoren und Faktorstufen der N-Düngung zu Mais

Trial factors and factor levels of N fertilization in maize

Stufe	Faktoren				
	Mineraldüngung (I)		Gülledüngung (II)		
	(kg N ha ⁻¹)	Plazierung, Termin	Stufe	(kg NH ₄ -N ha ⁻¹)	Plazierung, Termin
1	0	–	1	0	–
2	50	breitflächig, zur Saat	2	50	ohne Einarbeitung, zur Saat ¹
3	100	breitflächig, zur Saat	3	100	ohne Einarbeitung, zur Saat ¹
4	50	Reihe, 6-Blatt-Stadium	4	50	mit Einarbeitung, zur Saat ¹
5	100	Reihe, 6-Blatt-Stadium	5	100	mit Einarbeitung, zur Saat ¹
			6	50	Reihe, 6-Blatt-Stadium
			7	100	Reihe, 6-Blatt-Stadium

¹ Gülledüngung zur Saat immer breitflächig

Bei der Gülledüngung wurde für die N-Mengenbemessung ausschließlich der NH₄-N-Anteil der Gülle herangezogen. Im Mittel der Jahre enthielt die verwendete Rindergülle 1,9 kg NH₄-N m⁻³ bei 3,3 kg N_{ges} m⁻³ und einem Trockensubstanzgehalt von 6,6%.

Gülleapplikationstechnik

Ohne Einarbeitung zur Saat

Als praxisübliche Kontrolle erfolgte eine breitflächige bodennahe Ausbringung über ein Prallblech, welches ca. 30 cm über dem Boden geführt wurde.

Einarbeitung zur Saat

Mit einem selbstgebauten Gülledrillgerät wurde die Gülle ca. 5–10 cm tief eingedrillt. Der Abstand zwischen den Drillreihen betrug 25 cm. Eine anschließende Einebnung gewährleistete auch bei hohen Güllemengen eine vollständige Bodenbedeckung der Gülle.

Güllereihendüngung

Im 6-Blatt-Stadium des Mais wurde die Gülle mit einem selbstgebauten Güllereihendüngungsgerät neben den Maisreihen appliziert und mittels Scheibenscharen sofort bei der Ausbringung mit einer ca. 5 cm mächtigen Bodenaufgabe bedeckt. Der Boden wurde dabei aus dem Reihenzwischenraum zur Maisreihe gefördert, um Wurzelverletzungen zu vermeiden.

Die Arbeitsbreiten bei der Gülleausbringung betragen jeweils 3 m entsprechend der Breite der 4-reihigen Parzellen. Die exakte Längs- und Querverteilung war sichergestellt.

Pflanzenuntersuchungen

Zur Silo- bzw. Kornreife erfolgte eine nach Kolben (incl. Spindel und Lieschen) und Restpflanze getrennte Beerntung von jeweils 40 Pflanzen aus den mittig gelegenen Reihen der Versuchspartellen. An einer gehäckselten und getrockneten Teilprobe wurde nach einer Vermahlung (<0,8 mm) die Gesamt-N-Bestimmung nach Kjeldahl mit einem Autoanalyzer (Fa. Skalar) durchgeführt (KÖNIG & FORTMANN 1986).

Berechnung der Mineraldüngeräquivalente

Um die Ertragswirksamkeit des NH₄-N der Gülle mit dem Mineraldüngerstickstoff aus Kalkammonsalpeter (KAS) vergleichen zu können, wurden Mineraldüngeräquivalente errechnet. Dazu wurde der Mehrertrag der ausschließlich mineralisch gedüngten Variante gegenüber der ungedüngten Variante mit 100% angesetzt und der Mehrertrag der ausschließlich mit Gülle versorgten Variante gegenüber der ungedüngten Variante hierzu ins Verhältnis gesetzt. Das Mineraldüngeräquivalent gibt somit den Prozentsatz von mineralischem Stickstoff an, der nötig gewesen wäre, um die gleiche Wirkung einer Einheit Gülle-NH₄-N (kg NH₄-N ha⁻¹) zu erreichen.

Statistische Verrechnung

Die statistische Verrechnung erfolgte mit dem Statistikpaket SPSS (SPSS 1993). Mittelwertdifferenzen wurden mit dem Tukey-HSD-Test auf Signifikanz geprüft.

Ergebnisse

Die varianzanalytische Verrechnung des orthogonalen Güllerkerns ergab keine Wechselwirkung der Faktoren „Gülle“ × „Jahr“ sowie „Gülle“ × „Standort“ hinsichtlich des Ertrages und des N-Entzuges zur Silo- und Kornreife (VALTA 1999). Die durch die Gülledüngung hervorgerufenen Ertragseffekte waren somit unabhängig von der Standortwahl und den Jahrgangseinflüssen, weshalb die folgenden Ergebnisse über diese Faktoren gemittelt dargestellt werden.

Gesamt-trockenmasseertrag und Kolben-trockenmasseertrag zur Siloreife

Die Ertragsermittlung zum Zeitpunkt der Siloreife belegt, daß die sofortige Einarbeitung der Gülle zur Saat zu höheren Trockenmasseerträgen führte als die weiteren Applikationstechniken (Tab. 4). Bei sofortiger Einarbeitung wurden im Mittel über die KAS-Stufen Gesamt-trockenmasseerträge von 166,2 dt ha⁻¹ (50 kg NH₄-N ha⁻¹) bzw. 180,2 dt ha⁻¹ (100 kg NH₄-N ha⁻¹) geerntet. Zwischen den

Tab. 4: Gesamttrockenmasseertrag und Kolbentrockenmasseertrag zur Siloreife in Abhängigkeit von Güllemenge und -ausbringtechnik bei unterschiedlichen mineralischen Startstickstoffgaben (KAS) (Mittel über 2 Jahre und 2 Standorte)

Total dry matter yield and ear yield at silage maturity as affected by slurry amount and application technique for different amounts of mineral starter fertilizer (mean of two years and two sites)

KAS (kg N ha ⁻¹)	ohne Gülle	ausgebrachter Güllestickstoff (NH ₄ -N kg ha ⁻¹)						GD _{5%}
		ohne Einarbeitung		mit Einarbeitung		6-Blatt-Stadium		
		50	100	50	100	50	100	
Gesamttrockenmasseertrag (dt ha ⁻¹)								
0	134,7	140,8	149,9	149,3	168,8	141,1	151,7	29,5
50	160,7	162,0	173,9	173,9	181,1	166,9	173,1	37,3
100	164,2	171,6	178,0	175,5	190,6	175,2	179,9	38,3
Mittel	153,2	158,1	167,3	166,2	180,2	161,1	168,2	21,4
Kolbentrockenmasseertrag (dt ha ⁻¹)								
0	78,4	80,9	87,3	86,1	97,5	86,7	90,3	19,7
50	95,3	93,2	98,8	100,7	105,2	98,1	102,1	25,2
100	97,1	99,0	99,9	101,2	108,3	102,5	104,9	26,9
Mittel	90,3	91,1	95,3	96,0	103,7	95,7	99,1	14,1

Varianten „ohne Einarbeitung“ und „6-Blatt-Stadium“ bestanden nur unbedeutende Ertragsunterschiede.

Die Abstufung des Kolbentrockenmasseertrages zur Siloreife entsprach weitgehend der des Gesamttrockenmasseertrages (Tab. 4). Allerdings fiel die Differenz im Kolbenertrag zwischen den Varianten „mit Einarbeitung“ und „6-Blatt-Stadium“ niedriger aus als im Gesamtpflanzenenertrag. Dies weist darauf hin, daß sich die späte Güllegabe hinsichtlich der Kolbenbildung weniger ungünstig auswirkte als für die Entwicklung der Restpflanze.

In der Variante „mit Einarbeitung“ konnte mit der Güllemenge 100 kg NH₄-N ha⁻¹ ein Gesamt- bzw. Kolbentrockenmasseertrag erreicht werden, der dem bei einer ausschließlichen KAS-Düngung von 100 kg N ha⁻¹ zur Saat entsprach (Tab. 4). Bei diesem Applikationsverfahren konnte mineralischer Dünger vollständig durch Gülle ersetzt werden.

Gesamt-N-Entzug und Kolben-N-Entzug zur Siloreife

Die sofortige Einarbeitung der Gülle führte zu deutlich höheren N-Entzügen durch die Gesamtpflanze als bei den Varianten „ohne Einarbeitung“ bzw. „6-Blatt-Stadium“ (Tab. 5). So erreichte der N-Entzug bei Einarbeitung der Gülle im Mittel über die mineralischen N-Stufen 233,1 kg N ha⁻¹ (50 kg N ha⁻¹) bzw. 263,0 kg N ha⁻¹ (100 kg NH₄-N ha⁻¹). Letzterer übertraf den N-Entzug der Variante „ohne Einarbeitung“ (50 kg NH₄-N ha⁻¹) von 210,8 kg N ha⁻¹ signifikant. Die Güllendüngung im 6-Blatt-Stadium führte gegenüber der Variante „ohne Einarbeitung“ stets zu einer leicht erhöhten N-Aufnahme in die Gesamtpflanze. Diese N-Mehraufnahme wirkte jedoch kaum steigernd auf den Gesamttrockenmasseertrag, wie der Vergleich mit Tab. 4 belegt. Die Differenzierung des N-Entzuges über den Kolben zur Siloreife zeigte eine ähnliche Reihenfolge, wie bezüglich des Gesamt-N-Entzuges bereits dargestellt (Tab. 5).

Die Gesamt-N-Entzüge zur Siloreife übertrafen in allen Varianten die N-Zufuhr deutlich. Selbst bei der hohen N-Gabe von 200 kg N ha⁻¹ (Gülle NH₄-N + KAS) errechneten sich negative N-Salden von -64,7 kg N ha⁻¹ („ohne Einarbeitung“) bis -111,5 kg N ha⁻¹ („mit Einarbeitung“).

Bei gleichem N-Einsatz erreichten die ausschließlich mineralisch gedüngten Varianten zur Siloreife einen erheblich höheren N-Entzug als die mit Gülle versorgten Varianten. Dies traf sowohl für den Gesamt-N-Entzug als auch für den Kolben-N-Entzug zu.

Kolbentrockenmasseertrag und Gesamttrockenmasseertrag zur Kornreife

Zur Kornreife erreichte der Kolbenertrag in den Varianten „mit Einarbeitung“ bzw. „6-Blatt-Stadium“ im Mittel über die mineralischen N-Stufen annähernd gleiche Werte (Tab. 6). So wurden mit einer Güllemenge von 50 kg NH₄-N ha⁻¹ jeweils ca. 113 dt ha⁻¹ geerntet, während sich der Ertrag bei 100 kg NH₄-N ha⁻¹ auf 121,6 dt ha⁻¹ bzw. 119,8 dt ha⁻¹ Kolbentrockenmasse belief. Hervorzuheben ist, daß zum vorherigen Erntetermin Siloreife die Variante Güllendüngung im 6-Blatt-Stadium unabhängig von der mineralischen Startgabe einen niedrigeren Gesamttrockenmasseertrag und auch Kolbentrockenmasseertrag (Tab. 4) erreichte als die Variante „mit Einarbeitung“. Demgegenüber war zur Kornreife bezüglich des Kolbentrockenmasseertrages ab einer mineralischen Startgabe von 50 kg N ha⁻¹ kein Ertragsunterschied zwischen diesen Varianten zu verzeichnen. Dieser Vergleich deutet darauf hin, daß die Terminierung der Stickstoffdüngung in Abhängigkeit vom Erntetermin und somit vom Produktionsziel (Silo- oder Körnermais) differenziert zu betrachten ist.

In der Variante „mit Einarbeitung“ konnte mit der Güllemenge von 50 kg NH₄-N ha⁻¹ bzw. 100 kg NH₄-N ha⁻¹ ein Gesamttrockenmasseertrag erreicht werden, der dem bei einer ausschließlichen KAS-Düngung in gleicher Höhe entsprach (Tab. 6). Bezüglich des Kolbentrockenmasse-

Tab. 5: Gesamt-N-Entzug und Kolben-N-Entzug zur Siloreife in Abhängigkeit von Güllemenge und -ausbringtechnik bei unterschiedlichen mineralischen Startstickstoffgaben (KAS) (Mittel über 2 Jahre und 2 Standorte)

Total N uptake and ear N uptake at silage maturity as affected by slurry amount and application technique for different amounts of mineral starter fertilizer (mean of two years and two sites)

KAS (kg N ha ⁻¹)	ohne Gülle	ausgebrachter Güllestickstoff (NH ₄ -N kg ha ⁻¹)						GD _{5%}
		ohne Einarbeitung		mit Einarbeitung		6-Blatt-Stadium		
		50	100	50	100	50	100	
Gesamt-N-Entzug (kg N ha ⁻¹)								
0	165,1	157,3	168,7	181,0	202,5	174,2	191,3	71,4
50	216,9	218,3	232,8	247,0	275,1	228,9	258,9	47,5
100	253,0	256,7	264,7	269,7	311,5	263,1	279,5	45,2
Mittel	205,7	210,8	222,1	233,1	263,0	222,1	240,0	46,3
Kolbentrockenmasseertrag (kg N ha ⁻¹)								
0	101,4	100,6	107,1	115,4	133,0	115,4	122,5	29,0
50	144,7	138,5	136,5	154,9	178,1	142,3	160,0	26,8
100	163,7	158,1	149,6	170,7	173,4	169,9	166,5	45,1
Mittel	134,8	129,9	132,9	147,3	163,2	142,5	148,7	25,9

ertrages war zusätzlich die Variante „6-Blatt-Stadium“ den mineralisch gedüngten Varianten vergleichbar. Somit konnte auch zur Kornreife mineralischer Dünger vollständig durch Gülle ersetzt werden.

Kolben-N-Entzug und Gesamt-N-Entzug zur Kornreife

Zwischen Silo- und Kornreife fand ein Rückgang der Gesamt-N-Aufnahme um ca. 15 kg N ha⁻¹ bis 30 kg N ha⁻¹ statt (vgl. Tab. 5 und Tab. 7). Gleichzeitig war in diesem Entwicklungsabschnitt ein geringfügiger Anstieg der N-Aufnahme in den Kolben zu verzeichnen, so daß sich der Rückgang der N-Aufnahme auf abnehmende N-Gehalte in der Restpflanze zurückführen ließ.

Zur Kornreife erreichte der N-Entzug über den Kolben nach sofortiger Einarbeitung der Gülle zur Saat im Mittel über die KAS-Stufen mit 149,7 kg N ha⁻¹ (50 kg NH₄-N ha⁻¹) und 165,8 kg N ha⁻¹ (100 kg NH₄-N ha⁻¹) die Höchstwerte für die jeweiligen Gülle-N-Stufen (Tab. 7). Auch in der Variante „6-Blatt-Stadium“ wurden mit 147,7 kg N ha⁻¹ (50 kg NH₄-N ha⁻¹) und 160,3 kg N ha⁻¹ (100 kg NH₄-N ha⁻¹) gegenüber „ohne Einarbeitung“ erhöhte N-Aufnahmen gemessen. Bezüglich des Kolben-N-Entzuges war bis zu einer Gesamt-N-Menge von 150 kg N ha⁻¹ der N-Saldo negativ, erst bei einer N-Zufuhr von 200 kg N ha⁻¹ ergaben sich positive N-Salden von ca. +22 kg N ha⁻¹ bis +35 kg N ha⁻¹ (Tab. 7).

Während zur Siloreife in den mineralisch gedüngten Varianten bei gleicher N-Menge ein deutlich höherer N-Entzug als in den mit Gülle versorgten Varianten gefunden wurde, konnte zur Kornreife in der Variante „mit Einarbeitung“ bei 100 kg NH₄-N ha⁻¹ ein vergleichbar hoher N-Entzug erreicht werden. Somit bleibt festzuhalten, daß bei Güllendüngung ein späterer Erntetermin hinsichtlich der N-Aufnahme günstig zu bewerten ist.

Mineraldüngeräquivalente in Abhängigkeit von Güllemenge und -ausbringtechnik

Die Mineraldüngeräquivalente der Variante „mit Einarbeitung“ waren den weiteren geprüften Varianten jeweils

deutlich überlegen (Abb. 1). So errechneten sich zur Siloreife bezüglich des Gesamttrockenmasseertrages Mineraldüngeräquivalente von 56% (50 kg NH₄-N ha⁻¹) bzw. 116% (100 kg NH₄-N ha⁻¹) bei sofortiger Einarbeitung der Gülle, während die entsprechenden Werte für den Kolbentrockenmasseertrag zur Kornreife 71% bzw. 116% erreichten. Weiterhin wird deutlich, daß mit zunehmender Gülle-N-Menge und bei späterem Erntetermin die Mineraldüngeräquivalente anstiegen (Abb. 1). Die Zunahme der Mineraldüngeräquivalente des Gülle-NH₄-N zwischen Silo- und Kornreife sowie mit steigender Güllemenge (50 kg N ha⁻¹ bzw. 100 kg N ha⁻¹) zeigt, daß offensichtlich ein Teil des organisch gebundenen Stickstoffs der Gülle bereits im Anwendungsjahr in eine pflanzenverfügbare Form umgewandelt und ertragswirksam wird. Die zur Kornreife geernteten Maispflanzen konnten diese herbstliche N-Freisetzung besser nutzen als die zur Siloreife geernteten Pflanzen.

Diskussion

Die vorliegenden Untersuchungen belegen, daß hinsichtlich des Trockenmasseertrages bei einer optimierten Güllenausbringtechnik ein gleichwertiger Ersatz von mineralischem Stickstoff durch den in der Gülle enthaltenen NH₄-N möglich ist. So wurden bei sofortiger Einarbeitung einer Gülle-N-Menge von 100 kg NH₄-N ha⁻¹ sowohl zur Silo- als auch zur Kornreife Erträge erzielt, die denen von 100 kg N ha⁻¹ aus Mineraldünger entsprachen (Tab. 4 und Tab. 6). Nach den Untersuchungen von AMBERGER (1990) ist dies weitgehend auf die Unterbindung gasförmiger NH₃-N-Verluste nach der Güllenausbringung zurückzuführen. Die Mineraldüngeräquivalente (Abb. 1) zeigen weiterhin, daß der ertragssteigernde Effekt der Gülle nicht auf den NH₄-N-Anteil beschränkt war. So lagen die berechneten Mineraldüngeräquivalente bei sofortiger Einarbeitung der Gülle z. T. deutlich über 100%. Mögliche Erklärungen hierfür sind sowohl die teilweise Freisetzung des organisch gebundenen Stickstoffs aus der Gülle im Verlauf der Vegetationsperiode sowie Sonderwirkungen der Gülle. Im

Tab. 6: Gesamttrockenmasseertrag und Kolbentrockenmasseertrag zur Kornreife in Abhängigkeit von Güllemenge und -ausbringtechnik bei unterschiedlichen mineralischen Startstickstoffgaben (KAS)
(Mittel über 2 Jahre und 2 Standorte)

Total dry matter yield and ear yield at grain maturity as affected by slurry amount and application technique for different amounts of mineral starter fertilizer
(mean of two years and two sites)

KAS (kg N ha ⁻¹)	ohne Gülle	ausgebrachter Güllestickstoff (NH ₄ -N kg ha ⁻¹)						GD _{5%}
		ohne Einarbeitung		mit Einarbeitung		6-Blatt-Stadium		
		50	100	50	100	50	100	
Gesamttrockenmasseertrag (dt ha ⁻¹)								
0	140,9	151,2	165,4	169,0	191,5	158,0	171,0	38,7
50	170,2	176,5	186,8	185,9	196,9	179,8	190,2	37,4
100	179,1	186,6	192,3	194,9	197,6	192,3	199,4	38,4
Mittel	163,4	171,4	181,5	183,2	195,3	176,7	186,9	22,6
Kolbentrockenmasseertrag (dt ha ⁻¹)								
0	88,6	92,5	99,2	103,4	117,9	101,9	110,6	23,3
50	109,6	111,3	115,1	115,7	123,0	115,8	121,8	22,0
100	113,9	114,9	118,7	122,5	123,9	122,2	125,9	22,6
Mittel	104,1	106,2	111,0	113,8	121,6	113,0	119,8	13,6

Tab. 7: Gesamt-N-Entzug und Kolben-N-Entzug zur Kornreife in Abhängigkeit von Güllemenge und -ausbringtechnik bei unterschiedlichen Startstickstoffgaben (KAS)
(Mittel über 2 Jahre und 2 Standorte)

Total N uptake and ear N uptake at grain maturity as affected by slurry amount and application technique for different amounts of mineral starter fertilizer
(mean of two years and two sites)

KAS (kg N ha ⁻¹)	ohne Gülle	ausgebrachter Güllestickstoff (NH ₄ -N kg ha ⁻¹)						GD _{5%}
		ohne Einarbeitung		mit Einarbeitung		6-Blatt-Stadium		
		50	100	50	100	50	100	
Gesamt-N-Entzug (kg N ha ⁻¹)								
0	142,0	145,3	174,1	173,1	208,6	171,7	192,9	61,2
50	189,2	196,1	216,3	211,2	234,3	200,4	225,3	61,1
100	208,3	214,6	239,3	224,5	249,9	226,8	248,8	66,2
Mittel	179,8	185,1	207,3	202,5	231,0	199,6	221,7	38,2
Kolben-N-Entzug (kg N ha ⁻¹)								
0	106,0	104,2	124,5	127,9	151,1	126,9	143,4	41,1
50	137,7	142,1	155,0	154,9	168,4	149,0	163,3	26,8
100	150,4	155,1	165,9	166,3	177,8	167,3	174,1	45,6
Mittel	131,4	133,8	148,3	149,7	165,8	147,7	160,3	25,9

vorliegenden Versuch fand VALTA (1999) bei N-Isotopenmessungen Hinweise darauf, daß im Spätsommer eine erhebliche Freisetzung und Pflanzenaufnahme des organisch gebundenen Stickstoffs der Gülle stattfand. LORENZ & STEFFENS (1997) bestätigen, daß Mais den im Spätsommer mineralisierten Güllestickstoff sehr gut verwerten kann.

Bei der Variante „ohne Einarbeitung“ war nur eine sehr geringe Ertragswirksamkeit des ausgebrachten Gülle-NH₄-N festzustellen. Dies ist deshalb bemerkenswert, da in den vorliegenden Untersuchungen eine bodennahe Gülleausbringung praktiziert wurde. Offensichtlich war die Visko-

sität der hier eingesetzten Gülle mit 6,6% Trockensubstanz zu hoch, als daß durch ein rasches Versickern gasförmige N-Verluste wirksam eingeschränkt werden konnten. Zudem lagen in beiden Versuchsjahren die Durchschnittstemperaturen in den Tagen nach der Ausbringung bei 18 °C bis 20 °C, so daß auch die Witterungsbedingungen gasförmige N-Verluste begünstigten (HORLACHER & MARSCHNER 1990). Insgesamt bestätigt der vorliegende Versuch, daß ohne sofortige Einarbeitung der Gülle ein Ersatz von mineralischem Stickstoff durch Gülle-NH₄-N im Maisanbau nicht möglich ist.

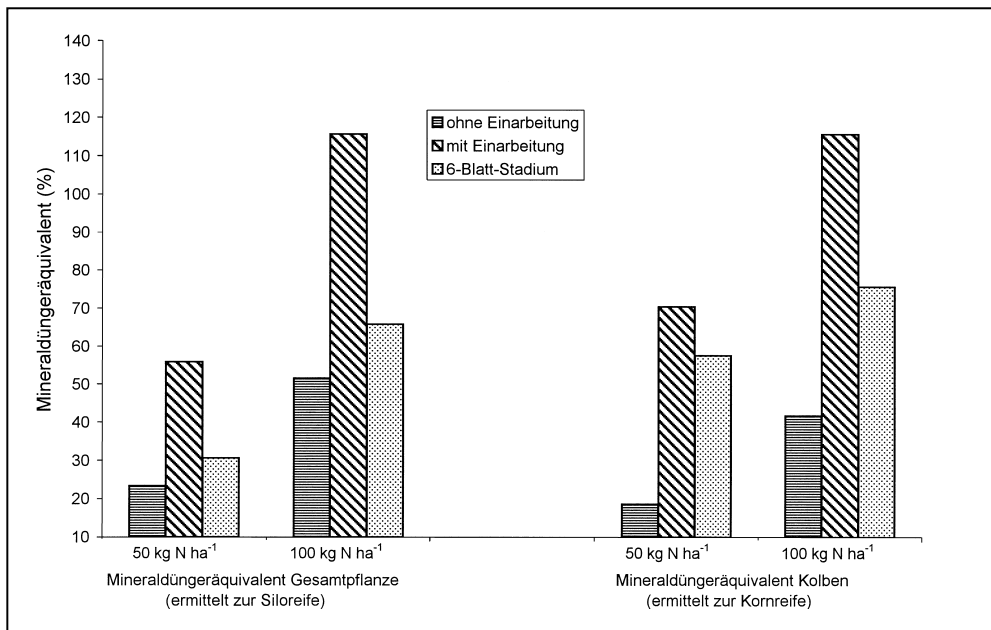


Abb. 1: Mineraldüngeräquivalente des Gülle-NH₄-N in Abhängigkeit von Güllemenge und -ausbringtechnik für den Gesamttrockenmasseertrag zur Siloreife und den Kolben-ertrag zur Kornreife (Ausnutzung KAS = 100%; Mittel über 2 Jahre und 2 Standorte)

Mineral fertilizer equivalents of slurry NH₄-N as affected by amount of slurry and application technique for total dry matter yield at silage maturity and ear yield at grain maturity (efficiency KAS = 100%; mean of two years and two sites)

Bei ausschließlicher Gülledüngung im 6-Blatt-Stadium lagen die Erträge und Mineraldüngeräquivalente jeweils höher als in der Variante „ohne Einarbeitung“, ohne jedoch das Niveau der Variante mit sofortiger Einarbeitung zur Saat zu erreichen (Tab. 4, Tab. 6, Abb. 1). In Untersuchungen der LWK HANNOVER (1994) wurden ebenfalls Ertragseinbußen nach spät verabreichten Güllegaben in Mais festgestellt, wobei die Autoren auf gasförmige N-Verluste verweisen. Da dies in der vorliegenden Untersuchung aufgrund der sofortigen Einarbeitung weitgehend vernachlässigt werden kann, sind andere Ursachen zu nennen. So werden bei der Ausbringung von Güllestickstoff dem Boden C-Verbindungen zugeführt, die eine teilweise N-Immobilisation und somit kurzzeitig abnehmende N-Verfügbarkeit bewirken können (WEIER et al. 1993, VERHAGEN et al. 1995). Da die Maisbestände nach dem 6-Blatt-Stadium die Phase der stärksten N-Aufnahme erreichen (AUFHAMMER et al. 1991), ist in diesem Abschnitt eine hohe N-Verfügbarkeit entscheidend für die Ertragsbildung. Auch bei ausschließlicher KAS-Düngung im 6-Blatt-Stadium wurde gegenüber KAS-Düngung zur Saat ein geringfügiger Minderertrag zur Siloreife beobachtet (nicht dargestellt). Dies unterstreicht ebenfalls die Bedeutung einer hohen N-Verfügbarkeit in frühen Entwicklungsstadien, wie sie bereits von MAIDL & FISCHBECK (1989) beschrieben wurde. Es ist allerdings darauf hinzuweisen, daß bei einer kombinierten N-Düngung aus mineralischem Stickstoff zur Saat und Gülle im 6-Blatt-Stadium kein nennenswerter Ertragsrückstand gegenüber der Variante Gülle zur Saat mit sofortiger Einarbeitung bestand. Die sich daraus ergebenden Folgerungen zum Einfluß der Terminierung der N-Düngung auf die Ertragsbildung von Mais sind Gegenstand einer zweiten Mitteilung.

Im vorliegenden Versuch wurden hohe N-Entzüge sowohl beim Anbau von Silo- als auch von Körner-

mais erzielt. So lagen beim Silomais die N-Entzüge um bis zu 100 kg N ha⁻¹ über der N-Zufuhr (Tab. 5). Auch über den Kolben wurden hohe N-Entzüge erreicht (Tab. 7), lediglich bei der höchsten N-Aufwandmenge von 200 kg N ha⁻¹ errechneten sich hier leicht positive N-Bilanzen. Allerdings lagen die N-Düngermengen von 200 kg N ha⁻¹ erheblich über dem Ertragsoptimum.

Im Maisanbau können bei standortgerechter N-Zufuhr auch beim Einsatz von Gülle unbedenkliche N-Bilanzen eingehalten werden (Tab. 5, Tab. 7). Unter dem Aspekt der N-Bilanz stellt sich der Einsatz von Gülle im Maisanbau sogar deutlich günstiger dar als bei anderen Kulturen, die in der Praxis häufig begüht werden, wie z. B. Winterraps (FINCK et al. 1997). Darüberhinaus erlaubt es die hohe Aufnahme aus bodenbürtigem Stickstoff, bei der N-Düngung zu Mais Unterbilanzen einzukalkulieren.

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß beim Anbau von Mais verschiedene Faktoren den pflanzenbaulich sinnvollen Einsatz von Güllestickstoff ermöglichen. So kann Mais einen Teil des organisch gebundenen Güllestickstoffes bereits im Anwendungsjahr verwerten; die Möglichkeiten der sofortigen Einarbeitung der Gülle bei Ausbringung kurz vor der Saat sind verfahrenstechnisch weniger aufwendig als eine verlustfreie Ausbringung in stehende Pflanzenbestände und weiterhin ist der hohe N-Entzug insbesondere beim Anbau von Silomais zu nennen. Bei konsequenter Anwendung von Verfahren zur verlustarmen Gülleausbringung kann im Maisanbau mineralischer Stickstoff durch Gülle-N vollständig ersetzt und gleichzeitig bodenbürtiger Stickstoff genutzt werden. Somit kann bei standortgerechter Bemessung der N-Menge und günstiger Ertragsbildung der Maisanbau einen wesentlichen Beitrag zum Abbau von N-Überbilanzen in der Pflanzenproduktion leisten.

Literatur

- AMBERGER, A., 1990: NH_3 -Verluste aus der Anwendung organischer und anorganischer Dünger. VDLUFA Kongressbericht **30**, 103–108.
- ANONYMUS, 1994: Schutz der grünen Erde. In: Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages (Hrsg.): Schutz der Erdatmosphäre. Economica Verl., Bonn.
- AUFHAMMER, W., E. KÜBLER & H. W. BECKER, 1991: Stickstoffaufnahme von und Stickstoffverlagerungspotential unter Maisbeständen. *Mais* **19** (4), 30–32.
- BACH, M. & H. G. FREDE, 1998: Agricultural nitrogen, phosphorus and potassium balances in Germany – Methodology and trends 1970 to 1995. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **161**, 385–393.
- DOSCH, P., A. GRONAUER, C.-U. HONOLD, F.-X. MAIDL, S. PAHLKE, R. VALTA & S. ZUNHAMMER, 1995: Verfahren zur Flüssigmistausbringung im Mais. In: BMELF (Hrsg.): Umweltverträgliches Flüssigmistmanagement. Gelbes Heft **54**, 2–13.
- FINCK, M., J. MATTHEY & W. SAUERMAN, 1997: Gülledüngung zu Raps - eine sinnvolle Ergänzung. *Raps* **15** (1), 22–25.
- HORLACHER, D. & H. MARSCHNER 1990: Schätzrahmen zur Beurteilung von Ammoniakverlusten nach Ausbringung von Rinderflüssigmist. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **153**, 107–115.
- KÖNIG, N. & H. FORTMANN, 1986: Probenvorbereitungs-, Untersuchungs- und Elementbestimmungs-Methoden des Umweltanalytik-Labors der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. Teil 2: Elementbestimmungsmethoden N-Z. *Berichte des FZ Waldökosysteme, Reihe B* 47, Göttingen.
- LORENZ, F. & G. STEFFENS, 1997: Stickstoffauswaschung bei Mais und Winterroggen nach Gülledüngung in gestaffelten Gaben (Lysimeterversuch). *Agrobiol. Res.* **50** (3), 193–203.
- LÜTKE-ENTRUP, N., R. WOLF & I. KRATZER, 1993: Umweltkritische Bereiche des Maisanbaus. Untersuchungen und Erhebungen aus der Praxis des Maisanbaus in der Bundesrepublik Deutschland. Verlag Dr. Kovac, Hamburg.
- LWK HANNOVER, 1994: Neue Techniken der Gülleausbringung. Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.).
- MAIDL, F.-X. & G. FISCHBECK, 1989: Neue Wege einer gezielteren Stickstoffdüngung zu Mais. *VDLUFA-Schriftenreihe* **30**, 143–148.
- SPSS, 1993: SPSS for Windows. User's Guide, Release 6.0. SPSS Inc. Chicago, USA.
- STICKSEL, E., F.-X. MAIDL & G. FISCHBECK, 1994: Reduzierung des Nitrataustrags unter Mais auf Böden hoher N-Austragsgefährdung durch angepasste Düngungsstrategien. *Agrobiol. Res.* **47** (3-4), 324–334.
- STICKSEL, E., F.-X. MAIDL & R. VALTA, 1999: Untersuchungen zur verbesserten Gülleverwertung im Maisanbau. 2. Einfluß des Düngungszeitpunktes auf die Ertragsbildung von Silo- und Körnermais. *Pflanzenbauwissenschaften* 3 (1).
- VALTA, R., 1999: Untersuchungen zur verbesserten Gülleverwertung im Maisanbau. Diss. TU München-Weihenstephan (in Vorbereitung).
- VERHAGEN, F. J. M., H. J. LAANBROEK & J. W. WOLDENDORP, 1995: Competition for ammonium between plant roots and nitrifying and heterotrophic bacteria and the effects of protozoan grazing. *Plant and Soil* **170**, 241–250.
- WEIER, K. L., J. W. DORAN, J. F. POWER & D. T. WALTERS, 1993: Denitrification and the dinitrogen/nitrous oxide ratio as affected by soil water, available carbon, and nitrate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **57**, 66–72.

Eingegangen am 30. November 1998;
angenommen am 29. Januar 1999

Anschrift der Verfasser:

Dr. Franz-Xaver Maidl, Dr. Ewald Stickse, Lehrstuhl für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Technischen Universität München-Weihenstephan, Alte Akademie 12, D-85350 Freising-Weihenstephan.
Dipl. Ing. agr. Robert Valta, InterSaatzucht BGB GmbH, Eicht-hof 6, D-85411 Hohenkammer.