

# Untersuchungen zur verbesserten Gülleverwertung im Maisanbau. 2. Mitteilung: Einfluß des Düngungszeitpunktes auf die Ertragsbildung von Silo- und Körnermais

Investigations for Improved Slurry Utilization in Maize.

2. Report: Impact of Fertiliser Timing on Yield Formation of Maize (Silage and Grain)

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

Lehrstuhl für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, TU München-Weihenstephan

## Zusammenfassung

In Südbayern wurden in zweijährigen Feldversuchen die Ertragsbildung und die N-Aufnahme von Silo- und Körnermais bei unterschiedlichen N-Düngungszeitpunkten auf einem leichten und einem schweren Standort untersucht. Geprüft wurden die Verfahren Düngung „zur Saat“, „6-Blatt-Stadium“ und „kombiniert“ (Saat + 6-Blatt-Stadium). Der Einfluß des Düngungszeitpunktes auf die Ertragsbildung ist in Abhängigkeit vom Produktionsziel (Silo- oder Körnermais) sowie von den Standorteigenschaften differenziert zu betrachten. Stickstoff zur Saat förderte besonders die Restpflanzenentwicklung, während Stickstoff im 6-Blatt-Stadium verstärkt die Kolbenbildung anregte. Der Verzicht auf eine N-Startdüngung führte zu Ertragseinbußen zur Siloreife. Zum Erntetermin Kornreife konnte auf den leichten Standorten mit hoher N-Mineralisierung auf eine Startgabe verzichtet werden, während auf den schweren Standorten eine ausreichende Förderung der Jugendentwicklung nötig war.

**Schlüsselworte:** Mais, Düngungszeitpunkt, Ertrag, N-Entzug

## Summary

Dry matter yield and N-uptake of maize (silage and grain) were recorded as affected by N fertiliser timing on a sandy and a loamy soil in two-year field trials in South Bavaria. Fertiliser timings were “starter fertiliser”, “6-leaf-stage” and “combined” (starter + 6-leaf-stage). The effect of N-fertiliser timing on yield formation was dependant on production goal (silage or grain) as well as site characteristics. Abandoning starter fertiliser led to yield losses at silage maturity. When maize was harvested at grain maturity, starter fertiliser could be omitted on sandy soils. This was due to site specific development of the maize stands. On the sandy soil, maize plants exhausted yield potential without starter fertiliser because of favourable climatic conditions and high release of soil borne nitrogen. On the heavy soil, good plant development was required to reach full yield potential, therefore a starter fertilization was necessary.

**Keywords:** Maize, fertiliser timing, yield, N-uptake

## Einleitung

Die Nitratwaschung unter Mais wird von verschiedenen Autoren als bedenklich hoch angesehen (z. B. EULENSTEIN et al. 1993). Neben den in der Praxis häufig zu beobachtenden Fehlern beim Einsatz von organischen Düngemitteln (LÜTKE-ENTRUP et al. 1993) sind auch pflanzenbauliche Besonderheiten im Maisanbau zu nennen, die das Nitratwaschungsrisiko erhöhen. So ist dem Mais häufig eine winterliche Brache vorangestellt (LÜTKE-ENTRUP et al. 1993), die keinen Schutz vor einer Nitratwaschung bietet. Weiterhin folgt aufgrund der späten Ernte keine Hauptfrucht, die vor Winter eine nennenswerte N-Aufnahme erreicht (FASSBENDER et al. 1993, MAIDL & BRUNNER 1998). Zwar lassen sich die genannten Risikofaktoren durch pflanzenbauliche Maßnahmen, wie Zwischenfruchtanbau, optimierte Gülletechnik oder Untersaaten grundsätzlich abmildern. Allerdings ist als weitere Ursache für den hohen Nitratverlust die langsame Jugendentwicklung zu nennen, die durch pflanzenbauliche Maßnahmen nicht beeinflusst werden kann. Nach ALDRICH et al. (1986) sowie AUFHAMMER et al. (1991) beträgt die Spanne zwischen Saat und einer nennenswerten N-Aufnahme des Maisbestandes 30%–40% der gesamten Vegetationszeit des Mais. Aufgrund der großen Reihentfernung und schwachen Durchwurzelung des Reihenzwischenraumes besteht in diesem Zeitraum abhängig vom Wasserspeichervermögen des Bodens und der Niederschlagsverteilung ein hohes Austragsrisiko für Nitrat, das zur Saat eingebracht oder durch die Mineralisation der organischen Substanz freigesetzt wird (MAIDL 1990). N-Isotopenmessungen zeigen, daß auf sandigen Böden mit zunehmender Niederschlagsmenge die Dünger-N-Verwertung deutlich zurückgeht bei gleichzeitig ansteigenden Verlusten mit dem Sickerwasser (KHANIF et al. 1983, 1984). Auch STICKSEL et al. (1994) konnten auf flachgründigen Böden in der Jugendentwicklung von Mais bedenklich hohe Nitratverluste nachweisen.

Aufgrund des Nitratwaschungsrisikos in der Jugendentwicklung von Mais ist die Höhe der Startdüngung kritisch zu bewerten. Während MAIDL & FISCHBECK (1989) eine Reihendüngung zur Saat fordern, führt nach KAPUSTA et al. (1996) eine Startdüngung bei Körnermais nicht zu Mehrerträgen. TEARE & WRIGHT (1990) weisen auf die sortenabhängige Ertragswirkung einer Andüngung hin. WALTHER (1995) empfiehlt eine mäßige Andüngung von maximal 30 kg N ha<sup>-1</sup> und mißt dem N-Angebot im 6–8-Blatt-Stadium eine weit höhere Bedeutung für die Ertragsbildung zu.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es zu prüfen, welchen Einfluß der Zeitpunkt der N-Düngung auf die Ertragsbildung von Silo- und Körnermais hat. Dabei stand die Frage im Vordergrund, ob der Verzicht auf eine Startgabe ohne Ertragseinbußen möglich ist.

## Material und Methoden

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. Eine detaillierte Darstellung des Versuchsstandortes, der Witterungsbedingungen, des Pflanzenwachstums und der Versuchsfaktoren ist bei MAIDL et al. (1999) wiedergegeben.

### 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 ortsüblich optimal durchgeführt.

Geprüft wurden die N-Applikationstermine „zur Saat“, „6-Blatt-Stadium“ und „kombinierte Düngung“ (zur Saat und im 6-Blatt-Stadium). Innerhalb jeder Terminierungsvariante wurde sowohl mineralischer (Kalkammosalpeter) als auch organischer Stickstoff (Gülle) eingesetzt. Weiterhin wurden die Platzierung der N-Düngung (breitflächig, zur Reihe) sowie die Gülleapplikationstechnik (mit Einarbeitung, ohne Einarbeitung) variiert. Reihendüngung wurde nur im 6-Blatt-Stadium praktiziert. N-Mengen und -Verteilungen sind in Tab. 1 dargestellt. Insgesamt wurden 30 N-Düngungskombinationen in 4facher Wiederholung erfaßt.

Auf eine vollständig orthogonale Versuchsanlage wurde verzichtet, da beispielsweise die Kombination einer mineralischen Reihendüngung mit einer Güllereihendüngung im 6-Blatt-Stadium nicht sinnvoll erscheint. Bei der statistischen Verrechnung wurden die unterschiedlichen N-Mengen berücksichtigt. Es wurden 4reihige Parzellen mit einer Bruttofläche von 24  $m^{-2}$  angelegt.

Bei der Gülldüngung wurde für die Bemessung der N-Menge ausschließlich der  $NH_4$ -N-Anteil der Gülle herangezogen.

### 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 Versuchsparzellen. Aus dem Trockenkolbenanteil und der Kolbentrockensubstanz wurde der Energieertrag nach der Groß'schen Formel errechnet (SCHMIDT 1995). An einer gehäckselten und getrockneten Teilprobe wurde nach einer Vermahlung ( $<0,8$  mm) die N-Bestimmung nach Kjeldahl mit einem Auto-Analyzer (Fa. Skalar) durchgeführt (KÖNIG & FORTMANN 1986).

### Statistische Verrechnung

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

In den einzelnen Terminierungsvarianten wurden unterschiedliche N-Mengen ausgebracht (Tab. 1). Dabei erhielt die Variante „kombiniert“ jeweils die höchste N-Gabe ( $\varnothing$  150 kg N  $ha^{-1}$ ), gefolgt von der Variante „zur Saat“ ( $\varnothing$  118 kg N  $ha^{-1}$ ) und „6-Blatt-Stadium“ ( $\varnothing$  75 kg N  $ha^{-1}$ ). Um den Einfluß der N-Menge bei der Verrechnung der Mittelwertdifferenzen zu berücksichtigen, wurden die zu vergleichenden Merkmale um den Einfluß der Kovariate „N-Menge“ bereinigt:

$$\text{Merkmal}_{\text{neu}} = \text{Merkmal}_{\text{alt}} - \beta * \text{Kovariate}$$

mit  $\beta$  = Koeffizient der Kovariate

Aufgrund des hohen Stichprobenumfanges ( $n > 100$ ) kann der Fehler bei der Berechnung von  $\beta_1$  vernachlässigt werden.

## Ergebnisse

### Trockenmasseertrag, Trockenkolbenanteil und Energieertrag zur Siloreife

Zur Siloreife wurden auf beiden Standorten die höchsten Gesamttrockenmasseerträge in der Variante mit einer ausschließlichen Düngung zur Saat bzw. einer kombinierten Düngung (zur Saat und im 6-Blatt Stadium) erreicht (Tab. 2). Die Differenz zur Variante „6-Blatt-Stadium“ betrug ca. 10 dt  $ha^{-1}$  auf den leichten und annähernd 20 dt  $ha^{-1}$  auf den schweren Standorten. Auf den leichten Standorten ließen sich diese Ertragsunterschiede im Mittel der Jahre statistisch nicht absichern, während auf den schweren Standorten die Ertragsunterschiede signifikant waren. Der Effekt der Terminierung der N-Düngung auf den Gesamttrockenmasseertrag zur Siloreife erwies sich somit als standortabhängig.

Bezüglich des Trockenkolbenanteils bestand zur Siloreife in allen Fällen ein deutlicher Vorteil für die Variante „6-Blatt-Stadium“ (Tab. 2). Gegenüber den Varianten „zur Saat“ bzw. „kombinierte Düngung“ erreichte die Variante mit spät ausgebrachter N-Düngung auf beiden Standorten einen um ca. 3% höheren Trockenkolbenanteil. Eine spät ausgebrachte N-Düngung hatte eine deutliche Förderung des Kolbenanteiles zur Folge. Da bei einem hohen Kolbenanteil jeweils ein niedriger Gesamttrockenmasseertrag bestimmt wurde, ging die Erhöhung des Kolbenanteils offensichtlich zu Lasten der Restpflanzenentwicklung.

Neben dem Gesamttrockenmasseertrag ist im Silomaisanbau der Energieertrag von Bedeutung, der aus Gesamttrockenmasseertrag, Trockenkolbenanteil sowie Trockensubstanzgehalt des Kolbens abgeschätzt wird. Auf beiden Standorten und in beiden Jahren wurde der höchste KStE-Ertrag in der Variante „kombinierte Düngung“ erzielt (Tab. 2). Der Rückstand bezüglich des Energieertrages in der Variante „6-Blatt-Stadium“ konnte trotz des

Tab. 1: N-Düngung zu Mais

### N-fertiliser treatments in maize

Düngungstermin	durchschnittliche N-Menge (kg N $ha^{-1}$ )	N-Form/Verteilung
zur Saat	118	KAS, Gülle / breit
6-Blatt-Stadium	75	KAS, Gülle / zur Reihe
kombiniert (Saat + 6-Blatt-Stadium)	150	KAS, Gülle / breit, zur Reihe

Tab. 2: Gesamttrockenmasseertrag, Trockenkolbenanteil sowie Energieertrag von Silomais in Abhängigkeit von der Terminierung der N-Düngung auf Standorten mit unterschiedlichem Wasserhaltevermögen (Mittel über 2 Jahre, verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen zwischen N-Applikationsterminen innerhalb eines Standorts)

Total dry matter yield, percentage of dry ear, and energie yield of maize (silage) as affected by N-fertiliser timing on sites with differing water storage capacity (mean of 2 years, different letters indicate significant differences between N fertilisation dates within sites)

Leichter Standort			Schwerer Standort		
z. Saat	6-Blatt	kombiniert	z. Saat	6-Blatt	kombiniert
Gesamttrockenmasseertrag (dt ha <sup>-1</sup> )					
164,1a	154,6a	163,9a	169,6a	150,2b	170,6a
Trockenkolbenanteil (%)					
58,0a	61,2b	58,6ab	57,0a	60,0b	56,4a
Energieertrag (1000 KSIE ha <sup>-1</sup> )					
12,8a	12,4a	13,3a	11,2a	10,1b	11,6a

deutlich höheren Trockenkolbenanteils nicht ausgeglichen werden. Somit konnte bei einer Silagenutzung des Maisbestandes auf keinem der Standorte auf eine N-Düngung zur Saat verzichtet werden.

*Trockenmasseertrag und Kolbenertrag zur Kornreife*

Zur Kornreife wurden wie schon zur Siloreife auf beiden Standortgruppen die höchsten Gesamttrockenmasseerträge für die Varianten „zur Saat“ und „kombiniert“ gemessen (Tab. 3). Während auf den schweren Standorten die Differenz im Gesamttrockenmasseertrag dieser Varianten im Vergleich zur Variante „6-Blatt-Stadium“ im Mittel der Jahre wiederum ca. 20 dt ha<sup>-1</sup> betrug, bestand auf den leichten Standorten zur Kornreife mit ca. 5 dt ha<sup>-1</sup> eine geringere Differenz als zur Siloreife. Folglich hat auf den leichten Standorten zwischen Siloreife und Kornreife in der Variante „6-Blatt-Stadium“ ein höherer Biomassezuwachs stattgefunden als in den Varianten „zur Saat“ bzw. „kombiniert“. Demgegenüber verlief auf den schweren Standorten der Ertragszuwachs zwischen Siloreife und Kornreife für alle N-Terminierungsvarianten etwa gleich (Tab. 3).

Für den Kolbenertrag zur Kornreife waren auf den leichten Standorten im Mittel über beide Versuchsjahre keine nennenswerten Ertragsunterschiede zwischen den Terminierungsvarianten zu verzeichnen (Tab. 3). Somit konnte auf leichten Standorten zum Erntetermin Kornreife durchaus auf eine N-Startgabe verzichtet werden. Auf den schweren Standorten erwies sich eine N-Düngung zur Saat als unverzichtbar, um das Ertragspotential auszuschöpfen.

*Verlauf der N-Aufnahme in die oberirdische Biomasse zwischen Siloreife und Kornreife*

Auf den leichten Standorten übertraf die N-Aufnahme in die oberirdische Biomasse zur Siloreife in beiden Jahren die auf den schweren Standorten gemessene N-Aufnahme (Tab. 4). Allerdings waren auf den leichten Standorten zwischen Siloreife und Kornreife erhebliche N-Verluste

Tab. 3: Gesamttrockenmasseertrag und Kolbenertrag von Körnermais in Abhängigkeit von der Terminierung der N-Düngung auf Standorten mit unterschiedlichem Wasserhaltevermögen (Mittel über 2 Jahre, verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen zwischen N-Applikationsterminen innerhalb eines Standorts)

Total dry matter yield and ear yield of maize (grain) as affected by N fertiliser timing on sites with differing water storage capacity (mean of 2 years, different letters indicate significant differences between N fertilisation dates within sites)

Leichter Standort			Schwerer Standort		
z. Saat	6-Blatt	kombiniert	z. Saat	6-Blatt	kombiniert
Gesamttrockenmasseertrag (dt ha <sup>-1</sup> )					
179,7a	174,7a	178,7a	184,0a	164,0b	187,9a
Kolbenertrag dt ha <sup>-1</sup>					
111,9a	116,3a	116,5a	114,2ab	104,2a	118,2b

Tab. 4: Gesamt-N-Aufnahme in die oberirdische Biomasse zur Siloreife und Veränderung der N-Aufnahme zwischen Silo- und Kornreife in Abhängigkeit von der Terminierung der N-Düngung auf Standorten mit unterschiedlichem Wasserhaltevermögen (Mittel über 2 Jahre, verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen zwischen N-Applikationsterminen innerhalb eines Standorts)

Total N uptake in above ground biomass at silage ripeness and course of N uptake between silage and grain maturity as affected by N fertiliser timing on sites with differing water storage capacity (mean of 2 years, different letters indicate significant differences between N fertilisation dates within sites)

Leichter Standort			Schwerer Standort		
z. Saat	6-Blatt	kombiniert	z. Saat	6-Blatt	kombiniert
Gesamt-N-Aufnahme zur Siloreife (kg ha <sup>-1</sup> )					
255a	238a	273a	220a	171b	225a
Differenz der N-Aufnahme zwischen Silo- und Kornreife (kg N ha <sup>-1</sup> )					
-48a	-35a	-62a	-12a	+10a	-10a

festzustellen (Tab. 4), so daß zur Kornreife zwischen den Standorten nur noch geringe Unterschiede in der Gesamt-N-Aufnahme bestanden (nicht dargestellt). Dabei war auf den leichten Standorten in der Variante „6-Blatt-Stadium“, in der zur Siloreife jeweils die niedrigsten N-Aufnahmewerte gefunden wurden, mit -35 kg N ha<sup>-1</sup> der geringste Rückgang der N-Aufnahme zwischen Silo- und Kornreife zu verzeichnen, während auf den schweren Standorten in diesem Zeitraum sogar eine Zunahme der N-Aufnahme bei der Variante „6-Blatt-Stadium“ (+10 kg N ha<sup>-1</sup>) zu beobachten war (Tab. 4). Die N-Verluste waren auf einen Rückgang der N-Gehalte in der Restpflanze zurückzuführen, während die N-Aufnahme in den Kolben zwischen Silo- und Kornreife auf beiden Standorten um ca. 8 kg N ha<sup>-1</sup> anstieg (nicht dargestellt). Die auf beiden Standorten gleich hohen Trockensubstanzgehalte von 29% in der Restpflanze ergaben keine Hinweise darauf, daß die hohen N-Verluste auf den leichten Standorten auf eine vorzeitige Abreife zurückzuführen waren.

## Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, daß der Verzicht auf eine N-Startdüngung beim Anbau von Silomais einen unterdurchschnittlichen Energieertrag mit sich brachte. Dies ließ sich unabhängig von den Standort- und Witterungsbedingungen auf eine unzureichende Restpflanzenentwicklung zurückführen, die gleichzeitig mit einer Förderung der generativen Entwicklung verbunden war. Im Silomaisanbau ist offensichtlich eine N-Startdüngung, die eindeutig die vegetative Entwicklung der Maispflanzen begünstigt, unerlässlich. Der Verzicht auf eine Startdüngung mit dem Ziel, die N-Austragsgefährdung während der Jugendentwicklung von Silomais zu reduzieren, ist nach den vorliegenden Ergebnissen nicht sinnvoll. Allerdings kann auf die Ausbringung der gesamten N-Gabe zur Saat, was in der Praxis häufig zu beobachten ist (LÜTKE-ENTRUP et al. 1993), durchaus verzichtet werden. HEPTING (1984) weist in diesem Zusammenhang darauf hin, daß eine überzogene N-Startdüngung ein zu üppiges Restpflanzenwachstum und infolgedessen Ertragsdepressionen nach sich zieht. Allerdings bezieht sich der Autor auf Standorte mit hohem N-Nachlieferungsvermögen. Da Silomais sehr hohe N-Entzüge erreicht, die in den vorliegenden Untersuchungen in allen Varianten deutlich über der N-Zufuhr lagen (s. 1. Mitteilung), trägt der damit verbundene Abbau von N-Überbilanzen langfristig zu einer Verbesserung der Sickerwasserqualität bei (z. B. BRANDHUBER & HEGE 1991). Somit ist der Anbau von Silomais bei bedarfsgerechter N-Düngung unabhängig von der N-Startdüngung unter dem Aspekt der Reduzierung von Nitratausträgen günstig zu bewerten.

Beim Anbau von Körnermais konnte auf den leichten Standorten auf eine Andüngung zur Saat verzichtet werden, während auf schweren Böden stets eine N-Startdüngung erforderlich war. Aus dem Verlauf der Gesamttrockenmasseerträge und N-Aufnahmen zwischen Silo- und Kornreife lassen sich die Auswirkungen einer Startdüngung auf die Ertragsbildung in Abhängigkeit von den Standortbedingungen ableiten. So nahm auf den leichten Standorten die N-Aufnahmekapazität zwischen Silo- und Kornreife ab (Tab. 4). Der Rückgang war dabei um so stärker ausgeprägt, je höher die N-Aufnahme zum Termin Siloreife bereits war. Offensichtlich war auf den leichten Standorten die N-Aufnahme der Bestände mit einer N-Düngung zur Saat bzw. kombinierten N-Düngung überzogen, so daß bis zur Kornreife die N-Umlagerung und Substanzneubildung gegenüber einer ausschließlichen Düngung im 6-Blatt-Stadium beeinträchtigt war (Tab. 4). Dies kann auf eine beschleunigte Entwicklung und deshalb früher einsetzende Substanzverluste während der Abreife infolge einer zu hohen N-Startgabe zurückzuführen sein (BULLOCK et al. 1993). Nach HEPTING (1984) kann auch ein erhöhter Wasserverbrauch infolge zu üppigem Restpflanzenwachstum zu Mindererträgen im Kolben führen. Im Gegensatz zu den leichten Standorten blieb auf den schweren Standorten die N-Aufnahmekapazität zwischen Silo- und Kornreife annähernd konstant (Tab. 4). Dies weist darauf hin, daß auf den schweren Standorten in diesem Entwicklungsanschnitt eine bessere Wasserversorgung die Ertragsbildung begünstigte. Gleichzeitig wurde deutlich, daß der zum Erntetermin Siloreife auf den schweren Standorten gemessene Rückstand in der Biomasseentwicklung der Variante „6-Blatt-Stadium“ bis zur Kornreife nicht mehr ausgeglichen werden konnte.

Die vorgestellten Ergebnisse zur Ertragsbildung von Mais in Abhängigkeit von der Terminierung der N-Düngung sind vor dem Hintergrund des auf den jeweiligen

Standorten unterschiedlichen Witterungsverlaufs zu bewerten. Auf den schweren Standorten herrschten in beiden Versuchsjahren in den frühen Entwicklungsstadien des Mais ungünstige Wachstumsbedingungen. So beeinträchtigte im ersten Versuchsjahr die geringe Niederschlagsmenge die Jugendentwicklung, während im Folgejahr aufgrund niedriger Temperaturen und hoher Niederschläge eine nur langsame Bodenerwärmung und demzufolge geringe N-Freisetzung aus der organischen Substanz stattfand (VALTA 1999). Ausgehend von annähernd gleich hohen  $N_{\min}$ -Werten auf beiden Standorten betrug die N-Freisetzung zwischen Saat und Anfang Juni auf den leichten Standorten im Mittel der Jahre  $+60 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$  gegenüber lediglich  $+20 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$  auf den schweren Standorten (VALTA 1999). TIMMONS & BAKER (1992) weisen ebenfalls darauf hin, daß die Wirkung der Terminierung der N-Düngung neben den Bodeneigenschaften auch entscheidend von der Jahreswitterung abhängt.

Insgesamt belegen die Ergebnisse, daß über die Terminierung der N-Düngung eine Steuerung des Ertragsaufbaus von Mais möglich ist. Eine N-Startgabe fördert eindeutig die vegetative Entwicklung und ist somit für das Produktionsziel Silomais von größerer Bedeutung als beim Produktionsziel Körnermais, in dem die generative Entwicklung die Ertragshöhe bestimmt. Zwar ist auch beim Körnermais für eine ausreichende vegetative Entwicklung Sorge zu tragen, dies kann aber bei sehr günstigen Bedingungen in den frühen Entwicklungsstadien bereits ohne eine N-Startgabe erreicht werden. Auf Standorten, die eine geringe N-Freisetzung in der Jugendentwicklung erwarten lassen, ist jedoch unabhängig vom Produktionsziel eine Startgabe auszubringen. Bei einer Aufteilung der N-Düngung wurde tendenziell der höchste Ertrag und N-Entzug erreicht, was auch MAIDL (1990) sowie TIMMONS & BAKER (1991) bestätigen. Die Aufteilung der N-Düngung trägt gleichzeitig dazu bei, die Nitrataustragsgefahr in den frühen Entwicklungsstadien gegenüber einer einmaligen N-Gabe zur Saat vermindern (STICKSEL et al. 1994). Es zeigte sich, daß der völlige Verzicht auf eine N-Startgabe nicht auf allen Standorten praktikabel ist, deshalb sollte diese Maßnahme auf auswaschungsgefährdete Standorte beschränkt bleiben. Eine Aufteilung der N-Düngung im Maisanbau wird demgegenüber sowohl ökologischen als auch ökonomischen Erfordernissen in hohem Maße gerecht.

## Literatur

- ALDRICH, S. R., W. O. SCOTT & R. G. HOEFT, 1986: Modern corn production. 3. Aufl. A&L Publications, Champaign, Illinois.
- AUFHAMMER, W., E. KÜBLER & H.-W. BECKER, 1991: Stickstoffaufnahme von und Stickstoffverlagerungspotential unter Maisbeständen. *Mais* **4**, 30–32.
- BRANDHUBER, R. & U. HEGE, 1991: Nitratbelastung des Sickerwassers unter Acker- und Grünland viehhaltender Betriebe – Ergebnisse aus Tiefenuntersuchungen. *VDLUFA-Schriftenreihe* **30**, 203–208.
- BULLOCK, D. G., F. W. SIMMONS, I. M. CHUNG & G. I. JOHNSON, 1993: Growth analysis of corn grown with or without starter fertilizer. *Crop Sci.* **33**, 112–117.
- EULENSTEIN, F., H. DRECHSLER, K. W. BECKER & B. MEYER, 1993: Einfluß des Betriebstyps auf die Nitratverlagerung in mächtigen Lößdecken. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* **6**, 213–216.
- FASSBENDER, K., J. HESS & H. FRANKEN, 1993: Sommerweizen – grundwasserschonende Alternative zu Winterweizen auf leichten Standorten – N-Dynamik, Ertrag und Qualität. In: U. ZERGER (Hrsg.): *Forschung im ökologischen Landbau. SÖL-Sonderausgabe* **42**, 139–144.

- HEPTING, L., 1984: Stickstoff gezielt düngen – auch zu Silomais. *Mais* **2**, 16–20.
- KAPUSTA, G., R. F. KRAUSZ & J. L. MATTHEWS, 1996: Corn yield is equal in conventional, reduced, and no tillage after 20 years. *Agron. J.* **88** (5), 812–817.
- KHANIF, Y. M., O. VAN CLEEMPUT & L. BAERT, 1983: Fate of field-applied fertilizer nitrate on sandy soils. *Plant and Soil* **74**, 473–476.
- KHANIF, Y. M., O. VAN CLEEMPUT & L. BAERT, 1984: Field study of the fate of labeled fertilizer nitrate applied to barley and maize in sandy soils. *Fert. Res.* **5**, 289–294.
- 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, Bd. 47*, Göttingen.
- LÜTKE-ENTRUP, N., R. WOLF & I. KRATZER, 1993: Umweltkritische Bereiche des Maisanbaues. Verlag Dr. Kovac, Hamburg.
- MAIDL, F.-X. & G. FISCHBECK, 1989: Neue Wege einer gezielten Stickstoffdüngung zu Mais. *VDLUFA-Schriftenreihe* **30**, 143–148.
- MAIDL, F.-X., 1990: Pflanzenbauliche Aspekte einer gezielten N-Versorgung und verbesserten N-Ausnutzung. *Landwirtschaftl. Jahrbuch* **67**, SH 2, 71–87.
- MAIDL, F.-X. & H. BRUNNER, 1998: Strategien zur gewässerschonenden Landbewirtschaftung in Bayern. *KTBL-Arbeitspapier 252*. Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup.
- MAIDL, F.-X., STICKSEL, E. & R. VALTA, 1998: Untersuchungen zur verbesserten Gülleverwertung im Maisanbau. 1. Verwertung von Güllestickstoff durch Silo- und Körnermais bei unterschiedlichen Applikationsverfahren. *Pflanzenbauwissenschaften* **3** (1).
- SCHMIDT, W., 1995: Konkurrenzeffekte in Silomaisprüfungen. *Diss. TU München-Weihenstephan*.
- 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.
- TEARE, I. D. & D. L. WRIGHT, 1990: Corn hybrid-starter fertilizer interaction for yield and lodging. *Crop Sci.* **30** (6), 1298–1303.
- TIMMONS, D. R. & J. L. BAKER, 1991: Recovery of point-injected labeled nitrogen by corn as affected by timing, rate, and tillage. *Agron. J.* **83** (5), 850–857.
- TIMMONS, D. R. & J. L. BAKER, 1992: Fertilizer management effect on recovery of labeled nitrogen by continuous no-till. *Agron. J.* **84** (4), 490–496.
- VALTA, R., 1999: Untersuchungen zur verbesserten Gülleverwertung im Maisanbau. *Diss. TU München-Weihenstephan (in Vorbereitung)*.
- WALTHER, U., 1995: Stickstoffdüngung und Ertrag von Mais. *Agrarforschung* **2**(7), 269–272.

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

Anschrift der Verfasser:

Dr. Ewald Sticksel, Dr. Franz-Xaver Maidl, 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, Eichthof 6, D-85411 Hohenkammer.