



# Optimale Stickstoffdüngung zu Mais mit der N<sub>min</sub>-Methode

Ulrich WALTHER, Eidgenössische Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau, Reckenholz (FAP), CH-8046 Zürich

**Versuche mit früher (zur Saat) und später N-Düngung (6- bis 8-Blatt-Stadium) zeigten eine deutlich höhere und sicherere Ertragswirkung später N-Gaben. Der N<sub>min</sub>-Gehalt des Bodens im 6-Blatt-Stadium in den Schichten 0 - 30, 30 - 60 und 60 - 100 cm ist gut geeignet, die Stickstoffdüngung zu optimieren. Die Gewichtung der N<sub>min</sub>-Gehalte der einzelnen Schichten und die Berücksichtigung einer eventuellen winterharten Gründüngung sowie des Humus- und Tongehaltes der obersten Bodenschicht verbessert die Treffsicherheit der N<sub>min</sub>-Methode. Dadurch, dass darauf verzichtet wird, die unterste Bodenschicht zu untersuchen oder den Ammoniumgehalt zu bestimmen, ist die Treffsicherheit für eine optimale N-Gabe erheblich vermindert.**

Die wichtigste N-Quelle für den Mais ist der bodenbürtige mineralische Stickstoff. Eine eventuelle Differenz zwischen Bedarf und bodenbürtigem Angebot ist durch die Düngung zu decken. Der Stickstoffbedarf der Pflanze ist relativ konstant, die Menge an bodenbürtigem, pflanzenverfügbarem Stickstoff ist dagegen sehr unterschiedlich. Als Ansatz zur Lösung dieses Problems bietet sich die zeitlich definierte Bestimmung des Mineralstickstoffgehaltes des Bodens mit Hilfe der N<sub>min</sub>-Methode an. In den Jahren 1985 - 89 wurden an sieben Standorten (Betriebe) nördlich der Alpen und an einem Standort südlich der Alpen (Magadino-Ebene) insgesamt 34 Versuche zur zeitlichen und mengenmässigen Optimierung der N-Düngung in Abhängigkeit vom N<sub>min</sub>-Gehalt des Bodens durchgeführt. Die Ergebnisse der N<sub>min</sub>-Untersuchungen im Herbst vor der Versuchsanlage, im Frühjahr, bei der Saat, im 6- bis 8-Blatt-Stadium und bei der Ernte, der Vergleich der Wirkung von N-Gaben zur Saat mit denjenigen im 6- bis 8-Blatt-Stadium sowie die Erträge bei steigenden N-Gaben wurden in früheren Aufsätzen bereits beschrieben (Walther und Jäggi 1992; Walther 1995a; Walther 1995b). Dabei zeigte sich, dass N-Gaben im 6- bis 8-Blatt-Stadium eine wesentlich bessere und sicherere N-Wirkung haben als N-Gaben zur Saat. In diesem Beitrag ist daher nur noch die Optimierung der N-Gaben im 6- bis 8-Blatt-Stadium dargestellt. Die Versuchsstandorte, die Witterung während der Versuchsjahre sowie die Versuchsdurchführung sind ebenfalls in den früheren Beiträgen beschrieben.

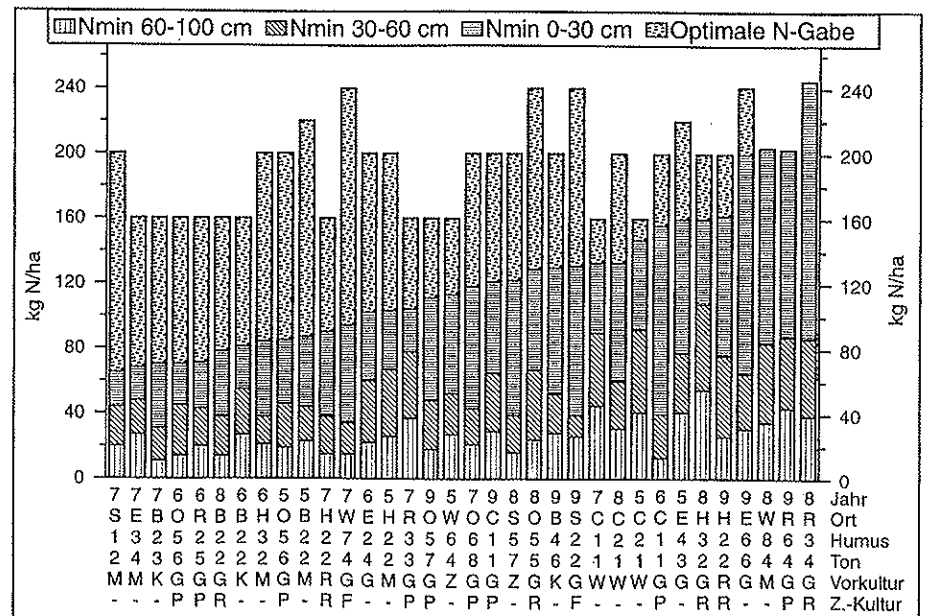
## N<sub>min</sub>-Gehalt des Bodens und optimale N-Gabe

Die in einzelnen Versuchen als optimal bezeichneten N-Gaben (Walther 1995b) sind in Abbildung 1 zusammen mit den entsprechenden N<sub>min</sub>-Gehalten des Bodens dargestellt. Das optimale Stickstoffangebot (N<sub>min</sub> + N-Düngung) im 6- bis 8-Blatt-Stadium beträgt im Durchschnitt al-

ler Versuche 191 kg N/ha. Bei N<sub>min</sub>-Gehalten unter 120 kg N/ha liegt das optimale N-Angebot oft bei 160 kg N/ha, bei höheren N<sub>min</sub>-Gehalten mehrheitlich bei 200 kg N/ha. Diese Unterschiede lassen sich weder mit dem Ton- oder Humusgehalt des Bodens noch mit den Vor- oder Zwischenkulturen erklären (Abb. 1). Die geringere Ertragswirkung des messbaren mineralischen Bodenstickstoffs (N<sub>min</sub>), verglichen mit dem Düngerstickstoff, könnte mit N-Verlusten durch Auswaschung nach der N<sub>min</sub>-Probenahme zusammenhängen.

## Konstante N-Gabe: 50 % Treffer

Eine konstante, dem Durchschnitt der versuchsmässig ermittelten optimalen N-Gaben aller Versuche entsprechende N-Gabe



**Jahr:** 1980 + Jahr des Versuches. **Ort:** B = Bätterkinden, C = Cadenazzo (südlich der Alpen), E = Ellighausen, H = Habstetten, O = Oensingen, R = Reckenholz, S = Schöpfen, W = Wichtrach. **Humusgehalt des Bodens (0-20 cm):** 1 = 1,6 - 2 %; 2 = 2,1 - 2,5 %; 3 = 2,6 - 3 %; 4 = 3,1 - 3,5 %; 5 = 3,6 - 4 %; 6 = 4,1 - 4,5 %; 7 = 4,6 - 5 %; 8 = 5,1 - 5,5 %. **Tongehalt des Bodens (0-20 cm):** 1 = 6-10 %; 2 = 11 - 15 %; 3 = 16-20 %; 4 = 21 - 25 %; 5 = 26 - 30 %; 6 = 31 - 35 %; 7 = 36 - 40 %. **Vorkultur:** M = Mais, G = Getreide, K = Kartoffeln, R = Körnermais, W = Kunswiese, Z = Zuckerrüben. **Zwischenkultur:** P = Phacelia, R = Raps/Rübsen, F = Zwischenfutter, - = ohne Zwischenkultur.

**Abb. 1. Mineralstickstoffgehalte (N<sub>min</sub>) des Bodens und optimale N-Gaben im 6- bis 8-Blatt-Stadium (nach einer N-Düngung von 30 kg N/ha zur Saat) in den einzelnen Versuchen.**

von 72 kg N/ha, würde in genau der Hälfte aller Versuche zu einem Düngungsfehler von mehr als 25 kg N/ha führen; in 7 von 34 Fällen wäre der Fehler gar grösser als 45 kg N/ha (Tab. 1).

## Optimale N-Gabe: sehr schwierig zu schätzen

Der Versuch, die optimale N-Düngung mit Hilfe einer Normdüngung und verschiedener Korrekturen bezüglich Standort-, Bewirtschaftungs- und Wetterdaten zu schätzen, wie sie in den «Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau» (Walther *et al.* 1994) beschrieben sind, führt im Vergleich zu einer konstanten N-Gabe zu keiner Verbesserung der Trefferwahrscheinlichkeit der optimalen N-Düngung (Tab. 1).



Abb. 2. Die Bestimmung des mineralischen Stickstoffgehaltes des Bodens ( $N_{min}$ ) im 6-Blatt-Stadium ist ein sehr gutes Hilfsmittel, um die Stickstoffdüngung zu Mais im 6- bis 8-Blatt-Stadium zu optimieren.

Tab. 1. Treffsicherheit verschiedener Formeln zur Berechnung der optimalen N-Düngung im 6- bis 8-Blatt-Stadium von Körnermais nach einer fixen N-Gabe von 30 kg N/ha zur Saat

Berechnungsformel $\hat{y}$ = berechnete N-Gabe (kg N/ha)	Anzahl Versuche, in denen die berechnete N-Gabe mehr oder weniger stark von der versuchsmässig ermittelten optimalen N-Gabe abweicht						Maximale Abweichung von der optimalen N-Gabe (kg N/ha)	$\bar{\sigma}$ Abweichung (kg N/ha) von der opt. N-Gabe (Absolutwerte)	Bestimmtheitsmass ( $r^2$ )*		
	Zu geringe berechnete N-Gabe (kg N/ha)			Optimale N-Gabe (Abweichung kleiner als 25 kg N/ha)	Zu hohe berechnete N-Gabe (kg N/ha)						
	mehr als 45	36 bis 45	26 bis 35		26 bis 35	36 bis 45				mehr als 45	zu wenig gedüngt
$\hat{y} = 72$ **	3	4	1	17	4	1	4	75	72	31	-
Schätzmethode nach Grudaf 94 ***	5	0	2	16	4	0	7	97	110	38	0,03
$\hat{y} = 140$ minus $[0,72 \times N_{min} (0 - 60 \text{ cm})]$	2	2	1	24	2	1	2	64	50	22	0,52
$\hat{y} = 160$ minus $NO_3\text{-N} (0 - 60 \text{ cm})$	1	4	0	22	3	2	2	52	53	22	0,53
$\hat{y} = 180$ minus $N_{min} (0 - 100 \text{ cm})$	3	3	0	28	0	0	0	60	20	24	0,59
$\hat{y} = 200$ minus $N_{min} (0 - 100 \text{ cm})$	0	4	0	18	0	12	0	40	40	20	0,60
$\hat{y} = 154$ minus $[0,67 \times N_{min} (0 - 100 \text{ cm})]$	1	3	1	24	3	2	0	57	41	20	0,60
$\hat{y} = 180$ minus $N_{min} (0 - 100 \text{ cm})$ wenn $N_{min} < 120$ 200 minus $N_{min} (0 - 100 \text{ cm})$ wenn $N_{min} > 120$	1	4	0	28	0	1	0	60	40	18	0,61
$\hat{y} = 168 - [0,48 \times N_{min} (0 - 30 \text{ cm})]$ - $[1,49 \times N_{min} (30 - 60 \text{ cm})]$ - $[0,71 \times N_{min} (60 - 100 \text{ cm})]$	2	0	3	26	2	1	0	54	35	19	0,67
$\hat{y} = 185 - [0,30 \times N_{min} (0 - 30 \text{ cm})]$ - $[1,10 \times N_{min} (30 - 60 \text{ cm})]$ - $[0,92 \times N_{min} (60 - 100 \text{ cm})]$ - 24,3 wenn Raps oder Rübsen als Gründüngung vor der Maissaat - $[13,2 \times \text{Humusgehalt des Bodens (\%)}]$ in 0 - 20 cm Tiefe + $[0,5 \times \text{Tongehalt des Bodens (\%)}]$ in 0 - 20 cm Tiefe	0	2	1	29	2	0	0	39	34	16	0,74

\* Bestimmtheitsmass der mittels linearer Regression ermittelten Beziehung zwischen den berechneten N-Gaben und den versuchsmässig ermittelten optimalen N-Gaben

\*\* Durchschnitt der versuchsmässig ermittelten optimalen N-Gaben aller Versuche

\*\*\* Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (Walther *et al.* 1994)

## $N_{\min}$ - oder Nitratgehalt in 0 - 60 cm unbefriedigend

Die Berücksichtigung des  $N_{\min}$ - beziehungsweise des Nitratgehaltes des Bodens in der Schicht von 0 - 60 cm Tiefe erhöht wohl die Anzahl Fälle mit einem geringen Düngungsfehler, es verbleiben jedoch immer noch vier beziehungsweise drei Fälle, in denen die berechnete N-Gabe um mehr als 45 kg N/ha vom Optimum abweicht (Tab. 1). Das Bestimmtheitsmass ( $r^2$ ) der linearen Regression zwischen den berechneten N-Gaben und den versuchsmässig ermittelten optimalen N-Gaben beträgt lediglich 0,52 beziehungsweise 0,53, das heisst, dass nur 52 beziehungsweise 53 % der Streuung der optimalen N-Gaben durch den  $N_{\min}$ - beziehungsweise Nitratgehalt in den obersten zwei Bodenschichten (0 - 30, 30 - 60 cm) erklärt werden kann.

## $N_{\min}$ in drei Schichten ist notwendig

Wird der  $N_{\min}$ -Gehalt des Bodens von 0 - 100 cm Tiefe berücksichtigt, steigt das Bestimmtheitsmass deutlich an und beträgt je nach Berechnungsart 0,59 bis 0,61 (Tab. 1). Weiter verbessert wird die Beziehung zwischen den berechneten und versuchsmässig ermittelten optimalen N-Gaben, wenn die  $N_{\min}$ -Gehalte in den drei Bodenschichten 0 - 30, 30 - 60 und 60 - 100 cm mit Hilfe einer multiplen linearen Regressionsrechnung gewichtet werden ( $r^2 = 0,67$ ). Dabei fällt auf, dass die mittlere Schicht den weitaus grössten und die oberste Schicht den geringsten Einfluss hat.

## Zusätzliche Informationen verbessern das Ergebnis

Die beste Schätzung der optimalen N-Gabe ergibt sich, wenn nebst dem  $N_{\min}$ -Gehalt in den drei Bodenschichten zusätzlich der analytisch bestimmte Humus- und Tongehalt der Bodenschicht von 0 - 20 cm und der eventuelle Anbau einer winterharten Gründüngung (Raps oder Rübsen) berücksichtigt werden ( $r^2 = 0,74$ ). Bei dieser Berechnungsart der optimalen N-Gabe weicht die berechnete N-Gabe in 29 von 34 Fällen um höchstens 25 kg N/ha von der optimalen N-Gabe ab; in den restlichen fünf Fällen liegt die Abweichung lediglich zwischen 25 und höchstens 39 kg N/ha (Tab. 1).

## Empfehlungen

Der Vergleich der einzelnen Verfahren zur Schätzung der optimalen N-Gabe von Körnermais zeigt klar, dass der regional praktizierte Verzicht auf die Bestimmung und Berücksichtigung des  $N_{\min}$ -Gehaltes der Bodenschicht von 60 - 100 cm Tiefe in etlichen Fällen zu grösseren Düngungsfehlern führt. Auch die Berechnung des  $N_{\min}$ -Gehaltes in der untersten Schicht mit Hilfe der Werte in den beiden oberen Schichten dürfte hier und da mit grösseren Fehlern behaftet sein, da die entsprechende Beziehung [ $N_{\min}$  (60 - 100 cm) =  $4,2 + \{0,02 \times N_{\min}$  (0 - 30 cm) +  $\{0,65 \times N_{\min}$  (30 - 60 cm)}] in den vorliegenden Untersuchungen lediglich ein Bestimmtheitsmass ( $r^2$ ) von 0,53 aufweist.

Für die praktische Düngeberatung können in erster Linie die drei letztgenannten Formeln in Tabelle 1 empfohlen werden. Dabei ist zu beachten, dass vor allem der Humusgehalt analytisch zu bestimmen ist und nicht mit ausreichender Genauigkeit geschätzt werden kann. Sehr ähnliche Ergebnisse und Empfehlungen liegen auch aus dem Ausland vor (Blackmer *et al.* 1989; Laurenz 1993; Breuninger 1993; Gröbblinghoff *et al.* 1994).

## LITERATUR

Blackmer A.M., Pottker D., Cerrato M.E. and Webb J., 1989. Correlations between soil nitrate concentrations in late spring and corn yields in Iowa. *Journal of Production Agriculture* 2, (2), 103-109.

Breuninger, 1993. Späte  $N_{\min}$ -Probe: So läuft es in Baden. *Top Agrar* 4, 62-63.

Gröbblinghoff F.-F., Stemann G. und Lütke Entrup N., 1994. N-Düngung: Neues System, höhere Effizienz? *Mais* 22, 1, 30-33.

Laurenz L., 1993. Kosten sparen durch späte  $N_{\min}$ -Untersuchung. *Top Agrar* 4, 58-61.

Walther U. und Jäggi F., 1992. Stickstoffdüngung von Mais:  $N_{\min}$ -Gehalte des Bodens vor, während und nach dem Anbau. *Landw. Schweiz* 5 (3), 79-85.

Walther U., Menzi H., Ryser J.-P., Flisch R., Jeangros B., Kessler W., Maillard A., Siegenthaler A.F. und Vuilloud P.A., 1994. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau. *Agrarforschung* 1 (7), 1-40. Vertrieb: Landwirtschaftliche Beratungszentrale LBL, CH-8315 Lindau.

Walther U., 1995a. Stickstoffdüngung zu Mais - zur Saat oder später? *Agrarforschung* 2 (4), 129-132.

Walther U., 1995b. Stickstoffdüngung und Ertrag von Mais. *Agrarforschung* 2 (7), 269-272.

## RÉSUMÉ

### Fumure azotée optimale du maïs avec la méthode $N_{\min}$

Les essais comprenant une fumure azotée précoce (au semis) et tardive (au stade 6 à 8 feuilles) ont montré un effet sur les rendements plus net et plus sûr avec l'apport tardif. La teneur en  $N_{\min}$  du sol au stade 6 feuilles dans les couches 0 - 30, 30 - 60 et 60 - 100 cm est bien appropriée pour optimiser la fumure azotée. On améliore la fiabilité de la méthode  $N_{\min}$  lorsqu'on tient compte de la teneur en  $N_{\min}$  de chaque couche séparément, de la présence d'un éventuel engrais vert hivernant ainsi que des taux de matière organique et d'argile dans la couche supérieure. Le fait de renoncer à l'analyse de la couche inférieure ou à la détermination de l'ammonium diminue nettement les chances de succès avec la méthode  $N_{\min}$ .

## SUMMARY

### Optimum nitrogen fertilization of corn with the $N_{\min}$ -method

Late N-application at 6 - 8-leaf stage showed a significantly higher and more constant yield effect than early application at planting. The  $N_{\min}$ -content of the soil in the layers 0 - 30, 30 - 60 and 60 - 100 cm at 6-leaf stage is well suited to optimize N-fertilization. The prediction accuracy of the  $N_{\min}$ -method can be improved by weighting the contents of the different layers and by considering a possible winter hardy green manure as well as organic matter and clay content of the upper soil layer. The analysis of the lowest soil-layer and of the ammonium content also contributed significantly to the prediction.

**KEY WORDS:** Corn, nitrogen, fertilisation, mineral nitrogen ( $N_{\min}$ ), soil analysis, date

## RIASSUNTO

### Concimazione azotata ottimale nel maïs per mezzo del metodo $N_{\min}$

In prove con concimazione azotata precoci (alla semina) e tardive (stadio 6 - 8 foglie) gli apporti azotati tardivi hanno mostrato un effetto maggiore e più sicuro sulla resa. Il contenuto  $N_{\min}$  del suolo negli strati 0 - 30, 30 - 60 e 60 - 100 cm, quando il maïs ha raggiunto lo stadio 6 foglie, ben si appresta all'ottimizzazione della concimazione azotata. L'esattezza del metodo  $N_{\min}$  aumenta con la ponderazione del contenuto  $N_{\min}$  nei singoli strati e se si tiene conto delle informazioni sulla presenza di una coltura intercalare svernante e sul contenuto di humus ed argilla nello strato superiore del suolo. Rinunciando all'analisi dello strato più basso oppure a quella dell'ammonio si riduce sensibilmente la precisione nella valutazione della concimazione azotata ottimale.