



Stickstoffdüngung zu Mais - zur Saat oder später?

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

Das bodenbürtige Stickstoffangebot (N_{\min}) kann sich von der Saat des Mais bis zum 6- bis 8-Blatt-Stadium vor allem infolge N-Mineralisierung und N-Auswaschung sehr unterschiedlich verändern. N-Gaben im 6- bis 8-Blatt-Stadium haben eine deutlich höhere und sicherere Ertragswirkung als N-Gaben zur Saat. Ertragswirkungsunterschiede zwischen früher und später N-Düngung lassen sich teilweise durch die Niederschlagsmengen und -verteilung sowie durch die Bodentemperaturen erklären.

Die optimale Bemessung der Stickstoffdüngung zu Mais ist kein einfaches Unterfangen. Vielfältig sind die Faktoren, welche den Stickstoffhaushalt des Bodens und somit die N-Verfügbarkeit für die Pflanze beeinflussen. Als Leitlinie für den Stickstoffbedarf kann die N-Aufnahme während den einzelnen Wachstumsphasen angenommen werden. Die wichtigste N-Quelle 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.

Die zu einem bestimmten Zeitpunkt in einem unbewachsenen Boden, wie dies während dem Auflaufen und der frühen Jugendentwicklung von Hackfrüchten der Fall ist, vorhandene N_{\min} -Menge wird ausser von der N-Mineralisierung vor der Probenahme auch von Witterungsfaktoren (Temperatur, Niederschläge) stark beeinflusst. Einerseits bestimmt das Wetter die Intensität der Mineralisierung und andererseits kann das gebildete Nitrat bei stärkeren Niederschlägen rasch ausgewaschen werden. Dadurch kann ein Teil des mineralisierten Stickstoffs weder mit der N_{\min} -Methode gemessen werden, noch steht er den Pflanzen später zur Verfügung. Es sind daher nebst den Bodeneigenschaften vor allem die Temperaturen und die Niederschläge für die pflanzennutzbare Menge an mineralisiertem Stickstoff verantwortlich.

Als Ansatz zur Lösung dieses Problems bietet sich die Bestimmung des Mineralstickstoffgehaltes des Bodens zu be-

stimmten Zeitpunkten mit Hilfe der N_{\min} -Methode an. In den Jahren 1985 bis 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 des N_{\min} -Gehaltes des Bodens durchgeführt.

Versuchsdurchführung beeinflusst Ergebnisse

Die Versuchsstandorte, die Witterung während der Versuchsjahre, die Versuchsanlage und die Durchführung der N_{\min} -Untersuchungen sind in einem früheren Beitrag (Walther und Jäggli 1992) beschrieben. Die geprüften Düngungsver-

fahren sind in Tabelle 1 aufgelistet. Die Parzellengrösse betrug vier Reihen mal 10 m Länge. Von den zwei mittleren Reihen wurden alle Kolben und jeder vierte Stengel von Hand geerntet. Anhand der Anzahl geernteten Stengel wurde die Bestandesdichte bei der Ernte berechnet. Es wurden nur Versuche in die Auswertungen einbezogen, bei welchen sich die Bestandesdichte der einzelnen gedüngten Verfahren um höchstens 0,5 Pflanzen pro m^2 unterschieden. Die Wahl der Sorte war den Bewirtschaftern freigestellt.

So wurden die Versuche ausgewertet

Die N-Düngungssysteme «Gesamte N-Gabe zur Saat» und «30 kg N/ha zur Saat, Rest im 6- bis 8-Blatt-Stadium» wurden miteinander verglichen. Da die N-Gaben nicht nach einem starren System, sondern nach dem jeweiligen N_{\min} -Gehalt des Bodens bemessen wurden, können die einzelnen Verfahren nicht direkt, sondern nur gruppenweise (N-Düngungszeitpunkt) miteinander verglichen werden.



Abb. 1. Späte Stickstoff-Gaben wirken besser und sicherer!!

Tab. 1. Düngungsverfahren

Verfahren Nr.	N-Gabe zur Saat (kg N/ha)				N-Gabe im 6- bis 8-Blatt-Stadium (kg N/ha)				Versuchsjahre
	Formel	Durchschnitt	Min.	Max.	Formel	Durchschnitt	Min.	Max.	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1985-89
2	100 - N _{min} *	48	0	80	0	0	0	0	1985-89
3	140 - N _{min} *	88	32	120	0	0	0	0	1985-89
4	180 - N _{min} *	128	72	160	0	0	0	0	1985-89
5	220 - N _{min} *	163	112	200	0	0	0	0	1988-89
6	30	30	30	30	160 - N _{min} **	45	0	96	1985-89
7	30	30	30	30	200 - N _{min} **	80	0	136	1985-89
8	30	30	30	30	240 - N _{min} **	119	0	176	1985-89
9	30	30	30	30	280 - N _{min} **	128	36	211	1988-89
10	140 - N _{min} *	88	32	120	50	50	50	50	1985-89

* N_{min} kurz vor der Saat; ** N_{min} im 6-Blatt-Stadium (Juni)

N_{min}-Gehalte schwanken stark

Die durchschnittlichen N_{min}-Gehalte im März der einzelnen Versuchsjahre lagen konstant bei etwa 55 kg N/ha (Tab. 2). Bis zur Saat (Ende April bis Mitte Mai) veränderten sich geringe bis mittlere N_{min}-Gehalte kaum, während höhere Werte (über etwa 50 kg N/ha) in diesem Zeitraum oft abnahmen. Dies bedeutet, dass im März und April kaum Stickstoff mineralisiert wurde oder der mineralisierte Stickstoff gleich wieder ausgewaschen wurde, bei höheren Gehalten jedoch oft messbare Verluste durch Auswaschung auftraten.

N_{mob} hilft nicht weiter

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Standorten sind in allen Jahren sowohl im März als auch bei der Saat beträchtlich (20 bis teilweise über 100 kg N/ha). Von der Saat bis Juni (6-Blatt-Stadium) nahm der N_{min}-Gehalt ohne N-Düngung zur Saat an praktisch allen Standorten als Folge der beginnenden mikrobiellen Stickstoffmineralisierung mehr oder weniger stark zu. Das Ausmass der Zunahme der N_{min}-Gehalte steht jedoch in keinem Zusammenhang zum potentiell mineralisierbaren Stickstoffgehalt des Bodens (N_{mob}), welcher mit verschiedenen Untersuchungstechniken (Bebrütung, CaCl₂-Extraktion, Heisswasser-Extraktion, Kaliumpermanganat-Extraktion) bestimmt wurde (Jäggi 1990; Oberholzer 1990).

Witterung und N_{min}

Die durchschnittliche Zunahme der N_{min}-Werte von der Saat bis zum 6-Blatt-Stadium der Verfahren ohne N-Düngung zur Saat (Tab. 2) kann zum Teil mit Hilfe

Tab. 2. N_{min}-Gehalte des Bodens im März, bei der Saat und im Juni (6-Blatt-Stadium)

Jahr	Ort	N _{min} (0-100 cm)			
		März	Mai (Saat)	Juni	
				ohne N zur Saat	mit 30 kg N/ha zur Saat
1985	Habstetten	28	24	56	93
	Wichtrach	50	53	63	132
	Bätterkinden	32	39	75	85
	Oensingen	48	39	69	87
	Cadenazzo	100	85	116	146
	Ellighausen	63	58	116	160
	Durchschnitt	54	50	82	117
1986	Habstetten	25	22	45	78
	Bätterkinden	80	68	50	83
	Oensingen	44	47	75	81
	Cadenazzo	75	40	98	122
	Reckenholz	43	40	74	71
	Ellighausen	46	40	71	103
	Durchschnitt	52	43	69	90
1987	Schüpfen	49	-	49	68
	Habstetten	31	-	89	104
	Wichtrach	56	-	89	90
	Bätterkinden	109	-	60	71
	Oensingen	51	-	79	121
	Cadenazzo	29	-	99	129
	Reckenholz	62	-	74	102
	Ellighausen	33	-	77	64
Durchschnitt	53		77	94	
1988	Schüpfen	52	59	93	118
	Habstetten	50	32	109	162
	Wichtrach	127	93	160	203
	Bätterkinden	19	20	61	69
	Oensingen	49	50	107	130
	Cadenazzo	57	54	122	160
	Reckenholz	32	36	133	244
	Durchschnitt	55	49	112	155
1989	Schüpfen	30	28	71	131
	Habstetten	16	48	122	156
	Bätterkinden	86	67	92	134
	Oensingen	48	73	98	112
	Cadenazzo	40	41	83	111
	Reckenholz	52	83	147	200
	Ellighausen	125	108	141	202
	Durchschnitt	57	64	108	149
Durchschnitt	Habstetten	30	31	84	119
	Bätterkinden	65	49	68	88
	Oensingen	48	52	86	106
	Cadenazzo	60	55	104	134
	Durchschnitt	54	52	90	121

der Niederschläge und der Bodentemperaturen von Anfang Mai bis Mitte Juni (Tab. 3) erklärt werden. Geringe Zunahmen sind in den Jahren 1986 und 1987 festzustellen. Obwohl die Bodentemperaturen deutlich verschieden waren, ist die N_{\min} -Zunahme nur gering, da ein wesentlicher Teil des mineralisierten Stickstoffs infolge der hohen Niederschläge (über 200 mm) rasch ausgewaschen wurde. In den Jahren 1985 und 1988 sind die Niederschläge etwa 40 bis 50 mm geringer, die Bodentemperaturen jedoch deutlich verschieden; die Auswirkungen dieser Kombination von Niederschlägen und Bodentemperatur sind in der durchschnittlichen N_{\min} -Zunahme von Saat bis ins 6-Blatt-Stadium klar ersichtlich. Bei tieferen Bodentemperaturen (1985) beträgt sie 32 kg N/ha; bei höheren Bodentemperaturen (1988) beläuft sie sich auf 63 kg N/ha. Es ist jedoch auch unter diesen Verhältnissen wahrscheinlich, dass ein Teil des mineralisierten Stickstoffs ausgewaschen wurde, bevor die Maispflanzen einen höheren N-Bedarf hatten. Das Versuchsjahr 1989 lässt sich bezüglich Bodentemperatur mit dem Jahr 1986 vergleichen. Infolge der geringeren Niederschläge ist die durchschnittliche N_{\min} -Zunahme von der Saat bis zum 6-Blatt-Stadium 1989 um 17 kg N/ha höher.

Ähnliche Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren sind auch bei Verfahren mit N-Düngung zur Saat (30 kg N/ha) ersichtlich. Während in den Jahren 1986 und 1987 im Durchschnitt nur 21 beziehungsweise 17 kg N/ha wiedergefunden wurden, waren es in den Jahren 1985, 1989 und 1988 deren 35, 41 beziehungsweise 43 kg N/ha. Aufgrund der Bodentemperaturen in den drei letztgenannten Jahren ist im N_{\min} -Ergebnis im 6-Blatt-Stadium, nebst der Mineralisierung und Auswaschung, auch ein Einfluss des Priming-Effektes (verstärkte N-Mineralisierung infolge der N-Düngung) messbar enthalten.

Diese Einflüsse der Witterung auf die Entwicklung des N_{\min} -Gehaltes des Bodens sind lediglich im Durchschnitt aller Versuchsorte in den einzelnen Jahren ersichtlich. Am einzelnen Standort ist die N-Dynamik des Bodens jedoch wesentlich komplexer und kann mit Hilfe von Witterungsdaten allein nur selten erklärt werden. Die zusätzliche Berücksichtigung von Bodeneigenschaften und Bewirtschaftungsmassnahmen lieferten in einigen wenigen Fällen Erklärungen für die standortspezifische Entwicklung des N_{\min} -Gehaltes (Walther und Jäggli 1992). Oft

Tab. 3. Niederschläge und Bodentemperatursumme (Summe aller täglichen Durchschnittstemperaturen über 5°C) in 20 cm Tiefe vom 1. Mai bis 10. Juni in den Versuchsjahren 1985-89. Durchschnitt der Meteorstationen Bern-Liebefeld, Güttingen und Reckenholz

Jahr	Niederschläge (mm)	Bodentemperatursumme (°C)
1985	160	374
1986	213	395
1987	211	313
1988	169	432
1989	79	390

ist der Einfluss der Faktoren, welche die N-Dynamik des Bodens beeinflussen, derart komplex und überlagert, dass eine bestimmte Entwicklung des N_{\min} -Gehaltes nicht mehr einem oder einigen wenigen Faktoren zugeordnet werden kann.

Späte N-Gaben wirken besser

Zur Beurteilung der Ertragswirkung des Stickstoffs ist der Mehrertrag pro kg gedüngtem Stickstoff das geeignetste Kriterium. Wie die Ergebnisse in Abbildung 2 zeigen, sind späte N-Gaben meist deutlich wirksamer. Im Durchschnitt der Jahre 1985-89 beträgt im direkt vergleichbaren Bereich von 75 bis 128 kg N/ha die Ertragsleistung der N-Gaben zur Saat 17 -

21 kg Körner pro kg Stickstoff; bei später Haupt-N-Gabe ist sie praktisch konstant 4 - 5 kg oder etwa 25 % höher. Die Überlegenheit der späten N-Gaben ist in den einzelnen Jahren (Durchschnitt von je 6 bis 8 Versuchen) jedoch recht unterschiedlich. Während in den beiden ersten Versuchsjahren nur eine leichte Überlegenheit der späteren N-Gaben festzustellen ist, wird sie in den beiden folgenden Jahren sehr ausgeprägt. Im letzten Versuchsjahr sind dagegen keine düngeterminabhängigen Unterschiede in der Stickstoffertragswirkung vorhanden. Es ist naheliegend, diese Jahresunterschiede mit den Niederschlägen nach der Saat, welche die Auswaschung des zur Saat gedüngten Stickstoffs potentiell fördern, in Zusammenhang zu bringen. Der Vergleich der Niederschlagssummen von

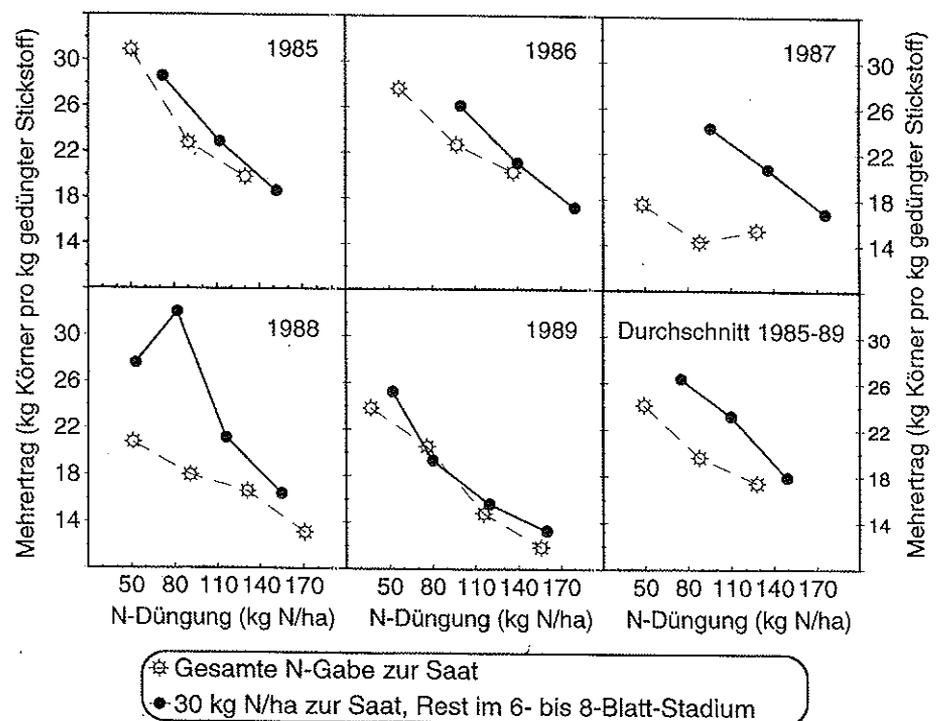


Abb. 2. Einfluss des Zeitpunktes der Haupt-N-Gabe auf die durchschnittliche Ertragswirkung des Stickstoffs in den einzelnen Versuchsjahren mit je 6 - 8 Versuchen sowie im Durchschnitt von 34 Versuchen 1985 - 89.

Tab. 4. Niederschlagssummen und Anzahl Niederschlagsperioden mit unterschiedlicher Nitrat- auswaschungsgefährdung von Mitte Mai bis Ende Juni während den einzelnen Versuchsjahren. Durchschnitt von 7 Versuchsorten nördlich der Alpen

Jahr	Niederschläge (mm) von Mitte Mai bis Ende Juni	Nitrat- auswaschungsgefährdung (Anzahl Niederschlagsperioden)		
		gering*	mittel*	hoch*
1985	170	8,3	3,0	0
1986	202	5,1	3,8	0,4
1987	290	7,8	2,4	1,2
1988	187	6,4	2,6	1,0
1989	77	4,0	0,1	0

*Die entsprechenden Definitionen sind in Tabelle 5 enthalten.

Tab. 5. Beurteilung verschiedener Niederschlagsperioden bezüglich Nitrat- auswaschungsgefährdung

Dauer der Niederschlags- periode (Tage)	Durchschnittliche tägliche Niederschlagsmenge (mm)	Beurteilung der Nitrat- auswaschungsgefährdung
-	0 - 5	gering
1 - 3	5 - 10	gering
1	10 - 20	gering
grösser als 3	5 - 10	mittel
2 - 3	10 - 20	mittel
1	grösser als 20	mittel
grösser als 3	10 - 20	hoch
grösser als 1	grösser als 20	hoch

Mitte Mai bis Ende Juni (Tab. 4) mit der N- Ertragswirkung vermag die Unterschiede zwischen den Jahren 1987 (290 mm Regen) und 1989 (77 mm Regen) zum grössten Teil verständlich zu machen. Die Unterschiede zwischen den übrigen Versuchsjahren sind jedoch mit diesem Vorgehen nicht erklärbar. Die Auswertung der Niederschläge nach deren Verteilung und Intensität (Tab. 5) vermag die Unterschiede zwischen den durchschnittlichen N- Ertragswirkungen in den einzelnen Jahren (Abb. 2) dagegen sehr deutlich zu erklären. Dabei sind vor allem die Anzahl Niederschlagsperioden mit hoher Nitrat- auswaschungsgefährdung (Tab. 4) zu beachten.

Aufgrund dieser Ergebnisse kann festgehalten werden, dass die späte N- Düngung zu Mais, sowohl bei höheren als auch bei geringeren Niederschlagsmengen während der Jugendentwicklung, nie eine schlechtere, aber oft eine wesentlich bessere Wirkung der N- Dünger erbringt und generell empfohlen werden kann. Dieses System hat den Vorteil geringerer Nitrat- belastung des Grundwassers und bietet gleichzeitig die Möglichkeit, das Ergebnis der natürlichen Stickstoffdynamik des

Bodens bis zum Düngetermin bei der Bemessung der N- Gaben berücksichtigen zu können.

LITERATUR

Jäggi W., 1990. Beurteilung des Stickstoff- Mobilisierungspotentials des Bodens mit Hilfe mikrobiologischer Methoden. *Die Grüne* 126, (4), 12-15.

Oberholzer H.R., 1990. Beurteilung des Stickstoff- Mobilisierungspotentials des Bodens mit Hilfe verschiedener Extraktionsverfahren. *Die Grüne* 126, (4), 15-18.

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.

RÉSUMÉ

La fumure azotée du maïs - au semis ou plus tard?

Des essais de fumure azotée du maïs ont été réalisés à 8 endroits pendant 5 ans (1985-89). Différentes doses d'azote ont été apportées au semis (apports précoces) et au stade 6 à 8 feuilles de la culture (apports tardifs). L'analyse des résultats de 34 essais aboutit aux conclusions

suivantes. A cause de la minéralisation et du lessivage, l'offre en azote minéral du sol (N_{min}) peut sensiblement varier du semis jusqu'au stade 6 à 8 feuilles. Les apports d'azote tardifs influencent le rendement d'une manière bien plus élevée et plus fiable que les apports précoces. Les différences entre les apports précoces et tardifs sont partiellement expliquables par la somme et l'intensité des précipitations ainsi que par la température du sol.

SUMMARY

Time of nitrogen fertilization of corn - at planting or later?

Experiments with increasing nitrogen application at planting time (early fertilization) or at the 6- to 8-leaf stage (late fertilization) were performed at 8 locations during 5 years (1985-89). The results of 34 trials lead to the following conclusions. The soil-born supply (N_{min}) can change between planting time and the 6- to 8-leaf stage in very different ways, influenced mainly by N-mineralisation and N-leaching. Late applications have a significantly greater and more constant effect on yield than the early ones. Differences between early and late N-application can be partly explained by the amount and the distribution of rain and the soil temperature.

KEY WORDS: Corn, nitrogen, fertilisation, date, mineral nitrogen (N_{min}), nitrogen efficiency, leaching, mineralisation (N_{mob}), rainfall, soil temperature

RIASSUNTO

Concimazione azotata del maïs - alla semina o più tardi?

Durante 5 anni sono state condotte, in 8 località, prove di concimazione azotata nel maïs. I differenti apporti di N vennero somministrati alla semina (apporto di N precoce), rispettivamente allo stadio 6-8 foglie (apporto di N tardivo). Dall'elaborazione dei dati delle 34 prove considerate sacaturiscono le seguenti considerazioni. Tra la semina e lo stadio 6-8 foglie, la disponibilità d'azoto nel suolo (N_{min}) può variare fortemente; soprattutto quale conseguenza della mineralizzazione e del dilavamento dell'N. Con concimazioni azotate tardive l'effetto del N sulla resa risulta sensibilmente maggiore e più sicuro. Differenze tra apporti precoci e tardivi di N si possono parzialmente spiegare con l'entità delle precipitazioni, ma anche con la loro ripartizione e con la temperatura del suolo. Il contenuto in N_{min} del suolo alla raccolta e l'apporto di N per unità di produzione, sono fattori che non si prestano per un giudizio agronomico o ecologico retroattivo in relazione alla pratica della concimazione azotata nei singoli casi.