

Einfluß von Reihenweite und Untersaat auf den Silomais-ertrag und den N_{\min} -Gehalt im Boden nach der Ernte

W. Aufhammer und E. Kübler

Effects of row distance and undersowing on the yield of silage maize and the N_{\min} -residues after harvest

1. Einleitung

1.1 Literaturübersicht, um eine Nitratauswaschung zu verhindern

Der Reihenabstand bei Mais ist primär auf die Erntetechnik ausgerichtet. Obwohl neuerdings reihenunabhängige Erntegeräte verfügbar sind, überwiegt ein Reihenabstand von 75 cm. Damit stehen weiten Pflanzenabständen zwischen den Reihen sehr geringe Abstände in der Reihe gegenüber. Die zwischenpflanzlichen Konkurrenzeffekte nehmen bei höheren Pflanzenzahlen/m² mit fortschreitender Entwicklung rasch zu. Zwischen den Reihen erfolgt die Bodendurchwurzelung spät, gegebenenfalls bleibt die Durchwurzelung sogar bis zur Reife unvollständig (MAIDL, 1990; DOSCH und GUTSER, 1994; HUGGER, 1995; AUFHAMMER et al., 1996; AUFHAMMER und KÜBLER, 1996). Folglich stellt Nitratstickstoff aus der Mineralisierung organischer Substanz und/oder einer Flächendüngung ein Verlustpotential dar. Engere Reihenweiten könnten dieser

Problematik, verbunden mit Ertragsvorteilen, entgegenwirken (ESTLER, 1987; BÖSE, 1996).

Bei dem üblichen Reihenabstand von 75 cm werden in Baden-Württemberg in Wasserschutzgebieten Untersaaten vorgeschrieben, um eine Nitratauswaschung zu verhindern. Grasarten werden, teils ganzflächig bei einer Wuchshöhe des Maises zwischen 30 und 100 cm, teils nur im Zwischenreihenbereich bis zu einer Maiswuchshöhe von 30 cm, eingesät (BÄR, 1987; HUGGER, 1992; GRÖBLINGHOFF et al., 1994). Höherer Arbeitsaufwand, zusätzliche Saatgutkosten, Einschränkungen beim Herbizideinsatz und die Konkurrenz um Wasser und evtl. Stickstoff zwischen den Untersaaten und dem Mais sind Problembereiche, die die Effizienz des Maisanbaus in Frage stellen können.

1.2 Problemstellung

In Regionen mit erheblichem Gülleanfall, hohem Niederschlagsaufkommen und großer Wasserschutzgebietsdichte

Summary

In a three years field experiment the effects of row distances (75 cm, 55/20 cm = double rows) and undersown grass mixtures on the dry matter yield and the N-uptake of silage maize (cv. Aviso) and the N_{\min} -residues in a post-harvest period were investigated. The experiments were conducted, using farmer's technical equipment and fields in large plots, with four replications. In interaction with years an early undersowing of grasses reduced dry matter yields and the N-uptake of maize. No further yield effects were significant. In interaction with sowing equipments and years planting densities varied, increasing plant numbers per m² were accompanied by decreasing weights per plant without effects on the dry matter yields per ha and N-uptake. On a medium high N-fertilization level early undersown and well developed grasses limited in 1993 and 1994 the dry matter production and the N-uptake of maize stands. Double rowed maize stands and early undersown grasses reduced under high N-mobilization rates in 1992 the N_{\min} -levels at the harvesting date of maize significantly, but no treatment was able to fulfill a set soil-N-limit of 45 kg N/ha. In 1993 mineralization rates were low and under all stands N_{\min} -levels remained below the set limited.

Key words: Row distances, undersowing, silage maize yield, N_{\min} -residues.

Zusammenfassung

In dreijährigen Feldversuchen wurde der Einfluß der Reihenweiten (75 cm, 55/20 cm = Doppelreihen) und einer Grasuntersaat auf den Trockenmasseertrag und die N-Aufnahme von Silomais (Sorte Aviso) sowie auf die N_{\min} -Werte im Boden in der Nachernteperiode untersucht. Die Versuche wurden mit praxisüblichen Geräten in Großparzellen mit 4 Wiederholungen auf einem landwirtschaftlichen Betrieb durchgeführt. Soweit, abhängig von den eingesetzten Sägeräten und den Versuchsjahren die Bestandesdichten variierten, führten höhere Pflanzendichten zu gegenläufigen Einzelpflanzengewichten, jedoch ohne nachweisbare Effekte auf den Trockenmasseertrag/ha und die N-Aufnahme. Die früh gesäte, kräftig entwickelte Grasuntersaat begrenzte dagegen bei knapp bemessener N-Düngung 1993 und 1994 die Trockenmassebildung und die N-Aufnahme von Mais. Die Doppelreihensaat und die früh gesäten Untersaaten verminderten bei hoher N-Nachlieferung im Versuchsjahr 1992 die Nitratgehalte im Boden zum Maiserntetermin deutlich, jedoch konnte mit keiner Variante der N_{\min} -Grenzwert von 45 kg N/ha unterschritten werden. Im Versuchsjahr 1993, einem Jahr mit geringer bodenbürtiger N-Nachlieferung unterschritten alle Varianten die gesetzte Grenze.

Schlagworte: Reihenweiten, Untersaat, Silomaisertrag, N_{\min} -Rückstände.

bestimmt, neben dem Trockenmasseertrag, die Einhaltung vorgegebener Nitratgrenzwerte die Anbauwürdigkeit von Mais. In Baden-Württemberg beträgt der Grenzwert während des Probenahmezeitraums vom 1. November bis 15. Dezember 45 kg $\text{NO}_3\text{-N/ha}$. Unter solchen Bedingungen sollten daher folgende Fragen geprüft werden:

- In welchem Ausmaß beeinflussen reduzierte Reihenabstände und zwischenreihig eingesäte Gräsermischungen die Trockenmassebildung und die N-Aufnahme von Silomaisbeständen?
- Können durch eine gleichmäßigere Pflanzenverteilung oder durch eine Graseinsaat die N_{\min} -Werte im Boden zur Maisernte herabgesetzt und auch im anschließenden Kontrollzeitraum stabilisiert werden?

2. Material und Methoden

In den Vegetationsperioden 1992 bis 1994 wurden in Kooperation mit dem Amt für Landwirtschaft, Landschafts- und Bodenkultur Saulgau und dem Regierungspräsidium Tübingen, Feldversuche auf den Flächen eines landwirtschaftlichen Betriebs durchgeführt. Angebaut wurde die Maissorte Aviso mit der FAO-Zahl 210. Die Saat und die reihenunabhängige Ernte erfolgten durch Lohnunternehmen mit 3 m breiten Geräten.

Die Versuchsflächen wurden jeweils im Herbst vor der Versuchsanlage gepflügt, die Saatbettbereitung erfolgte mit der Kreiselegge. Die N-Düngung wurde entsprechend den Vorgaben des Nitratinformationsdienstes (NID)

Baden-Württemberg kalkuliert (Tab. 1). Die Basis waren wiederholungsgetrennte N_{\min} -Probenahmen vor der Saat und der erwartete N-Bedarf der Bestände. Aus der ortsüblichen Ertragserwartung von 150–170 dt Trockenmasse/ha und einem für Silomais angesetzten mittleren N-Gehalt in der Trockenmasse von 1,4 % abzüglich der erwarteten Nitrat-Nachlieferung des Bodens und der vor der Saat gemessenen Nitratwerte ergab sich der Bedarf an Düngerstickstoff. Die N-Nachlieferungen vom Boden wurden 1992 mit 45 kg, 1993 mit 30 kg und 1994 mit 50 kg/ha angenommen. Die resultierenden N-Düngermengen enthält die Tabelle 1. In den Jahren 1992 und 1993 wurde die gesamte N-Menge in einer Gabe zur Saat ausgebracht. Im Jahr 1994 erfolgte eine Aufteilung der Gesamt-N-Menge von 140 kg/ha in eine Teilgabe von 50 kg N/ha zur Saat und in eine Zusatzgabe von 90 kg N/ha, die aus technischen Gründen bereits im 1-Blatt-Stadium durchgeführt werden mußte.

Neben der Variante 1 (V1) mit einem Reihenabstand von 75 cm wurde mit der Variante 2 eine Doppelreihenvariante angelegt. Der Abstand zwischen den Reihen betrug 20 cm, der zur nächsten Doppelreihe 55 cm und bei einer angestrebten Bestandesdichte von 11 Pflanzen/ m^2 betrug der Abstand zwischen den Pflanzen in der Reihe ≈ 24 cm. Bei 75 cm Reihenabstand (V1) betrug der Abstand von Pflanze zu Pflanze in der Reihe ≈ 12 cm. Zusätzlich wurden die beiden Untersaatvarianten V3 und V4 mit dem gleichen Maisreihenabstand wie in V1 zur Kombination mit Untersaaten etabliert. Die Untersaat erfolgte zu unterschiedlichen Zeitpunkten (Tab. 2).

Tabelle 1: Versuchsbedingungen – Standort Moosheim bei Saulgau (590 m NN)

Table 1: Experimental conditions – site Moosheim near Saulgau (590 m a.s.)

Vegetationsperioden	1992	1993	1994
Boden	Erodierte Parabraunerde/ Pararendzina-Parabraunerde	tiefgründige Pseudogley-Parabraunerde	tiefgründige Parabraunerde pseudovergleyte Parabraunerde
Vorfrucht	Silomais	Winterweizen	Wintergerste
Saattermin	06.05.	29.04.	30.04./02.05.
N_{\min} -Gehalte/Boden vor der Saat (kg N/ha) (Spannweiten zwischen den Wiederholungen)	91–130	104–128	33–49
Mittlere Tagestemperatur 1. Mai – 30. September, ° C	16,8	15,2	16,2
Niederschlagssumme 1. Mai – 30. September (mm)	417	530	562
Erntetermin	24.09.	04.10.	05.10.
eingesetzte Herbizide und Aufwandmengen	Varianten 1 und 2 Gardoprim 1,5 l/ha + Lentagran 2,0 kg/ha Flächenbehandlung Varianten 3 und 4 Stomp 4 l/ha Bandbehandlung	Varianten 1 und 2 Buctril 0,8 l/ha + Harmony 10 g/ha Flächenbehandlung und Varianten 3 und 4 als Bandbehandlung Bandbehandlung	Varianten 1 und 2 Duogranol 3 kg/ha Flächenbehandlung Varianten 3 und 4 Stomp 5 l/ha
nach NID ¹⁾ berechnete N-Düngung (kg N/ha) zur Saat wurde jeweils NPK-Dünger ausgebracht, Zusatzgabe 1994 als Kalkammonsal- peter	85 kg N/ha (alle Wiederholungen einheitlich zur Saat) als NPK-Dünger 13/13/21	Wiederholungen A, D: 75 kg N/ha zur Saat Wiederholungen B, C: 55 kg N/ha zur Saat als NPK-Dünger 15/15/15 lich als Kalkammonsalpeter)	140 kg N/ha, davon 50 kg N/ha zur Saat als NPK-Dünger 13/13/21 90 kg N/ha 1-Blattstadium (alle Wiederholungen einheit- lich als Kalkammonsalpeter)

¹⁾ Nitratinformationsdienst Baden-Württemberg

Tabelle 2: Bestandesvarianten der Feldversuche in den Vegetationsperioden 1992, 1993 und 1994 (Sorte Aviso, FAO-Zahl 210)

Table 2: Row distances and undersown grasses in the field experiments of the years 1992, 1993 and 1994 (cv. Aviso, FAO-number 210)

Varianten/Bestände	Reihenabstand, Saatverfahren, Unkrautbekämpfungsverfahren, Untersaaten
V1 Reihensaat	Reihenabstand 75 cm, Saat mit Einzelkornsäegerät, ganzflächiger Herbizideinsatz (siehe Tab. 1), keine Untersaat
V2 Doppelreihensaat	Abstand zwischen den Doppelreihen 55 cm, Abstand zwischen den Reihen einer Doppelreihe 20 cm. Saat mit Einzelkornsäegerät, ganzflächiger Herbizideinsatz, keine Untersaat
V3 Reihensaat mit später Untersaat	Reihenabstand 75 cm, Saat mit Einzelkornsäegerät, Herbizidapplikation im Band nach der Maissaat, Begrünung mit Sedamix ¹⁾ bei ~50 cm Maiswuchshöhe, Einsaat 1992 von Hand, 1993 und 1994 mit Begrünungssäegerät, Saatmenge 25 kg/ha
V4 Reihensaat mit früher Untersaat	Reihenabstand 75 cm, Saat mit Einzelkornsäegerät, Herbizidapplikation im Band nach der Maissaat. Begrünung mit Horst-Rotschwinge ²⁾ (1992), bzw. Schattenrasenmischung ³⁾ (1993 und 1994) unmittelbar nach der Maissaat im Zwischenreihenbereich, Einsaat mit der Drillmaschine (1992) bzw. mit Begrünungssäegerät (1993 und 1994), Saatmenge 30 kg/ha

¹⁾ Sedamix (Firma Force Limagrain) = 70 % Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*), 30 % Welsches Weidelgras (*Lolium multiflorum*)

²⁾ 100 % Horst-Rotschwinge (*Festuca rubra commutata*)

³⁾ Schattenrasenmischung (Optimax): 10 % Rotes Straußgras (*Agrostis capillaris*), 15 % Schafschwingel (*Festuca ovina*), 15 % Horst-Rotschwinge (*Festuca rubra commutata*), 20 % Ausläufertreibender Rotschwinge (*Festuca rubra rubra*), 25 % Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*), 15 % Hainrispe (*Poa nemoralis*).

Unmittelbar vor der Ernte des Silomaises mit dem reihenunabhängigen Häcksler erfolgte im Kernbereich der insgesamt 6 m breiten und 20 m langen Parzellen an zwei Stellen ein Probeschnitt von je 1,5 m². Die Maispflanzen wurden in Kolben- und Restpflanzenmasse zerlegt und die Trockengewichte und die N-Gehalte in der Trockenmasse bestimmt. Ein Kernbereich der Parzelle von 57 m² wurde zur Ermittlung des Flächenertrages herangezogen.

Unmittelbar nach der Silomaisernte sowie sechs bis sieben Wochen später unter dem dann bereits gesäten Winterweizen wurden Bodenproben zur N_{min}-Bestimmung gezogen. Beim ersten Probenahmetermin wurden je Parzelle jeweils 4 Einstiche (0–90 cm) in und zwischen den Maisreihen entnommen. Unter dem Winterweizen wurden in jeder ursprünglichen Maisparzelle nach erneuter Einmessung des Versuches zufällig verteilt 6 Einstiche entnommen. Die Proben der 6 Einstiche wurden ebenso wie die unmittelbar nach der Ernte gezogenen Proben in 30 cm Schichten unterteilt, zu einer Mischprobe vereinigt, eingefroren und dann in einer landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt untersucht.

Die erhobenen Daten wurden in Varianzanalysen überprüft. Unter der Voraussetzung signifikanter Varianzen im F-Test wurden Grenzdifferenzen bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % errechnet und in den Darstellungen angegeben.

3. Ergebnisse

3.1 Erstellung der Mais- und der Untersaatbestände

In den Vegetationsperioden 1992 und 1993 wurden, mit Ausnahme der Variante 2, Bestände mit der Soll-Dichte von 11 Pflanzen je m² erreicht. Die Bestände der Variante 2 wiesen 12 Pflanzen je m² auf (Abb. 1). Dagegen lag die Pflanzenzahl 1994 nachweislich bis zu 2 Pflanzen/m² unter der Soll-Dichte. Ein starker Regen am 4./5. 7. 1994 mit 70 mm 8 Tage vor der Auszählung führte dazu, daß im Mittel mehr als 5 % aller Maispflanzen umgeknickt und weitgehend welk waren. Sie wurden bei der Zählung nicht miterfaßt. Zusätzlich trugen Herbizideffekte in Verbindung mit der kühl-feuchten Witterung zur Schädigung der Maispflanzen und damit zur Verminderung der Pflanzenzahl in allen Varianten bei (Abb. 1).

In der Vegetationsperiode 1992 trat nach der Maissaat eine Trockenperiode auf, die den Aufgang der Untersaaten verzögerte und auch die weitere Entwicklung einschränkte.

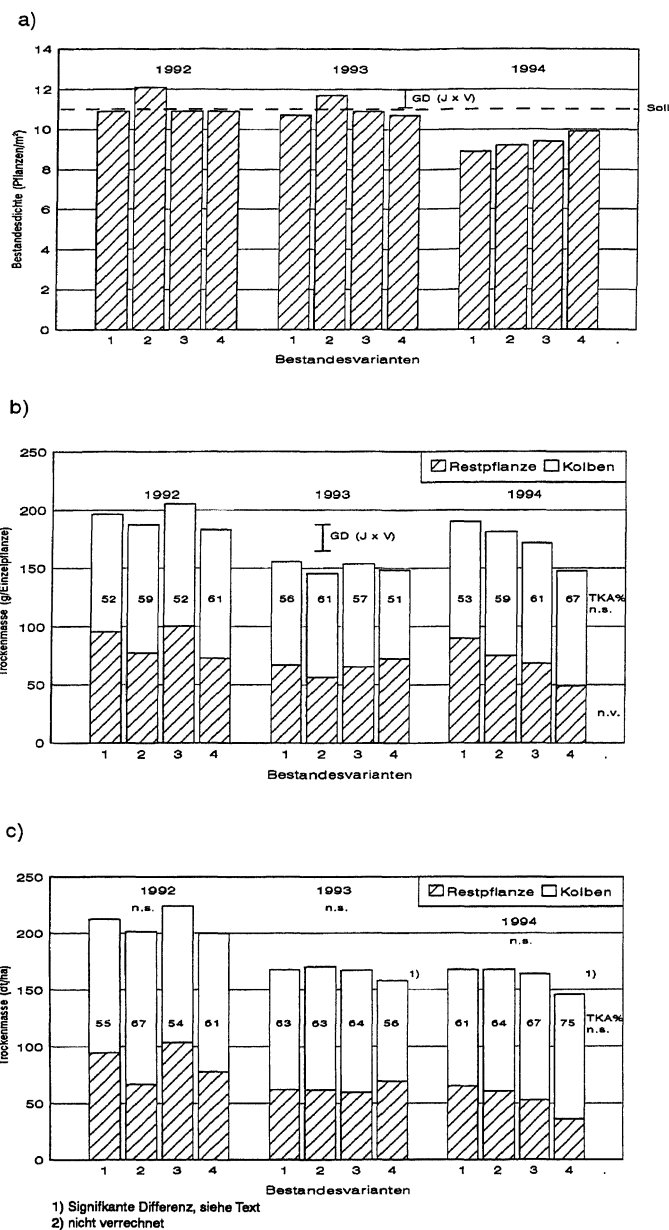


Abbildung 1: Einfluß der Bestandesvarianten auf die Bestandesdichte und die Trockenmasse je Pflanze bzw. je ha
 a) Bestandesdichte (Pflanzenzahl/m²) in den Jahren 1992–1994
 b) Trockenmasse je Pflanze (g/Pflanze) und Trockenkolbenanteil (TKA %, Gesamttrockenmasse = 100) in den Jahren 1992–1994
 c) Trockenmasse je ha (dt/ha) und Trockenkolbenanteil (TKA %, Gesamttrockenmasse = 100) in den Jahren 1992–1994
 Figure 1: Effects of row distances and undersown grasses on density and dry matter yield per plant and per ha
 a) Density (plants/m²) in the years 1992–1994
 b) Dry matter per plant (g/plant) and proportion of dry heads (% total dry matter yield = 100) in the years 1992–1994
 c) Dry matter per ha (dt/ha) and proportion of dry heads (% total dry matter yield = 100) in the years 1992–1994

re. Aufgrund günstiger Niederschlagsverteilung bildeten die Untersaaten 1993 und 1994, insbesondere nach früherer Einsaat (V4) rasch bodendeckende, geschlossene Bestände.

3.2 Trockenmasseerträge

In der wärmeren Vegetationsperiode 1992 (Tab. 1) produzierten die Maisbestände mit 200–230 dt/ha deutlich höhere Trockenmassen als in den folgenden, kühleren Jahren mit einem Ertragsniveau zwischen 150 und 170 dt/ha (Abb. 1). Die Effekte der Variation des Bestandaufbaus (V1–V4) gingen in der dargestellten Interaktion Jahre x Varianten über Tendenzen geringen Ausmaßes nicht hinaus. Werden die Jahre 1993 und 1994 zusammengefaßt varianzanalytisch überprüft, läßt sich die Ertragsdepression durch die frühe Untersaat in der Variante 4 nachweisen. Die Ergebnisse des Jahres 1992 stehen dazu nicht im Widerspruch. Unter den vorliegenden Aufwuchsbedingungen beeinflussten weder die Doppelreihensaat noch eine späte Untersaat (V3) die insgesamt je ha erntbare Mais-Trockenmasse entscheidend. Die Ertragseffekte der unbeabsichtigterweise (siehe unter 3.1) variierenden Bestandesdichten wurden über gegenläufig veränderte Einzelpflanzengewichte kompensiert (Abb. 1). Innerhalb der Jahre stieg, gegenüber der Variante 1, mit abnehmender Einzelpflanzentrockenmasse der Trockenkolbenanteil um 5 bis 14 %. Dies bedeutet, daß mit einer Bestandesdichte von 11 Pflanzen/m² in den Jahren 1992 und 1993 und mit einer Bestandesdichte von 9 Pflanzen/m² 1994 zwar das Standorts- und Sortenpotential zur Trockenmasseproduktion, nicht aber das Potential zur Produktion von Kolbentrockenmasse sicher ausgeschöpft wurde.

3.3 N-Aufnahme

Die Abstufungen der N-Mengen, die die Maisbestände mit der Sproßmasse bis zur Siloreife entzogen, entsprachen im wesentlichen den produzierten Trockenmassen. Im Jahr 1992 wurden im Mittel 260 kg N/ha in die Sproßmasse aufgenommen. In den Jahren 1993 und 1994 betrug die Entzüge der Varianten 1, 2 und 3 um 190 kg N/ha, der Entzug der Variante 4 blieb im Mittel beider Jahre nachweislich um 40 kg N/ha geringer (Abb. 2). Diese Entzugswerte basieren nur auf dem N-Gehalt der Maistrockenmasse, der Entzug durch die Untersaatbestände wurde nicht erfaßt.

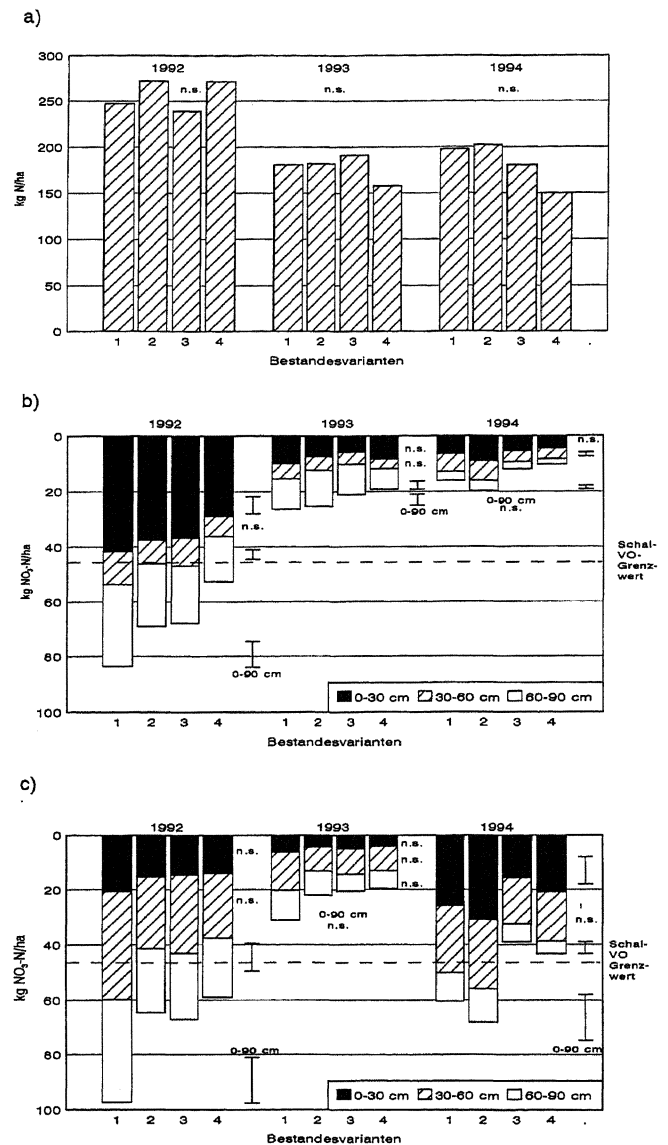


Abbildung 2: Einfluß der Bestandesvarianten auf den N-Entzug der Maisbestände bei Siloreife und die N_{min} -Werte/Boden in 0–30, 30–60, 60–90 und 0–90 cm Tiefe nach der Silomaisernernte und vor Winter

- N-Aufnahme der Maisbestände bei Siloreife in den Jahren 1992–1994
- N_{min} -Werte nach der Silomaisernernte in den Jahren 1992–1994
- N_{min} -Werte vor Winter (nach Pflugfurche und Winterweizenbestellung) in den Jahren 1992–1994

Figure 2: Effects of row distances and undersown grasses on N-uptake of maize and N_{min} -residues in the soil (depths: 0–30, 30–60, 60–90 and 0–90 cm) in the period after harvest

- N-uptake of maize at harvest in the years 1992–1994
- N_{min} -residues immediately after harvest in the years 1992–1994
- N_{min} -residues before winter (after ploughing and sowing of winter wheat) in the years 1992–1994

3.4 N_{\min} -Gehalt/Boden

Nach der Silomaisernte 1992 lag die N_{\min} -Menge in der Bodenschicht 0–90 cm zwischen 50 und 80 kg N/ha. Damit wurde der Grenzwert von 45 kg N/ha von allen Varianten z. T. erheblich überschritten. Bis zum Spätherbst veränderte sich die N-Menge in 0–90 cm Tiefe nicht entscheidend, jedoch wurde ein Teil des Nitratstickstoffs durch hohe Niederschläge, im Oktober und November rd. 190 mm, aus der oberen Schicht (0–30 cm) abwärts verlagert (Abb. 2). In den Folgejahren blieb sowohl die Höhe der Nitratmengen als auch der Schwankungsbereich zwischen den Bestandesvarianten nach der Silomaisernte mit Werten von 20–25 kg N/ha im Jahr 1993 und von 10–20 kg N/ha im Jahr 1994 erheblich geringer als im Jahr 1992. Bis zum Spätherbst 1994 stieg die N_{\min} -Menge allerdings auf 40 bis 70 kg N/ha mit etwa gleichen Anteilen in der 0–30 cm- und der 30–60 cm-Bodenschicht an. Zu diesem späten Termin wurde der Grenzwert von 45 kg N/ha nur von den Varianten 3 und 4 unterschritten. Verglichen mit der Variante 1 reduzierten die Varianten 3 und 4 mit Untersaaten den N_{\min} -Gehalt in allen drei Versuchsjahren in unterschiedlichem Ausmaß. Eine gegenüber späterer Einsaat stärkere N_{\min} -Gehaltssenkung in Beständen, in denen unmittelbar nach der Maissaat in den Zwischenreihenbereich eingesät wurde (V4), zeichnete sich zwar nach der Silomaisernte ab, unter dem anschließend gesäten Winterweizen zeigte sich jedoch eine weitgehende Nivellierung der Differenzen (Abb. 2).

Im gleichen Ausmaß wie eine Graseinsaat reduzierte im Versuch 1992 die Doppelreihensaat (V2) den NO_3 -Gehalt in 0–90 cm Bodentiefe. Die Differenz zur weitreihigen Saat (V1) konnte sowohl bei der Silomaisernte als auch später nach der Winterweizenaussaat nachgewiesen werden (Abb. 2). Eine gleichgerichtete Tendenz deutete sich beim späten Untersuchungstermin auch im Jahr 1993 an. Im Jahr 1994 konnte bei allerdings fragwürdigen Pflanzenzahlen/m² (s. unter 3.1) kein gleichgerichteter Effekt dieser Variante festgestellt werden. Im N-Entzug der Sproßmasse zeichneten sich keine entsprechenden Differenzen ab.

4. Diskussion

Über die Versuche und Varianten hinweg gelang es nicht, Bestände mit konstanten Dichten von 11 Pflanzen/m² zu etablieren. Dies hing teils mit den für 75 cm Reihenabstand und die Doppelreihe verwendeten unterschiedlichen Sä-

geräten, teils mit extremen Witterungsbedingungen in Kombination mit dem Herbizideinsatz (1994) zusammen. Da die Dichte sowohl auf die Trockenmasseproduktion als auch auf die N-Aufnahme von Maisbeständen entscheidenden Einfluß nehmen kann, sind variierende Pflanzenzahlen zunächst eine kritische Basis (BÖSE, 1996). Wie die Ergebnisse zeigen, kompensierten jedoch die Einzelpflanzengewichte die vorliegenden geringen Bestandesdichteabweichungen weitgehend. Ob der geringere N_{\min} -Rückstand im Boden, der 1992 auftrat, alleine auf die veränderte Standraumverteilung zurückzuführen war, erscheint trotzdem fragwürdig, denn die Doppelreihenbestände wiesen nicht 11, sondern 12 Pflanzen/m² auf. Die Bodendurchwurzelung und die N-Aufnahme kann von der Pflanzenzahl erheblich beeinflusst werden. Die in der Doppelreihen-Variante (V2) über die gesamte Probenahmetiefe gleichen N_{\min} -Werte in der Maisreihe und im Zwischenreihenbereich deuten jedoch auf eine intensivere Durchwurzelung verbunden mit einer umfangreicheren Nitrataufnahme im Zwischenreihenbereich und damit auf Effekte einer günstigeren Standraumverteilung hin. Dies deckt sich mit Befunden von PEYKER (1996), der auf der Basis von 10 Pflanzen/m² bei 30 cm Reihenabstand niedrigere N_{\min} -Werte als bei 75 cm Reihenabstand fand, während die Anhebung der Bestandesdichte auf 14 Pflanzen/m² bei 30 cm Reihenweite keine weitere N_{\min} -Absenkung zur Folge hatte.

Die Jahreseffekte auf die Trockenmasseproduktion und den N-Entzug übertrafen die Effekte der Bestandesvarianten. Verglichen mit dem weitreihigen Bestand nahm weder die Doppelreihensaat noch die späte Graseinsaat gravierenden Einfluß auf die Trockenmasseproduktion. Letzteres deckt sich mit Befunden von STEMANN et al. (1993). Die bei gleichmäßigerer Standraumverteilung besseren Nutzungsmöglichkeiten von Licht, Wasser und Nährstoffen (ESTLER, 1987), veränderten das Ertragsniveau ebensowenig wie die "Konkurrenz" einer späten Graseinsaat (BÄR, 1987; STEMANN et al., 1993). Beide Maßnahmen berührten offensichtlich die ertragsbegrenzenden Wachstumsfaktoren nicht entscheidend. Nur die nahezu gleichzeitige Aussaat von Mais mit einer Gräsermischung führte wie bei STEMANN et al. (1993) zu Ertragsdepressionen. Diese sind eine Folge des relativ raschen Wachstums der C₃-Grasarten bei niedrigen Anfangstemperaturen in den Jahren 1993 und 1994. Darüber hinaus führte vermutlich die Überschätzung der N-Nachlieferung aus dem Boden in den Jahren 1993 und 1994 zu einem zu geringen mineralischen Dünger-N-Angebot. In der Folge verschärfte sich in der Varian-

te 4 die Konkurrenz zwischen dem Mais und der Grasuntersaat um aufnehmbaren Stickstoff. Gegenüber der Variante 1 blieb der Stickstoffentzug von Mais in der Variante 4 um 40 kg N/ha geringer, zudem wurden um 5–10 kg N/ha geringere N_{\min} -Werte gemessen. Die resultierenden 40–50 kg N/ha wurden vermutlich von den Gräsern entzogen. Ähnliche Größenordnungen der N-Aufnahme durch Untersaaten wurden von MOURAUX et al. (1992) berichtet.

Mit Einschränkungen sind doppelreihige Bestände und Bestände mit Grasuntersaaten in der Lage – verglichen mit einem weitreihigen Bestand – dem Boden in stärkerem Maße Stickstoff zu entziehen und weniger Nitratstickstoff im Boden zu hinterlassen (BÄR, 1987; MOURAUX et al., 1992). Allerdings ging in den vorliegenden Versuchen der Reduktionsumfang über 30 % nicht hinaus. Übertraf die Nitratnachlieferung aus dem Boden das erwartete und in den Düngeraufwand einkalkulierte Ausmaß erheblich, blieben die Reduktionseffekte zu gering, um einen Grenzwert von 45 kg N/ha sichern zu können.

Tabelle 3: Nitrat-N-Nachlieferung (kg N/ha) des Bodens bis zur Siloreife in den Versuchen 1992–1994 (Mittelwerte über die Bestandesvarianten, errechnet nach HUGGER, 1992)

Table 3: Nitrate-N-mobilization (kg N/ha) of the soil until harvest for silage in experiments 1992–1994 (means across treatments, calculated according to HUGGER, 1992)

1992	1993	1994
128,3	16,7	17,1

Im Versuch 1992 wurden rund 130 kg N/ha nachgeliefert, mit 40 kg N/ha wurde ein viel zu geringer Betrag in die Düngerkalkulation einbezogen und daher eine zu hohe mineralische Düngergabe verabreicht. Die Ursachen für die überdimensionierte Nachlieferung lagen in der längerfristigen Schlagvorgeschichte, einem \approx 25 Jahre zurückliegenden Grünland-Umbruch sowie der wiederholten Begüllung vorausgehender Maisbestände in Interaktion mit dem sehr günstigen, aktuellen Witterungsverlauf. Gleichermaßen förderten günstige Witterungsbedingungen nach der Ernte in Verbindung mit intensiver Bodenbearbeitung die Mineralisationsprozesse in erheblichem Umfang. In der Folge überschritten bei der Silomaisernte zunächst minimale N_{\min} -Gehalte den Grenzwert deutlich. Dies zeigten die Ergebnisse des Versuches 1994. Voraussetzung war auch hier ein mineralisierbares Stickstoffpotential. Andererseits zeigen die Ergebnisse des Versuches 1993, daß die Gefahr

zu hoher N_{\min} -Rückstände vermeidbar ist. Eine Reduktion der Nitratgehalte nach der Bodenbearbeitung zu Winterweizen durch eine Stickstoffeinwaschung mit einem Niederschlag von 120 mm zwischen den beiden Probenahmeterminen, ist jedoch nicht auszuschließen.

Über eine gleichmäßige Pflanzenverteilung verbunden mit Untersaaten ist die N-Aufnahme der Gesamtbestände steigerbar, damit können die zurückbleibenden N_{\min} -Mengen in Grenzen reduziert werden. Die Effekte bleiben aber relativ gering, wenn ein hohes Mineralisationspotential, zumeist durch längerfristige organische Düngungsmaßnahmen oder Bodenruhe hervorgerufen, vorliegt. Jedenfalls verbieten sich unter solchen Voraussetzungen intensive Bodenbearbeitungsmaßnahmen nach der Maisernte.

Literatur

- AUFHAMMER, W. und E. KÜBLER (1996): Umweltfreundlicher Maisanbau. II Einfluß von Reihenweite und Untersaaten auf den TM-Ertrag, die N-Aufnahme und die N_{\min} -Werte bei Silomais. Schwäbischer Bauer, 14/1996, 16–18, Landw. Wochenbl. BW 22, 22–23.
- AUFHAMMER, W., E. KÜBLER und H.-P. KAUL (1996): Untersuchungen zur Anpassung des N-Angebots aus unterschiedlichen N-Quellen an den Verlauf der Trockenmasseproduktion und der N-Aufnahme von Maisbeständen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 159, 5, 471–478.
- BÄR, A. (1987): Retten Untersaaten den Maisanbau? Mais 15, 38–41.
- BÖSE, S. (1996): Chancengleichheit auf dem Maisfeld. Standraumeinflüsse auf Ertrag und Qualität. dlz 3, 32–34.
- DOSCH, P. und R. GUTSER (1994): Auch bei der Düngung sparen? Mais 22, 58–61.
- ESTLER, M. (1987): Die Doppelreihen – Saat bei Mais. Mais 15, 21–26.
- GRÖBLINGHOFF, F. F., G. STEMANN und N. LÜTKE ENTRUP (1994): N-Düngung: Neues System, höhere Effizienz? Mais 22, 30–33.
- HUGGER, H. (1992): Stickstoffdüngung zu Mais unter Berücksichtigung der Bodennachlieferung. Mais 20, 14–16.
- HUGGER, H. (1995): Ohne Risiko bei der Düngung sparen? Mais 23, 24–25.
- MAIDL, F. X. (1990): Stickstoffverwertung bei Mais. Mais 18, 22–24.
- MOURAUX, D., O. CAPELLEN, G. FOUCART, G. TRAPPENIERS, P. SCOKART und J. F. LEDENT (1992): Vers une

meilleure gestion de l'azote en culture de maïs: sous-semis, semis souscouvert et localisation de l'azote. *Revue de l'Agriculture*, 45(2), 389–404.

PEYKER, W. (1996): Enge Reihen, mehr Ertrag. *DLG-Mitteilungen* 4/1996, 80–81.

STEMANN, G., N. LÜTKE ENTRUP und F. F. GRÖBLINGHOFF (1993): Maisanbau mit Gras-Untersaat – ein Baustein zu mehr Umweltschutz. *Gesunde Pflanzen* 45, 5, 17–177.

Anschrift der Verfasser

Prof. Dr. Walter Aufhammer, Dr. Ernst Kübler, Universität Hohenheim, Institut für Pflanzenbau und Grünland (340), D-70593 Stuttgart.

Eingelangt am 6. April 1997

Angenommen am 11. Juli 1997