

## Effekt des Erntetermins von Silomais auf Maisertrag, N-Aufnahme von Zwischenfrüchten und assoziierte Umwelteffekte – ein Trade-off?

Komainda, M., Taube, F., Kluß, C. & Herrmann, A.

Institut für Pflanzenbau und –züchtung Abt. Grünland und Futterbau/Ökol. Landbau,  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, mkomainda@gfo.uni-kiel.de

### Einleitung und Problemstellung

Tierhaltung sowie die Erzeugung von Energie aus Biogas basieren in der Produktion in hohem Maße auf Silomais. In Schleswig-Holstein ist die Silomaisproduktion (26,3% der Ackerfläche), schwerpunktmäßig im Naturraum der holsteinischen Geest, auf Sanderflächen lokalisiert. Die Konzentration auf diesen sorptionsschwachen Böden in Verbindung mit intensiver Tierhaltung und dem damit assoziierten Nährstoffanfall, verursacht hohe Stickstoff(N)-Austräge ins Grundwasser (BMELV, 2012), wobei vor allem die nach der Ernte im Boden verbleibenden Rest N-Mengen das Potential bergen, präferiert ausgetragen zu werden (TEN BERGE *et al.*, 2007). Da die Maisernte in der Regel frühestens Ende September beginnt, stellt die Selbstfolge von Silomais, mit entsprechend langen Perioden unbewachsenen Bodens über Winter, häufige Praxis dar. Zwischenfrüchte (ZF) bieten das Potential, Rest-N-Mengen aufzunehmen und dadurch den N-Austrag zu reduzieren (CONSTANTIN *et al.*, 2010; KASPAR *et al.*, 2007). Da jedoch sowohl Temperatur als auch abnehmende Einstrahlungsintensität im Herbst die N-Aufnahme begrenzen (SCHRÖDER *et al.*, 1996; VOS und VAN DER PUTTEN, 1997), bietet der Aussattermin einen zentralen Managementfaktor (VAN DAM, 2006). Eine frühe Aussaat begünstigt zwar die Vorwinter N-Aufnahme, jedoch besteht das Risiko, durch angeregte Mineralisationsraten, N-Verluste, auch von Lachgas (N<sub>2</sub>O), zu befördern (BOUWMAN, 1996). Als kältetolerante Kulturen mit der Fähigkeit rapide ein effizientes Wurzelsystem zu entwickeln (THORUP-KRISTENSEN, 2001) und auch unter geringen Temperaturen Biomasse zu bilden, weisen Roggen und Welsches Weidelgras das größte Potential, gerade nach früher Aussaat, auf (COUGNON *et al.*, 2015). In der hier präsentierten Arbeit sollen daher die kombinierten Effekte des Aussattermins und der ZF-Art sowohl auf Maiserträge als auch auf die N-Aufnahme der ZF unter Einbezug assoziierter Umwelteffekte hinsichtlich eines möglichen Trade-offs untersucht werden.

### Material und Methoden

Die vorliegende Studie basiert auf einem zweijährigen Feldexperiment (April 2012-April 2014), welches in drei Umwelten in Schleswig-Holstein durchgeführt wurde - zur Überprüfung des Anbausystems von Silomais mit anschließender Winterzwischenfrucht (ZF). Hierzu wurde ein randomisiertes Blockdesign mit drei Wiederholungen (Parzellengröße von 51 bis 72 m<sup>2</sup>) an den Standorten Osterfeld (östliches Hügelland, 847 mm, 8.9 °C, schluffiger Sand) und Schuby (Geest, 856 mm, 8.6 °C, humoser Sand; mit bzw. ohne Beregnung) angelegt. Die Faktoren umfassten das Jahr, die Umwelt (Osterfeld ‚OF‘; Schuby mit ‚SI‘ und Schuby ohne ‚SN‘ Beregnung), den Maisernte-/ZF-Aussattermin (10.Sept (sd1) und 20.Sept (sd2) nach früher Hybride *Suleyka*; 30.Sept. (sd3) und 15.Okt. (sd4) nach mittelfrüher Hybride *Ronaldinio*) sowie die ZF-Art (*Lolium multiflorum* Lam. cvar Gisel (WW); *Secale cereale* L. cvar Protector und eine Kontrolle ohne Bewuchs (oZF)). Die N-Düngung zu Silomais erfolgte nach Sollwertmethode (180 kg N ha<sup>-1</sup>) als Kalkammonsalpe-ter. Ausgewählte Maisvarianten (oZF) und die ZF wurden nicht gedüngt. Zur Erfassung der ZF N-Aufnahme wurden zu Vegetationsende (Ende November) und zu Vegetationsbeginn (Mitte April) Handbeprobungen durchgeführt und der N-Gehalt mittels NIRS geschätzt. Daneben wurde die Wurzelmasse der ZF mittels der ingrowth core Methode nach STEINGROBE *et al.* (2001) jeweils bis Ende November bzw. Mitte April am Standort OF bis zu einer Tiefe von 30 cm quantifiziert. Am Beprobungstermin wurden die Wurzelsäckchen dem Boden entnommen und einem Waschprozess in einer hydro-pneumatischen Wurzelwaschanlage unterworfen. Nach Separierung der lebenden Wurzelmasse wurde die TM (58 °C) sowie anschließend der N-Gehalt mittels Verbrennungsmethode (Vario Max CN, Elementar, Hanau, Germany) bestimmt. Die N-Aufnahme der ZF bezieht sich auf die aschefreie (3 h, 550 °C), organische Substanz. Die mit dem Mais- und ZF-Anbau assoziierten Umwelteffekte (Nitrat-Auswaschung, N<sub>2</sub>O-Emission) wurden in ausgewählten Varianten

der Aussattermine sd1 und sd3 erfasst. Mittels keramischer Saugsonden (P80 Keramik, 75 cm Tiefe) wurde Sickerwasser über die Winterperiode (Oktober-Mitte April) in wöchentlichem Rhythmus in Roggen, WW und oZF in allen drei Umwelten gewonnen und aus der Nitrat-Konzentration (Skalar Analytical B.V., Niederlande) mittels klimatischer Wasserbilanz die Nitrat-Fracht berechnet. Die N<sub>2</sub>O-Emission wurde ganzjährig (April-April) in wöchentlichem Rhythmus mittels des statischen Gaswechsellammer-Prinzips (HUTCHINSON and MOSIER, 1981) erfasst und die N<sub>2</sub>O-N-Konzentration anschließend im Labor gaschromatografisch bestimmt. Die statistische Auswertung erfolgte mittels der Software „R“ unter Verwendung gemischter Modelle, wobei die geprüften Faktoren und Interaktionen als fix und der Block als zufällig angenommen wurden. Multiple Mittelwertvergleiche wurden anhand von linearen Kontrasttests (BRETZ *et al.*, 2011; SCHAARSCHMIDT and VAAS, 2009) vorgenommen. Darüber hinaus wurde eine Kovarianzanalyse durchgeführt zur Quantifizierung der N-Aufnahme der ZF bis Vegetationsende als Funktion der Temperatursumme (Tsumme, Basistemperatur 5 °C).

Tab. 1: Geprüfte Faktoren und Faktorstufen

Faktor	Faktorstufe	Faktor	Faktorstufe
1. Jahr	2012/2013; 2013/2014	3. Maisernte- /ZF Aussaat- termin	10.09. (sd1) <i>Suleyka</i> (S210/K240)
			20.09. (sd2) <i>Suleyka</i> (S210/K240)
			30.09. (sd3) <i>Ronaldinio</i> (S240/K240)
			15.10. (sd4) <i>Ronaldinio</i> (S240/K240)
2. Standort	OF	4. ZF-Art	Roggen
	SI		WW
	SN		oZF (ungedüngter Mais vorhergehend)

## Ergebnisse und Diskussion

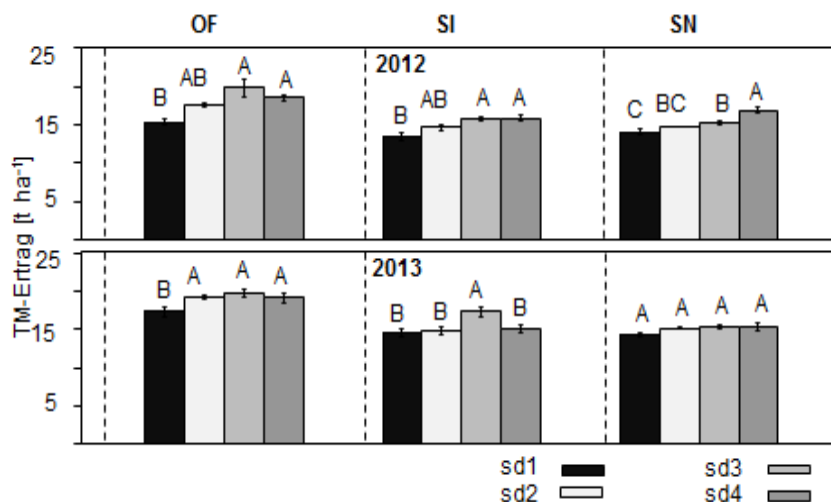


Abb. 1: Silomais TM-Ertrag [t TM ha<sup>-1</sup>] in Abhängigkeit des Erntetermins (sd1-sd4), der Umwelt (OF, SI und SN) und des Jahres. Großbuchstaben indizieren Mittelwertunterschiede des TM-Ertrages ( $p \leq 0.05$ ).

Die Analyse des Mais-TM-Ertrages belegt, dass eine sehr frühe Ernte (sd1) fast immer in signifikanten Ertragsreduktionen von bis zu 22% ( $p \leq 0.05$ ) resultierte, während eine Verschiebung des Erntetermins über den 20.09. hinaus nur in einer Umwelt und in einem Jahr zu signifikanten Steigerungen des Ertrages führte (Abb. 1). Folglich ergibt sich aus Perspektive des Silomaisertrages keine Notwendigkeit späte Erntetermins anzustreben. Jedoch weisen frühe Erntetermins meist zu geringe Trockensubstanzgehalte auf, welche keine optimale Gärqualität und maximale tierische Leistungen gewährleisten (KHAN *et al.*, 2015). Die oberirdische N-Aufnahme der ZF zu Vegetationsende variierte zwischen den Versuchsjahren aufgrund der Witterungsverhältnisse erheblich zwischen 0.5 und 52.3 kg N ha<sup>-1</sup> und wurde durch die Interaktionen Jahr  $\times$  Aussattermin  $\times$  ZF

( $p \leq 0.001$ ) sowie Umwelt  $\times$  Aussaattermin  $\times$  ZF ( $p \leq 0.05$ ) beeinflusst. Die Kovarianzanalyse belegte sowohl für die N-Aufnahme des Sprosses als auch der Wurzel bis Vegetationsende eine Interaktion von Tsumme  $\times$  ZF-Art ( $p \leq 0.001$ ). Dabei erwies sich Roggen als deutlich leistungsfähiger im Vergleich zu WW (Abb. 2). Für eine minimal effiziente N-Aufnahme vor Winter von insgesamt  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$  sind demnach  $277$  (Roggen) bzw.  $329 \text{ }^\circ\text{Cd}$  (WW) erforderlich (Abb. 2). Auswertungen langjähriger Witterungsdaten (1981-2013) für Schleswig-Holstein ergaben, dass in 85% der Jahre bei einer Aussaat in der ersten und in 42 % der Jahre in der 2. Septemberdekade  $277 \text{ }^\circ\text{Cd}$  Tsumme erreicht werden. Ein typischer Maiserntetermin ab dem 1. Oktober hingegen resultierte im Mittel in einer Tsumme von  $175 \text{ }^\circ\text{Cd}$ , was einer N-Aufnahme von  $3\text{-}6 \text{ kg N ha}^{-1}$  entspricht. Die Abschätzungen der N-Aufnahme können aufgrund der sehr unterschiedlichen klimatischen Bedingungen (2012/2013:  $4.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 2013/2014:  $7.2 \text{ }^\circ\text{C}$ ; Mittel:  $5.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ) der Versuchsjahre sowie durch den Aussaattermin-Gradienten als repräsentativ und belastbar angesehen werden. Für die N-Aufnahme im Frühjahr ergab die ANOVA für die Spross N-Aufnahme einerseits einen signifikanten Einfluss des Hauptfaktors ZF ( $p \leq 0.001$ ) sowie der Interaktion Jahr  $\times$  Umwelt  $\times$  Aussaattermin ( $p \leq 0.001$ ). Während die Spross-N-Aufnahme im April 2013 nur  $5\text{-}14 \text{ kg N ha}^{-1}$  betrug, wurden im April 2014 dagegen  $10\text{-}40 \text{ kg N ha}^{-1}$  akkumuliert. Generell war Roggen durch eine höhere N-Aufnahme (Mittel:  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) als WW charakterisiert (Mittel:  $10 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Eine starke Verzögerung der ZF-Saat (sd4) resultierte im Frühjahr in einer Reduktion der Spross-N-Aufnahme um 50%.

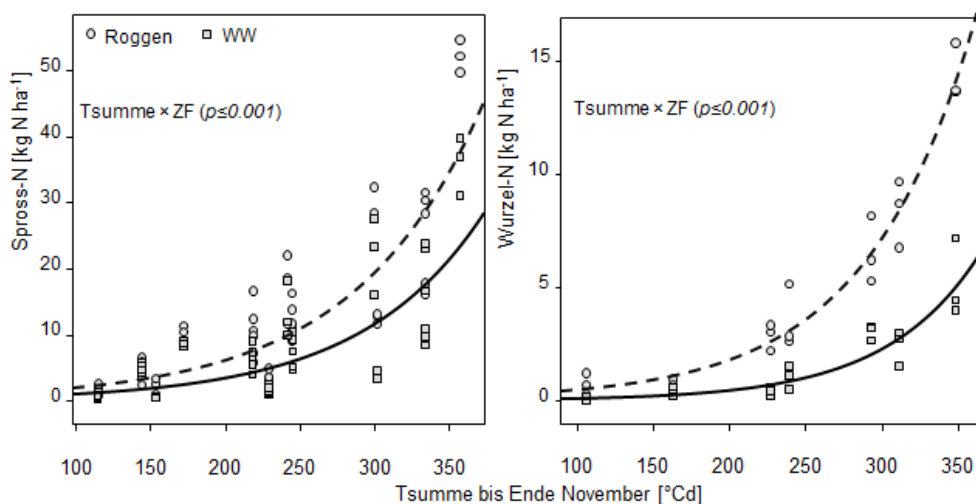


Abb. 2: Spross- und Wurzel-N-Aufnahme [ $\text{kg N ha}^{-1}$ ] von Roggen (gestrichelt) und WW (durchgezogen) als Funktion der Tsumme [ $^\circ\text{Cd}$ ] ( $5 \text{ }^\circ\text{C}$  Basis) bis Ende-November.

Zusätzlich zur im Spross aufgenommenen N-Menge wurden in der Wurzel  $0.3\text{-}15.4 \text{ kg N ha}^{-1}$  (April 2013) sowie  $6.2\text{-}33.6 \text{ kg N ha}^{-1}$  (April 2014) akkumuliert, signifikant beeinflusst durch die Interaktion von Jahr  $\times$  Aussaattermin  $\times$  ZF ( $p \leq 0.01$ ). Eine Verzögerung der Saat führte demnach auch in den Wurzeln zu geringeren N-Aufnahmen. Diese betrug für sd4 immer weniger als für sd1 ( $p \leq 0.001$ ). Auch im Frühjahr wies Roggen meist eine höhere N-Akkumulation der Wurzeln auf als WW. Im Mittel der Jahre wurden in Abhängigkeit des Aussaattermins insgesamt  $18\text{-}46 \text{ kg N ha}^{-1}$  über die Winterperiode transferiert. Das Wurzel/Spross (R/S)-Verhältnis der N-Akkumulation zeigte im Frühjahr 2013 keinen Effekt der ZF (Mittel:  $0.4$ ), wurde jedoch vom Aussaattermin signifikant beeinflusst ( $p \leq 0.001$ ) mit einem höheren R/S für sd1 ( $0.7$ ) im Vergleich zu sd3 und sd4 ( $0.2$ ). Vergleichend hierzu berichtet THORUP-KRISTENSEN (2001) ein geringeres bis mittleres R/S von  $0.5$  bei früher Etablierung von Roggen und WW bis Anfang August. Im April 2014 unterschieden sich Roggen ( $0.8$ ) und WW ( $1$ ) im Mittel über die Aussaattermine ( $p \leq 0.05$ ). Die  $\text{N}_2\text{O}$ -Emission wurde einerseits signifikant durch die N-Düngung ( $p \leq 0.001$ ) sowie die Interaktion von Jahr  $\times$  Aussaattermin ( $p \leq 0.05$ ) beeinflusst. Generell rangierten die kumulativen Emissionen über 12 Monate auf einem sehr niedrigen Niveau zwischen  $0.2\text{-}0.4 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$  mit einem Emissionsfaktor von maximal  $0.4\%$  des applizierten N. Erwartungsgemäß wurde die  $\text{N}_2\text{O}$ -Freisetzung durch die N-Düngung stark gefördert (um  $100\%$ ). Die Saatbettbereitung vor der ZF-Aussaat resultierte dagegen nicht in erhöhten  $\text{N}_2\text{O}$ -N-Flüssen, welche hauptsächlich während der Vegetationszeit des Silomaises gemessen wurden. Dabei ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ernteterminen. Die vorliegende Studie bestätigt die Ergebnisse von VAN GROENIGEN *et al.* (2004),

wonach die N<sub>2</sub>O-Emission auf sandigen Standorten vor allem durch eine organische Düngung angeregt wird. Die geringe N<sub>2</sub>O-Freisetzung in der vorliegenden Arbeit ist demnach auf die mineralische Düngung sowie die hohen Dräneigenschaften der oberen Bodenschicht zurückzuführen (BOUWMAN, 1996). Für die Nitrat-Verluste über den Pfad Sickerwasser ergaben sich darüber hinaus weder Effekte des Aussaattermins noch der ZF-Behandlung. Eine späte Aussaat war tendenziell mit einer höheren Nitrat-Fracht von Oktober-April verbunden (41 vs. 33 kg NO<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup>), was auf die erhöhte N-Aufnahme der ZF zurückzuführen ist. Gleichzeitig sind die Ergebnisse durch die stark unterschiedlichen Witterungsbedingungen der beiden Winterperioden überlagert.

### Schlussfolgerungen

Für norddeutsche Bedingungen stellt eine Silomaisерnte in der zweiten Septemberdekade gefolgt von einer Roggen-Zwischenfrucht eine geeignete Management-Strategie dar zur Reduktion negativer Umwelteffekte, ohne einen Trade-off zum Silomaisерtrag zu implizieren. Im Fokus der weiteren Arbeiten steht die Analyse des N carry-overs von der Zwischenfrucht zum nachfolgenden Silomais.

### Literatur

- BMELV (2012): Nitratbericht 2012. Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz September 2012. 1-94.
- BOUWMAN, A.F. (1996): Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46, 53-70.
- BRETZ F., HOTHORN, T. & WESTFALL, P. (2011): Multiple Comparison using R. *Chapman & Hall/CRC*, London.
- CONSTANTIN, J., MARY, B., LAURENT, F., AUBRION, G., FONTAINE, A., KERVELLANT, P. & BEAUDOIN, N. (2010): Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135, 268-278.
- COUGNON, M., VANDERMOERE, S., DE VliegHER, A. & REHEUL, D. (2015): Yield comparison of Italian ryegrass and winter rye sown as cover crops after forage maize. In: van den Pol-van DasselaaR, A. (ed): Grassland and forages in high output dairy farming systems. *Proceedings of the 18<sup>th</sup> Symposium of the European Grassland Federation*, Wageningen, 2015. Seiten 187-189.
- HUTCHINSON, G.L. AND MOSIER, A.L. (1981): Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. *Journal of the Soil Science Society America* 45, 311-316.
- KASPAR, T.C., JAYNES, D.B., PARKIN, T.B. & MOORMAN, T.B. (2007): Rye cover crop and gamagrass strip effects on NO<sub>3</sub> concentration and load in tile drainage. *Journal of Environmental Quality* 36, 1503-1511.
- KHAN, N.A., YU, P., ALI, M., CONE, J.W. & HENDRIKS, H.W. (2015): Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. *Journal of the Science and Food for Agriculture* 95, 238-252.
- SCHAARSCHMIDT, F. AND VAAS, L. (2009): Analysis of trials with complex treatment structure using multiple contrast tests. *Hortscience* 44, 188-195.
- SCHRÖDER, J.J., VAN DIJK, W. & DE GROOT, W.J.M. (1996): Effects of cover crops on the nitrogen fluxes in a silage maize production system. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 44, 293-315.
- STEINGROBE, B., SCHMID, H. & CLAASSEN, N. (2001): The use of ingrowth core method for measuring root production of arable crops – influence of soil and root disturbance during installation of the bags on root ingrowth into the cores. *European Journal of Agronomy* 15, 143-151.
- TEN BERGE, H.F.M, BURGERS, S.L.G.E., VAN DE MEER, H.G., SCHRÖDER, J.J., VAN DER SHOOT, J.R. & VAN DIJK, W. (2007): Residual inorganic soil nitrogen in grass and maize on sandy soils. *Environmental pollution* 145, 22-30.
- THORUP-KRISTENSEN, K. (2001): Are differences in root growth of nitrogen catch crops important for their ability to reduce soil nitrate-N content, and how can this be measured? *Plant and Soil* 230, 185-195.
- VAN DAM, A. (2006): Understanding the reduction of nitrogen leaching by catch crops. *Dissertation*, Universität Wageningen.
- VAN GROENIGEN, J.W., KASPER, G.J., VELTHOF, G.L., VAN DEN POL-VAN DASSELAAAR, A. & KUIKMAN, P.J. (2004): Nitrous oxide emissions from silage maize fields under different mineral nitrogen fertilizer and slurry applications. *Plant and Soil* 263, 101-111.
- VOS, J. AND VAN DER PUTTEN, P.E.L. (1997): Field observations on nitrogen catch crops. I. Potential and actual growth and nitrogen accumulation in relation to sowing date and crop species. *Plant and Soil* 195, 299-309.