

Ertragsleistung und Umweltwirkungen von Winterzwischenfrüchten in einer Silomaiselbstfolge unter den klimatischen Bedingungen Norddeutschlands

Komainda, M.^{1,2}, Taube, F.², Kluß, C.² und Herrmann, A.²

¹ Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein
Grüner Kamp 15–17, 24768 Rendsburg

² Institut für Pflanzenbau und -züchtung, Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Hermann-Rodewald-Straße 9, 24118 Kiel

mkomainda@lksh.de

Einleitung und Problemstellung

Silomais (*Zea mays* L.) -produktion zur Rinderhaltung und Bioenergiegewinnung ist eng mit langjähriger organischer Düngung assoziiert. Aufgrund der schwierigen Abschätzung einer Stickstoff-(N)-Nachlieferung aus der organischen Bodensubstanz, sowie oft überzogener N-Gaben treten nach der Ernte häufig erhöhte N_{min}-Werte auf, wie Daten aus der Gewässerschutzberatung belegen (GWS-Nord 2015). Dies ist besonders problematisch in den typischen Silomaisproduktionsgebieten der norddeutschen Tiefebene auf locker-sandigen Böden, wo die Grundwasserqualität massiv durch Nitrat (NO₃)-Kontamination eingeschränkt ist (LLUR 2014, BMEL 2016). Dies liegt neben einer unangepassten Düngestrategie vor allem darin begründet, dass häufig aufgrund der späten Maiserntete keine Folgefrüchte angebaut werden und der verfügbare Boden N_{min} nach der Maisernte mit dem Niederschlagsüberschuss im Winter in den oberflächennahen Grundwasserleiter ausgespült wird. Zwischenfrüchte (ZF) sind in der Lage, diesen Residual-N zu akkumulieren und vor Auswaschung zu schützen (Martinez-Feria *et al.* 2016, Komainda *et al.* 2017). Darüber hinaus wird ein Teil dieser N-Akkumulation in die Folgefrucht transferiert und ermöglicht eine Anpassung der N-Düngung (Jahanzad *et al.* 2016), was vor dem Hintergrund der Düngeverordnung von Bedeutung ist. Die anrechenbare N-Menge hängt jedoch primär von der absoluten N-Akkumulation sowie der Qualität der Biomasse ab (White *et al.* 2017). Bislang fehlen jedoch eindeutige Daten zu den Effekten des Maisernte- bzw. ZF-Aussaattermins sowie der ZF-Art sowohl hinsichtlich der Ertrags- und Qualitätsleistung als auch der N-Aufnahme durch ZF und das damit verbundene verringerte N-Verlustpotenzial unter den gegebenen klimatischen Bedingungen. Diese Studie untersucht deshalb das agronomische Potenzial eines Mais-ZF-Mais-Systems unter einer bereits optimierten N-Düngestrategie hinsichtlich des Ausbringzeitpunktes und -menge sowie der Düngerart.

Material und Methoden

Die vorliegende Studie basiert auf einem randomisierten Feldversuch mit drei Wiederholungen und einer Parzellengröße von 51–72 m², der zwischen April 2012 und Oktober 2014 an den Standorten Osterfeld (OF; östliches Hügelland, 847 mm, 8.9 °C, schluffiger Sand) und Schuby (SI; Geest, 856 mm, 8.6 °C, humoser Sand; mit Berechnungsmöglichkeiten) in Schleswig-Holstein realisiert wurde und im Detail in Komainda *et al.* (2016, 2017) beschrieben ist. Die untersuchten Faktoren beinhalteten das Jahr, den Standort, den Maisernte-/ZF-Aussaattermin (10.Sept. (hd1), 20.Sept. (hd2) nach früherer Hybride *Suleyka*; 30.Sept. (hd3) und 15.Okt. (hd4) nach mittelfrüher Hybride *Ronaldinio*) sowie die ZF-Art (*Lolium multiflorum* Lam. cvar. *Gisel* (WW); *Secale cereale* L. cvar. *Protector*). Die ZF wurden nach Stoppelzerkleinerung und flacher Bodenbearbeitung (5 cm) konventionell ausgedrillt. Die Kontrollen beinhalteten einerseits eine Variante, in welcher im Anschluss an die Saatbettbereitung keine Aussaat von ZF erfolgte sowie eine ungestörte Kontrolle, in welcher weder Maisstoppeln noch Boden bearbeitet wurden. Um die N-Nachlieferung aus den ZF quantifizieren zu können, wurde die N-Düngung zu Mais in Abhängigkeit zur Stellung in der Fruchtfolge adaptiert.

Während der Hauptfruchtmais (MM) vor ZF mit 180 kg N ha^{-1} versorgt wurde, erhielt der Folgemais (SM) nach ZF 140 kg N ha^{-1} . Die N-Düngung erfolgte dabei nach Sollwertmethode im Frühjahr nach der Maisaussaat in Form von Kalkammonsalpeter.

Eine ungedüngte Kontrolle erhielt keinen N-Dünger und diente damit zur Abschätzung der N-Nachlieferung sowie als Kontrolle (uBF) während der Erfassung der N-Auswaschung und Lachgas (N_2O)-Emissionen. Die NO_3 -Auswaschung wurde ausschließlich über Winter nach hd1 und hd3 in Roggen, WW und uBF wöchentlich mittels Saugsonden quantifiziert und anhand einer klimatischen Wasserbilanz aus den NO_3 -Konzentrationen und der Sickerwassermenge die NO_3 -Fracht berechnet. Die NO_3 -Konzentration wurde photometrisch bestimmt. Die N_2O -Emissionen wurden wöchentlich in ausgewählten Varianten über den Zeitraum Hauptfruchtmais und ZF (Roggen und uBF) 12-monatig bis bzw. nach der Ernte/Aussaat ZF zu hd1 und hd3 mittels statischer Gaswechselkammern erfasst (Mosier und Hutchinson 1981). Die N_2O -Konzentrationen wurden gaschromatographisch bestimmt und die N_2O -Flüsse nach linearer-Interpolation kumuliert. Zur Maisernte wurden die Parzellen maschinell beerntet und die Trockensubstanz (TS) nach Trocknung einer Unterprobe bestimmt. Im Jahr 2014 konnte der Folgemais nach ZF witterungsbedingt nur an zwei Ernteterminen beerntet werden, sodass in die vorliegende Auswertung für Folgemais nur ein früher (hd1) und später (hd3) Erntetermin eingeht. Die ZF wurden manuell oberirdisch beprobt und die Wurzelmasse mittels der ingrowth core Methode bis zum Frühjahr ermittelt (Steingrobe *et al.* 2001). Da die Wurzelmasse nur am Standort OF erfasst werden konnte, wurde zur Ableitung der ZF-N-Akkumulation im Frühjahr mittels allometrischer Funktionen die Wurzelmasse in SI geschätzt (Komainda *et al.* 2016). Die N-Gehalte der pflanzlichen Biomasse wurden mittels NIRS geschätzt.

Die Effektivität zur Minimierung von N-Verlusten in Form ausreichender N-Akkumulation beschränkt sich vor allem auf den Zeitraum zwischen ZF-Aussaat und dem Einsetzen der Niederschlagsüberschüsse (Svoboda *et al.* 2013). Dabei ist eine N-Akkumulation von mindestens 20 kg N ha^{-1} vor Winter anzustreben. Zur Akkumulation von 20 kg N ha^{-1} werden Temperatursummen (Tsum, $5 \text{ }^\circ\text{C}$ Basistemperatur) von $278 \text{ }^\circ\text{Cd}$ (Roggen) bzw. $381 \text{ }^\circ\text{Cd}$ (WW) benötigt (Komainda *et al.* 2015, 2016). Um die Verlässlichkeit dieser Funktionen zu überprüfen, wurden unabhängige Daten zur oberirdischen Trockenmassebildung (AGB) von Roggen und WW aus Belgien (Cognon *et al.* 2015), Minnesota (Krueger *et al.* 2011) und Iowa (Pantoja *et al.* 2015, 2016) zur Validation genutzt. Daten zur Wurzelbildung und N-Aufnahme lagen nicht vor. Da die Leistung von ZF maßgeblich von der verfügbaren Temperatursumme (Tsum) abhängt und diese sich direkt aus dem Aussattermin ergibt, wurden zur Abschätzung des tatsächlichen Potenzials von Winter ZF nach Silomais zusätzlich zur empirischen Datenauswertung verfügbare Klimadaten der DWD-Stationen im Land von 1981–2014 hinsichtlich der verfügbaren Tsum bis Vegetationsende als Funktion potenzieller Maiserntetermine ausgewertet, um daraus notwendige ZF-Aussaatetermine ableiten zu können und im Hinblick auf Ansprüche der Silomaisproduktion bewerten zu können. Statistische Auswertungen wurden mittels der software 'R' anhand linearer gemischter Modelle realisiert (Pinheiro *et al.* 2015), wobei neben Co-Varianzanalysen auch Varianzanalysen gefolgt von multiplen Kontrasttests durchgeführt wurden.

Ergebnisse und Diskussion

Die ZF-Varianten hatten keinen Einfluss auf die Ertragsbildung im Silomais. Zur Veranschaulichung werden die Erträge deshalb über die Interaktion von Jahr \times Ort \times Erntetermin (hd) gemittelt über ZF dargestellt (Tabelle 1). Der TM-Ertrag von MM variierte zwischen 13.8 und $18.5 \text{ t TM ha}^{-1}$ und wurde durch die Interaktion von Jahr \times hd ($P \leq 0.05$) beeinflusst. Eine Verschiebung der Ernte steigerte den Ertrag um bis zu 17 % und das Ertragsmaximum wurde meist bereits zu hd2 erreicht. Der TM-Ertrag von SM wurde signifikant durch das Jahr ($P \leq 0.05$), den Ort ($P \leq 0.01$) und den hd ($P \leq 0.001$) beeinflusst und erreichte ein Niveau zwischen 14.2 und $21.3 \text{ t TM ha}^{-1}$ (Tabelle 1). Dabei führte eine Ernteterminverschiebung zu einer Ertragssteigerung von 21 %. Sowohl in der Milchviehfütterung als auch zur Silierung des Silomais sind TS-Gehalte von 30–35 % anzustreben (Khan *et al.* 2015), sodass sich bei Erreichen dieses Wertes der optimale Erntezeitpunkt für Silomais ableiten lässt.

Der TS-Gehalt von MM und SM wurde signifikant durch die Interaktion aus Jahr × Ort × hd beeinflusst und die TS-Gehalte stiegen durch eine Ernteverzögerung erwartungsgemäß an. Der Ziel-TS-Gehalt in MM wurde sicher in allen Jahren und Orten nur bei Ernte zu hd4 erreicht. In SM zeigte sich ein etwas differenzierteres Bild, wo mit Ausnahme von hd1 in 2013 in SI 30 % TS bereits zu hd1 realisiert wurde. Damit ergibt sich ein trade-off zwischen dem Maximalertrag (hd2, 20. September) und der notwendigen Qualität von Silomais (frühestens hd3, 30. September).

Tabelle 1: TM-Ertrag [t TM ha⁻¹] von MM und SM in Abhängigkeit von Jahr, Ort und hd. Großbuchstaben zeigen Unterschiede zwischen hd für jede Jahr × Ort Kombination, Kleinbuchstaben zwischen Orten für jede Jahr × hd Kombination und die Symbole \$# zwischen Jahren für jede Interaktion von Ort × hd (P≤0.05). Zahlen hinter ± zeigen den Standardfehler des Mittelwerts. 'Suleyka' wurde an hd1 and hd2, 'Ronaldinio' an hd3 and hd4 geerntet. OF: Ostenfeld, SI: Schuby, MM: Hauptfruchtmais, SM: Folgemais, hd: Erntetermin

Jahr	Ort	hd1	hd2	hd3	hd4	
MM	2012	OF	15.4 ± 0.4 \$Ba	17.6 ± 0.2 \$Aa	17.8 ± 0.1 \$Aa	18.5 ± 0.3 \$Aa
		SI	13.8 ± 0.4 \$Ca	14.6 ± 0.3 \$BCb	15.8 ± 0.3 \$ABa	16.1 ± 0.3 \$Ab
	2013	OF	17.9 ± 0.4 \$#Ba	19.2 ± 0.3 \$Aa	19.7 ± 0.4 \$Aa	19.1 ± 0.6 \$ABa
		SI	14.7 ± 0.4 \$Bb	14.9 ± 0.4 \$ABb	16.4 ± 0.3 \$Ab	15.3 ± 0.4 \$ABb
SM	2013	OF	17.6 ± 0.4 \$Ba	–	20.1 ± 0.3 \$Aa	–
		SI	14.2 ± 0.7 \$Bb	–	18.0 ± 0.5 \$Aa	–
	2014	OF	19.1 ± 0.5 \$Ba	–	21.3 ± 0.3 \$Aa	–
		SI	15.0 ± 0.4 \$Bb	–	16.5 ± 0.4 \$Ab	–

Die klimatischen Verhältnisse in den Versuchsjahren führten zu deutlichen Effekten des Jahres hinsichtlich der Biomasse- und N-Akkumulation der ZF. Roggen erreichte dabei immer eine signifikant höhere N-Akkumulation im Vergleich zu WW, was vor allem am Standort OF deutlich wurde. Aufgrund dessen konnte auch ein signifikant negativer Zusammenhang zwischen der N-Aufnahme vor Winter und der NO₃-Auswaschung für Roggen am Standort OF abgeleitet werden (Abbildung 1).

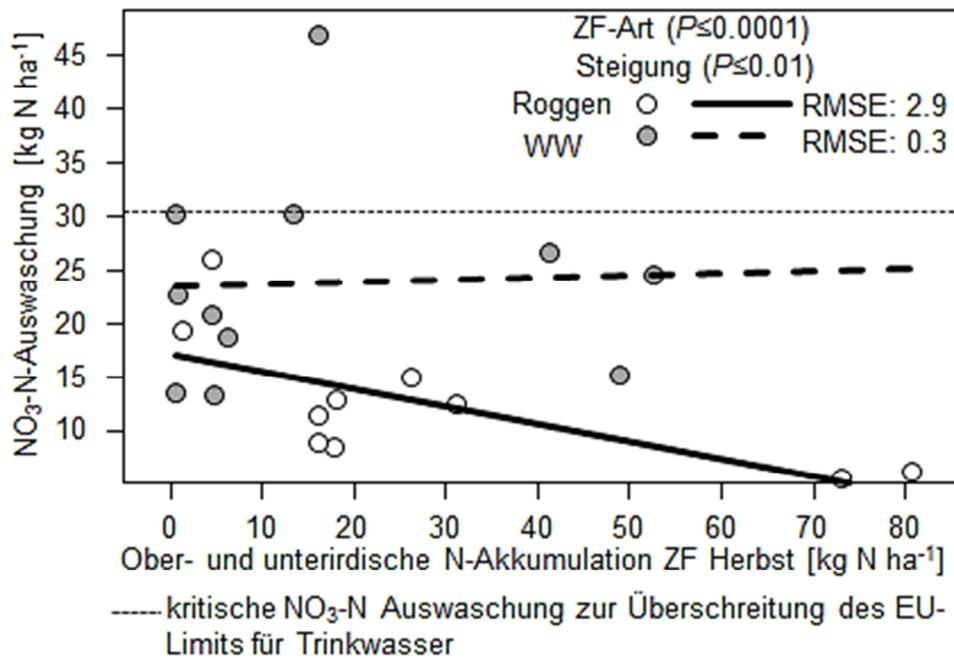


Abbildung 1: Funktioneller Zusammenhang zwischen der ZF-N-Akkumulation im Herbst [kg N ha⁻¹] (Wurzel+Spross) und der NO₃-N Auswaschung [kg N ha⁻¹] in Ostenfeld in den Winterperioden 2012/2013 und 2013/2014. RMSE: root mean squared error, WW: *Lolium multiflorum*. Gestrichelte Linie zeigt die Überschreitung der kritischen Fracht für den EU-Trinkwassergrenzwert.

Die varianzanalytische Auswertung für die NO_3 -Fracht belegt eine signifikante Interaktion von Jahr \times Ort \times ZF-Art \times Maisernte-/ZF-Aussaattermin ($P \leq 0.05$). Eine maximale N-Fracht von 37.3 (WW) und 40 $\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ (Roggen) in OF und SI wurde für eine späte Aussaat dokumentiert.

Insgesamt lag eine Tendenz für geringere Verluste nach früher Aussaat vor. Die N_2O -Emission lag auf einem insgesamt geringen Niveau zwischen 0.18 und 0.42 $\text{kg N}_2\text{O-N ha}^{-1}$ und wurde nicht durch die ZF-Art beeinflusst, jedoch signifikant durch die N-Düngung gesteigert.

Im getesteten System erwiesen sich die ZF als ineffizient N in den Folgemais zu transferieren. Daher wurden keine Effekte der ZF auf den Silomaisertrag gefunden (Komainda *et al.* 2017). Dies ist für ZF-Systeme in den Anfangsjahren typisch, da sich erst nach ca. drei Jahren Effekte auf den N-Pool im Boden einstellen und damit zusätzliche N-Mineralisation erwarten lassen (Constantin *et al.* 2011).

In der vorliegenden Studie lag dies vor allem darin begründet, dass witterungsbedingt die N-Akkumulation im Jahr 2012/2013 sehr gering war, dagegen im Jahr 2013/2014 die N-Akkumulation eine relevante Menge erreichte. Die C/N-Verhältnisse der ZF stiegen jedoch mit der N-Akkumulation an, was vermutlich eine eingeschränkte Umsetzung im Boden induzierte (Finney *et al.* 2016, Komainda *et al.* 2017).

Da ZF nach Silomais primär dem Ziel dienen N-Auswaschung zu verringern, ist die verlässliche Abschätzung der Leistung in Einzeljahren essentiell. Die Abschätzung der Biomasse- und N-Akkumulation aus der verfügbaren T_{sum} wurde bereits in Komainda *et al.* (2015) vorgestellt. Die Validation der Funktion für die Spross-TM ist in Abbildung 2 dargestellt und zeigt eine gute Übereinstimmung zu den unabhängig generierten Daten, wie RMSE-Werte von 706 bzw. 303 kg TM ha^{-1} für Roggen und WW belegen. Roggen erweist sich aufgrund der geringeren T_{sum} -Ansprüche zur Realisierung einer N-Aufnahme von mindestens 20 kg N ha^{-1} als wesentlich effizienter im Vergleich zu WW.

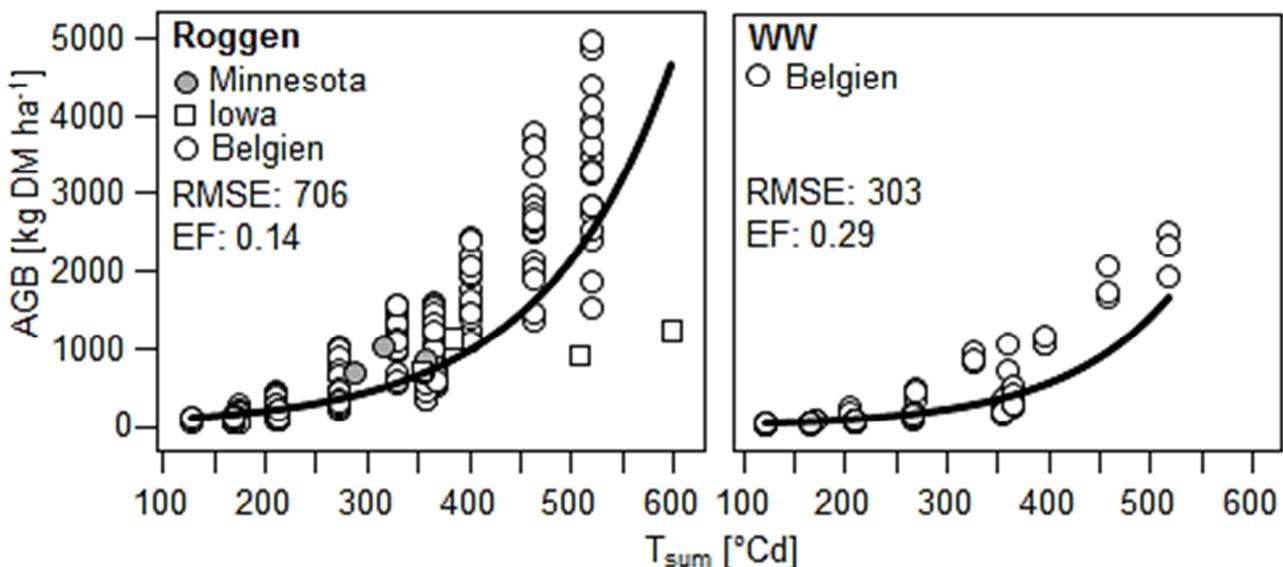


Abbildung 2: Validation des Zusammenhangs zwischen der Einflussgröße Temperatursumme (T_{sum} , 5 $^{\circ}\text{C}$ Basis) und der oberirdischen TM-Akkumulation [kg TM ha^{-1}] mittels Daten aus Minnesota (Krueger *et al.* 2011), Iowa (Pantoja *et al.* 2016) und Belgien (Cougnon *et al.* 2015). Daten wurden verglichen mit Funktionen aus Komainda *et al.* (2016) für Roggen, $y = \exp(3.74 + 0.00787x)$ und WW $y = \exp(2.56 + 0.00933x)$. RMSE: Root mean squared error, EF: modelling efficiency, WW: *Lolium multiflorum*.

Die Wahrscheinlichkeit zum Erreichen der kritischen Tsumme von 278 °Cd bis Vegetationsende sinkt erwartungsgemäß mit einer späteren Ernte. Wie aus Abbildung 3 hervorgeht, ist dabei eine Aussaat spätestens in der 2. Septemberdekade notwendig. Dadurch ergibt sich zwischen den Ansprüchen in der Silomaisproduktion (Mindest-TS von 30 %) und der effizienten Etablierung von ZF ein trade-off. In den meisten Jahren sind die Witterungsbedingungen im Herbst als nicht ausreichend zu bezeichnen, was die Effizienz von ZF nach Silomais deutlich einschränkt.

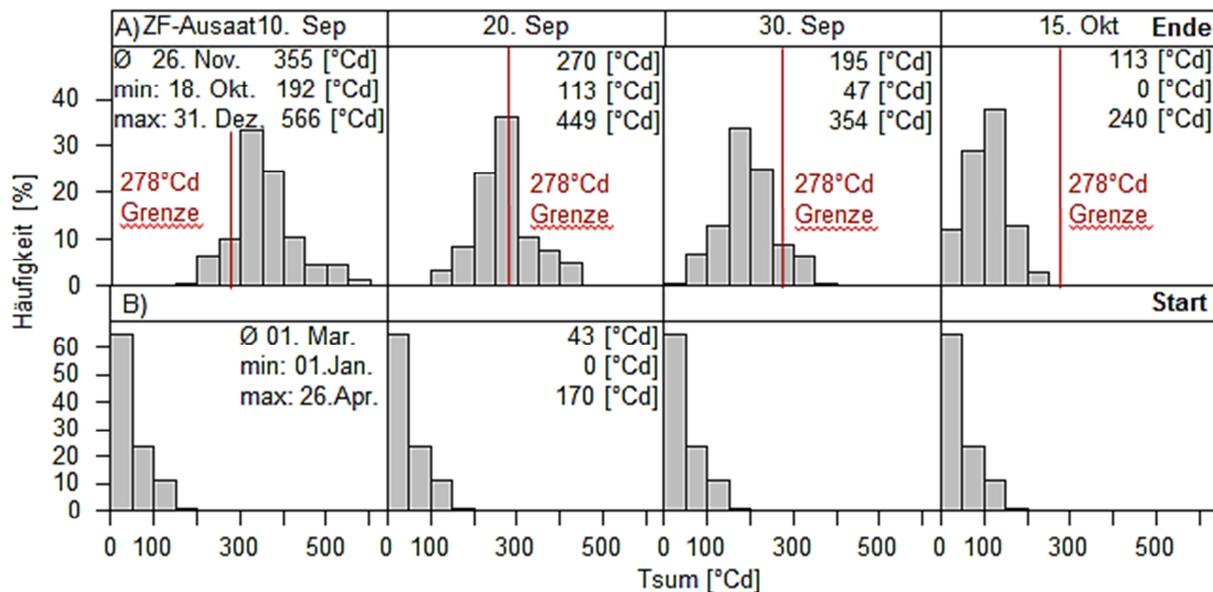


Abbildung 3: Häufigkeit [%] von Temperatursummen [Tsum, °Cd, 5 °C Basis] in Abhängigkeit des Aussaatzeitpunktes (10., 20., 30. September, 15. Oktober) bis Vegetationsende (A) sowie von Vegetationsstart (B) bis 20. April (ZF Umbruchzeitpunkt). Dargestellt sind mittlere, minimum und maximum Tsums sowie die dazugehörigen Kalendertage. Datenursprung aus DWD Stationen in SH für die Jahre 1981–2014 (unbalancierte Daten, da nicht jedes Jahr verfügbar war). Rote Linie zeigt die 278 °Cd-Grenze, um 20 kg N ha⁻¹ durch Roggen zu akkumulieren (Komainda *et al.* 2016). Die Vegetationsperiode wurde gemäß Frich *et al.* (2002) definiert. Werte sind über Stationen und Jahre aggregiert.

Schlussfolgerungen

Die N-Verluste im Silomaisanbau sind vor dem Hintergrund der Grundwasserproblematik zu reduzieren. Neben bewährten Praktiken zur Steigerung der N-Ausnutzung ermöglichen ZF einen zusätzlichen Beitrag zu leisten, wenn eine Aussaat in der 2. Septemberdekade realisiert wird. Insgesamt lagen die N-Verluste im betrachteten System auf einem geringen Niveau, da eine sehr hohe N-Aufnahmeeffizienz von Silomais vorlag (Komainda *et al.* 2017). Dennoch sind ZF auch unter diesen Optimalbedingungen in der Lage durch eine Konservierung des Residual-N die N-Auswaschung zu verringern. Unter Praxisbedingungen mit langjährig organischer Düngung ist die Amplitude der Verlustminimierung vermutlich wesentlich höher.

Literatur

- BMEL, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, (2016): Nitratbericht der BRD 29.07.2016, 1–136.
- Constantin, J., Beaudoin, N., Laurent, F., Cohan, J.-P., Duyme, F. und Mary, B. (2011): Cumulative effects of catch crops on nitrogen uptake, leaching and net mineralization. *Plant Soil* 341, 137–154.
- Cougnon, M., Vandermoere, S., De Vliegheer, A. und 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., Aarts, H.F.M., De Vliegheer, A., Elgersma, A., Reheul, D., Reijneveld, J.A., Verloop, J. und Hopkins, A. [Eds]: Grassland and forages in high output dairy farming systems. *Proceedings of the 18th Symposium of the European Grassland Federation*, Wageningen, pp 187–189.

- Finney, D.M., White, C.M. und Kaye, J.P. (2016): Biomass production and carbon/nitrogen ratio influence ecosystem services from cover crop mixtures. *Agronomy Journal* 108, 39–52.
- Frich, P., Alexander, L.V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein, A.M.G. und Peterson, T. (2002): Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research* 19, 193–212.
- GWS-Nord, (2015): Aktuelles zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Schleswig-Holstein. Gewässer-schutzberatung im Beratungsgebiet 3.
- Jahanzad, E., Barker, A.V., Hashemi, M., Eaton, T., Sadeghpour, A. und Weis, S.A. (2016): Nitrogen release dynamics and decomposition of buried and surface cover crop residues. *Agronomy Journal* 108, 1735–1741.
- Komainda, M., Taube, F., Kluß, C. und Herrmann, A. (2015): Effekt des Erntetermins von Silomais auf Mais-ertrag, N-Aufnahme von Zwischenfrüchten und assoziierte Umwelteffekte – ein Trade-off? In: 59. Jahresta-gung der AGGF in Aulendorf (2015), Tagungsband, 216–219.
- Komainda, M., Taube, F., Kluß, C. und Herrmann, A. (2016): Above- and belowground nitrogen uptake of winter catch crops sown after silage maize as affected by sowing date. *European Journal of Agronomy* 79, 31–42.
- Komainda, M., Taube, F., Kluß, C. und Herrmann, A. (2017): Effects of catch crops on silage maize (*Zea mays* L.): yield, nitrogen uptake efficiency and losses. *Nutrient Cyclings in Agroecosystems* Mar. 2017.
- Khan, N.A., Yu., P., Ali, M., Cone, J.W. und Hendriks, W.H. (2015): Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95, 238–252.
- Krueger, E.S., Ochsner, T.E., Porter, P.M. und Baker, J.M. (2011): Winter rye cover crop management influ-ences on soil water, soil nitrate and corn development. *Agronomy Journal* 103, 316–323.
- LLUR. (2014): Nährstoffe in Gewässern Schleswig-Holsteins. Entwicklung und Bewirtschaftungsziele. Lan-desamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR). July 2014, 1–92.
- Martinez-Feria, R.A., Dietzel, R., Liebman, M., Helmers, M.J. und Archontoulis, S.V. (2016): Rye cover crop effects on maize: A system-level analysis. *Field Crops Research* 196, 145–159.
- Pantoja, J.L., Woli, K.P., Sawyer, J.E. und Barker, D.W. (2015): Corn nitrogen fertilization requirement and corn-soybean productivity with a rye cover crop. *Soil Science Society of America Journal* 79, 1482–1495.
- Pantoja, J.L., Woli, K.P., Sawyer, J.E. und Barker, D.W. (2016): Winter rye cover crop biomass production, degradation, and nitrogen recycling. *Agronomy Journal* 108, 841–853.
- Mosier, A.R. und Hutchinson, G.L. (1981): Nitrous oxide emissions from cropped fields. *Journal of Environ-mental Quality* 10, 169–173.
- Pantoja, J.L., Woli, K.P., Sawyer, J.E. und Barker, D.W. (2016): Winter rye cover crop biomass production, degradation, and nitrogen recycling. *Agronomy Journal* 108, 541–853.
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S. und Sarkar, D. (2015): {nlme}: Linear and nonlinear mixed effects mod-els.
- Steingrobe, B., Schmid, H. und Claassen, N. (2001): The use of the ingrowth core method for measuring root production of arable crops – influence of soil and root disturbance during installation of the bags on root in-growth into the cores. *European Journal of Agronomy* 15, 143–151.
- Svoboda, N., Taube, F., Wienforth, B., Kluß, C., Kage, H. und Herrmann, A. (2013): Nitrogen leaching losses after biogas residue application to silage maize. *Soil Tillage Research* 130, 69–80.
- White, C.M., DuPont, S.T., Hautau, M., Hartman, D., Finney, D.M., Bradley, B., LaChance, C. und Kaye, J.P. (2017): Managing the trade off between nitrogen supply and retention with cover crop mixtures. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 237, 121–133.