

## **Umweltrelevante Aspekte von Winterzwischenfrüchten im ökologischen Marktfruchtbau unter Berücksichtigung der Kohlenstoff- und Stickstoffdynamik**

Böldt, M.<sup>1</sup> Loges, R., Kluß, C. und Taube, F.

*Keywords: Zwischenfrüchte, Nitratauswaschung, Lachgas, Kohlenstoffeintrag*

*Abstract: Since the last decade agricultural policies focused increasingly on the integration of cover crops (CC) in arable systems, highlighting the 'multifunctional benefits' of CC, driven by reducing negative environmental impacts and improving biodiversity aspects. Hence, the arable land covered by CC grows rapidly in Germany. Especially in low input arable systems, like stockless organic farming, a substantial need for the usage of CC exists. Against this background, a two-year field experiment started 2015 within a 6-unit organic crop rotation. The aim of the study is to identify the most successful low-loss strategy for CC cultivation, especially for the maritime climate conditions in Northern Germany. In relation to factors like pre-crop effect, CC species (pure stand and bi-species mixtures) and plant winter-hardiness, we observed nitrogen (N) retention and N losses as well as carbon (C) uptake by above- and belowground CC biomass. The results showed no differences between pure stands and mixtures of CC during the investigation period. Generally, the grain legume results in higher post-harvest nitrate concentrations in the leachate and nitrous oxide emissions to the atmosphere. Between the CC varieties, the frost killed species showed the highest potential for N losses. In contrast, the winter-hardy CC could reduce the N losses more effectively, while the C accumulation was higher and stronger correlated to root formation.*

### **Einleitung und Zielsetzung**

Die Anbaubedeutung von Zwischenfrüchten (ZF) hat in Deutschland in den letzten Jahren stark zugenommen. So wurden im Jahr 2016 auf 14,7 % der Ackerfläche ZF angebaut. Dies stellt eine 50 %ige Steigerung gegenüber 2010 dar (Destatis 2011, 2017). Eine weitere Zunahme des ZF-Anbaus ist unter dem Aspekt der derzeitigen agrar- und umweltpolitischen Ziele Deutschlands erwartbar. Insbesondere im viehlosen ökologischen Marktfruchtbau sind ZF hinsichtlich der Minimierung von Nährstoffverlusten und einer ausgeglichenen Humusbilanz essentiell (Kaye et al. 2017, Leithold et al. 2017). In Norddeutschland können allerdings die Witterungsbedingungen einen erfolgreichen ZF-Anbau nicht immer gewährleisten (späte Erntetermine, hohe Niederschläge im Herbst, milde Winter). Unter diesem Hintergrund wurden in Schleswig-Holstein auf einer ökologisch umgestellten Fläche unterschiedliche ZF-Anbaustrategien getestet. Der Fokus der Studie liegt auf der

---

<sup>1</sup> Institut für Pflanzenbau und –züchtung, FG Ökologischer Landbau, Herrmann-Rodewald-Straße 9, 24118, Kiel, Germany, [mboeldt@gfo.uni-kiel.de](mailto:mboeldt@gfo.uni-kiel.de), [www.grassland-organicfarming.uni-kiel.de](http://www.grassland-organicfarming.uni-kiel.de)

vergleichenden Untersuchung von winterharten, abfrierenden und als Untersaaten etablierten ZF-Kulturen hinsichtlich der systemaren Stickstoff (N)-Verluste und Kohlenstoff (C)-Akkumulation. Der Einfluss einer unterschiedlichen Fruchtfolgegestaltung der ZF fand zusätzlich Berücksichtigung.

Es wurden folgende Hypothesen getestet:

1. Abfrierende Zwischenfrüchte weisen gegenüber winterharten Zwischenfrüchten höhere N-Verluste auf.
2. Eine Untersaat-Zwischenfrucht reduziert die N-Verluste am effektivsten.
3. Winterharte Zwischenfrüchte haben eine höhere C-Bindung.

## Methoden

Der Versuch wurden in den Jahren 2015/16 und 2016/17 auf einer seit 2013 ökologisch bewirtschafteten Fläche mit der Fruchtfolge „Klee gras – Sommerweizen – Wintertriticale – Erbse – Hafer – Dinkel /+ Klee gras-Untersaat“ durchgeführt. Der Standort befindet sich im Naturraum Vorgeest in Schleswig-Holstein (54.32 N, 9.80 O; Ø-Jahrestemperatur 8,8° C; Ø-Jahresniederschlagssumme 826 mm; Bodenart SI2; Bodentyp Braunerde). In beiden Versuchsjahren wurde nach den Vorfrüchten Erbse (ER) und Triticale (TR) jeweils eine randomisierte einfaktorielle Blockanlage mit sechs ZF angelegt (n=4 Wiederholungen). Die Varianten wurden in Reinsaat als Gelbsef (GS, abfrierend), Winterrübe (WR, winterhart) und Deutsches Weidelgras (DW, winterhart, Untersaat in die Vorfrucht) sowie zusätzlich als Mischung mit einem legumen Gemengepartner angelegt. Als Kontrollen dienten Parzellen in Schwarzbrache (SB) und Selbstbegrünung (SG). Der Untersuchungszeitraum erstreckt sich von der ZF-Aussaat bis zum Umbruch im Frühjahr des Folgejahres. Eine aktive Düngung fand nicht statt. Es wurden die Parameter Lachgasemissionen, Nitratauswaschung, mineralischer Stickstoff im Boden sowie die N- und C-Aufnahme in der ober- und unterirdischen pflanzlichen Biomasse vergleichend untersucht. Der Wurzelzuwachs wurde nach Steingrobe et al. (2000) mittels Wurzelsäckchen periodisch erfasst und zur Abschätzung der unterirdischen Nettoprimärproduktion (BNPP) über den Betrachtungszeitraum kumuliert („ingrowth core“ Methode). Die bodenbürtigen Treibhausgase wurden wöchentlich nach dem statischen Messkammerprinzip erhoben (Hutchinson & Mosier 1981).

## Ergebnisse und Diskussion

Signifikante Unterschiede zwischen den Mischungs- und Reinsaatvarianten auf die untersuchten Parameter konnten nicht festgestellt werden. Die diskutierten Ergebnisse beziehen sich daher auf die gepoolten Mittelwerte der beiden Varianten. Die Nitrat-(NO<sub>3</sub>)-Auswaschung waren bei der Kontrolle SB unabhängig von der Vorfrucht gegenüber allen anderen Varianten signifikant erhöht (Tabelle 1). Demgegenüber konnten durch die ZF die NO<sub>3</sub>-Fracht um durchschnittlich 64 % verringert werden. Innerhalb der ZF wies GS die höchsten Nitratverluste auf (signifikant nach TR). Die Vorfruchtwirkung der Körnerleguminose ER zeigte das

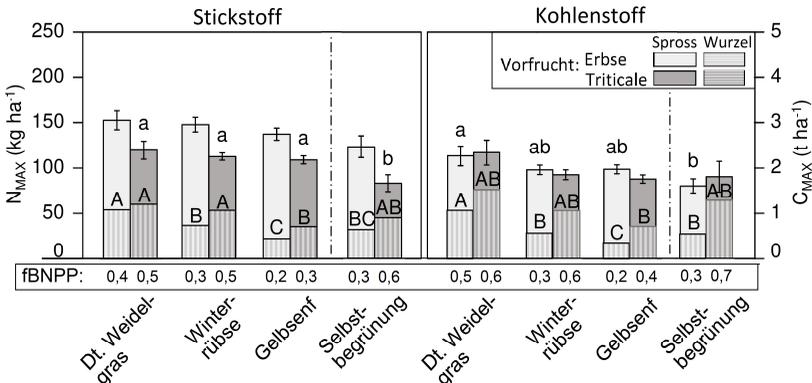
größte Emissionspotenzial und lag von August bis März bei allen Varianten über 1 kg N<sub>2</sub>O-N. GS wies gegenüber den winterharten Zwischenfrüchten DW und WR signifikant höhere Flussraten auf. Hier führten insbesondere zyklische Frost-Tau-Ereignisse im Winter zu relevanten Emissionsspitzen.

**Tabelle 1: Stickstoffverluste (Nitrat NO<sub>3</sub>; Lachgas N<sub>2</sub>O), Boden-N<sub>MIN</sub>-Werte und Trockenmasse-Ertrag der Zwischenfrüchte in Abhängigkeit der Vorfrucht und im Mittel der zwei Anbaujahre (kg ha<sup>-1</sup>).**

| Zwischenfrucht  | NO <sub>3</sub> -N Fracht |                    | N <sub>2</sub> O-N <sub>kum</sub> |                   | N <sub>MIN</sub> Nov (0-90 cm) |                   | N <sub>MIN</sub> Mrz (0-90 cm) |                    | TM <sub>MAX</sub> * |           |
|-----------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------|---------------------|-----------|
|                 | Vorfrucht                 |                    | Vorfrucht                         |                   | Vorfrucht                      |                   | Vorfrucht                      |                    | Vorfrucht           |           |
|                 | Erbse                     | Triticale          | Erbse                             | Triticale         | Erbse                          | Triticale         | Erbse                          | Triticale          | Erbse               | Triticale |
| Dt. Weidelgras  | 37,5 <sup>b</sup>         | 15,2 <sup>bc</sup> | 1,12 <sup>b</sup>                 | 0,40 <sup>b</sup> | 43,8 <sup>b</sup>              | 22,4 <sup>b</sup> | 42,9 <sup>ab</sup>             | 38,4 <sup>ab</sup> | 5078 <sup>a</sup>   | 5047      |
| Gelbsenf        | 54,1 <sup>ab</sup>        | 29,6 <sup>b</sup>  | 1,82 <sup>a</sup>                 | 1,02 <sup>a</sup> | 32,7 <sup>b</sup>              | 21,2 <sup>b</sup> | 54,0 <sup>a</sup>              | 38,9 <sup>a</sup>  | 4482 <sup>ab</sup>  | 3938      |
| Winterrübe      | 34,5 <sup>b</sup>         | 8,3 <sup>c</sup>   | 1,50 <sup>ab</sup>                | 0,48 <sup>b</sup> | 35,7 <sup>b</sup>              | 25,6 <sup>b</sup> | 42,8 <sup>b</sup>              | 33,9 <sup>b</sup>  | 4500 <sup>a</sup>   | 4061      |
| Selbstbegrünung | 42,1 <sup>b</sup>         | 11,2 <sup>c</sup>  | 1,59 <sup>ab</sup>                | 0,48 <sup>b</sup> | 48,1 <sup>b</sup>              | 28,5 <sup>b</sup> | 41,2 <sup>b</sup>              | 35,5 <sup>ab</sup> | 3486 <sup>b</sup>   | 3842      |
| Schwarzbrache   | 96,5 <sup>a</sup>         | 64,1 <sup>a</sup>  | 1,30 <sup>ab</sup>                | 0,57 <sup>b</sup> | 92,8 <sup>a</sup>              | 58,3 <sup>a</sup> | 34,4 <sup>b</sup>              | 28,3 <sup>ab</sup> | -                   | -         |

\* Summe aus ober- und unterirdischer Biomasse (oberirdisch = maximal Sprossmasse im Untersuchungszeitraum; unterirdisch = aufkumulierte Wurzelmasse. Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Vorfrucht (p < 0,05).

Die Boden-N<sub>MIN</sub>-Werte waren über alle ZF-Varianten nach der Getreidevorfrucht TR gegenüber ER verringert. Insgesamt konnten die ZF gegenüber der Kontrolle SB die N<sub>MIN</sub>-Werte zum November um 60 % signifikant senken und somit die potenzielle N-Auswaschungsgefahr über Winter minimieren. Im Vergleich dazu zeigten die ZF-Varianten im März höhere N<sub>MIN</sub>-Werte an. Die in Abbildung 1 gezeigte maximale N-Aufnahme der ZF lag unabhängig von der Vorfrucht stets über 100 kg N ha<sup>-1</sup>. Nach ER waren die realisierten N-Aufnahmen der ZF insgesamt am höchsten. Tendenziell wies DW dabei das höchste N-Aneignungsvermögen auf.



**Abbildung 1: Maximale N- und C-Aufnahmen der ZF-Biomasse in Abhängigkeit der Vorfrucht und im Mittel der zwei Anbaujahre. Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Vorfrucht bezogen auf die Gesamtpflanze. Unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Vorfrucht bezogen auf die Wurzelmasse (p < 0,05). fBNPP = Verhältnis Wurzel- zur Gesamtpflanze**

Bei den C- und N-Aufnahmen der Wurzeln zeigt sich signifikante Unterschied bei den ZF, wobei die winterharten Varianten im Zuge einer längeren Vegetationsperiode höhere Gehalte gegenüber GS aufweisen. Nach TR neigen die ZF insgesamt zur einer stärkeren Wurzelbildung. Bezüglich der Kohlenstoffakkumulation konnte DW nach beiden Vorfrüchten mit über  $2 \text{ t C ha}^{-1}$  die höchsten Aufnahmen verzeichnen (Abb. 1). Dies lässt sich hier auch durch eine höhere Wurzelbildung, mit durchschnittlich der Hälfte der Gesamtmasse, erklären. Ein signifikanter Unterschied in der Ertragswirkung der ZF auf eine Getreide-Folgefurcht (Erbse-ZF-Hafer) konnte für die einzelnen Erhebungsjahre 2016 - 2018 nicht festgestellt werden (Daten nicht gezeigt). Gemittelt über die Jahre konnte DW gegenüber der Kontrolle SB die Hafererträge allerdings um circa 25 % steigern.

### **Schlussfolgerungen**

Es zeigt sich, dass insbesondere beim Körnerleguminosenanbau mit höheren N-Verlusten in der Nachernteperiode zu rechnen ist. Hier führte der nachgestellte Anbau von Zwischenfrüchten zu einer nennenswerten Minimierung der umweltrelevanten N-Austräge. Der Anbau von nicht winterharten ZF stellt sich diesbezüglich unter norddeutschen Witterungsbedingungen als unvorteilhaft heraus. Eine vorzeitige Mineralisierung des zuvor gebundenen Stickstoffs kann bereits während der ZF-Periode zu einer frühzeitigeren N-Freisetzung und somit zu Verlusten führen. Unter Berücksichtigung aller Untersuchungsparameter zeigt die winterharte Untersaat-ZF das größte Potenzial für einen erfolgreichen N-Transfer über den Winter. Die im Verhältnis ausgeprägtere Wurzelbildung der Gräser wirkt sich hier begünstigend aus. Der gleichzeitig höhere C-Eintrag könnte sich langfristig positiv auf die Bodenhumusgehalte auswirken. Ergänzende hierzu werden derzeit Auswertungen zur Stickstoffmineralisierung, der Bodenkohlenstoffdynamik und dem Wurzelumsatz durchgeführt.

### **Danksagung**

Die Untersuchungen werden mit Mitteln der europäischen Innovationsförderung EIP-Agri gefördert.

### **Literatur**

- Hutchinson, G. L., & Mosier, A. R. (1981). Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. *Soil Science Society of America Journal*, 45(2), 311-316.
- Leithold et al. 2017 - Stickstoff und Schwefel im ökologischen Landbau. Verlag Dr. Köster Berlin. ISBN 978389574882
- Kaye, J. P., & Quemada, M. (2017). Using cover crops to mitigate and adapt to climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(1), 4.
- Steingrobe, B., Schmid, H., & Claassen, N. (2000). The use of the ingrowth core method for measuring root production of arable crops. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 163(6), 617-622.