

Einfluss verschiedener Zwischenfrüchte auf die Stickstoffdynamik über Winter

Einleitung

Neben dem Anbau von Futterleguminosen in Hauptfruchtstellung, der u.a. durch die Versuche zu „Cut & Carry“ im Leitbetriebsprojekt für vieharme Betriebe wieder attraktiver gemacht werden konnte, sind Zwischenfrüchte im Ökologischen Landbau eine weitere wichtige Möglichkeit zur Steigerung der betriebsinternen Stickstofffixierungsleistung und zur Verbesserung der Humusreproduktion. Weiterhin ist die Vermeidung von Nährstoffverlusten über Winter ein zentraler Aspekt des Zwischenfruchtanbaus sowohl unter dem Gesichtspunkt des Gewässerschutzes, als auch im Hinblick auf die Limitierung von Nährstoffimporten im ökologisch wirtschaftenden Betrieb. Während die Bedeutung von Zwischenfrüchten als Stickstoffsенke zur Reduzierung von Nitratverlagerung über Winter mittlerweile in Praxis, Beratung und Wissenschaft gleichermaßen akzeptiert ist, sind viele Fragen zur Wirksamkeit von Zwischenfrüchten als Stickstoffquelle für die Folgefrucht ungelöst (Sieling 2019). So werden in der Praxis trotz üppiger Zwischenfruchtbestände vor Winter oftmals nur geringe Mineralisierungsleistungen im Frühjahr beobachtet. In warmen und feuchten Wintern, wie sie im Rheinland vorherrschen, kann es nach Absterben und Blattverlusten von Zwischenfrüchten mit engem CN-Verhältnis zu sekundären Auswaschungsverlusten kommen (Bergkvist et al. 2011). Arten mit einem weiten CN-Verhältnis können nach der Einarbeitung sogar kurzfristig Stickstoff festlegen. Beides würde im Frühjahr zu geringen oder sogar negativen Auswirkungen auf die Mineralisierungsleistung führen (Kolbe et al. 2007). Inwieweit hohe N-Verluste aus der Sprossmasse nach Frosteinwirkung bzw. ein weites C/N-Verhältnisse nach Winter für diese in der Praxis beobachtete niedrige Stickstoffnachlieferung von Zwischenfrüchten im Frühjahr verantwortlich sein könnten, wird seit 2017 unter verschiedenen Standortbedingungen auf den Öko-Leitbetrieben in NRW untersucht. Interessant sind dabei aus Sicht von Beratung und Praxis v.a. folgende Fragen:

1. Wie hoch sind die N-Verluste aus der Sprossmasse der Zwischenfrüchte über Winter?
2. Wie verändert sich das CN-Verhältnis der Zwischenfrüchte über Winter?
3. Welchen Beitrag kann der „Restspross“ nach Winter zur Stickstoffversorgung der Nachfrucht leisten?

VERSUCHE ZUM ÖKOLOGISCHEN LANDBAU NORDRHEIN-WESTFALEN

Material & Methoden

In einfaktoriellen Feldversuchen wurden folgende abfrierende und überwinternde Zwischenfrüchte in vierfacher Wiederholung als Blockanlage gesät und im Vergleich zur Kontrolle (unkrautfreie Brache) getestet: Phacelia (cv. Beehappy 12 kg/ha), Ölrettich (cv. Silentina 25 kg/ha), Winterrübsen (cv. Jupiter 15 kg/ha), Sandhafer (cv. Pratex 80 kg/ha), Grünroggen (cv. Bonfire 120 kg/ha), Blaue Lupine (cv. D260, 120 kg/ha), Inkarnatklée (cv. Linkarus 30 kg/ha).

Die Aussaat auf dem Praxisbetrieb im Kreis Viersen (60 m ü. NN, 9,6 °C, 750 mm, IS-sL, 50-70 BP) erfolgte nach Möhren und Saatbettbereitung mit der Kreiselegge am 14.08.2019. Auf dem Praxisbetrieb im Kreis Borken (50 m ü. NN, 10,2 °C, 760 mm, S-sL, 20-45 BP) wurde der Zwischenfruchtversuch nach Blumenkohl am 14.08.2019 gesät. Nach der Vorfrucht Ackerbohnen wurden die Zwischenfrüchte auf dem Versuchsbetrieb Wiesengut in Hennef/Sieg (65 m ü. NN, 10,3 °C, 840 mm, sL-uL, 60 BP) nach Pflugfurche und Saatbettbereitung mit der Kreiselegge ebenfalls am 14.08.2019 gesät.

Ab Versuchsbeginn wurde monatlich der mineralisch gelöste Stickstoff in der Ackerkrume (0-30 cm) sowie vor (November) und nach Winter (Februar) jeweils einmal bis auf 90 cm analysiert. Die Stickstoff- und Kohlenstoffaufnahme in den Spross wurde vor Beginn der Frostperiode und kurz vor Umbruch der Zwischenfrüchte im darauffolgenden Frühjahr anhand von Zeiternten (jeweils 2 x 0,25 m²) ermittelt. Die Analyse erfolgte bei den abfrierenden Zwischenfrüchten getrennt nach Blatt und Stängel. Die winterharten Varianten wurden aufgrund des fehlenden Längenwachstums nicht in Spross und Blatt getrennt und auch nicht vor Winter bearbeitet.

Ergebnisse

Potential von Zwischenfrüchten zum Grundwasserschutz bestätigt

Das Potential von Zwischenfrüchten hohe Mengen Stickstoff vor Winter aufzunehmen und so die Nitratauswaschung zu verringern, ist mittlerweile weitgehend anerkannt und konnte auch unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus im Rheinland bestätigt werden. Alle nicht-legumen Zwischenfrüchte nahmen den mineralisch gelösten Stickstoff vor Winter fast vollständig auf und bewahrten ihn damit vor der Verlagerung in tiefere Bodenschichten (Abb. 1).

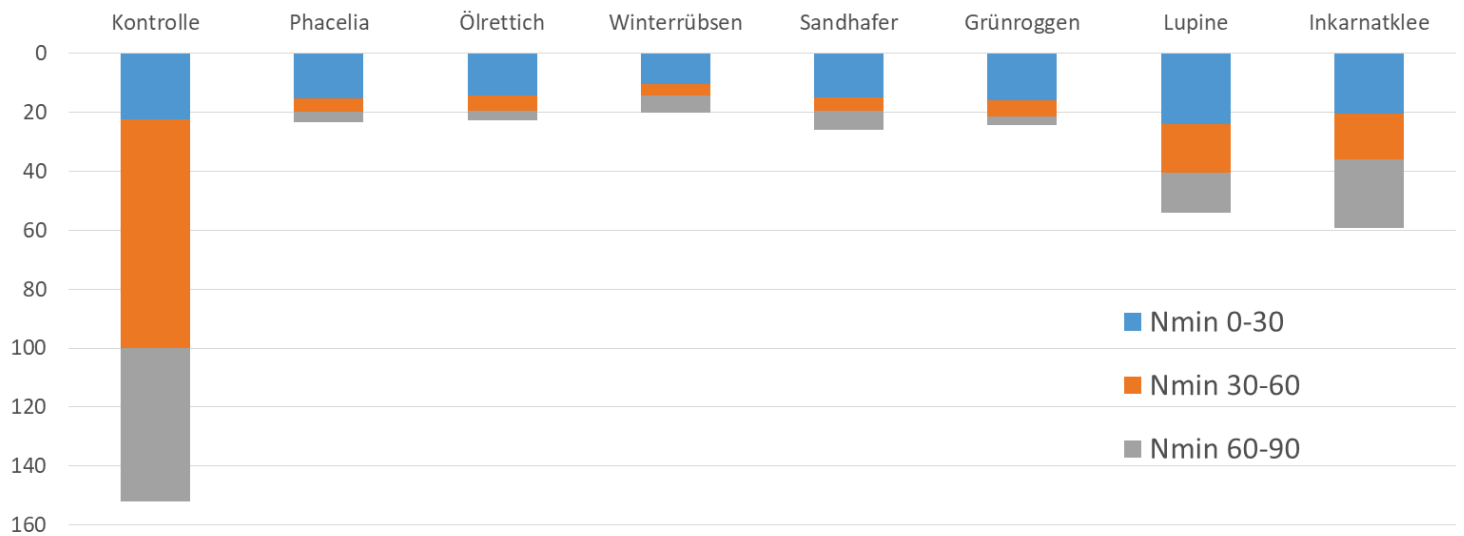
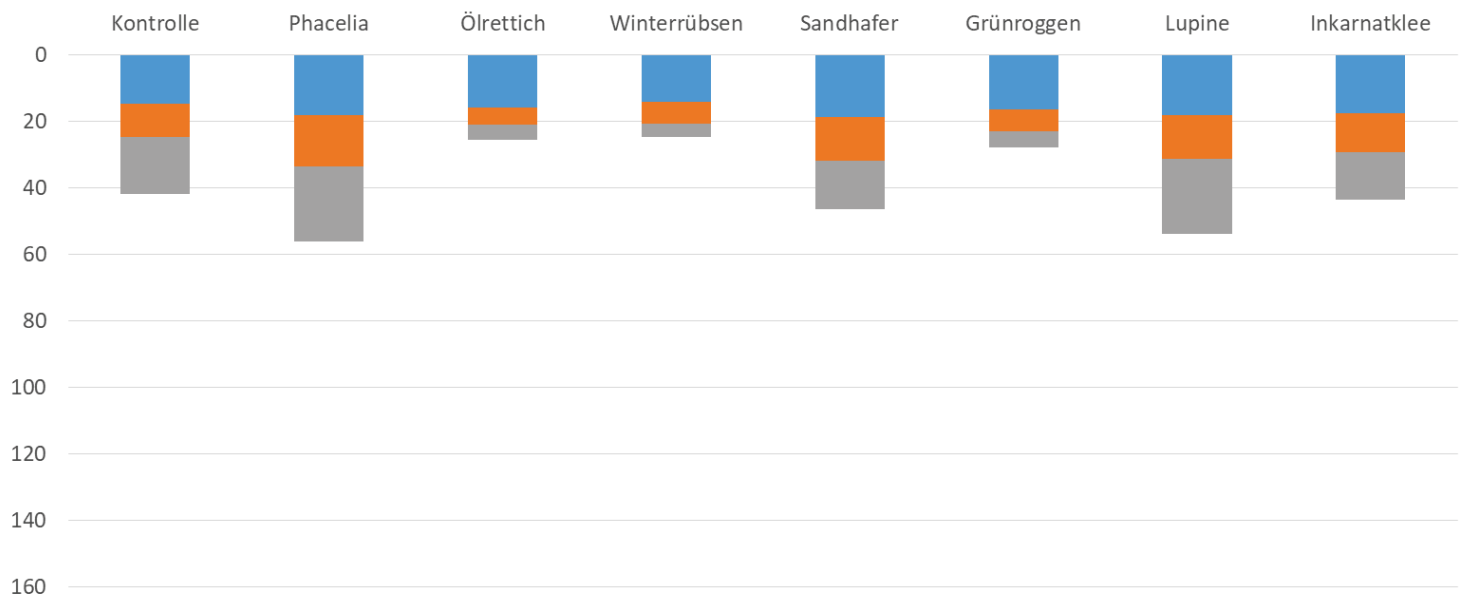
VERSUCHE ZUM ÖKOLOGISCHEN LANDBAU NORDRHEIN-WESTFALEN**Wiesengut Nmin am 13.11.2019****Wiesengut Nmin am 19.03.2020**

Abb. 1: Einfluss verschiedener Zwischenfrüchte auf die Menge an mineralisch gelösten Stickstoff (kg N/ha) in der Bodenlösung auf dem Versuchsbetrieb Wiesengut in Hennef (oben 13. November 2019 und unten 19. März 2020).

Die eigenen Ergebnisse, die hier für das Winterhalbjahr 2019/20 nur beispielhaft am Standort Wiesengut dargestellt wurden, bestätigt die zahlreichen Untersuchungen (u.a. Thorup-Kristensen 1994 und Grüner et al. 2007) zur Bedeutung von Zwischenfrüchten zur Reduzierung der Nitratverlagerung über Winter. In der unkrautfrei gehaltenen Kontrolle und auf einem niedrigeren Niveau auch unter

VERSUCHE ZUM ÖKOLOGISCHEN LANDBAU NORDRHEIN-WESTFALEN

Inkarnatklee und Lupinen wurden z.T. deutlich höhere Restnitratmengen vor Winter gemessen als in den nichtlegumem Zwischenfrüchten, was höhere Auswaschungsverluste v.a. auf leichteren Standorten und bei hohen Niederschlägen zur Folge haben könnte.

Stickstoffaufnahme in den Zwischenfruchtspross

Die Wirkung der nicht-legumem Zwischenfrüchte auf den Nitratgehalt v.a. in der oberen Bodenschicht lässt sich recht eindeutig durch die hohe Stickstoffaufnahme in die Sprossbiomasse erklären (Abb. 2). Die höchste N-Aufnahme in den Spross wurde auf dem Standort im Kreis Viersen mit ca. 140 kg N/ha bei Phacelia, Ölrettich, Winterrübsen und Sandhafer gemessen und die geringsten in den Leguminosen. Dies steht in genauem Gegensatz zu den Ergebnissen auf dem Wiesengut, an dem die höchste N-Aufnahme durch den Spross der abfrierenden Lupinen erfolgte. Auf dem Standort Borken (Abb. 3) wurden die höchsten Werte vor Winter mit 120 kg N/ha im Spross von Phacelia und den Kruziferen gemessen, die Gräser lagen aber auch nur geringfügig niedriger, die Leguminosen waren hier in ihrer Entwicklung so verzögert, dass sie nicht in die Auswertung mit einbezogen werden konnten. Etwas mehr als die Hälfte des aufgenommenen Stickstoffs wurde im Mittel aller Versuche bei den abfrierenden Zwischenfrüchten im Blatt wiedergefunden.

Nach Winter wurde auf allen drei Standorten in den abfrierenden Zwischenfruchtbeständen von Phacelia und Sandhafer deutlich weniger Stickstoff im Restspross festgestellt als bei der Zeiternte im November, Ölrettich froh bei den geringen Minusgraden im Winter 2019/20 auf keinem der Standorte richtig ab sondern wuchs bis ins Frühjahr weiter, was an den teilweise höheren Stickstoffmengen im Spross nach Winter auf allen Standorten zu erkennen ist. Bei Lupine war dies auch in Viersen der Fall, auf dem Wiesengut waren die Verluste in dieser Variante jedoch mit ca. 60 % sehr hoch.

Die Erwartung, dass bei den winterharten Arten nur mit geringen Verlusten über Winter zu rechnen sei, wurde nur bei Winterrübsen auf allen Standorten im Winter 2019/20 bestätigt, bei Grünroggen (Borken) und Inkarnatklee (Weisengut) traten dagegen auf jeweils einem Standort vglw. hohe N-Verluste aus der Sprossmasse über Winter auf, was ähnliche Ergebnisse aus den Vorjahren bestätigt.

Bei den abfrierenden Arten waren die N-Verluste aus der Blattmasse tendenziell höher als aus dem Stängel, dieser Effekt lässt sich vermutlich mit den engeren CN-Verhältnisse im Blatt erklären. Ein Zusammenhang, auf den bereits Bergkvist et al. (2011) hingewiesen haben und der bei warmer und feuchter Winterwitterung sekundäre Auswaschungsverluste nach sich ziehen kann.

VERSUCHE ZUM ÖKOLOGISCHEN LANDBAU NORDRHEIN-WESTFALEN

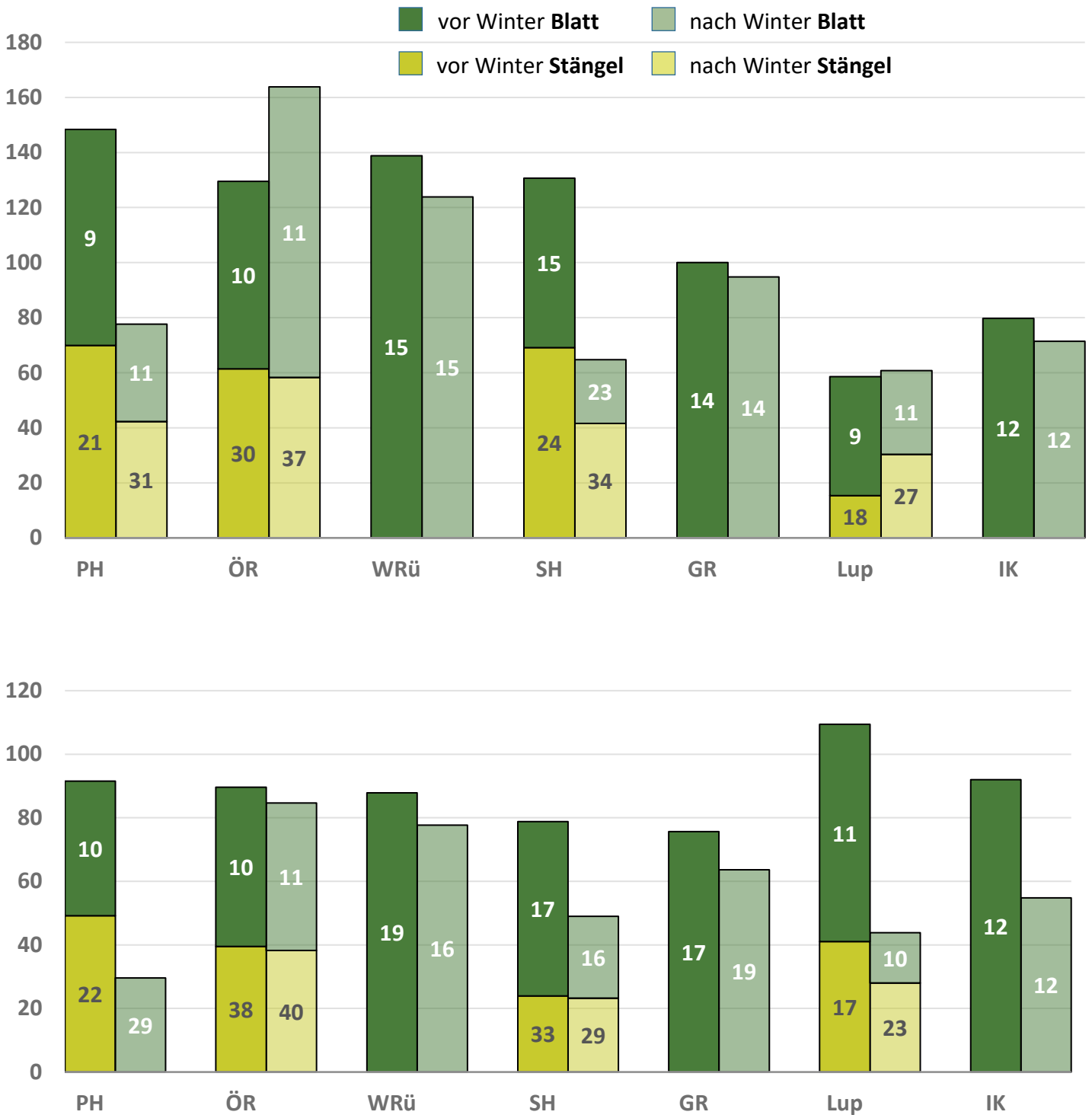


Abb. 2: Einfluss verschiedener Zwischenfrüchte auf die Stickstoffaufnahme in den Spross (Balken) und das CN-Verhältnis (Zahlen in Balken) auf zwei Standorten (oben im Kreis Viersen und unten auf dem Versuchsbetrieb Wiesengut in Hennef) vor und nach Winter 2019/20. Die Analyse erfolgte bei den abfrierenden Zwischenfrüchten getrennt nach Blatt und Stängel (PH - Phacelia, ÖR - Ölrettich, WRü - Winterrübsen, SH - Sandhafer, GR - Grünroggen)

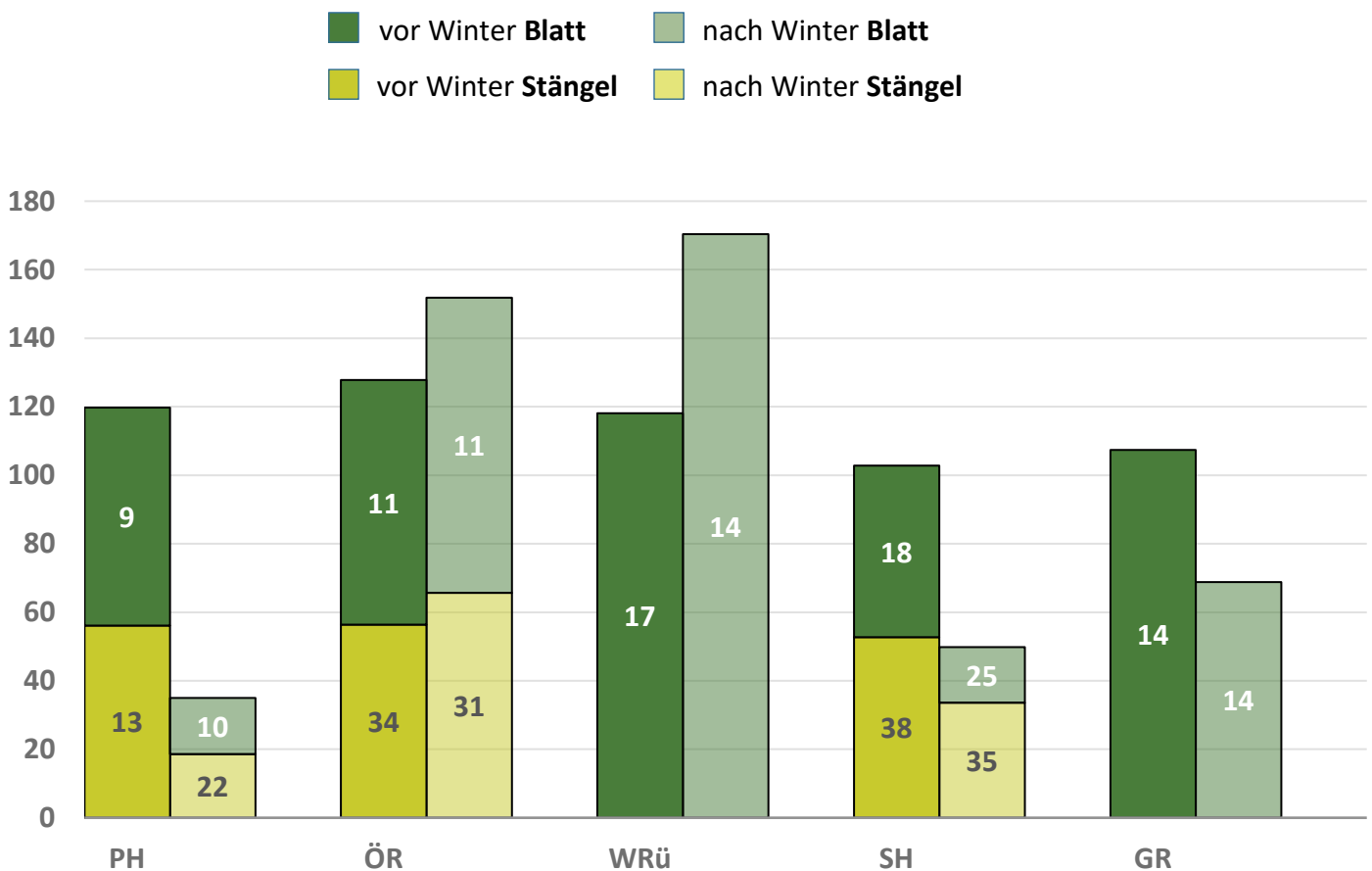
VERSUCHE ZUM ÖKOLOGISCHEN LANDBAU NORDRHEIN-WESTFALEN

Abb. 3: Einfluss verschiedener Zwischenfrüchte auf die Stickstoffaufnahme in den Spross (Balken) und das CN-Verhältnis (Zahlen in Balken) auf einem Leitbetrieb im Kreis Borken vor und nach Winter 2019/20. Die Analyse erfolgte bei den abfrierenden Zwischenfrüchten getrennt nach Blatt und Stängel (PH - Phacelia, ÖR - Ölrettich, WRü - Winterrüben, SH - Sandhafer, GR - Grünroggen)

C/N-Verhältnis im Stängel sehr weit

Um die potentielle Stickstoffnachlieferung aus den Zwischenfrüchten für die Folgekultur abschätzen zu können, wurde das C/N-Verhältnis vor und nach Winter analysiert, für die abfrierenden Arten zusätzlich getrennt nach Blatt und Stängel (Zahlen in den Balken der Abb. 2 & 3). In allen winterharten Arten und in den Blättern der abfrierenden Zwischenfrüchte (außer bei Sandhafer) war dieses Verhältnis relativ eng mit weniger als 20 und lässt damit auf eine vglw. rasche Mobilisierung nach dem Umbruch im Frühjahr hoffen. In den Stängeln aller abfrierenden Arten wurden dagegen CN-Verhältnisse von bis zu 40 gemessen. Da die N-Verluste aus der Blattmasse über Winter in diesen Varianten höher waren als in den Stängeln, wird der Einfluss des weiten C/N-Verhältnisses im Stängelanteil nach Winter noch dominanter. Diese Ergebnisse unterstützen die Beobachtungen der Praxis, wonach die Sprossreste von

VERSUCHE ZUM ÖKOLOGISCHEN LANDBAU NORDRHEIN-WESTFALEN

abfrierenden Zwischenfrüchte nur einen vglw. geringen Beitrag zur Stickstoffnachlieferung im zeitigen Frühjahr für die Nachfrucht leisten bzw. im Extremfall aufgrund der sehr weiten CN-Verhältnisse im Stängel sogar Stickstoff immobilisieren können (Cicek 2015).

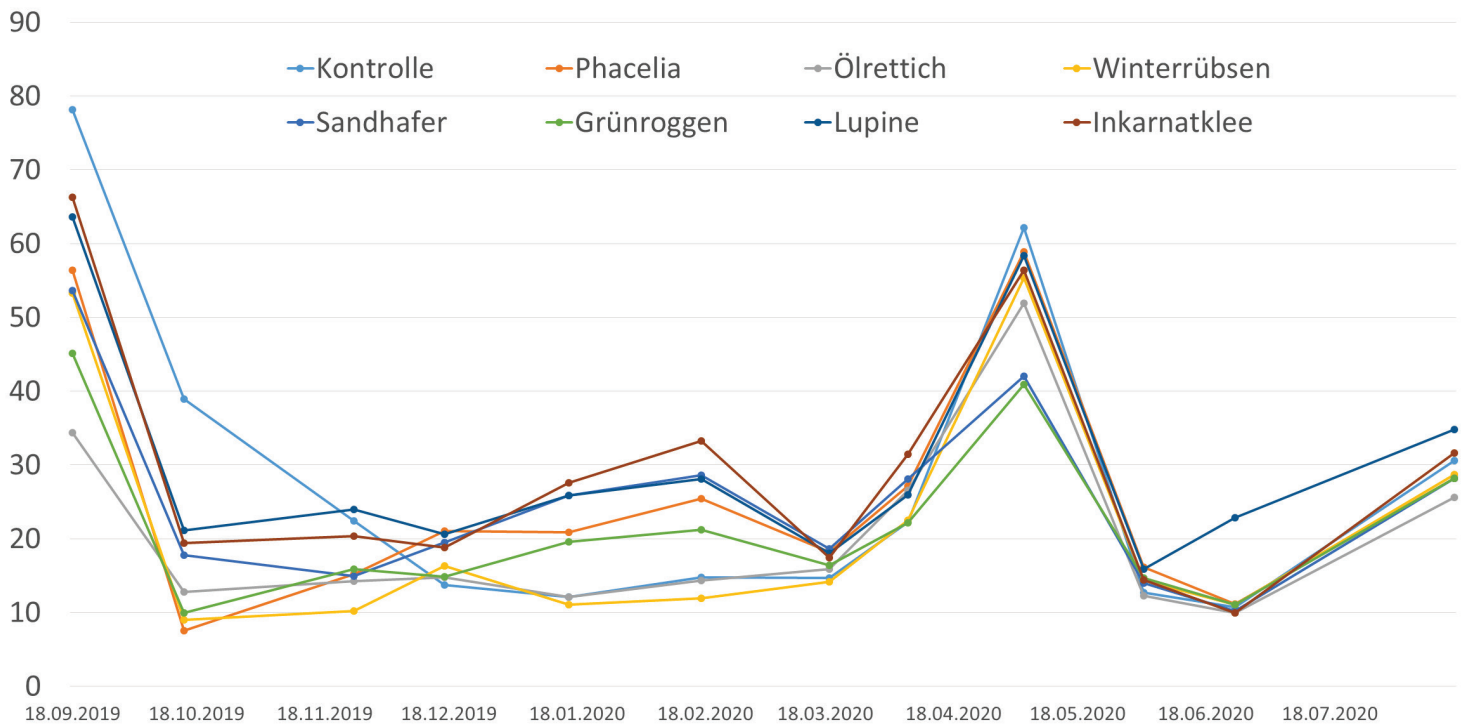


Abb. 4: Mineralisch gelöster Stickstoff in der Bodenlösung (kg N/ha) in 0-30 cm unter verschiedenen Zwischenfrüchten auf dem Versuchsbetrieb Wiesengut in Hennef im Zeitraum September 2019 bis Juli 2020 (monatliche Beprobung).

Potential zur N-Versorgung der Nachfrüchte begrenzt

Der N_{min}-Gehalt in der oberen Bodenschicht war im September 2019 auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsbetrieb der Universität Bonn nach der Ernte von Ackerbohnen mit bis zu 80 kg N/ha in der Kontrolle noch vglw. hoch (Abb. 4). Spätestens bis Oktober hatten die Zwischenfrüchte den verfügbaren Stickstoff fast vollständig aufgenommen, eine Nitratauswaschung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle konnte damit in hohem Maße (vgl. Abb. 1) vermieden werden. Auf dem Standort Wiesengut kann man anhand der Werte von November 2019 jedoch deutlich erkennen, dass sich die Entleerung der oberen Bodenschicht auch bei den Leguminosen etwas verzögert zeigte. Soll im Ökologischen Landbau von einer zusätzlichen Stickstofffixierung durch Zwischenfruchtleguminosen profitiert werden,

VERSUCHE ZUM ÖKOLOGISCHEN LANDBAU NORDRHEIN-WESTFALEN

müssen somit geeignete Mischungspartner eine zügige Aufnahme der Restnitratmengen vor Winter sicherstellen. Über Winter wurden auch bei vglw. milden Temperaturen keine bedeutenden N-Mengen mineralisiert. Erst nach dem Umbruch der Zwischenfrüchte im März wird ab April die einsetzende N-Freisetzung in allen Varianten erkennbar, wobei diese bei den Gräsern etwas niedriger ausfällt. Ende Juni liegt der Nmin-Wert auf dem Standort Wiesengut in der oberen Bodenschicht in der Variante nach Zwischenfrucht Lupine deutlich höher als in allen anderen Varianten. Diese höhere Freisetzung von Stickstoff aus der Zwischenfrucht wirkt sich zwar nicht mehr signifikant auf den Ertrag (Abb. 5) aus, dieser ist jedoch zumindest tendenziell in der Variante Lupine am höchsten ist.

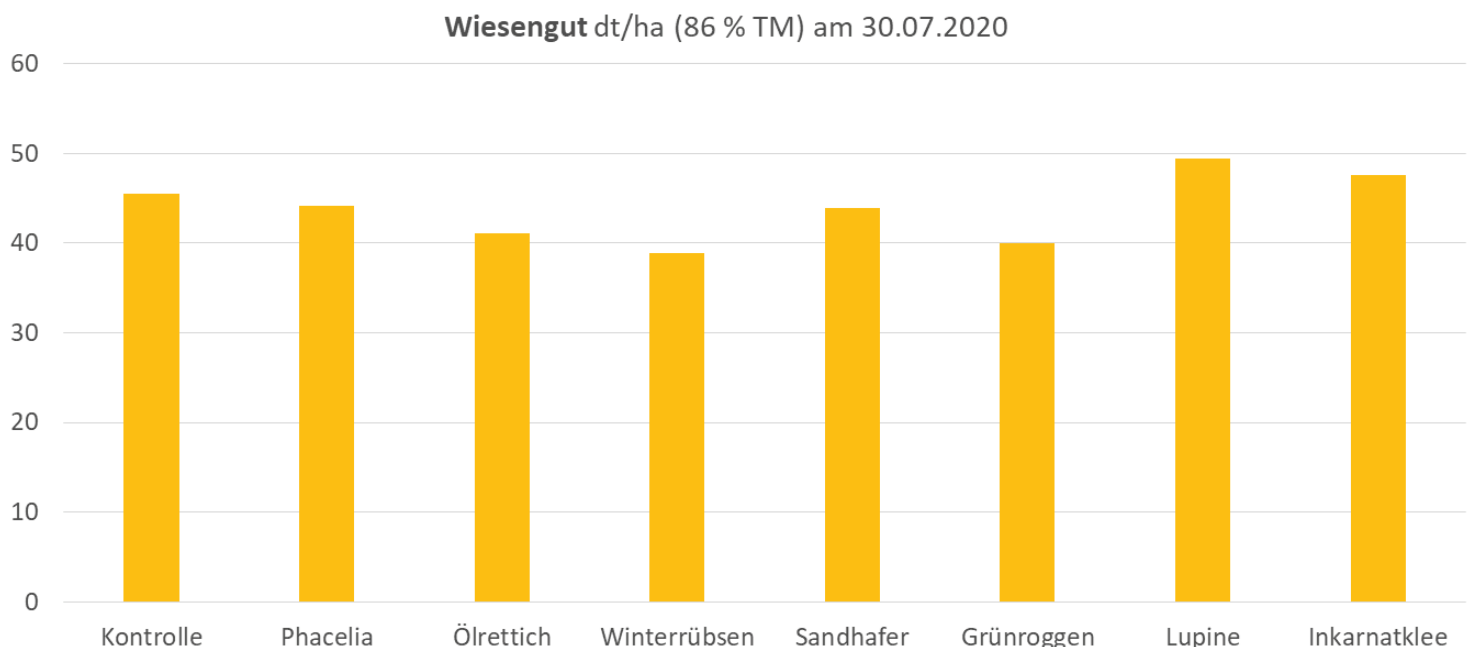


Abb. 5: Einfluss verschiedener Zwischenfrüchte auf den Kornertrag (dt/ha mit 86 % TM) der Nachfrucht Sommerweizen auf dem Versuchsbetrieb Wiesengut in Hennef am 30. Juli 2020. Unterschiede im Ertrag waren nicht signifikant (GD $\alpha = 0,05$, Tukey-Test).

Die Qualität wurde signifikant in Form eines höheren Proteingehalt im Korn (Abb. 6) durch diesen späten Mineralisierungsschub in der Variante Lupine im Vergleich zuden anderen Zwischenfruchtvarianten gesteigert; erwähnt werden muss dabei jedoch, dass vergleichbare Werte auch in der Kontrolle erzielt wurden. Kombiniert man den N-Gehalt mit dem Ertrag, so wird die Wirkung der Ende Juni höheren Mineralisierung in der Variante Lupine besonders deutlich (Abb. 7).

VERSUCHE ZUM ÖKOLOGISCHEN LANDBAU NORDRHEIN-WESTFALEN

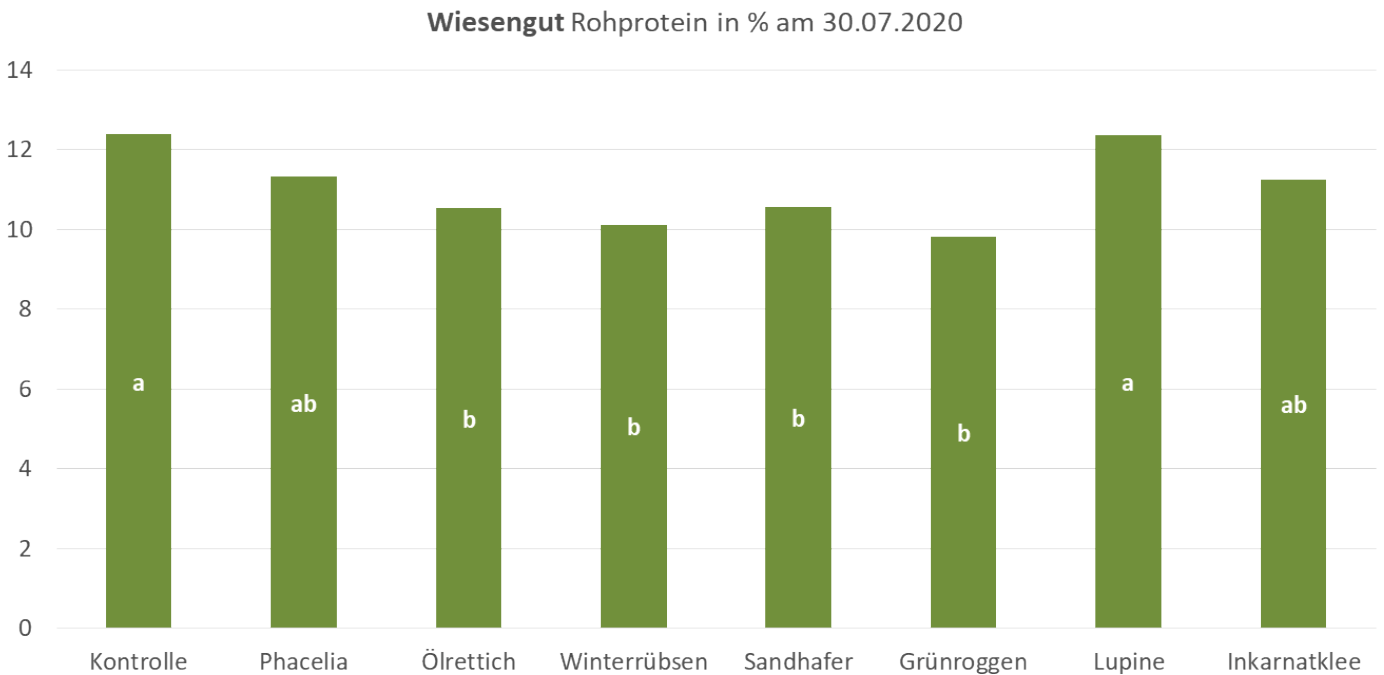


Abb. 6: Einfluss verschiedener Zwischenfrüchte auf den Rohproteingehalt (%) der Nachfrucht Sommerweizen auf dem Versuchsbetrieb Wiesengut in Hennef am 30. Juli 2020). Varianten mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (GD $\alpha = 0,05$, Tukey-Test).

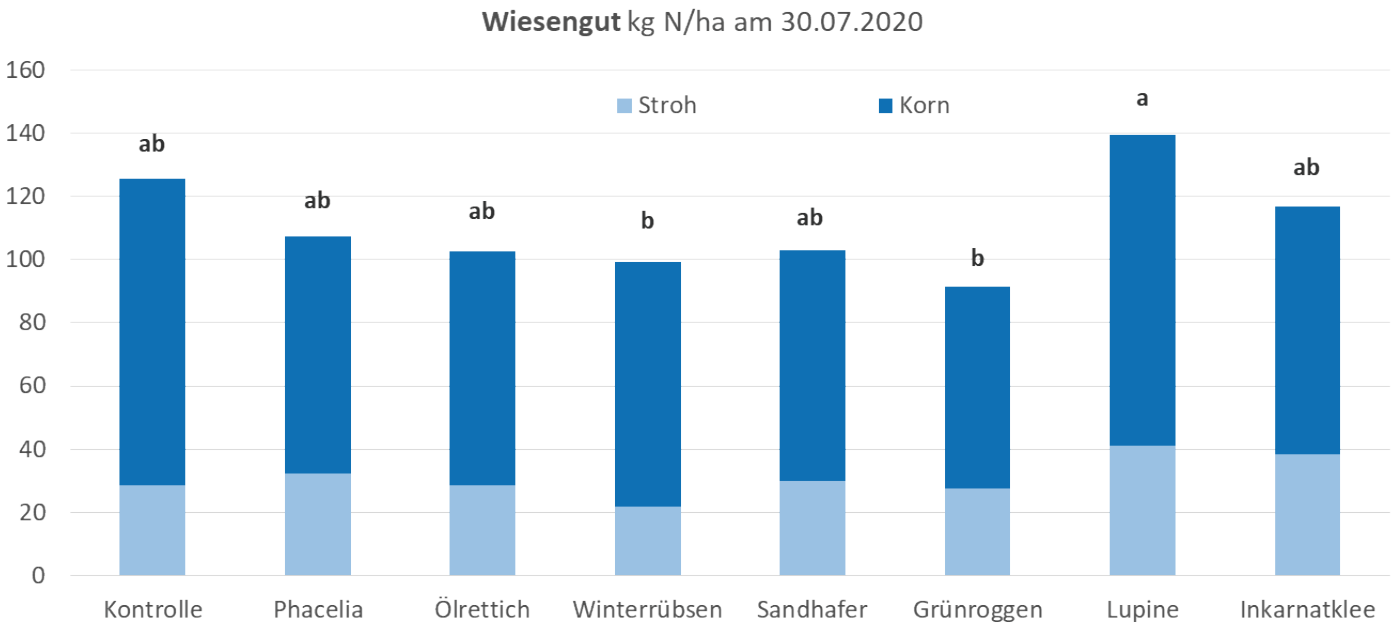


Abb. 7: Einfluss verschiedener Zwischenfrüchte auf den Kornertrag (dt/ha mit 86 % TM) der Nachfrucht Sommerweizen auf dem Versuchsbetrieb Wiesengut in Hennef am 30. Juli 2020). Varianten mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (GD $\alpha = 0,05$, Tukey-Test).

VERSUCHE ZUM ÖKOLOGISCHEN LANDBAU NORDRHEIN-WESTFALEN

Zusammenfassung

Die eigenen Versuche bestätigen, dass alle getesteten nichtlegumen Zwischenfrüchte hohe Mengen Stickstoff vor Winter aufnehmen und damit vor der Verlagerung mit dem Sickerwasser bewahren können. An Standorten mit hohen N-Einträgen bspw. aus der Tierhaltung, auf leichten Böden oder bei zu erwartenden großen Sickerwassermengen kann auf den Anbau von Zwischenfrüchten nicht verzichtet werden. Die Stickstoffkonservierung über Winter bei möglichst gleichzeitigen bedarfsgerechter Mineralisierung für die Folgefrucht im Frühjahr bleibt jedoch eine große Herausforderung und hängt neben der Winterhärte, dem CN-Verhältnis v.a. auch von den nur schwer voraussehbaren Parametern Temperatur und Niederschlag ab.

Hohe Stickstoffverluste aus der Sprossmasse über Winter v.a. bei abfrierenden Zwischenfrüchten sowie weite CN-Verhältnisse in deren Sprossresten deuten auch in den eigenen Versuchen auf ein relativ geringes Stickstoffnachlieferungspotential für die Folgefrüchte hin, wie es auch in der Praxis vielfach beschrieben wird. Im Versuchsjahr 2019/20 konnte eine erhöhte Mineralisierung aus der Zwischenfrucht nur in der Variante Lupine am Standort Wiesengut nachgewiesen werden. Da diese sehr spät im Juni erfolgte, wirkte sie sich v.a. auf den Proteingehalt der Nachfrucht Sommerweizen aus. Bei diesem Ergebnis muss jedoch unbedingt beachtet werden, dass Zwischenfruchtleguminosen nur mit geeigneten Mischungspartnern eine zügige Aufnahme der Restnitratmengen vor Winter sicherstellen.

Ausblick

Nachdem sich in den ersten Versuchsjahren zeigte, dass abfrierende Zwischenfrüchte tendenziell mehr Stickstoff vor Winter aufnehmen als winterharte, aus letzteren aufgrund des engeren CN-Verhältnisses die Freisetzung des Spross-N mit wenigen Ausnahmen jedoch tendenziell rascher erfolgte wurden im Winterhalbjahr 2020/21 auf mehreren Leitbetrieben in NRW verschiedene Mischungen aus abfrierenden und winterharten Zwischenfrüchten getestet und deren N-Transferwirkung auf die Ertragsbildung der Folgefrüchte untersucht. Ergänzt werden diese Untersuchungen zur Arteneignung seit Herbst 2021 durch Versuche zur Wirkung unterschiedlicher Bearbeitungsverfahren auf eine zeitgerechtere Mineralisierung der Zwischenfrüchte zur Ernährung der Nachfrüchte im Frühjahr.

Literatur

Bergkvist G, Stenberg M, Wetterlind J, Båth B, Elfstrand S (2011): Clover cover crops undersown in winter wheat increase yield of subsequent spring barley - Effect of N dose and companion grass. *Field Crops Research* 120, 292-298, DOI: 10.1016/j.fcr.2010.11.001

Cicek H, Thiessen Martens JR, Bamford KC, Entz MH (2015): Late-season catch crops reduce nitrate leaching risk after grazed green manures but release N slower than wheat demand. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 202, 31-41, DOI: 0.1016/j.agee.2014.12.007

Grüner A, Köppen D & Vágó I (2007) Lysimeterversuch zum Nitratverlust mit dem Sickerwasser in unterschiedlichen Bodennutzungssystemen, *Pflanzenbauwissenschaften*, 11 (1), 12-19.

Kolbe H, Schließer I & M Schuster (2007) Einfluss verschiedener Zwischenfrüchte als Vorfrüchte für die Ertrags- und Qualitätsleistung von Mais und Kartoffeln, *Zwischenfrüchte im Ökolandbau*, Schriftenreihe des LfULG, Heft 27/2010.

Sieling, K., 2019: Improved N transfer by growing catch crops - a challenge, *Journal für Kulturpflanzen*, 71 (6). 145-160, DOI: 10.5073/JfK.2019.06.01

Thorup-Kristensen K (1994) The effect of nitrogen catch crop species on the nitrogen nutrition of succeeding crops, *Fertilizer Research*, 37(3), 227–234.