

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**Schlussbericht zum Thema**  
**"Pflanzenbauliche Optimierung des Anbaus**  
**von**  
**Winterackerbohnen (*Vicia faba L.*)"**

**FKZ: 2815EPS007**

**Projektnehmer: Georg-August-Universität Göttingen**

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft auf Grund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen der BMEL Eiweißpflanzenstrategie.

# Abschlussbericht

**BLE FKZ 2815EPS007**

## Pflanzenbauliche Optimierung des Anbaus von Winterackerbohnen (*Vicia faba* L.)

Georg-August-Universität Göttingen

Zuwendungsempfänger: Georg-August-Universität Göttingen	Förderkennzeichen: 2815EPS007
Vorhabenbezeichnung: Pflanzenbauliche Optimierung des Anbaus von Winterackerbohnen ( <i>Vicia faba</i> L.)	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2018 – 31.12.2020	

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft



Projektträger Bundesanstalt  
für Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Abschlussbericht

**BLE FKZ 2815EPS007**

# Pflanzenbauliche Optimierung des Anbaus von Winterackerbohnen (*Vicia faba* L.)

## I Aufgabenstellung

1. Die hauptsächliche Aufgabe des Projekts bestand darin, eine praktikable pflanzenbauliche Lösung dafür zu finden, die hohen Nmin-Mengen ( $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ , kg N/ha) im Boden, die regelmäßig während der Wintermonate in Winterackerbohnen gefunden werden, deutlich zu senken. Damit soll das Risiko einer Verlagerung von Nitrat in größere Bodentiefen und Auswaschung ins Grundwasser verringert werden. Dieses Vorhabenziel sollte durch zwei Ansätze erreicht werden. In beiden Fällen wurde Hafer (Sommerhafer, *Avena sativa*, Sorte Harmony) nach der Getreidevorfrucht etabliert. Ansatz 1: Anfang Oktober wurden die Winterackerbohnen zwischen die Haferreihen gesät (Direktsaatmaschine). Ansatz 2: Anfang Oktober wurde ein Gemenge aus Winterackerbohnen und Wintertriticale zwischen die Haferreihen gesät. Als Referenz zum Gemenge wurde in gleicher Weise eine Wintertriticale-Reinsaat angelegt. Eine Zeitlang standen die Winterackerbohnen und die Gemenge sowie die Wintertriticale als Untersaat im Hafer. Gedanken dabei sind, dass (a) der vorausgehende Hafer die Nmin-Mengen im Boden absenkt und den Stickstoff über die Sickerperiode konserviert, und dass (b) sich nach dem kältebedingten Absterben des Hafers über Winter die Winterackerbohnen bzw. die Wintertriticale und das Winterackerbohnen-Wintertriticale-Gemenge ungestört entwickeln. Zum Vergleich wurden Sommerackerbohnen und ein Sommerackerbohnen-Sommertriticale-Gemenge sowie eine Sommertriticale-Reinsaat angebaut.

Die Hypothesen waren:

- (1) Die Hafer-Zwischenfrucht verringert signifikant die Nmin-Mengen im Boden über Winter in den angebauten Feldfrucht-Reinsaat.
- (2) Der Gemengeanbau von Winterackerbohnen und Triticale verringert zusätzlich die Nmin-Mengen im Boden über Winter.
- (3) Die Biomasse des Hafers dämpft die Witterungseinflüsse über Winter und senkt dadurch die Auswinterungsgefahr für die Winterackerbohnen.
- (4) Die Kornerträge der Winterackerbohnen sind höher als die Kornerträge der Sommerackerbohnen.

2. Zur Durchführung dieses Projekts konnten für zwei Vegetationsperioden, 2018/19 und 2019/20, geeignete Flächen (Auenlehm) auf dem Versuchsgut Reinshof der Universität Göttingen genutzt werden. Technische Assistenz stand sowohl für die Arbeiten im Feld als auch im Labor zur Verfügung. Die wissenschaftliche Betreuung war durch das wissenschaftliche Personal der Abteilung Pflanzenbau der Universität Göttingen gewährleistet. Die Versuchsvarianten sind in Tab. 1 wiedergegeben.

Tab. 1: Die Versuchsvarianten, ZF = Zwischenfrucht Hafer, WAB = Winterackerbohne, SAB = Sommerackerbohne, WT = Wintertriticale, ST = Sommertriticale.

Variante	ZF	über Winter	Frühling/Sommer
1	kein Hafer	WAB Augusta	WAB Augusta
2	kein Hafer	WAB Malibo	WAB Malibo
3	kein Hafer	WT Tulus	WT Tulus
4	kein Hafer	Augusta-Tulus	Augusta-Tulus
5	kein Hafer	Malibo-Tulus	Malibo-Tulus
6	Hafer	WAB Augusta	WAB Augusta
7	Hafer	WAB Malibo	WAB Malibo
8	Hafer	WT Tulus	WT Tulus
9	Hafer	Augusta-Tulus	Augusta-Tulus
10	Hafer	Malibo-Tulus	Malibo-Tulus
11	Hafer	Hafer bleibt	SOB Fanfare
12	Hafer	Hafer bleibt	ST Somtri
13	Hafer	Hafer bleibt	Fanfare-Somtri
14	–	Schwarzbrache	Schwarzbrache

3. Der Feldversuch und die zugehörigen Laborarbeiten konnten wie geplant durchgeführt werden.

4. (a) Sommerzwischenfrüchte werden aus unterschiedlichen Beweggründen angebaut. Einer dieser Gründe ist das Festhalten von Nährstoffen im Ackerboden, insbesondere das Überführen von residuellem Stickstoff in Pflanzenmasse. Weniger bearbeitet ist bisher die Frage, inwieweit es möglich ist, eine nachfolgende Winterung in den stehenden Zwischenfruchtbestand einzusäen. Dieser Ansatz wurde hier verfolgt. Das Vorgehen, Winterackerbohnen in einen Hafer-Zwischenfruchtbestand zu säen, ist soweit erkennbar noch nicht bearbeitet worden. (b) Schutzrechte wurden nicht benutzt.

(c) Verwendete Fachliteratur

Abdalla, M., Hastings, A., Cheng, K., Yue, Q., Chadwick, D., Espenberg, M., Truu, J., Rees, R.M., Smith, P., 2019: A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity. *Global Change Biology* 25, 2530-2543.

Armstrong, R.D., Mc Cosker, K., Johnson, S.B., Walsh, K.B., Millar, G., Kuskopf, B., Standley, J., Probert, M.E., 1999: Legume and opportunity cropping systems in central Queensland. 1. Legume growth, nitrogen fixation, and water use. *Australian Journal of Agricultural Research* 50, 909-924.

Basche, A.D., Kaspar, T.C., Archontoulis, S.V., Jaynes, D.B., Sauer, T.J., Parkin, T.B., Miguez, F.E., 2016: Soil water improvements with the long-term use of a winter rye cover crop. *Agricultural Water Management* 172, 40-50.

de Bertoldi, C., de Leo, M., Braca, A., Ercoli, L., 2009: Bioassay-guided isolation of allelochemicals from *Avena sativa* L.: allelopathic potential of flavone C-glycosides. *Chemoecology* 19, 169-176.

Duzdemir, O., Ece, A., 2011: Determining relationships among plant characteristics related to plant seed yield of broad bean (*Vicia faba* L.) sown in winter and summer seasons in transitional climate areas of Turkey. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 17, 73-82.

Flood, H.E., Entz, M.H., 2019: Effects of a fall rye cover crop on weeds and productivity of *Phaseolus* beans. *Canadian Journal of Plant Science* 99, 22-33.

Helenius, J. & Jokinen, K., 1994: Yield advantage and competition in intercropped oats (*Avena sativa* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) – application of the hyperbolic yield-density model. *Field Crops Research* 37, 85-94.

Janusauskaite, D., Feiziene, D., Feiza, V., 2019: Comparative response of spring and winter triticale productivity and bioethanol yield to fertilisation intensity. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B Soil and Plant Science* 69, 95-104.

Joyce, B.A., Wallender, W.W., Mitchell, J.P., Huyck, L.M., Temple, S.R., Brostrom, P.N., Hsiao, T.C., 2002: Infiltration and soil water storage under winter cover cropping in California's Sacramento Valley. *Transactions of the ASAE* 45, 315-326.

Kutschera, L., Lichtenegger, E., Sobotik, M., 2018: *Wurzelatlas der Kulturpflanzen gemäßigter Gebiete mit Arten des Feldgemüsebaues*. DLG-Verlag; Frankfurt am Main. 2. Auflage.

Müller, U., 1984: Wasserhaushalt von Ackerbohne und Hafer auf Löß-Parabraunerde. Dissertation Universität Göttingen.

Neuschwandtner, R., Kaul, H.-P., 2015: Limited winter survival and compensation mechanisms of yield components constrain winter faba bean production in Central Europe. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B Soil and Plant Science* 65, 496-505.

Qi, Z.M., Helmers, M.J., 2010: Soil water dynamics under winter rye cover crop in Central Iowa. *Vadose Zone Journal* 9, 53-60.

Restovich, S.B., Andriulo, A.E., Portela, S.I., 2012: Introduction of cover crops in a maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field Crops Research* 128, 62-70.

Singh, G., Thilakarathne, A.D.G.M., Williard, K.W.J., Schoonover, J.E., Cook, R.L., Gage, K.L., McElroy, R., 2020: Tillage and legume non-legume cover cropping effects on corn-soybean production. *Agronomy Journal* 112, 2636-2648.

Streit, J., Meinen, C., Nelson, W.C.D., Siebrecht-Schöll, D.J., Rauber, R., 2019: Above- and belowground biomass in a mixed cropping system with eight novel winter faba bean genotypes and winter wheat using FTIR spectroscopy for root species discrimination. *Plant and Soil* 436, 141-158.

Stülpnagel, R., 1982: Schätzung der von Ackerbohnen symbiontisch fixierten Stickstoffmenge im Feldversuch mit der erweiterten Differenzmethode. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* 151, 446-458.

Sturm, D. J.; Peteinatos, G., Gerhards, R., 2018: Contribution of allelopathic effects to the overall weed suppression by different cover crops. *Weed Research* 58, 331-337.

Stute, J.k., Posner, J.L., 1995: Legume cover crops as a nitrogen source for corn in an oat-corn rotation. *Journal of Production Agriculture* 8, 385-390.

Vyn, T.J., Faber, J.G., Janovicek, K.J., Beauchamp, E.G., 2000: Cover crop effects on nitrogen availability to corn following wheat. *Agronomy Journal* 92, 915-924.

Ward, P.R., Flower, K.C., Cordingley, N., Weeks, C., Micin, S.F., 2012: Soil water balance with cover crops and conservation agriculture in a Mediterranean climate. *Field Crops Research* 132, 33-39.

Williams, A., Wells, M.S., Dickey, D.A., Hu, S.J., Maul, J., Raskin, D.T., Reberg-Horton, S.C., Mirsky, S.B., 2018: Establishing the relationship of soil nitrogen immobilization to cereal rye residues in a mulched system. *Plant and Soil* 426, 95-107.

## **II Eingehende Darstellungen**

(1) Die Witterungsverhältnisse in den beiden Versuchsjahren sind in Abb. 1 wiedergegeben. Das erste Versuchsjahr war gekennzeichnet durch den trockenen Herbst 2018. In beiden Versuchsjahren waren die Winter vergleichsweise mild, sodass es – entgegen Hypothese 3 – zu keiner Auswinterung bei den Ackerbohnen kam. Der oberirdische Aufwuchs des Hafers betrug im Januar 2019 (erstes Versuchsjahr) 9,8 dt TM/ha. Im Januar 2020 (zweites Versuchsjahr) lag dieser Wert bei 16,4 dt TM/ha. In beiden Versuchsjahren gab es bei den Hafer-Trockenmassen Zuwächse vom Dezember der Vorjahres bis zum Januar. Im ersten Versuchsjahr starb die Hafer-Zwischenfrucht über Winter nur teilweise ab. Überlebende Haferpflanzen wurden per Handhacke entfernt. Im zweiten Versuchsjahr überlebte der Hafer den Winter vollständig. Die Haferpflanzen wurden durch den Einsatz von Herbiziden (Wirkstoffe Prosulfocarb und Pendimethalin) abgetötet.

### **Feldaufgang**

Im ersten Versuchsjahr wiesen die Winterackerbohnen-Reinsaaten in den Parzellen ohne Hafer-Zwischenfrucht einen Feldaufgang von über 90 % auf. In den Parzellen mit Hafer-Zwischenfrucht waren die Feldaufgänge mit nur 58 % signifikant niedriger. Dasselbe Bild zeigte sich auch für die Wintertriticale und in den Gemengeparzellen, sowohl für die Winterackerbohnen als auch für die Wintertriticale. Im zweiten Versuchsjahr erreichte der Feldaufgang im Mittel der Varianten ohne die Hafer-Zwischenfrucht ebenfalls Werte über 90 %, nach Hafer-Zwischenfrucht nur 62 %.

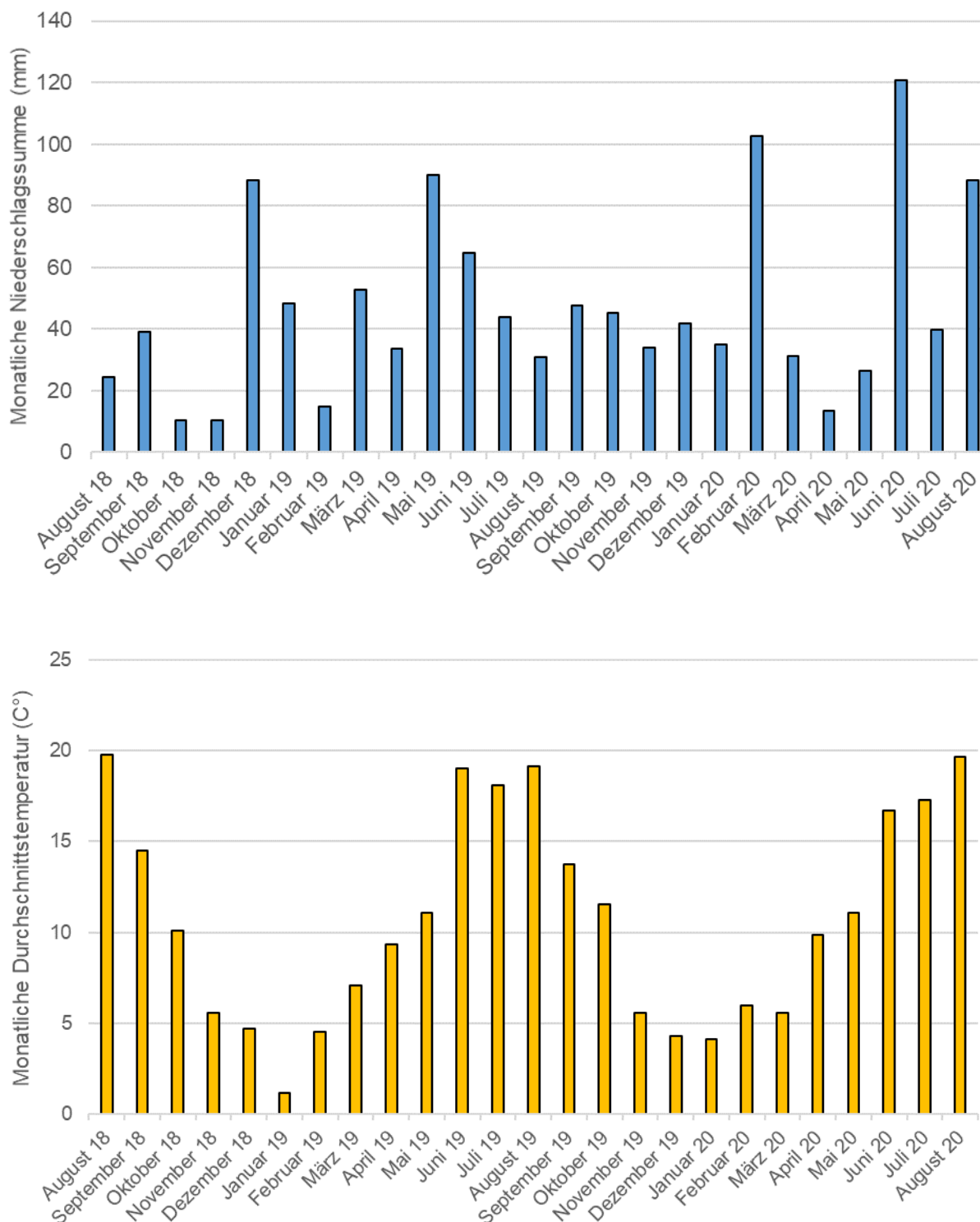


Abb. 1: Monatliche Niederschlagssumme (mm) und monatliche Durchschnittstemperatur (°C) im Versuchszeitraum von August 2018 bis August 2020, gemessen an der Wetterstation Göttingen.

### Nmin-Mengen zu Versuchsbeginn

Zu Versuchsbeginn, der Aussaat der Hafer-Zwischenfrucht am 30. April 2018 und am 11. September 2019, beliefen sich die Nmin-Mengen im ersten Versuchsjahr auf 46,20 (0-30 cm), 9,62 (30-60 cm), 3,75 (60-90 cm), insgesamt 59,57 kg N/ha und im zweiten Versuchsjahr auf



56,91 (0-30 cm), 11,62 (30-60 cm) und 3,87 (560-90 cm), insgesamt 72,40 kg N/ha. In beiden Versuchsjahren war Nmin vor allem im Oberboden (0-30 cm) vorzufinden. Zur Tiefe hin nahmen die Nmin-Mengen rasch ab.

### Nmin Mengen im Oktober

Im Oktober lagen die Nmin-Mengen im ersten Versuchsjahr mit Hafer bei etwa 70 kg N/ha, ohne Hafer bei etwa 85 kg N/ha. Dieser Unterschied war statistisch nicht signifikant. Im zweiten Versuchsjahr wiesen die Parzellen mit Hafer niedrigere Nmin-Mengen auf als im ersten Jahr und ohne Hafer höhere Nmin-Mengen als im ersten Versuchsjahr. Die Unterschiede zwischen den Hafervarianten waren statistisch signifikant (Abb. 2). Diese Jahresunterschiede erklären sich aus den verschiedenen Witterungsverhältnisse (Abb. 1): Im Gegensatz zum sehr trockenen ersten Versuchsjahr (9,8 dt TM/ha, N-Aufnahme 36 kg N/ha) konnte der Hafer im zweiten, etwas weniger trockenen Versuchsjahr bis zum Winter eine um den Faktor 1,7 größere Trockenmasse aufbauen und mit 50 kg N/ha auch mehr Stickstoff aus dem Boden aufnehmen als im ersten Versuchsjahr.

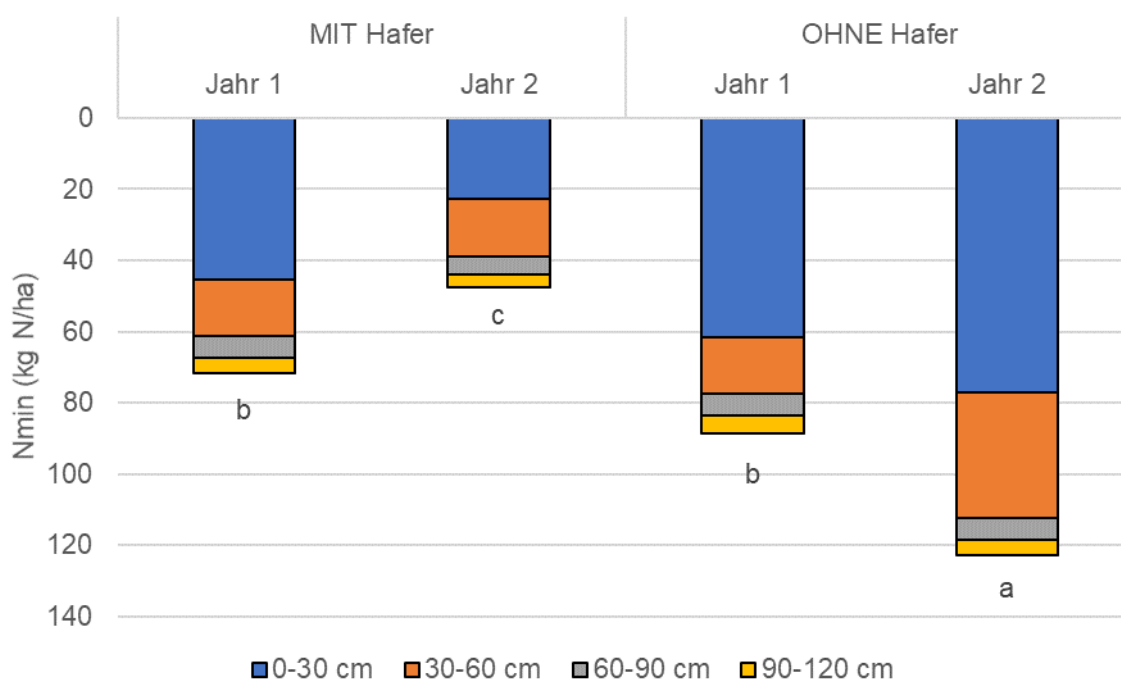


Abb. 2: Nmin-Menge im Boden in einer Tiefe von 0-120 cm zur Aussaat der Winterungen (Winterackerbohnen, Wintertriticale und Gemenge Winterackerbohnen/Wintertriticale) im Oktober 2018 (Jahr 1) und im Oktober 2019 (Jahr 2). Werte mit verschiedenen Kleinbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede,  $p \leq 0,05$  (Tukey-Test). Angaben beziehen sich auf die Höhe der Gesamtsäule.

### Nmin-Mengen im Januar

Im Januar beider Versuchsjahre waren die Nmin-Mengen (kg N/ha) unter den Winterackerbohnen ohne vorausgegangene Hafer-Zwischenfrucht etwa so groß wie unter der Schwarzbrache (Brache ohne Hafer). In allen Fällen waren dies über 100 kg N/ha (0-120 cm). Die

Nmin-Mengen unter den Winterackerbohnen nach Hafer-Zwischenfrucht waren – entsprechend Hypothese 1 – deutlich geringer als ohne Hafer ( $p \leq 0,001$ ). Der prozentuale haferbedingte Rückgang der Nmin-Werte bei den Winterackerbohnen war in den beiden Versuchsjahren ähnlich: im ersten Versuchsjahr 46 %, im zweiten Versuchsjahr 44 %. Allerdings erreichten die Nmin-Mengen in den ehemaligen Haferparzellen immer noch Werte um 60 kg/ha. Wesentliche Unterschiede zwischen den Winterackerbohnen-Sorten gab es nicht (Abb. 3).

Die Nmin-Mengen in den Wintertriticale-Parzellen erreichten ähnliche Werte wie in den Winterackerbohnen-Parzellen, sowohl mit als auch ohne Hafer-Zwischenfrucht. Im Mittel der beiden Versuchsjahre betrug der Rückgang der Nmin-Werte durch den Hafer bei der Wintertriticale 57 %. Die Nmin-Mengen in den Gemengen entsprachen bis auf eine Ausnahme den Nmin-Mengen in den Reinsaaten. Die Ausnahme ist das Gemenge aus Malibo und Tulus im zweiten Versuchsjahr. Dieses Gemenge wies besonders in den Bodenschichten 30-90 cm erheblich mehr Nmin auf als die Reinsaaten. Insgesamt bedeutet dies, dass die Gemenge –

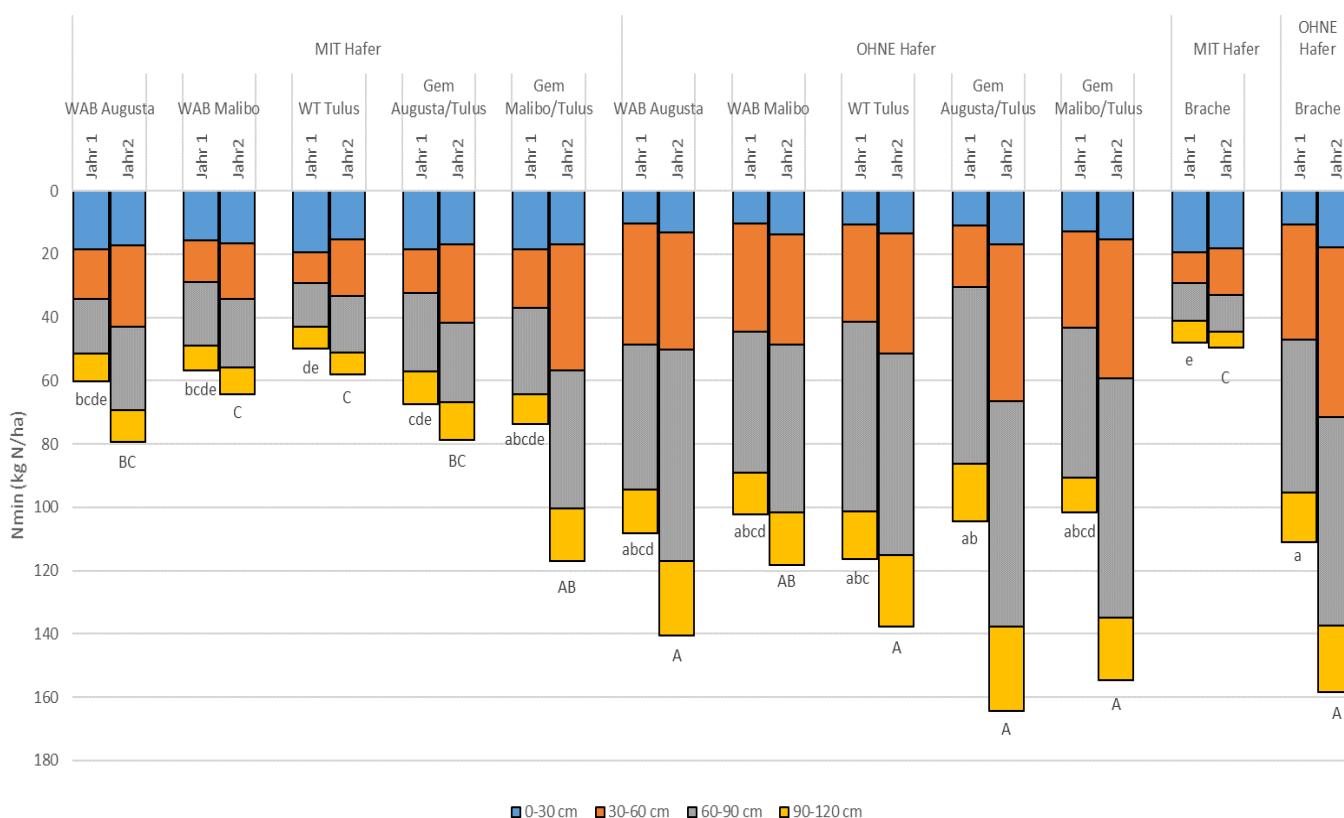


Abb. 3: Nmin-Menge im Boden in einer Tiefe von 0-120 cm zu Vegetationsende im Januar 2019 (Jahr 1) und im Januar 2020 (Jahr 2). Werte mit verschiedenen Kleinbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede innerhalb des ersten Versuchsjahres, Werte mit verschiedenen Großbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede innerhalb des zweiten Versuchsjahres,  $p < 0,05$  (Tukey -Test). Angaben beziehen sich auf die Höhe der Gesamtsäule.

entgegen Hypothese 2 – nicht in der Lage waren, die Nmin-Mengen gegenüber den Reinsaaten der Gemengepartner abzusenkten. Die Hafer-Zwischenfrucht konnte in beiden Versuchsjahren im Gemenge Augusta/Tulus die Nmin-Menge signifikant absenkten, im Gemenge Malibo/Tulus aber nicht. Diese Wechselwirkung ist signifikant ( $p \leq 0,05$ ). In den Gemengen war der Hafereffekt also nicht einheitlich (Abb. 3). Im Mittel der beiden Versuchsjahre betrug bei den Gemengen der haferbedingte Rückgang der Nmin-Mengen 35 %.

In beiden Versuchsjahren waren in den Parzellen ohne Hafer-Zwischenfrucht die Nmin-Mengen vor allem in den tieferen Bodenschichten größer als in den Parzellen mit Hafer-Zwischenfrucht. Dies unterstützt die These, dass der Hafer Stickstoff aufgenommen und vor der Verlagerung in tiefere Bodenschichten bewahrt hat (Abb. 3).

Die Nmin-Mengen in den Brache-Parzellen nach Zwischenfrucht Hafer entsprachen etwa den Nmin-Mengen in den Parzellen, die mit den Winterackerbohnen, der Wintertriticale oder den Gemengen, jeweils ebenfalls nach Hafer, bestellt waren. In der Brache nach Zwischenfrucht Hafer lagen die Nmin-Werte weit unter den Nmin-Werten der Brache ohne Hafer (Abb. 3).

In allen Varianten waren die Nmin-Mengen im zweiten Versuchsjahr größer als im ersten Versuchsjahr ( $p \leq 0,001$ ). Dies gilt für die Reinsaaten und die Gemenge und auch für die Schwarzbrache (Brache ohne Hafer). Die Unterschiede zwischen den Jahren erreichten teilweise 50 kg N/ha. Lediglich unter der Brache nach Zwischenfrucht Hafer lagen die Nmin-Werte zum einen vergleichsweise niedrig und zum anderen in den beiden Versuchsjahren praktisch gleichauf (Abb. 3). Die niedrigeren Nmin-Mengen im ersten Versuchsjahr erklären sich aus dem besonders trockenen Herbst 2018 (Abb. 1).

Obwohl sich die absoluten Nmin-Mengen in den beiden Versuchsjahren signifikant unterschieden, war der prozentuale haferbedingte Rückgang in beiden Jahren ähnlich. Er betrug über alle Varianten gemittelt im ersten Versuchsjahr 42 % und im zweiten Versuchsjahr 44 %, gemittelt über die beiden Versuchsjahre also 43 %.

### **Überwinterung des Hafers**

In beiden Versuchsjahren starb die Haferzwischenfrucht nicht – wie eingeplant – über Winter vollständig ab. Nachbehandlungen (Hacken, Herbizide) waren in beiden Versuchsjahren unumgänglich.

### **Nmin-Mengen im März**

Wie beim Termin im Januar gab es auch im März keine wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Winterackerbohnen-Sorten, weder in Reinsaat noch im Gemenge. Auch im März beider Versuchsjahre waren die Nmin-Mengen unter den Winterackerbohnen mit vorausgegangener Hafer-Zwischenfrucht signifikant kleiner als ohne Hafer-Zwischenfrucht (Abb. 4). Für die anderen Varianten konnte jedoch kein merklicher Effekt des Hafers festgestellt werden. Diese Wechselwirkung ist signifikant ( $p \leq 0,001$ ). In den Parzellen der Wintertriticale und der Gemenge waren die Nmin-Mengen ähnlich hoch wie in den Winterackerbohnen. Die Gemenge konnten somit – vergleichbar mit dem Januar-Termin – auch zu Vegetationsbeginn im März die Nmin-Mengen nicht zusätzlich absenken. Im Gegensatz zum Januar waren im März die Nmin-Mengen im ersten Versuchsjahr größer als im zweiten ( $p \leq 0,001$ ). Dies beruhte vor allem auf höheren Nmin-Mengen in der Bodenschicht 0-30 cm im ersten Versuchsjahr (Abb. 4). Im Hinblick auf die Niederschläge und Temperaturen waren in beiden Versuchsjahren die Mineralisierungsbedingungen zwischen Januar und März günstig (Abb. 1). Offensichtlich führte eine stärkere Nachmineralisation im ersten Versuchsjahr nach dem sehr trockenen Herbst 2018 zu den höheren Nmin-Mengen im März 2019.

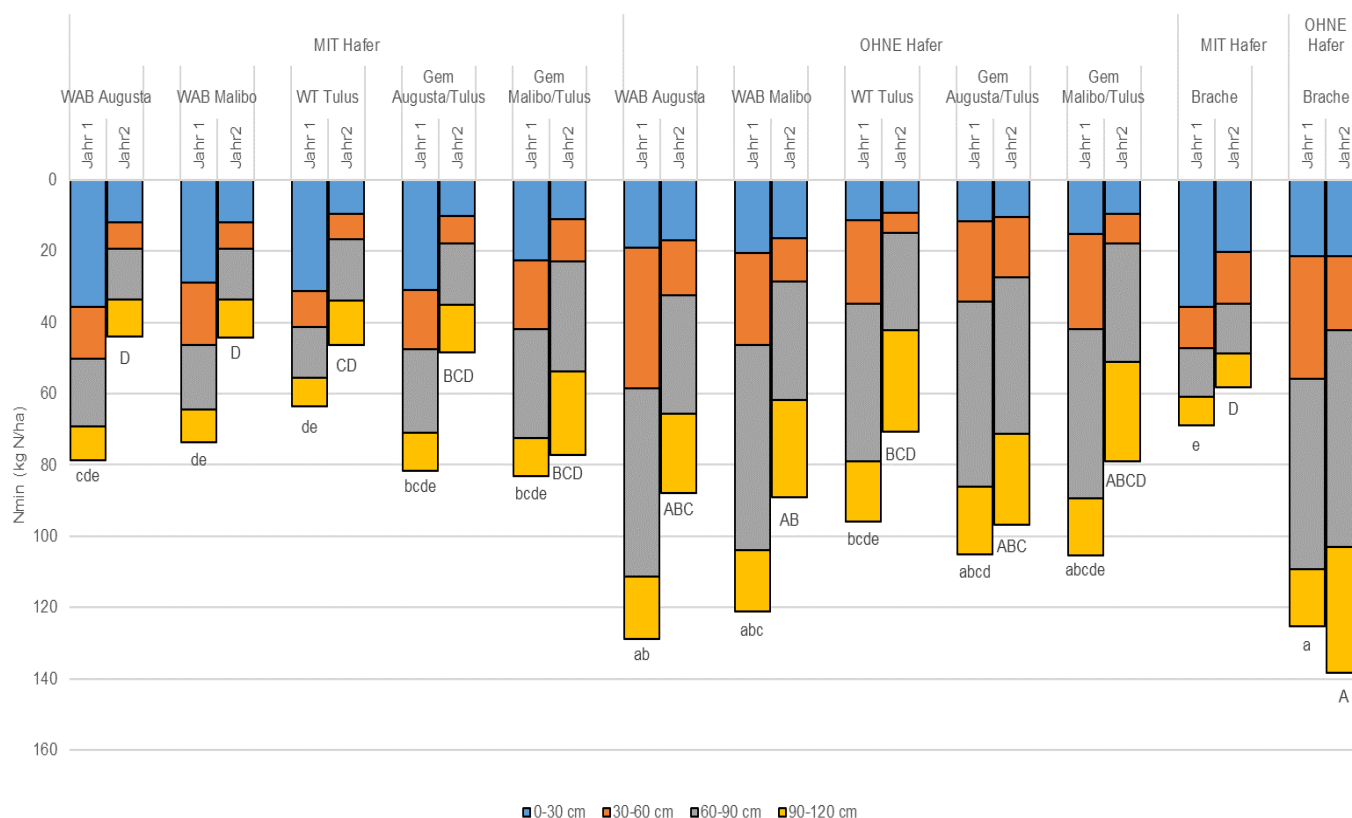


Abb. 4: Nmin-Menge im Boden in einer Tiefe von 0-120 cm zu Vegetationsbeginn im März 2019 (Jahr 1) und im März 2020 (Jahr 2). Werte mit verschiedenen Kleinbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede innerhalb des ersten Versuchsjahres, Werte mit verschiedenen Großbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede innerhalb des zweiten Versuchsjahres,  $p \leq 0,05$  (Tukey -Test). Angaben beziehen sich auf die Höhe der Gesamtsäule.

### Symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierung

Die symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierung der Winterackerbohnen wurde zum Zeitpunkt der Winterackerbohnen-Blüte mithilfe der erweiterten Differenzmethode nach Stülpnagel (1982) erfasst. Referenzfrucht war die Wintertriticale-Reinsaat. In Tab. 2 sind die Ndfa-Werte angegeben (fixierter Stickstoff aus der Atmosphäre, in Prozent des insgesamt aufgenommenen Stickstoffs). Im ersten Versuchsjahr war Ndfa deutlich kleiner als im zweiten Versuchsjahr. Nach der Hafer-Zwischenfrucht war Ndfa größer als ohne Hafer-Zwischenfrucht. Die Unterschiede zwischen den beiden Winterackerbohnen-Sorten waren auch hier gering.

Tab. 2: Ndfa-Werte (%) der Winterackerbohnen, ohne und mit vorausgegangener Hafer-Zwischenfrucht, ermittelt nach der erweiterten Differenzmethode nach Stülpnagel (1982).

Hafer	Sorte	Jahr 1	Jahr 2	Mittel
ohne	Augusta	13,0	54,1	36,8
ohne	Malibo	27,3	52,6	
mit	Augusta	39,0	80,2	56,8
mit	Malibo	39,2	68,8	
Mittel		29,6	63,9	46,8

### Kornerträge

Die Kornerträge und Ertragskomponenten wurden in Miniplots (0,6 m<sup>2</sup>) erfasst. Gemittelt über alle Versuchsvarianten waren die Ertragsunterschiede zwischen den beiden Versuchsjahren nicht signifikant. Die Kornerträge der zwei Winterackerbohnen-Sorten waren jedoch im ersten Versuchsjahr in den Parzellen mit vorausgehender Hafer-Zwischenfrucht etwas höher als in den Parzellen ohne Hafer-Zwischenfrucht. Der Unterschied war jedoch nicht signifikant. Dies spricht dafür, dass die Winterackerbohnen den schwächeren Feldaufgang nach der Hafer-Zwischenfrucht kompensieren konnten. Die Ertragsanalyse ergab, dass bei beiden Winterackerbohnen-Sorten die Kompensation vor allem beim Parameter Hülsen/Pflanze geschah: In den Parzellen nach Hafer-Zwischenfrucht wurden 73 % mehr Hülsen/Pflanze gebildet, verglichen mit den Parzellen ohne Hafer-Zwischenfrucht. Bei den Parametern Körner/Hülse und Tausendkorngewicht kam es nur zu kleinen Kompensationseffekten. Im zweiten Versuchsjahr erzielten die beiden Winterackerbohnen-Sorten in den Parzellen mit vorausgehendem Hafer etwa 40 dt/ha und in den Parzellen ohne Hafer-Zwischenfrucht etwa 65 dt/ha. Dieser groß erscheinende Unterschied ließ sich statistisch aber auch nicht absichern. Merkliche Unterschiede zwischen den Kornerträgen der beiden Winterackerbohnen-Sorten traten nicht auf (Abb. 5).

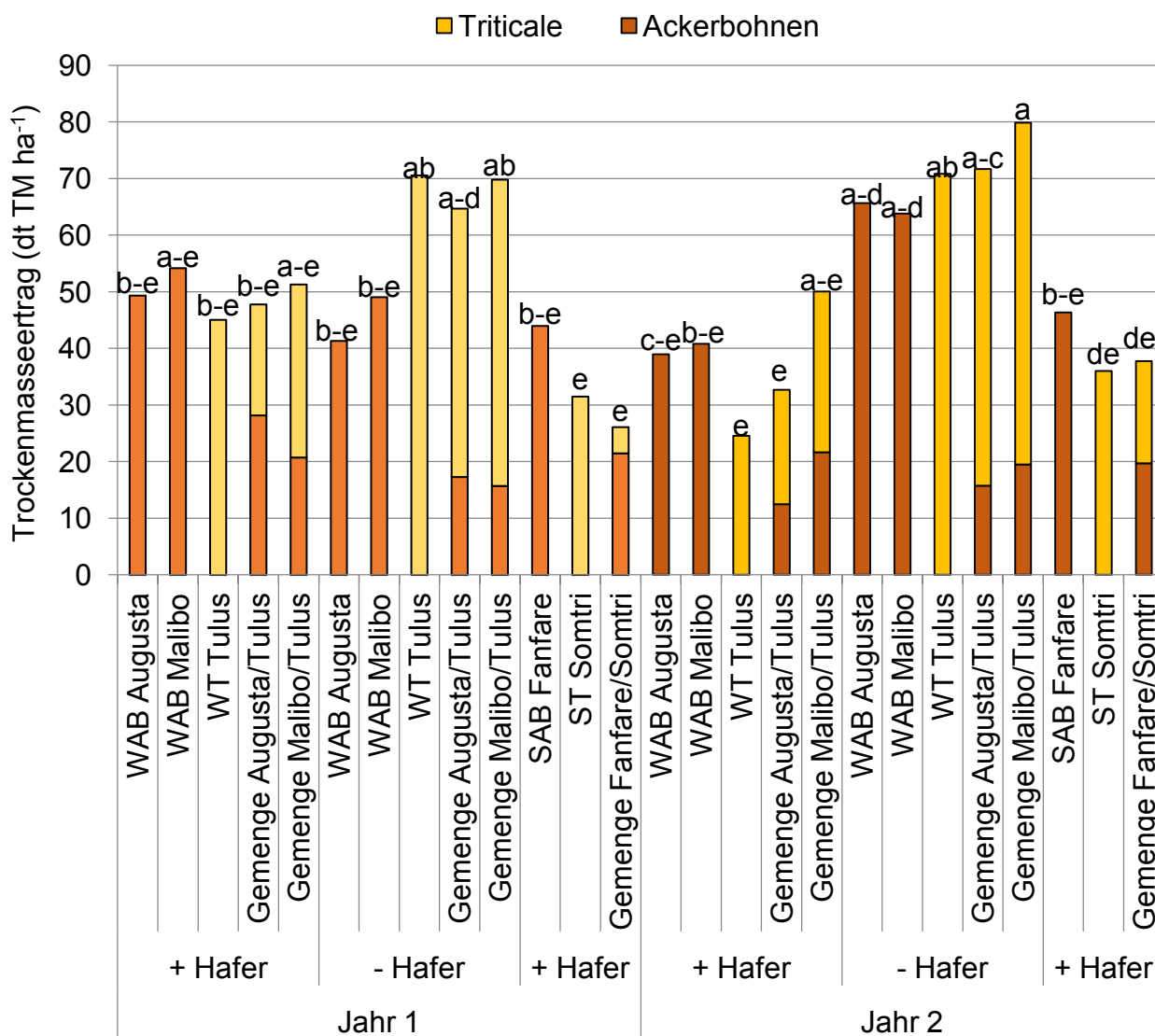


Abb. 5: Korntrockenmasseertrag (dt ha<sup>-1</sup>) in den Varianten mit und ohne Hafer-Zwischenfrucht, in den Reinsaaten der Winterackerbohnsorten (WAB) Augusta und Malibo, der Wintertriticale (WT) Tulus und den Gemengen aus den Winterackerbohnsorten und der Wintertriticale sowie der Sommerackerbohne (SAB) Fanfare und der Sommertriticale (ST) Somtri und dem Gemenge daraus in den beiden Versuchsjahren 2018/19 (Jahr 1) und 2019/20 (Jahr 2). Werte mit gleichen Kleinbuchstaben sind nicht signifikant verschieden,  $p \leq 0,05$ , (Tukey -Test). Die Angaben beziehen sich auf die Höhe der Gesamtsäule.

Die Kornerträge der Wintertriticale-Reinsaat war in den Parzellen mit vorausgehender Hafer-Zwischenfrucht niedriger als in den Parzellen ohne Hafer-Zwischenfrucht. Im zweiten Versuchsjahr und im Mittel der beiden Versuchsjahre war dieser Unterschied auch signifikant. Im zweiten Versuchsjahr erreichte die Wintertriticale ohne Hafer einen Kornertrag von knapp über 70 dt/ha, mit Hafer aber nur rund 25 dt/ha. Im Hinblick auf den Kornertrag reagierte Tulus also sehr empfindlich auf die Einschaltung der Zwischenfrucht Hafer im Vorjahr (Abb.

5). Dieses Verhalten hatte sich bereits beim Feldaufgang gezeigt. Die Wintertriticale konnte den niedrigeren Feldaufgang bei „mit Hafer“ also nicht kompensieren.

Die Gemenge aus Winterackerbohnen und Triticale zeigten in den Parzellen mit vorausgehender Hafer-Zwischenfrucht ebenfalls niedrigere Kornerträge als in den Parzellen ohne Hafer-Zwischenfrucht. Im Mittel der beiden Versuchsjahre waren diese Unterschiede für die Gemenge aus beiden Winterackerbohnen-Sorten auch signifikant. Die niedrigeren Kornerträge bei „mit Hafer“ in den Gemengen waren hauptsächlich auf den Ertragsabfall des Gemengepartners Wintertriticale zurückzuführen, viel weniger auf einen Ertragsabfall des Gemengepartners Winterackerbohne. Die Ackerbohnen konnten in den Gemengen den beeinträchtigten Feldaufgang nach „mit Hafer“ teilweise kompensieren, die Wintertriticale nicht. Im ersten Versuchsjahr fiel diese Kompensation auf Seiten der Winterackerbohnen in den Gemengen noch viel stärker aus als in den Ackerbohnen-Reinsaaten: Nach Hafer bildeten die Winterackerbohnen 180 % mehr, also fast dreimal so viele Hülsen/Pflanze aus als ohne Hafer. Hinsichtlich der Kornerträge war ein Sorteneffekt bei den Winterackerbohnen auch hier nicht zu erkennen. Statistisch waren auch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kornerträgen der Gemenge und dem Mittel der Reinsaaten nachzuweisen (Abb. 5), ein signifikantes „Overyielding“ also nicht erkennbar.

Der Kornertrag der Sommerackerbohnen (Fanfare, mit Hafer) lag etwas niedriger als der Kornertrag der Winterackerbohnen (mit Hafer), vor allem im zweiten Versuchsjahr. Die Unterschiede zwischen Sommer- und Winterackerbohnen waren – entgegen Hypothese 4 – gering und statistisch nicht signifikant. Der Kornertrag der Sommertriticale (Somtri, nach Hafer) war ähnlich wie bei der Wintertriticale nach Hafer-Zwischenfrucht. Die Wintertriticale ohne Hafer-Zwischenfrucht zeigte einen wesentlich höheren Kornertrag als die Sommertriticale bzw. die Wintertriticale, jeweils mit Hafer-Zwischenfrucht. Das heißt, auch auf dieser Ebene zeigte sich der unerwünschte negative Hafereffekt. Der Kornertrag des Gemenges aus Sommerackerbohnen und Sommertriticale war – wie bei den Winterungen – nicht wesentlich verschieden vom Kornertrag seiner Reinsaaten (Abb. 5). Ein markantes „Overyielding“ lag also auch in den Sommergemengen nicht vor.

Bestätigung / Ablehnung der Hypothesen:

- (1) Hypothese 1 wird bestätigt: Die Hafer-Zwischenfrucht verringerte signifikant die Nmin-Mengen im Boden über Winter in den angebauten Feldfrüchten.
- (2) Hypothese 2 kann nicht bestätigt werden: Der Gemengeanbau von Winterackerbohnen und Wintertriticale verringerte nicht zusätzlich die Nmin-Mengen im Boden über Winter.

(3) Hypothese 3 kann nicht bestätigt werden, da aufgrund der milden Winterwitterung keine Auswinterung der Ackerbohnen stattfand.

(4) Hypothese 4 kann nicht bestätigt werden. Im Mittel der beiden Versuchsjahre lagen die Kornerträge der Winterackerbohnen zwar höher als bei den Sommerackerbohnen, aber diese Unterschiede konnten statistisch nicht abgesichert werden.

## **Diskussion**

Das Hauptziel der Untersuchungen, die Nmin-Mengen unter Winterackerbohnen über Winter durch eine vorgeschaltete Hafer-Zwischenfrucht abzusenken, wurde erreicht. Allerdings waren damit pflanzenbaulich inakzeptable Begleiterscheinungen verbunden. Insbesondere waren der Feldaufgang und die Erträge der nach dem Hafer angebauten Feldfrüchte vermindert, verglichen mit der Variante ohne Hafer. Es ist bekannt, dass Getreidezwischenfrüchte den Wasservorrat im Boden absenken können, verglichen mit einer Schwarzbrache (Qi & Helmers 2010). Aber auch das Gegenteil kann eintreten: Zwischenfrüchte können die Infiltration erhöhen sowie den oberflächlichen Wasserabfluss vermindern und somit den Wasservorrat im Boden im Vergleich zur Schwarzbrache vergrößern (Joyce et al. 2002, Basche et al. 2016). Es gibt auch Fälle, in denen die Zwischenfrucht letztlich keinen bedeutsamen Effekt auf den Wasserhaushalt ausübt (Ward et al. 2012). Insofern waren die negativen Auswirkungen in den vorliegenden Untersuchungen nicht unbedingt absehbar. Es ist verständlich, dass ein Absenken des Wasservorrates durch Zwischenfrüchte vor allem in trockenen Jahren ein Problem werden kann (Restovich et al. 2012, Flood & Entz 2019). In den vorliegenden Untersuchungen wurden mit 67 % (2018), 85 % (2019) und 89 % (2020) zu keiner Zeit die langjährig zu erwartenden Niederschläge erreicht. Deshalb ist an erster Stelle anzunehmen, dass die Reduktion beim Feldaufgang und bei den Erträgen nach der Hafer-Zwischenfrucht tatsächlich auf Wassermangel zurückzuführen ist.

Im Nachhinein erscheint es möglich, dass diese negativen Effekte nicht nur an der Zwischenfrucht an sich, sondern speziell am Hafer liegen. Hafer weist den höchsten Transpirationseffizienten der einheimischen Getreidearten auf. Es ist bekannt, dass Hafer bei einsetzender Trockenheit die Spaltöffnungen deutlich später schließt als andere Feldfrüchte, z.B. Ackerbohnen (Müller 1984). Voraussetzung dafür ist das außergewöhnlich umfangreiche und fein verästelte Wurzelsystem des Hafers (Kutschera et al. 2018). Die Befunde deuten darauf hin, dass der Hafer im ersten Versuchsjahr die ausgeprägte Trockenheit im Herbst 2018 (Abb. 1) zum Nachteil der nachfolgenden Feldfrüchte verschlimmerte. Offenbar reichte die effiziente Wasseraufnahme des Hafers aber auch im weniger trockenen zweiten Versuchsjahr aus, um diese in hohem Maße unerwünschten Auswirkungen hervorzurufen.



Zusätzlich könnte es einen hemmenden Effekt der Hafer-Zwischenfrucht durch Allelopathie gegeben haben: Die Grünmasse von Hafer weist einen vergleichsweise hohen Gehalt an Flavonoiden auf, und es liegen Erkenntnisse darüber vor, dass Flavonoide die Keimung und das Wachstum von Pflanzen hemmen (de Bertoldi et al. 2009). Ein enger Verwandter des Hafers, der Rauhafer (*Avena strigosa*), wird in Deutschland ebenfalls als Zwischenfrucht eingesetzt. Rauhafer weist einen stark hemmenden allelopathischen Effekt auf Unkräuter aus, allerdings auch auf Weizen (Sturm et al. 2018).

Die landwirtschaftliche Praxis berichtet davon, dass zunehmend Sommerzwischenfrüchte über Winter nicht mehr vollständig absterben. Ursache sind der Klimawandel und die damit verbundenen milden Winter. Dies war in den vorliegenden Untersuchungen auch der Fall. Die Hafer-Zwischenfrucht wurde mechanisch (Hacke) oder chemisch (Herbizide) beseitigt. Solche Maßnahmen sind aber für die Praxis ungeeignet und unerwünscht. Insgesamt ist von der Einschaltung einer Hafer-Zwischenfrucht also abzuraten. Ob andere Zwischenfruchtarten, z.B. das Ramtillkraut (*Guizotia abyssinica*), geeigneter wären, müsste in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

Ein denkbarer haferbedingter Nährstofftransfer, der der Wintertriticale nach Hafer zu höheren Erträgen hätte verhelfen können (Stute & Posner 1995), war nicht zu erkennen. Vielmehr sprechen gerade die Ertragszahlen der Wintertriticale für eine Nährstoff- vor allem Stickstoffimmobilisierung des Hafers (Vyn et al. 2000, Williams et al. 2018). Diese N-Immobilisierung war für die Winterackerbohnen offenbar weniger von Belang, was allgemein mit der weitgehenden N-Autarkie der Leguminosen zusammenhängen dürfte (Armstrong et al. 1999).

Vor allem im ersten Versuchsjahr konnten die Winterackerbohnen zumindest einen Teil der haferbedingt niedrigeren Pflanzendichte durch Kompensation wieder ausgleichen. Die Wintertriticale war dazu nicht in der Lage. Auch in der Studie von Gschwendtner & Kaul (2015) zu verschiedenen Winterackerbohnen-Sorten spielten neben der Witterung kompensatorische Effekte, z.B. bei den Komponenten Hülsen/Pflanze und Tausendkorngewicht, eine Rolle für die Ertragsbildung. In der Literatur wird oft vorgetragen, dass in Leguminosen-Nichtleguminosen-Gemengen die Leguminose der unterlegene Partner sei (Helenius & Jokinen 1994). In den vorliegenden Untersuchungen mit Winterackerbohnen war dies ganz offensichtlich nicht der Fall. Die beiden Partner waren auch nicht ebenbürtig, sondern die Winterackerbohnen eindeutig dominant.

Die Unterschiede zwischen den Winterackerbohnen-Sorten waren gering. Es ist bekannt, dass es in strengen (alles stirbt ab) und in milden Wintern (alles überlebt) kaum zu Sortenunterschieden auf Seiten der Winterackerbohnen kommt (Gschwendtner & Kaul 2015). Die bei-

den Versuchsjahre waren durch milde – mithin wenig differenzierende – Winter gekennzeichnet. Auch die Erträge der Gemenge und der Reinsaaten waren ähnlich. Es gab somit kein „Overyielding“, wie es bisweilen in Leguminosen-Nichtleguminosen-Gemengen beobachtet werden kann (Streit et al. 2019). Vermutlich war die Wintertriticale ein zu schwacher Gemeinpartner für die Winterackerbohnen.

Die Ndfa-Werte der Winterackerbohnen geben ein konsistentes Bild ab (Tab. 2): Die niedrigeren Werte im ersten Versuchsjahr lassen sich gut aus den hier deutlich höheren Nmin-Mengen nach dem Trockenjahr 2018 erklären (Abb. 4). Dass mit steigenden Nmin-Mengen im Boden die symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierung der Leguminosene abnimmt, ist gut beschrieben (Armstrong et al. 1999). Die höheren Ndfa-Werte in den Parzellen mit Hafer-Zwischenfrucht sind wohl auf die niedrigeren Nmin-Mengen bei „mit Hafer“ (Abb. 4) und den zwischenfruchtbedingten N-Immobilisierungseffekt durch eine nicht legume Zwischenfrucht (Hafer) zurückzuführen (Singh et al. 2020).

Die ähnlichen Kornerträge von Sommer- und Winterackerbohnen entsprechen den Befunden von Gschwendtner & Kaul (2015). Die oft vorgetragene These, wonach der Ertrag von Winterackerbohnen – im Prinzip – höher sei als der Ertrag von Sommerackerbohnen (Duzdemir & Ece 2011), lässt sich mithilfe der vorliegenden Befunde nicht bestätigen. Die ebenfalls vergleichbaren Kornerträge der Sommer- und Wintertriticale entsprechen skandinavischen Untersuchungen (Janusauskaite et al. 2019).

### **Fazit**

Die starke Absenkung des Feldaufgangs bei den Winterackerbohnen und der Wintertriticale durch die Hafer-Zwischenfrucht sprechen gegen die Integration des Hafers in die Fruchtfolge. Ein weiterer Nachteil des gewählten Ansatzes ist darin zu sehen, dass die Winter – bedingt durch den Klimawandel – milder werden und die Hafer-Zwischenfrucht nicht mehr sicher abstirbt. Aufgrund dieser erheblichen Nachteile kann der Zwischenfruchtanbau mit Hafer für die pflanzenbauliche Praxis nicht (mehr) empfohlen werden.

#### (3) Notwendigkeit und Angemessenheit

Die zur Verfügung gestellten Mittel waren für die Durchführung des Projekts notwendig und sie wurden angemessen verausgabt.

#### (4) Voraussichtlicher finanzieller Nutzen

Ein finanzieller Nutzen aus dem Projekt ist derzeit nicht erkennbar.

#### (5) Bekannt gewordene Fortschritte bei anderen Stellen

5.1. Das Phänomen der Kompensation in der Ertragsbildung von Winterackerbohnen wurde auch an anderer Stelle thematisiert:

Neuschwandtner, R., Kaul, H.-P., 2015: Limited winter survival and compensation mechanisms of yield components constrain winter faba bean production in Central Europe. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B Soil and Plant Science* 65, 496-505.

5.2. Zunehmend rückt die Frage in den Vordergrund, inwieweit durch den Anbau von Zwischenfrüchten der Ausstoß von klimarelevanten Gasen vermindert werden kann: Abdalla, M., Hastings, A., Cheng, K., Yue, Q., Chadwick, D., Espenberg, M., Truu, J., Rees, R.M., Smith, P., 2019: A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity. *Global Change Biology* 25, 2530-2543.

#### (6) Geplante Veröffentlichungen

Es ist eine Publikation in der wissenschaftlichen Zeitschrift „Field Crops Research“ geplant. Diese Planung erfolgt trotz des in hohem Maße unerwünschten Versuchsergebnisses, dass der Feldaufgang der Winterackerbohnen und des Wintertriticales sowie der Gemenge in den Parzellen mit Hafer-Zwischenfrucht deutlich niedriger lag als in den Parzellen ohne Hafer-Zwischenfrucht. Als Hauptgrund für den Rückgang des Feldaufgangs wird der Wasserverbrauch der vorausgegangenen Hafer-Zwischenfrucht angesehen. Teilweise kam es zu Kompensationserscheinungen bei den Winterackerbohnen, bei der Wintertriticale nicht. Die Kompensationen auf Seiten der Winterackerbohnen sind agrarwissenschaftlich interessant. Aufgrund der insgesamt erheblichen Nachteile der Hafer-Zwischenfrucht ist im populärwissenschaftlichen Bereich keine Publikation geplant.