

Optimierung der Unkrautregulation, Schwefel- und Phosphorverfügbarkeit durch Unterfußdüngung bei temporärer Direktsaat von Ackerbohne und Sojabohne

Optimizing sulphate and phoshate nutrition of soy bean and faba bean under reduced tillage systems

FKZ: 110E087, 110E088 und 110E89

Projektnehmer und Koordination des Gesamtvorhabens (FKZ 110E087):

Rheinische-Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Institut für Organischen Landbau
Katzenburgweg 3, 53115 Bonn
Tel.: +49 228 735615
Fax: +49 228 735617
E-Mail: iol@uni-bonn.de
Internet: www.iol.uni-bonn.de

Autoren:

Köpke, Ulrich; Rauber, Rolf; Schmidtke, Knut

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft.

Die inhaltliche Verantwortung für den vorliegenden Abschlussbericht inkl. aller erarbeiteten Ergebnisse und der daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen liegt beim Autor / der Autorin / dem Autorenteam. Bis zum formellen Abschluss des Projektes in der Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft können sich noch Änderungen ergeben.

Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft

Abschlussbericht des Verbundprojektes

**,Optimierungsstrategien zum Anbau von
Körnerleguminosen mit
temporären Mulch- und Direktsaatverfahren‘**

Zuwendungsempfänger/ ausführende Stellen:

Universität Bonn

Universität Göttingen

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

FKZ: 2811OE087, FKZ 11OE088, FKZ: 2811OE089

Laufzeit:

05.06.2013 - 15.06.2016

Konsortialpartner

TP 1: Prof. Dr. Ulrich Köpke, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Organischen Landbau (IOL), iol@uni-bonn.de

TP 2: Prof. Dr. Rolf Rauber, Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften Abt. Pflanzenbau r-rauber@uni-goettingen.de

TP 3: Prof. Dr. Knut Schmidtke, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH), Fachbereich Landbau / Landespflege, Fachgebiet ÖL, schmidtk@pillnitz.htw-dresden.de

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----|
| I: Kurzfassung | 1 |
| II: Abstract | 2 |
| 1 & 1.1: Einführung / Gegenstand des Vorhabens..... | 3 |
| 1.2: Ziele und Aufgabenstellung des Projekts | 4 |
| 1.2.1. Problemstellung & Projektziele | 5 |
| 1.3: Planung und Ablauf des Projektes..... | 7 |
| 2: Stand des Wissens | 8 |
| 3 Material und Methoden, Ergebnisse und Diskussion der Teilprojekte | 15 |
| 3.1: Teilprojekt 1: Optimierung der Unkrautregulation, Schwefel- und Phosphorverfügbarkeit durch Unterfußdüngung bei temporärer Direktsaat von Körnerleguminosen | 16 |
| 3.1.1. Material und Methoden | 16 |
| 3.1.2 Ergebnisse und Diskussion | 23 |
| 3.1.2.1. Feldversuch I und IVa (Ackerbohne) | 23 |
| 3.1.2.2. Feldversuch II: Temporäre Ackerbohnen-Direktsaat in gewalzten Hafermulch | 26 |
| 3.1.2.3. Feldversuch III (Ackerbohnen)..... | 27 |
| 3.1.2.4 Feldversuch IV b (Sojabohnen)..... | 30 |
| 3.1.2.5. Gefäßversuche Sojabohnen | 34 |
| 3.1.3 Diskussion..... | 38 |
| 3.2. Teilprojekt 2: Pflanzenbauliche Strategien zur Minderung der Verunkrautung bei Mulchsaat von Ackerbohnen | 44 |
| 3.2.1 Material und Methoden | 44 |
| 3.2.2 Ergebnisse | 58 |
| 3.2.2.1 Zwischenfruchtgemenge vor dem Hauptversuch | 58 |
| 3.2.2.2 Erträge der Kulturpflanzen | 71 |
| 3.2.2.3 Lichttransmission in Reinsaaten und Gemengesaaten | 77 |
| 3.2.2.4 Öl- und Proteingehalt beim Modellunkraut Leindotter | 79 |
| 3.2.2.6 Symbiotische Stickstoff-Fixierleistung der Ackerbohnen..... | 83 |
| 3.2.2.7 Stickstoff-Aufnahme und Anteil des symbiotisch fixierten Stickstoffs..... | 85 |
| 3.2.2.8 Stickstoff-Fixierung im August zum Korn-Drusch..... | 88 |
| 3.2.3 Diskussion..... | 91 |
| 3.3 Teilprojekt 3..... | 100 |
| 3.3.1 Material und Methoden | 100 |
| 3.3.2 Ergebnisse und Diskussion | 110 |
| 3.3.2.1 Standort Somsdorf | 110 |
| 3.3.2.2 Standort Dürrröhrsdorf | 145 |

| | |
|--|-----|
| 4: Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse; Möglichkeiten der Umsetzung oder Anwendung der Ergebnisse für die Praxis und Beratung..... | 150 |
| 5: Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen..... | 153 |
| 6: Zusammenfassung..... | 155 |
| 7: Literaturverzeichnis..... | 161 |
| 8: Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt, bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse..... | 170 |

I: Kurzfassung

Verfahren reduzierter Bodenbearbeitung bis hin zur Direktsaat gewinnen im Ökologischen Landbau zunehmend an Bedeutung. Gründe hierfür sind die damit verbundenen positiven Effekte auf das Bodengefüge (Erosionsschutz) und auf den Treibstoff- und Arbeitsaufwand. Im Rahmen des Projektes wurden von drei Konsortialpartnern Feldversuche zur reduzierten Bodenbearbeitung von Körnerleguminosen (Ackerbohne, Körnererbse, Sojabohne, Schmalblättrige Lupine) auf Versuchs- und Praxisstandorten des Ökologischen Landbaus in NRW, NS und SN durchgeführt. Schwerpunkte der Untersuchungen waren die Nährstoffversorgung und die Unkrautregulierung.

Geringe N_{\min} Gehalte im Boden zur Aussaat und nachfolgend geringe Mineralisation führten zu hohen NdfA-Werten (80%) von Ackerbohnen. Zwischenfruchtanbau vor Körnerleguminosen führte zu einer temporären N-Immobilisierung, nicht jedoch zu höheren NdfA-Werten. Reduzierte Bodenbearbeitung führte im Vergleich zu Pflugbearbeitung wider Erwarten nicht zu höheren NdfA-Werten. Vermutet wird ein geringerer Gasaustausch mit der Atmosphäre als Folge höherer Dichtlagerung und eines geringeren Anteils Luft führender Poren nach reduzierter Bodenbearbeitung, insbesondere nach Direktsaat.

Ein ertragssteigernder Effekt einer Düngung mit Schwefel wurde unabhängig von der Verabreichungsform (elementar oder sulfatisch) bei S_{\min} Gehalten im Boden von $> 25 \text{ kg ha}^{-1}$ weder bei Ackerbohnen noch bei Sojabohnen festgestellt. Eine kombinierte Düngung von Rohphosphat (Apatit) mit elementarem Schwefel führte auf einem sauren Auenlehm (P-Versorgungsstufe B-C) weder zu Mehrerträgen noch zu P-Mehraufnahmen von Acker- und Sojabohnen. Einige Körnerleguminosenarten, insbesondere Ackerbohnen, z.T. auch Körnererbsen, sind für Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung, bedingt geeignet. Bei Problemen mit perennierenden Unkräutern, z.B. Ackerkratzdistel, ist der Verzicht auf Pflugbearbeitung jedoch nicht zu empfehlen.

Reduzierte Bodenbearbeitung erhöht in der Regel deutlich das Anbaurisiko von konkurrenzschwachen Körnerleguminosenarten wie Sojabohne und Schmalblättriger Lupine. Betriebe, die dennoch aufwendende Bodenbearbeitung zu diesen Körnerleguminosenarten verzichten wollen, müssen die unkrautregulierende Wirkung des Pfluges durch umfassende ackerbauliche Maßnahmen (zum Beispiel Anbau von Sorten mit hoher Konkurrenzkraft) und intensive mechanische Unkrautkontrolle kompensieren.

II: Abstract

Reduced soil tillage has become increasingly interesting for organic crop production. The main advantages of reduced tillage systems are protection of erosion as well as reduced labour and fuel input. In the frame of a consortium of three German research institutions on-farm field trials on reduced soil tillage with four grain legume species (faba bean, field pea, soy bean, blue lupin) were carried out in Northrhine-Westphalia, Lower Saxony and Saxony. The trials were focused on reducing weed pressure and increasing BNF by using cover crops (mulching and nitrogen binding effect) and improving nutrient supply with phosphate and sulphur. Lower soil mineral nitrogen content during legume cultivation induced by cover crops resulted in high values for NdfA (80%). The amount of nitrogen derived from the atmosphere was not affected by the intensity of soil tillage (plough versus grubber), probably due to reduced air diffusion in the soil. A yield increasing effect of sulphur application, independent of whether in elementary or sulphate form, was not noted for either fababean or soybean, when soil sulphate content exceeded 25 kg ha⁻¹. The combined application of rock phosphate (apatite) and elementary sulfur on an acid alluvial loam with low P status did not result in higher yields or higher P uptake of fababean or soybean. Some grain legumes turned out to be suitable for reduced soil tillage including the competitive species faba bean, and in part field pea provided that perennial weeds such as creeping thistle were not abundant in the fields. Reduced soil tillage however increased the risk of yield losses for species with low competition against weeds such as soy bean and blue lupin. Organic farmers intending to reduce soil tillage intensity for these grain legume species are recommended to use various agronomic tools such as variety choice and repeated mechanical weed control.

1 & 1.1: Einführung / Gegenstand des Vorhabens

Der Bedarf an Körnerleguminosen in der ökologischen Lebens- und Futtermittelwirtschaft ist u.a. wegen der künftigen Verpflichtung zur obligaten Verwendung von Futtermitteln aus zertifiziert ökologischer Erzeugung („100% Biofutter“) hoch und wird weiter steigen. Die Abhängigkeit von Importen (Gewährleistung von GVO-Freiheit) ist nicht nur bei Sojabohnen relevant. Mit Körnerleguminosen können Bedarfslücken in der Aminosäuren- und Energieversorgung bei Mensch und Tier gedeckt werden. Maßgebliche Hemmnisse für einen umfangreicheren Anbau von Körnerleguminosen sind umfangreiche Wissens- und Erfahrungslücken beim Anbau dieser Kulturen, zumal bei Verzicht auf konventionelle Bodenbearbeitung mit dem Wendepflug.

Ackerbaulich ist der Anbau von Körnerleguminosen im Ökologischen Landbau vor allem für Marktfruchtbetriebe attraktiv in denen die Futterleguminosen mit bekannt hohem Bodenfruchtbarkeit mehrendem Potential im Gegensatz zu Gemischtbetrieben nur geringe Bedeutung haben. Zugleich ist dort aber die für Körnerleguminosen als Druschfrüchte nötige Erntetechnik vorhanden bzw. muss nur wenig modifiziert werden. Vor allem in viehlos wirtschaftenden Marktfruchtbetrieben besteht ein größeres Interesse am Einsatz neuer ackerbaulicher Techniken für gesteigerten Boden- bzw. Erosionsschutz, Humusschonung, zur Begrenzung des Aufwandes, höhere Wettbewerbsfähigkeit und dadurch bedingt gesteigerte Bereitschaft zur Umstellung.

Potentiell nachteilig ist für die Erhaltung und Mehrung der Bodenfruchtbarkeit durch Körnerleguminosen die in den gegebenen Anbausystemen häufig nur geringe Netto-Zufuhr von Stickstoff, da der symbiotisch fixierte Stickstoff dem in den Körnern aus der Fläche / dem Betrieb exportierten Stickstoff in etwa mengenäquivalent ist. In den gegebenen Anbausystemen sind Humusreproduktion und Vorfruchtwirkung der Körnerleguminosen u. a. wegen ihrer im Vergleich zu den Futterleguminosen geringeren Wurzel- und Ernterückstände deutlich niedriger und verlangen nach der Entwicklung von Anbausystemen, die diesen Zielen entsprechen können. Körnerleguminosen müssen nicht mit dem im Ökologischen Landbau knappen Stickstoff aus Düngemitteln versorgt werden und sind, im Gegensatz zu Nichtleguminosen, auf die bei Verzicht auf intensive Bodenbearbeitung geringere bodenbürtige Stickstoff-Freisetzung nicht angewiesen. Bodenruhe sowie die erhöhte Akkumulation organischer Substanz und die damit gesteigerte Stickstoffimmobilisation und geringere Mineralisation können die Bodenfruchtbarkeit erhöhen und für Nachfrüchte umfangreicher ertragswirksam nutzbar machen. An der Bodenoberfläche und in der obersten Bodenzone bieten sich verschiedenste Ansätze, die N₂-Fixierung neben der Immobilisierung von bodenbürtigem Stickstoff auch durch Zufuhr geeigneter Nährstoffmangel ausgleichender Düngemittel (bedarfsgerechte Düngung, insbesondere zugelassene Sekundärrohstoffdünger) zu steigern. Die Bindung des Stickstoffs an stickstoffarme bzw. langsam mineralisierende kohlenstoffreiche Erntereste kann in Systemen mit reduzierter Eingriffsintensität der Bodenbearbeitung somit ein geeignetes Mittel des Stickstoffmanagements und der mittel- und langfristigen Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit sein. Der später bodenbürtig freigesetzte Stickstoff kann potentiell mit acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen zu Nichtleguminosen-Nachfrüchten ertragswirksam verfügbar gemacht werden. Der Verzicht auf intensive, wendende Bodenbearbeitung kann den Unkrautdruck, bei langjährig durchgeführter Mulchsaat insbesondere durch perennierende Unkräuter und Ungräser erhöhen. Mit

diesem Sachverhalt ist der im temperierten Klima i. d. R. unverzichtbare Einsatz von Totalherbiziden bei Mulchsaat im konventionellen Landbau begründet. Es ist dieser Sachverhalt und die bei Verzicht auf intensiv lockernde / wendende Bodenbearbeitung geringere Mineralisation und Nitrifikation mit Mehraufwendungen an mineralischem Düngerstickstoff, die eine nennenswerte Verbreitung von Mulchsaat-Systemen im konventionellen Landbau in Mitteleuropa bislang verhindert hat und ihren Einsatz im Ökologischen Landbau zu Nichtleguminosen praktisch ausschließt. Hingegen wird erwartet, mit dem hier verfolgten Projekt originäre standortspezifische Strategien und Handlungsempfehlungen für den Anbau von Körnerleguminosen mit temporär reduzierter Bodenbearbeitung, Mulch- bzw. Mulchsaat zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit erarbeiten zu können. Dazu ist für den gezielten Produktivitätsfortschritt neben umfassenden produktionsökologischen Arbeiten zur Optimierung des Körnerleguminosenanbaus mit Unkrautunterdrückung durch Mulchdecken, Entzug von Stickstoff für Keimung und Entwicklung der Unkräuter auch eine sichere Einschätzung und Bewertung der Standorteignung des Körnerleguminosenanbaus mit Auswahl der geeigneten Arten und Anbaustrategien im Hinblick auf Bodenfruchtbarkeit, Umweltwirkungen und Wirtschaftlichkeit notwendig.

1.2: Ziele und Aufgabenstellung des Projekts

Effizienter Anbau heimischer Körnerleguminosen kann die Abhängigkeit Europas von importierten Proteinpflanzen („Soja-Import“) mindern, stellt einen Beitrag zur Erhaltung der Diversität der Ackerfrüchte und Fruchtfolgegestaltung und mindert bei Einsatz reduzierter Bodenbearbeitung/Direktsaat Treibstoffverbrauch und CO₂-Emissionen. Ziel des hier beantragten Verbundprojektes war es, die wissenschaftlichen Grundlagen für die standortangepasste Nutzung temporär reduzierter Bodenbearbeitungsintensität (Lockerbodenmulchwirtschaft (LMW) bzw. Festbodenmulchwirtschaft (FMW) – im Extrem Direktsaat (EDS)) in Fruchtfolgemodulen des Körnerleguminosenanbaus im Ökologischen Landbau (Ackerbohne, Körnererbse, Sojabohne, Schmalblättrige Lupine) zu erweitern und unter praktischen Bedingungen zu prüfen. Das Konsortium arbeitete Elemente aus, die den Zielen der Deutschen Agrarforschungsallianz (DAFA) und der Bekanntmachung der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) zur Etablierung von modellhaften Demonstrationsnetzwerken sowie von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Ausweitung und Verbesserung des Anbaus und der Verwertung von Leguminosen (Nr. 18/2012/31) entsprechen. Das Projekt baut auf Ergebnissen eines von den Mitgliedern des Antragskonsortiums durchgeführten und abgeschlossenen Verbundprojektes (<http://orgprints.org/20737/1/20737-08OE020-iol-koepke-2011-bodenfruchtbarkeit.pdf>) auf und gliedert sich in die Bereiche Forschung, Entwicklung und Wissenstransfer.

Untersucht werden sollen schwerpunktmäßig die Optimierung der Nährstoffversorgung von Körnerleguminosen durch eine Unterfussdüngung mit Schwefel und Rohphosphat zu Acker- und Sojabohnen, der Effekt eines der Hauptfrucht Ackerbohnen vorangestellten nicht-legumen Zwischenfruchtgemenges auf die BNF und der Einfluss von Zwischenfrüchten auf Ertrag und Unkrautregulierung bei reduzierter Bodenbearbeitung zu Körnererbsen und Schmalblättriger Lupine.

1.2.1. Problemstellung & Projektziele

Festbodenmulchwirtschaft (FMW), reduzierte Bodenbearbeitungsintensität, Mulchsaatverfahren, im Extrem Direktsaatverfahren, ermöglichen im Vergleich zu intensiver Grundbodenbearbeitung mit anschließender Saatbettbereitung erhebliche Einsparungen bei Diesel und Arbeit. In gleichem Umfang kann die Emission des Treibhausgases Kohlendioxid gemindert werden. Ein damit verbundener hoher Bedeckungsgrad des Bodens mit Ernterückständen der Vorfrucht wirkt bodenschützend, gefügestabilisierend und erosionsmindernd; d. h. insgesamt potentiell bodenfruchtbarkeitsmehrend. Standortgeeignete Maßnahmen reduzierter Bodenbearbeitung, wie Mulch- und Direktsaat, sollten deshalb im Rahmen eines *opportunistic tillage* auch im Ökologischen Landbau mehr Beachtung finden. Die bislang geringe Verbreitung der FMW im temperierten Klimaraum ist bei Nichtleguminosen im Wesentlichen durch zwei Limitationen begründet:

1: Verminderte/retardierte Stickstofffreisetzung im Frühjahr: Bei Festboden-Mulchwirtschaft FMW ist der Boden zu Vegetationsbeginn als Folge von Dichtlagerung, Mulchauflage und geringerer Evaporation in der Regel feuchter, hat weniger luftgefüllte Poren und erwärmt sich dadurch langsamer. In der Folge ist die Stickstofffreisetzung des Bodens im Frühjahr verglichen mit einer LBW bzw. Lockerboden-Mulchwirtschaft (LMW) ertragsrelevant geringer beziehungsweise setzt verzögert ein.

2: Erhöhter Unkrautdruck: Verzicht auf intensive, vor allem wendende Bodenbearbeitung bedeutet Aufgabe der damit verbundenen mechanischen Unkrautregulation. Deshalb ist Direktsaat (DS) im konventionellen Landbau ohne den Einsatz von Totalherbiziden nur in Ausnahmefällen möglich und führt bei angestrebter langfristiger Anwendung zu einer Selektion von Problemunkräutern - im Wesentlichen monokotylen und perennierenden Arten.

Beide Limitationen gelten für den Ökologischen Landbau umso mehr, als dieser auf hinreichend hohe bodenbürtige Stickstofffreisetzung angewiesen ist, da ein Ausgleich der geringeren bodenbürtigen Stickstofffreisetzung durch Erhöhung der Stickstoffzufuhr mittels Düngung kaum möglich ist. Im konventionellen Landbau kann die Erhöhung der ersten Stickstoffteilgabe in mineralischer Form hingegen ein ertragswirksames Mittel zur Kompensation mangelnder bodenbürtiger Stickstofffreisetzung sein.

Totalherbizide stehen im Ökologischen Landbau nicht zur Verfügung. Natürliche phytotoxische Wirkstoffe (NPW) mit herbizider Wirkung, wie Pinienölextrakt, Auszüge von Zitronengras *etc.*, sind im Gegensatz zu anderen Regionen der Erde durch die EU Verordnung zum Ökologischen Landbau bislang in der EU und damit in Deutschland nicht zugelassen.

Ein gangbarer Weg einer zumindest temporären Nutzung von FMW und Lockerboden-Mulchwirtschaft bietet sich mit dem Anbau von Körnerleguminosen an. Die Voraussetzungen für Mulch- und Direktsaat bei Körnerleguminosen sind im Vergleich zu Getreide und anderen Nicht-Leguminosen günstig: Der Keimwasserbedarf von Körnerleguminosen ist hoch; frühe Saat ist in der Regel positiv ertragswirksam und fördert die Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern. Mechanische Unkrautregulation, so notwendig, ist vor allem mit neuen Striegeltechniken, z.B. Rollstriegeln, möglich. Auf diese Maßnahmen kann - wiederum CO₂-Emissionen reduzierend - verzichtet werden, wenn es - wie die eigenen Versuchsergebnisse zeigen - gelingt, den Unkrautdruck in der frühen Phase der

Ackerbohnenentwicklung durch hohe Ernterestmengen der Vorfrucht zu mindern. Eigene Voruntersuchungen zeigen, dass dazu eine Ernterest-Mulchmasse von mindestens 4-5 t ha⁻¹ notwendig ist. Neben der physikalischen Wirkung der Mulchdeckenmächtigkeit können darüberhinaus vorfruchtabhängig auch allelopathische Wirkungen zum Tragen kommen (z. B. bei Hafer und Roggen), die die Keimung von Unkräutern reduzieren können. Die Möglichkeiten und Grenzen dieser Anbausysteme wurden im Rahmen eines Verbundprojektes des Bundesprogramms Ökologischer Landbau von unserem Wissenschaftler-Konsortium erstmals mehrortig auch auf Praxisbetrieben untersucht und demonstriert, erste Handlungsempfehlungen wurden abgeleitet.

Die Oberziele des hier beantragten Verbundprojektes ergeben sich konsequent aus dem neu erarbeiteten Wissensstand des Vorgängerprojektes ‚Entwicklung neuer Strategien zur Mehrung und optimierten Nutzung der Bodenfruchtbarkeit‘ (<http://orgprints.org/20737/1/20737-08OE020-iol-koepke-2011-bodenfruchtbarkeit.pdf>). In den Bereichen Nährstoffmanagement und Unkrautregulation sollen deshalb folgende Aspekte zum Teil mit weiteren noch nicht untersuchten Körnerleguminosenarten (Sojabohne, Schmalblättrige Lupine) bearbeitet werden:

Immobilisierung bodenbürtigen Stickstoffs unter Körnerleguminosen durch Mulch der Erntereste unterschiedlicher nichtlegumer Vorfrüchte (Haupt- und Zwischenfrüchte);

Unterfußdüngung die geeignet ist, bei insgesamt deutlich reduziertem Düngeraufwand die N₂-Fixierleistung, Wachstum-, Ertragsbildung und Qualität der Körnerleguminosen zu steigern;

Unkrautregulation: Unterdrückung/erhöhte Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern durch Mulch von Ernteresten der Vorfrucht, Nutzung der Konkurrenzkraft erwünschter (gefährdeter) Ackerbegleitpflanzen (Segetalflora) gegenüber Unkräutern, Nutzung der Konkurrenzkraft im Gemengeanbau, neuartige maschinelle Verfahren der mechanischen Unkrautregulation. Durch den Einsatz neuartiger maschineller Verfahren („Turbo-Rollstriegel“ an Uni-Hacke, Fa. Anna-burger) sollte die Unkrautregulation im Vergleich zu bisherigen Verfahren verbessert werden. Der Einsatz der Anbauform ‚Gemenge‘, hier Ackerbohnen mit Hafer, sollte im Vergleich zur Anbauform ‚Ackerbohnen-Reinsaat‘ den Wirkungsgrad bei der Unkrautregulation signifikant erhöhen.

Verfolgt wurde ein partizipativer Ansatz, der die Kompetenz und die Erfahrungen aller an der Wertschöpfungskette beteiligten Akteure aus Praxis, Beratung, Wissenschaft und Industrie einbezieht. Die Vorgehensweise war dialogisch-reflexiv und wurde mit einem zielgruppennahen Feldversuchsansatz auch in Praxisbetrieben durchgeführt.

1.3: Planung und Ablauf des Projektes

Das Gesamtprojekt wurde in der Laufzeit von Juni 2013 bis Ende Dezember 2015 durchgeführt. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag in den Jahren 2014 und 2015. Das Versuchsjahr 2013 diente vornehmlich der Einrichtung der verschiedenen Hauptversuche, unter anderem durch Ansaat von Zwischenfrüchten und der Anlage von Gefäßversuchen. In Teilprojekt 1 wurden zwei Feldversuche im Versuchsjahr 2013 durchgeführt. Die Untersuchungen zur Optimierung der Nährstoffversorgung durch Applikation von Schwefel- und Phosphordüngern am Versuchsstandort Wiesengut wurden z.T. bereits im Versuchsjahr 2013 begonnen. Analog hierzu wurden auch die Feldversuche in TP 2 und TP 3 bereits im Jahr 2013 begonnen. Nach einer umfassenden Bewertung der untersuchten Anbauverfahren werden die Forschungsergebnisse mit gezielten Demonstrationsvorhaben und in verschiedenen Medien der interessierten landwirtschaftlichen Praxis und Beratung zeitnah zugänglich gemacht. Biannuelle Treffen sichern den internen Austausch zwischen den Konsortialpartnern.

2: Stand des Wissens

Mit der Einführung reduzierter Bodenbearbeitung – und in Mulchsaatsystemen als ihrer ausgeprägtesten Form – finden chemische, physikalische und biologische Veränderungen im Agrarökosystem statt. Flächen mit Mulchsaatsystemen unterscheiden sich demnach in vielen Kenngrößen (nutzbar als Indikatoren) von Flächen mit konventioneller, wendender Bodenbearbeitung (BALL *et al.* 1998). Das betrifft z. B. die organische Substanz nach Menge und Verteilung im Oberboden (BALL *et al.* 1998, EHLERS & CLAUPEIN 1994, TEBRÜGGE 2003), die Nährstoffverteilung und -freisetzung (PEKRUN *et al.* 2003a, TEBRÜGGE 2003), die vertikale Verteilung des Bodensamenvorrats und den daraus resultierenden Unkrautbesatz (PEKRUN *et al.* 2003b, GRUBER *et al.* 2005, GRUBER & CLAUPEIN 2006), Gefügestabilität, Lagerungsdichte und Infiltrabilität (BAEUMER 1994). Unter den biologischen Kenngrößen ist die Regenwurmaktivität hervorzuheben, die in Systemen reduzierter Bodenbearbeitung und Mulchsaat gefördert wird (EHLERS & CLAUPEIN 1994, SHUSTER & EDWARDS 2003).

Oberziele reduzierter Bodenbearbeitungsintensität - im Extrem Direktsaat - sind die Vermeidung von Bodenschadverdichtungen (EHLERS 1992), von oberflächlichem Wasserabfluss (HARROLD & EDWARDS 1972) und Bodenerosion (EHLERS 1992), die Verbesserung der Tragfähigkeit und Befahrbarkeit (EHLERS 1991) und die Minderung des Einsatzes von Arbeit und Kraftstoff (KÖLLER 1989, KÖPKE 2008, KÖPKE & SCHULTE 2008). Mulchsaatverfahren mit reduzierter Bodenbearbeitung und verminderter Eingriffsintensität haben bislang eine deutlich höhere Verbreitung als Mulchsaatverfahren mit Direktsaat, deren Einsatz in Deutschland (*mainstream*) selten auf mehr als 1 % Flächenanteil geschätzt wird (KÖLLER 2005). Ähnlich ist die Situation in anderen europäischen Ländern (MUNKHOLM *et al.* 2003).

Arbeits- und energiewirtschaftliche Fragen haben in jüngerer Zeit angesichts hoher Treibstoffpreise auch im Ökologischen Landbau erheblich an Bedeutung gewonnen. Reduzierte Bodenbearbeitung und Mulchsaat – obwohl als geeignete Verfahren des Bodenschutzes geltend – sind entgegen landläufiger Meinung auch im Ökologischen Landbau nur wenig verbreitet. Obwohl unstrittig ist, dass eine Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität mit einer Schonung von Bodenfauna und -flora verbunden ist (GERARD & HAY 1979, DORAN *et al.* 1987, 1990, EDWARDS *et al.* 1992, EMMERLING 2001, BERNER *et al.* 2008, KRAUSS *et al.* 2010), ist auch im Ökologischen Landbau der Wendepflug das meistgenutzte Gerät zur Grundbodenbearbeitung (KÖPKE 2003). Ursache dafür sind beim Anbau von Nichtleguminosen unter den Bedingungen des gemäßigten Klimas im Wesentlichen zwei Faktoren: Erstens, verminderte bodenbürtige Stickstofffreisetzung und zweitens, erhöhter Unkrautdruck.

Die unter den Bedingungen des gemäßigten Klimas geringere Mineralisation und Nitrifikation als Folge niedrigerer Bodentemperaturen im Frühjahr sind ein Sachverhalt, der vor allem in den ersten Jahren kontinuierlicher Mulchsaat zu Nicht-Leguminosen im konventionellen Landbau eine höhere mineralische N-Düngung (KÖPKE & BAEUMER 1985, EHLERS & CLAUPEIN 1994, PEKRUN *et al.* 2003a) oder eine andere Verteilung der geteilten N-Gaben zur Kompensation der N-Immobilisation erfordert (BAEUMER & KÖPKE 1989). Doch ist der Einsatz mineralischer N-Dünger im Ökologischen Landbau

verboten und auf der Bodenoberfläche belassene organische N-Dünger würden die N-Verluste in der Gasphase steigern.

Die Durchführung kontinuierlicher FMW (BAEUMER 1990) ist im Ökologischen Landbau bei Anbau von Feldfutter und der damit verbundenen Notwendigkeit der Einarbeitung von Ernte- und Wurzelrückständen (v. a. bei mehr- und überjährigem Klee- und Luzernegrasanbau) sowie durch die obligatorische verlustminimierende Einarbeitung organischer Dünger in viehhaltenden Gemischtbetrieben schwer möglich. Das Belassen von Ernterückständen an der Bodenoberfläche vor Getreide steigert zudem die Gefahr erhöhter Mykotoxingehalte, z. B. als Folge erhöhten Befalls von Winterweizen mit *Fusarium*-Arten (BERLETH *et al.* 1998, MEIER *et al.* 2000, 2001, BIRZELE *et al.* 2002). Bedingt durch diese Restriktionen sind Forschungsintensität und Kenntnisstand zu Festboden-Mulchsystemen im Fachgebiet des Ökologischen Landbaus immer noch vergleichsweise gering (PORTER *et al.* 2005, BERNER *et al.* 2008).

Im Gegensatz zu Nichtleguminosen sind Körnerleguminosen auf die Frühjahrsmineralisation von N aufgrund ihrer Fähigkeit zu symbiotischer N₂-Fixierung nur bedingt angewiesen. Bodenbürtiger N kann im C-reichen Mulch immobilisiert werden und ein nachhaltiges Stickstoffmanagement mit späterer Freisetzung und positiver Vorfruchtwirkung ermöglichen. Bei reduzierter Bodenbearbeitung war der Anteil Stickstoff aus der Luft in der Biomasse von Erbse deutlich höher als nach einer Bodenbearbeitung mit dem Pflug (REITER *et al.* 2002). Moderne Mulchsaatmaschinen erlauben die Ablage auch großkörnigen Saatgutes (z. B. Ackerbohne) in hinreichender Bodentiefe (d. h. 6 – 8 cm). Erfolgreiche Mulchsaat von Körnerleguminosen im Ökologischen Landbau hängt von der Unkrautunterdrückung der Mulchdecke und dem Bodenbedeckungsgrad ab. Hohe Schichtdicken stellen besondere Anforderungen an die **Sätechnik**, besonders an die Vorlaufwerkzeuge vor dem Säschar, das die Mulch-Auflage für eine optimale Saatgut-Ablage durchtrennen muss. Im Bereich Einzelkornsaat bedarf es zwar noch weiterer Forschungsarbeit an technischen Lösungen um eine höhere Bestandesdichte zu erreichen (LOIBL & KÖLLER 2006), derzeit schon in der Praxis eingesetzte Einzelkorn-Sämaschinen zeigen aber eine schon hinreichend homogene Ablage und Saatpräzision (Massucati 2013). Moderne kleinkörnige Sorten werden mit normalen Drillmaschinen gesät. Der als Folge verminderter Evaporation durch die Mulchauflage und des geringeren Anteils luftführender Poren in der Regel höhere Wassergehalt des dichter lagernden Bodens im Festboden-Mulchsystem (EHLERS *et al.* 1983, PEKRUN *et al.* 2003a) garantiert die Bereitstellung des hohen Keimwasserbedarfes der Körnerleguminosen, mag aber bei gleichzeitig durch den im Vergleich zum gelockerten Boden verminderten Gasaustausch (BOONE 1976, DOWDELL & CANNELL 1983) und die langsamere Erwärmung die symbiotische N₂-Fixierung in der Jugendphase der Körnerleguminosen u. U. beeinträchtigen bzw. die gesamte Sproßentwicklung verzögern.

Körnerleguminosen nehmen mit ihrem allorhizen Wurzelsystem und vor allem beim Reihenanbau mineralisierten N aus dem Boden nur geringumfänglich auf. Deshalb besteht beim und insbesondere nach dem Anbau von Körnerleguminosen die Gefahr einer erhöhten N-Verlagerung und – auswaschung. So sind u. U. bereits zur Saat der Körnerleguminosen im Frühjahr erhebliche Mengen an

mineralischem N im Unterboden vorhanden, die zwischen Ernte der Vorfrucht und Saattermin der Körnerleguminosen im Boden mineralisiert wurden. Mit der N-Auswaschung geht ein im Ökologischen Landbau knapper Produktionsfaktor unproduktiv verloren und das Grundwasser wird belastet (JUSTUS & KÖPKE 1995). Häufig ausbleibende oder im Vergleich zu Futterleguminosen nur geringer ausgeprägte positiv ertragswirksame Vorfruchtwirkungen können darin ihre Ursache haben, sind aber auch eine Funktion der im Vergleich zu Futterleguminosen geringeren Menge an Ernte- und Wurzelrückständen und ihrer ungünstigeren Zusammensetzung (HEINZMANN 1981, KLIMANEK *et al.* 1988). Den im Oberboden befindlichen mineralischen N aus der bodenbürtigen Freisetzung nehmen die Körnerleguminosen zu großen Teilen auf, mit entsprechender Minderung der erwünschten symbiotischen N₂-Fixierung. In der Folge kann u. U. weniger N symbiotisch gebunden werden als mit den Körnern von der Fläche abgefahren wird: Körnerleguminosen werden als potentielle Mehrer der Bodenfruchtbarkeit dann zu Zehrern der Bodenfruchtbarkeit; negative N-Flächenbilanzsalden sind die Folge.

Insbesondere unter den Bedingungen reduzierter Bodenbearbeitung und Direktsaat, bei denen das Wurzelwachstum aufgrund höherer Dichtelagerung des Bodens eingeschränkt sein kann, limitiert nicht hinreichende Nährstoffversorgung N₂-Fixierleistung, Wachstum, Entwicklung und Kornertrag der Körnerleguminosen. Insbesondere Schwefel, Phosphor und Molybdän sind dieserhalb von besonderer Bedeutung (MARSCHNER 1995). Kalium, Zink und Kupfer sind durch die Spezifika der ökologischen Bewirtschaftung (organische Düngung) in der Regel hinreichend verfügbar.

Schwefelmangel ist inzwischen in Deutschland weit verbreitet. Infolge effizienter Rauchgasentschwefelung haben die Schwefelmissionen seit den 1980er Jahren markant abgenommen. Mineralisation aus der organischen Bodensubstanz und Rückführung durch organische Dünger decken insbesondere auf leichten Böden den Bedarf der Kulturpflanzen auch im Ökologischen Landbau nicht.

Auf einem mit Kalium ausreichend versorgten ökologisch bewirtschafteten Schwefelmangelstandort führte die Düngung mit K₂SO₄ zu erhöhten Schwefel- und Stickstoffkonzentrationen und entsprechend höherer N₂-Fixierleistung bei Ackerbohnen (SEEHUBER *et al.*, 2013, SEEHUBER 2014). Der Kornertrag, der an diesem Standort durch Trockenstress generell niedrig war, wurde durch die Schwefelzufuhr signifikant gesteigert. Schwefelmangel kann die N₂-Fixierleistung direkt und indirekt beeinträchtigen (PACZYNA 2005). Schwefelmangel beeinträchtigt die Bildung von Leghämoglobin, das somit freien Sauerstoff weniger effizient von den Symbionten fernhalten kann, mit der Folge einer Hemmung der Nitrogenaseaktivität. Darüber hinaus steht Ferredoxin in vermindertem Umfang für den Elektronentransport zur Verfügung. Entsprechende Effekte durch Schwefeldüngung (K₂SO₄) wurden in Gefäßversuchen mit Erbsen (*Pisum sativum*) und Luzerne (*Medicago sativa*) festgestellt. Eine Gabe von 200 mg S je Gefäß führte zu einer signifikanten Zunahme der Spross- und Wurzel- und Knöllchenbiomasse. Die Ferredoxin- und ATP-Konzentration in den Knöllchenbakterien an Erbsen war nach Schwefeldüngung signifikant höher und führte zu einer höheren N₂-Fixierleistung (SCHERER *et al.* 2008). Zu dem so beeinflussten komplexen Geschehen gehören auch Cystein- und Methiondefizite die mit einer gestörten Proteinsynthese, verminderter Bildung von Chlorophyll und Photosyntheseprodukten verbunden sind, welche dann nur in

vermindertem Umfang für die Symbiose zur Verfügung stehen. Analog zu diesen Ergebnissen war der Glukosegehalt in Spross, Wurzel und Knöllchenbakterien von Ackerbohnen bei Schwefelmangel signifikant geringer als bei normal versorgten Pflanzen und die N₂-Fixierleistung entsprechend vermindert (PACZYNA et al. 2004).

Gaben von 30 kg S ha⁻¹ wurden auch zur Düngung von Futterleguminosenbeständen ertragswirksam und die N₂-Fixierleistung deutlich steigernd genutzt (FISCHINGER et al. 2011, BECKER et al. 2013, BÖHM 2013, RIFFEL et al. 2013). In Gefäßversuchen mit Böden, die deutlichen S-Mangel aufwiesen, wurde das Wachstum (BFI, Wuchshöhe, Biomasse) von Luzerne (*Medicago sativa*) durch Gaben von 20 - 60 mg S (K₂SO₄) je kg Boden signifikant gesteigert (WANG et al. 2003). Schwefeldüngung (MgSO₄ und CaSO₄) zu Klee gras führte in zweijährigen Feldversuchen am Standort Gladbacher Hof (Uni Gießen) zu erhöhten Kornerträgen der Nachfrucht Winterweizen (RIFFEL et al. 2013). Schwefeldüngung (30 bzw. 60 kg S ha⁻¹) in Form von Magnesiumsulfat erhöhte auch den Trockenmasseertrag und den Rohproteingehalt von Rotklee gras signifikant (BÖHM et al. 2013).

Bei ökologisch angebautem Raps wurden auf Praxisbetrieben in Norddeutschland (n=12) häufig Schwefelgehalte der Blätter unterhalb des Optimalbereiches von 0,5-0,9 % S i.d. TS festgestellt, die durch S-Düngung – appliziert als Sulfat-S oder Elementaren Schwefel, als Boden- oder Blattdünger eingesetzt – wirksam erhöht werden konnten (BÖHM et al. 2013).

Kaliumsulfatdüngung zu Ackerbohnen (Applikation zu Blühbeginn) führte in zweijährigen Versuchen auf kalkhaltigen alkalischen Böden in Ägypten zu einer signifikanten Zunahme des Kornertrags und des Proteingehalts der Körner (MONA et al. 2011). Eine Differenzierung zwischen dem Kalium- und Schwefeleffekt des Düngers war in dieser Untersuchung nicht möglich. In Süditalien hatte eine Schwefeldüngung (30 kg S via K₂SO₄) ebenfalls eine signifikante Erhöhung des Kornertrags und der Proteinqualität von Ackerbohnen zur Folge (CAZZATO et al. 2012a). Gestaffelte Schwefeldüngung (0, 30 und 60 kg ha⁻¹) in zwei Gaben erhöhte auf den alkalischen Böden den Korn- und Proteinertrag sowie die N₂-Fixierleistung von Weisser Lupine (*Lupinus albus* L.) signifikant (CAZZATO et al. 2012b). Auf leicht alkalischen Böden (7,6-7,7) im Punjab / Pakistan wurde nach Applikation von Schwefel (Gips bzw. Ammoniumsulfat) zu Kichererbsen (*Cicer arietinum*) eine signifikante Zunahme des Kornertrages und eine erhöhte Aufnahme der Mikronährstoffe Kupfer und Eisen festgestellt (ISLAM 2012). Der Effekt der Schwefeldüngung (Gips bzw. Ammoniumsulfat) auf Kichererbsen erwies sich als synergistisch mit kombinierter Anwendung von Phosphor (TSP) (ISLAM et al. 2012a). Weitere Untersuchungen ergaben, dass unter den standörtlichen Bedingungen in Nordpakistan die S-Düngerform einen signifikanten Einfluss auf die Wirksamkeit hatte. Nach Ammoniumsulfatdüngung war die Ertragszunahme von Kichererbsen stärker ausgeprägt als nach Gipsdüngung (ISLAM et al. 2012b).

Die Methode, schwer lösliche Trikalziumphosphate durch die von Thiobakterien während der Oxidation von elementarem Schwefel freigesetzte Schwefelsäure aufzuschließen, wurde bereits im Jahre 1916 von amerikanischen Forschern, beschrieben (LIPMAN et al. 1916). Die Entwicklung von Standardverfahren zum industriellen Säureaufschluss von Phosphaten hat diesen Ansatz in

Vergessenheit geraten lassen. Positive Interaktionen einer kombinierten Düngung von Schwefel und Phosphor sind jedoch wiederholt berichtet worden. So steigerte elementarer Schwefel unter alkalischen Bodendingungen die Nährstoffaufnahme von Phosphor bei Mais (RAHMAN *et al.* 2011). Durch kombinierte Gaben von Phosphor (0, 40 und 80 kg ha⁻¹ via TSP) und Schwefel (0, 15 und 30 kg S ha⁻¹ via Gips) wurde die N₂-Fixierleistung von Kichererbsen im Punjab / Pakistan signifikant erhöht. Der Zusammenhang zwischen der S-Aufnahme der Bestände und dem aus der Luft fixierten Stickstoffanteil (% Ndfa) war mit R=0.76 signifikant (ISLAM & SAFDAR, 2009). Die im Projekt genutzte kombinierte Anwendung von elementarem Schwefel und Rohphosphat stellte somit einen erfolgversprechenden Ansatz zur Erhöhung der Kornerträge von Körnerleguminosen dar. Eine Steigerung der Düngereffizienz konnte durch räumlich konzentrierte Applikation im Wurzelbereich direkt unter der Saatreihe mittels Unterfußdüngung erwartet werden.

Starkes Unkrautwachstum ist in Körnerleguminosen u. a. durch deren langsame Jugendentwicklung, durch erhöhte bodenbürtige Stickstofffreisetzung als auch Rhizodeposition schon während des Wachstums der Körnerleguminosen und ein frühes Verkahlen der Bestände bedingt. Körnerleguminosen nehmen mineralisierten Stickstoff aus dem Oberboden, jedoch infolge ihrer verglichen mit Poaceen geringeren Wurzeldichte und geringerem Wurzeltiefgang nur in vglw. geringem Maße aus dem Unterboden auf. Insbesondere nitrophilen Unkrautarten mit einem tiefreichenden Wurzelsystem (z. B. Weißer Gänsefuß, Hederich) steht damit in großem Umfang bodenbürtiger Stickstoff zur Verfügung. Zur vorbeugenden Unkrautregulierung erfolgt die Saat der Körnerleguminosen in der Regel nach intensiver und zumeist wendender Bodenbearbeitung (Pflug) häufig gefolgt von wiederholter mechanischer Unkrautregulation, wodurch zwar mehrjährige Unkrautarten im Wachstum gestört werden, jedoch auch vermehrt N aus der organischen Bodensubstanz zum Vorteil der Unkräuter mineralisiert wird. Die bislang als unverzichtbar angesehene intensive Bodenbearbeitung erfordert einen hohen Verbrauch fossiler Energieträger (Diesel) und ist mit entsprechend hohen klimarelevanten CO₂-Emissionen (HAAS 1996, HAAS & KÖPKE 1994, Haas *et al.* 1994, 1995) und auch mit Humusabbau, d. h. dem Abbau potentieller Bodenfruchtbarkeit, verbunden.

Generell bietet sich somit der Einsatz reduzierter Bearbeitungsintensität - d. h. der Verzicht auf wendende Bodenbearbeitung - derzeit nur bei geeigneten Früchten bzw. Fruchtfolgepaaren mit entsprechend geringerem Vorfruchtanspruch an. Reduzierte Bodenbearbeitung wird in der Praxis des Ökologischen Landbaus je nach den gegebenen Ausgangsbedingungen vorgenommen. So wird – durchaus auch begründet mit einem geringeren Unkrautauflaufen - nach günstigen Vorfrüchten nicht wendende Grundbodenbearbeitung zu Wintergetreide empfohlen (PALLUT 2000). Die Ackerbohne im Gegensatz zur Körnererbse ist vglw. unkrauttolerant. Nach Bestandesschluss entwickelt sie eine hohe Konkurrenzkraft, die erst mit der Abreife der Bestände abnimmt und mit erheblicher Spätverunkrautung (z. B. Chenopodiaceen) verbunden sein kann (MASSUCATI 2013).

Erhöhter Unkrautdruck entsteht vor allem durch perennierende Wurzelunkräuter aber auch durch Akkumulation von Unkrautsamen in oberflächennahen Bodenschichten als Folge des zur Erhaltung des typischen Bodengefüges dauernden Verzichtes auf die mechanische Regulationswirkung durch

Bearbeitungsgeräte (FROUD-WILLIAMS *et al.* 1984, GRUNDY & MEAD 1998). Dies gilt unabhängig davon, dass oberflächennah abgelegte Unkrautsamen eher in Keimstimmung gelangen und weniger dormant fallen als jene, die tiefer in den Boden eingearbeitet werden, und dass zahlreiche Unkrautsamen verzehrende Prädatoren die Keimdichte an der Bodenoberfläche deutlich reduzieren können (PEKRUN *et al.* 2003b). Als Folge der letztlich höheren Unkrautdichte nach Pflugverzicht ist der erfolgreiche Einsatz der Mulchverfahren weltweit im konventionellen Landbau großflächig nur mit dem Einsatz chemisch-synthetischer Totalherbizide möglich (LESSITER 2003), die im Ökologischen Landbau untersagt sind.

Grundsätzlich ist die Substitution chemisch-synthetischer Totalherbizide wie Glyphosate, die die umfängliche Verbreitung von Mulchsaatverfahren weltweit erst ermöglichten, durch natürliche Substanzen mit herbizider Wirkung möglich. Zahlreiche Substanzen kommen potentiell zur Nutzung in Betracht (VERSCHWELE 2004). Dazu gehören beispielsweise Essigsäure, Kiefernholzextrakte (YOUNG 2004) oder pflanzliche Öle (DUDAI *et al.* 1999). Gleichwohl sind diese Stoffe, obwohl beispielsweise in Neuseeland zertifiziert (Kiefernholzextrakt: YOUNG 2004), unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus Mitteleuropas nicht zugelassen; ein Sachverhalt, der sich angesichts der internationalen Entwicklungen aber durchaus ändern könnte, wengleich direkte Unkrautregulation dieser Art dem (derzeitigen) Selbstverständnis des Ökologischen Landbaus in Mitteleuropa zuwiderläuft. Die - berechtigt oder unberechtigt - unter den Bedingungen Mitteleuropas höhere Sensibilität und mangelnde Kongruenz mit dem Selbstverständnis des Ökologischen Landbaus, lässt aber stattdessen die unkrautreduzierende Wirkung allelopathisch *on-site* wirksamer Substanzen der Vorfrüchte und v. a. der physikalischen Wirkungen der bodenoberflächlich belassenen Erntereste als geeignetere Lösung erscheinen, zumal in Marktfruchtbetrieben die Bergung von Stroh als Einstreu nicht erforderlich ist.

Zahlreiche allelopathisch wirksame Pflanzeninhaltsstoffe sind inzwischen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Keimung, Photosynthese und Wachstum anderer Pflanzen bekannt. In ihrer Wirkung sind sie synthetisch hergestellten Herbiziden ähnlich (SINGH *et al.* 2003). Aus Ernterückständen freiwerdende Stoffe mit allelopathischer Wirkung müssten nicht wie z. B. jene aus verschiedenen Baumarten bekannten Wirkstoffe (Rizvi *et al.* 1999) aufwendig extrahiert und in konzentrierter Form gezielt appliziert werden. Die Nutzung allelopathischer Effekte, wie sie von Roggen (MOLISCH 1937, MARTIN & RADEMACHER 1960 a, b, PUTNAM 1983), Hafer (PUTNAM & DE FRANK 1983), Sonnenblumen (BERNAT *et al.* 2004), Buchweizen (GOLISZ *et al.* 2004) und Senf (KOTNIK 2006) bekannt sind, könnte durch entsprechende Fruchtfolgen und auf den Ackerflächen belassene Ernterestmengen sichergestellt werden.

Überzeugende inhibitorische Effekte auf die Keimung von Unkräutern aber auch Kulturpflanzen wurden vornehmlich mit Laborversuchen belegt (MOLISCH 1937, RICE 1984, GAWRONSKA & GOLISZ 2005). Sie werden im Freiland durch zahlreiche andere Umweltfaktoren modifiziert und überlagert. Dies hat in Mitteleuropa zu erheblichem Zweifel betreffend die Nutzbarkeit allelopathischer Phänomene im landwirtschaftlichen Pflanzenbau geführt. Eigene Voruntersuchungen mit Hafer (MASSUCATI & KÖPKE 2011, MASSUCATI *et al.* 2011, 2012, MASSUCATI 2013) bestätigen Angaben der Literatur (THEISEN *et al.* 2000, DERPSCH & GROOMS 2002), dass mit Ernterestmengen von 4 – 6 tha^{-1} homogen verteilter und zerkleinerter Trockenmasse das Aufkommen annualer Unkräuter in der Nachfrucht hinreichend

unterdrückt werden kann. Mit diesem Ansatz werden auch in den USA erfolgreich Sojabohnen in zur Anthese abgeschlegeltem Winterroggen eingesät (PORTER et al. 2005).

Mit der Nutzung der allelopathischen Effekte ist u.U. auch die Regulation der in der Körnerleguminosen-Reihe keimenden und mit dem Bestand in die Höhe wachsender Unkräuter möglich, die sich bislang mechanisch kaum mit hinreichendem Wirkungsgrad regulieren lassen (MELANDER et al. 2005, MASSUCATI 2013, Endbericht 08OE – 020, 145,146 & 147). In Untersuchungen von PUTNAM & DE FRANK (1983) reduzierte Roggenmulch die Gesamtbiomasse von *Chenopodium album* um 55 %. Die toxische Wirkung der aus den Kulturpoaceen stammenden Verbindungen geht innerhalb von acht bis 42 Wochen verloren (GUENZI et al. 1967), muss also mit physikalischen Wirkungen einer unkrautunterdrückenden Mulchdecke verbunden werden. Die verschiedenen Körnerleguminosen-Arten sind unterschiedlich unkrauttolerant. Ein gewisser Besatz mit Unkräutern kann durchaus wünschenswert sein um den Befall mit *Aphis fabae* zu minimieren (PATRIQUIN et al. 1988, JUSTUS & KÖPKE 1995). Die Standorteinflüsse temporärer Drillsaat auf den Befall mit Schaderregern und mögliche Vermeidungsstrategien sind bei Körnerleguminosen bislang kaum untersucht. Untersuchungen von Massucati (2013) konnten bei zeitlich begrenzter Direktsaat keine höhere Gefährdung durch Ackerschnecken und bodenwühlende Tiere, wie Maulwurf, Wühlmaus, Feld- und Spitzmäuse feststellen, die unter feuchten Bedingungen bei langjährig unterlassener intensiver Bodenbearbeitung erhebliche Schäden verursachen können.

Obwohl aus Sicht des Schutzes der natürlichen Ressourcen und des Pflanzenbaus eine Vielzahl von gewünschten Effekten bei langjähriger Mulchsaat auftritt, besteht bei Landwirten oft generell eine negative Einschätzung der pflanzenbaulicher Folgen, wie z. B. das vermehrte Auftreten von Unkräutern und Schädlingen und damit einhergehende Ertragseinbußen (BAKER & SAXTON 2007, TEBRÜGGE & BÖHRNSEN 2000). Derzeit besteht ein deutliches Defizit bei der Motivation und Begleitung von Landwirten bei der Umstellung auf reduzierte Bodenbearbeitung, Mulchsaat bzw. des Anbaus von Körnerleguminosen in Kombination mit diesen Verfahren. Das ist darauf zurückzuführen, dass Erfahrungswerte und Entscheidungshilfen für die Einführung neuer Verfahren fehlen. Sie können durch Demonstration praxisreifer Verfahren und den Dialog mit den Zielgruppen geliefert werden. Diese Feststellung gilt insbesondere für die temporäre Mulch- und Direktsaat von Körnerleguminosen, die einige negative Effekte permanenter Mulch- und Direktsaat vermeiden kann.

3 Material und Methoden, Ergebnisse und Diskussion der Teilprojekte

3.1. Teilprojekt 1

3.2. Teilprojekt 2

3.3. Teilprojekt 3

3.1: Teilprojekt 1: Optimierung der Unkrautregulation, Schwefel- und Phosphorverfügbarkeit durch Unterfußdüngung bei temporärer Direktsaat von Körnerleguminosen

Projektleitung: Prof. Dr. Ulrich Köpke & Dr. Daniel Neuhoff, Universität Bonn

3.1.1. Material und Methoden

Es wurden insgesamt acht Feldversuche mit Acker- bzw. Sojabohnen sowie zwei Gefäßversuche mit Sojabohnen durchgeführt.

Feldversuche

Die Feldversuche wurden in den Jahren 2013 - 2015 an der Lehr- und Forschungsstation für Organischen Landbau ‚Wiesengut‘ der Universität Bonn in Hennef (Sieg) durchgeführt. Der Betrieb befindet sich in der Siegniederung auf 65 m über NN und der geographischen Lage 7°17'E, 50°48' N. Die durchschnittliche Jahrmitteltemperatur beträgt 10,3 °C, der mittlere Jahresniederschlag 840 mm.

Die Böden auf dem Versuchsgut bestehen aus lehmig-schluffigen bis sandig-lehmigen Auensedimenten unterschiedlicher Mächtigkeit und Korngrößenzusammensetzung, die unregelmäßig von Kiesköpfen durchsetzt sind. Durch die Flussnähe kommt es zu schwankenden Grundwasserständen und in den Innendeichflächen u. U. zu ausgeprägtem Druckwassereinfluss.

Der standortübliche pH-Wert der Böden des Versuchsguts liegt zwischen 5,7 und 6,8. Die Phosphor-, Kalium- und Schwefelversorgung der Versuchsböden ist in Tab. 3.1.1 dargestellt.

Tab. 3.1.1: Nährstoffgehalte in den Versuchsböden am Wiesengut

| | Versuch | pH 0-30cm | K (mg/100g, 0-30cm) | P (mg/100g, 0-30cm) | S min ₁ (kg/ha, 0-60cm) |
|---------------------|---------|--------------|------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Ackerbohnenversuche | III 13 | 5.8 | 16.8 | 7 | 40 |
| | I 14a | 5.7 | 15.5 | 4.5 | - |
| | II 4b | 6.5 | 12.9 | 9.1 | - |
| Sojabohnenversuche | IVb 13 | 6.8 | 16.8 | 7 | 40 |
| | IVb 14 | 5.8 | 13.7 | 5.3 | 30.6 |
| | IVb 15 | 5.9 | 11.57 | 2.6 | 26 |

1 zur Aussaat der jeweiligen Kultur

Witterungsverlauf in den Versuchsjahren

Das Versuchsjahr 2013 war durch ein trockenes Frühjahr und überdurchschnittliche Niederschläge in den Monaten Mai und Juni gekennzeichnet. Der Hochsommer war vergleichsweise trocken und warm (Abb. 3.1.1).

Das Versuchsjahr 2014 war ebenfalls durch Frühjahrstrockenheit geprägt. Vor allem von Februar bis April kam es kaum zu nennenswerten Niederschlägen. Im Mai regnete es durchschnittlich, wohingegen es im Juni zu deutlich weniger Niederschlag als im langjährigen Mittel kam. Der Sommer zeichnete sich durch hohe Niederschläge aus (vor allem im Juli und August). Es kam öfters zu Starkniederschlägen. Mit den geringen Niederschlagsmengen im Frühjahr gingen überdurchschnittlich hohe Temperaturen (Januar bis Mai) einher. Auch die Temperaturen im Juli lagen 2014 über dem langjährigen Durchschnitt. Lediglich der August zeichnete sich neben den überdurchschnittlich hohen Niederschlägen durch im Vergleich zum langjährigen Mittel niedrigere Temperaturen aus. Der Herbst war wiederum deutlich wärmer.

Auch das dritte Versuchsjahr war durch eine ausgeprägte Frühjahrstrockenheit gekennzeichnet, die sich beginnend mit dem Frühsommer langsam ausglich. Die Monate August und September waren überdurchschnittlich Niederschlagsbereich und vergleichsweise kühl.

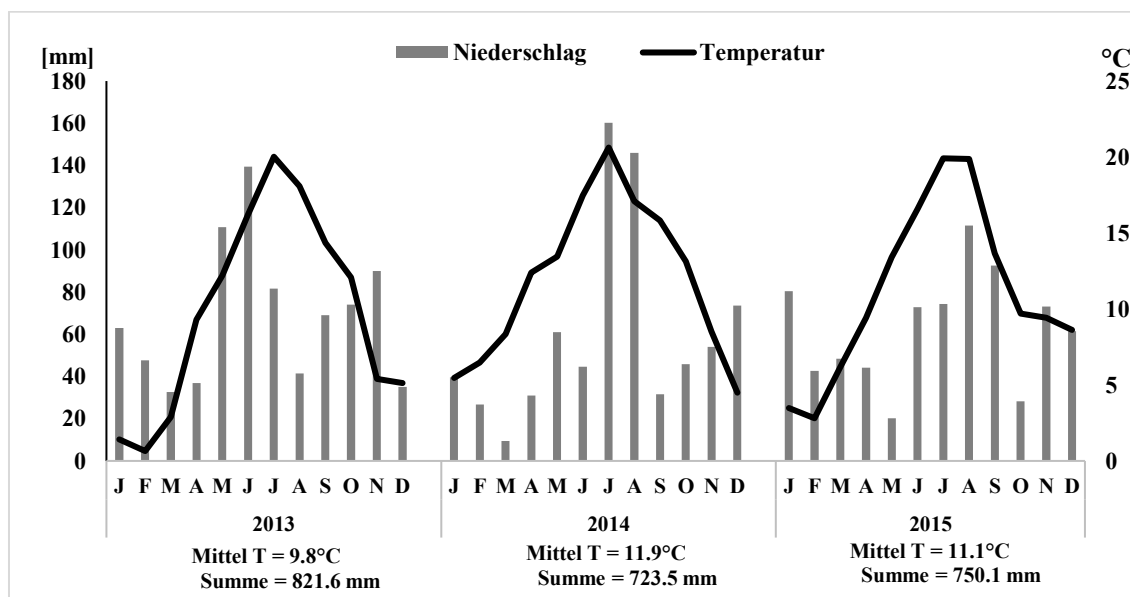


Abb. 3.1.1: Monatliche Durchschnittstemperaturen und Niederschlagssummen in den Versuchsjahren 2013-2015. Daten von der Wetterstation Wiesengut, Hennef/Sieg.

Durchgeführte Feldversuche

Feldversuch I 2014: Temporäre Ackerbohnen-Direktsaat in gewalzten Hafermulch – Unkrautbesatz und Unkrautregulation als Funktion der Mulchmasse

Varianten

1. Ackerbohnen Direktsaat ohne Düngung
2. P als Rohphosphat $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ (50 kg P ha^{-1})
3. elementarer Schwefel (40 kg S ha^{-1}) granuliert
4. Varianten 2 + 3

Vorfrucht Hafer, Hochschnitt, Stroh belassen, im Herbst gewalzt, Streifenanlage auf heterogenem Boden. Varianten differenziert nach Strohmasse der Vorfrucht/ Bodengüte, vier Wiederholungen

Feldversuch II 2014, Wiesengut: Temporäre Ackerbohnen- Direktsaat in Hafermulch – Unkrautregulation als Funktion der Mulchmasse und überwinterndem Ranunculus sardous (sardischer Hahnenfuß, Rote Liste-Art)

Varianten

1. Ackerbohnen-Direktsaat ohne Hafer-Strohmulch
 2. Ackerbohnen-Direktsaat mit 4 t ha^{-1} Hafer-Strohmulch
 3. Ackerbohnen-Direktsaat mit 6 t ha^{-1} Hafer-Strohmulch
 4. Ackerbohnen nach Pflugbearbeitung und Winterzwischenfrucht, betriebsüblich
- Einfaktorielle Blockanlage, vier Wiederholungen

Feldversuche III a,b zur Unterfußdüngung (Versuchsjahr 2013), Schwefel- und Molybdändüngung zu Ackerbohne (a) und Sojabohne (b)

Varianten:

1. Ackerbohnen Direktsaat ohne Düngung
2. mit KCL-Düngung (95 kg K ha^{-1})
3. mit K_2SO_4 (95 kg K ha^{-1} , 40 kg S ha^{-1})
4. mit Natriummolybdat NaMoO_4 + Variante 3
5. mit elementarem Schwefel (40 kg S ha^{-1})
6. mit Gips CaSO_4 (40 kg S ha^{-1})

Vorfrucht Getreide (a. Hafer/ b: Roggen), Stroh belassen, einfaktorielle Blockanlage, vier Wiederholungen

Feldversuch IV a, b 2013: Phosphor-/ Schwefeldüngung zu Ackerbohne (a) und Sojabohne (b)

Versuchsvarianten

1. Ackerbohnen Direktsaat ohne Düngung
2. P als Rohphosphat $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ (50 kg P ha^{-1})
3. elementarer Schwefel (40 kg S ha^{-1}) in Pulverform
4. Varianten 2 + 3 (gemischt)

Vorfrucht Getreide (Winterweizen), Zwischenfrucht Senf, Mulchsaat mit Drei- Scheiben Sämaschine (SEMEATO SHM 11/13); faktorielle Blockanlage, vier Wiederholungen

Feldversuchsdurchführung

Alle Versuche wurden standardmäßig mit einer Direktsaatsmaschine der Firma Semeato/Brasilien (Bild 3.1.1) mit sieben Reihen in einem Reihenabstand von 32 cm und einer Parzellenlänge von 15 m angelegt. Die Aussaat erfolgt je nach Versuch als Direkt- oder Mulchsaat. Perennierende Unkräuter, insbesondere verschiedene Ampferarten, wurden manuell aus den Versuchspartellen entfernt. Mechanische Unkrautregulierungsmaßnahmen wurden nicht durchgeführt. Weitere Details können dem Material- und Methodenteil des Vorgängerprojektes entnommen werden, in welchem die hier genannte Technik eingeführt wurde und dann routinemäßig zur Anwendung kam (<http://orgprints.org/20737/1/20737-08OE020-iol-koepke-2011-bodenfruchtbarkeit.pdf>, Seiten 27-30).



Bild 3.1.1: Direktsaat von Ackerbohnen in Haferstroh mit der Sämaschine SEMEATO SHM 11/13, Bild: J. Siebigteroth

Gefäßversuche

Es wurden zwei Gefäßversuche mit Sojabohnen in den Jahren 2013 und 2014 durchgeführt.

Varianten: (Ausbringungsmengen s.u.)

- 1: Elementarer Schwefel (ES)
- 2: Magnesiumsulfat (MgS),
- 3: Rohphosphat (RP),
- 4: Rohphosphat und Elementarer Schwefel (RPES)
- 5: Superphosphat (SP)
- 6: Superphosphat und Magnesiumsulfat (SPMgS),
- 7: Kontrolle, keine P und S-Düngung (KON)

Versuchsdurchführung

Für die Gefäßversuche wurden aus weißem Kunststoff gefertigte Pflanzkulturgefäße des Systems Kick / Brauckmann verwendet. Aufgestellt wurden die Gefäße in einer vollständig randomisierten Anordnung auf Waggonen. Diese bestehen aus vier drehbaren, freitragenden Gestellen, von denen jedes vier Töpfe fasst (Bild 3.1.2). Um den Einfluss der individuellen Positionierung zu minimieren, wurden die Gestelle täglich eine Position weiter gedreht. An niederschlagsfreien Tagen wurden die Waggonen tagsüber aus dem Gewächshaus geschoben und den natürlichen Umweltbedingungen ausgesetzt.

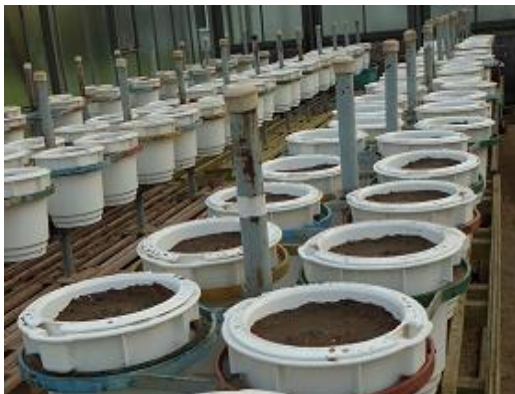


Bild. 3.1.2: Pflanzkulturgefäße auf Waggonen in drehbaren Gestellen. Bild: M. Pflipsen

Versuchsboden

In die Pflanzkulturgefäße wurden 10,5 kg Substrat eingefüllt. Zur Herstellung des Substrates wurde Oberboden einer Parabraunerde aus Löß vom Standort Dikopshof bei Wesseling verwendet. Der Oberboden entstammt der nichtgedüngten Variante des dortigen Dauerdüngungsversuches und weist eine Bodenzahl von 75 auf. Dieser Boden wurde luftgetrocknet und im Verhältnis 2:1 mit Sand gemischt. Vor der Homogenisierung der beiden Komponenten durch

eine Betonmischmaschine wurde der Boden mittels eines Durchwurfsiebtes mit einer Maschenweite von 15 x 15 mm gesiebt.

Die Zuordnung zu den Bodengehaltsklassen A-E erfolgte nach Angaben der LK-NRW (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER, 2012). Die Messung des Phosphatgehaltes der Bodenprobe ergab 5,2 mg P (11,9 mg P_2O_5) je 100 g Boden (Gehaltsstufe C). Der Kaliumgehalt des Bodens lag bei 11,4 mg K (13,7 mg K_2O) pro 100 g Boden (Gehaltsstufe C). Der pH-Wert des Pflanzkultursubstrates betrug 6,6. Die Messungen der Gehalte an Stickstoff und Kohlenstoff ergaben einen C_T -Wert von 0,74 % und einen N_T -Wert 0,06 %.

Düngung

Die Ausbringung der Dünger erfolgte als einmalige Applikation. Vor der Aussaat wurden alle Gefäße mit 3 g N (8,572 g NH_4NO_3) gedüngt. Ebenfalls vor der Aussaat wurden alle Gefäße mit 121 mg Magnesium gedüngt. Nach der Applikation wurden die Kulturgefäße in eine Wanne entleert und der Boden mit der Hand vermischt. Die Schwefeldüngung erfolgte je nach Variante mit $MgSO_4$ oder elementarem S und betrug 160 mg S je Gefäß. Weiterhin gedüngt wurden 200 mg P entsprechend der Variantenbelegung. Dazu wurden entweder 1,554 g Rohphosphat eingewogen oder 1,762 g Superphosphat ($Ca_2(H_2PO_4)_2 \times 6H_2O$). Es wurde "weicherdiges Rohphosphat 26" der Firma Timac Potasco verwendet, welches einen Siebdurchgang von 99 % bei 0,0125 mm und 90 % bei 0,0638 mm hat und 11,4 % P enthält (TIMAC-POTASCO, 2009). Nach dem Einfüllen des Düngers in das Düngedepot wurde dieses wieder verschlossen. Zur Sicherstellung der Versorgung mit K und Spurennährstoffen wurde eine Düngung von 1,906 g KCl, 0,483 g $FeCl_3 \times 6H_2O$, 0,072 g $MnCl \times 4H_2O$, 0,041 g $ZnCl_2$, 0,056 g $CuCl_2 \times 2H_2O$, 0,028 g H_3BO_3 , 0,012 g $Na_2MoO_4 \times H_2O$ und 0,024 g $Co(NO_3)_2 \times 6H_2O$ je Gefäß durchgeführt.

Datenerfassung und statistische Auswertung der Feld- und Gefäßversuche

Erhoben wurden die Nährstoffgehalte des Bodens, der Felddaufrang, das Längenwachstum, der SPAD-Wert (Bild 3.1.3.a+b), die Biomasse zu verschiedenen Entwicklungsstadien, Nährstoffgehalt und -aufnahme (NPK) des Sprosses sowie Kornertrag und Ertragsstruktur. Weiterhin wurden Parameter der Unkrautflora (Dichte, Deckungsgrad) erfasst.

Methodische Einzelheiten sind dem Abschlussbericht des Vorgängerprojektes (<http://orgprints.org/20737/1/20737-08OE020-iol-koepke-2011-bodenfruchtbarkeit.pdf>, Seiten 27-30) zu entnehmen.

Getrocknete Pflanzenproben ($105^\circ C$) wurden mit einer Scheibenschwingmühle fein vermahlen ($<0,25 mm$), luftgetrocknete Bodenproben auf 2 mm abgeseibt. Aufgrund des hohen Fettgehaltes wurden die Sojabohnen mit einer Kryomühle gemahlen (Bild 3.1.3c+d). Bodenabhängig wurden mittels der DL bzw. CAL-Methode (VDLUFA, 1991) Phosphor und Kalium aus dem Boden extrahiert. Vermahlene Pflanzenproben wurden in der Mikrowelle verascht. Die Messung des Phosphorgehaltes erfolgte photometrisch und die des Kaliumgehaltes mittels eines Flammenphotometers. Der Kohlenstoff- und Stickstoff- und Schwefelgehalt wurde mit einem Elementaranalysator und der pH-Wert mit einem Spannungsmessgerät (pH-Meter; Model WTW pH 340) bestimmt. Zur Messung des pH-Wertes wurden

10 g Boden in ein kleines Gefäß gegeben und mit 60 ml einer 0,01 mol CaCl₂-Lösung und zur Gleichgewichtseinstellung mehrmals umgerührt (30 min.).

Die Versuchsdaten wurden einer varianzanalytischen Auswertung mit anschließendem Tukey-Test ($\alpha = 0,05$) unterzogen. Zuvor wurden die Daten mit dem Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung geprüft (SHAPIRO & WILK 1965). Die Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SAS Version 9.3.



a



b



c



d

Bild 3.1.3a-d: Methodische Aspekte a) Längenmessung von Sojabohnen, b) Messung des SPAD-Wertes, c und d) Vermahlen von Sojabohnen mit einer Kryomühle der Firma SPEX, Modell Certi Prep 6750, Photos: M. Pflipsen & L. Müller.

3.1.2 Ergebnisse und Diskussion

3.1.2.1. Feldversuch I und IVa (Ackerbohne)

Die Sprosstrockenmasse zum Zeitpunkt der Blüte betrug in allen drei Versuchen etwa 3 t ha⁻¹. Im Versuchsjahr 2013 wurde bis zur Abreife noch ein deutlicher Zuwachs an Biomasse festgestellt, während dieser im zweiten Versuchsjahr in beiden Versuchen deutlich geringer ausfiel (Tab. 3.1.2).

Die nach Direktsaat erzielten Kornerträge waren im Versuchsjahr 2013 mit etwa 4,4 t ha⁻¹ deutlich höherer als in 2014 (Tab 3.1.2). Im Versuchsjahr 2014 wurden die Kornerträge in hohem Maße vom Boden und dessen Interaktion mit der Unkrautflora beeinflusst. Aufgrund von hohem Unkrautbesatz mit Durchwuchs von nicht ausgewintertem Sommerweizen, verschiedenen Ampferarten und Ackergänsedisteln waren die Kornerträge im Versuch 2014 b mit im Mittel 2,3 t ha⁻¹ deutlich niedriger als im Versuch 2014 a (3,5 t ha⁻¹).

Tab 3.1.2: Einfluss einer Unterfußdüngung mit Rohphosphat (RP) oder deren Kombination mit elementarem Schwefel (ES) auf Wachstum, Ertrag und Ertragsstruktur von Ackerbohnen. Die Unterschiede sind nicht signifikant. KON = Kontrolle, RP = Rohphosphat, ES = elementarer Schwefel, RPES = Kombination aus RP und ES

| | Variante | Kornertrag (t TM ha ⁻¹) | Sprossmasse (t TM ha ⁻¹)* | Sprossmasse (t TM ha ⁻¹)** | Ernteindex | Hülsen je pflanzen | Körner je Hülse | Körner je pflanze | TKM (g) |
|-------|----------|--|--|---|------------|-----------------------|--------------------|----------------------|---------|
| 2013 | KON | 4,2 | 2,8 | 7,0 | 0,59 | 17 | 3,3 | 55,5 | 401,5 |
| | RP | 4,5 | 3,1 | 7,6 | 0,59 | 19 | 3,4 | 65,0 | 408,0 |
| | ES | 4,5 | 3,3 | 7,7 | 0,58 | 19 | 3,3 | 60,9 | 401,3 |
| | RPES | 4,3 | 3,2 | 7,5 | 0,57 | 18 | 3,3 | 58,3 | 407,0 |
| 2014a | KON | 4,0 | 3,4 | 7,3 | 0,54 | 13 | 3,0 | 37,8 | 301,0 |
| | RP | 3,2 | 2,5 | 5,7 | 0,56 | 10 | 3,1 | 32,6 | 317,3 |
| | ES | 3,4 | 2,7 | 6,2 | 0,56 | 11 | 3,1 | 32,8 | 316,7 |
| | RPES | 3,3 | 2,8 | 6,2 | 0,54 | 12 | 2,9 | 33,6 | 315,3 |
| 2014b | KON | 2,3 | 3,1 | 5,4 | 0,59 | 11 | 2,9 | 31,4 | 384,4 |
| | RP | 2,5 | 3,0 | 5,5 | 0,54 | 12 | 2,9 | 35,2 | 375,3 |
| | ES | 2,1 | 2,9 | 5,0 | 0,58 | 10 | 2,9 | 30,5 | 367,5 |
| | RPES | 2,5 | 3,0 | 5,5 | 0,56 | 12 | 2,9 | 36,3 | 367,8 |

*: Sprossmasse zur Ernte ohne und **mit Korn

Die Düngung mit Rohphosphat oder elementarem Schwefel allein oder Kombination hatte keinen Effekt auf den Kornertrag (Tab 3.1.2). Die im Versuchsjahr 2013 festgestellten höheren Kornerträge erklären sich mit dem höheren Hülsenansatz je Pflanze. Die TKM war im Versuchsjahr 2014 mit im Mittel 313 g deutlich geringer als 2013 (405 g).

Die Nährstoffgehalte von Spross und Korn wurde durch die Phosphor- und/oder Schwefeldüngung nicht beeinflusst (Tab 3.1.3). Gleichwohl war der Stickstoffgehalt des Sprosses im Versuchsjahr 2014 insbesondere im Versuch b deutlich höher als in 2013 und 2014a. Die S-, P- und K-Gehalte der Ackerbohnen (Spross und Korn) wiesen in allen Versuchen nur vglw. geringfügige Schwankungen auf.

Tab. 3.1.3: Einfluss einer Unterfußdüngung mit Rohphosphat (RP) und/oder elementarem Schwefel (ES) auf den Nährstoffgehalt von Ackerbohnen (Spross und Korn). Die Unterschiede sind nicht signifikant. KON = Kontrolle, RP = Rohphosphat, ES = elementarer Schwefel, RPES = Kombination aus RP und ES

| | | N-Gehalt (%i.d.TM) | | | P-Gehalt (%i.d.TM) | | | S-Gehalt (%i.d.TM) | | | K-Gehalt (%i.d.TM) | | |
|-------|------|-----------------------|------|------|-----------------------|------|------|-----------------------|------|------|-----------------------|------|------|
| | | SP1 | SP2 | Korn | SP1 | SP2 | Korn | SP1 | SP2 | Korn | SP1 | SP2 | Korn |
| 2013 | KON | 3.15 | 2.97 | 5.08 | 0.48 | 0.38 | 0.52 | 0.16 | 0.12 | 0.15 | 2.90 | 1.85 | 1.19 |
| | RP | 3.17 | 2.92 | 5.21 | 0.48 | 0.38 | 0.56 | 0.16 | 0.14 | 0.17 | 2.96 | 1.93 | 1.20 |
| | ES | 2.95 | 3.06 | 5.13 | 0.48 | 0.38 | 0.55 | 0.15 | 0.14 | 0.18 | 2.85 | 1.93 | 1.19 |
| | RPES | 3.10 | 2.93 | 5.14 | 0.49 | 0.38 | 0.55 | 0.16 | 0.14 | 0.20 | 2.80 | 1.98 | 1.20 |
| 2014a | KON | 3.62 | 1,96 | 5.77 | 0.45 | 0,44 | 0.76 | 0.16 | 0,24 | 0.21 | 2.29 | 1,91 | 1.27 |
| | RP | 3.67 | 1,96 | 5.56 | 0.43 | 0,45 | 0.79 | 0.17 | 0,27 | 0.23 | 2.00 | 1,72 | 1.29 |
| | ES | 3.36 | 1,88 | 5.49 | 0.43 | 0,46 | 0.76 | 0.16 | 0,23 | 0.22 | 2.07 | 1,67 | 1.27 |
| | RPES | 3.33 | 1,94 | 5.43 | 0.43 | 0,43 | 0.79 | 0.17 | 0,23 | 0.25 | 1.99 | 0,92 | 1.27 |
| 2014b | KON | 3.51 | 3,56 | 5.94 | 0.50 | 0,52 | 0.69 | 0.14 | 0,11 | 0.20 | 2.79 | 1,51 | 1.22 |
| | RP | 3.67 | 3,51 | 5.78 | 0.50 | 0,50 | 0.68 | 0.18 | 0,12 | 0.22 | 2.31 | 1,44 | 1.22 |
| | ES | 3.66 | 3,60 | 5.91 | 0.50 | 0,49 | 0.68 | 0.16 | 0,11 | 0.22 | 2.49 | 1,51 | 1.23 |
| | RPES | 3.68 | 3,46 | 5.68 | 0.51 | 0,49 | 0.70 | 0.18 | 0,12 | 0.23 | 2.60 | 1,47 | 1.23 |

SP1: Sprossmasse zur Blüte BBCH65; SP2: Sprossmasse zur Reife BBCH80

Analog zu den Ertrags- und Nährstoffdaten der Ackerbohnen wurden hinsichtlich der Nährstoffaufnahme keine signifikanten Effekte der verschiedenen Düngungsvarianten festgestellt. Der Stickstoffentzug über das Korn erreichte einen maximalen Wert von 235 kg ha⁻¹ und einen Mindestwert von 169 kg ha⁻¹. Tendenziell war der Entzug im ersten Versuchsjahr höher als im Versuchsjahr 2014. Die kombinierte Anwendung von Rohphosphat und Schwefel hatte in allen drei Versuchen eine tendenzielle Zunahme des S-Gehaltes der Körner zur Folge. Analog hierzu war auch der Schwefelentzug über die Körner in allen drei Versuchen nach kombinierter Applikation von Rohphosphat und Schwefel tendenziell höher als in der Kontrolle (Tab. 3.1.4).

Tab 3.1.4: Einfluss einer Unterfußdüngung mit Rohphosphat (RP) und/oder elementarem Schwefel (ES) auf Nährstoffaufnahme und -entzug von Ackerbohnen (Spross und Korn). Die Unterschiede sind nicht signifikant. KON = Kontrolle, RP = Rohphosphat, ES = elementarer Schwefel, RPES = Kombination aus RP und ES

| | | N- Aufnahme/Entzug (kg ha ⁻¹) | | | P- Aufnahme/Entzug (kg ha ⁻¹) | | | S- Aufnahme/Entzug (kg ha ⁻¹) | | | K- Aufnahme/Entzug (kg ha ⁻¹) | | |
|-------|------|--|-------|-------|--|------|------|--|------|------|--|-------|------|
| | | SP1 | SP2 | Korn | SP1 | SP2 | Korn | SP1 | SP2 | Korn | SP1 | SP2 | Korn |
| 2013 | KON | 71.9 | 132.1 | 212.6 | 10.9 | 17.0 | 21.8 | 3.6 | 5.5 | 6.4 | 66.3 | 83.5 | 50.0 |
| | RP | 70.8 | 140.2 | 235.8 | 10.6 | 18.1 | 25.2 | 3.5 | 6.5 | 7.9 | 65.7 | 90.1 | 54.4 |
| | ES | 67.3 | 149.2 | 228.6 | 11.0 | 18.7 | 24.8 | 3.5 | 6.8 | 7.8 | 65.4 | 93.9 | 53.2 |
| | RPES | 59.6 | 153.3 | 219.8 | 9.4 | 20.0 | 23.8 | 3.0 | 7.6 | 8.6 | 53.7 | 103.8 | 51.4 |
| 2014a | KON | 69.8 | 110.0 | 228.4 | 8.7 | 24.3 | 30.1 | 3.1 | 13.2 | 8.2 | 44.6 | 103.8 | 50.3 |
| | RP | 68.8 | 114.3 | 177.6 | 8.1 | 26.3 | 25.1 | 3.2 | 15.9 | 7.4 | 37.5 | 93.0 | 41.1 |
| | ES | 62.7 | 103.8 | 188.1 | 8.0 | 25.2 | 25.8 | 3.0 | 12.7 | 7.5 | 38.9 | 94.2 | 43.7 |
| | RPES | 65.9 | 104.1 | 179.9 | 8.4 | 22.9 | 26.2 | 3.4 | 12.7 | 8.3 | 39.8 | 52.5 | 42.4 |
| 2014b | KON | 36.9 | 125.6 | 186.6 | 5.3 | 18.5 | 21.6 | 1.4 | 3.9 | 6.2 | 29.6 | 53.2 | 38.3 |
| | RP | 55.0 | 147.1 | 171.4 | 7.5 | 20.8 | 20.5 | 2.6 | 5.0 | 6.6 | 34.4 | 59.2 | 36.8 |
| | ES | 44.4 | 137.4 | 170.6 | 6.1 | 18.9 | 19.7 | 1.9 | 4.4 | 6.3 | 32.5 | 58.8 | 35.7 |
| | RPES | 49.0 | 116.4 | 169.0 | 6.9 | 15.8 | 20.8 | 2.4 | 4.1 | 7.0 | 35.1 | 49.6 | 36.9 |

SP1: Sprossmasse zur Blüte BBCH65; SP2: Sprossmasse zur Reife BBCH80

3.1.2.2. Feldversuch II: Temporäre Ackerbohnen-Direktsaat in gewalzten Hafermulch

In Analogie zu dem bereits im Jahr 2007 durchgeführten Feldversuch wurde 2014 wiederum nach Direktsaat eine hohe Abundanz des in NRW als gefährdet eingestuften Sardischen Hahnenfußes (*Ranunculus sardous*) festgestellt, während diese Art nach Pflugbearbeitung nicht auftrat. Der Kornertrag war mit etwa 2 t TM ha⁻¹ in diesem Versuch vglw. gering. Zudem wurde erwartungsgemäß ein negativer Zusammenhang zwischen dem Deckungsgrad mit *Ranunculus sardous* und dem Kornertrag festgestellt (Abb. 3.1.2). Bei hohem Deckungsgrad mit *Ranunculus sardous* (Klasse 4 und 5) war der Kornertrag im Vergleich zu den Klassen 1 und 2 deutlich geringer. Mit Ausnahme der Deckungsgrad-Klasse 5 wurde nach Düngung mit Rohphosphat ein im Vergleich zur Kontrolle signifikant höherer Kornertrag festgestellt. Analoge Befunde wurden auch für den Parameter Sprossmasse zur Ernte beobachtet.

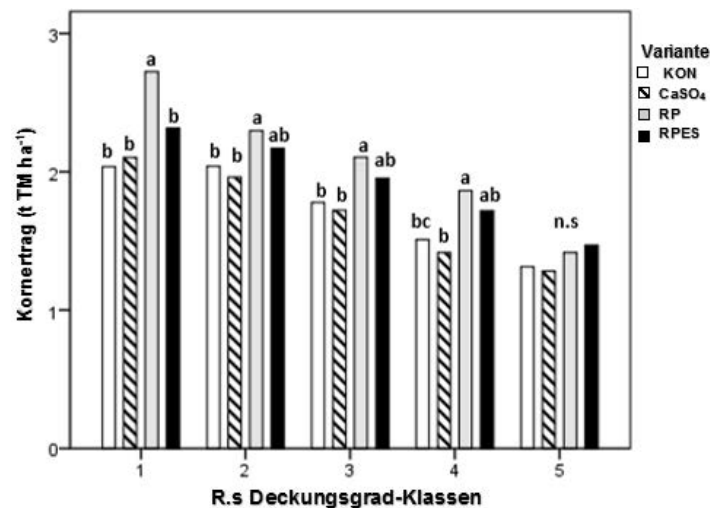
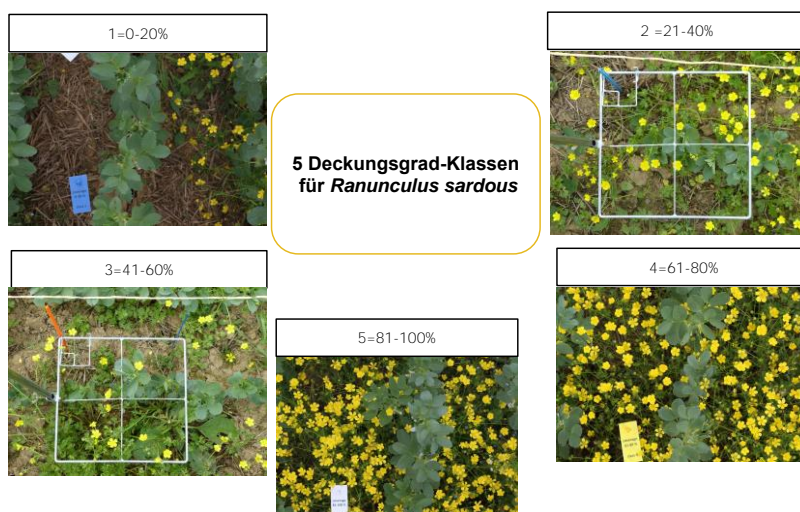


Abb. 3.1.2: Einfluss verschiedener Deckungsgrad Klassen mit *Ranunculus sardous* (*s.u.*) und S/P – Düngung auf den Kornertrag von Ackerbohnen, KON = Kontrolle, CaSO₄ = Calciumsulfat, RP = Rohphosphat, RPES = Kombination aus RP und elementarem Schwefel, Tukey-Test, $\alpha=5\%$.



3.1.2.3. Feldversuch III (Ackerbohnen)

Im Mittel der Varianten beider Versuchsjahre war der Kornertrag mit etwa 3,6 t TM ha⁻¹ etwa gleich hoch. Die Schwefeldüngung hatte unabhängig von der Form keinen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag (Tab. 3.1.5). Insbesondere im zweiten Versuchsjahr wurde eine hohe Varianz festgestellt, die zu vglw. hohen Grenzdifferenzen führte. Analog zum Kornertrag wiesen auch alle Parameter der Ertragsstruktur keine variantenbedingten signifikanten Unterschiede auf. Jedoch war bei insgesamt gleichem Ertragsniveau beider Jahre die TKM in 2013 (404 g) deutlich höher als 2014 (312 g). Auch der Hülsenansatz war 2013 mit 18 Hülsen je Pflanze höher als im Versuchsjahr 2013 (14 Hülsen je Pflanze). Die Bestandesdichte als kompensierender Faktor (nicht dargestellt) war demgegenüber in 2014 deutlich höher.

Tab. 3.1.5: Einfluss einer Unterfußdüngung auf Wachstum, Ertrag und Ertragsstruktur von Ackerbohnen. Die Unterschiede sind nicht signifikant. KON = Kontrolle, KCL= Kaliumchlorid, KS = Kaliumsulfat, KS + Mo = Kombination aus KS und Molybdän, S = elementarer Schwefel, CaSO₄ = Calciumsulfat. Die Unterschiede zwischen den Düngevarianten sind nicht signifikant.

| | Variante | Kornertrag (t TM ha ⁻¹) | Sprossmasse (t TM ha ⁻¹) * | Sprossmasse (t TM ha ⁻¹) ** | Ernteindex | Hülsen je pflanze | Körner je Hülse | Körner je pflanze | TKM |
|------|-------------------|--|---|--|------------|----------------------|--------------------|----------------------|-------|
| 2013 | KON | 3,5 | 2,1 | 5,6 | 0,63 | 18 | 3,2 | 58 | 439,6 |
| | KCL | 3,9 | 2,4 | 6,3 | 0,62 | 18 | 3,1 | 56 | 435,9 |
| | KS | 3,8 | 2,8 | 6,6 | 0,57 | 20 | 3,3 | 66 | 347,9 |
| | KS+Mo | 3,3 | 2,3 | 5,7 | 0,58 | 16 | 3,3 | 53 | 445,7 |
| | S | 3,5 | 2,2 | 5,7 | 0,61 | 17 | 3,3 | 54 | 437,3 |
| | CaSO ₄ | 3,6 | 2,3 | 5,9 | 0,60 | 16 | 3,4 | 55 | 437,2 |
| 2014 | KON | 4,0 | 2,4 | 6,4 | 0,62 | 15 | 3,2 | 49 | 319,5 |
| | KCL | 3,7 | 2,5 | 6,2 | 0,60 | 14 | 3,1 | 44 | 327,8 |
| | KS | 3,3 | 2,8 | 6,1 | 0,54 | 12 | 3,1 | 36 | 314,5 |
| | KS+Mo | 3,6 | 2,7 | 6,4 | 0,58 | 15 | 3,0 | 46 | 336,4 |
| | S | 4,3 | 2,8 | 7,1 | 0,61 | 14 | 3,2 | 45 | 334,2 |
| | CaSO ₄ | 3,2 | 2,4 | 5,5 | 0,58 | 13 | 3,1 | 41 | 353,3 |

*: Sprossmasse zur Ernte ohne und **mit Korn

Die Stickstoffgehalte von Korn und Spross wurden nur geringfügig von der Düngung beeinflusst (Tab. 3.1.6). Im Versuchsjahr 2014 war der Stickstoffgehalt von Korn und Spross (zweiter Erntetermin) nach Düngung mit Kaliumsulfat und Molybdän bzw. Calciumsulfat (nur Spross) signifikant höher als nach alleiniger Düngung mit Kaliumsulfat. Ein signifikanter Unterschied zur ungedüngten Kontrolle wurde nicht festgestellt.

Auch die Phosphorgehalte von Spross und Korn wurden durch die Düngung nicht erkennbar konsistent und zudem absolut gesehen nur geringfügig beeinflusst (Tab. 3.1.6). Demgegenüber wurde der Schwefelgehalt von Spross und Korn in beiden Jahren durch die Anwendung sulfathaltiger Dünger z.T. signifikant erhöht. Die höchsten Schwefelgehalte in Spross und Korn wurden in beiden Jahren nach Düngung mit Calciumsulfat gemessen.

Tab. 3.1.6: Einfluss einer Unterfußdüngung auf Nährstoffgehalte von Ackerbohnen. KON = Kontrolle, KCL= Kaliumchlorid, KS = Kaliumsulfat, KS + Mo = Kombination aus KS und Molybdän, S = elementarer Schwefel, CaSO₄ = Calciumsulfat, Tukey-Test, α=5%.

| | | N-Gehalt (%i.d.TM) | | | P-Gehalt (%i.d.TM) | | | S-Gehalt (%i.d.TM) | | | K-Gehalt (%i.d.TM) | | |
|------|-------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|------|------|
| | | SP1 | SP2 | Korn | SP1 | SP2 | Korn | SP1 | SP2 | Korn | SP1 | SP2 | Korn |
| 2013 | KON | 2.88 | 2.91 | 5.14 | 0.45 | 0.38 | 0.50 | 0.13 ^b | 0.13 ^b | 0.15 ^c | 2.92 | 2.20 | 1.15 |
| | KCL | 2.98 | 3.07 | 5.19 | 0.47 | 0.40 | 0.52 | 0.13 ^b | 0.13 ^b | 0.14 ^c | 3.38 | 2.49 | 1.16 |
| | KS | 3.00 | 3.07 | 5.01 | 0.46 | 0.38 | 0.54 | 0.16 ^{ab} | 0.17 ^a | 0.21 ^a | 3.19 | 2.50 | 1.19 |
| | KS+Mo | 3.07 | 3.14 | 5.29 | 0.44 | 0.41 | 0.52 | 0.15 ^{ab} | 0.16 ^{ab} | 0.21 ^a | 3.10 | 2.50 | 1.19 |
| | S | 3.18 | 3.06 | 5.08 | 0.47 | 0.38 | 0.48 | 0.15 ^{ab} | 0.15 ^{ab} | 0.17 ^b | 3.01 | 2.24 | 1.17 |
| | CaSO ₄ | 3.01 | 3.04 | 5.23 | 0.49 | 0.38 | 0.53 | 0.17 ^a | 0.17 ^a | 0.21 ^a | 3.31 | 2.40 | 1.17 |
| 2014 | KON | 3.76 | 3.58 ^a | 5.87 ^a | 0.55 | 0.48 ^{ab} | 0.74 ^{ab} | 0.16 ^b | 0.11 ^b | 0.20 ^c | 1.63 | 1.64 | 1.23 |
| | KCL | 3.57 | 3.42 ^{ab} | 5.67 ^{ab} | 0.56 | 0.45 ^b | 0.72 ^{ab} | 0.15 ^b | 0.11 ^b | 0.18 ^c | 2.03 | 1.76 | 1.25 |
| | KS | 3.55 | 2.98 ^b | 5.22 ^b | 0.53 | 0.45 ^b | 0.74 ^{ab} | 0.21 ^{ab} | 0.16 ^a | 0.26 ^a | 1.73 | 1.77 | 1.30 |
| | KS+Mo | 3.88 | 3.45 ^a | 5.86 ^a | 0.54 | 0.44 ^b | 0.71 ^b | 0.21 ^{ab} | 0.14 ^{ab} | 0.23 ^b | 1.84 | 1.70 | 1.24 |
| | S | 3.67 | 3.22 ^{ab} | 5.48 ^{ab} | 0.59 | 0.45 ^b | 0.74 ^{ab} | 0.18 ^{ab} | 0.11 ^b | 0.21 ^c | 1.77 | 1.64 | 1.26 |
| | CaSO ₄ | 4.12 | 3.59 ^a | 5.65 ^{ab} | 0.63 | 0.49 ^a | 0.76 ^a | 0.24 ^a | 0.15 ^a | 0.25 ^{ab} | 1.88 | 1.76 | 1.26 |

SP1: Sprossmasse zur Blüte BBCH65; SP2: Sprossmasse zur Reife BBCH80

Nährstoffaufnahme und -entzug von Spross und Korn wurden durch die Düngung mit Ausnahme der Schwefelaufnahme im Spross zur zweiten Zeiternte im Versuchsjahr 2014 nicht beeinflusst (Tab. 3.1.7). Der höchste (nicht signifikante) Stickstoffentzug über das Korn (235 kg ha^{-1}) wurde in der Kontrollvariante im Versuchsjahr 2014 festgestellt.

Tab. 3.1.7: Einfluss einer Unterfußdüngung auf Nährstoffaufnahme bzw. -entzug von Ackerbohnen. KON = Kontrolle, KCL= Kaliumchlorid, KS = Kaliumsulfat, KS + Mo= Kombination aus KS und Molybdän, S = elementarer Schwefel, CaSO_4 = Calciumsulfat, Tukey-Test, $\alpha = 5\%$.

| | N- Aufnahme/Entzug (kg ha^{-1}) | | | P- Aufnahme/Entzug (kg ha^{-1}) | | | S- Aufnahme/Entzug (kg ha^{-1}) | | | K- Aufnahme/Entzug (kg ha^{-1}) | | | |
|-------------|---|------|-------|---|------|------|---|-----|--------------------|---|------|-------|------|
| | SP1 | SP2 | Korn | SP1 | SP2 | Korn | SP1 | SP2 | Korn | SP1 | SP2 | Korn | |
| 2013 | KON | 80.9 | 131.1 | 181.4 | 12.8 | 17.3 | 17.6 | 3.6 | 5.9 | 5.1 | 83.6 | 99.2 | 40.6 |
| | KCL | 80.3 | 158.8 | 202.1 | 12.6 | 20.2 | 20.2 | 3.6 | 6.6 | 5.4 | 91.5 | 127.2 | 45.1 |
| | KS | 67.7 | 135.8 | 190.8 | 10.3 | 17.4 | 20.6 | 3.5 | 7.6 | 7.9 | 71.6 | 112.2 | 45.3 |
| | KS+Mo | 81.3 | 139.6 | 176.0 | 11.7 | 18.4 | 17.3 | 4.0 | 7.3 | 7.0 | 81.8 | 111.5 | 39.9 |
| | S | 71.3 | 144.8 | 176.5 | 10.5 | 17.9 | 16.6 | 3.4 | 7.1 | 6.0 | 67.6 | 104.9 | 40.2 |
| | CaSO_4 | 77.4 | 134.0 | 188.0 | 12.6 | 16.8 | 19.3 | 4.3 | 7.4 | 7.6 | 85.0 | 105.9 | 42.1 |
| 2014 | KON | 42.8 | 169.9 | 235.3 | 6.3 | 24.1 | 30.0 | 1.9 | 6,4 ^b | 7.9 | 18.8 | 80.6 | |
| | KCL | 52.1 | 193.9 | 209.9 | 8.1 | 27.5 | 26.7 | 2.3 | 7,5 ^{ab} | 6.8 | 29.7 | 103.4 | |
| | KS | 45.2 | 176.6 | 175.1 | 6.8 | 28.6 | 24.6 | 2.6 | 11,3 ^{ab} | 8.8 | 22.2 | 108.9 | |
| | KS+Mo | 57.7 | 167.9 | 213.7 | 8.0 | 23.8 | 25.9 | 3.1 | 8,7 ^{ab} | 8.5 | 27.5 | 87.9 | |
| | S | 56.9 | 197.8 | 234.6 | 9.5 | 29.8 | 31.9 | 2.9 | 8,5 ^{ab} | 8.7 | 29.8 | 106.0 | |
| | CaSO_4 | 60.5 | 209.8 | 178.0 | 9.4 | 31.8 | 24.0 | 3.5 | 11,6 ^a | 7.8 | 28.4 | 110.1 | |

3.1.2.4 Feldversuch IV b (Sojabohnen)

Die Feldversuche zu Sojabohnen waren durch eine heterogene Ausgangslage in den verschiedenen Versuchsjahren gekennzeichnet. Im Versuchsjahr 2013 war die Impfung des Saatgutes mit *Bradyrhizobium japonicum* nicht erfolgreich und führte über die gesamte Vegetationsperiode zu erheblichen Minderwuchs, der zu einer maximalen Bestandeshöhe von nur etwa 45 cm führte (Abb. 3.1.3). Im zweiten Versuchsjahr (2014) erreichten die Sojabohnen nach erfolgreicher Inokulation eine maximale Bestandeshöhe von etwa 75 cm. In 2015 war das Längenwachstum im Vergleich zu 2014 etwas geringer. Keine der geprüften Düngungsvarianten hatte einen Einfluss auf das Längenwachstum der Sojabohnen.

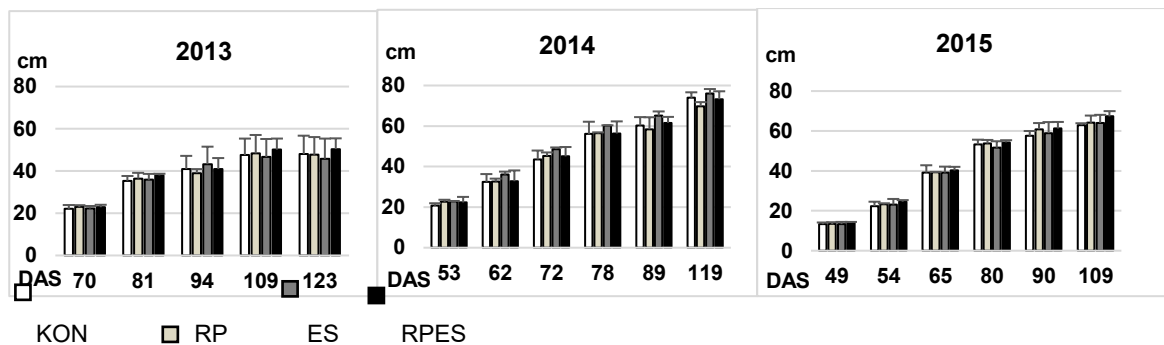


Abb. 3.1.3: Einfluss einer Unterfußdüngung mit Rohphosphat (RP) und/oder elementarem Schwefel (ES) auf das Längenwachstum von Sojabohnen. Die Unterschiede sind nicht signifikant. KON = Kontrolle, RP = Rohphosphat, ES = elementarer Schwefel, RPES = Kombination aus RP und ES



Bild 3.1.4: Düngungsversuch IVb2015 mit Sojabohnen am Wiesengut

Die Kornerträge waren im ersten Versuchsjahr (2013) mit im Mittel etwa 2,3 t TM ha⁻¹ deutlich geringer als 2014 (2,9 t TM ha⁻¹) und 2015 (4,3 t TM ha⁻¹). Der Hülsenansatz war im Versuchsjahr 2015 mit 48 Hülsen je Pflanze deutlich höher als in den Jahren 2013 (16 Hülsen je Pflanze) und 2014 (19 Hülsen je Pflanze). Die geringsten annualen Unterschiede wurden bei der TKM festgestellt (Tab. 3.1.8).

Die Düngung hatte in allen drei Versuchsjahren keinen Einfluss auf Kornertrag und Ertragsstruktur der Sojabohnen.

Tab. 3.1.8: Einfluss einer Unterfußdüngung mit Rohphosphat (RP) und/oder elementarem Schwefel (ES) auf Wachstum, Ertrag und Ertragsstruktur von Sojabohnen. Die Unterschiede sind nicht signifikant. KON = Kontrolle, RP = Rohphosphat, ES = elementarer Schwefel, RPES = Kombination aus RP und ES

| | Variante | Kornertrag (t TM ha ⁻¹) | Sprossmasse (t TM ha ⁻¹)* | Sprossmasse (t TM ha ⁻¹)** | Ernteindex | Hülsen je pflanze | Körner je Hülse | Körner je pflanze | TKM |
|------|----------|--|--|---|------------|-------------------|-----------------|--------------------|-------|
| 2013 | KON | 2,5 | 1,3 | 3,8 | 0,65 | 15 | 1,6 | 23,1 ^a | 179,3 |
| | RP | 2,3 | 1,4 | 3,7 | 0,63 | 15 | 1,3 | 17,6 ^{ab} | 182,4 |
| | ES | 2,1 | 1,2 | 3,3 | 0,65 | 16 | 1,2 | 18,5 ^{ab} | 184,3 |
| | RP+S | 2,3 | 1,5 | 3,8 | 0,60 | 18 | 0,9 | 14,9 ^b | 187,4 |
| 2014 | KON | 2,4 | 1,0 | 3,4 | 0,67 | 19 | 2,4 | 45,8 | 186,9 |
| | RP | 3,2 | 0,9 | 4,1 | 0,79 | 17 | 2,2 | 38,4 | 196,2 |
| | ES | 2,9 | 0,9 | 3,8 | 0,76 | 22 | 2,3 | 52,1 | 189,4 |
| | RP+S | 2,5 | 0,7 | 3,3 | 0,77 | 17 | 2,5 | 41,6 | 185,9 |
| 2015 | KON | 4,3 | 6,6 | 10,9 | 0,39 | 49 | 2,8 | 139,6 | 191,0 |
| | RP | 4,1 | 5,4 | 9,6 | 0,43 | 47 | 3,0 | 143,3 | 198,4 |
| | ES | 4,5 | 6,2 | 10,7 | 0,42 | 47 | 2,7 | 124,9 | 200,5 |
| | RP+S | 4,3 | 6,4 | 10,7 | 0,40 | 49 | 2,7 | 131,4 | 181,7 |

*: Sprossmasse zur Ernte ohne und **mit Korn

In Analogie zu den Ertragsdaten war der Stickstoffgehalt von Spross und Korn im Versuchsjahr 2013 deutlich geringer als in beiden Folgejahren (Tab. 3.1.9). Düngungsbedingte Unterschiede im Stickstoffgehalt von Spross und Korn wurden in keinem der Versuchsjahre festgestellt. Im Gegensatz hierzu war der Phosphorgehalt von Spross und Korn im Versuchsjahr 2013 deutlich höher als in den Versuchsjahren 2014 und 2015. Die Düngung mit Rohphosphat bzw. in Kombination mit elementarem Schwefel hatte in keinem der drei Versuche einen Effekt auf die Phosphorgehalte von Spross und Korn.

Die Schwefelgehalte in der Sprossmasse lagen in allen Versuchsvarianten und -jahren in einem engen Bereich von 0,2 - 0,25% S in der TM (Tab. 3.1.9). Düngungsbedingte Unterschiede wurden nicht festgestellt, auch die Düngung hatte keinen Einfluss auf den Kaliumgehalt von Spross und Korn.

Tab. 3.1.9: Einfluss einer Unterfußdüngung mit Rohphosphat (RP) und/oder elementarem Schwefel (ES) auf den Nährstoffgehalt von Sojabohnen (Spross und Korn). Die Unterschiede sind nicht signifikant. KON = Kontrolle, RP = Rohphosphat, ES = elementarer Schwefel, RPES = Kombination aus RP und ES

| | | N-Gehalt (%i.d.TM) | | | P-Gehalt (%i.d.TM) | | | S-Gehalt (%i.d.TM) | | | K-Gehalt (%i.d.TM) | | |
|-------------|-------------|-----------------------|------|------|-----------------------|------|------|-----------------------|------|------|-----------------------|------|------|
| | | SP1 | SP2 | Korn | SP1 | SP2 | Korn | SP1 | SP2 | Korn | SP1 | SP2 | Korn |
| 2013 | KON | 2.41 | 1.54 | 4.86 | 0.66 | 0.69 | 1.47 | 0.24 | 0.24 | 0.33 | 2.11 | 2.10 | 2.24 |
| | RP | 2.33 | 1.52 | 4.82 | 0.65 | 0.64 | 1.53 | 0.25 | 0.26 | 0.35 | 2.09 | 2.14 | 2.24 |
| | ES | 2.16 | 1.42 | 4.86 | 0.64 | 0.65 | 1.40 | 0.25 | 0.25 | 0.33 | 2.09 | 2.22 | 2.19 |
| | RPES | 2.30 | 1.23 | 4.85 | 0.64 | 0.63 | 1.43 | 0.25 | 0.27 | 0.33 | 2.07 | 2.34 | 2.21 |
| 2014 | KON | 2.47 | 2.74 | 6.76 | 0.45 | 0.54 | 0.36 | 0.20 | 0.21 | 0.72 | 2.37 | 1.90 | 2.15 |
| | RP | 2.50 | 2.96 | 6.69 | 0.45 | 0.55 | 0.36 | 0.20 | 0.22 | 0.70 | 2.37 | 1.91 | 2.17 |
| | ES | 2.54 | 3.06 | 6.92 | 0.45 | 0.56 | 0.38 | 0.20 | 0.23 | 0.71 | 2.36 | 1.90 | 2.15 |
| | RPES | 2.34 | 2.97 | 6.74 | 0.44 | 0.55 | 0.38 | 0.20 | 0.24 | 0.74 | 2.21 | 1.98 | 2.17 |
| 2015 | KON | 3.83 | 3.75 | 6.60 | 0.38 | 0.44 | 0.54 | 0.23 | 0.23 | 0.34 | 2.71 | 2.13 | 2.03 |
| | RP | 3.74 | 3.64 | 6.80 | 0.39 | 0.42 | 0.55 | 0.23 | 0.22 | 0.34 | 3.00 | 2.06 | 2.05 |
| | ES | 3.34 | 3.63 | 6.66 | 0.35 | 0.43 | 0.55 | 0.21 | 0.23 | 0.35 | 2.73 | 2.11 | 2.02 |
| | RPES | 3.81 | 3.66 | 6.94 | 0.39 | 0.44 | 0.52 | 0.24 | 0.22 | 0.36 | 2.57 | 1.96 | 2.04 |

SP1: Sprossmasse zur Blüte BBCH71-75; SP2: Sprossmasse zur Reife BBCH80

Die Nährstoffaufnahme des Sprosses und der Nährstoffentzug über das Korn unterlag ebenso deutlichen jährlichen Schwankungen. Als Folge der geringen Biomasseproduktion im Versuchsjahr 2013 wurde dort eine mittlere Stickstoffaufnahme des Sprosses zum Zeitpunkt der Kornfüllung von etwa 96 kg ha⁻¹ festgestellt (Tab. 3.1.10). In den beiden folgenden Versuchsjahren war diese mit 169 kg ha⁻¹ (2014) bzw. 252 kg ha⁻¹ (2015) deutlich höher. Die Düngung hatte keinen Einfluss auf die Stickstoffaufnahme über den Spross und den Stickstoffentzug über das Korn.

Tab. 3.1.10: Einfluss einer Unterfußdüngung mit Rohphosphat (RP) und/oder elementarem Schwefel (ES) auf Nährstoffaufnahme und -entzug von Sojabohnen (Spross und Korn). Die Unterschiede sind nicht signifikant. KON = Kontrolle, RP = Rohphosphat, ES = elementarer Schwefel, RPES = Kombination aus RP und ES

| | | N- Aufnahme/Entzug (kg ha ⁻¹) | | | P- Aufnahme/Entzug (kg ha ⁻¹) | | | S- Aufnahme/Entzug (kg ha ⁻¹) | | | K- Aufnahme/Entzug (kg ha ⁻¹) | | |
|-------------|-------------|--|-------|-------|--|------|------|--|------|------|--|-------|------|
| | | SP1 | SP2 | Korn | SP1 | SP2 | Korn | SP1 | SP2 | Korn | SP1 | SP2 | Korn |
| 2013 | KON | 54.2 | 104.0 | 120.0 | 15.2 | 46.4 | 36.7 | 5.5 | 16.2 | 8.0 | 48.0 | 139.5 | 55.2 |
| | RP | 53.4 | 116.8 | 114.9 | 15.7 | 46.9 | 38.0 | 5.9 | 18.6 | 8.4 | 49.3 | 149.5 | 53.1 |
| | ES | 50.2 | 82.6 | 102.2 | 14.8 | 37.8 | 29.2 | 5.7 | 14.7 | 7.0 | 48.5 | 128.9 | 45.8 |
| | RPES | 62.5 | 80.6 | 108.6 | 17.6 | 40.7 | 31.7 | 6.7 | 17.2 | 7.3 | 56.4 | 150.5 | 48.5 |
| 2014 | KON | 65.3 | 161.2 | 161.3 | 11.9 | 33.1 | 17.4 | 5.4 | 12.7 | 8.5 | 62.8 | 115.4 | 51.3 |
| | RP | 64.7 | 167.7 | 213.6 | 11.7 | 29.8 | 22.3 | 5.1 | 12.2 | 11.5 | 61.4 | 105.2 | 69.1 |
| | ES | 52.5 | 150.5 | 201.7 | 9.5 | 28.7 | 20.8 | 4.1 | 11.8 | 11.0 | 50.3 | 99.9 | 62.6 |
| | RPES | 63.7 | 195.8 | 171.3 | 11.8 | 38.6 | 18.8 | 5.5 | 15.9 | 9.7 | 62.4 | 131.9 | 55.0 |
| 2015 | KON | 127.5 | 280.6 | 284.4 | 12.6 | 32.7 | 23.0 | 7.6 | 17.2 | 14.6 | 89.9 | 159.6 | 87.0 |
| | RP | 116.7 | 254.1 | 279.5 | 12.0 | 29.4 | 23.1 | 7.1 | 15.3 | 14.0 | 95.2 | 142.5 | 84.3 |
| | ES | 94.8 | 228.8 | 299.5 | 10.2 | 26.6 | 25.1 | 6.0 | 14.6 | 15.7 | 79.8 | 132.2 | 90.6 |
| | RPES | 122.3 | 244.3 | 299.4 | 12.5 | 28.7 | 22.4 | 7.6 | 14.8 | 15.5 | 82.3 | 129.2 | 87.9 |

SP1: Sprossmasse zur Blüte BBCH71-75; SP2: Sprossmasse zur Reife BBCH80

Aufgrund der hohen Phosphorgehalte im Korn war der P-Entzug über Korn im Versuchsjahr 2013 am höchsten. Als Folge gleicher Biomasseproduktion von bzw. Phosphorgehalte in Spross und Korn wurden keine düngungsbedingten Unterschiede in der P-Aufnahme vom Spross und im P-Entzug über das Korn festgestellt. Gleiches galt für die Nährstoffe Schwefel und Kalium.

3.1.2.5. Gefäßversuche Sojabohnen

Im Versuchsjahr 2013 waren die Sojabohnen analog zu den Feldversuchen aufgrund erfolgloser Inokulation mit *Bradyrhizobium japonicum* durch Minderwuchs gekennzeichnet. Bis zum vierten Messtermin (51 Tage nach Aussaat) unterschieden sich die Varianten nicht hinsichtlich der Länge. Ab dem fünften Messtermin wurden signifikante Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt. Sojabohnen die mit Superphosphat ohne oder mit zusätzlichem Magnesiumsulfat gedüngt wurden, waren signifikant höher als alle anderen Varianten. Die maximale Bestandeshöhe wurde in beiden Versuchsjahren 93 Tage nach Aussaat erreicht (Abb. 3.1.4).

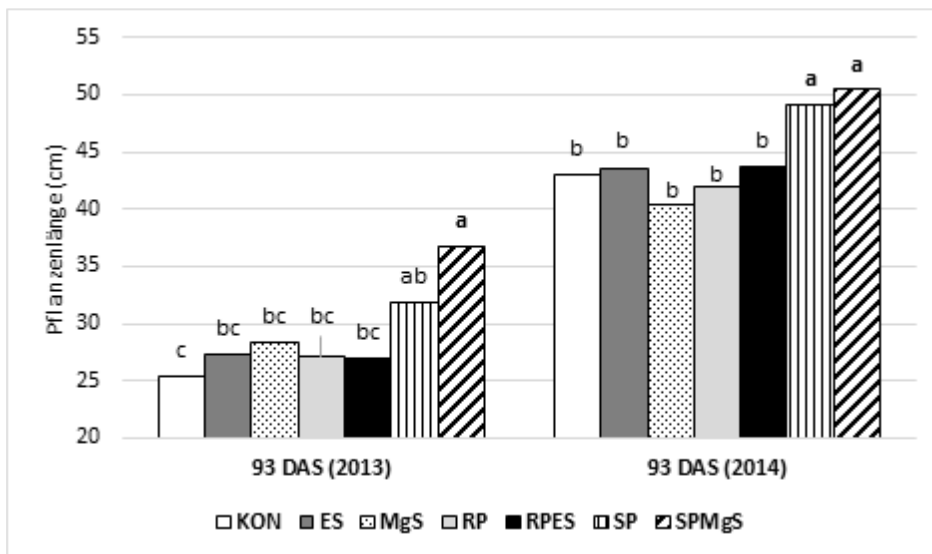


Abb. 3.1.4: Einfluss verschiedener P- und S-Dünger auf das Längenwachstum von Sojabohnen im Gewächshaus. KON = Kontrolle, ES = elementarer Schwefel, MgS = Magnesiumsulfat, RP = Rohphosphat, RPES = Kombination aus Rohphosphat und elementarem Schwefel, SP = Superphosphat, SPMgS = Kombination aus SP und MgS, DAS = Tage nach Aussaat, Tukey-Test, $\alpha=5\%$.

Die Düngung hatte in beiden Versuchsjahren einen signifikanten Einfluss auf Sprossmasse, Kornertrag und Ertragstruktur (Tab. 3.1.11). Im Versuchsjahr 2013 wurde die höchste Sprosstrockenmasse (7.9 g je Pflanze) mit Superphosphat+Magnesiumsulfat (SPMgS) produziert, die geringste in der ungedüngten Kontrolle (2,6 g je Pflanze). Die Sprossmasse war in allen Düngungsvarianten signifikant höher als in der Kontrolle.

Im Versuchsjahr 2014 war die Sprossmasse deutlich höher als im Vorjahr. Eine im Vergleich zur Kontrolle signifikant höhere Sprossmasse wurde nach Düngung mit Superphosphat (mit und ohne Magnesiumsulfat) bzw. bei kombinierter Anwendung von Rohphosphat und Schwefel festgestellt.

Der mittlere Kornertrag war im Versuchsjahr 2014 etwa viermal höher (8,5 g TM je Pflanze) als 2013 (2,1 g TM je Pflanze). In Analogie zur Sprossmasse wiesen in 2013 alle Düngungsvarianten einen im Vergleich zur Kontrolle signifikant höheren Kornertrag auf (Tab. 3.1.11).

Tab. 3.1.11: Einfluss verschiedener P- und S-Dünger auf Sprossmasse, Kornertrag und

Ertragsstruktur von Sojabohnen im Gewächshaus. KON = Kontrolle, ES = elementarer Schwefel, MgS = Magnesiumsulfat, RP = Rohphosphat, RPES = Kombination aus RP und ES, SP = Superphosphat, SPMgS = Kombination aus SP und MgS, Tukey-Test, $\alpha=5\%$.

| | Sprossmasse (g TM Pflz) | | Kornertrag (g TM Pflz) | | Ernteindex | | Hülsen je Pflanze | | Körner je Hülse | | TKM (g) | |
|-------------------|----------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|------------------|-------------------|----------------------|--------------------|-------------------|------|--------------------|-------------------------------|
| | 2013 | 2014 | 2013 | 2014 | 2013 | 2014 | 2013 | 2014 | 2013 | 2014 | 2013 | 2014 |
| KON | 2.6 ^c | 7.6 ^c | 0.6 ^c | 4.5 ^d | .18 ^b | .37 ^b | 4,4 ^b | 12,5 ^c | 1.6 ^b | 2.3 | 8.7 ^b | 16.0 ^b |
| ES | 5.2 ^b | 8.6 ^{bc} | 2.1 ^b | 6.0 ^{cd} | .29 ^a | .41 ^{ab} | 11,0 ^a | 15,3 ^{bc} | 1.9 ^{ab} | 2.3 | 10.4 ^{ab} | 17.5 ^{ab} |
| MgS | 4.7 ^b | 10.1 ^{bc} | 2.0 ^b | 8.1 ^{bc} | .30 ^a | .45 ^{ab} | 9,8 ^a | 19,5 ^b | 2.0 ^{ab} | 2.3 | 10.5 ^{ab} | 17.9 ^{a^b} |
| RP | 4.9 ^b | 9.8 ^{bc} | 2.0 ^b | 6.7 ^{cd} | .29 ^a | .41 ^{ab} | 9,7 ^a | 16,9 ^{bc} | 1.9 ^{ab} | 2.3 | 11.0 ^{ab} | 17.3 ^{ab} |
| RPES | 5.2 ^b | 10.8 ^b | 2.0 ^b | 8.6 ^{bc} | .27 ^a | .45 ^{ab} | 10,2 ^a | 21,1 ^b | 1.9 ^{ab} | 2.3 | 9.9 ^b | 17.4 ^{ab} |
| SP | 5.8 ^b | 13.6 ^a | 2.3 ^b | 11.1 ^{ab} | .28 ^a | .44 ^{ab} | 9,5 ^a | 27,8 ^a | 2.1 ^a | 2.1 | 11.2 ^{ab} | 18.2 ^a |
| SPMgS | 7.9 ^a | 14.6 ^a | 3.5 ^a | 13.5 ^a | .30 ^a | .48 ^a | 12,4 ^a | 32,3 ^a | 2.2 ^a | 2.2 | 12.9 ^a | 19.3 ^a |
| Mittelwert | 5.2 | 10.7 | 2.1 | 8.4 | .27 | 0.43 | 9.7 | 20.8 | 1.9 | 2.2 | 10.6 | 17.7 |

Im Versuchsjahr 2014 wiesen nur die Varianten mit Superphosphat, die kombinierte Anwendung von Rohphosphat und Schwefel sowie Magnesiumsulfat einen signifikant höheren Kornertrag als die Kontrolle auf. In beiden Versuchsjahren hatten alle Düngungsvarianten (Ausnahme: Rohphosphat oder elementarer Schwefel in 2014) ein signifikant höheren Hülsenansatz als die Kontrolle. Der höchste Hülsenansatz wurde im Versuchsjahr 2014 in den Varianten mit Superphosphat mit oder ohne Magnesiumsulfat (ein 20,1 bzw. 19,5 Hülsen je Pflanze) festgestellt.

Im Versuchsjahr 2013 war die Anzahl Körner je Hülse in den Varianten mit Superphosphat signifikant höher als in der Kontrolle. Die anderen Düngungsvarianten wiesen demgegenüber nur eine tendenziell höhere Anzahl Körner je Hülse als die Kontrolle auf. Im Versuchsjahr 2014 hatte die Düngung keinen Effekt auf diesen Parameter (Tab. 3.1.11).

In 2013 wurde der höchste Stickstoffgehalt (2% i.d. TM) im Spross der ungedüngten Kontrolle gemessen (Tab. 3.1.12). Demgegenüber war der Stickstoffgehalt der Körner in der Kontrolle tendenziell geringer als in den gedüngten Varianten (signifikant im Vergleich zur Variante Rohphosphat). Im Versuchsjahr 2014 war der Stickstoffgehalt des Sprosses nach kombinierter Anwendung von Rohphosphat und elementarem Schwefel (1,7% i.d.TM) signifikant höher als nach Düngung mit Superphosphat und Magnesiumsulfat (0,96% i.d.TM).

Analog zum Stickstoffgehalt war der Phosphorgehalt des Sprosses im Versuchsjahr 2013 in der ungedüngten Kontrolle signifikant höher (0,63% i.d.TM) als in allen anderen Varianten (Tab. 3.1.12). Die geringsten Phosphorgehalte im Spross wurden in den Varianten mit elementarem Schwefel (0,39% i.d.TM) und Rohphosphat (0,37% i.d.TM) festgestellt. Düngung mit Superphosphat führte zu einem im Vergleich zu Rohphosphat tendenziell höheren P-Gehalt im Spross. In Analogie zum Spross wurde der höchste P Gehalt im Korn in der ungedüngten Kontrolle (1,32% i.d.TM) gemessen.

Im Versuchsjahr 2014 wurde der P-Gehalt des Sprosses nicht durch die Düngung beeinflusst. Der höchste P Gehalt im Korn wurde wiederum in der ungedüngten Kontrolle gemessen. Die Düngung mit Rohphosphat ohne oder mit kombinierter Anwendung von elementarem Schwefel hatte keinen Effekt auf den P-Gehalt im Korn.

Der Schwefelgehalt des Sprosses war im Versuchsjahr 2013 in der ungedüngten Kontrolle mit 0,27% i.d.TM signifikant höher als in allen anderen Varianten. Der geringste Schwefelgehalt wurde im

Spross der mit Rohphosphat (0,09% i.d.TM) bzw. Superphosphat (0,07% i.d.TM) gedüngten Varianten gemessen. Der Schwefelgehalt im Spross war in Varianten, die entweder elementaren Schwefel oder Sulfat erhielten, zum Teil signifikant höher als in Varianten ohne S-Düngung. In Analogie zum Spross war der Schwefelgehalt im Korn in der ungedüngten Kontrolle am höchsten.

Tab. 3.1.12: Einfluss verschiedener P- und S-Dünger auf den N, P und S-Gehalt von Spross und, Korn von Sojabohnen im Gewächshaus. , KON = Kontrolle, ES = elementarer Schwefel, MgS = Magnesiumsulfat, RP = Rohphosphat, RPES = Kombination aus Rohphosphat und elementarem Schwefel, SP = Superphosphat, SPMgS = Kombination aus SP und MgS, Tukey-Test, $\alpha=5\%$.

| | Sprossmasse zur Ernte | | | | | | Korn | | | | | |
|-------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------------|--------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| | N (% Tm) | | P (%Tm) | | S (%Tm) | | N (%Tm) | | P (%Tm) | | S (%Tm) | |
| | 2013 | 2014 | 2013 | 2014 | 2013 | 2014 | 2013 | 2014 | 2013 | 2014 | 2013 | 2014 |
| KON | 2,00 ^a | 1,34 ^{ab} | 0,63 ^a | 0,30 | 0,27 ^a | 0,05 ^c | 5,59 ^b | 6,46 | 1,32 ^a | 0,64 ^a | 0,29 ^a | 0,16 ^d |
| ES | 1,65 ^{abc} | 1,56 ^{ab} | 0,39 ^d | 0,28 | 0,12 ^{bc} | 0,05 ^c | 5,99 ^{ab} | 6,58 | 1,14 ^b | 0,52 ^{bcd} | 0,28 ^{ab} | 0,19 ^{cd} |
| MgS | 1,61 ^{abc} | 1,58 ^{ab} | 0,40 ^{cd} | 0,28 | 0,15 ^b | 0,14 ^a | 5,97 ^{ab} | 6,85 | 1,20 ^{ab} | 0,42 ^d | 0,29 ^a | 0,30 ^a |
| RP | 1,55 ^{bc} | 1,53 ^{ab} | 0,37 ^d | 0,29 | 0,09 ^{cd} | 0,06 ^{bc} | 6,28 ^a | 6,67 | 1,16 ^b | 0,49 ^{cd} | 0,25 ^b | 0,21 ^{bcd} |
| RPES | 1,76 ^{ab} | 1,70 ^a | 0,41 ^{cd} | 0,27 | 0,14 ^b | 0,07 ^{abc} | 6,02 ^{ab} | 6,73 | 1,15 ^b | 0,47 ^{cd} | 0,29 ^a | 0,26 ^{abc} |
| SP | 1,44 ^{bc} | 1,39 ^{ab} | 0,48 ^{bc} | 0,28 | 0,07 ^d | 0,10 ^{abc} | 5,85 ^{ab} | 6,59 | 1,16 ^b | 0,60 ^{ab} | 0,20 ^c | 0,25 ^{abcd} |
| SPMgS | 1,35 ^c | 0,96 ^b | 0,53 ^b | 0,27 | 0,16 ^b | 0,12 ^{ab} | 6,09 ^{ab} | 6,64 | 1,26 ^{ab} | 0,53 ^{bc} | 0,30 ^a | 0,29 ^{ab} |
| Mittelwert | 1,62 | 1,44 | 0,46 | 0,28 | 0,14 | 0,08 | 5,97 | 6,64 | 1,20 | 0,52 | 0,27 | 0,24 |

Im Versuchsjahr 2014 wurden die höchsten Schwefelgehalte im Spross in den Düngungsvarianten mit Magnesiumsulfat (0,12 - 0,14% i.d.TM) festgestellt, die geringsten in der ungedüngten Kontrolle (0,05% i.d.TM). Die Düngung mit elementarem Schwefel ohne und mit Rohphosphat hatte keinen Effekt auf den Schwefelgehalt im Spross. Die höchsten Schwefelgehalte im Korn (signifikant im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle) wurden nach Anwendung sulfathaltiger Dünger bzw. nach kombinierter Anwendung von Rohphosphat und elementarem Schwefel gemessen.

Die Stickstoffaufnahme von Spross und Korn war im Versuchsjahr 2013 deutlich geringer als 2014. Im Versuchsjahr 2013 wurde die signifikant höchste Stickstoffaufnahme in der Variante Superphosphat mit Magnesiumsulfat gemessen. Alle anderen Düngungsvarianten wiesen ebenfalls eine im Vergleich zur Kontrolle signifikant höhere Stickstoffaufnahme auf.

Im Versuchsjahr 2014 wurde die höchste Stickstoffaufnahme von Spross und Korn in beiden Düngungsvarianten mit Superphosphat verzeichnet. Die Stickstoffaufnahme der Düngungsvarianten mit elementarem Schwefel, Rohphosphat bzw. Magnesiumsulfat war nicht höher als in der ungedüngten Kontrolle (nicht dargestellt).

Die P-Aufnahme von Spross und Korn war in beiden Versuchsjahren in der ungedüngten Kontrolle am geringsten. Im Versuchsjahr 2013 wurde die signifikant höchste P-Aufnahme in der Variante Superphosphat mit Magnesiumsulfat festgestellt, gefolgt von allen anderen Düngungsvarianten, die sich ebenfalls signifikant von der ungedüngten Kontrolle unterschieden. Im Versuchsjahr 2014 wiesen nur die Düngungsvarianten mit Superphosphat eine signifikant höhere P Aufnahme als die Kontrolle auf (Abb. 3.1.5).

Die Schwefelaufnahme von Spross und Korn war in beiden Versuchsjahren in der ungedüngten Kontrolle am niedrigsten. In 2013 wiesen die mit Sulfat gedüngten Varianten eine signifikant höhere S-Aufnahme auf als die Kontrolle. Im Versuchsjahr 2014 wurde in beiden Düngungsvarianten mit Superphosphat eine signifikant höhere Schwefelaufnahme als in der ungedüngten Kontrolle festgestellt.

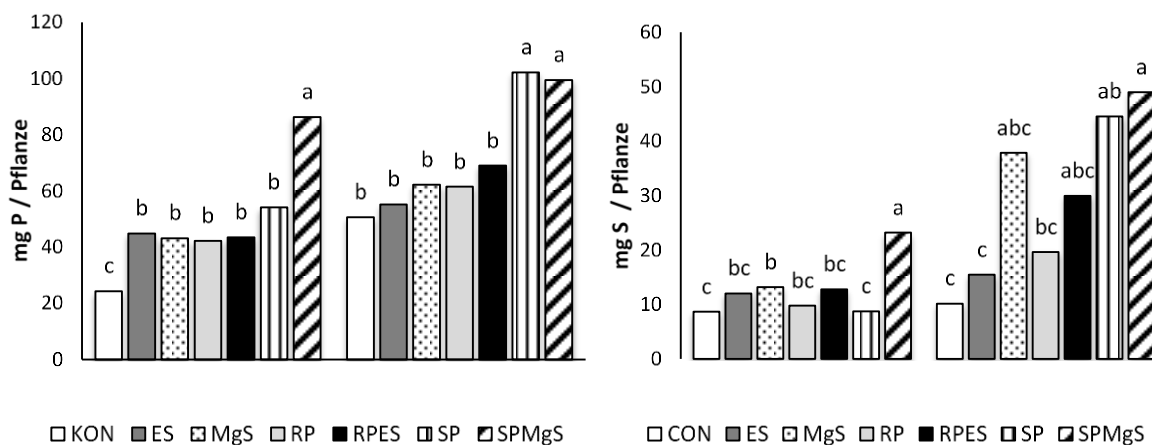


Abb. 3.1.5: Einfluss verschiedener P- und S-Dünger auf die P und S-Aufnahme von Sojabohnen (Spross und Korn) zur Ernte, Gewächshausversuch, KON = Kontrolle, ES = elementarer Schwefel, MgS = Magnesiumsulfat, RP = Rohphosphat, RPES = Kombination aus RP und ES, SP = Superphosphat, SPMgS = Kombination aus SP und MgS, Tukey-Test, $\alpha=5\%$.

3.1.3 Diskussion

Die Ergebnisse der Feldversuche am Wiesengut zeigen, dass unter den gegebenen Standortbedingungen bei temporärer Mulch- bzw. Direktsaat eine Unterfußdüngung keine markanten Effekte auf Ertrag und Nährstoffversorgung von Acker- bzw. Sojabohnen hat. Dieser Sachverhalt traf sowohl für die Ausbringung von Rohphosphat, allein oder in Kombination mit elementarem Schwefel, als auch von sulfathaltigen Düngern zu. Dennoch lassen sich aus dem umfangreichen Versuchsvorhaben Erkenntnisse zum ökologischen Anbau von Acker- und Sojabohnen gewinnen, die auch im Kontext der Beurteilung der Eignung von nicht wendenden Bodenbearbeitungsverfahren für den Ökologischen Landbau von Relevanz sind.

Unkrautprobleme bei Mulch bzw. Direktsaat

Obschon nicht Schwerpunkt der vorliegenden Untersuchungen – nur einer der Feldversuche hatte eine kontrastierende Pflugvariante zum Vergleich – wurden die bereits im Vorgängerprojekt festgestellten Befunde weitgehend bestätigt. Die als konkurrenzkräftig einzustufende Ackerbohne erzielte trotz eines nicht unerheblichen Unkrautdruckes in der Mehrzahl der Versuche wirtschaftliche Erträge. Einschränkend hinzuzufügen ist, dass aus versuchstechnischen Gründen perennierende Unkräuter manuell aus den Versuchspartellen entfernt worden sind. Nicht wendende Bodenbearbeitung führte zu einer Veränderung der Unkrautflora (siehe Abschlussbericht des Vorgängerprojektes). Beispielsweise war die Abundanz des im ökologischen Hackfruchtanbau häufig auftretenden Weißen Gänsefußes (*Chenopodium album*) durch Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung markant verringert. Zugleich zeigen die Ergebnisse aber auch, dass pfluglose Bearbeitung die Lebensbedingungen von erwünschten Ackerwildkräutern günstig beeinflussen kann. Der in NRW auf Rote Liste stehende, als gefährdet (RL 3) eingestufte Sardische Hahnenfuß (*Ranunculus sardous*) konnte in der vorliegenden Untersuchung durch Direktsaat gezielt gefördert werden.

In diesem Kontext ist aber auch zu berücksichtigen, dass ökologisch wirtschaftende Betriebe auch den Aspekt der Langzeitverunkrautung als Folge der Anreicherung der Diasporenbank im Boden beachten müssen. Aus praktischer Sicht sind daher Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung nur dann praktikabel, wenn eine hinreichende mechanische Unkrautregulierung gewährleistet werden kann, welche den Unkrautdruck auf einem vertretbaren Niveau hält (siehe auch Teilprojekt 3).

Die ökologisch angebaute Sojabohne hat sich demgegenüber als nicht geeignet für Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung erwiesen. Nicht ohne Grund findet die pfluglose konventionelle Produktion von Sojabohnen vor allem in Nord- und Südamerika unter Verwendung von Totalherbiziden (Glyphosat) statt. Aufgrund ihrer geringen Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern, insbesondere im Jugendstadium, müssen im ökologischen Anbau alle verfügbaren standortspezifischen Maßnahmen zur Unkrautregulation getroffen werden. Hierzu gehören in der Regel eine wendende Bodenbearbeitung und eine intensive mechanische Unkrautregulierung. Hauptproblem der mangels verfügbarer Technik nur suboptimal durchgeführten maschinellen Unkrautregulierung war in den vorliegenden Versuchen die unzureichende Regulierung der Unkräuter in der Kulturreihe (vgl. KURSTJENS et al. 2007). Im Falle einer geplanten Umsetzung einer reduzierten Bodenbearbeitung im

ökologisch wirtschaftenden Betrieb sind daher gleichzeitig auch Änderungen und Verbesserungen am Unkrautmanagement bspw. durch geeignete Sorten mit hoher Konkurrenzkraft (REZVANI et al., 2013) vorzunehmen, die das Funktionieren des gesamten Systems gewährleisten (CHAUHAN et al. 2012). Dieser Sachverhalt hat im Ökologischen Landbau besondere Relevanz, da der Einsatz chemisch-synthetischer Herbizide nicht möglich ist (LESSITER et al. 2013).

Die fehlende Bodenbearbeitung schaffte in einigen Versuchen zudem optimale Ausbreitungsmöglichkeiten für Mäuse und Schnecken. Fraßschäden an Sojapflanzen sowie zahlreiche Wühlgänge waren Indikatoren für eine massive Mäusepopulation, die lokal zu erheblichen Schäden und Ertragseinbußen der Sojabohne führte. Durch regelmäßige Bodenbearbeitung kann der Ausbreitung dieser Schädner entgegen gewirkt werden, da die Gänge und Nester der Tiere zerstört werden. Diese Kontrollmaßnahme fehlt in Direktsaatsystemen. Zudem schaffen die schützende Mulchschicht aus Pflanzenresten und die daraus resultierende Futterquelle einen optimalen Lebensraum für Schädner, in dem sie sich problemlos etablieren und ausbreiten (WITMER et al. 2007) und dann erhebliche Schäden an den Kulturpflanzen anrichten können (JOHNSON 1987, BOURNE 1999). In Untersuchungen in den USA wurden bspw. bei Wintererbsen über den Winter Pflanzenverluste zwischen 5 und 15 % durch Mäusefraß alleine beobachtet (WITMER et al. 2007).

Ökologischer Sojabohnenanbau in Deutschland

Die Vorteile des Sojaanbaus, wie die Schließung bzw. Reduktion der Eiweißlücke und die damit verbundene verbesserte Selbstversorgung mit hochwertigem Eiweiß (Lysin) in der Tierfütterung, machen den Sojaanbau in Deutschland bei geeigneten Standortbedingungen potentiell interessant. Vor allem durch ihren hohen Eiweiß- und Fettgehalt ist die Sojabohne sowohl in der menschlichen als auch in der tierischen Ernährung vielseitig einsetzbar (STOCK et al. 1996, LEITHOLD et al. 2003) und erzielt im Vergleich zu anderen Körnerleguminosen deutlich höhere Verkaufspreise. Die vorliegenden Ergebnisse weisen darauf hin, dass grundsätzlich wirtschaftliche Sojabohnenerträge im ökologischen Anbau erzielbar sind. Der unter Versuchsbedingungen mittels Handernte von Meterschnitten erzielte maximale Ertrag von 4,5 t TM ha⁻¹ weist auf ein Potenzial hin, dass künftig gezielter genutzt werden sollte. LEITHOLD *et al.* (2003) stuften Standorte mit Sojabohnenerträgen von mehr als 2,5 t ha⁻¹ bereits als ‚anbaueeignet‘ ein. Auch der Soja-Förderring bewertet Praxiserträge von 1,5 bis 2,5 t ha⁻¹ als ‚gut‘ (RECKNAGEL 2000). Relevant aus praktischer Sicht ist jedoch, dass beim Mähdrusch häufig die untersten Hülsen durch das Schneidwerk (STOCK *et al.* 1996, DIEPENBROCK *et al.* 1999), oder durch fehlerhafte Einstellung des Dreschwerkes (HAHN & MIEDANER 2013) verloren gehen. Zudem kann der ohnehin tiefe, jedoch sortenspezifisch variierende Hülsenansatz der Sojabohne (HAHN & MIEDANER 2013), bei zu geringen Bestandesdichten noch tiefer liegen und somit zu verstärktem Verlust der untersten Hülsen führen (STOCK *et al.* 1996, DIEPENBROCK *et al.* 1999). In jedem Fall ist daher auf die richtige Einstellung des Mähdreschers zu achten.

Eine essentielle Maßnahme zur Ertragssicherung stellt die erfolgreiche Inokulation des Saatgutes mit *Bradyrhizobium japonicum* dar. Wie berichtet, war die Impfung des Saatgutes im ersten Versuchsjahr nach Nutzung des Mittels ‚Radicin-Soja‘ nicht erfolgreich und führte dazu, dass es zu keiner Nodulation der Wurzeln kam. Die aus diesem Sachverhalt resultierende geringe

Stickstoffversorgung der Bestände konnte auch durch eine zusätzliche Stickstoffdüngung mit Vinasse nicht kompensiert werden und führte zu einem vergleichsweise geringen Ertragsniveau ($2,3 \text{ t ha}^{-1}$) im Versuchsjahr 2013. Aus diesem Grund wurde die Saatgutimpfung ab dem zweiten Versuchsjahr mit dem Produkt „HiStick®Soybean“ der Firma Becker Underwood Limited durchgeführt, die zu einer erfolgreichen Inokulation führte. Zeitgleiche Untersuchungen zur relativen Vorzüglichkeit verschiedener Impfpräparate für den Sojaanbau bestätigten die hohe Qualität von HiStick®Soybean und stellten eine unzureichende Wirksamkeit von Radicin fest (ZIMMER *et al.* 2013).

Gespräche mit Praktikern haben bestätigt, dass neben der Impfung des Saatgutes mit mehreren unterschiedlichen Rhizobien-Stämmen und Herkünften eine effiziente Unkrautregulierung sowie Schutz vor Vogelfraß als Schlüsselemente für den erfolgreichen ökologischen Sojaanbau angesehen werden, während phytopathologische Probleme bislang von untergeordneter Bedeutung sind.

Schwefeldüngung zu Acker- und Sojabohnen

Die unterschiedlichen Düngevarianten mit Schwefel hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung von Acker- und Sojabohnen. Alle erfassten Parameter (Feldaufgang, Wuchshöhe, SPAD-Werte, Sprosstrockenmasse und BFI) während der Vegetationsperiode waren variantenspezifisch nicht signifikant zu differenzieren. Die geringe Wirksamkeit von elementarem Schwefel ist maßgeblich durch dessen geringe Löslichkeit bedingt. Die mangelnde Ertragswirksamkeit der sulfathaltigen Dünger weist darauf hin, dass die S_{\min} -Gehalte des Bodens am Standort Wiesengut (Gemischtbetrieb mit regelmäßiger Rindermistdüngung) ausreichend sind. Da der S_{\min} -Gehalt des Bodens allein jedoch kein hinreichender Indikator für potentiellen Schwefelmangel ist, müssen die absoluten Schwefel- und Stickstoffgehalte im Korn sowie deren Verhältnis ebenfalls berücksichtigt werden. In einer umfassenden Untersuchung zur Schwefelversorgung von Sojabohnen in der argentinischen Pampa wurde bei einem weiten Kornertragsspektrum von $1,7 - 5,0 \text{ t ha}^{-1}$ festgestellt, dass eine Sulfatdüngung häufig keine Ertragswirksamkeit aufwies. Die durchgeführten Analysen des Schwefel- und Stickstoffgehaltes der Körner ließen die Autoren zu dem Schluss kommen, dass die kritischen Werte, bei denen kein ertragssteigernder Effekt einer Sulfatdüngung zu erwarten ist, bei einem N:S- Verhältnis im Korn von kleiner 22:1 und einem Schwefelgehalt von größer 0.27% i.d.TM liegen (SALVAGIOTTI *et al.* 2012). Bezieht man diese Referenzwerte auf die eigenen Ergebnisse wird deutlich, dass beide Indikatoren in allen Versuchen und Varianten inklusive der Kontrolle deutlich unterhalb der kritischen Werte lagen. Das weiteste N:S - Verhältnis im Korn wurde mit 19:1 im Versuchsjahr 2015 gemessen, die Schwefelgehalte des Korns waren immer höher als 0,3 % i.d.TM. Dieser Sachverhalt deutet darauf hin, dass aufgrund ausreichender Schwefelversorgung die Düngung mit Sulfatdüngern in den eigenen Untersuchungen ohne Ertragswirkung blieb. Ein Grund hierfür ist vermutlich die regelmäßige Düngung mit schwefelhaltigen Rinderstallmist, die ein integrativer Bestandteil des Konzeptes des Wiesengutes als Gemischtbetrieb ist. Mit Hinblick auf die Anwendung von elementarem Schwefel und dessen Verfügbarkeit ist jedoch eine differenzierte Analyse notwendig, wie weiter unten ausgeführt wird.

Insgesamt bestätigen die Düngungsversuche zu Sojabohnen die Ergebnisse anderer Autoren, die im Gegensatz zu Futterleguminosen bei Körnerleguminosen in der Regel keinen ertragssteigernden Effekt durch Schwefeldüngung festgestellt haben.

In dreijährigen Feldversuchen auf ökologischen Versuchsflächen in Mecklenburg-Vorpommern wurde nach Gabe verschiedener Schwefeldünger (jeweils 50 kg S via Schwefellinsen, Kieserit, Kaliumsulfat oder Calciumsulfat) zu Erbsen und Lupinen mit Ausnahme der Schwefellinsen eine signifikante Zunahme des S_{\min} Gehaltes im Boden (von 7 auf etwa 40 kg S_{\min} , 0-30 cm) festgestellt und höhere Schwefelgehalte in der pflanzlichen Biomasse gemessen. Demgegenüber wurde der Kornertrag von Erbse und Lupine in allen drei Versuchsjahren durch die Schwefeldüngung nicht beeinflusst (GRUBER *et al.* 2015). Mehrjährige Untersuchungen in Sachsen mit ökologisch angebaute Ackerbohnen, Schmalblättrigen Lupinen und Erbsen haben ergeben, dass von Ausnahmefällen abgesehen, die Applikation sulfathaltiger Dünger (40 kg S ha^{-1}) selbst bei geringen S_{\min} - Gehalten im Boden zu Versuchsbeginn keinen Effekt auf die Kornerträge hatte (SCHMIDTKE & LUX 2015). In zweijährigen Feldversuchen in Bayern wurde nach Sulfatdüngung (40 kg S ha^{-1}) zu ökologisch angebaute Erbsen ebenfalls kein ertragssteigernder Effekt festgestellt (URBATZKA *et al.* 2014).

Im Gefäßversuchen unter konventionellen Bedingungen wurde demgegenüber ein signifikant ertragssteigernder Effekt von sulfathaltigen Düngern auf Erbsen und Bohnen festgestellt (SCHERER & LANGE 1996, SCHERER *et al.* 2006). Die Schwefeldüngung führte unabhängig von der Stickstoffdüngung zu einer signifikant höheren Anzahl und Masse von Knöllchenbakterien je Gefäß und einer höheren Nitrogenaseaktivität. Eine signifikant höhere Biomasse von Gartenbohnen (*Phaseolus vulgaris*) nach Anwendung sulfathaltiger Dünger wurde auch in einem Gewächshausversuch mit einem Oxisol in Brasilien festgestellt (FURTINI NETO *et al.* 2000).

Physiologische Wirksamkeit von Rohphosphat

Die externe Zufuhr von Phosphaten in ökologisch wirtschaftende Betriebe ist nur durch den Zukauf von organischen Düngern bzw. mineralischem Phosphor in Form von Rohphosphaten möglich. Letztere weisen jedoch unter standortüblichen pH-Bedingungen in der Regel nur eine geringe Löslichkeit auf (STEFFENS 1992, SCHNUG *et al.* 2003, RÖMER 2014). Bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde empfohlen die Löslichkeit von Rohphosphaten durch eine zusätzliche Gabe von elementarem Schwefel zu erhöhen (LIPMAN *et al.* 1916). Jüngere Untersuchungen haben bestätigt dass die Löslichkeit von Rohphosphaten durch Mischung mit elementarem Schwefel und Vermikompost und einer zusätzlichen Beimpfung mit Schwefel oxidierenden Bakterien (*Thiobacillus thiooxidans*) signifikant erhöht wird (Aria *et al.* 2010). Diese Erkenntnisse führten bereits früher zur Entwicklung der sogenannten ‚Biosuperphosphate‘, bei denen es sich um eine Mischung aus Rohphosphat, elementarem Schwefel und *Acidithiobacillus* handelt. In Versuchen auf sauren tropischen Böden konnten STAMFORD *et al.* (2003) zeigen, dass durch eine Ausbringung von ‚Biosuperphosphat‘ eine signifikante Ertragssteigerung von Yams erzielt werden konnte. Hingegen wies eine Ausbringung von ‚Biosuperphosphat‘ auf schwach basischen Böden keinen signifikanten Effekt auf den Ertrag von Mais, während die Phosphataufnahme signifikant gesteigert wurde (BESHARATI *et al.*, 2007). Um die Löslichkeit des Rohphosphats bei Unterfußdüngung zu erhöhen, wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchung elementarer Schwefel in einem P/S Verhältnis von 5:4 zu Acker- und Sojabohnen ausgebracht, obwohl schon ein P/S-Verhältnis von 5:1 als ausreichend eingeschätzt wird (RAJAN 1987). In insgesamt sechs

Feldversuchen wurde auf schwach sauren Böden nach kombinierter Anwendung von Rohphosphat mit elementarem Schwefel hinsichtlich P-Gehalt, P- Aufnahme und Kornertrag kein signifikanter Unterschied zur Kontrolle festgestellt. Auch indirekte Effekte einer Phosphatdüngung, beispielsweise erhöhte Knöllchenbildung an den Wurzeln der Körnerleguminosen (BETHLENFALVAY & YODER, 1981, ABBASI *et al.* 2010), und eine entsprechend höhere N-Fixierleistung (ISRAEL 1987, SCHERER *et al.* 2008, CONNOR *et al.* 2011, HUSSAIN *et al.* 2011, SULIEMAN *et al.* 2013) wurden der vorliegenden Untersuchung nicht beobachtet

Demgegenüber wurden in Feldversuchen in Südaustralien signifikante Effekte durch die kombinierte Gabe von Phosphor und Schwefel erzielt (EVANS *et al.* 2006). Die Versuche wurden auf verschiedenen Standorten, die alle durch geringe anuelle Niederschlagssummen (max. 540 mm) und niedrigen pH-Werten (4,3 - 5,4) gekennzeichnet waren, durchgeführt. Es wurden hohe Mengen (72 kg P ha^{-1}) eines zu 30 % zitronensäurelöslichen fein gemahlten Rohphosphates (14,3% P) ausgebracht und in einer Variante mit elementarem Schwefel in hoher Menge (500 kg S ha^{-1}) kombiniert. Bereits nach zwei Monaten waren die Gehalte an Olsen-P im Boden in der Variante mit kombinierter Rohphosphat- und Schwefelgabe signifikant höher als in der Kontrolle, während eine alleinige Anwendung von Rohphosphat nur tendenziell wirkte. Zugleich wurde in Varianten mit kombinierter P und S-Gabe eine signifikant höhere Biomasseproduktion und P-Aufnahme von Weizen und Weidelgras festgestellt. Trotz der vergleichsweise geringen pH-Werte der Versuchsböden hatte eine alleinige Rohphosphatsanwendung keine signifikant ertragssteigernde Wirkung.

Es stellt sich die Frage warum ein von der Theorie her erwartbares und bereits empirisch belegtes Phänomen sich unter den Feldbedingungen des Standorts Wiesengut nicht zeigte. Abiotische und biotische Faktoren, insbesondere, der Nährstoffversorgungszustand des Bodens, die Bodenfeuchte und -temperatur sowie die mangelnde Präsenz oder mikrobielle Aktivität schwefelreduzierender Bakterien dürften ursächlich sein.

Die Phosphatversorgung ist am Wiesengut vglw. gering (Versorgungsstufe B-C) und somit waren Effekte einer Erhöhung des Angebots an pflanzenverfügbarem P mit großer Wahrscheinlichkeit erwartbar. Dieser Sachverhalt stellt sich anders dar als für die Schwefelversorgung, wo hinreichende S_{\min} Gehalte ($25 - 40 \text{ kg ha}^{-1}$ in 0-60 cm Bodentiefe vor Aussaat) in den Versuchen vorlagen.

Die Oxidation von elementarem Schwefel zu Sulfat erfolgt im Boden überwiegend durch schwefeloxidierende Bakterien, wie z.B. *A. thiooxidans*. Die Geschwindigkeit mit der die Mikroorganismen Schwefel oxidieren hängt von den Umweltfaktoren ab. OLFS *et al.* (2012) geben an, dass bei Bodentemperaturen unter $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ die Oxidation deutlich verlangsamt ist. Diesen Sachverhalt zeigten auch JANZEN & BETTANY (1987) in Feldversuchen auf Primärböden in Kanada. Sie stellten fest, dass bei Bodentemperaturen unter $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ die Oxidation deutlich verlangsamt war und eine Erhöhung der Temperatur auf $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ und $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ die Oxidationsrate von 8 % auf 22 % auf 47 % steigerte.

Die pH-Wert senkende Wirkung von elementarem Schwefel als Folge der mikrobiellen Oxidation hängt neben der Temperatur auch von der Bodenfeuchte ab. Bei 60 %iger Wassersättigung war die P-Freisetzung nach Zugabe von elementarem Schwefel unabhängig vom pH-Wert des Bodens deutlich höher als bei trockenen bzw. voll wassergesättigten Böden (JAGGI *et al.* 2005). Die höchste Freisetzung von Phosphor wurde in dieser Untersuchung bei 36°C Bodentemperatur, 60 % Bodenfeuchte und einer

zusätzlichen Gabe von elementarem Schwefel gemessen. Der Effekt der Feuchte ist jedoch im Vergleich zur Temperatur geringer (JANZEN & BETTANY, 1987).

Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass die Lebensbedingungen für Schwefel oxidierende Bakterien in der vorliegenden Untersuchung suboptimal waren. Während die Bodentemperatur mit etwa 16° C deutlich über dem Minimum jedoch weit entfernt vom Optimum lag, ist für die Bodenfeuchte unter mitteleuropäischen Bedingungen in den Monaten Mai bis August aufgrund der hohen Evapotranspiration nur temporär nach Starkniederschlägen oder Beregnung mit einem hinreichend wassergesättigten anaeroben Milieu im Oberboden zu rechnen.

Die oben erwähnten iranischen Untersuchungen zur phosphatlösenden Wirkung von elementarem Schwefel (ARIA et al. 2010) haben zudem gezeigt, dass die Gegenwart von Vermikompost (= organische Substanz) und insbesondere die zusätzliche Beimpfung mit *Thiobacillus thiooxidans* von entscheidender Bedeutung sind. Aus den genannten Gründen ist daher davon auszugehen, dass die zur Phosphatlösung notwendige Bildung von Schwefelsäure in den vorliegenden Untersuchungen unterblieb und daher auch keine höhere P-Aufnahme der Körnerleguminosen erfolgte.

In den Gefäßversuchen wurde aus diesem Grund im zweiten Jahr auch eine Beimpfung mit *Acidithiobacillus thiooxidans* in einer Variante mit dem Ziel durchgeführt, den elementaren Schwefel im Boden mikrobiell zu Sulfat oxidieren (MENGEL & KIRKBY, 2001; MADIGAN & MARTINKO, 2006), den Boden zu versauern (OLFS et al., 2012) und Rohphosphat zu lösen (MÜLLER et al., 2007). Dieser Versuchsansatz war nicht erfolgreich. Insgesamt haben die Gefäßversuche jedoch gezeigt, dass bei Schaffung günstiger Bedingungen (permanente hohe Bodenfeuchte, hohe Temperaturen, hohe Durchwurzelung des Bodens) messbare Effekte der kombinierten Anwendung von Rohphosphat und Schwefel auf den Ertrag von Sojabohnen ausgehen können.

3.2. Teilprojekt 2: Pflanzenbauliche Strategien zur Minderung der Verunkrautung bei Mulchsaat von Ackerbohnen

Projektleitung: Prof. Dr. Rolf Rauber & Dr. Rüdiger Jung, Universität Göttingen

3.2.1 Material und Methoden

Beschreibung des Untersuchungsstandortes

Die Feldversuchsserien mit Ackerbohnen und Hafer wurden in den Jahren 2013, 2014 und 2015 am Standort Reinshof (51°29'51"N, 9°55'51"O) durchgeführt. Dieser Standort befindet sich in der folgenden naturräumlichen Gliederung (Klink 1969): Niedersächsisches Bergland (D36), Weser-Leine-Bergland (37), Leine-Ilme-Senke (372), Göttinger Leineau (372.3). Der Ort Reinshof liegt ca. 4 km südlich der Stadt Göttingen (Niedersachsen) auf einer hochwasserfreien Anhöhe (ca. 160 m über NN) im Landkreis Göttingen. Seit 1980 steht die landwirtschaftliche Betriebsfläche des Gutshofes der Lehre und Forschung innerhalb der Georg-August-Universität Göttingen zur Verfügung. Die Bewirtschaftung (Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz, Düngung, Unkrautregulierung, Fruchtfolge etc.) der gesamten Betriebsfläche unterliegt der Abteilung Versuchswirtschaften der Universität Göttingen. Der Anteil des Ackerlandes an der Betriebsfläche des Reinshofes beträgt ca. 320 ha, davon werden etwa 31 ha seit Mitte der 1990er Jahre nach den Richtlinien des Ökologischen Landbaus bewirtschaftet (VO-EWG 2092/91 bzw. EU-Verordnung 834/2007). Die Betriebsfläche des Reinshofes befindet sich im Wasserschutzgebiet (Wasserschutzzone III). Der überwiegende Teil gehört zum Landschaftsschutzgebiet ‚Leinebergland‘.

Geologie und Böden

Im näheren Bereich des Versuchsgutes Reinshof geschieht die Entwässerung durch die Flüsse Leine und Garte. In deren talebener Umgebung kam es seit der Eisenzeit bei Hochwasser zur Ablagerung bindiger Sedimente, die als Auenlehm, Braunaubenboden oder Vega bezeichnet werden (Anonymus 1968, NibisKartenserver 2016). Diese Alluvialböden werden von Sanden und Kiesen unterlagert. Demnach handelt es sich größtenteils um fluviatile Ablagerungen über periglazialen Schottern. Ein Großteil der ökologisch bewirtschafteten Flächen ist auf diesen Böden verortet.

Auf den sonstigen Ackerflächen des Versuchsgutes Reinshof finden sich verschiedene, zumeist lössbeeinflusste Bodenbildungen. In Abhängigkeit vom Ausgangsgestein (Keuper, Muschelkalk) konnten verschiedene Bodentypen entstehen. In Unterhanglagen finden sich Kolluvien aus Schwemmlössen, ansonsten dominieren Schwarzerde-Parabraunerden, teilweise Pseudogley-Parabraunerden, Mergelrendzinen oder Pararendzinen (Anonymus 1968, Nibis-Kartenserver 2016).

Die projektbezogenen Feldversuche der Jahre 2013 bis 2015 wurden auf dem Ackerschlag „Kamp“ durchgeführt - etwa 0,7 km westlich der Hofstelle des Versuchsgutes Reinshof. Diese Fläche wird seit

1. Juli 2013 nach zweijähriger Umstellung nach Richtlinien des Ökologischen Landbaus (EU-Verordnung 834/2007) bewirtschaftet. Der Bodentyp am Ackerschlag Kamp ist eine Gley-Vega (Auenboden) mit der Horizontfolge Ap-M-Bv-Go-Gr. Eine Unterlagerung mit Kiesen und Sanden sowie mit Resten von ehemaligen Bruchwäldern findet sich in etwa 1,4 bis 1,5 m Tiefe. In den Bodenschichten des Unterbodens waren im Profil zahlreiche Regenwurmgänge erkennbar. Diese waren in vielen Fällen mit Wurzeln der Kulturpflanzen durchwachsen. Die Bodenart im Ap-Horizont (0 bis etwa 30 cm Tiefe) ist nach Analysen der Abteilung Agrarpedologie ein mittel schluffiger Ton (Tu3) mit folgender Korngrößenverteilung: 58 % Schluff, 38 % Ton und 4 % Sand. Messungen der Lufa Nord-West (Hameln) ergaben folgende Korngrößenverteilung: 51 % Schluff, 40 % Ton und 9 % Sand (Bodenart Tu3) im Bereich Kamp West und 60 % Schluff, 30 % Ton und 10 % Sand (Bodenart Lu) im Bereich Kamp Ost. Die Trockenrohdichte (g/cm^3) betrug in der Bodenschicht zwischen 0 und 30 cm Tiefe 1,44 und in den nachfolgenden Bodenschichten 1,38 (30 bis 60 cm Tiefe) bzw. 1,58 (60 bis 90 cm Tiefe).

Tab. 3.2.1: Bodenphysikalische und bodenchemische Basisdaten (Bodenschicht 0 bis 30 cm) für die Untersuchungsflächen mit den Hauptfrüchten Ackerbohnen bzw. Hafer am Ackerschlag Kamp, Standort Reinshof.

| Zeitpunkt | | pH | C _{org} % | Humus % | P ₂ O ₅ mg pro 100 g TS Boden | K ₂ O | Mg |
|-----------|-----------------------|-----|-----------------------|------------|--|------------------|----|
| März 2014 | vor Abo/Hafer-Aussaat | 6,9 | 1,6 | 2,8 | 11 | 12 | 18 |
| März 2015 | vor Abo/Hafer-Aussaat | 6,8 | 1,7 | 2,9 | 10 | 14 | 19 |

pH der Bodenlösung: VdLUFA Methodenhandbuch A 5.1.1; P und K: VdLUFA Meth. A 6.2.1.1 (CAL); Mg: VdLUFA Meth. A 6.2.4.1(CaCl₂)

In Tabelle 3.2.1 werden die wichtigsten Bodendaten für den Ackerschlag Kamp wiedergegeben. Mit Hilfe dieser Daten lässt sich beispielsweise die nutzbare Feldkapazität (nFK) grob abschätzen. Die Humusgehalte und die Trockenrohdichte bewegen sich laut ‚KA5‘ (Ad-hoc-AG Boden 2005) in mittleren Stufen. Kombiniert mit der Bodenart Tu3 ergeben sich nFK-Werte zwischen 18 und 21 mm pro dm Bodenkörper.

Ferner kann die Verfügbarkeit der wichtigen Grundnährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium eingeschätzt werden. Gemäß der Richtwerte für die Düngung in Niedersachsen (Landwirtschaftskammer Niedersachsen) sind die in Tabelle 3.2.1 genannten Gehalte für Phosphor in den unteren Bereich der Gehaltsklasse C einzuordnen. Eine Düngung wäre demnach noch nicht erforderlich. Der Kaliumgehalt ist vglw. niedrig (Gehaltsklasse B). Der Magnesiumgehalt zeigte hingegen relativ hohe Werte, die der Gehaltsklasse D entsprechen. Die pH-Werte und Humusgehalte des Bodens sind standortüblich.

Witterungsverlauf

Die Göttinger Leineau liegt innerhalb der gemäßigten Breiten im Übergangsbereich zwischen ozeanisch und kontinental geprägten Gebieten. Die Jahresmitteltemperatur (Referenz: 1981 bis 2010) liegt bei 9,2°C, die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge (Referenz: 1981 bis 2010) beträgt 651 mm. Von März bis August fallen im Mittel 348 mm Niederschlag. Die wärmsten Monate sind Juli und August mit mittleren Temperaturen in Höhe von 17,8° bzw. 17,6°C (Abb. 3.2.1).

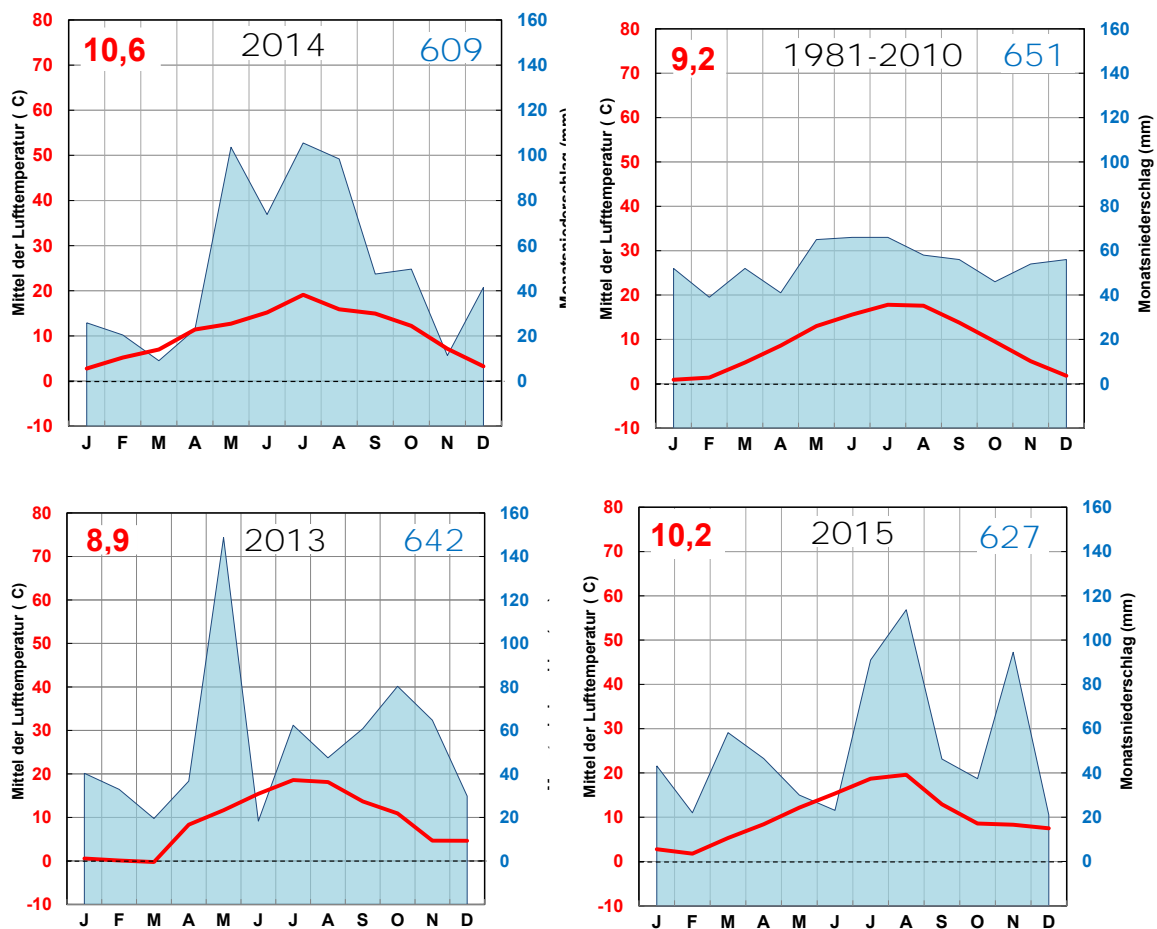


Abb. 3.2.1: Klimadiagramme für das langjährige Mittel (1981-2010) und für die Jahre 2013, 2014 und 2015 am Standort Göttingen (Quelle: DWD).

In den Untersuchungsjahren 2013 bis 2015 wichen die Niederschlagsmengen und Lufttemperaturen in einigen Monaten erheblich von den langjährigen mittleren Werten ab. Im Spätsommer und Herbst des Jahres 2013 wurden im Wesentlichen keine großen Abweichungen von den langjährigen Mittelwerten registriert. Die Wuchsbedingungen für die Zwischenfrucht waren daher gut. Das Frühjahr 2014 (Februar bis März) war sehr trocken, es fielen insgesamt nur etwa 40 % der üblichen Niederschlagsmenge. Dies war für die Bodenbearbeitungsmaßnahmen am Standort von

Vorteil, da der verhältnismäßig schwere Boden am Schlag Kamp in der Regel nur langsam abtrocknet und langsam erwärmt. Im Sommer 2014 (Mai bis August) hingegen wurden durchgehend hohe Niederschlagsmengen gemessen – im Mai und Juli wurden mehr als 100 mm ermittelt. Der Juli 2014 war mit 19,1°C zudem wärmer als im langjährigen Mittel. Die Ackerbohnen profitierten von diesen hohen Niederschlagsmengen. Der Herbst 2014 (September bis November) war verhältnismäßig warm, die mittleren Temperaturen lagen 1,8 bis 2,7°C über dem langjährigen Mittel. Die Zwischenfrüchte im Feldversuch II (2014-2015) wurden am 7. August 2014 ausgesät. Die folgenden Wuchsbedingungen waren günstig, so dass mehr Sprossmasse als im Vorjahr gebildet wurde.

Im Untersuchungsjahr 2015 entsprachen die Niederschlagsmengen und Lufttemperaturen der Monate März und April in etwa den langjährigen Werten. Im Gegensatz zum Vorjahr waren die Bedingungen für die Abtrocknung und Erwärmung der bearbeiteten Bodenoberfläche daher weniger günstig. In den Monaten Mai und Juni fiel weniger als 50 % der üblichen Niederschlagsmenge. Dies erschwerte Wachstum und Entwicklung der Kulturpflanzen, insbesondere bei den Ackerbohnen. Die Monate Juli und August waren niederschlagsreich und warm. Im Juli wurden 91 mm und im August 114 mm Niederschlag registriert. Die mittleren Temperaturen dieser beiden Monate betragen 18,7°C und 19,6°C. Herausragend war der 17. August 2015: hier fielen 55 mm an einem Tag, so dass im Landkreis Göttingen stellenweise Überflutungen in Siedlungsgebieten stattfanden. Die Feldversuche waren davon jedoch nicht betroffen. Allerdings musste der Korndrusch und die Entnahme von Bodenproben verschoben werden.

Beschreibung der pflanzenbaulichen Feldversuche

Behandlung der Vor- und Zwischenfrüchte

Zwei faktorielle Feldversuche (Fvs. I 2013-2014 und Fvs. II 2014-2015) wurden räumlich und zeitlich unabhängig voneinander am Schlag ‚Kamp‘ des Standortes Reinshof durchgeführt.

In den Vorjahren 2012/13 (Fvs. I) und 2013/14 (Fvs. II) wurde auf den jeweiligen Versuchsflächen die Halmfrucht Wintergerste (Sorte Semper) angebaut. Die Aussaat (Super S, Fa. Amazone) erfolgte am 18. September 2012 (Fvs. I) und am 26. September 2013 (Fvs. II). Die Aussaatstärke betrug 300 keimfähige Körner pro m². Vor der Aussaat erfolgte jeweils eine praxisübliche Bodenbearbeitung mit Wendepflug, Grubber und Kreiselegge. Die Bestandesführung bis zur Ernte orientierte sich an praxisüblichen Maßnahmen des Ökologischen Landbaus (z.B. Striegeln). Der Mähdrusch wurde am 17. Juli 2012 (Fvs. I) und am 20. Juli 2013 (Fvs. II) durchgeführt. Nach der Ernte der Gerste erfolgte eine Grundbodenbearbeitung mit Grubber und Kreiselegge.

Um eine effiziente oberirdische Stickstoff-Akkumulation auch für den Zeitraum zwischen August und März zu gewährleisten, wurde in beiden Versuchsdurchgängen (Fvs. I 2013-2014 und Fvs. II 2014-2015) ein nicht-legumes Zwischenfrucht-Gemenge der Hauptfrucht Ackerbohnen vorangestellt. Dies waren Sommertriticale (Sorte Somtri, 150 keimfähige Körner pro m²) und Sonnenblumen (Sorte Peredovic, 40 keimfähige Körner pro m²). Die Aussaat erfolgte am 9. August 2013 (Fvs. I) sowie am 7. August 2014 (Fvs. II). Als Drillmaschine stand eine ‚Tandemflex 300‘ (Fa. Auf der Landwehr GmbH) zur Verfügung. Das abgewogene Saatgut wurde im Saattank gemischt und somit als Reihemischsaat mit 15 cm Reihenabstand auf etwa 4 cm Tiefe ausgesät. Die Zwischenfrüchte wurden nicht gedüngt. In beiden Versuchsdurchgängen entsprachen der Aufgang und die Entwicklung der Triticale und der Sonnenblumen den Erwartungen. Im Verlauf der Winter starben die Pflanzen wie geplant ab. Sie bildeten vielfach eine langhalmige Mulchschicht an der Bodenoberfläche. Zur Erleichterung der nachfolgenden Bearbeitungsmaßnahmen wurden die abgestorbenen Halme im Frühjahr mit einem Mulcher (Fa. Müthing) grob zerkleinert.

Behandlung und Versuchsdesign zur Hauptfrucht

Ackerbohnen waren als Sommerungen die Hauptfrüchte in den zwei geplanten faktoriellen Feldversuchen. Vor der Aussaat musste jeweils im Frühjahr die Grundbodenbearbeitung durchgeführt werden. Diese bildete in der Spaltanlage die Großteilstücke und differenzierte sich in (a) flache, nicht-wendende Bearbeitung und (b) tief-wendende Bearbeitung mit dem Pflug. Daher wurden bereits im Februar entsprechende Teilstücke eingemessen. Sobald die Befahrbarkeit der Flächen gegeben war, wurden vier Teilflächen mit einem Volldrehpflug (Fa. Lemken) bearbeitet. Die maximale Bearbeitungstiefe betrug dabei 25 cm. Die Termine für den Einsatz des Wendepfluges waren der 25. Februar 2014 (Fvs. I) und der 18. Februar 2015 (Fvs. II). Im Gegensatz zu der tief-wendenden Bodenbearbeitungsvariante wurde bei flacher und nicht-wendender Bearbeitung auf den Einsatz des Pfluges vollständig verzichtet. Der Boden wurde stattdessen mit einer Ackerfräse bzw. mit einem Zinkenrotor (Fa. Kronevator) flach (ca. 8 cm) bearbeitet. Der vergleichsweise schwere Boden am Schlag

Kamp (Tongehalt 30 bis 40 %) erwärmte und trocknete nur langsam. Diesbezüglich waren die trockenen Verhältnisse im Jahr 2014 günstiger als die normalen Niederschlagsmengen im Frühjahr des Jahres 2015. Da die Aussaat nur mit einfacher Parzellendрилtechnik und nicht mit Direktsaatmaschinen erfolgte, war es wichtig, möglichst ganzflächig ein krümeliges Saatbett vorzubereiten. Deshalb musste im Jahr 2014 etwa Mitte März der trockene Boden in der nicht-wendenden Variante mit einem Grubber (Smaragd 7, Fa. Lemken) bis ca. 12 cm Tiefe bearbeitet werden. Nachfolgend wurde auf der gesamten Fläche ein ebenes Saatbett mit einer Kreiselegge (Fa. Rabe) errichtet. Im Jahr 2015 wurde Anfang April mit einer Saatbettkombination aus Federzinkenegge und Krümmler (Typ Ratiomat S, Fa. Becker) der Boden auf der gesamten Versuchsfläche bearbeitet. Auch hier erfolgte die weitere Bearbeitung mit einer Kreiselegge.

Tab. 3.2.2: Faktorielle Feldversuche (Fvs. I 2013-2014 und Fvs. II 2014-2015) am Standort Reinshof als Spaltanlage zu den Hauptfrüchten Ackerbohnen und Hafer.

| Prüffaktor | Faktorstufen |
|--|---|
| : Bodenbearbeitung | a. wendend, mit Pflug (tief, maximal 30 cm) |
| | b. nicht-wendend, ohne Pflug (flach, maximal 15 cm) |
| : Unkrautbehandlung | a. mechanisch mit Rollstriegel an Uni-Hacke (Fa. Annaburger) |
| | b. manuelles Hacken und Jäten |
| | c. unbehandelt, ohne Regulierung |
| : Anbauform | Reinsaat, Reihenabstand ca. 22 cm |
| | a1. Ackerbohnen (40 K m ⁻²) |
| | a2. Hafer (300 K m ⁻²) |
| | Gemenge in alternierenden Reihen (1:1), ca. 22 cm Abstand |
| | b1. Ackerbohnen 100 % (40 K m ⁻²) + Hafer 50 % (150 K m ⁻²) |
| b2. Ackerbohnen 100 % (40 K m ⁻²) + Hafer 20 % (60 K m ⁻²) | |

Auf eine Stickstoff-Düngung wurde verzichtet, da die symbiotische Stickstofffixierung der Ackerbohnen nicht gestört werden sollte. Zur Absicherung der Grundnährstoffversorgung wurden die Untersuchungsflächen am 24. Februar 2014 und am 19. Februar 2015 mit Patentkali gedüngt. Die ausgebrachte Menge entsprachen ca. 90 bis 100 kg K₂O pro ha. Die Einarbeitung des Düngers in den Boden erfolgte im Zuge der geplanten Bodenbearbeitungsmaßnahmen.

Die Aussaat des Hauptversuches (Ackerbohnen und Hafer in Reinsaat oder Gemenge) erfolgte mit Parzellendрилtechnik (Typ SP 25, Fa. Haldrup) am 26. März 2014 (Fvs. I) und am 16. April 2015 (Fvs. II). Die Ablagetiefe der Ackerbohnen betrug etwa 5 bis 7 cm. Der Hafer wurde etwa in 3 bis 4 cm Tiefe abgelegt. Im Anschluss an die Aussaat wurde der Boden gewalzt (Prismenwalze, Fa. Güttler), um einen ausreichenden Bodenschluss für das Saatgut zu erreichen. Einhergehend mit der Aussaat wurden die geplanten Mittel- und Kleinteilstücke des faktoriellen Feldversuches verwirklicht (Differenzierung

siehe Tabelle 3.2.2). Insgesamt wurden bei vier Wiederholungen 96 Parzellen angelegt. Jede Parzelle war 4,5 m breit und 12 m lang. Pro Parzelle wurden 18 Drillreihen ausgesät, der Abstand zueinander betrug etwa 22 cm. Im Gemenge wurden Ackerbohnen und Hafer in alternierenden Reihen im Verhältnis 1 : 1 angelegt.

Die Aussaatstärke bei den Ackerbohnen in Reinsaat betrug 40 keimfähige Körner pro m², Hafer wurde in Reinsaat mit 300 keimfähigen Körnern pro m² ausgesät. Die zwei additiven Gemenge wurden in alternierenden Reihen abgelegt. Dabei wurden die vorher geplanten Saatstärken verwirklicht: Ackerbohnen identisch zur Reinsaat und der Hafer mit 50% bzw. 20% seiner Reinsaatstärke - dies entspricht 150 bzw. 60 keimfähigen Körnern pro m² (Tab. 3.2.3). Die einzelnen Versuchspartellen bestehen aus drei Säspuren mit je 1,5 m Breite und 12 m Länge. Der Reihenabstand beträgt einheitlich im gesamten Feldversuch etwa 22 cm. Das Modellunkraut Leindotter (Sorte Ligena) wurde in den Prüfgliedern mechanische Unkrautregulierung (2a in Tab. 3.2.2) und in der unbehandelten Kontrolle (2c in Tab. 3.2.2) mit einer Saatstärke von 300 keimfähigen Körnern pro m² breitwürfig ausgesät. Die Aussaattermine waren der 1. April 2014 (Fvs. I) und der 23. April 2015 (Fvs. II). Für die Aussaat wurde ein einachsiger Düngerstreuer (Typ Hege 33) mit Bandkopf verwendet.

Im Feld wurden vor dem Reihenschluss der Kulturpflanzen durch manuelle Unkrautregulierung (2b in Tab. 3.2.2) mit intensivem Hacken und Jäten die autochthonen Unkräuter weitgehend beseitigt. Diese personalintensiven Maßnahmen wurden in beiden Jahren ab Anfang Mai durchgeführt und bis mindestens Mitte Juni häufig wiederholt. Das nestweise Auftreten der Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense*) an mehreren Punkten auf den Versuchsflächen führte dazu, dass Regulierungsmaßnahmen gegen diese Art während der gesamten Vegetationsperiode notwendig wurden. Stellen mit starkem Bewuchs der Acker-Kratzdistel wurden generell bei der kleinflächigen Probenahme oder Datenerhebung ausgenommen.

Bei mechanischer Unkrautregulierung (2a in Tab. 3.2.2) wurde ein Turbo-Rollstriegel (Gerät Uni-Hacke der Fa. Annaburger) zu je zwei Terminen eingesetzt. Im Feldversuch I (2014) waren die Einsatzzeiten der 9. April (im Voraufbau) und der 24. April. Die Ackerbohnen zeigten beim zweiten Einsatz-Termin im Mittel das BBCH-Stadium 12. Im Feldversuch II (2015) wurden die Rollstriegel-Einsätze am 06. Mai und am 18. Mai durchgeführt. Zum ersten Termin 2015 befanden sich die Ackerbohnen im Mittel im BBCH-Stadium 12, beim zweiten Einsatz-Termin erreichten die Ackerbohnen auf Grund der anhaltenden Trockenheit erst das BBCH-Stadium 13.

Datenerhebung

Feldaufgang

Der Keimerfolg wurde jeweils zwischen den Aussaatterminen (9. August 2013 und 7. August 2014) bis Anfang September stichprobenweise geprüft. Dazu wurden Einzelpflanzen in zufällig verteilten Reihenabschnitten (n = 25, je ein Meter) gezählt.

Sprossmasse

In den Vegetationsperioden der Jahre 2013 bis 2015 wurde die Sprossmasse der autochthonen Unkräuter und der Kulturpflanzen zu verschiedenen Zeitpunkten erfasst. Die Ernte der Pflanzenproben erfolgte, indem in jeder Parzelle mit Bewuchs auf markierten Kleinteilflächen (mittlere zwei Reihen einer Parzelle auf 1 m Länge) alle grünen Pflanzen (inklusive jeweils vorkommender Unkraut-Arten) in Höhe der Bodenoberfläche abgeschnitten wurden. Die jeweiligen Kleinteilflächen wurden für drei Schnittzeitpunkte an drei unabhängigen Positionen in einer Parzelle markiert, so dass ein ungestörtes Wachstum für jeweils drei Zeitperioden gewährleistet war.

Als grobe Orientierung für die drei Zeiternten diente der Entwicklungszustand der Ackerbohnen (BBCH 35, 65 und 89). Die genauen Termine werden in Tabelle 3.2.3 genannt. Hafer in Reinsaat erreichte deutlich vor den Ackerbohnen die Kornreife, die 3. Zeiternte wurde vorgezogen (Tab. 3.2.3).

Tab. 3.2.3: Termine für die Ernte von Pflanzen-Sprossmasse (Kulturpflanzen, Unkräuter, Modellunkraut Leindotter) in Kleinteilflächen in den Feldversuchen 2014 und 2015.

| BBCH | | Umfang Ernte | Feldversuch I | Feldversuch II |
|--------|---------------------------|---|---------------|----------------|
| Acker- | bohlen | | 2014 | 2015 |
| 35 | 1. Zeiternte | alle Prüfglieder | 20. Mai | 4. Juni |
| 62 | 2. Zeiternte | alle Prüfglieder | 4. Juni | 25. Juni |
| 87 | 3. Zeiternte ¹ | nur Hafer-Reinsaat | 4. August | 6. August |
| 89 | 3. Zeiternte | Ackerbohnen-Reinsaat und beide Gemenge | 12. August | 15. August |

¹ Hafer in Reinsaat gleichzeitig bei BBCH 89

Die Pflanzenproben wurden nach den Zeiternten umgehend sortiert und den funktionellen Gruppen zugeordnet (Kulturpflanzen, Unkräuter, Leindotter). Die Frisch- und Trockenmasse der geernteten Proben wurde mit Laborwaagen (Fa. Sartorius) erfasst. Für die Ermittlung der Trockenmasse wurden Teilproben des Pflanzenmaterials bei 105 C bis zur Gewichtskonstanz in Umluft-Trockenschränken (Fa. Memmert, Fa. Binder) getrocknet. Für die Bestimmung der Inhaltsstoffe

(Stickstoff-Gehalte in %, Isotopensignaturen) wurden Teilproben schonend bei 60°C getrocknet und weiterverarbeitet.

Die Sprossmasse der Zwischenfruchtgemenge wurde in den zwei Feldversuchen jeweils einmal im Oktober und einmal im folgenden Februar erfasst. Dazu wurden zu jedem Termin Kleinteilflächen (vier Wiederholungen zufällig verteilt, je ca. 1,0 m²) abgesteckt und die Pflanzen wurden in Bodenhöhe entnommen. Die geernteten Pflanzen wurden nach Arten sortiert, schonend getrocknet (60°C) und gewogen.

Deckungsgrade

Die Entwicklung der Unkräuter wurde durch regelmäßige Bonituren vor den Reihenschluss der Kulturpflanzen zerstörungsfrei erfasst. Bewährt hat sich der Einsatz des sogenannten ‚Göttinger Schätzrahmens‘ (Bartels et al. 1983). Ein Metallrahmen, der 0,1 m² Fläche umfasst, wurde im Feld während der Bonitur stets parallel zur Drillrichtung der Kulturpflanzen in den mittleren Drillreihen der Parzelle ausgerichtet (Abb. 3.2.2).

Tab. 3.2.4: Termine für die Erfassung des Deckungsgrades von Unkräutern vor Reihenschluss der Kulturpflanzen.

| Ermittlung | Feldversuch I | Feldversuch II |
|---------------------|----------------------|-----------------------|
| Deckungsgrad | 2014 | 2015 |
| 1. Termin | 7. Mai | 19. Mai |
| 2. Termin | 14. Mai | 26. Mai |
| 3. Termin | 21. Mai | 2. Juni |

Die Bodenbedeckungsgrade bzw. Flächenanteile der funktionellen Gruppe ‚Unkräuter‘ wurden nach der beschriebenen Ausrichtung des Rahmens visuell geschätzt und notiert. Diese Schätzungen wurden in jeder Parzelle mit Bewuchs zu mindestens vier Terminen pro Versuchsjahr durchgeführt (Tab. 3.2.4). Die Position für den Schätzrahmen war in jeder Parzelle für alle Termine festgelegt und wurde nur bei schwerwiegenden externen Störungen verändert (Fraß durch Tiere oder ähnliches).



Abb. 3.2.2: Parzelle mit tief-wendender Bodenbearbeitung, ohne Unkrautregulierung (Kontrolle), Gemenge aus Ackerbohnen (40 K m^{-2}) mit Hafer (150 K m^{-2}) in alternierenden Reihen. Göttinger Schätzrahmen ($0,1 \text{ m}^2$; nach BARTELS et al. 1983). Standort Reinshof am 30. April 2014. Foto: R. Jung.

Kornertrag

Die Kornerträge der Ackerbohnen und des Hafers wurden durch Parzellen-Mähdrusch erfasst. Da der Hafer etwas früher als die Ackerbohnen die Kornreife erreichte, mussten die Erntetermine im August aufgeteilt werden. Für die Ermittlung der Kornerträge wurden Probenahmen im Mähdruschverfahren mit einem Parzellenmähdrescher (Hege 160) an jeweils zwei Terminen durchgeführt. Im Jahr 2014 (Fvs. I) waren dies der 7. August (Hafer-Reinsaat) und der 13. August (Ackerbohnen-Reinsaat sowie alle Ackerbohnen-Hafer-Gemenge). Im Jahr 2015 (Fvs. II) erfolgte die Ernte in den Hafer-Reinsaaten am 6. August, während der Mähdrusch in den Ackerbohnen-Reinsaaten sowie allen Ackerbohnen-Hafer-Gemengen erst am 21. August durchgeführt wurde. Die Starkregenereignisse vom 17. August 2015 (siehe Witterungsverlauf) erzwangen eine Verlegung des Erntetermins. Die beprobte Fläche entsprach in allen Parzellen etwa 10 bis 12 m^2 .

Die Ernteproben wurden nachfolgend schonend getrocknet. Die Gemenge-Proben wurden mit Hilfe einer Labor-Saatgutreinigung (Typ Mini, Fa. Röber) in die Bestandteile Ackerbohnen und Hafer getrennt. Zudem wurden alle Proben mit diesem Gerät gereinigt. Anschließend wurden die Proben gewogen. Mit diesem Resultat wurden die Korn-Erträge (dt ha^{-1}) berechnet.

Die Berechnung der Relativerträge (RY) und der relativen Gesamterträge (RYT) erfolgte nach Angaben bei de Wit & van den Bergh (1965). Der relative Gesamtertrag eines Gemenges berechnet sich aus der Summe der relativen Teilerträge der eingesetzten Gemengefraktionen (hier: Ackerbohnen und Hafer). Dabei werden die Erträge im Gemenge mit den Erträgen der gleichen Kulturart in Reinsaat verrechnet. Ist $\text{RYT} > 1$, dann zeigt das Gemenge im Vergleich zur Reinsaat eine effektivere Ausnutzung der Wachstumsfaktoren.

Bodenproben und N_{min}-Analytik

Für die Entnahme der Bodenproben mit Pürckhauer-Bohrstöcken wurden halbautomatische, motorgetriebene Kleinmaschinen der Fa. Nietfeld eingesetzt. Damit wurden Bodenproben in drei Tiefenstufen entnommen: 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm. Zu jedem Probenahmetermin wurden vier Einstiche pro Parzelle ausgeführt. Bei Pflanzenbewuchs mit erkennbaren Drillreihen wurden immer zwei Einstiche auf der Drillreihe und zwei Einstiche zwischen der Drillreihe vorgenommen. Die vier Proben wurden jeweils zu einer Mischprobe pro Tiefenstufe vereinigt. Transport und Lagerung der Proben erfolgte nach VdLUFA-Vorgaben (HOFFMANN 1991).

Die Bodenproben der Zeiträume Mai bis Oktober wurden im Labor (Universität Göttingen, Abteilung Pflanzenbau) getrennt nach Tiefenstufen analysiert. Die Aufarbeitung und Behandlung der Proben erfolgte nach den Vorgaben der Methodenbeschreibungen des VdLUFA (Hoffmann 1991). Die Extraktion mineralischer N-Verbindungen aus dem Boden (Nitrat und Ammonium) erfolgte mit einer 0,01 molaren CaCl₂-Schüttellösung. Die Konzentration der löslichen Boden-Stickstofffraktionen wurde photochemisch mittels Durchflussanalyse (Continuous-Flow Analysis, Fa. Seal) gemessen. Die Bestimmung des gravimetrischen Wassergehalts des Bodens war ein Teilabschnitt der N_{min}-Analytik.

Stickstoff-Gehalte und N-Isotopensignaturen

Um die schonend getrockneten Pflanzenproben der Analyse zuzuführen, mussten diese mit einer Ultrazentrifugalmühle (Fa. Retsch, Typ ZM 100 bzw. ZM 200) auf eine Partikelgröße von $\leq 0,20$ mm zerkleinert werden. Die gemahlene Proben wurden in Mengen von bis zu 10 g zur Aufbewahrung in PE-Behälter (Fa. Roth) überführt. Die Proben wurden mittels einer hochfeinen Laborwaage (Fa. Sartorius, Typ M2P; $\pm 0,001$ mg) in Kleinstmassen bis ca. 25 mg (bei Elementaranalyse) in vorgefertigten Zinnkapseln (Fa. IVA) eingewogen. Der elementare Stickstoffgehalt aller Pflanzenproben wurde auf Basis des Dumas-Verfahren mit einem CN-Analysator (Typ Vario EL, Fa. Elementar oder Typ NA 1110, Fa. CE-Instruments) ermittelt. Weiterhin wurde auf Grundlage der Messungen von N-Isotopensignaturen mit einem Massenspektrometer (Delta-Plus, Fa. Finnigan MAT) die symbiotische Stickstoff-Fixierung der Ackerbohnen berechnet (natural abundance-Methode). Die elementaren Stickstoffgehalte der Korn- und Sprossproben der Kulturpflanzen sowie die N_{min}-Daten wurden ferner genutzt, um mit der erweiterten Differenzmethode die symbiotische Stickstoff-Fixierung der Ackerbohnen zu ermitteln.

Symbiotische Stickstoff-Fixierung

Die symbiotische Stickstoff-Fixierleistung von Körnerleguminosen im Feldanbau ist nur durch die Anwendung aufwändiger Labormethoden bestimmbar. Das primäre Methodenziel ist, die Quellen der in den Pflanzen akkumulierten Stickstoffmengen zu bestimmen. Dies ist entweder die Atmosphäre (molekularer N₂-Stickstoff in der Luft) oder der Boden (z.B. Nitrat-Stickstoff). Die Gesamtmenge des aufgenommenen Stickstoffs ist durch die Messung der elementaren N-Gehalte (siehe Kap. 3.3.5)

bestimmbar. Die mengenmäßige Verteilung des Stickstoffs kann unter Feldbedingungen nur durch indirekte Berechnungen mit Hilfe von Referenzpflanzen aufgeklärt werden (Unkovich & Pate 2000). Zwei Berechnungs-Methoden wurden im Arbeitspaket 2 angewandt: (1) Die $\delta^{15}\text{N}$ -Methode (SHEARER & KOHL 1986) und (2) die Differenzmethode (STÜLPNAGEL 1982, HAUSER 1987, 1992).

Die $\delta^{15}\text{N}$ -Methode (SHEARER & KOHL 1986, UNKOVICH & PATE 2000) basiert auf der natürlichen Verteilung der stabilen Isotope ^{14}N und ^{15}N in der Biomasse der untersuchten Pflanzen. Bei vielen Leguminosen wird in den Wurzelknöllchen der Luft-Stickstoff durch die Symbiose mit Rhizobien aufgenommen (ZEHNER & GÖTTFERT 2015). Mit Kenntnis der Stickstoff-Isotopensignaturen der Leguminose und der Referenzpflanze kann der Anteil des luftbürtigen Stickstoffs (N_2) berechnet werden:

$$\text{Ndfa} (\%) = 100 \times [(\delta^{15}\text{N}_{\text{Ref}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{Leg}}) \times (\delta^{15}\text{N}_{\text{Ref}} - \text{B})^{-1}] \quad (1)$$

Ndfa: Nitrogen derived from atmosphere, Anteil Stickstoff aus der Luft

$\delta^{15}\text{N}_{\text{Ref}}$: Isotopensignatur ($\delta^{15}\text{N}$) der Referenzpflanze

$\delta^{15}\text{N}_{\text{Leg}}$: Isotopensignatur ($\delta^{15}\text{N}$) der Leguminose

B: Korrekturfaktor (sogenannter B-Wert) für die N-Isotopenfraktionierung während der symbiotischen Stickstoff-Fixierung

Da die reifen Körner und die Sprossmasse bei Ackerbohnen und bei der Referenzpflanze Hafer getrennt geerntet wurden, war eine Analyse der Stickstoff-gehalte und der N-Isotopensignaturen für beide Fraktionen möglich. Eine Erhebung der N-Gehalte in den Wurzeln oder im Blattfall der Ackerbohnen wurde nicht durchgeführt. Der gesamt-pflanzliche Stickstoffumsatz repräsentiert im vorliegenden Fall demnach die Summe aus den Ergebnissen der Korn-Erträge und der Sprossmasse zum Zeitpunkt der Reife (BBCH 89). Ferner wurden die N-Gehalte und N-Isotopensignaturen zu den Entwicklungs-Zeitpunkten BBCH 35 und BBCH 65 erhoben.

Der B-Wert (Gleichung 1) repräsentiert die Isotopensignatur einer Leguminose, die auf N-freiem Nährmedium gewachsen ist und daher ausschließlich atmosphärischen Stickstoff aufnahm. Auf diese Weise wird die N-Isotopenfraktionierung während der symbiotischen N_2 -Fixierung in die Berechnung einbezogen (OKITO et al. 2004). N-freie Gefäßversuche mit Ackerbohnen waren im Rahmen dieser Untersuchungen nicht möglich. Deshalb wurden für die Ndfa-Berechnung (Gleichung 1) die B-Werte für Ackerbohnen aus der Arbeit von LÓPEZ-BELLIDO et al. (2010) entnommen. In Spross und Korn wird Stickstoff in unterschiedlichem Maße akkumuliert. Dies muss bei der Ermittlung des B-Wertes berücksichtigt werden. Der verwendete B-Wert für den Spross betrug $-1,71 \delta\text{-‰}$. Für die reifen Ackerbohnen-Körner wurde $-0,46 \delta\text{-‰}$ als B-Wert eingesetzt (LÓPEZ-BELLIDO et al. 2010).

Bei der Anwendung von Differenzmethoden werden Messungen der Isotopensignaturen nicht benötigt. Für die Bestimmung der symbiotisch fixierten Stickstoffmengen (Nfix) werden die in Spross oder Korn akkumulierten N-Mengen der Leguminosen (N_{Leg}) und der Referenzpflanzen (N_{Ref}) verrechnet (Gleichung 2).

$$N_{\text{fix}} (\text{kg N ha}^{-1}) = N_{\text{Leg}} - N_{\text{Ref}} \quad (2)$$

In einer Erweiterungsstufe (Hauser 1987) ist es möglich, den Boden-N_{min}, genauer die Nitrat-Stickstoffmengen (0 bis 90 cm Tiefe), in die Berechnung einzubeziehen (Gleichung 3).

$$N_{\text{fix}} (\text{kg N ha}^{-1}) = (\text{Spross-N} + \text{NO}_3\text{-N})_{\text{Leg}} - (\text{Spross-N} + \text{NO}_3\text{-N})_{\text{Ref}} \quad (3)$$

Die Multiplikation des N-Anteils aus der Luft (Ndfa) mit der Gesamt-N-Menge in der Biomasse (Nt) ergibt die symbiotisch fixierte N-Menge (Nfix) in der Sprossmasse bzw. im erntereifen Korn der Ackerbohnen oder des Hafers (Gleichung 4).

$$N_{\text{fix}} (\text{kg N ha}^{-1}) = N_{\text{dfa}} (\%) \times N_{\text{t}} (\text{kg N ha}^{-1}) \quad (4)$$

Alle gezeigten Berechnungen zur Ermittlung der symbiotischen Stickstoff-Fixierung müssen im Feldanbau mit Referenzpflanzen indirekt abgeleitet werden (UNKOVICH & PATE 2000). Eine demgemäß unvermeidbare Unschärfe der Ergebnisse entspricht dem derzeitigen Stand der Methode.

Lichttransmission

Untersuchungen von KIMPEL-FREUND (1999) zeigten, dass in Erbse-Hafer-Gemengen weniger Unkraut wächst als in Erbsen-Reinsaaten. Grund dafür war die signifikant geringere Lichttransmission in den Gemenge-Beständen. Um zu testen, ob dieser Sachverhalt auch für Ackerbohnen-Hafer-Gemenge zutrifft, wurden in den Feldversuchen der Jahre 2014 und 2015 Messungen der Lichttransmission durchgeführt.

Sämtliche Feldmessungen wurden mit dem Gerätsystem ‚SunScan‘ (Fa. Delta-T Devices, Cambridge, UK) durchgeführt. Das Basisgerät (Typ SS1) besteht aus einem Sensor (1 m Länge), in dem 64 in Reihe geschaltete Photodioden die PAR-Strahlung erfassen (PAR: Photosynthetically Active Radiation; Wellenlängenbereich etwa 400 bis 700 nm). Die elektrischen Signale werden an einen Feldcomputer (‚Ruggedised Personal Digital Assistant‘, RPDA, Fa. Nomad) weitergegeben und dort mit einer speziellen Software (SunData, Windows Mobile) verarbeitet. Mit einem Zusatzsensor (Typ BF5, Fa. Delta-T Devices) kann zeitgleich zu den Bestandesmessungen die PAR-Strahlung im Freiland erfasst werden. Auch diese Daten werden in das RPDA eingespeist. Die in den Kulturpflanzen-Beständen ermittelte Strahlungsintensität wurde im Verhältnis zu den Strahlungsintensitäten im Freiland verrechnet: PAR-Strahlung im Pflanzenbestand am Boden geteilt durch die PAR-Strahlung im Freiland multipliziert mit 100 ergibt die Lichttransmission (in %).

Die theoretischen Grundlagen zur Ermittlung der Lichttransmission basieren auf den Arbeiten von CAMPBELL (1986) sowie NORMAN & JARVIS (1975). Für die Datenverarbeitung und -ausgabe werden folgende Faktoren berücksichtigt: Direkter und diffuser Lichteinfall, der Blattflächenindex, die PAR-Absorption durch Blätter, der Sonnenzenitwinkel und die Lichtinterzeption.

Die Feldmessungen zur PAR-Strahlung bzw. Lichttransmission wurden frühestens um ca. 11.00 Uhr MEZ begonnen und spätestens um ca. 15.00 Uhr MEZ beendet, da horizontnahe Sonnenpositionen zu fehlerhaften Messwerten führen können.

3.2.2 Ergebnisse

3.2.2.1 Zwischenfruchtgemenge vor dem Hauptversuch

Nach der Vorfrucht Wintergerste (Sorte Semper) wurde das nicht-legume Zwischenfruchtgemenge aus Sommertriticale und Sonnenblumen in beiden Feldversuchen erfolgreich mit Direktsaattechnik (TandemFlex) am Standort Reinshof ausgesät. Es entwickelte sich ein dichter und gleichmäßiger Pflanzenbestand, durch den nur vergleichsweise wenig PAR-Strahlung an die Bodenoberfläche gelangte. Der Unkrautwuchs war in beiden Jahren gering (maximal 4,1 g m⁻², Abb. 3.2.3). Sonnenblumen und Sommertriticale erreichten im Jahr 2013 (Fvs. I) einen Keimerfolg zwischen 91 % und 92 %. Im zweiten Jahr 2014 (Fvs. II) lag der Keimerfolg bei etwa 97 %.

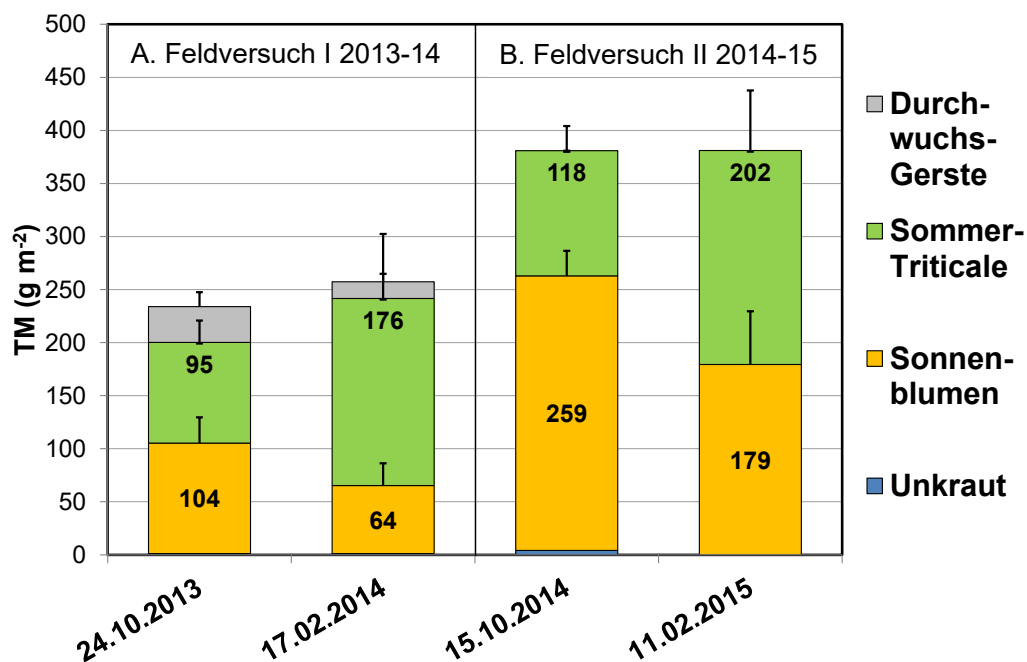


Abb. 3.2.3: Sprossmasse (TM in g m⁻²) der ausgesäten Zwischenfrüchte Sommertriticale und Sonnenblumen am Standort Reinshof zwischen Oktober 2013 und Februar 2015. Arithmetischer Mittelwert ± Standardabweichung.

Die Zwischenfrüchte bildeten in beiden Versuchsjahren geschlossene Pflanzenbestände, die eine zufriedenstellende Bodenbedeckung aufwiesen. Am 24. Oktober 2013 betrug die Gesamt-Sprossmasse der Zwischenfrüchte in der Summe ca. 2,0 t ha⁻¹, wobei Sonnenblumen und Triticale etwa gleich Anteile aufwiesen (Abb. 3.2.3). Die zu diesem Zeitpunkt akkumulierte N-Menge lag in der Summe bei etwa 38 kg N ha⁻¹ (Tab. 3.2.5). Im Feldversuch I (2013-14) wurde zudem ein Durchwuchs der Vorfrucht Wintergerste registriert. Die Sprossmasse betrug am 24. Oktober im Mittel etwa 0,34 t ha⁻¹. Im zweiten Jahr wurde kein nennenswerter Gersten-Durchwuchs festgestellt. Im Vergleich zum ersten Untersuchungsjahr waren die Wuchsbedingungen für die Zwischenfrüchte im Herbst 2014 (Feldversuch II 2014-15) besser. Die Temperaturen lagen zwischen September und November 2014 etwa 1,2 bis 2,7°C über dem langjährigen Mittel. Am 15. Oktober 2014 wurde daher eine

Zwischenfrucht-Sprossmasse in Höhe von ca. 3,8 t ha⁻¹ beobachtet (Abb. 3.2.3). Etwa zwei Drittel dieser Sprossmasse bestand aus Sonnenblumen, das andere Drittel bildete die Triticale. Unkräuter waren zu diesem Zeitpunkt mit höchstens 4 g m⁻² vertreten. Die in der Sprossmasse akkumulierten N-Mengen betragen in der Summe ca. 61 kg N ha⁻¹, wovon 36 kg auf die Sonnenblumen entfielen (Tab. 3.2.5). Im weiteren Vegetationsverlauf blieb es weiterhin ungewöhnlich warm, so dass z.B. die Sonnenblumen noch Anfang November Blüten ausbildeten. Zudem war dies mit einem weiteren Wachstum der Sprossmasse verbunden. Eine zusätzliche Zwischenernte am 19. November 2014 zeigte, dass die Gesamt-Sprossmasse etwa auf 5,8 t ha⁻¹ angestiegen war. Davon entfielen etwa 66 % auf die Sonnenblumen (ohne Abb.). Die mit der Sprossmasse akkumulierten Stickstoff-Mengen beliefen sich insgesamt auf etwa 74 kg N ha⁻¹.

Tab. 3.2.5: Stickstoff-Akkumulation (kg N ha⁻¹) und das C/N-Verhältnis der Sprossmasse der Zwischenfrüchte Sommertriticale und Sonnenblumen am Standort Reinshof in Abhängigkeit vom Entnahmeterrmin. Arithmetische Mittelwerte ± Standardabweichung.

| | Feldversuch I 2013-14 | | | | Feldversuch II 2014-15 | | | |
|-----------------|--------------------------|-----|--------------------------|-----|--------------------------|-----|--------------------------|-----|
| | 24.10.2013 | | 17.02.2014 | | 15.10.2014 | | 11.02.2015 | |
| | N (kg ha ⁻¹) | C/N | N (kg ha ⁻¹) | C/N | N (kg ha ⁻¹) | C/N | N (kg ha ⁻¹) | C/N |
| Sommertriticale | 20,8 ± 3,9 | 18 | 26,9 ± 11,0 | 2 | 24,9 ± 3,1 | 1 | 27,7 ± 7,7 | 3 |
| Sonnenblumen | 17,9 ± 5,4 | 24 | 11,7 ± 1,8 | 2 | 35,7 ± 9,5 | 3 | 15,6 ± 4,1 | 5 |
| | | | | 3 | | 1 | | 0 |

Über Winter froren die Zwischenfrüchte schließlich in beiden Versuchsjahren ab. Die abgestorbene Sprossmasse verblieb zunächst auf den Untersuchungsflächen. Im Februar wurden die abgestorbenen Sprossreste der Zwischenfrüchte erneut geerntet und nach Arten getrennt. Am 17. Februar 2013 betrug die Gesamt-Sprossmasse im Mittel etwa 2,4 t ha⁻¹, während am 11. Februar 2014 etwa noch 3,8 t ha⁻¹ registriert wurden. Im Jahr 2013 entfiel der Großteil (73 %) dieser abgestorbenen Sprossmasse auf die Triticale, im Februar 2014 betrug der Triticale-Anteil etwa 53 % (Abb. 3.2.3). Die in der Sprossmasse nach Winter gebundene Stickstoff-Mengen lag sich zwischen 39 und 43 kg N ha⁻¹ (Tab. 3.2.5).

Das Sprossmasse-C/N-Verhältnis der Zwischenfrucht-Komponente Sonnenblume war im Oktober mit Werten zwischen 24 und 31 höher als das Sprossmasse-C/N-Verhältnis der Sommertriticale mit einem Wert von maximal 19 (Tab. 3.2.5). Bei Sonnenblumen unterschieden sich die C/N-Verhältnisse der Stängel und der Blätter teilweise erheblich: Im Oktober 2013 betrug das C/N-Verhältnis im Stängel 59, im Blatt 12. Im Oktober 2014 betrug das C/N-Verhältnis im Stängel 104, im Blatt 14. Die C/N-Verhältnisse der toten Sprossmasse im Februar bewegten sich zwischen 23 und 50, wobei die Sonnenblumen die höchsten Werte aufwiesen (Tab. 3.2.5).

Ein Ziel des Zwischenfruchtanbaus war es, im Frühjahr vor den Ackerbohnen möglichst wenig residualen N_{min} zu hinterlassen. Deshalb wurde der N_{min}-Stickstoff (Nitrat plus Ammonium) im Boden

jeweils kurz nach der Aussaat der Zwischenfrüchte im August sowie im Oktober und dem darauffolgenden Februar gemessen (Abb. 3.2.4).

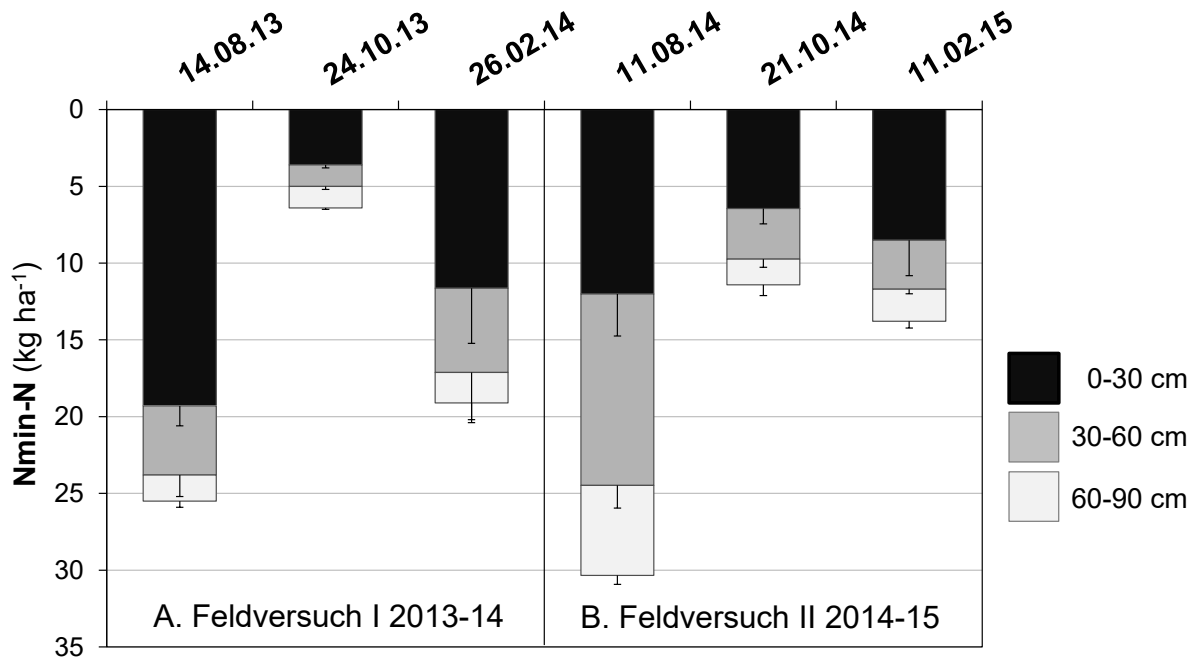


Abb. 3.2.4: N_{min} (kg N ha⁻¹) in den Zwischenfruchtgemengen am Standort Reinshof zwischen Oktober 2013 und Februar 2015. Arithmetische Mittelwerte ± Standardabweichung.

Im August belief sich N_{min} zwischen 0 und 90 cm Tiefe auf 26 kg N ha⁻¹ (14.8.2013) bzw. 30 kg N ha⁻¹ (11.8.2014). Dabei entfielen auf die Bodenschicht zwischen 0 und 30 cm Tiefe im Jahr 2013 etwa 19 kg N ha⁻¹ und im Jahr 2014 etwa 12 kg N ha⁻¹. Im Oktober zeigten die Zwischenfrüchte zumeist ein gutes Wachstum mit einer entsprechenden Stickstoff-Akkumulation in der Sprossmasse (Abb. 3.2.3, Tab. 3.2.5). Entsprechend gering war der Boden-N_{min} zu diesem Zeitpunkt. Im Oktober 2013 wurden zwischen 0 und 90 cm Tiefe im Mittel 6,4 kg N ha⁻¹ festgestellt. Im Oktober 2014 wurden 11,4 kg N ha⁻¹ zwischen 0 und 90 cm Tiefe gemessen. Über Winter starben die Zwischenfrüchte ab. Es ist davon auszugehen, dass im Frühjahr mit steigender Temperatur Mineralisierungsprozesse im Boden anliefen und vermehrt Nitrat und etwas Ammonium gebildet wurden. Im Februar betrug der Boden-N_{min} zwischen 0 und 90 cm Tiefe im Mittel 19 kg N ha⁻¹ (Fvs. I, 2013-14) bzw. 14 kg N ha⁻¹ (Fvs. II, 2014-15).

Eckdaten zur Vegetationsentwicklung im Hauptversuch

Die Hauptkulturen Ackerbohnen und Hafer zeigten in den beiden Feldversuchen der Jahre 2014 und 2015 teilweise unterschiedliche Entwicklungsrhythmen. Ursachen dafür waren wahrscheinlich divergierende Witterungsbedingungen (siehe Abb. 3.2.1) und Aussaat-Zeitpunkte, die sich um 21 Tage unterschieden (Tab. 3.2.6 und 3.2.7).

Die in den Tabellen 3.2.6 und 3.2.7 dargestellten Entwicklungsstadien und Bestandeshöhen sind zumeist einfache Mittelwerte aus Bonituren und Messungen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten zwischen März und Juli vorgenommen wurden. Insbesondere im Jahr 2014 entwickelten sich die Bestände gut (Tab. 3.2.6). Beachtenswert ist zudem der Unterschied in der Entwicklung der Kulturpflanzen in Rein- oder Gemengesaaten. Dieser Faktor wurde in den Tabellen 3.2.6 und 3.2.7 nicht explizit dargestellt.

Tab. 3.2.6: Phänologische Entwicklungsstadien (BBCH-Codierung) und Bestandeshöhe (in cm) von Ackerbohnen und Hafer am Standort Reinshof im Jahr 2014.

| Feldversuch I 2014-15 | 2014 | Ackerbohnen | | Hafer | |
|-------------------------|-----------|-------------|----------------|--------|----------------|
| | | Ø BBCH | Ø Höhe (cm) | Ø BBCH | Ø Höhe (cm) |
| Aussaat Hauptkulturen | 26. März | 00 | 0 | 00 | 0 |
| Aussaat Leindotter | 1. April | (05) | 0 | (05) | 0 |
| 1. Rollstriegeleinsatz | 9. April | 08 | 0 | 10 | 2 |
| 2. Rollstriegeleinsatz | 24. April | 12 | 8 | 12 | 10 |
| Deckungsgrad, 1. Termin | 7. Mai | 14 | 20 | 21 | 25 |
| Deckungsgrad, 2. Termin | 14. Mai | 32 | 25 | 31 | 25-30 |
| 1. Zeiternte | 20. Mai | 35/51 | 45 | 33 | 35-40 |
| Deckungsgrad, 3. Termin | 21. Mai | 35/51 | 45 | 33 | 35-40 |
| 2. Zeiternte | 4. Juni | 65 | 80-86 | 39/41 | 67 |
| Höhenmessung | 27. Juni | 70-74 | 140 | 59-61 | 114 |
| Höhenmessung | 4. Juli | 75-78 | 153 | 73-75 | 122 |
| Höhenmessung | 11. Juli | 76-79 | 158 | 75-77 | 122 |

Generell kann gesagt werden, dass im Untersuchungsjahr 2014 die abiotischen und biotischen Rahmenbedingungen (Temperaturverlauf, Niederschlagsmengen, Schädlingsbefall etc.) für den erfolgreichen Anbau von Körnerleguminosen im Ökologischen Landbau weitaus besser waren als im Untersuchungsjahr 2015. Dies zeigte sich bei den Ackerbohnen des Jahres 2014 u.a. in einer zügigen Bestandesentwicklung, hohen Wachstumsraten (siehe Bestandeshöhe in Tab. 3.2.6) und in weitgehend gesunden Beständen bis zur Mähdrusch-Ernte am 13. August 2014. Zudem waren die trockenen Bedingungen im zeitigen Frühjahr 2014 günstig für eine frühe, erfolgreiche Bodenbearbeitung am Ackerschlag Kamp (Reinshof). Dadurch konnte ein mittelfrüher Aussaattermin im März realisiert werden.

Im Untersuchungsjahr 2015 waren die Niederschläge ungünstig verteilt. Im März und April fielen Regenmengen, die etwa den langjährigen Mittelwerten entsprachen. Auf dem schweren, tonig-lehmigen Boden am Schlag Kamp erschwerte dies jedoch die abschließenden Arbeiten zur Saatbettbereitung. Im Mai und Juni entsprachen die Niederschlagsmengen höchstens 50 % der langjährigen Werte. Diese Trockenheit wirkte sich eindeutig hemmend auf das Wachstum und die Entwicklung der Kulturpflanzen aus (siehe Tab. 3.2.7). Die Vollblüte der Ackerbohnen (BBCH 65) wurde im Jahr 2015 erst Mitte Juni erreicht, während dies im Jahr 2014 bereits Anfang Juni der Fall war. Ferner waren die Bohnen zur Vollblüte im Jahr 2014 rund 20 cm höher als im Jahr 2015.

Tab. 3.2.7: Phänologische Entwicklungsstadien (BBCH-Codierung) und Bestandeshöhe (in cm) von Ackerbohnen und Hafer am Standort Reinshof im Jahr 2015.

| Feldversuch II 2014-15 | 2015 | Ackerbohnen | | Hafer | |
|-------------------------|-----------|-------------|----------------|--------|----------------|
| | | Ø BBCH | Ø Höhe (cm) | Ø BBCH | Ø Höhe (cm) |
| Aussaat Hauptkulturen | 16. April | 00 | 0 | 00 | 0 |
| Aussaat Leindotter | 23. April | (05) | 0 | (05) | 0 |
| 1. Rollstriegeleinsatz | 6. Mai | 12 | 5 | 12 | 8 |
| 2. Rollstriegeleinsatz | 18. Mai | 13 | 10 | 13 | 15 |
| Deckungsgrad, 1. Termin | 19. Mai | 13 | 10 | 13 | 15 |
| Deckungsgrad, 2. Termin | 26. Mai | 32 | 25 | 31 | 20-30 |
| Deckungsgrad, 3. Termin | 2. Juni | 35/50 | 40 | 32 | 20-35 |
| 1. Zeiternte | 4. Juni | 35/50 | 40 | 32 | 20-35 |
| Höhenmessung | 9. Juni | 59-61 | 50 | 39 | 35-50 |
| Höhenmessung | 19. Juni | 65 | 66 | 47 | 60 |
| 2. Zeiternte | 25. Juni | 65-67 | 70 | 49 | 65 |
| Höhenmessung | 15. Juli | 78-79 | 100 | 83-85 | 87 |

Ein weiteres wesentliches Ereignis war im Juni 2015 der fast flächendeckende Befall der Ackerbohnen mit Schwarzer Bohnenlaus (*Aphis fabae*) zum Zeitpunkt des Blühbeginns. Aus diesem Grund wurden die Ackerbohnen-Bestände am 11. Juni und am 17. Juni 2015 mit dem zugelassenen Mittel ‚Neudosan neu‘ (Wirkstoff Kaliseife) behandelt. Die eingesetzten Aufwandmengen entsprachen dabei den praxisüblichen Empfehlungen. Im Resultat wurden die Läuse im Folgenden etwas verdrängt, aber die Schäden an den Bohnen waren erheblich. Die vergleichsweise geringen Ackerbohnen-Kornerträge des Jahres 2015 sind höchstwahrscheinlich auf den Läusebefall und die geringen Niederschlagsmengen im Mai und Juni zurückzuführen.

In der Beschreibenden Sortenliste der BSA wird die Rostpilz-Anfälligkeit der in den Feldversuchen eingesetzten Ackerbohnen-Sorte *Fuego* bei der Ausprägung ‚mittel bis stark‘ eingestuft. Dieser Sachverhalt bestätigte sich dies im Feldversuch 2015 durch eine relativ hohe Rostpilz-Befallsintensität (wahrscheinlich *Uromyces viciae-fabae*) ab Ende Juli bzw. Anfang August.

Sprossmasse und Deckungsgrad der Unkräuter

Die in den Tabellen 3.2.8 bis 3.2.10 dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf autochthone Unkräuter für den Standort Reinshof. In diesem Abschnitt werden perennierende Unkräuter wie Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) nicht berücksichtigt. Die Art war im Feld gleichwohl in großer Zahl vorhanden. Das Modellunkraut Leindotter wird gleichfalls gesondert ausgewiesen.

Beim Vergleich der Daten (Tab. 3.2.8 bis 3.2.10) ist zu beachten, dass die Erhebungen zum Deckungsgrad methodenbedingt nur bis zum Zeitpunkt des Reihenschlusses durchgeführt werden konnten. Der Reihenschluss wurde in beiden Jahren erreicht, als die Ackerbohnen etwa das 5. gestreckte Internodium aufwiesen (BBCH 35). Der Zeitpunkt der ersten Sprossernte (20. Mai 2014, 4. Juni 2015) und der letzte Termin zur Erhebung der Deckungsgrade (21. Mai 2014, 2. Juni 2015) waren also annähernd identisch.

Die Sprossmasse und die Deckungsgrade (entspricht dem Flächenanteil einer funktionellen Gruppe) der autochthonen Unkräuter wurden nicht auf Artebene einzeln erfasst, sondern als Gesamtmasse für die jeweiligen Untersuchungsplots. Im Folgenden werden die wichtigsten und häufigsten Arten des Standortes genannt. Acker-Windenknöterich (*Fallopia convolvulus*) zeigte in beiden Untersuchungsjahren hohe Abundanzen. Die Art kam flächendeckend vor. Im August zeigten sich vor allem in den unbehandelten Bereichen viele Knöterich-Individuen, die die Kulturpflanzen als Stützfrucht verwendeten. Häufig waren zudem Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*), Raue Gänsedistel (*Sonchus asper*), Vogelmiere (*Stellaria media*), Taubnessel-Arten (*Lamium purpureum* und *L. amplexicaule*), Klettenlabkraut (*Galium aparine*), Efeublättriger Ehrenpreis (*Veronica hederifolia*) und Klatsch-Mohn (*Papaver rhoeas*). Eher zerstreut oder vereinzelt wurden folgende Arten registriert: Sonnenwend-Wolfsmilch (*Euphorbia helioscopia*), Gemeiner Erdrauch (*Fumaria officinalis*), Echte Kamille (*Matricaria chamomilla*), Acker-Senf (*Sinapis arvense*), Krauser Ampfer (*Rumex crispus*), Persischer Ehrenpreis (*Veronica persica*), Acker-Stiefmütterchen (*Viola arvensis*), Weg-Rauke (*Sisymbrium officinale*) und Gemeiner Holzzahn (*Galeopsis tetrahit*).

Deckungsgrad der autochthonen Unkräuter

Die Deckungsgrade der Gesamtheit der annuellen, autochthonen Unkräuter bewegte sich im Mittel über alle Faktoren im Jahr 2014 zwischen 3,0 % am 7. Mai (Makrostadium 1) und 7,3 % am 21. Mai 2014 (Makrosstadium 3 bis 5, Tab. 3.2.8). Im Untersuchungsjahr 2015 war der mittlere Unkraut-Deckungsgrad zum Ackerbohnen-Makrostadium 1 und zum Makrostadium 3 (26.05. und 02.06.15) mit Werten zwischen 1,7 % und 6,0 % geringer als im Jahr 2014 (Tab. 3.2.9).

Beim Untersuchungsfaktor Bodenbearbeitung wurde eine tief-wendende mit einer flachen Bearbeitung verglichen. Während im ersten Untersuchungsjahr 2014 keinerlei Unterschiede zwischen den Bearbeitungsvarianten vorlagen (Tab. 3.2.8), so war im Jahr 2015 der Unkraut-Deckungsgrad bei tief-wendender Bodenbearbeitung signifikant höher als bei flacher Bearbeitung (Tab. 3.2.9). Zu beachten ist jedoch, dass im Mai/Juni 2015 das Unkrautwachstum wegen anhaltender Trockenheit (Abb. 3.2.1) eher gering ausfiel.

Tab. 3.2.8: Deckungsgrad (%) aller autochthonen Unkräuter in Abhängigkeit von den Untersuchungsfaktoren am Standort Reinshof im Jahr 2014. (1) Bodenbearbeitung (BB), (2) Unkrautbehandlung (Ub), (3) Anbauformen (Af). Abo-Rs: Ackerbohnen-Reinsaat (40 K m⁻²); Hafer-Rs: Hafer-Reinsaat (300 K m⁻²); Abo-H50: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (150 K m⁻²); Abo-H20: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (60 K m⁻²). Arithmetische Mittelwerte ± Standardabweichung.

| | | 7. Mai 2014 | 14. Mai 2014 | 21. Mai 2014 |
|-------------|-----------------|-------------|--------------|--------------|
| BBCH Bohne | | 14 | 32 | 35/51 |
| 1 BB | a. tief-wendend | 2,8 ± 2,2 a | 4,7 ± 3,3 a | 6,8 ± 4,8 a |
| | b. flach | 3,2 ± 2,9 a | 4,9 ± 2,9 a | 7,8 ± 4,8 a |
| 2 Ub | a. mechanisch | 1,8 ± 1,3 b | 3,1 ± 2,0 b | 4,9 ± 2,8 b |
| | c. unbehandelt | 4,3 ± 2,8 a | 6,5 ± 3,0 a | 9,8 ± 5,2 a |
| | | | | |
| 3 Af | a1. Abo-Rs | 3,3 ± 3,3 a | 5,8 ± 3,8 a | 9,2 ± 5,7 a |
| | a2. Hafer-Rs | 2,9 ± 2,3 a | 4,6 ± 2,9 a | 6,4 ± 4,3 a |
| | b1. Abo-H50 | 2,8 ± 2,5 a | 3,8 ± 2,6 a | 6,3 ± 4,5 a |
| | b2. Abo-H20 | 3,1 ± 2,0 a | 5,0 ± 2,7 a | 7,3 ± 4,4 a |
| Gesamt | | 3,0 ± 2,5 | 4,8 ± 3,1 | 7,3 ± 4,8 |

Stat. Vergleich innerhalb der Faktoren, divergierende Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, Tukey-Test mit $\alpha = 0,05$

Beim Untersuchungsfaktor Unkrautbehandlung wurde der Regulierungserfolg des Rollstriegels mit einer unbehandelten Kontrolle verglichen. Es zeigte sich, dass zu jedem Zeitpunkt von Mai bis Juni 2014 oder 2015 die Deckungsgrade der Unkräuter durch die Rollstriegel-Behandlung signifikant gegenüber der Kontrolle reduziert wurden. Die Differenzen betragen im wüchsigeren Untersuchungsjahr 2014 etwa 2,5 bis 4,9 %, während im zunächst trockenen Jahr 2015 mit dem Rollstriegel eine um etwa 1,5 bis 4,1 % geringere Unkrautdeckung festgestellt wurde.

Beim Untersuchungsfaktor Anbauform wurden Reinsaaten mit Gemengesaaten verglichen. Gemengesaaten sollten laut Arbeitshypothese Unkräuter effizienter unterdrücken als Reinsaaten, z.B. durch Lichtmangel an der Bodenoberfläche. Dieser Ansatz konnte für den Untersuchungsparameter Deckungsgrad annähernd bestätigt werden. In beiden untersuchten Gemengen waren die Unkraut-Deckungsgrade geringer als in der Ackerbohnen-Reinsaat. Dies galt für alle Zeitpunkte von Mai bis Juni in beiden Untersuchungsjahren. Allerdings konnte nur am 26. Mai 2015 ein signifikanter Unterschied zwischen der Ackerbohnen-Reinsaat und dem Gemenge Abo-H50 nachgewiesen werden (Tab. 3.2.9). Insgesamt war die Streuung der Ergebnisse relativ hoch, so dass signifikante Unterschiede nicht immer klar hervor traten. Ferner wurde beim Vergleich der beiden Gemenge deutlich, dass im Gemenge Abo-H50 die höhere Saatkichte des Hafers (150 K m⁻² gegenüber 60 K m⁻² bei Abo-H20) zur Reduktion des Unkrautwachstums beitrug. Dies wurde deutlich, weil im Gemenge Abo-H50 stets geringere Unkraut-Deckungsgrade als im Gemenge Abo-H20 vorgefunden wurden.

In der Hafer-Reinsaat wurden zumeist geringere Unkraut-Deckungsgrade als in der Ackerbohnen-Reinsaat festgestellt. Eine Ausnahme war nur der 19. Mai 2015 (erster Termin, BBCH 13, Tab. 3.2.9). Zu diesem Zeitpunkt waren die Unkraut-Deckungsgrade in der Hafer-Reinsaat (2,1 %) geringfügig höher als in den Gemengen (1,3 bis 1,7 %) und höher als in der Ackerbohnen-Reinsaat (1,9 %). Die Unterschiede waren aber nicht signifikant.

Tab. 3.2.9: Deckungsgrad (%) aller autochthonen Unkräuter in Abhängigkeit von den Untersuchungsfaktoren am Standort Reinshof im Jahr 2015. (1) Bodenbearbeitung (BB), (2) Unkrautbehandlung (Ub), (3) Anbauformen (Af). Abo-Rs: Ackerbohnen-Reinsaat (40 K m⁻²); Hafer-Rs: Hafer-Reinsaat (300 K m⁻²); Abo-H50: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (150 K m⁻²); Abo-H20: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (60 K m⁻²). Arithmetische Mittelwerte ± Standardabweichung.

| | | 19. Mai 2015 | 26. Mai 2015 | 2. Juni 2015 |
|-------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| BBCH Bohne | | 13 | 32 | 35/50 |
| 1 BB | a. tief-wendend | 2,3 ± 1,8 a | 2,5 ± 2,0 a | 8,3 ± 7,1 a |
| | b. flach | 1,2 ± 0,7 b | 1,5 ± 1,0 b | 3,6 ± 2,5 b |
| 2 Ub | a. mechanisch | 1,0 ± 0,7 b | 1,2 ± 0,7 b | 3,9 ± 3,0 b |
| | c. unbehandelt | 2,5 ± 1,7 a | 2,8 ± 2,0 a | 8,0 ± 7,1 a |
| | | | | |
| 3 Af | a1. Abo-Rs | 1,9 ± 1,3 a | 2,6 ± 1,5 a | 7,5 ± 6,9 a |
| | a2. Hafer-Rs | 2,1 ± 2,1 a | 2,1 ± 2,4 ab | 5,8 ± 7,0 a |
| | b1. Abo-H50 | 1,3 ± 1,1 a | 1,4 ± 0,9 b | 4,7 ± 4,4 a |
| | b2. Abo-H20 | 1,7 ± 1,2 a | 1,9 ± 1,4 ab | 5,8 ± 4,7 a |
| Gesamt | | 1,7 ± 1,5 | 2,0 ± 1,7 | 6,0 ± 5,8 |

Stat. Vergleich innerhalb der Faktoren, divergierende Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, Tukey-Test mit $\alpha = 0,05$

Es ist zudem interessant, die Resultate der mechanischen Unkrautregulierung mit dem Rollstriegel (2a in Tab. 3.2.8 und 3.2.9) mit jenen des Gemenges Abo-H50 (3b1 in Tab. 3.2.8 und 3.2.9) zu vergleichen. Somit werden direkte, mechanische und indirekte Maßnahmen zur Unkrautregulierung gegenüber gestellt. Zunächst ist festzustellen, dass die Unkraut-Deckungsgrade der Prüfglieder 2a und 3b1 in den Jahren 2014 und 2015 stets geringer waren als die mittleren Deckungsgrade der jeweiligen Untersuchungstermine. Ein relativer Regulierungserfolg war zudem im Vergleich zur Kontrolle sichtbar. Ferner zeigte sich, dass bei mechanischer Unkraut-Regulierung mit dem Rollstriegel stets etwas niedrige Unkraut-Deckungsgrade auftraten als bei indirekter Regulierung mit dem Gemenge Abo-H50. Im Jahr 2014 betragen die Differenzen 0,7 bis 1,4 %, im Jahr 2015 bewegten sie sich unter 1,0 %. Es bleibt demnach festzuhalten, dass vor dem Reihenschluss der Ackerbohnen die mechanische Unkrautregulierung bessere Ergebnisse lieferte als die geprüften indirekten Regulierungsmaßnahmen mit Gemengen.

Sprossmasse der autochthonen Unkräuter

Die Sprossmasse der annuellen, autochthonen Unkräuter bewegte sich im Mittel über alle Faktoren im Jahr 2014 zwischen 5,8 g TM m⁻² am 20. Mai und 15,0 g TM m⁻² am 12. August (Tab. 3.2.10). Im Untersuchungsjahr 2015 war die mittlere Unkraut-Sprossmasse im Juni geringer. Anfang Juni wurden im Mittel 2,7 g TM m⁻² registriert, Ende Juni während der Ackerbohnen-Blüte wurden 8,7 g TM m⁻² beobachtet. Mitte August 2015 überstieg die Unkraut-Sprossmasse mit mittleren Werten in Höhe von 33,2 g TM m⁻² die Werte aus dem August 2014 um mehr als das Doppelte.

Tab. 3.2.10: Sprossmasse (g TM m⁻²) aller autochthonen Unkräuter in Abhängigkeit von den Untersuchungsfaktoren am Standort Reinshof im Jahr 2014. (1) Bodenbearbeitung (BB), (2) Unkrautbehandlung (Ub), (3) Anbauformen (Af). Abo-Rs: Ackerbohnen-Reinsaat (40 K m⁻²); Hafer-Rs: Hafer-Reinsaat (300 K m⁻²); Abo-H50: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (150 K m⁻²); Abo-H20: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (60 K m⁻²). Arithmetische Mittelwerte ± Standardabweichung.

| | | 20. Mai 2014 | 4. Juni 2014 | 12. August 2014 |
|-------------------|-----------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| BBCH Bohne | | 35/51 | 65 | 89/93 |
| 1 BB | a. tief-wendend | 5,8 ± 12,2 a | 13,7 ± 13,3 a | 21,5 ± 19,8 a |
| | b. flach | 5,8 ± 9,5 a | 13,3 ± 13,5 a | 8,5 ± 9,0 b |
| 2 Ub | a. mechanisch | 1,5 ± 1,0 b | 14,8 ± 12,4 a | 18,3 ± 18,6 a |
| | b. manuell | 2,8 ± 2,3 b | 7,2 ± 9,4 b | 8,7 ± 10,7 b |
| | c. unbehandelt | 13,1 ± 16,5 a | 17,3 ± 14,6 a | 18,0 ± 18,1 a |
| 3 Af | a1. Abo-Rs | 9,3 ± 16,8 a | 19,9 ± 15,1 a | 23,2 ± 22,3 a |
| | a2. Hafer-Rs | 2,7 ± 2,4 b | 7,2 ± 5,6 b | 5,7 ± 6,6 b |
| | b1. Abo-H50 | 6,2 ± 11,4 ab | 9,8 ± 9,9 b | 14,2 ± 16,3 ab |
| | b2. Abo-H20 | 5,0 ± 7,1 ab | 15,5 ± 15,1 ab | 16,9 ± 13,1 a |
| Gesamt | | 5,8 ± 10,9 | 13,1 ± 12,9 | 15,0 ± 16,6 |

Stat. Vergleich innerhalb der Faktoren, divergierende Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, Tukey-Test mit $\alpha = 0,05$

Beim Untersuchungsfaktor Bodenbearbeitung wurde eine tief-wendende mit einer flachen Bearbeitung verglichen. Ende Mai und Anfang Juni 2014 gab es bezüglich der Unkraut-Sprossmasse keine Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten. Im August 2014 war jedoch die Unkraut-Sprossmasse mit tief-wendender Bodenbearbeitung signifikant höher als bei flacher Bearbeitung. Zu diesem Zeitpunkt bildete vor allem die Art Acker-Windenknöterich (*Fallopia convolvulus*) den Hauptbestandteil der annuellen Unkrauter im Feldversuch.

Ein etwas anders Bild ergab sich im Untersuchungsjahr 2015. Auf Grund der Trockenheit war die Unkraut-Sprossmasse im Juni noch sehr gering (siehe oben), aber die Bodenbearbeitungsvarianten unterschieden sich zu allen drei Untersuchungsterminen. Stets war die Unkraut-Sprossmasse bei tief-wendender Bodenbearbeitung signifikant höher als mit flacher Bodenbearbeitung.

Beim Untersuchungsfaktor Unkrautbehandlung zeigte sich zum ersten Probenahmetermin in beiden Jahren (Ackerbohne: BBCH Makrostadium 3), dass die Regulierungsmaßnahmen im Vergleich

zur Kontrolle wirkungsvoll waren. Mit mechanischer und manueller Unkrautbehandlung zeigten sich in beiden Jahren signifikant niedrigere Unkraut-Sprossmassen als bei der unbehandelten Kontrolle. Besonders im wüchsigeren Jahr 2014 waren die zahlenmäßigen Unterschiede groß (bis zu 11,6 g TM m⁻²), während im trockenen Mai/Juni 2015 die Differenzen nur etwa 1,9 g Spross-TM m⁻² betragen. Im weiteren Verlauf der Vegetationsperioden 2014 und 2015 unterschied sich die Sprossmassebildung der Unkräuter. Im Jahr 2014 war die Unkraut-Sprossmasse bei manueller Regulierung zu den Zeitpunkten BBCH 65 und 89 signifikant niedriger als die Unkraut-Sprossmasse bei mechanischer Regulierung und bei der unbehandelten Kontrolle (Tab. 3.2.10). Dieser Effekt ist wahrscheinlich auf die unterschiedliche Dauer und Intensität der Behandlungsmaßnahmen bei mechanischer und manueller Regulierung zurückzuführen. Mit dem Rollstriegel wurden nur zwei Behandlungsdurchgänge am 9. und 24. April 2014 durchgeführt. Bei manueller Regulierung wurde jedoch über mehrere Wochen im April und im Mai intensiv gehackt und gejätet.

Tab. 3.2.11: Sprossmasse (g TM m⁻²) aller autochthonen Unkräuter in Abhängigkeit von den Untersuchungsfaktoren am Standort Reinshof im Jahr 2015. (1) Bodenbearbeitung (BB), (2) Unkrautbehandlung (Ub), (3) Anbauformen (Af). Abo-Rs: Ackerbohnen-Reinsaat (40 K m⁻²); Hafer-Rs: Hafer-Reinsaat (300 K m⁻²); Abo-H50: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (150 K m⁻²); Abo-H20: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (60 K m⁻²). Arithmetische Mittelwerte ± Standardabweichung.

| | | 4. Juni 2015 | 25. Juni 2015 | 15. August 2015 |
|-------------------|-----------------|------------------|------------------|--------------------|
| BBCH Bohne | | 35/50 | 65/67 | 89/93 |
| 1 BB | a. tief-wendend | 3,3 ± 2,6 a | 11,1 ± 9,4 a | 43,0 ± 26,8 a |
| | b. flach | 2,0 ± 2,7 b | 6,2 ± 6,7 b | 23,2 ± 20,5 b |
| 2 Ub | a. mechanisch | 2,0 ± 2,7 b | 7,1 ± 5,9 b | 39,5 ± 32,5 a |
| | b. manuell | 2,1 ± 1,7 b | 10,7 ± 12,2 a | 30,7 ± 21,3 a |
| | c. unbehandelt | 3,9 ± 3,1 a | 8,2 ± 5,7 ab | 29,4 ± 21,5 a |
| 3 Af | a1. Abo-Rs | 5,2 ± 3,3 a | 17,4 ± 11,5 a | 57,7 ± 29,8 a |
| | a2. Hafer-Rs | 1,5 ± 1,7 b | 5,1 ± 4,1 b | 25,7 ± 19,0 b |
| | b1. Abo-H50 | 1,7 ± 1,4 b | 4,6 ± 3,2 b | 18,4 ± 11,6 b |
| | b2. Abo-H20 | 2,3 ± 2,3 b | 7,6 ± 5,2 b | 31,1 ± 20,8 b |
| Gesamt | | 2,7 ± 2,7 | 8,7 ± 7,0 | 33,2 ± 25,8 |

Stat. Vergleich innerhalb der Faktoren, divergierende Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, Tukey-Test mit $\alpha = 0,05$

Im Jahr 2015 wurden die Behandlungsmaßnahmen ähnlich verteilt wie im Jahr 2014. Der Rollstriegel wurde am 6. und 18. Mai eingesetzt, Hacken und Jäten erfolgte regelmäßig über mehrere Wochen im Mai. Dennoch war zur Blüte der Ackerbohnen die mittlere Unkraut-Sprossmasse in den Parzellen mit manueller Unkrautregulierung signifikant höher als bei mechanischer Regulierung mit dem Rollstriegel (Tab. 3.2.11). Zum Zeitpunkt der Reife (BBCH 89) im August 2015 war die Unkraut-Sprossmasse generell relativ hoch (im Mittel 33 g TM m⁻²). Etwas überraschend ist jedoch, dass zu diesem Termin in den beiden regulierten Prüfgliedern eine höhere Unkraut-Sprossmasse vorlag als in der unbehandelten Kontrolle (Tab. 3.2.11). Dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant.

Beim Untersuchungsfaktor Anbauform wurde beobachtet, dass in beiden Jahren zu jedem Probenahmetermin die Unkraut-Sprossmasse in der Reinsaat der Ackerbohnen signifikant höher war als in der Hafer-Reinsaat. Die Differenzen waren zumeist relativ hoch. Die Ackerbohnen-Reinsaat wies zudem im Vergleich zu allen anderen Prüfgliedern die höchste Unkraut-Sprossmasse auf. Umgekehrt verhielt es sich mit dem Gemenge Abo-H50. Lediglich am 4. Juni 2015 war der Deckungsgrad in der Hafer-Reinsaat noch etwas geringer (Tab. 3.2.11). Innerhalb des Faktors Anbauform nahm die Gemengesaaten Abo-H20 eine Mittelstellung ein. Die Unkraut-Sprossmasse bewegte sich meistens zwischen den niedrigen Werten für die Reinsaat Hafer und den hohen Werten für die Reinsaat der Ackerbohnen. An fünf von sechs Zeitpunkten über die zwei Untersuchungsjahre war die mittlere Unkraut-Sprossmasse im dichteren Gemenge Abo-H50 niedriger als im Gemenge Abo-H20. Das entsprach in etwa den Erwartungen. Interessant ist erneut der Vergleich des Gemenges Abo-H50 mit der Unkrautregulierung durch den Rollstriegel. Am 20. Mai 2014 war die Unkraut-Sprossmasse bei der Regulierung durch den Rollstriegel deutlich niedriger (1,5 g Spross-TM m⁻²) als im Gemenge Abo-H50 (6,2 g Spross-TM m⁻²). Zu allen anderen Terminen in den Jahren 2014 und 2015 war jedoch die Unkraut-Sprossmasse im Gemenge Abo-H50 niedriger als bei mechanischer Regulierung mit dem Rollstriegel.

Zusammen mit den Ergebnissen zu den Unkraut-Deckungsgraden kann also gesagt werden, dass die indirekte Unkrautregulierung mit einer Gemengesaat aus Ackerbohnen und Hafer vor dem Reihenschluss weniger effizient ist als die direkte, mechanische Regulierung. Nach dem Reihenschluss jedoch – besonders in späten Phasen der Vegetationsperiode – bildete sich in den Gemengesaaten vielfach weniger Unkraut-Sprossmasse als bei mechanischer Unkrautbehandlung.

Die annuellen, autochthonen Unkräuter akkumulierten im Mai und Juni in ihrer Gesamtheit weitaus geringere Stickstoff-Mengen als die Kulturpflanzen. Die gemessenen mittleren Werte – abgeleitet aus den Sprossmasse-Erträgen der Unkräuter (Tab. 3.2.10 und 3.2.11) – betrugen minimal 0,7 kg N pro ha (4.6.2015) und maximal 5,9 kg N pro ha (August 2015). Bei den Messtermine zwischen Mai und August zeigten beim Vergleich der Prüfglieder stets die Unkräutern in den Ackerbohnen-Reinsaaten die höchsten Stickstoff-Mengen (1,4 bis 11,3 kg N ha⁻¹).

In vielen Bereichen der Untersuchungsflächen fanden sich in beiden Jahren zahlreiche Exemplare der Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*). Stellenweise waren die Abundanzen hoch, die Pflanze zeigte die typische nestartige Ausbreitung. Die Stickstoff-Gehalte (% i. d. TS) der Distel-Sprossmasse wurden punktuell untersucht. Diese betrugen im Mai 3,9 %, im Juni 2,6 % und im August 1,5 %. Die von den Disteln insgesamt akkumulierten Stickstoffmengen waren jedoch schwer zu kalkulieren. Es ist jedoch auf Grund der optischen Eindrücke im Feld kombiniert mit der punktuellen Entnahme von Sprossmasse-Stichproben davon auszugehen, dass die Stickstoff-Aufnahme durch die Ackerkratzdistel wesentlich höher war als bei den meisten anderen Unkraut-Arten.

Modellunkraut Leindotter

Die Sprossmasse des Modellunkrautes Leindotter bewegte sich im Mittel über alle Faktoren im Jahr 2014 zwischen 12,7 g TM m⁻² am 12. August (dritter Probenahmetermin) und 43,5 g TM m⁻² am 4. Juni (zweiter Probenahmetermin, Tab. 3.2.12). Im Untersuchungsjahr 2015 war die mittlere Sprossmasse des Leindotters zum ersten und zweiten Termin geringer, zum dritten Termin höher. Anfang Juni wurden im Mittel 7,4 g Spross-TM m⁻² registriert, Ende Juni während der Ackerbohnen-Blüte wurden im Mittel 33,7 g Leindotter-Spross-TM m⁻² geerntet. Mitte August 2015 betrug die Leindotter-Sprossmasse im Mittel 25,8 g TM m⁻² (Tab. 3.2.13).

Der Vergleich der Ergebnisse für den Faktor Bodenbearbeitung zeigte, dass die Leindotter-Sprossmasse bei flacher Bearbeitung stets höher war als bei tief-wendender Bodenbearbeitung (Tab. 3.2.12 und 3.2.13). In fünf von sechs Erntezeitpunkten war dieser Unterschied zudem signifikant. Bei den autochthonen Unkräutern verhielt es sich zumeist genau umgekehrt (Tab. 3.2.10 und 3.2.11).

Tab. 3.2.12: Sprossmasse (g TM m⁻²) des Modellunkrautes Leindotter (*Camelina sativa*) in Abhängigkeit von den Untersuchungsfaktoren am Standort Reinshof im Jahr 2014. (1) Bodenbearbeitung (BB), (2) Unkrautbehandlung (Ub), (3) Anbauformen (Af). Abo-Rs: Ackerbohnen-Reinsaat (40 K m⁻²); Hafer-Rs: Hafer-Reinsaat (300 K m⁻²); Abo-H50: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (150 K m⁻²); Abo-H20: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (60 K m⁻²). Arithmetische Mittelwerte ± Standardabweichung.

| | | 20. Mai 2014 | 4. Juni 2014 | 12. August 2014 |
|-------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|
| BBCH Bohne | | 35/51 | 65 | 89/93 |
| 1 BB | a. tief-wendend | 12,0 ± 8,4 b | 34,2 ± 27,8 b | 8,6 ± 9,4 b |
| | b. flach | 20,6 ± 13,9 a | 52,7 ± 37,9 a | 16,8 ± 14,2 a |
| 2 Ub | a. mechanisch | 16,8 ± 14,2 a | 42,9 ± 37,6 a | 13,0 ± 13,2 a |
| | c. unbehandelt | 15,8 ± 10,0 a | 44,0 ± 31,3 a | 12,4 ± 12,4 a |
| 3 Af | a1. Abo-Rs | 25,9 ± 16,5 a | 82,0 ± 41,9 a | 25,3 ± 14,3 a |
| | a2. Hafer-Rs | 8,0 ± 4,6 c | 21,9 ± 9,7 c | 4,4 ± 4,2 c |
| | b1. Abo-H50 | 13,6 ± 6,8 bc | 26,6 ± 18,9 bc | 8,0 ± 8,5 bc |
| | b2. Abo-H20 | 17,7 ± 10,2 ab | 43,4 ± 18,6 b | 13,0 ± 10,7 b |
| | Gesamt | 16,3 ± 12,2 | 43,5 ± 34,3 | 12,7 ± 12,7 |

Stat. Vergleich innerhalb der Faktoren, divergierende Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, Tukey-Test mit $\alpha = 0,05$

Beim Untersuchungsfaktor Unkrautbehandlung muss beachtet werden, dass Leindotter im Prüfglied ‚manuell‘ (2b) nicht angesät wurde. Zwischen der mechanischen Unkrautregulierung mit dem Rollstriegel und der unbehandelten Kontrolle wurde im Jahr 2014 kein Unterschied bezüglich der Leindotter-Sprossmasse festgestellt. Im Jahr 2015 jedoch war die Leindotter-Sprossmasse in der unbehandelten Kontrolle signifikant höher als bei mechanischer Unkrautregulierung. Die Differenzen bewegten sich etwa zwischen 7,9 und 36,6 g TM m⁻². Möglicherweise stehen diese abweichenden Ergebnisse für die beiden Untersuchungsjahre im Zusammenhang mit dem zeitlichen Abstand zwischen der Leindotter-Aussaat und der Rollstriegel-Einsätze. Im Jahr 2014 erfolgte die Leindotter-

Aussaat am 1. April und nur 8 Tage später erfolgte der erste Rollstriegel-Einsatz. Im Jahr 2015 wurde Leindotter am 23. April ausgesät, der erste Rollstriegel-Einsatz erfolgte nach 13 Tagen am 6. Mai 2015.

Beim Untersuchungsfaktor Anbauform ergab sich ein ähnliches Bild wie bei den autochthonen Unkräutern. Die höchste Leindotter-Sprossmasse wurde in beiden Jahren zu allen Terminen in der Reinsaat der Ackerbohnen beobachtet (im Mittel 11 bis 82 g TM m⁻²). In der Hafer-Reinsaat war jedoch die Leindotter-Sprossmasse (im Mittel 4 bis 22 g TM m⁻²) zu jedem Termin (Tab. 3.2.12 und 3.2.13) signifikant niedriger als in der Ackerbohnen-Reinsaat.

Tab. 3.2.13: Sprossmasse (g TM m⁻²) des Modellunkrautes Leindotter (*Camelina sativa*) in Abhängigkeit von den Untersuchungsfaktoren am Standort Reinshof im Jahr 2015. (1) Bodenbearbeitung (BB), (2) Unkrautbehandlung (Ub), (3) Anbauformen (Af). Abo-Rs: Ackerbohnen-Reinsaat (40 K m⁻²); Hafer-Rs: Hafer-Reinsaat (300 K m⁻²); Abo-H50: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (150 K m⁻²); Abo-H20: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (60 K m⁻²). Arithmetische Mittelwerte ± Standardabweichung.

| | | 4. Juni 2015 | 25. Juni 2015 | 15. August 2015 |
|-------------|-----------------|--------------|---------------|-----------------|
| BBCH Bohne | | 35/50 | 65/67 | 89/93 |
| 1 BB | a. tief-wendend | 6,2 ± 5,1 a | 20,3 ± 18,1 b | 18,5 ± 26,4 b |
| | b. flach | 8,6 ± 9,1 a | 47,1 ± 60,7 a | 33,1 ± 42,4 a |
| 2 Ub | a. mechanisch | 3,4 ± 3,4 b | 15,4 ± 16,0 b | 11,0 ± 16,1 b |
| | c. unbehandelt | 11,3 ± 8,2 a | 52,0 ± 58,6 a | 40,6 ± 43,5 a |
| 3 Af | a1. Abo-Rs | 11,2 ± 8,7 a | 69,6 ± 72,6 a | 48,5 ± 52,5 a |
| | a2. Hafer-Rs | 3,8 ± 2,9 c | 12,0 ± 9,0 b | 13,6 ± 12,6 b |
| | b1. Abo-H50 | 5,0 ± 5,1 bc | 15,6 ± 22,0 b | 14,8 ± 29,5 b |
| | b2. Abo-H20 | 9,4 ± 8,9 b | 37,8 ± 31,2 b | 26,3 ± 27,7 ab |
| Gesamt | | 7,4 ± 7,4 | 33,7 ± 46,4 | 25,8 ± 35,8 |

Stat. Vergleich innerhalb der Faktoren, divergierende Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, Tukey-Test mit $\alpha = 0,05$

Die Gemengesaaen nahmen erneut eine Mittelstellung zwischen Ackerbohnen-Reinsaat und Hafer-Reinsaat ein. Dabei wuchs im Gemenge Abo-H20 (im Mittel 9 bis 43 g TM m⁻²) kontinuierlich mehr Leindotter als im Gemenge Abo-H50 (im Mittel 5 bis 27 g TM m⁻²).

Wird Leindotter als Modellunkraut herangezogen, so sollte insbesondere die direkte, mechanische Regulierung mit dem Rollstriegel und die indirekte Unkrautregulierung durch das Gemenge Abo-H50 verglichen werden. Im Jahr 2014 war die Leindotter-Sprossmasse im Gemenge Abo-H50 stets niedriger als bei mechanischer Regulierung mit dem Rollstriegel (Tab. 3.2.12). Besonders hoch waren diese Unterschiede zum Zeitpunkt der Ackerbohnen-Blüte am 4. Juni 2014 (Differenz ca. 16,3 g TM m⁻²). Im Jahr 2015 war dieser Sachverhalt jedoch nicht vorhanden. Stattdessen erreichte der Leindotter bei mechanischer Regulierung mit dem Rollstriegel und im Gemenge Abo-H50 im Mittel nur geringfügig unterscheidbare Sprossmasse-Erträge (Tab. 3.2.13). Wie bei allen anderen Prüfgliedern in Tabelle 3.2.13 ist zu beachten, dass die Standardabweichungen relativ hoch waren. Es kann also nur selten eine klare Tendenz bei den Ergebnissen herausgearbeitet werden.

3.2.2.2 Erträge der Kulturpflanzen

Der Begriff ‚Kulturpflanzen‘ bezieht sich im Folgenden auf jene Nutzpflanzen, die als Hauptkultur im Frühjahr nach Zwischenfrüchten in Drillsaat ausgesät wurden. Dies waren in den Feldversuchen Ackerbohnen und Hafer. Insbesondere die Ackerbohnen standen im Fokus der Untersuchungen. Hafer war entweder der Gemegepartner oder in Reinsaat eine Referenzkultur. Leindotter wurde in Breitsaat oberflächennah beigesät und diente somit in der Vegetationsperiode als Modellunkraut, weniger als Kulturpflanze. Dennoch wurde für Leindotter zusätzlich der Nebenaspekt Öl- und Proteingehalt untersucht (Tab. 3.2.19).

Sprossmasse von Ackerbohnen und Hafer

Die Sprossmasse der Ackerbohnen betrug zum ersten Probenahmetermin (BBCH 35 der Ackerbohnen) im Mittel über alle Prüfglieder 96,2 g TM m⁻² im Jahr 2014 und 88,4 g TM m⁻² im Jahr 2015. Zum zweiten Termin (BBCH 65, 4. Juni) wurden im Jahr 2014 im Mittel 292,6 g Spross-TM m⁻² registriert. Im Jahr 2015 wurden zum gleichen Entwicklungs-Zeitpunkt (BBCH 65/67 am 25. Juni) im Mittel 236,0 g Spross-TM m⁻² geerntet (Tab. 3.2.14 und 3.2.15).

Tab. 3.2.14: Ackerbohnen-Sprossmasse (g TM m⁻²) in Abhängigkeit von den Untersuchungsfaktoren am Standort Reinshof im Jahr 2014. (1) Bodenbearbeitung (BB), (2) Unkrautbehandlung (Ub), (3) Anbauformen (Af). Abo-Rs: Ackerbohnen-Reinsaat (40 K m⁻²); Abo-H50: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (150 K m⁻²); Abo-H20: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (60 K m⁻²). Arithmetische Mittelwerte ± Standardabweichung.

| BBCH Bohne | | 20. Mai 2014 | 4. Juni 2014 |
|-------------|-----------------|----------------|----------------|
| | | 35/51 | 65 |
| 1 BB | a. tief-wendend | 97,0 ± 31,1 a | 303,0 ± 68,8 a |
| | b. flach | 95,3 ± 32,4 a | 282,1 ± 63,0 a |
| 2 Ub | a. mechanisch | 82,5 ± 28,0 b | 274,3 ± 57,0 a |
| | b. manuell | 102,6 ± 35,1 a | 297,8 ± 71,1 a |
| | c. unbehandelt | 103,4 ± 27,6 a | 305,6 ± 68,7 a |
| 3 Af | a1. Abo-Rs | 107,4 ± 30,2 a | 327,2 ± 80,8 a |
| | b1. Abo-H50 | 93,6 ± 30,2 ab | 275,5 ± 48,9 b |
| | b2. Abo-H20 | 87,5 ± 32,1 b | 274,9 ± 52,8 b |
| Gesamt | | 96,2 ± 32,5 | 292,6 ± 66,3 |

Stat. Vergleich innerhalb der Faktoren, divergierende Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, Tukey-Test mit $\alpha = 0,05$

Die Sprossmasse der Hafer-Reinsaaten (3-a2 in Tab. 3.2.16 und 3.2.17) war zu den Probenahmetermen im Mai und Juni höher als jene der Ackerbohnen-Reinsaaten (3-a1 in Tab. 3.2.14 und 3.2.15). Zum Makrostadium 3 (erster Termin) betrug die Hafer-Sprossmasse 140,3 g TM m⁻² im Jahr 2014 bzw. 111,8 g TM m⁻² im Jahr 2015. Zum Vergleich die Ackerbohnen: 107,4 g Spross-TM m⁻² im Jahr 2014 und 97,2 g Spross-TM m⁻² im Jahr 2015. Zum zweiten Probenahmetermin betrug die Hafer-Sprossmasse

der Reinsaat 386,6 g TM m⁻² im Jahr 2014 und 373,5 g TM m⁻² im Jahr 2015. Damit war die Hafer-Sprossmasse in Reinsaat zu diesem Zeitpunkt um 59 g TM m⁻² (2014) bzw. um 92 g TM m⁻² (2015) höher als bei der Ackerbohnen-Reinsaat.

In den Gemengesaaten war die Hafer-Sprossmasse zu beiden Zeitpunkten wegen der unterschiedlichen Saatchichtemuster (additiv) erwartungsgemäß deutlich geringer als die Ackerbohnen-Sprossmasse. Obwohl Ackerbohnen in Reinsaat und in den Gemengesaaten formal mit der gleichen Saatstärke ausgesät wurden (40 K m⁻²), waren die Sprossmasse-Erträge der Ackerbohnen in den Gemengesaaten signifikant niedriger als jene der Ackerbohnen-Reinsaat (Tab. 3.2.14 und 3.2.15). Dabei ist zu bedenken, dass die Ackerbohnen in Reinsaat auf sechs Drillreihen pro Säspur (1,5 m Breite inklusive Fahrspur) verteilt waren, während in den Gemengen pro Säspur drei Drillreihen Ackerbohnen und drei Drillreihen Hafer in alternierenden Reihen angelegt wurden. Demnach waren – zumindest theoretisch – die Abstände zwischen den Ackerbohnen-Individuen in der Reinsaat doppelt so hoch wie im Gemenge.

Tab. 3.2.15: Ackerbohnen-Sprossmasse (g TM m⁻²) in Abhängigkeit von den Untersuchungsfaktoren am Standort Reinshof im Jahr 2015. (1) Bodenbearbeitung (BB), (2) Unkrautbehandlung (Ub), (3) Anbauformen (Af). Abo-Rs: Ackerbohnen-Reinsaat (40 K m⁻²); Abo-H50: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (150 K m⁻²); Abo-H20: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (60 K m⁻²). Arithmetische Mittelwerte ± Standardabweichung.

| | | 4. Juni 2015 | 25. Juni 2015 |
|-------------|-----------------|---------------|----------------|
| BBCH Bohne | | 35/50 | 65/67 |
| 1 BB | a. tief-wendend | 97,5 ± 20,5 a | 270,1 ± 60,9 a |
| | b. flach | 79,3 ± 13,2 a | 202,0 ± 63,0 b |
| 2 Ub | a. mechanisch | 82,5 ± 16,4 a | 228,6 ± 61,2 a |
| | b. manuell | 91,9 ± 20,8 a | 249,2 ± 74,5 a |
| | c. unbehandelt | 90,8 ± 20,2 a | 230,3 ± 80,2 a |
| 3 Af | a1. Abo | 97,2 ± 22,9 a | 281,3 ± 75,8 a |
| | b1. Abo-H50 | 83,5 ± 13,0 b | 203,4 ± 58,7 b |
| | b2. Abo-H20 | 84,5 ± 18,6 b | 223,4 ± 58,3 b |
| Gesamt | | 88,4 ± 19,4 | 236,0 ± 72,0 |

Stat. Vergleich innerhalb der Faktoren, divergierende Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, Tukey-Test mit $\alpha = 0,05$

Werden die Relativerträge der Probenahmeterminen im Mai und Juni verglichen, so zeigen sich mehrere beachtenswerte Aspekte. Die Relativerträge der Ackerbohnen im Gemenge bewegten sich insgesamt zwischen 0,72 und 0,88. Das heißt, die Sprossmasse war etwa 12 bis 28 % niedriger als in den Ackerbohnen-Reinsaaten.

Im Gemenge Abo-H50 wurde Hafer mit der halben Aussaatstärke der Reinsaat ausgebracht. Dies wurde zumindest zum ersten Entnahmezeitpunkt durch die Relativerträge (0,47 bis 0,54) weitgehend bestätigt. Beim Gemenge Abo-H20 zeigten sich Relativerträge zwischen 0,26 und 0,37. Offensichtlich nutzte der Hafer den im Vergleich zur Reinsaat zusätzlichen Raum und zeigte demnach ein gesteigertes Wachstum.

Der relative Gesamtertrag (RYT) des Gemenges Abo-H50 betrug zum ersten Probenahmetermin (20. Mai 2014 bzw. 4. Juni 2015) 1,35 und 1,40. Zum zweiten Termin (4. Juni 2014 bzw. 25. Juni 2015) fiel der relative Gesamtertrag im Gemenge Abo-H50 auf 1,22 bzw. 1,26. Der relative Gesamtertrag des zweiten Gemenges Abo-H20 betrug zum ersten Probenahmetermin (20. Mai 2014 bzw. 4. Juni 2015) 1,09 und 1,18. Zum zweiten Probenahmetermin (4. Juni 2014 bzw. 25. Juni 2015) blieb RYT hier mit 1,10 und 1,17 fast unverändert. Die Gemenge haben folglich bereits zu den Entwicklungsstadien BBCH 3 und BBCH 6 die vorhandenen Wachstumsfaktoren ausgenutzt und relativ zur Reinsaat einen Mehrertrag (RYT > 1) realisiert.

Tab. 3.2.16: Hafer-Sprossmasse (g TM m⁻²) in Abhängigkeit von den Untersuchungsfaktoren am Standort Reinshof im Jahr 2014. (1) Bodenbearbeitung (BB), (2) Unkrautbehandlung (Ub), (3) Anbauformen (Af). Hafer-Rs: Hafer-Reinsaat (300 K m⁻²); Abo-H50: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (150 K m⁻²); Abo-H20: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (60 K m⁻²). Arithmetische Mittelwerte ± Standardabweichung.

| | | 20. Mai 2014 | 4. Juni 2014 |
|-------------|-----------------|----------------|-----------------|
| BBCH Hafer | | 33 | 39/41 |
| 1 BB | a. tief-wendend | 86,7 ± 59,2 a | 219,2 ± 151,1 a |
| | b. flach | 76,0 ± 45,8 a | 201,3 ± 136,8 a |
| 2 Ub | a. mechanisch | 75,4 ± 45,8 a | 193,0 ± 124,0 a |
| | b. manuell | 86,3 ± 56,7 a | 228,9 ± 157,3 a |
| | c. unbehandelt | 82,4 ± 56,9 a | 208,9 ± 150,9 a |
| 3 Af | a2. Hafer-Rs | 140,3 ± 42,0 a | 386,6 ± 89,4 a |
| | b1. Abo-H50 | 65,7 ± 27,7 b | 144,5 ± 64,0 b |
| | b2. Abo-H20 | 38,1 ± 15,7 c | 99,8 ± 41,2 c |
| Gesamt | | 81,3 ± 52,8 | 210,3 ± 143,4 |

Stat. Vergleich innerhalb der Faktoren, divergierende Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, Tukey-Test mit $\alpha = 0,05$

Beim Untersuchungsfaktor Bodenbearbeitung waren die Sprossmasse-Erträge der Kulturpflanzen Ackerbohnen und Hafer zu fast allen Terminen bei tief-wendender Bearbeitung höher als bei flacher Bodenbearbeitung. Nur einmal war dieser Effekt signifikant (25. Juni 2015 bei Ackerbohnen, Tab. 3.2.15). Im Jahr 2015 gab es beim Hafer diese Unterschiede nicht. Am 25. Juni 2015 zeigte Hafer bei flacher Bodenbearbeitung einen höheren Ertrag als bei tief-wendender Bodenbearbeitung.

Tab. 3.2.17: Hafer-Sprossmasse (g TM m⁻²) in Abhängigkeit von den Untersuchungsfaktoren am Standort Reinshof im Jahr 2015. (1) Bodenbearbeitung (BB), (2) Unkrautbehandlung (Ub), (3) Anbauformen (Af). Hafer-Rs: Hafer-Reinsaat (300 K m⁻²); Abo-H50: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (150 K m⁻²); Abo-H20: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (60 K m⁻²). Arithmetische Mittelwerte ± Standardabweichung.

| | | 4. Juni 2015 | 25. Juni 2015 |
|-------------|-----------------|----------------|-----------------|
| BBCH Hafer | | 32 | 49 |
| 1 BB | a. tief-wendend | 68,9 ± 39,1 a | 232,9 ± 110,4 a |
| | b. flach | 68,3 ± 34,8 a | 243,6 ± 124,0 a |
| 2 Ub | a. mechanisch | 58,3 ± 29,0 b | 226,3 ± 108,6 a |
| | b. manuell | 71,3 ± 36,5 a | 234,9 ± 101,7 a |
| | c. unbehandelt | 76,3 ± 42,6 a | 253,6 ± 139,6 a |
| 3 Af | a2. Hafer-Rs | 111,8 ± 23,3 a | 373,5 ± 79,7 a |
| | b1. Abo-H50 | 59,6 ± 17,1 b | 202,1 ± 40,8 b |
| | b2. Abo-H20 | 34,4 ± 8,7 c | 139,2 ± 57,7 c |
| Gesamt | | 68,6 ± 36,7 | 238,3 ± 116,7 |

Stat. Vergleich innerhalb der Faktoren, divergierende Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, Tukey-Test mit $\alpha = 0,05$

Beim Untersuchungsfaktor Unkrautbehandlung unterschieden sich die mittleren Sprossmasse-Erträge der Ackerbohnen (Tab. 3.2.14 und 3.2.15) mit manueller Unkrautregulierung und bei der unbehandelten Kontrolle beim ersten Probenahmetermin nur geringfügig. Das Gleiche galt für den Hafer (Tab. 3.2.16 und 3.2.17). Jedoch waren die Sprossmasse-Erträge bei mechanischer Unkrautregulierung mit dem Rollstriegel sowohl bei Ackerbohnen als auch beim Hafer teilweise erheblich niedriger als bei der manuellen Regulierung und der unbehandelten Kontrolle. Der Rollstriegel-Einsatz schien sich demnach negativ auf die Ertragsstruktur der Bohnen und des Hafers auszuwirken. Am 20. Mai 2014 (Ackerbohnen, Tab. 3.2.14) und am 4. Juni 2015 (Hafer, Tab. 3.2.17) war die Kulturpflanzen-Sprossmasse bei vorheriger Rollstriegel-Behandlung signifikant niedriger als in den anderen Prüfgliedern zur Unkrautregulierung.

In Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit beim Einsatz ist bekannt, dass Schädigungen der Kulturpflanzen durch den Rollstriegel möglich sind. Allerdings sind insbesondere Körnerleguminosen in der Lage, physikalische Schädigungen in der Jugendphase in gewissen Rahmen zu kompensieren (HÄNSEL 2011).

Beim zweiten Probenahmetermin waren daher die Unterschiede zwischen den drei Faktorstufen nicht mehr signifikant, dies galt für die Ackerbohnen wie auch für den Hafer. Die Sprossmasse-Erträge bei der mechanischen Unkrautregulierung waren zwar im Vergleich innerhalb des Faktors Unkrautbehandlung noch immer am niedrigsten, aber eben häufig nur noch mit geringfügigen Abständen. Zum Beispiel: 1,7 g TM m⁻² Differenz zur unbehandelten Kontrolle am 25.6.2015 bei Ackerbohnen (Tab. 3.2.15) oder 8,6 g TM m⁻² Differenz zur manuellen Unkrautregulierung am 25.6.2015 bei Hafer.

Kornerträge von Ackerbohnen und Hafer

Die Kornerträge in der Reinsaat der Ackerbohnen waren im Jahr 2014 im Mittel mit 66 dt ha⁻¹ deutlich höher als im Jahr 2015 mit 34 dt ha⁻¹. Ähnliches galt für die Gemengesaaen. Im Gemenge Abo-H50 lag der Kornertrag der Ackerbohnen mit rund 55 dt ha⁻¹ im Jahr 2014 zweieinhalbfach höher als im Jahr 2015 mit 22 dt ha⁻¹ (Abb. 3.2.5). Gleiches galt für das Gemenge Abo-H20. Der der Kornertrag der Ackerbohnen war mit 60 dt ha⁻¹ im Jahr 2014 zweieinhalbfach höher als im Jahr 2015 mit 24 dt ha⁻¹. Der Kornertrag des Hafers im Gemenge unterschied sich zwischen den Jahren kaum (11 bis 16 dt ha⁻¹), während die Hafer-Reinsaat im Jahr 2014 mit 43 dt ha⁻¹ einen bedeutend höheren Kornertrag als im Jahr 2015 aufwies (27 dt ha⁻¹). Die Kornerträge der Hafer-Reinsaat waren in beiden Untersuchungsjahren signifikant niedriger als die Kornerträge der Ackerbohnen-Reinsaat sowie der Gemengesaaen.

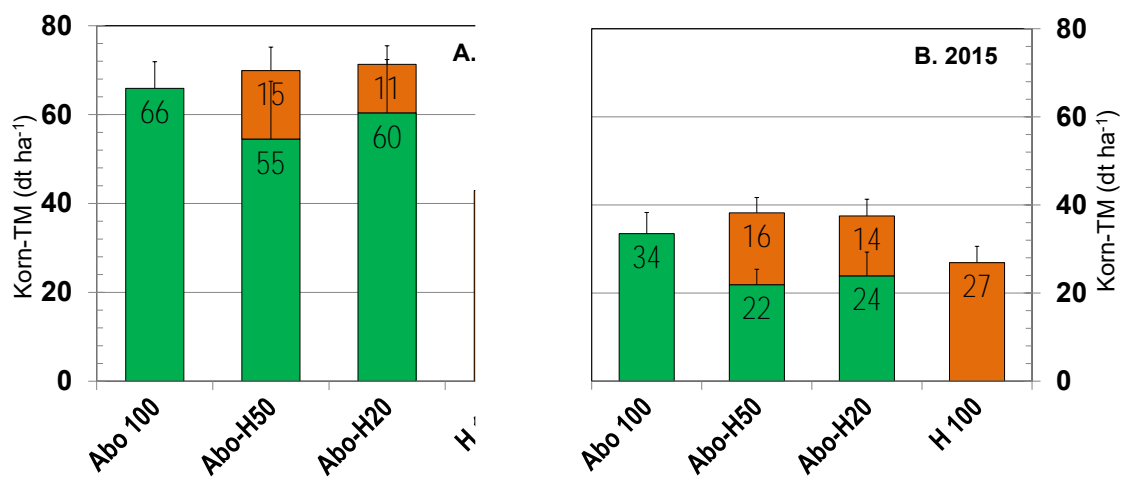


Abb. 3.2.5: Verteilung der Kornerträge (dt TM ha⁻¹) von Ackerbohnen (grün) und Hafer (orange) in den Jahren 2014 (A) und 2015 (B) für die untersuchten Reinsaat und Gemenge am Standort Reinshof. Abo 100: Reinsaat Ackerbohnen (40 Körner pro m²), Abo-H50: Gemenge aus Ackerbohnen (100 % der Reinsaatstärke: 40 Körner pro m²) und Hafer (50 % der Reinsaatstärke: 150 Körner pro m²), Abo-H20: Gemenge aus Ackerbohnen (100 % der Reinsaatstärke: 40 Körner pro m²) und Hafer (20 % der Reinsaatstärke: 60 Körner pro m²), H 100: Reinsaat Hafer (300 Körner pro m²), Arithmetische Mittelwerte ± Standardabweichung.

Wie aus Abbildung 3.2.5 ersichtlich, sind die absoluten Korn-Erträge der Gemenge höher als die Erträge der Ackerbohnen-Reinsaat, wenn die Erträge der Komponenten Ackerbohne und Hafer addiert werden. Allerdings wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Erträgen der Gemenge und der Reinsaat nachgewiesen.

Werden die Kornerträge (inklusive Hafer-Reinsaat) für alle Untersuchungsfaktoren verglichen, so zeigte sich, dass die Art der Bodenbearbeitung keinen Einfluss auf den Ertrag ausübte. Sowohl die tiefwendende, wie auch die flache Bodenbearbeitung zeigten in beiden Jahren nahezu identische Kornerträge. Die Maßnahmen zur Unkrautregulierung führten jedoch zu unterschiedlichen

Ergebnissen. Mit der vergleichsweise schonenden, manuellen Regulierung wurden im Vergleich jeweils die höchsten Kornerträge erzielt: 63,2 dt ha⁻¹ im Jahr 2014 und 36,6 dt ha⁻¹ im Jahr 2015. Beim Einsatz des Rollstriegels waren die Kornerträge etwas niedriger: 62,7 dt ha⁻¹ im Jahr 2014 und 33,1 dt ha⁻¹ im Jahr 2015. Die unbehandelte Kontrolle schließlich zeigte erwartungsgemäß die niedrigsten Kornerträge: 61,6 dt ha⁻¹ im Jahr 2014 und 32,4 dt ha⁻¹ im Jahr 2015. Im ertragsstarken Jahr 2014 waren demnach die Unterschiede relativ gering und nicht signifikant. Für das ertragschwache Jahr 2015 hingegen wurde festgestellt, dass die Kornerträge bei manueller Unkrautregulierung signifikant höher waren als bei der Unkrautregulierung mit dem Rollstriegel oder bei der unbehandelten Kontrolle.

Tab. 3.2.18: Relative Kornerträge (RY und RYT) für die geprüften Gemenge am Standort Reinshof in den Jahren 2014 und 2015. RY: Relativertrag der einzelnen Bestandekomponenten, RYT: Relativer Gesamtertrag, Summe der Bestandekomponenten. Abo-H50: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (150 K m⁻²); Abo-H20: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (60 K m⁻²). Arithmetische Mittelwerte (fett) ± Standardabweichung.

| Gemenge | Arten | 2014 | | 2015 | |
|----------------|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | RY | RYT | RY | RYT |
| Abo-H50 | Ackerbohnen | 0,83 ± 0,20 | 1,20 ± 0,14 | 0,66 ± 0,10 | 1,28 ± 0,16 |
| | Hafer | 0,37 ± 0,15 | | 0,62 ± 0,13 | |
| Abo-H20 | Ackerbohnen | 0,92 ± 0,21 | 1,18 ± 0,17 | 0,71 ± 0,21 | 1,22 ± 0,23 |
| | Hafer | 0,26 ± 0,10 | | 0,51 ± 0,12 | |

Die Analyse der relativen Kornerträge (Tab. 3.2.18) zeigte geringe Unterschiede zwischen den Ertragsmustern der Jahre 2014 und 2015. Das Gemenge mit dem höheren Hafer-Anteil (Abo-H50) zeigte wie erwartet in beiden Jahren den höheren Hafer-Relativertrag als das Gemenge Abo-H20. Jedoch waren im Jahr 2014 die Ackerbohnen in beiden Gemengen eindeutig der dominierende Partner (RY zwischen 0,83 und 0,92). Etwas überraschend war, dass der ansonsten konkurrenzstarke Hafer im Vergleich zur Ackerbohne nur geringe Relativerträge erzielte (0,26 und 0,37). Im Jahr 2015 konnten die Ackerbohnen ihr Ertragspotential nicht voll ausschöpfen. Entsprechend geringer im Vergleich zum Jahr 2014 waren die Ackerbohnen-Relativerträge im Gemenge (0,66 und 0,71). Allerdings wurde dies teilweise durch den Hafer kompensiert, der im Jahr 2015 hohe Relativerträge zeigte (0,62 und 0,51). Die relativen Gesamterträge (RYT) lagen in beiden Jahren deutlich über 1,0. Demnach wurden die vorhandenen Ressourcen im Gemenge effizient ausgenutzt. Im vergleichsweise ertragschwachen Jahr 2015 lagen die relativen Gesamterträge mit Werten in Höhe von 1,28 (Abo-H50) bzw. 1,22 (Abo-H20) noch über den Werten des Jahres 2014 (1,20 und 1,18).

3.2.2.3 Lichttransmission in Reinsaaten und Gemengesaaen

Die in den Abbildungen 3.2.6 und 3.2.7 dargestellte Lichttransmission bezieht sich auf Messungen, die die Strahlung am Boden innerhalb der untersuchten Pflanzenbestände mit der Strahlung im Freiland ohne Bewuchs in Beziehung setzen. Die Zahlenwerte repräsentieren den Anteil PAR-Strahlung, der im Vergleich zum Freiland im Pflanzenbestand am Boden ankommt.

Die Vegetationsentwicklung und das Sprossmassenwachstum der Ackerbohnen unterschied sich zwischen den zwei Untersuchungsjahren 2014 und 2015 erheblich (siehe Tab. 3.2.6 und 3.2.7). Im Jahr 2014 war das Betreten der hohen Ackerbohnen-Bestände ab Juli zumeist mit irreversiblen Beeinträchtigungen des Bestandes verbunden. Deshalb wurde in der Folge auf weitere Messungen verzichtet (Abb. 3.2.6). Im Jahr 2015 waren die Bestände von geringerer Höhe als im Jahr 2014 und zudem durch den Läusebefall geschwächt. Die Messkampagne erstreckte sich deshalb von Mai bis August (Abb. 3.2.7).

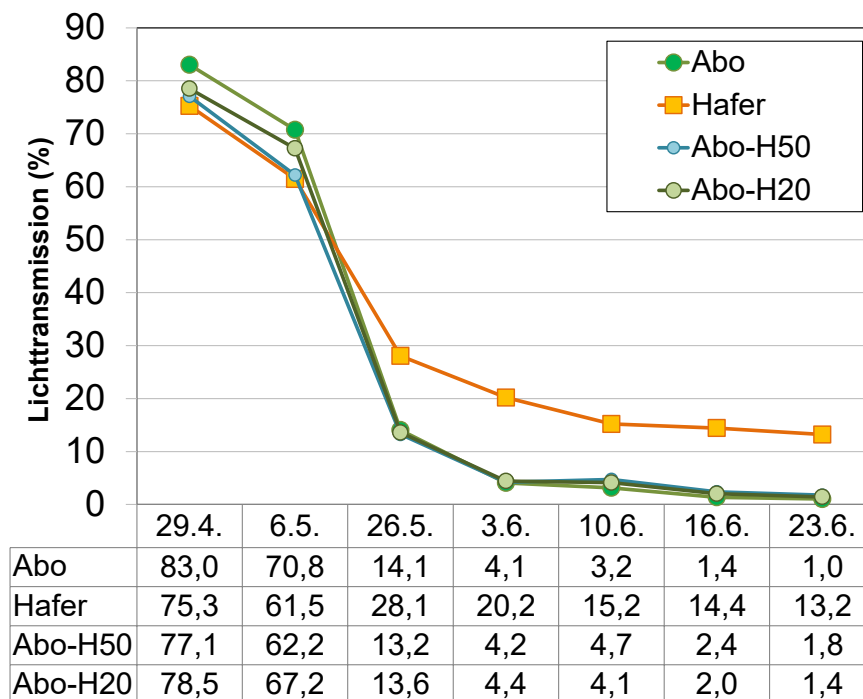


Abb. 3.2.6: Lichttransmission (%) in Reinsaaten (Ackerbohnen, Hafer) und Gemengesaaen am Standort Reinshof zwischen April und Juni 2014. Abo: Ackerbohnen-Reinsaat; Abo-H50: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (150 K/m²); Abo-H20: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (60 K/m²) am Standort Reinshof zwischen April und Juni 2014.

Am 29. April und am 6. Mai 2014 befanden sich die Ackerbohnen noch im Makrostadium 1 (BBCH 13 bzw. 14). Entsprechend war die Einstrahlung am Boden noch relativ hoch (Lichttransmission zwischen 67 und 83 %, Abb. 3.2.6). Allerdings war schon zu diesen frühen Zeitpunkten ein Unterschied Differenz zwischen der Ackerbohnen-Reinsaat und den Gemengesaaen erkennbar. In beiden Gemengesaaen gelangte etwa 3 bis 8 % weniger Licht zur Bodenoberfläche als in der Reinsaat. Die Hafer-Reinsaat zeigte im April und Anfang Mai 2014 die geringsten Werte bei der Lichttransmission (62 bis 75 %). Mit Einsetzen des Schossens (ca. Mitte Mai) sank die Lichttransmission beim Hafer zwar

weiter, aber zwischen Ende Mai und Ende Juni blieb sie mit Werten zwischen 13 bis 28 % stetig etwa 12 bis 16 % höher als in den Ackerbohnen-Beständen (Abb. 3.2.6).

Mit dem Einsetzen des Längenwachstums (Makrostadium 3) und einhergehendem Reihenschluss zeigten alle Ackerbohnen-Anbauformen eine erhebliche Verringerung der Lichttransmission (< 20 % und geringer). Dieser Zeitpunkt wurde im Jahr 2014 etwa Mitte/Ende Mai erreicht. Auffällig ist, dass die Lichttransmission in den Ackerbohnen (Reinsaat und Gemenge) zwischen Ende Mai von etwa 14 % auf etwa 4 % Anfang Juni sinkt. Bis Ende Juni 2014 betrug die Lichttransmission in den Ackerbohnen nur noch 1 bis 2 %. Wie in Tabelle 3.2.6 bereits dargestellt, zeigten die Bohnen im Zeitraum zwischen Ende Mai und Ende Juni ein schnelles und nachhaltiges Höhenwachstum. Dies ging einher mit einer erheblichen Vergrößerung der Blattfläche.

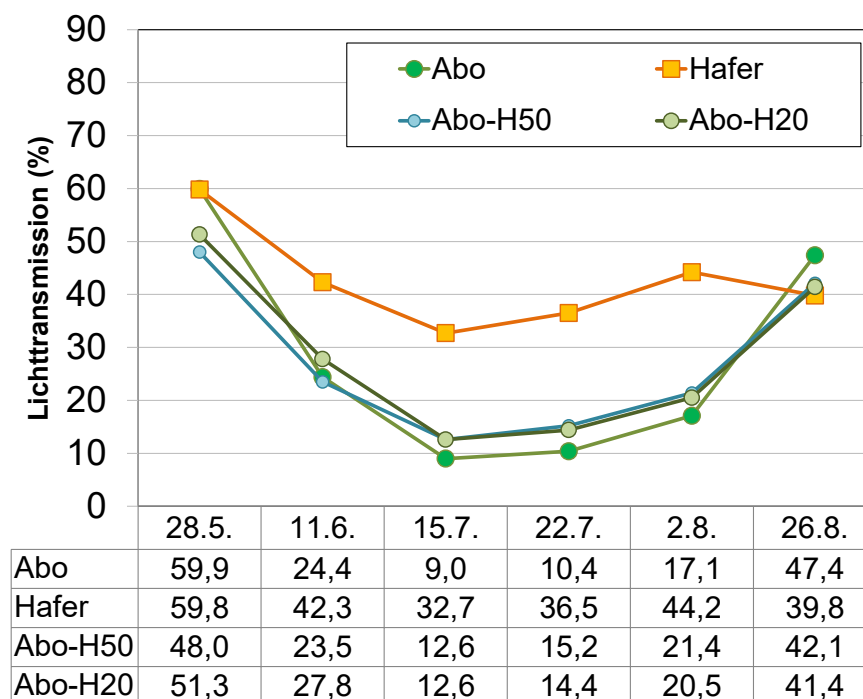


Abb. 3.2.7: Lichttransmission (%) in Reinsaaten (Ackerbohnen, Hafer) und Gemengesaaten am Standort Reinshof zwischen Mai und August 2015. Abo: Ackerbohnen-Reinsaat; Abo-H50: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (150 K/m²); Abo-H20: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (60 K/m²) am Standort Reinshof zwischen April und Juni 2014.

Im Untersuchungsjahr 2015 waren die Wuchsbedingungen für die Ackerbohnen-Bestände nicht optimal. Die Lichttransmissions-Messtermine vom 3. Juni 2014 und vom 11. Juni 2015 entsprechen etwa dem Ackerbohnen-Entwicklungsstadium BBCH 6 (Blüte). Im Jahr 2015 war die Lichttransmission zu diesem Zeitpunkt mit Werten von etwa 24 bis 28 % wesentlich höher als im Jahr 2014, hier betrug die Lichttransmission nur etwa 4 %. Dies zeigt, dass sich die Wuchsbedingungen für Unkräuter zwischen den Jahren teilweise erheblich unterschieden.

3.2.2.4 Öl- und Proteingehalt beim Modellunkraut Leindotter

Leindotter (*Camelina sativa*) ist eine alte Nutzpflanze, die in den Feldversuchen am Standort Reinshof als Modellunkraut Verwendung fand. Bekanntermaßen enthalten die reifen Leindotter-Körner hochwertige Öle. Der Ölgehalt im Samen des Leindotters schwankt unter mitteleuropäischen Bedingungen zwischen 35 und 45 % (PUDE & WENIG 2005). Der Gemengeanbau von Leindotter mit Leguminosen und Sommerweizen führte in Untersuchungen von PAULSEN (2007) zu relativen Mehrerträgen im Vergleich zu den Reinsaaten. Leindottersamen eignen sich ferner zur Produktion von Öl, das direkt als Treibstoff verwendet werden kann (PAULSEN et al. 2011). Deshalb wurde im vorliegenden Projekt u.a. der Ölgehalt (%) der Leindottersamen mit dem Mini-Soxhlet-Verfahren (DIN 12602, RUDOLPHI 2007) ermittelt.

Tab. 3.2.19: Ölgehalt (% TS) und Proteingehalt (% TS) des Modellunkrautes Leindotter (*Camelina sativa*) in Abhängigkeit von den Untersuchungsfaktoren am Standort Reinshof in den Jahren 2014 und 2015. (1) Bodenbearbeitung (BB), (2) Unkrautbehandlung (Ub), (3) Anbauformen (Af). Abo-Rs: Ackerbohnen-Reinsaat (40 K m⁻²); Hafer-Rs: Hafer-Reinsaat (300 K m⁻²); Abo-H50: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (150 K m⁻²); Abo-H20: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (60 K m⁻²). Arithmetische Mittelwerte ± StabW.

| | | Ölgehalt (%) | | Proteingehalt (%) | |
|-------------|-----------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|
| | | 2014 | 2015 | 2014 | 2015 |
| 1 BB | a. tief-wendend | 38,0 ± 3,6 a | 39,2 ± 1,5 b | 24,0 ± 2,8 a | 26,6 ± 1,5 a |
| | b. flach | 38,9 ± 3,5 b | 40,2 ± 2,0 a | 23,3 ± 2,7 a | 25,1 ± 2,4 b |
| 2 Ub | a. mechanisch | 38,2 ± 3,6 a | 38,8 ± 1,7 b | 23,7 ± 2,8 a | 26,7 ± 2,4 a |
| | c. unbehandelt | 38,6 ± 3,5 a | 40,6 ± 1,5 a | 23,6 ± 2,7 a | 25,0 ± 1,5 b |
| 3 Af | a1. Abo-Rs | 35,7 ± 2,7 c | 40,1 ± 1,4 a | 25,7 ± 2,3 a | 26,1 ± 1,5 a |
| | a2. Hafer-Rs | 43,3 ± 1,2 a | 40,3 ± 1,6 a | 20,0 ± 0,8 c | 25,2 ± 1,7 a |
| | b1. Abo-H50 | 37,5 ± 2,4 b | 39,1 ± 1,9 a | 24,3 ± 2,0 b | 26,6 ± 2,0 a |
| | b2. Abo-H20 | 37,2 ± 1,7 b | 39,3 ± 2,3 a | 24,4 ± 1,4 b | 25,5 ± 3,1 a |
| | Gesamt | 38,4 ± 3,6 | 39,7 ± 1,8 | 23,6 ± 2,7 | 25,8 ± 2,2 |

Stat. Vergleich innerhalb der Faktoren, divergierende Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, Tukey-Test mit $\alpha = 0,05$

Die Ergebnisse zeigten, dass sich die mittleren Ölgehalte im Leindotter zwischen den Jahren nur geringfügig unterschieden (38 bis 40 %, Tab. 3.2.19). In beiden Jahren wurden signifikante Unterschiede bei den Untersuchungsfaktoren aufgefunden, aber nur im Jahr 2014 zeigten sich wesentliche Unterschiede zwischen den Rein- und Gemengesaaten. Auf auffälligsten ist die Tatsache, dass im Jahr 2014 der Ölgehalt in den Leindottersamen beim Anbau mit Hafer um bis zu 7,6 % höher war als mit reinen Ackerbohnen. Umgekehrt war der Proteingehalt der Leindottersamen im Gemenge mit Ackerbohnen um bis zu 5,7 % höher als mit dem Mischungspartner Hafer. Möglicherweise wurde der Leindotter von der Leguminose zusätzlich mit Stickstoff versorgt. Zu diesem Ergebnis passt, dass die Öl- und Proteingehalte der geernteten Leindottersamen in den Gemengesaaten aus Ackerbohnen und Hafer eine mittlere Position einnehmen. Im Jahr 2015 gab es beim Vergleich der Öl- und Proteingehalte der Leindottersamen zwischen Gemenge und Reinsaaten keine wesentlichen Unterschiede.

3.2.2.5 N_{min}-Stickstoff im Boden

Im Jahr 2014 erfolgte die Aussaat der Ackerbohnen und des Hafers am 26. März. Ein Tag später wurden auf der gesamten Versuchsfläche gleichmäßig verteilt Bodenproben entnommen (n = 8). Diese wurden der N_{min}-Analytik zugeführt. Für die Gesamtfläche wurden 29,6 ± 4,0 kg N_{min}-N ha⁻¹ ermittelt (0 bis 90 cm Tiefe, Abb. 3.2.8). Im Jahr 2015 wurde diese Prozedur in gleicher Weise am 22. April, 6 Tage nach der Aussaat, wiederholt. Zu diesem Zeitpunkt wurden im Boden (0 bis 90 cm Tiefe) 42,2 ± 7,4 kg N_{min}-N ha⁻¹ gemessen (Abb. 3.2.8). Die Entnahme von Bodenproben erfolgte in beiden Jahren jeweils unmittelbar nach der kleinflächigen Ernte von Sprossproben (erste bis dritte Zeiternte, Tab. 3.2.3), differenziert nach Versuchsfaktoren in 96 Parzellen. Die N_{min}-Ergebnisse differenziert nach Untersuchungsfaktoren sind in den Tabellen 3.2.20 und 3.2.21 abgetragen.

Tab. 3.2.20: Nitrat- plus Ammonium-Stickstoff im Boden (N_{min}, kg N ha⁻¹, 0 bis 90 cm Tiefe) in Abhängigkeit von den Untersuchungsfaktoren am Standort Reinshof im Jahr 2014. (1) Bodenbearbeitung (BB), (2) Unkrautbehandlung (Ub), (3) Anbauformen (Af). Abo-Rs: Ackerbohnen-Reinsaat (40 K m⁻²); Hafer-Rs: Hafer-Reinsaat (300 K m⁻²); Abo-H50: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (150 K m⁻²); Abo-H20: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (60 K m⁻²). Arithmetische Mittelwerte ± Standardabweichung.

| | | 20. Mai 2014 | 4. Juni 2014 | 14. August 2014 |
|-------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|
| 1 BB | a. tief-wendend | 25,7 ± 11,9 a | 15,5 ± 5,4 a | 24,1 ± 7,1 a |
| | b. flach | 23,5 ± 8,8 a | 14,1 ± 6,1 b | 24,2 ± 6,4 a |
| 2 Ub | a. mechanisch | 27,9 ± 13,1 a | 14,8 ± 4,8 ab | 23,9 ± 7,1 ab |
| | b. manuell | 24,6 ± 8,9 ab | 16,0 ± 7,0 a | 26,1 ± 5,8 a |
| | c. unbehandelt | 21,2 ± 7,8 b | 13,5 ± 5,2 b | 22,4 ± 6,8 b |
| 3 Af | a1. Abo-Rs | 34,1 ± 10,1 a | 21,3 ± 6,7 a | 22,8 ± 6,0 b |
| | a2. Hafer-Rs | 16,1 ± 3,8 c | 10,0 ± 1,6 c | 29,4 ± 4,4 a |
| | b1. Abo-H50 | 20,9 ± 5,9 c | 12,9 ± 2,3 b | 23,4 ± 7,2 b |
| | b2. Abo-H20 | 27,2 ± 10,4 b | 14,9 ± 3,5 b | 21,0 ± 6,2 b |
| Gesamt | | 24,6 ± 10,4 | 14,8 ± 5,8 | 24,2 ± 6,7 |

Stat. Vergleich innerhalb der Faktoren, divergierende Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, Tukey-Test mit α = 0,05

Beim Untersuchungsfaktor Bodenbearbeitung waren die N_{min}-Werte bei tief-wendender Bearbeitung zu fünf von sechs Untersuchungsterminen höher als bei flacher Bearbeitung ohne Pflug. Zur Blüte der Ackerbohnen im Jahr 2014 (4. Juni) und beim BBCH-Stadium 32 der Ackerbohnen im Jahr 2015 wurden signifikante Unterschied festgestellt. Allerdings muss gesagt werden, dass der absolute Unterschied zwischen den beiden Bodenbearbeitungsvarianten zu keinem Zeitpunkt höher als 2 kg N_{min}-N ha⁻¹ ausfiel. Erwartet wurde, dass sich mit tief-wendender Pflug-Bearbeitung erheblich größere Differenzen zu der flachen Bearbeitung ohne Pflugeinsatz zeigen werden.

Beim Untersuchungsfaktor Unkrautbehandlung wurde in beiden Jahren zum ersten Termin das erwartete Muster beobachtet. Mit mechanischer Unkrautregulierung wurde der Oberboden zeitweise stark bewegt, so dass wahrscheinlich Mineralisierungsschübe auftraten. Die N_{min}-Werte bei mechanischer Unkrautregulierung mit dem Rollstriegel waren somit signifikant höher als die N_{min}-

Werte der unbehandelten Kontrolle, in der zeitgleich bei fast allen funktionellen Gruppen (Unkraut, Leindotter, Kulturpflanzen) die höchste Sprossmasse festgestellt wurde. Die manuelle Unkrautregulierung nahm zum ersten Termin am 20. Mai 2014 eine Mittelstellung ein. Beim zweiten Termin (Blüte Ackerbohnen) wurden in beiden Jahren die höchsten N_{\min} -Werte bei manueller Regulierung gemessen. Diese Werte waren signifikant höher als jene der unbehandelten Kontrolle. Vermutlich verursachten die vergleichsweise langanhaltenden Hack- und Jätvorgänge bei manueller Unkrautregulierung eine kontinuierliche Mineralisierung im Oberboden. Dies ist daran erkenntlich, dass die signifikanten Unterschiede primär durch die N_{\min} -Werte der Tiefenstufe zwischen 0 und 30 cm verursacht wurden. Die N_{\min} -Werte bei mechanischer Unkrautregulierung mit dem Rollstriegel nahmen zum zweiten Termin die Mittelstellung zwischen den Faktorstufen ein. Zum zweiten Termin waren zudem die N_{\min} -Werte des Jahres 2014 im Mittel etwa $4,2 \text{ kg N ha}^{-1}$ niedriger als im Jahr 2015. Besonders ausgeprägt waren diese Differenzen bei der Ackerbohnen-Reinsaat (Differenz: $6,5 \text{ kg N ha}^{-1}$) bei der manuellen Unkrautregulierung (Differenz: $6,1 \text{ kg N ha}^{-1}$).

Tab. 3.2.20: Nitrat- plus Ammonium-Stickstoff im Boden (N_{\min} , kg N ha^{-1} , 0 bis 90 cm Tiefe) in Abhängigkeit von den Untersuchungsfaktoren am Standort Reinshof im Jahr 2015. (1) Bodenbearbeitung (BB), (2) Unkrautbehandlung (Ub), (3) Anbauformen (Af). Abo-Rs: Ackerbohnen-Reinsaat (40 K m^{-2}); Hafer-Rs: Hafer-Reinsaat (300 K m^{-2}); Abo-H50: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (150 K m^{-2}); Abo-H20: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (60 K m^{-2}). Arithmetische Mittelwerte \pm Standardabweichung.

| | | 4. Juni 2015 | 25. Juni 2015 | 3. September 2015 |
|-------------|-----------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| 1 BB | a. tief-wendend | 24,8 \pm 7,7 a | 19,6 \pm 8,1 a | 24,2 \pm 9,8 a |
| | b. flach | 22,7 \pm 8,8 b | 18,5 \pm 11,7 a | 21,5 \pm 6,6 a |
| 2 Ub | a. mechanisch | 25,2 \pm 8,6 a | 19,5 \pm 12,8 ab | 25,2 \pm 10,8 a |
| | b. manuell | 24,6 \pm 8,9 ab | 22,1 \pm 9,6 a | 22,3 \pm 7,6 a |
| | c. unbehandelt | 21,6 \pm 7,1 b | 15,4 \pm 4,9 b | 21,1 \pm 5,8 a |
| 3 Af | a1. Abo-Rs | 31,4 \pm 7,7 a | 27,8 \pm 14,0 a | 24,6 \pm 10,2 a |
| | a2. Hafer-Rs | 17,5 \pm 5,5 c | 12,4 \pm 3,8 c | 22,9 \pm 8,7 a |
| | b1. Abo-H50 | 21,6 \pm 6,9 b | 16,4 \pm 5,2 bc | 20,1 \pm 5,2 a |
| | b2. Abo-H20 | 24,3 \pm 6,2 b | 19,5 \pm 6,4 b | 23,8 \pm 8,5 a |
| Gesamt | | 23,7 \pm 8,3 | 19,0 \pm 10,0 | 22,9 \pm 8,4 |

Stat. Vergleich innerhalb der Faktoren, divergierende Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, Tukey-Test mit $\alpha = 0,05$

Bei den dritten Probenahmen nach dem Mähdrusch aller Kulturpflanzen wurden nur im Jahr 2014 signifikante Unterschiede festgestellt. Die manuelle Regulierung zeigte signifikant höhere N_{\min} -Werte als die unbehandelte Kontrolle. Anfang September 2015 unterschieden sich die N_{\min} -Werte bei den drei Ausprägungen des Faktors Unkrautbehandlung nicht signifikant, jedoch wurde in der unbehandelten Kontrolle erneut der niedrigste Wert beobachtet.

Beim Untersuchungsfaktor Anbauform wurden in beiden Untersuchungs Jahren 2014 und 2015 zu den ersten beiden Terminen im Mai oder Juni die gleiche Sortierung der Prüfglieder vorgefunden: Ackerbohnen-Reinsaat > Gemengesäten > Hafer-Reinsaat. Die signifikant höchsten N_{\min} -Werte zeigte die Ackerbohnen-Reinsaat, gefolgt von dem Gemenge Abo-H20. Im Gemenge Abo-H50 waren die N_{\min} -

Werte wieder etwas niedriger, bis schließlich in der Hafer-Reinsaat die geringsten N_{\min} -Werte beobachtet wurden. Dieses Ergebnis entsprach genau den Erwartungen.

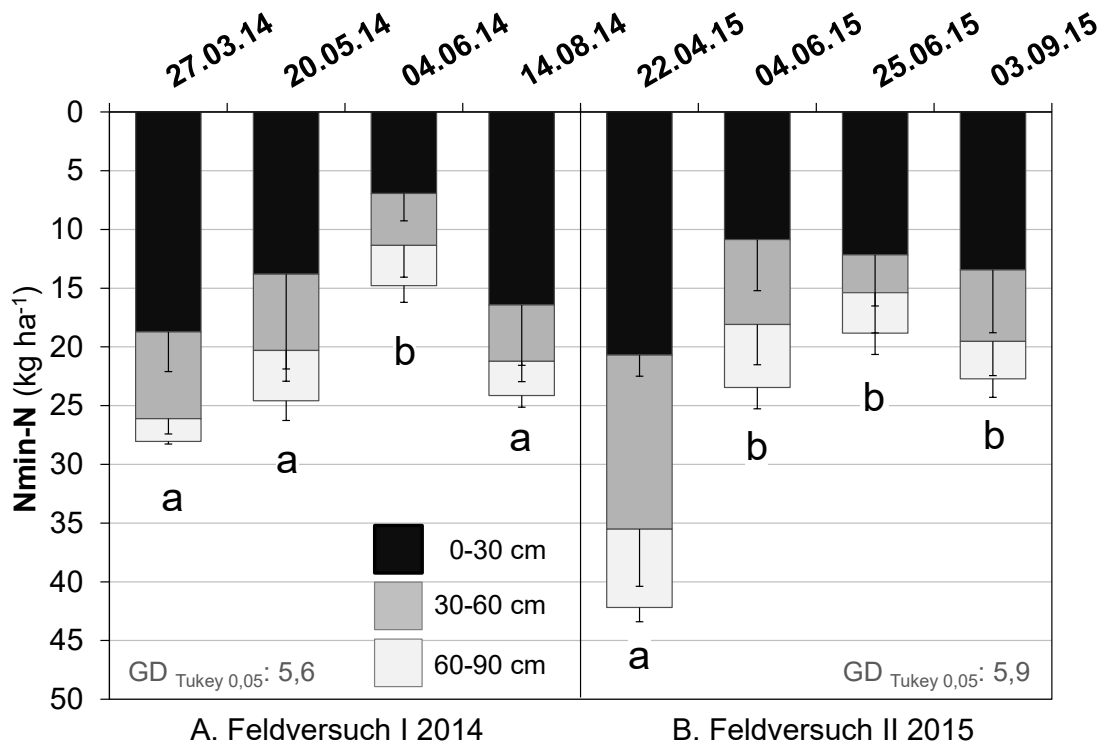


Abb. 3.2.8: N_{\min} -N (kg ha⁻¹) im Hauptversuch mit Ackerbohnen und Hafer am Standort Reinshof für die Untersuchungsjahre 2014 und 2015. Arithmetische Mittelwerte über alle Faktoren \pm Standardabweichung. Statistischer Vergleich (Summe 0-90 cm Tiefe) getrennt nach Untersuchungsjahren.

Die Darstellung der N_{\min} -Werte in der Abbildung 3.2.8 soll verdeutlichen, wie der N_{\min} -Stickstoff in den Untersuchungsjahren 2014 und 2015 im Mittel über alle drei Untersuchungsfaktoren in den Tiefenstufen verteilt war. Die Ausgangssituation war in beiden Jahren etwas unterschiedlich. Im Jahr 2014 lagen die N_{\min} -Werte in der Summe bis 90 cm Tiefe bei ca. 30 kg N ha⁻¹, während im Jahr 2015 etwa 43 kg N ha⁻¹ erreicht wurden. Allerdings unterschieden sich die N_{\min} -Werte in der Tiefenstufe zwischen 0 und 30 cm Tiefe kaum: 18,7 kg N_{\min} -N ha⁻¹ am 27. März 2014 und 20,7 kg N_{\min} -N ha⁻¹ am 22. April 2015. Mit fortschreitendem Wachstum der Pflanzen verringerten sich die N_{\min} -Werte bis Ende Mai bzw. Anfang Juni spürbar, im Jahr 2015 war dieser Unterschied signifikant. Am 4. Juni 2014 wurden im Vergleich aller Termine 2014 die signifikant niedrigsten N_{\min} -Werte angetroffen. Zu diesem Zeitpunkt waren die Ackerbohnen in Vollblüte, der Hafer war am Ende des Schossens mit Übergang zum Rispenstadium. Die Kulturpflanzen zeigten zudem ein starkes Höhenwachstum. Zum vergleichbaren Entwicklungszeitpunkt am 25. Juni 2015 waren die N_{\min} -Werte höher. Sie unterschieden sich ferner nicht signifikant von den anderen Probenahme-Terminen in der Vegetationsperiode am 4. Juni und 3. September 2015. Am Ende der Vegetationsperiode stiegen die N_{\min} -Werte durch Mineralisierungsprozesse im Boden wieder leicht an.

3.2.2.6 Symbiotische Stickstoff-Fixierleistung der Ackerbohnen

Stickstoff-Isotopensignaturen

Die Berechnung der symbiotischen Stickstoff-Fixierleistung der Ackerbohnen in Reinsaaten und Gemengesaaten wurde einerseits mit der $\delta^{15}\text{N}$ -Methode (SHEARER & KOHL 1986) und andererseits mit der erweiterten Differenzmethode (STÜLPNAGEL 1982, HAUSER 1987, HAUSER 1992) durchgeführt. Als Referenzpflanze diente der in den Feldversuchen angebaute Sommer-Hafer. Für die Anwendung der $\delta^{15}\text{N}$ -Methode werden neben den N-Gehalten (% i. d. TS) die natürlichen Stickstoff-Isotopensignaturen der Pflanzen benötigt. Der Begriff ‚natürlich‘ bedeutet, dass der Boden nicht mit ^{15}N -Dünger künstlich angereichert wurde. In den Abbildungen 3.2.9 und 3.2.10 werden diese natürlichen Isotopensignaturen für Ackerbohnen und Hafer über alle Rein- und Gemengesaaten getrennt nach Untersuchungsjahren dargestellt.

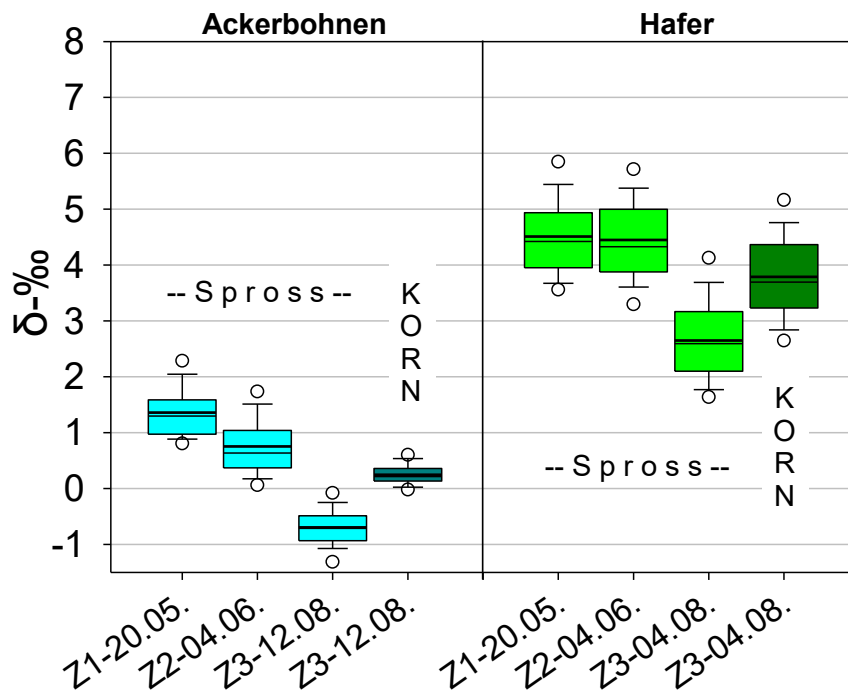


Abb. 3.2.9: Stickstoff-Isotopensignaturen ($\delta^{15}\text{N}$, ‰) der Ackerbohnen (blau) und des Hafers (grün) zu verschiedenen Zeitpunkten (Z1 bis Z3) während der Vegetationsperiode des Jahres 2014 am Standort Reinshof. Box-Plots (je $n = 72$) mit Median (dünne Linie) und arithmetischem Mittelwert (dicke Linie).

Die Stickstoff-Isotopensignaturen beider Kulturpflanzen zeigten zu Beginn der Vegetationsperiode im Mai und Juni höhere Werte als zum Zeitpunkt der Reife im August. Die Stickstoff-Isotopensignaturen der Ackerbohnen-Sprossmasse waren zum ersten Termin (BBCH 32 bis 35) in den Reinsaaten (im Mittel +1,68 bis +1,79 δ -‰) etwas höher als in den Gemengesaaten (im Mittel +0,97 bis +1,36 δ -‰). Der Unterschied zwischen den Versuchsjahren war eher gering (maximal 0,17 δ -‰-Einheiten). Die Hafer-Sprossmasse zeigte hingegen zum ersten Termin (BBCH 32 bis 33) in den Reinsaaten (im Mittel +4,48

bis +6,32 ‰) stets etwas geringere Stickstoff-Isotopensignaturen als in den Gemengen (im Mittel +4,52 bis +6,88 ‰). Zudem wurde beim Hafer beobachtet, dass die Stickstoff-Isotopensignaturen im Jahr 2015 teilweise deutlich höher waren als im Jahr 2014 (Abb. 3.2.10 und 3.2.11). Diese Unterschiede waren zum ersten Termin am größten (maximal etwa 2,35 ‰-Einheiten), existierten aber auch noch zur Reife im August (minimal etwa 0,59 ‰-Einheiten). Die insgesamt höchsten Stickstoff-Isotopensignaturen (arithmetischer Mittelwert) fanden sich mit +6,88 ‰ zum ersten Probenahme-Termin am 4. Juni 2015 in der Hafer-Sprossmasse aus dem Gemenge Abo-H20 (Abb. 3.2.11).

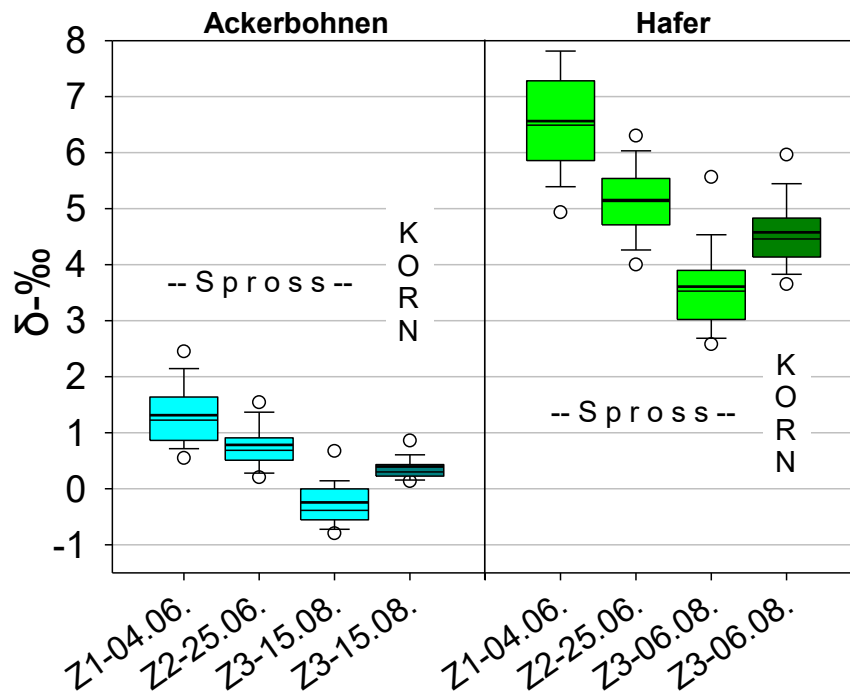


Abb. 3.2.10: Stickstoff-Isotopensignaturen ($\delta^{15}\text{N}$, ‰) der Ackerbohnen (blau) und des Hafers (grün) zu verschiedenen Zeitpunkten (Z1 bis Z3) während der Vegetationsperiode des Jahres 2015 am Standort Reinshof. Box-Plots (je $n = 72$) mit Median (dünne Linie) und arithmetischem Mittelwert (dicke Linie).

Zum zweiten Probenahmetermin befanden sich die Ackerbohnen im Entwicklungsstadium Vollblüte (BBCH 65) oder abgehenden Blüte (BBCH 67). Die Stickstoff-Isotopensignaturen der Ackerbohnen-Sprossmasse waren nun etwas niedriger als zum ersten Termin und rangierten über beide Jahre im Mittel zwischen +0,47 und +1,17 ‰. Die Reinsaat-Werte waren stets größer als +1,0 ‰, während die Isotopensignaturen der Gemengesaaten unter dem Wert +0,75 ‰ blieben. Im Vergleich beider Untersuchungsjahre waren die Unterschiede bei den Ackerbohnen erneut gering. Der Hafer befand sich bei der zweiten Zeiternte im Juni etwa im Stadium des Rispenschwellens. Die Stickstoff-Isotopensignaturen der Hafer-Reinsaat waren im Mittel 0,25 bis 0,63 ‰-Einheiten niedriger als die Stickstoff-Isotopensignaturen der Hafer-Sprossmasse in den Gemengen.

Zum Zeitpunkt der Reife (BBCH 89) wurden die Sprossmasse und der Korn-Ertrag getrennt erfasst und untersucht. Die Stickstoff-Isotopensignaturen unterschieden sich zwischen dem Spross und dem Korn relativ stark: Bei den Ackerbohnen traten im Spross negative Werte auf, d.h. ^{15}N lag dort gegenüber dem Standard Luft (0 ‰) abgereichert vor (im Mittel -0,21 bis -0,85 ‰). Im Ackerbohnen-Korn hingegen bewegten sich die Stickstoff-Isotopensignaturen zwischen +0,16 und +0,46 ‰. Beim Hafer traten diese Unterschiede zwischen Spross und Korn gleichfalls auf, wobei die sich die Isotopensignaturen auf höherem Niveau bewegten. Im Hafer-Spross wurden zur Reife im Mittel Stickstoff-Isotopensignaturen zwischen +2,41 und +3,68 ‰ registriert, während sich die Werte im Hafer-Korn zwischen +3,32 und +4,73 ‰ bewegten.

3.2.2.7 Stickstoff-Aufnahme und Anteil des symbiotisch fixierten Stickstoffs

Stickstoff-Fixierung im Mai und Juni

Die Stickstoff-Aufnahme der Kulturpflanzen wurde in Abhängigkeit von den Untersuchungsfaktoren bereits in den frühen Phasen der Vegetationsperiode ermittelt. Beim Längenwachstums (Makrostadium 3) und während der Blüte (Makrostadium 6) der Ackerbohnen wurden im Mai und Juni Sprossmasse-Proben entnommen und analysiert. Durch Anwendung der $\delta^{15}\text{N}$ -Methode wurden die Stickstoff-Anteile aus der Luft (Ndfa in %) und die absolut fixierten Luft-N-Mengen (in kg N ha⁻¹) berechnet (Tab. 3.2.21 und 3.2.22).

Tab. 3.2.21: Symbiotische Stickstoff-Fixierung (Ndfa in % und kg N ha⁻¹; $\delta^{15}\text{N}$ -Methode) der Ackerbohnen im Mai und Juni in Abhängigkeit von den Untersuchungsfaktoren am Standort Reinshof im Jahr 2014. (1) Bodenbearbeitung (BB), (2) Unkrautbehandlung (Ub), (3) Anbauformen (Af). Abo-Rs: Ackerbohnen-Reinsaat (40 K m⁻²); Abo-H50: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (150 K m⁻²); Abo-H20: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (60 K m⁻²). Arithmetische Mittelwerte \pm Standardabweichung.

| | | Ndfa (%) | | fixierte N-Menge (kg N ha ⁻¹) | |
|-------------|-----------------|-------------------|-------------------|---|--------------------|
| | | 20. Mai 2014 | 4. Juni 2014 | 20. Mai 2014 | 4. Juni 2014 |
| 1 BB | a. tief-wendend | 49,1 \pm 6,8 a | 55,8 \pm 8,3 a | 19,3 \pm 6,2 a | 55,2 \pm 13,6 a |
| | b. flach | 51,1 \pm 7,1 a | 58,1 \pm 8,3 a | 19,9 \pm 6,7 a | 52,9 \pm 12,8 a |
| 2 Ub | a. mechanisch | 48,4 \pm 6,8 b | 55,6 \pm 7,6 a | 16,5 \pm 5,5 b | 50,2 \pm 13,6 b |
| | b. manuell | 49,7 \pm 7,6 ab | 55,6 \pm 10,5 a | 21,1 \pm 7,0 a | 52,5 \pm 11,5 ab |
| | c. unbehandelt | 52,2 \pm 6,4 a | 59,6 \pm 6,4 a | 21,2 \pm 5,8 a | 59,5 \pm 13,1 a |
| 3 Af | a1. Abo-Rs | 45,0 \pm 6,2 c | 49,7 \pm 6,2 b | 20,4 \pm 5,7 a | 55,3 \pm 14,5 a |
| | b1. Abo-H50 | 55,1 \pm 5,6 a | 61,8 \pm 5,6 a | 20,2 \pm 6,3 a | 53,8 \pm 11,3 a |
| | b2. Abo-H20 | 50,2 \pm 5,8 b | 59,3 \pm 5,8 a | 18,2 \pm 7,1 a | 53,0 \pm 13,9 a |
| | Gesamt | 50,1 \pm 7,0 | 57,0 \pm 8,3 | 19,6 \pm 6,4 | 54,1 \pm 13,2 |

Stat. Vergleich innerhalb der Faktoren, divergierende Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, Tukey-Test mit $\alpha = 0,05$

Nicht dargestellt sind die Stickstoff-Mengen, die von den Pflanzen aus dem Boden aufgenommen wurden. Diese Fraktion kann aber mit den angegebenen Werten berechnet werden ($100 - \text{Ndfa in \%} = \text{Ndfs in \%}$). Ndfs ist der in der Leguminose akkumulierte Stickstoff-Anteil aus dem Boden.

Zum ersten Erntezeitpunkt des Jahres 2014 wurden von den Ackerbohnen im Mittel über alle Faktoren insgesamt $39,6 \text{ kg N ha}^{-1}$ akkumuliert. Davon entfielen $50,1 \%$ auf den symbiotisch fixierten Luft-Stickstoff, dies ergibt eine fixierte N-Menge in Höhe von $19,6 \text{ kg ha}^{-1}$ (Tab. 3.2.21). Im Jahr 2015 betrug die gesamt-pflanzlich akkumulierte N-Menge zum ersten Erntezeitpunkt im Mittel über alle Faktoren $36,2 \text{ kg N ha}^{-1}$. Der Anteil des symbiotisch fixierten Stickstoffs war mit $61,9 \%$ deutlich höher als im Jahr 2014. Die resultierende N-Menge aus der symbiotischen Fixierung betrug demnach $22,3 \text{ kg N ha}^{-1}$ (Tab. 3.2.22). Zum Vergleich: In den autochthonen Unkräutern (ohne Ackerkratzdistel) und im Modellunkraut Leindotter waren zum gleichen Zeitpunkt in der Sprossmasse zwischen $0,7$ und $5,9 \text{ kg N ha}^{-1}$ gebunden.

Tab. 3.2.22: Symbiotische Stickstoff-Fixierung (Ndfa in % und kg N ha^{-1} ; $\delta^{15}\text{N}$ -Methode) der Ackerbohnen Anfang und Ende Juni in Abhängigkeit von den Untersuchungsfaktoren am Standort Reinshof im Jahr 2015. (1) Bodenbearbeitung (BB), (2) Unkrautbehandlung (Ub), (3) Anbauformen (Af). Abo-Rs: Ackerbohnen-Reinsaat (40 K m^{-2}); Abo-H50: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (150 K m^{-2}); Abo-H20: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (60 K m^{-2}). Arithmetische Mittelwerte \pm Standardabweichung.

| | | Ndfa (%) | | fixierte N-Menge (kg N ha^{-1}) | |
|-------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|--|---------------------------|
| | | 4. Juni 2015 | 25. Juni 2015 | 4. Juni 2015 | 25. Juni 2015 |
| 1 BB | a. tief-wendend | $62,3 \pm 7,1 \text{ a}$ | $63,7 \pm 6,0 \text{ a}$ | $24,6 \pm 5,6 \text{ a}$ | $53,2 \pm 13,2 \text{ a}$ |
| | b. flach | $61,5 \pm 10,2 \text{ a}$ | $61,3 \pm 8,9 \text{ a}$ | $19,9 \pm 4,7 \text{ b}$ | $39,1 \pm 13,0 \text{ b}$ |
| 2 Ub | a. mechanisch | $61,2 \pm 7,3 \text{ a}$ | $61,4 \pm 8,8 \text{ a}$ | $20,8 \pm 4,3 \text{ a}$ | $44,3 \pm 14,0 \text{ a}$ |
| | b. manuell | $63,5 \pm 6,7 \text{ a}$ | $60,7 \pm 8,2 \text{ a}$ | $23,3 \pm 5,6 \text{ a}$ | $47,3 \pm 13,5 \text{ a}$ |
| | c. unbehandelt | $61,2 \pm 11,6 \text{ a}$ | $65,4 \pm 4,5 \text{ a}$ | $22,7 \pm 6,7 \text{ a}$ | $46,8 \pm 17,2 \text{ a}$ |
| 3 Af | a1. Abo-Rs | $55,9 \pm 10,5 \text{ b}$ | $58,1 \pm 10,2 \text{ b}$ | $23,0 \pm 7,3 \text{ a}$ | $54,9 \pm 17,4 \text{ a}$ |
| | b1. Abo-H50 | $66,2 \pm 5,7 \text{ a}$ | $65,6 \pm 4,7 \text{ a}$ | $22,2 \pm 4,1 \text{ a}$ | $39,1 \pm 10,5 \text{ b}$ |
| | b2. Abo-H20 | $63,7 \pm 5,6 \text{ a}$ | $63,8 \pm 4,7 \text{ a}$ | $21,6 \pm 5,3 \text{ a}$ | $44,5 \pm 11,6 \text{ b}$ |
| | Gesamt | $61,9 \pm 8,7$ | $62,5 \pm 7,6$ | $22,3 \pm 5,7$ | $46,2 \pm 14,8$ |

Stat. Vergleich innerhalb der Faktoren, divergierende Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, Tukey-Test mit $\alpha = 0,05$

Der in der Sprossmasse der Ackerbohnen akkumulierte Stickstoff (Luft-N plus Boden-N) war zum Zeitpunkt der Blüte erwartungsgemäß deutlich höher als zum Makrostadium 3 (Längenwachstum). Im Jahr 2014 wurden im Mittel über alle Prüfglieder $96,3 \text{ kg N ha}^{-1}$ gemessen. Davon stammten $57,0 \%$ aus der Luft und $43,0 \%$ aus dem Boden. Dies entsprach einer fixierten Stickstoff-Menge in Höhe von $54,1 \text{ kg N ha}^{-1}$ (Tab. 3.2.21). Zum zweiten Termin im Jahr 2015 betrug die Summe des Stickstoffs aus Luft und Boden insgesamt $75,0 \text{ kg N ha}^{-1}$. Gleichzeitig waren die Anteile des fixierten Luft-Stickstoffs mit $62,5 \%$ abermals höher als im Jahr 2014. Dieser Anteil entspricht einer fixierten N-Menge in Höhe von $46,2 \text{ kg N ha}^{-1}$ (Tab. 3.2.22). Die Stickstoff-Mengen in den annualen Unkräutern und im Leindotter zum Zeitpunkt der Ackerbohnen-Blüte betragen im Mittel nur $2,6$ bzw. $8,3 \text{ kg N ha}^{-1}$.

Fazit: Im Jahr 2014 waren die insgesamt akkumulierten N-Mengen und die symbiotisch fixierten Luft-N-Mengen höher als im Jahr 2015. Andererseits waren im Jahr 2015 die prozentualen Anteile des fixierten Luft-Stickstoffs in der Sprossmasse etwa 5 bis 12 % höher als im Jahr 2014.

Wichtig für die Beurteilung der Stickstoff-Fixierleistung der Ackerbohnen ist der Vergleich der Behandlungen innerhalb der Untersuchungsfaktoren. Eine Hypothese besagte, dass die flache Bodenbearbeitung im Vergleich zur tief-wendenden Bodenbearbeitung die symbiotische Stickstoff-Fixierung der Ackerbohnen erhöhen sollte. In Bezug auf die beiden frühen Erntezeitpunkte ist jedoch festzustellen, dass dies weitgehend nicht zutraf. Im Jahr 2014 waren die prozentualen Anteile des fixierten Luft-Stickstoffs (Ndfa) der flachen Bearbeitung etwas höher (maximal 2,3 %) als jene mit tief-wendender Bodenbearbeitung, jedoch waren diese Unterschiede nicht signifikant. Bei den absoluten N-Mengen gab es gleichfalls keine signifikanten Unterschiede (Tab. 3.2.21). Im Jahr 2015 lag eine andere Situation vor. Die absolut fixierten Stickstoff-Mengen waren bei flacher Bodenbearbeitung signifikant geringer als mit tief-wendender Bodenbearbeitung (Tab. 3.2.22). Die Ndfa-Anteile in Prozent waren mit mittleren Werten über 60 % höher als im Jahr 2014 (50 bis 58 %). Zudem wurden im Jahr 2015 bei tief-wendender Bodenbearbeitung etwas höhere Ndfa-Werte gemessen als bei flacher Bodenbearbeitung. Die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant (Tab. 3.2.22).

Beim Untersuchungsfaktor Unkrautbehandlung waren gleichfalls nur selten signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Behandlungen feststellbar. Es bestand aber die Tendenz, dass der bei der mechanischen Unkrautregulierung mit dem Rollstiegel die Ackerbohnen im Vergleich mit den beiden anderen Behandlungen die geringste symbiotische N₂-Fixierung zeigten (Tab. 3.2.21 und 3.2.22).

Wurden Ackerbohnen in Reinsaat oder Gemenge ausgesät (Untersuchungsfaktor Anbauform), so unterschied sich die Aussaatmenge nicht (40 Körner pro m²). Im Gemenge standen die Ackerbohnen in der Reihe allerdings dichter. Auf die symbiotische Stickstoff-Fixierung wirkte sich die Art des Anbaus deutlich aus. Stets war im Gemengeanbau der Anteil des fixierten Stickstoffs (Ndfa in %) signifikant höher als in der Ackerbohnen-Reinsaat. Auf die absolut fixierten N-Mengen hatte dies meistens kaum eine Auswirkung, da die gesamt-pflanzlich akkumulierte N-Menge (Nbt) in den Reinsaaten wesentlich höher war als in den Gemengen – abhängig vom Zeitpunkt zwischen 9 und 35 kg N ha⁻¹. Besonders deutlich wurde dieser Aspekt am 25. Juni 2015. Die gesamt-pflanzlich akkumulierte N-Menge in der Reinsaat betrug 94,7 kg N ha⁻¹, davon stammten 54,9 N ha⁻¹ aus der N₂-Fixierung. Gleichzeitig waren in den Gemenge-Ackerbohnen sowohl die gesamt-pflanzlich akkumulierte N-Menge (59,9 kg N ha⁻¹ bei Abo-H50 bzw. 70,4 kg N ha⁻¹ bei Abo-H20) als auch die symbiotisch fixierten Stickstoff-Mengen (39,1 kg N ha⁻¹ bei Abo-H50 bzw. 44,5 kg N ha⁻¹ bei Abo-H20) signifikant geringer als bei der Reinsaat.

3.2.2.8 Stickstoff-Fixierung im August zum Korn-Drusch

Da im reifen Korn die meisten Assimilate gespeichert werden, war dort die Stickstoff-Konzentration mit Werten zwischen 4,5 bis 4,8 % bei Ackerbohnen und 1,6 bis 2,1 % bei Hafer wie erwartet wesentlich höher als im Spross (1,0 bis 1,6 % bei Ackerbohnen und 0,4 bis 0,7 % bei Hafer). Bemerkenswert ist, dass die Stickstoff-Gehalte des Haferkorns im Gemenge stets deutlich höher waren als in der Reinsaat. Die Unterschiede bewegten sich je nach Variante und Jahr zwischen etwa 0,3 bis 0,5 %. Dies kann als Hinweis gewertet werden, dass während der Vegetationsperiode im Gemenge fixierter Luft-Stickstoff von den Ackerbohnen zum Hafer transferiert wurde.

Die von den Ackerbohnen akkumulierten Stickstoff-Mengen erreichten zum Zeitpunkt der Kornreife im August ihre höchsten Werte. Da im Untersuchungsjahr 2014 die Korn-Erträge insgesamt wesentlich höher ausfielen als im Jahr 2015, schlug sich dies gleichfalls in der Stickstoff-Fixierleistung der Ackerbohnen nieder. Die folgenden Zahlen beziehen sich stets auf die Summen der Stickstoff-Mengen aus der Korn- und Sprossmasse zum Zeitpunkt der Erntereife im August. Im Mittel über alle Untersuchungsfaktoren wurden im Jahr 2014 von den Ackerbohnen durch die symbiotische N₂-Fixierung 243 kg N ha⁻¹ aufgenommen. Insgesamt akkumulierten die Ackerbohnen 307 kg N ha⁻¹. Demnach betrug der Anteil des fixierten Stickstoffs im Mittel etwa 79 %. Im Jahr 2015 betrug die mittlere symbiotische Stickstoff-Fixierleistung der Ackerbohnen wegen der deutlich geringeren Kornerträge nur 118 kg N ha⁻¹. Die gesamt-pflanzlich akkumulierte N-Menge belief sich auf rund 147 kg N ha⁻¹. Abgeleitet daraus ergab sich ein mittlerer Ndfa-Anteil in Höhe von etwa 80 %. Die angegebenen Werte wurden mit der δ¹⁵N-Methode berechnet. Wie in Abbildung 3.2.11 zu sehen ist, zeigten die mit der erweiterten Differenzmethode berechneten Daten zumeist nur geringfügig Unterschiede zur δ¹⁵N-Methode.

Der gesamt-pflanzlich akkumulierte Stickstoff stammt aber nicht nur aus der Luft (symbiotische N₂-Fixierung), sondern auch aus dem Boden (z.B. Nitrat-Stickstoff). Der Anteil des bodenbürtigen Stickstoffs in der Korn- und Sprossmasse der Ackerbohnen variierte in Abhängigkeit von der Anbauform, dem Untersuchungsjahr und der Messmethode zwischen 7 % und 27 %. Entsprechend betrug der Anteil des symbiotisch fixierten Stickstoffs am Gesamtvolumen des gebundenen Stickstoffs im Mittel etwa 73 bis 93 %. Werden die symbiotisch fixierten und bodenbürtigen Stickstoff-Mengen der Ackerbohnen addiert, so wurden im Untersuchungsjahr 2014 zwischen 286 und 346 kg N pro ha von den Ackerbohnen aufgenommen. Im Jahr 2015 variierten die gesamt-pflanzlich akkumulierten N-Mengen zwischen 120 und 186 kg N ha⁻¹.

Beachtenswert sind die Unterschiede zwischen der Reinsaat und den Gemengesaaten der Ackerbohnen. Die absoluten Mengen des symbiotisch fixierten Stickstoffs waren in der Reinsaat stets höher als in den Gemengesaaten. Im Jahr 2014 waren dies etwa 255 kg N ha⁻¹, während in den Gemengesaaten nur 234 kg N ha⁻¹ (Gemenge Abo-H20) bzw. 238 kg N ha⁻¹ (Gemenge Abo-H50) vorgefunden wurden. Dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant. Im Jahr 2015 bewegten sich die durch die Reinsaat fixierten Stickstoff-Mengen mit etwa 145 kg N ha⁻¹ auf einem geringeren Niveau.

Allerdings war dieser Wert jeweils signifikant höher als die von den Gemengesaaten fixierten N-Mengen: 114 kg N ha⁻¹ bei dem Gemenge Abo-H20 und 104 kg N ha⁻¹ beim Gemenge Abo-H50.

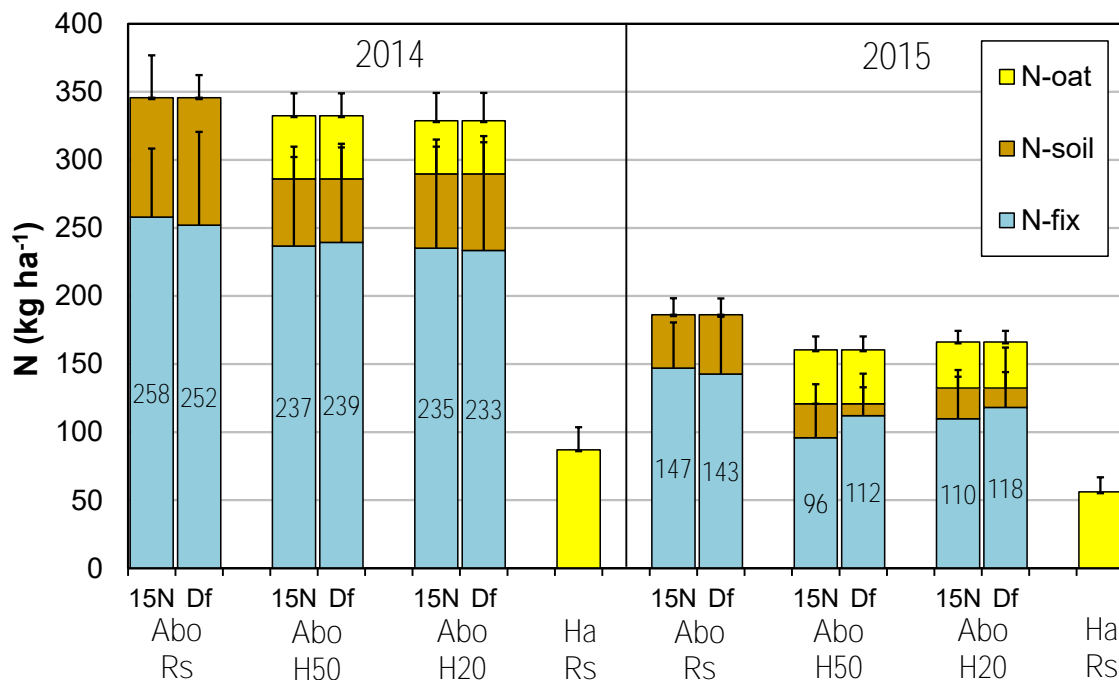


Abb. 3.2.11: Stickstoff-Aufnahme (kg N ha⁻¹) der Ackerbohnen (N-fix plus N-soil) und des Hafers (N-oat) am Standort Reinshof in den Jahren 2014 und 2015. N-fix: symbiotisch fixierte Stickstoff-Mengen, N-soil: Stickstoff, der aus dem Boden aufgenommen wurde, 15N: $\delta^{15}\text{N}$ -Methode, Df: erweiterte Differenzmethode. Abo-Rs: Ackerbohnen-Reinsaat, Abo-H50: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (150 K/m²), Abo-H20: Ackerbohnen im Gemenge mit Hafer (60 K/m²), Ha-Rs: Hafer in Reinsaat (300 K/m²). Arithmetische Mittelwerte \pm Standardabweichung.

Werden die symbiotisch fixierten N-Mengen in Relation zur gesamt-pflanzlich akkumulierten Stickstoff-Menge gesetzt, so ändert sich das Bild. In der Reinsaat betrug der Anteil der Luft-Stickstoff-Fixierung im Jahr 2014 im Mittel etwa 74 %, im Jahr 2015 lag dieser bei etwa 78 %. Im Gegensatz dazu schwankten die N-Anteile aus der Luft im Jahr 2014 zwischen 81 % und 84 %, im Jahr 2015 zwischen 79 % und 93 %. Diese vergleichsweise hohe Variation war allerdings den methodenbedingten Abweichungen beim Gemenge Abo-H50 geschuldet. Im Mittel betrug der Luft-N-Anteil im Jahr 2015 der beiden Gemenge etwa 86 %.

Bei der Darstellung der Gemenge in Abbildung 3.2.11 ist zu beachten, dass die gesamt-pflanzlich akkumulierte Stickstoff-Menge der Ackerbohnen (N-fix plus N-soil) und des Hafers (N-oat) getrennt dargestellt werden. Im Vergleich der beiden Untersuchungs-jahre 2014 und 2015 unterschieden sich die vom Gemenge-Hafer aufgenommenen Stickstoff-Mengen (34 bis 46 kg N ha⁻¹), ebenso wie die Korn-Erträge (Abb. 3.2.7), nur geringfügig. Für die Beantwortung der Frage nach den Stickstoff-Umsätzen im Gemenge müssen die Stickstoff-Erträge der Ackerbohnen und des Hafers im Gemenge

addiert werden. In diesem Fall erreichten die Gemenge im Jahr 2014 eine Gesamt-N-Akkumulation in Höhe von 329 kg N ha⁻¹ (Abo-H20) bzw. 332 kg N ha⁻¹ (Abo-H50). Schlussendlich akkumulierte der Hafer in Reinsaat im Jahr 2014 im Mittel etwa 87 kg N ha⁻¹, im Jahr 2015 jedoch nur etwa 56 kg N ha⁻¹.

Werden die Daten für die symbiotische Stickstoff-Fixierung (in kg N ha⁻¹) der Ackerbohnen auf Ebene der Prüfvariablen Bodenbearbeitung und Unkrautbehandlung verglichen, so wurde in beiden Jahren kein signifikanter Unterschied beobachtet. Beim Vergleich der Werte für die Stickstoff-Anteile aus der Luft (Ndfa in %) wurden in Bezug auf die Bodenbearbeitungsvarianten erneut keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Allerdings zeigten sich bei Faktor Unkrautbehandlung Differenzierungen. Bei manueller Unkrautregulierung waren in beiden Jahren die Ndfa-Anteile (77 % im Jahr 2014, 78 % im Jahr 2015) signifikant geringer als in der unbehandelten Kontrolle (81 % im Jahr 2014, 83 % im Jahr 2015). Zudem waren im Jahr 2014 die Ndfa-Anteile nach der Behandlung mit dem Rollstriegel (81 %) signifikant höher als jene bei manueller Unkrautregulierung.

3.2.3 Diskussion

3.2.3.1 Hauptfrucht Ackerbohnen: Sortenwahl

Für die Feldversuche am Standort Reinshof wurde die Ackerbohnen-Sorte cv. Fuego ausgewählt. Die Sorte wurde im Jahr 2004 zugelassen. Von Seiten des Bundessortenamtes (BSA 2014) wird der Kornertrag mit der Note 7 (= hoch) eingestuft. In zahlreichen Landessortenversuchen zeigte die Sorte Fuego im Vergleich mit anderen Ackerbohnen-Sorten zumeist überdurchschnittliche Ertragsleistungen. Beispielsweise wird in den aktuellen niedersächsischen Berichten (MÜCKE 2015) geschrieben, dass die Sorte Fuego eine hohe Ertragssicherheit zeigte. Im Vergleich zu anderen Sorten gebe es wenig Schwanken bei den Erträgen. Ferner sei die gute Standfestigkeit, Blattgesundheit und Frohwüchsigkeit hervorzuheben. Andererseits wird bemängelt, dass die Proteingehalte unterdurchschnittlich seien. Die Tausendkornmasse der Sorte Fuego ist zudem größer als bei den meisten anderen Sorten.

Die Angaben in der Beschreibenden Sortenliste (Anonymus 2014) sprechen der Sorte Fuego eine geringe bis mittlere Anfälligkeit für Botrytis zu. Die Rost-Anfälligkeit wird jedoch bei „mittel bis stark“ eingestuft. Dies zeigte sich leider in den Feldversuchen am Standort Reinshof im Jahr 2015. Im Juli und August war fast der gesamte Bestand stark mit *Uromyces* befallen.

3.2.3.2 Erträge der Ackerbohnen

Die in diesem Projekt erzielten Erträge der Ackerbohnen (Sorte Fuego) wurden m Standort Reinshof, Feldschlag Kamp, durchgeführt. Wie bereits berichtet waren die äußeren Faktoren der Untersuchungsjahre 2014 und 2015 etwas unterschiedlich (Niederschlags- und Temperaturverlauf, Auftreten von Schadorganismen). Im ertragsstarken Jahr 2014 waren die Kornerträge bis zu 36 dt ha⁻¹ höher als im ertragschwachen Jahr 2015. Naheliegend ist ein Vergleich mit den Ackerbohnen-Erträgen aus EU-Sortenversuchen (GRONOW & SAUERMAN 2015), die gleichzeitig auf konventionellen Feldschlägen (z.B. „Vor dem Hofe links“) des Standortes Reinshof durchgeführt wurden. Der Kornertrag der Sorte Fuego aus dem EU-Sortenversuch lag im Jahr 2014 mit 65,9 dt ha⁻¹ bis auf wenige Kilogramm Unterschied exakt auf gleichem Niveau wie die Reinsaat-Kornerträge auf dem Schlag Kamp (66 dt ha⁻¹). Im Mittel über 14 Prüforte in Schleswig-Holstein, Thüringen, Sachsen, Bayern, Baden-Württemberg und Rheinlad-Pfalz erreichte die Sorte Fuego im Jahr 2014 einen Kornertrag in Höhe von 62,5 dt ha⁻¹. Andere Prüfsorten wie Fanfare oder Isabell zeigten im EU-Sortenversuch am Standort Reinshof etwas geringere Erträge als Fuego (60,5 dt ha⁻¹ bzw. 56,6 dt ha⁻¹). Diese Daten zeigen beim Vergleich mit den Ertragszahlen für Ackerbohnen des Statistischen Bundesamtes (Mittel aus 12 Bundesländern: 42,7 dt ha⁻¹), dass am Standort Reinshof überdurchschnittliche Kornerträge erzielt wurden.

Für das Jahr 2015 liegen die Vergleichsdaten aus dem EU-Sortenversuch noch nicht vor. Dafür können jedoch Daten aus Landessortenversuchen (Niedersachsen, Hessen u.a.) herangezogen werden (MÜCKE 2015, KÄUFLER 2016). Diese Ertragsdaten zeigen, dass das Ertragsniveau von 2014 nicht erreicht wurde. In Niedersachsen schwankten die Kornerträge der Sorte Fuego je nach Standort zwischen 30 und 33 dt ha⁻¹, in Hessen wurden im Mittel über die Standorte 48,6 dt ha⁻¹ erzielt. Die relativ niedrigen Erträge des Standortes Reinshof waren demnach kein Einzelfall.

Eine wesentliche Ursache für diese Resultate im Jahr 2015 sei hier beschrieben: Die Ackerbohnen wurden am Schlag „Kamp“ während der Blüte im Juni geradezu explosionsartig von Schwarzer Bohnenlaus (*Aphis fabae*) befallen. Es ist bekannt, dass in ungünstigen Jahren der Witterungsverlauf und die Möglichkeit zur Überwinterung an Feldsträuchern die Entstehung von großen Blattlauskolonien fördert. Gerade in der Umgebung des Feldschlages „Kamp“ befinden sich zahlreiche Feldgehölze, z.B. an den nahen Fließgewässern. Die geflügelten Läuse besiedeln ab April die Sommerwirte, sehr gern u.a. Ackerbohnen. Trockenes und warmes Wetter fördern die Vermehrung (STODDARD et al. 2010).

Aus Dänemark wurde bei HANSEN et al. (2008) berichtet, dass u.a. der Gemengeanbau mit Ackerbohnen den Befall von Schwarzer Bohnenlaus im Vergleich zur Ackerbohnen-Reinsaat reduziert hat. Dies konnte für die vorliegenden Versuche im Jahr 2015 nicht bestätigt werden. Die Befallsintensität unterschied sich zwischen diesen beiden Anbauformen nicht. Vielmehr schien der Befall eher räumlichen Gradienten zu folgen, beispielsweise war er am Rand stärker als in der Mitte. Dies entspricht den Angaben bei STODDARD et al. (2010). Eine mögliche Gegenmaßnahme zum Schutz der Versuchsfelder könnte darin liegen, Mantelsaaten anzulegen (STODDARD et al. 2010).

Die Ertragsdepression im Jahr 2015 wurde allerdings an vielen Standorten in Niedersachsen und anderen Regionen Deutschlands beobachtet. Zitiert sei an dieser Stelle MÜCKE (2015) für norddeutsche Sortenversuche: „Massiver Blattlausbefall führte 2015 bei Ackerbohnen häufig zu enttäuschenden Erträgen.“ Auf den LSV-Prüfstandorten in Oldendorf und Einbeck wurden mit der Sorte Fuego Kornerträge erzielt, die dem niedrigen Ertrag am Standort Reinshof annähernd entsprachen.

Für die Ertragsentwicklung können noch andere Aspekte eine Rolle spielen. Bekannt ist die gute Fröhsaatverträglichkeit der Sommer-Ackerbohne. Vielfach wurde bereits beschrieben, dass Aussaaten ab Februar möglich sind (KÄUFLER 2016, SAUERMAN & SASS 2016). Im vorliegenden Projekt wurde daher versucht, die Aussaat der Ackerbohnen so früh wie möglich durchzuführen. Allerdings musste stets darauf geachtet werden, dass zumindest im Gemenge der Hafer gleichzeitig auszusäen war. Im Jahr 2014 war das Frühjahr relativ trocken und mit dem 26. März wurde ein mittelfrüher Termin für die Bohnen-Aussaat realisiert. Im Jahr 2015 war die Grundbodenbearbeitung mit dem Problem konfrontiert, dass die Abtrocknung der Böden besonders zwischen den Arbeitsschritten nur langsam voranschritt. In der Folge wurden die Ackerbohnen erst am 16. April ausgesät. Für eine gute Bestandesentwicklung wäre ein Termin im März sicher wünschenswerter gewesen.

Die Ackerbohnen wurden in allen Prüfgliedern mit einer Saatstärke von 40 keimfähigen Körnern pro m² ausgesät. Dies entsprach den praxisüblichen Empfehlungen (VÖLKE & EBERT 2011) für Drillsaaten. Neuere Untersuchungen mit unterschiedlichen Saatstärken (34, 45 und 55 K m⁻²) von SAUERMAN & SASS (2016) zeigten, dass die höchste bereinigte Marktleistung mit 45 keimfähigen

Ackerbohnen-Körnern pro m² erzielt wurde. Die Autoren betonen zudem, dass die höheren Saatstärken nicht nur höhere Erträge, sondern auch eine bessere Ertragsstabilität aufwiesen. SAUERMAN & SASS (2016) vermuten einen Zusammenhang zwischen dem Ertrag und der Bewurzelung. Demnach sollen hohe Erträge mit einer höheren Anzahl an Hauptwurzeln einhergehen. Die Autoren empfehlen daher zukünftig eine Saatstärke von 45 bis 50 keimfähigen Körnern pro m². Lagerneigung sei mit den heutigen stabilen Sorten praktisch auszuschließen.

3.2.3.3 Bodenbearbeitung

Die Ermittlung des optimalen Zeitpunktes für die Bodenbearbeitung war auf den schweren, tonreichen Flächen des Schlages „Kamp“ am Standort Reinshof in beiden Versuchsjahren eine Herausforderung. Dennoch zeigten die guten Erträge des Jahres 2014, dass die allgemeinen Einschätzungen zur Standortseignung für Ackerbohnen bestätigt werden können. Beispielsweise schreiben KÖPKE & NEMECEK (2010), dass hohe Erträge und eine hohe N₂-Fixierung bei Ackerbohnen vor allem bei tiefen, schweren Böden mit guter Wasserversorgung möglich sind. Freilich müssen die abiotischen und biotischen Wuchsbedingungen der jeweiligen Jahre dem entgegen kommen.

Unter den Klimabedingungen des mitteleuropäischen Raums geht der Verzicht auf intensive, wendende Bodenbearbeitung fast immer mit Erhöhung des Unkrautdruckes und einer verringerten Mineralisierung und Nitrifikation im Boden einher (KÖPKE et al. 2010). In der konventionellen Landwirtschaft ist daher bei nicht-wendender Bodenbearbeitung der Einsatz von Totalherbiziden weit verbreitet. Pfluglose Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau ist mit der Einschränkung verbunden, dass selbst bei optimalem Einsatz der mechanischen Unkrautregulierung mittel- und langfristig die Verunkrautung zunimmt (SCHMIDT & LEITHOLD 2005, BÖHM 2014). Beispiele für langjährige pfluglose Bewirtschaftung zeigen, dass bei Pflugverzicht einzelne Arten zum Problem werden können (*Apera spica-venti*, DITTMANN 2012). Andererseits wird hervorgehoben, dass ausdauernde Arten wie *Cirsium arvense* durch weitgestellte Fruchtfolgen gut kontrolliert werden konnte (DITTMANN 2012).

Der bearbeitete Feldschlag am Standort Reinshof bot mit seinem tiefgründigen, schweren Boden (bis zu 40 % Tonanteil) grundsätzlich gute Voraussetzungen für den Ackerbohnen-Anbau. Die nutzbare Feldkapazität war beispielsweise vergleichsweise hoch. Ein Teil der Grundbodenbearbeitung wurde flach und nicht-wendend durchgeführt. Für die Bereitung eines ausreichend feinkrümeligen Saatbettes war dies vor allem im Jahr 2015 nur mit einer hohen Eingriffsintensität zu erreichen. Mehrere Arbeitsgänge wurden mit Geräten wie z.B. Flachgrubber und der Kreiselegge ausgeführt. Dazwischen musste der Boden abtrocknen. Gewünscht war ursprünglich eine Mulchauflage (abgestorbene Zwischenfrüchte) mit mindestens 30 % Bodenbedeckung. Dieses Ziel konnte nicht erreicht werden, die Bodenbedeckung betrug im Mittel 10 %, da ein Großteil der organischen Restsubstanz flach eingearbeitet wurde.

Bei vielen untersuchten Parametern gab es keinen Unterschied zwischen den zwei Arten (tief-wendend, flach) der Bodenbearbeitung. Andererseits wurden zum Beispiel bei Deckungsgrad und Sprossmasse der autochthonen Unkräuter des Jahres 2015 (Tab. 3.2.9 und 3.2.11) Unterschiede entdeckt. Entgegen der üblichen Erwartung waren hier die Werte bei tief-wendender Bearbeitung

signifikant höher als bei flacher Bearbeitung. Möglicherweise wurden durch das Pflügen Unkrautsamen an die Bodenoberfläche befördert, die dort zum Keimen angeregt wurden. Denkbar ist auch ein höheres Angebot an Nährstoffen. Tatsächlich zeigt Tab. 3.2.20 bei tief-wendender Bearbeitung etwas höhere N_{\min} -Werte als bei flacher Bearbeitung.

Das Modellunkraut Leindotter zeigte stets bei flacher Bearbeitung eine höhere Sprossmasse als bei tief-wendender Bearbeitung (Tab. 3.2.12 und 3.2.13). Meistens waren dies Unterschiede signifikant. Der Leindotter ist generell bezüglich des Bodens relativ anspruchslos. Da aber im Feldversuch die Aussaat nicht als Drillsaat ohne Rückverfestigung stattfand, ist es denkbar, dass die sehr feinen Leindottersamen in den Bereichen mit flacher Bodenbearbeitung bessere Keimbedingungen vorfanden.

Insbesondere die Hypothese, dass die symbiotische Stickstoff-Fixierung der Ackerbohnen bei der flachen Bearbeitung deutlich höher sei, konnte nicht bestätigt werden. Besonders zur Kornreife waren hier Unterschiede in keiner Weise vorhanden. Lediglich im Juni 2015 war die fixierte Stickstoff-Menge unterschiedlich. Kurioserweise war aber der Wert bei der tief-wendenden Bodenbearbeitung signifikant höher als bei der flachen Bearbeitung (Tab. 3.2.22). Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass beide Bodenbearbeitungsarten zu viele Gemeinsamkeiten aufwiesen. Der Einsatz des Wendepfluges auf 50 % der Versuchsfläche geschah jeweils im Februar. Danach wurden bis zur Aussaat weitere drei bis vier Arbeitsgänge mit flach arbeitenden Geräten in beiden Bodenbearbeitungsvarianten durchgeführt.

Auffällig ist zudem, dass die Ackerbohnen-Sprossmasse im Mai und Juni in beiden Jahren bei tief-wendender Bearbeitung höher war als bei flacher Bearbeitung (Tab. 3.2.14 und 3.2.15). Im Jahr 2015 war dies besonders deutlich, wenn auch nicht signifikant. Möglicherweise hat dies mit der Ablagetiefe der Körner bei der Aussaat zu tun. Die eingesetzte Drillmaschine (Typ SP 25, Fa. Haldrup) musste auf dem schweren Boden am Schlag Kamp an die Grenze Ihrer Leistungsfähigkeit gehen, um die tiefe Ablage bei den Ackerbohnen zu gewährleisten. Wahrscheinlicher scheint aber, dass die eingearbeitete organische Restsubstanz aus den Zwischenfrüchten bei tief-wendender Bearbeitung tiefer als 25 cm vergraben wurde und damit dort die Keimung der Ackerbohnen nicht beeinträchtigte. Bei flacher Bearbeitung könnte diese organische Restsubstanz eher eine Rolle spielen.

Insgesamt scheinen die Resultate darauf hinzudeuten, dass bei Bodenbedingungen wie am Schlag Kamp der Verzicht auf den Pflug tendenziell eher keinen entscheidenden Vorteil aufweist. Die Kornerträge der Ackerbohnen waren jedoch bei beiden Bodenbearbeitungsverfahren völlig identisch.

3.2.3.4 Unkrautregulierung

Gerade im Ökologischen Landbau werden die Zusammensetzung der Unkrautflora und das Auftreten von Unkrautarten auf Ackerschlägen von der Vorgeschichte eines Schläges und den Bewirtschaftungsbedingungen beeinflusst. Deshalb wurde in diesem Projekt der Ansatz verfolgt, dass neben den autochthonen Unkräutern ein Modellunkraut (*Camelina sativa*) ausgesät und bewertet wurde. Die annuelle, autochthone Unkrautflora vor Ort war vielfach von Arten geprägt, die für nährstoffreiche, basischen bis schwach sauren Böden typisch sind. Zudem wurde die perennierende Art *Cirsium arvense* häufig angetroffen.

Bei ökologisch angebauten Ackerbohnen wird allgemein empfohlen, die Unkrautbekämpfung mit mechanischen Verfahren durchzuführen. Dazu werden üblicherweise beim Striegeln drei Einsätze durchgeführt: einmal im Voraufbau und zweimal im Nachaufbau (ZWERGER & AMMON 2002). Bei Bedarf werden noch mehrere, in der Regel zwei Hackgänge im Nachaufbau durchgeführt. Der Einsatz der Hacke ist allerdings davon abhängig, ob die gewählten Reihenabstände eine effiziente Bearbeitung ohne Schädigung der Kulturpflanzen zulassen.

Im vorliegenden Projekt wurde ein Gerät mit abrollenden Werkzeugen genutzt, um die üblichen Striegeleinsätze durchzuführen. Das Gerät „Turbo-Rollstriegel“ (Uni-Hacke) der Fa. Annaburger (Abb. 3.2.12). Die striegelähnlichen Zinken sind sternförmig auf einer Kunststoffscheibe montiert, die auf einer drehbaren Welle oder Nabe sitzt. Diese sternförmigen Arbeitswerkzeuge sind in einem Anstellwinkel von 30° diagonal zur Fahrtrichtung angebracht (MÜCKE 2014).



Abb. 3.2.12: Sternförmige Arbeitswerkzeuge auf Kunststoffscheibe am Turbo-Rollstriegel (Hersteller: Fa. Annaburger), Aufnahme: R. Jung, 18.5.2015.

Der Boden wird beim Fahren ganzflächig und reihenunabhängig bearbeitet. Die Arbeitswerkzeuge werden dabei in Rotation versetzt, gleichzeitig ist aber ein ständiger Bodenkontakt gegeben. Die Unkräuter sollen herausgerissen oder verschüttet werden. Die Arbeitsbreite war in unseren

Feldversuchen auf 3 m angelegt. Das Gerät konnte jedoch modifiziert werden und bei der im Feldversuchswesen üblichen Arbeitsbreiten von 1,5 m eingesetzt werden. Für die landwirtschaftliche Praxis werden Gerätevarianten mit bis zu 15 m Arbeitsbreite angeboten.

In den Feldversuchen am Standort Reinshof wurde der Rollstriegel pro Saison nur zweimal statt dreimal eingesetzt. Ursprünglich war ein dritter Einsatz geplant, dies konnte aber wegen ungünstiger Witterung oder aus organisatorischen Gründen nicht verwirklicht werden. Zudem muss beachtet werden, dass in den vorliegenden Untersuchungen kein zweites Gerät für die mechanische Unkrautregulierung getestet wurde. Ein direkter Vergleich entfällt demnach. Für den Vergleich unterschiedlicher Geräte im Einsatzgebiet Ökologischer Landbau sei auf die aktuelle Literatur (z.B. WILHELM & HENSEL 2011, MÜCKE 2015, MÜCKE & KREIKENBOHM 2016) verwiesen.

Hinsichtlich der Unkrautregulierung zeigte der Turbo-Rollstriegel der Fa. Annaburger insgesamt gute Resultate. Bei hohen Fahrgeschwindigkeiten (8-12 km/h) wurde die überwiegende Anzahl der Unkrautarten im Fädchenstadium oder im Keimblattstadium hinreichend gut bekämpft. Niedrige Fahrgeschwindigkeiten führten nicht zum gewünschten Erfolg. Vereinzelt waren schon früh Exemplare von *Cirsium arvense* vorhanden. Da diese Jungpflanzen häufig mit einer tiefreichenden Wurzel verbunden waren, konnte der Turbo-Rollstriegel diese Individuen nicht entfernen. Auch bei der Art *Fallopia convolvulus* wurde vereinzelt ein ähnlicher Effekt beobachtet. Hier wäre in der landwirtschaftlichen Praxis ein weiterer Hackdurchgang erforderlich.

Die mancherorts klumpige oder trockene Struktur der Bodenoberfläche führte beim Einsatz des Turbo-Rollstriegels zu kleinen Problemen. Nach der Bodenbearbeitung (letzter Durchgang: Kreiselegge) waren in der Oberkrume stellenweise relativ große und kompakte Erdkluten (bis zu 8 cm Durchmesser) vorhanden. Durch den Rollstriegel wurden diese beim Einsatz mit hoher Fahrgeschwindigkeit ungewollt an die Bodenoberfläche befördert. Das Verschütten der Kulturpflanzen war eine mögliche Folge. Ferner wurde festgestellt, dass eine Schädigung oder ein geringfügiger Verlust der Kulturpflanzen durch den Rollstriegel möglich ist (Tab. 3.2.14 bis 3.2.17). Der Rollstriegel sollte höchstens bis zum Ackerbohnen-BBCH-Stadium 13 eingesetzt werden.

Der Vergleich der Ergebnisse zeigte, dass der mittlere Unkraut-Deckungsgrad mit Werten zwischen 3 % bis 7 % am Standort Reinshof vergleichsweise gering war. Bei STUMM (2008) werden Unkraut-Deckungsgrade zwischen 12 % und 16 % genannt. Nach Angaben bei AUFHAMMER (1998) können Ackerbohnen einen Unkrautdeckungsgrad von bis zu 10 % tolerieren, ohne dass mit großen Ertragsverlusten gerechnet werden muss.

Trotz der geringen Unkraut-Deckungsgrade konnten im Vergleich der Behandlungen Unterschiede herausgearbeitet werden. Der Turbo-Rollstriegel zeigte demnach bezüglich der Unkraut-Deckungsgraden und der Unkraut-Sprossmasse im Mai oder Anfang Juni eine gute Wirkung. Er muss andererseits festgestellt werden, dass der Kornertrag der Ackerbohnen im ertragsstarken Jahr 2014 durch die verschiedenen Unkrautbehandlungen kaum beeinflusst wurde. Die Unterschiede bezüglich der Unkraut-Sprossmasse zwischen den relativ stark verunkrauteten Bereichen der unbehandelten Kontrolle und den relativ sauberen Bereichen bei manueller Unkrautregulierung waren im Juni und August 2014 offensichtlich (Tab. 3.2.8 und 3.2.10). Dennoch wirkte sich dies bei den Kornerträgen nur mit einer Differenz von 1,6 dt ha⁻¹ zugunsten der manuellen Regulierung aus.

Im ertragsschwachen Jahr 2015 lag ein anderer Sachverhalt vor. Zwar waren die Unkraut-Deckungsgrade und die Unkraut-Sprossmasse im Mai und Juni bei Rollstriegel-Behandlung signifikant geringer als in der unbehandelten Kontrolle (Tab. 3.2.9 und 3.2.11). Doch der beschriebene Läusebefall schwächte die Ackerbohnen-Bestände nachhaltig. Eine Folge war, dass die Unkräuter in allen Prüfgliedern etwa ab Ende Juni erneut stark zunahmen. Dies ist in Tabelle 3.2.11 beim August-Termin zu erkennen. Doch dies schien die Kornerträge nicht mehr entscheidend zu beeinflussen. Letztlich waren die Kornerträge bei manueller Unkrautregulierung (im Mai) signifikant höher als bei der unbehandelten Kontrolle und bei der Behandlung mit dem Rollstriegel. Demnach waren die intensiven Hackmaßnahmen im Jahr 2015 wirkungsvoller als der nur zweimalige Einsatz des Rollstriegels.

Bei den Ackerbohnen in Reinsaat wurde konstant die höchste Unkraut-Sprossmasse beobachtet, während bei Hafer ein deutlich niedrigeres Unkrautauftreten registriert wurde. Entsprechend sollten die Gemenge - wie bei KIMPEL-FREUND et al. (1998) bzw. KIMPEL-FREUND (1999) für Erbsen-Hafer-Gemenge beschrieben - zur Unkrautreduktion beitragen. Die indirekte Unkrautregulierung durch die Gemengesaaten zeigte nur beim Gemenge Abo-H50 eine „konkurrenzfähige“ Datenlage. Das Gemenge Abo-H20 zeigte bis auf wenige Ausnahmen stets höhere Unkraut-Deckungsgrade oder Unkraut-Sprossmassen als das Gemenge Abo-H50. Offensichtlich ist es für die Unkrautunterdrückung sehr bedeutsam, dass ein verhältnismäßig hoher Anteil der Kulturpflanzen vorhanden ist. Die gewählten additiven Gemenge weisen demnach die Richtung. Die Ergebnisse zur Hafer-Sprossmasse im Mai/Juni (Tab. 3.2.16 und 3.2.17) belegen, dass der Abo-H50-Hafer signifikant höhere Erträge aufwies als der Abo-H20-Hafer. Eventuell ist hier zukünftig noch ein „Feintuning“ möglich, da hohe Saatstärken auch Nachteile aufweisen können.

Der Vergleich des Gemenges Abo-H50 mit dem Behandlungserfolg des Turbo-Rollstriegels offenbarte, dass vor dem Reihenschluss der Kulturpflanzen die mechanische Regulierung zumeist die besseren Resultate aufwies (Tab. 3.2.8 und 3.2.9). Nach dem Reihenschluss zwischen Juni und August war jedoch die Unkraut-Sprossmasse im Gemenge Abo-H50 niedriger als in den Bereichen mit Rollstriegel-Behandlung (Tab. 3.2.10 und 3.2.11). Möglicherweise ist die niedrige Unkraut-Sprossmasse im Gemenge Abo-H50 auf Lichtmangel zurückzuführen. Dagegen spricht, dass in den stärker verunkrauteten Ackerbohnen-Reinsaat im Juni 2014 der gleiche Lichtmangel auftrat (Abb. 3.2.6). Allerdings war Ende April und Anfang die Lichttransmission im Gemenge Abo-H50 etwa 8 bis 11 % niedriger als in der Ackerbohnen-Reinsaat.

Die mechanische Regulierung der autochthonen, annualen Unkräuter lieferte vor dem Reihenschluss der Kulturpflanzen gute Resultate. Nach dem Reihenschluss können Gemengesaaten über den Zeitpunkten der Blüte, der Kornfüllungsphase bis zur Ernte einen wertvollen Beitrag zur Unkrautunterdrückung liefern. Der Haferanteil sollte im Gemenge jedoch höher als 20 % der Reinsaatstärke sein.

3.2.3.5 Symbiotische Stickstoff-Fixierung der Ackerbohnen

Im vorliegenden Teilprojekt am Standort Reinshof war die absolute Höhe der symbiotischen N₂-Fixierleistung der Ackerbohnen abhängig von den Ertragsleistungen in den unterschiedlichen Jahren. Das ertragsstarke Jahr 2014 zeigte, dass bei Korn-Erträgen von 5,5 bis 6,6 t ha⁻¹ in der Summe aus Korn- und Sprossmasse im Mittel etwa 307 kg N ha⁻¹ akkumuliert wurden. Bei der Ackerbohnen-Reinsaat war dieser Wert mit 346 kg N ha⁻¹ am höchsten, davon entfielen rund 75 % auf den symbiotisch fixierten Anteil. Bei den Ackerbohnen in den Gemengesaaten betrug die akkumulierte N-Menge in der Summe aus Korn- und Sprossmasse im Mittel etwa 286 kg N ha⁻¹ (Abo-H50) bzw. 290 kg N ha⁻¹ (Abo-H20). Die Anteile des Stickstoffs aus der Luft waren mit 82 % und 81 % signifikant höher als bei der Reinsaat. Die fixierten N-Mengen bewegten sich im Jahr 2014 folglich insgesamt zwischen 235 und 258 kg N ha⁻¹. Verglichen mit den Ergebnissen des Göttinger Teilprojektes (111 bis 146 kg N ha⁻¹) des Vorgängerprojektes (KÖPKE et al. 2011) stellte dies eine erhebliche Steigerung dar. Zahlreiche Arbeiten der Vergangenheit hatten zudem gezeigt, dass am Standort Reinshof das Potential für einen erfolgreichen und leistungsstarken Ackerbohnen-Anbau gegeben ist (HAUSER 1987, 1992, KÖPKE 1996, JOST 2003, ANTHES 2005, GRONOW & SAUERMAN 2015). Jost (2003) ermittelte für Ackerbohnen am Standort Reinshof eine symbiotische Stickstoff-Fixierleistung in Höhe von 223 kg N ha⁻¹ (im Mittel über drei Jahre, drei Sorten).

Bei JENSEN et al. (2010) findet sich eine Literaturübersicht zur Stickstoff-Fixierleistung bei Ackerbohnen im Feldanbau. Dort werden neun Arbeiten zitiert, die auf eine Stickstoff-Düngung der Ackerbohne zur Aussaat verzichteten. Damit sind die Ergebnisse mit jenen aus dem vorliegenden Teilprojekt vergleichbar. Der Anteil des Stickstoffs aus der Luft (Ndfa) der neun Arbeiten variierte zwischen 44 und 99 %. Im Mittel wurden 73 % erreicht. Im Vergleich dazu waren die Ndfa-Werte der Reinsaaten in den Jahren 2014 und 2015 geringfügig höher (75 und 79 %). Der Mittelwert der fixierten N-Menge betrug für diese neun Arbeiten 193 kg N ha⁻¹. Die eigenen Werte für das Jahr 2014 liegen deutlich darüber, während die Werte für das Jahr 2015 niedriger ausfallen.

Bei den im Projekt ermittelten Stickstoff-Fixierleistungen handelt es sich um Werte, die sich auf die Stickstoff-Mengen beziehen, die sich zum Zeitpunkt der Reife im Korn und im Spross befanden. Nicht berücksichtigt wurden jene N-Mengen, die in den Ernteresten, im Blattfall und in den Wurzeln lokalisiert waren. Diese Fraktionen sind nur mit erhöhtem technischem Aufwand treffgenau zu ermitteln. Werden die Wurzeln, die Knöllchen und der Bestandesabfall addiert, dann betrug der Stickstoff-Anteil dieser Fraktion am gesamt-pflanzlich akkumulierten Stickstoff etwa 11 bis 13 % (KÖPKE 1996). Selbstverständlich muss immer beachtet werden, dass die im Korn gebundenen Stickstoff-Mengen mit dem Erntegut von der Fläche entfernt werden. Für eine potentiell positive Stickstoff-Flächenbilanz wäre demnach der Stickstoff-Anteil entscheidend, der mit den Wurzeln und den Ernteresten auf der Ackerfläche verbleibt. Da diese Größen im vorliegenden Projekt nicht ermittelt wurden, sei auf die bereits genannten Arbeiten verwiesen (HAUSER 1987, 1992, KÖPKE 1996, JOST 2003, ANTHES 2005). Der Beitrag der Stickstoff-Rhizodeposition am Gesamtumsatz ist umstritten und zudem schwer kalkulierbar (JENSEN et al. 2010).

Ein häufiger Kritikpunkt bei Anwendung der $\delta^{15}\text{N}$ -Methode ist die Tatsache, dass für die erfolgreiche Berechnung der sogenannte „B-Wert“ als Korrekturfaktor für die N-Isotopenfraktionierung während der symbiotischen Stickstoff-Fixierung eingerechnet werden muss. Dieser B-Wert kann aus einem separaten Gefäßversuch mit Leguminosen, die in N-freier Nährlösung wachsen, ermittelt werden (OKITO et al. 2004, SHEARER & KOHL 1986). Diese Methode ist aufwändig und erfordert zusätzliche Ressourcen. Viele Autoren verwenden deshalb B-Werte, die in der Literatur angegeben werden. Die Spannweite dieser Werte ist jedoch relativ hoch. Ferner wurde beobachtet, dass der B-Wert von der gewählten Art und Sorte abhängig ist. Weiterhin können sich die B-Werte im Spross, in der Wurzel und im reifen Korn erheblich unterscheiden. Um den letzten Aspekt zu berücksichtigen, schienen die B-Werte aus der Arbeit von LOPEZ-BELLIDO et al. (2010) für die Berechnungen zur Stickstoff-Fixierung in diesem Projekt geeignet. Dort wurden deutlich unterschiedliche B-Werte für Spross und Korn bei Ackerbohnen nachgewiesen. Die geringfügigen Differenzen zwischen den Ergebnissen der beiden Methoden zur Berechnung der symbiotischen Stickstoff-Fixierung sind ein Indiz, dass die genannte Vorgehensweise vertretbar ist.

Im Jahr 2014 war die Unkraut-Sprossmasse bei manueller Unkrautregulierung häufig signifikant niedriger als bei der Behandlung mit dem Rollstriegel oder in der unbehandelten Kontrolle. Man kann vermuten, dass intensives Hacken und Jäten die Bodenstruktur beeinflusst und zusätzliche Mineralisierungsprozesse in Gang setzt. Tatsächlich wurde bei den Daten zur symbiotischen Stickstoff-Fixierung ein entsprechender Hinweis gefunden. Die gesamt-pflanzlich akkumulierte N-Menge war bei manueller Unkrautregulierung im Jahr 2014 um rund 15 bis 18 kg N ha⁻¹ höher als bei den Vergleichsvarianten. Dabei war der Anteil des fixierten Stickstoffs aus der Luft (Ndfa) mit 77 % rund 3 bis 4 % niedriger als bei Rollstriegel-Behandlung oder bei der unbehandelten Kontrolle. Dies bedeutet, dass die Ackerbohnen bei manueller Unkrautregulierung mehr Stickstoff aus dem Boden akkumulierten als bei den Vergleichsvarianten.

Im ertragsschwachen Jahr 2015 war die symbiotisch fixierte Stickstoffmenge bei der Ackerbohnen-Reinsaat mit 147 kg N ha⁻¹ signifikant höher als bei den Ackerbohnen im Gemenge (96 und 110 kg N ha⁻¹). Im Jahr 2014 unterschieden sich die Reinsaat und Gemenge nicht. Bei dem Anteil Stickstoff aus der Luft (Ndfa) gab es in beiden Jahren signifikante Unterschiede. In der Reinsaat war – insbesondere im Jahr 2014 – der Ndfa-Wert deutlich niedriger als in den Gemenge-Ackerbohnen. Erklärbar ist dies mit der Konkurrenz durch den Hafer im Gemenge. Der Hafer beanspruchte die bodenbürtigen Stickstoff-Quellen. Die Ackerbohnen reagieren mit einer relativen Steigerung der symbiotischen N₂-Fixierung.

3.3 Teilprojekt 3

Strategien der Optimierung des Anbaus von Erbse und Schmalblättriger Lupine bei reduzierter Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau

Projektleitung: Prof. Dr. Knut Schmidtke, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

3.3.1 Material und Methoden

Standortbeschreibung

Die Feldversuche wurden von 2013 bis 2015 an den Standorten Dürrröhrsdorf-Dittersbach und Freital/OT Somsdorf in Sachsen durchgeführt. Sowohl die Fläche in Dürrröhrsdorf-Dittersbach als auch die Fläche in Freital/Somsdorf wurden jeweils vor Versuchsanlage langjährig ökologisch bewirtschaftet und liegen beide im Landkreis Sächsische Schweiz-Osterzgebirge, in unmittelbarer Nähe zu Dresden. Hinsichtlich ihrer naturräumlichen Gliederung und der Bodenverhältnisse unterscheiden sich die Standorte erheblich.

Naturräumliche Gliederung und bodenkundliche Einordnung

Der Versuchsstandort in Dürrröhrsdorf-Dittersbach (51°01'58.5"N 14°00'13.4"E, 240 m über NN) befindet sich an der Grenze zwischen zwei Naturräumen in Sachsen. Dabei handelt es sich um das Westlausitzer Hügel- und Bergland im Norden und das Elbsandsteingebirge im Südosten. Die naturräumliche Gliederung am Standort Freital/Somsdorf (50°57'32.7"N 13°35'48.1"E, 340 m über NN) ist ebenfalls durch zwei angrenzende Naturräume charakterisiert. Zu nennen sind das im Norden liegende Erzgebirgsvorland sowie das nach Süden erstreckende Osterzgebirge. Für eine genauere Beschreibung der Standorte (Tab. 3.3.1).

Tab. 3.3.1: Charakteristika der Versuchsstandorte Dürrröhrsdorf-Dittersbach und Freital/Somsdorf

| Merkmale | Dürrröhrsdorf-Dittersbach | Freital/Somsdorf |
|---------------------------------------|--|--|
| Bodengroßlandschaft (BGL) | Lösslandschaften des Berg-Hügellandes | Berg- und Hügelländer mit hohen Anteilen an sauren Magmatiten und Metamorphiten sowie Lössanwehungen |
| Bodenausgangsgestein | Lösse und Lössderivate/Sandlösse | Saure Magmatite/ Metamorphite |
| Bodenart Oberboden | IS bis IU | SI bis IU |
| Bodentyp (BÜK 1000) | Parabraunerde-Pseudogley aus Löss oder Lösslehm | Braunerde aus lössvermischten Verwitterungsprodukten |
| Bodenhorizonte | Ap (0-30 cm), Al (30-45), Bt (45-65 cm), Cv/Sg (> 65 cm) | Ap (0-20cm), Bv (20-45 cm), Cv (> 45 cm) |
| Durchwurzelungstiefe | 110 cm | 60 cm |
| Nutz. Feldkapaz. (nFK _{We}) | 140 bis 200 mm | 50 bis 90 mm |
| Bodenwertzahl | Ø 55 | Ø 45 |

Bodennährstoffe

Für die Bestimmung der Bodennährstoffe Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) sowie für die Feststellung des Säure-Basen-Verhältnisses (pH-Wert) wurden in beiden Versuchsjahren die jeweiligen Flächen der Standorte in einer Bodentiefe von 0 bis 20 cm untersucht. Die Entnahme der Bodenproben im Versuchszeitraum 2013/2014 erfolgte an beiden Standorten jeweils am 13.02.2014. Im darauffolgenden Versuchszeitraum 2014/2015 wurden die Proben in Freital/Somsdorf am 26.02.2015 und in Dürrröhrsdorf-Dittersbach am 04.03.2015 entnommen. Die Aufbereitung und Analyse der Bodenproben führte das Bodenlabor der Landwirtschaftlichen Kommunikations- und Service GmbH (LKS) Lichtenwalde/Sachsen durch. Für eine bessere Einordnung der ermittelten Werte geben die jeweiligen Gehaltsklassen (Gk) eine entsprechende Orientierung (DüV Sachsen, 2007, S. 112). Im Gegensatz zum Standort Freital/Somsdorf, auf dem vor allem die Nährstoffe Phosphor und Kalium in einer z.T. mehr als optimalen Versorgung im Oberboden vorlagen, waren die Böden am Standort in Dürrröhrsdorf-Dittersbach deutlich unterversorgt (Tab. 3.3.2). Auch der pH-Wert und der Humusgehalt im Boden zeigen vergleichsweise deutliche Unterschiede zwischen den Standorten auf, wobei der pH-Wert im Boden am Dürrröhrsdorf-Dittersbach als deutlich zu niedrig einzustufen ist.

Tab. 3.3.2: pH-Wert im Boden sowie Gehalt an pflanzenverfügbaren Grundnährstoffen sowie Humus im Boden der Versuchsstandorte

| Standort | Datum | [mg/100g Boden] | | | | | | pH-Wert ³⁾ | Humus [%] ⁴⁾ |
|---------------------------|------------|-----------------|----|-----------------|-----|------------------|-----|-----------------------|-------------------------|
| | | P ¹⁾ | Gk | K ¹⁾ | k | Mg ²⁾ | k | | |
| Dürrröhrsdorf-Dittersbach | 13.02.2014 | 1,3 bis 1,9 | A | 3,9 bis 4,9 | A | 9,2 bis 14,1 | D/E | 4,8 bis 5,2 | 2,3 bis 2,7 |
| | 04.03.2015 | 1,2 bis 1,6 | A | 2,5 bis 4,7 | A | 9,3 bis 9,4 | D | 4,7 bis 5,3 | 2,3 bis 2,8 |
| Freital/ Somsdorf | 13.02.2014 | 4,8 bis 8,5 | C | 10,9 bis 19,5 | C/D | 13,4 bis 15,7 | E | 5,7 bis 6,1 | 3,4 bis 4,0 |
| | 26.02.2015 | 6,2 bis 7,3 | C | 8,4 bis 13,0 | B/C | 14,4 bis 17,1 | E | 5,7 bis 6,4 | 3,3 bis 4,2 |

Gk = Gehaltsklasse; ¹⁾CAL-Extraktion nach VDLUFA Methodenbuch I, Methode A 6.2.1.1, ²⁾Extraktion mittels 0,0125 M CaCl₂ nach VDLUFA Methodenbuch I, Methode A 6.2.4.1, ³⁾nach VDLUFA Methodenbuch I, Methode A 5.1.1 in 0,01 M CaCl₂, ⁴⁾ nach DIN ISO 10694-1995

Witterungsverlauf

Die Wetterdatenerfassung an beiden Standorten erfolgte durch zwei agrarmeteorologischen Wetterstationen der Landesanstalt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) Sachsen. Beide Wetterstationen (Helmsdorf und Grumbach) lagen nur wenige Kilometer von den jeweiligen Versuchsflächen entfernt. Die Werte für die angegebene Referenzperiode (langjähriges Mittel 1961 bis 1990) wurden von der Wetterstation „Dresden Flughafen“ des Deutschen Wetterdienst (DWD) herangezogen (Tab. 3.3.3).

Tab. 3.3.3: Witterungsbedingungen an den Versuchsstandorten in den Versuchsjahren 2014 und 2015 sowie landjähriges Mittel der Witterungsbedingungen (Flughafen Dresden¹⁾)

| Standort/Jahr | Jahr | Jahresmitteltemperatur [°C] | langjähriges Mittel 1961 bis 1990 ¹⁾ | Jahresniederschlag [mm] | langjähriges Mittel 1961 bis 1990 ¹⁾ |
|---|------|-----------------------------|---|-------------------------|---|
| Dürröhrsdorf-Dittersbach <i>Wetterstation: Helmsdorf</i> | 2014 | 10,8 | 8,9 °C | 674,9 | 666,7 mm |
| | 2015 | 10,1 | | 678,3 | |
| Freital/Somsdorf <i>Wetterstation: Grumbach</i> | 2014 | 11,0 | | 674,6 | |
| | 2015 | 10,9 | | 657,2 | |

Ein Vergleich der Witterungsbedingungen in der Referenzperiode mit den Monaten des Versuchszeitraumes von 2013 bis 2015 zeigt deutlich, dass vor allem in den Winter- und Hochsommermonaten erhebliche Abweichungen, sowohl beim Monatsmittel der Lufttemperaturen, aber auch bei den Niederschlagsmengen zu verzeichnen waren. Insbesondere bei der Niederschlagsverteilung fallen Unterschiede im Vergleich zur Referenzperiode (1961 bis 1990) auf. Dabei wurden zunehmend Phasen von extremen Witterungsereignissen sichtbar, die zum einen durch langanhaltende Trockenheit und zum anderen durch hohe Niederschlagsmengen in kürzester Zeit charakterisiert waren. Dennoch blieb der Gesamtjahresniederschlag im Vergleich zum langjährigen Mittel nahezu konstant.

Dem gegenüber waren die Unterschiede bei den Jahresdurchschnittstemperaturen von 2014 und 2015 im Vergleich zum langjährigen Mittel deutlich mit im Mittel 2,5°C höheren Jahresmitteltemperaturen zu erkennen (Abb. 3.3.1).

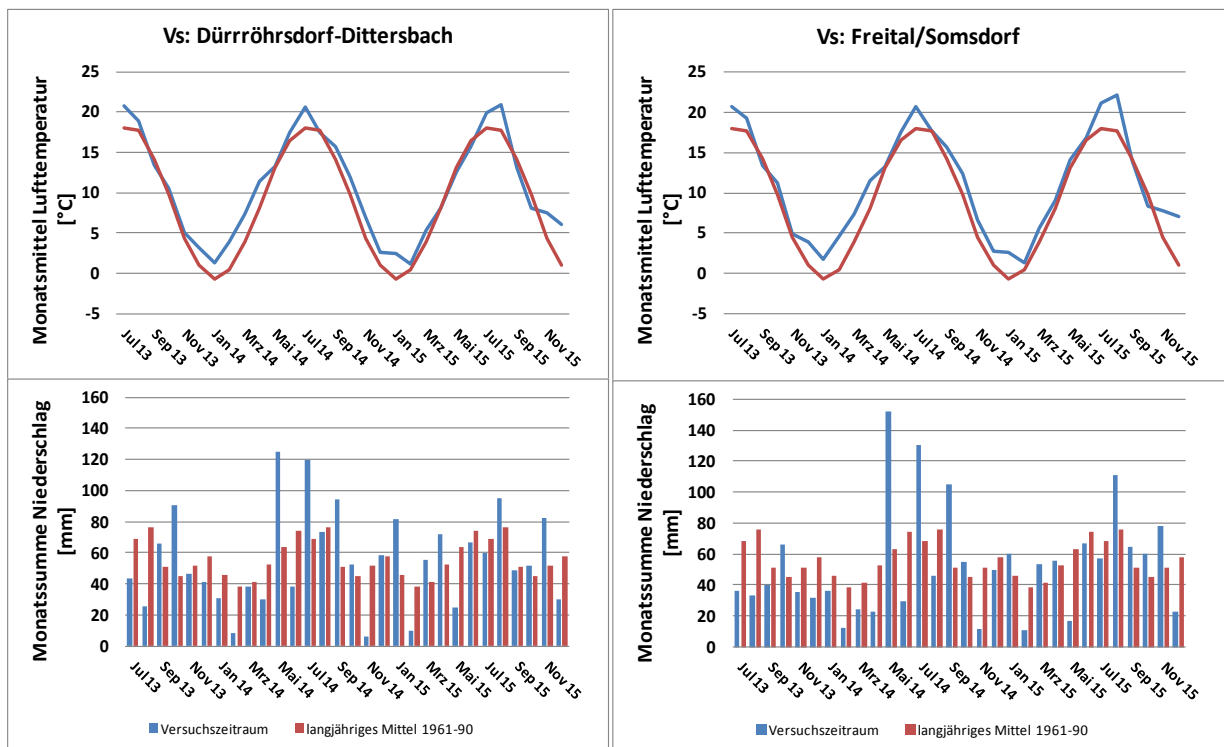


Abb. 3.3.1: Lufttemperatur und Niederschlag im Versuchszeitraum (Juni 2013 bis Dezember 2015) sowie Referenzzeitraum 1961 bis 1990 (langjähriges Mittel der Wetterstation Dresden-Flughafen) an den Standorten Dürrröhrsdorf-Dittersbach und Freital/Somsdorf

Für eine optimale Entwicklung der Körnererbse und der damit verbundenen Anlage der Ertragskomponenten (Verzweigungen/Pflanze, Anzahl Hülsen, Körner/Hülse und Tausendkornmasse) ist es wichtig, dass zum Zeitpunkt der Blütenbildung bzw. Blüte (BBCH 59/60) die Pflanzen mit ausreichend pflanzenverfügbarem Wasser versorgt sind. Dies setzt voraus, dass insbesondere ab Ende Mai bis Mitte Juni entsprechende Niederschlagsmengen den Erbsenbeständen zur Verfügung stehen. Im Versuchsjahr 2014 fielen im Monat Mai an beiden Standorten überdurchschnittlich hohe Niederschlagsmengen (Freital/Somsdorf: 151,8 mm; Dürrröhrsdorf-Dittersbach: 124,6 mm) gefolgt von einem ebenfalls überdurchschnittlich trockenen Juni (29,6 mm bzw. 38,6 mm). Im darauffolgenden Jahr (2015) zeigte sich ein nahezu umgekehrtes Bild der Niederschlagsverteilung. Fielen 2014 an beiden Standorten im Mai noch deutlich über 100 mm Niederschlag, waren es 2015 in Freital/Somsdorf nur 17,0 mm und in Dürrröhrsdorf-Dittersbach nur 28,7 mm. Im Juni wurde an beiden Versuchsstandorten eine Niederschlagsmenge von etwas über 60 mm gemessen, was somit knapp unterhalb des langjährigen Mittels lag. Dabei fielen rund 30 mm in den ersten 10 Tagen des Juni 2015, d.h. zu Beginn der Blüte der Körnerleguminosen. Zu erwähnen sind noch die besonders hohen Lufttemperaturen Anfang und Ende Juli 2015, die in Kombination mit fehlenden Niederschlagsmengen, insbesondere bei der Schmalblättrigen Lupine, zu einer frühzeitigen Abreife führten.

Versuchsaufbau

Versuchsanlage Freital/Somsdorf

Am Standort Freital/Somsdorf wurden in 2013/14 und 2014/2015 entsprechend der Zielstellungen insgesamt drei Versuchsfaktoren geprüft und die Versuche in Form einer randomisierten Spaltanlage in vierfacher Wiederholung angelegt.

Versuchsfaktor A: Aussaatzeitpunkt der Zwischenfrucht

- früh (12.07.2013 bzw. 13.08.2014)
- spät (26.07.2013 bzw. 25.08.2014)

Versuchsfaktor B: Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase

- Sommerhafer (*Avena sativa*, Sorte: Ivory), Saatstärke 300 keimfähige Körner/m²
- Rauhafer (*Avena strigosa*, Sorte: Panache), Saatstärke 425 keimfähige Körner/m²
- Ramtillkraut (*Guizotia abyssinica*, Sorte: nicht bekannt), Saatstärke 260 keimfähige Körner/m²
- Rispenhirse (*Panicum miliaceum*, Sorte: Kornberger, Saatstärke 350 keimfähige Körner/m²
- Unkraut (ohne Unkrautregulierung in der Zwischenfruchtphase bis zur Bodenbearbeitung/Aussaat der Erbsen (Kontrolle 1)
- Kontrolle ohne Unkraut (thermische Unkrautregulierung bis zur Aussaat der Erbse (Kontrolle 2)

Versuchsfaktor C: Art der Bodenbearbeitung bzw. des Aussaatverfahrens

- Mulchsaat (1 x Einsatz eines Flügelschargrubbers und Kreiselegge zur Saatbettbereitung)
- Direktsaat (*Cross Slot-System*)

Dementsprechend wurden folgende Varianten in der Versuchsanlage geprüft (Tab.3.3.4).

Tab. 3.3.4: Prüfglieder der Versuchsanlage am Standort Somsdorf/Freital einschließlich Abkürzungen der Prüfglieder

| Saattermin Zwischenfrucht | Art der Zwischenfrucht | Art der Bodenbearbeitung zu Körnererbse | |
|--|--|--|------------|
| FRÜH 12.07.2013 bzw. 13.08.2014 | Sommerhafer (SOHA) | Grubber | |
| | Sommerhafer (SOHA) | Direktsaat | |
| | Rauhafer (RAUHA) | Grubber | |
| | Rauhafer (RAUHA) | Direktsaat | |
| | Ramtillkraut (RAMTILL) | Grubber | |
| | Ramtillkraut (RAMTILL) | Direktsaat | |
| | Rispenhirse (HIRSE) | Grubber | |
| | Rispenhirse (HIRSE) | Direktsaat | |
| | Kontrolle 1 Unkraut (UK) | Grubber | |
| | Kontrolle 1 Unkraut (UK) | Direktsaat | |
| | Kontrolle 2 Unkrautregulierung mit thermischer Behandlung (UKA) | Grubber | |
| | Kontrolle 2 Unkrautregulierung mit thermischer Behandlung (UKA) | Direktsaat | |
| | SPÄT 26.07.2013 bzw. 25.08.2014 | Sommerhafer (SOHA) | Grubber |
| | | Sommerhafer (SOHA) | Direktsaat |
| Rauhafer (RAUHA) | | Grubber | |
| Rauhafer (RAUHA) | | Direktsaat | |
| Ramtillkraut (RAMTILL) | | Grubber | |
| Ramtillkraut (RAMTILL) | | Direktsaat | |
| Rispenhirse (HIRSE) | | Grubber | |
| Rispenhirse (HIRSE) | | Direktsaat | |
| Kontrolle 1 Unkraut (UK) | | Grubber | |
| Kontrolle 1 Unkraut (UK) | | Direktsaat | |
| Kontrolle 2 Unkrautregulierung mit thermischer Behandlung (UKA) | | Grubber | |
| Kontrolle 2 Unkrautregulierung mit thermischer Behandlung (UKA) | | Direktsaat | |

Der Versuch wurde als Streifen-Spalтанanlage mit insgesamt 192 Unterparzellen je Jahr angelegt, d.h. je 96 Parzellen mit Erbsen sowie Hafer (Daten zum Hafer hier nicht dargestellt). Die Termine der Zwischenfruchtaussaat bildeten die Großteilstücke, in welche die Unterparzellen der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase eingliedert wurden. Im darauffolgenden Frühjahr wurde die Bodenbearbeitung bzw. Einsaat der Erbsen und des Hafers im 90° Winkel versetzt zur Aussaatrichtung der Zwischenfrüchte durchgeführt. Die Kleinteilstücke mit Erbsen umfassten eine Fläche von ca. 7 m x 5 m (35 m²). Vor Anlage der Versuche stand auf der Versuchsfläche im Jahr 2013 Mais, der aufgrund einer

unzureichenden Entwicklung im Juni 2013 umgebrochen wurde. Am 05. und 10. Juli 2013 wurde jeweils eine Bodenbearbeitung mit einem Flügelschargrubber sowie mit dem Wendepflug (20 cm) durchgeführt und direkt vor Versuchsanlage zur Saatbettbereitung eine Kreiselegge (7 cm) eingesetzt. Im Jahr 2014 bildete Wintergerste die Vorfrucht, die witterungsbedingt erst Anfang August geerntet wurde. Anschließend wurde am 06. bis 10. August 2014 zwei Bodenbearbeitungsmaßnahmen mit einem Flügelschargrubber durchgeführt, sowie eine wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug (20 cm) und Saatbettbereitung mit einer Kreiselegge (7 cm). Vor Aussaat im darauffolgenden Frühjahr wurde in der Variante Mulchsaat eine Bodenbearbeitung mit einem Flügelschargrubber (ca. 15 cm Arbeitstiefe) und zur Saatbettbereitung mit der Kreiselegge (7 cm) durchgeführt. Die Erbsen (Sorte Respect, Saatstärke 100 keimfähige Körner je m²) wurden bei Mulchsaat mit einer Parzellendrillmaschine (Hege 80 mit RoTech Einscheibenschar) in 5 cm Tiefe abgelegt. Die Direktsaat der Erbse wurde mit der Direktsaatparzellendrillmaschine des ZAFT an der HTW Dresden, ausgestattet mit Cross slot Scharen in einer Saattiefe von 5 cm ausgesät. Der Aussaattermin der Erbse war am 21.03.2014 bzw. 24.03.2015.

Zur Erfassung der N_{min}-Vorräte im Boden wurden jeweils 10 Einstiche je Großteilstück (zur Aussaat der Zwischenfrüchte) und 5 Einstiche je Kleinteilstück entnommen (0 bis 30 cm) und zu einer Mischprobe je Parzelle und Tiefenstufe vereinigt. Die Proben wurden im Feld in Kühltaschen gelegt und anschließend sofort tiefgefroren und später mittels 0,01 M CaCl₂ extrahiert und im Extrakt mittels Photometer der Gehalt an Nitrat- und Ammoniumstickstoff ermittelt.

Die Sprossmasse der Zwischenfrüchte (03.10.13 und 15.11.13 sowie 07.11.2014) und der im Frühjahr auf der Bodenoberfläche verbliebenen Mulchmasse wurde von Hand auf einer Teilfläche von 2 m² erfasst. Zusätzlich wurden je Parzelle ca. 15 Pflanzen entnommen und von Hand in die Sprossachse und Blatt- und Fruchtstandsmasse aufgeteilt. Die Trocknung der Proben fand im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz bei 55 °C (Proben zur Analyse) sowie 105 °C (zur Ermittlung der absoluten Trockenmasse) statt. Die Sprossmasse der Erbsen wurde zur Blüte der Erbse am 05.06.2014 sowie 05.06.2015 sowie zur physiologischen Reife der Erbse auf einer Teilfläche von 2 m² von Hand beerntet. Nach der Separierung und Erfassung der Teilkomponenten Unkraut, Strohmasse, Kornmasse (Waage: Denver Instrument, SI-6002, Genauigkeit ±0,01 g) der Gesamtprobe wurden alle Teilproben an der HTW Dresden in einem Trockenschrank (Heraeus-Kelvitron, Typ: UT 6760) bei 55 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und der TM-Gehalt festgestellt. Für die Ermittlung der Restfeuchte des bei 55 °C getrockneten Pflanzenmaterials wurden Teilproben bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Der Ermittlung der Kornmasse ging ein Drusch der von den Parzellen entnommenen Hülsen der Erbse mit einem Standdrescher (Typ Saatmeister K35) voraus. Die Stängel und die Druschreste jeder Probe wurden auf eine Häcksellänge von 30 mm zerkleinert, um eine homogene und repräsentative Teilprobe zu erhalten. Für die Feststellung des Korn- und Strohertrages wurden die Erbsen auf der verbliebenen Fläche der Parzellen mittels Parzellenmähdrescher geerntet (10 bis 15 m² je Parzelle), die Kornmasse durch Wiegen ermittelt und eine Teilprobe bei 105 °C getrocknet. Der in den Ergebnissen dargestellte Kornertrag aller Fruchtarten entspricht den Werten aus dem Parzellendrusch. Der in den Ergebnissen dargestellte Strohertrag je Parzelle wurde mit Hilfe

der mit der Handernte ermittelten Anteile des Strohs am Spross und den Werten des Kornertrages aus dem Parzellendrusch berechnet.

Für die Bestimmung der Gehalte an Gesamtkohlenstoff und Gesamtstickstoff im Pflanzenmaterial wurden die zur Ertragsermittlung entnommenen Pflanzenproben der Leguminosen (Korn, Stroh) und der Zwischenfrüchte sowie der im Frühjahr auf der Bodenoberfläche verbliebenen Mulchmasse verwendet. Die Proben wurden nach der Trocknung bei 55 °C in zwei Arbeitsschritten mit einer Siebgröße von 5 mm grob (Schneidmühle SM 1, Firma Retsch) und mit einer Siebgröße von 0,2 mm fein vermahlen (Zentrifugalmühle ZM 1000, Firma Retsch). Die Bestimmung der Gehalte an Kohlenstoff und Stickstoff erfolgte nach der DUMAS-Verbrennungsmethode mit Hilfe eines CN-Analysators (Euro EA-Analyser der Firma Hekatech). Die Proben wurden dabei unter Zufuhr von Sauerstoff bei Temperaturen von 900 bis 1.500 °C verbrannt und das entstehende gasförmige Stoffgemisch nach der Entfernung störender Verbrennungsprodukte mittels Infrarot-Detektor erfasst und der Anteil der einzelnen Fraktionen (Kohlenstoff, Stickstoff) ermittelt.

Versuchsanlage Dürrröhrsdorf-Dittersbach

Am Standort Dürrröhrsdorf-Dittersbach wurden in 2014 und 2015 entsprechend der Zielstellungen insgesamt 3 Versuchsfaktoren geprüft und die Versuche in Form einer randomisierten Spaltanlage in vierfacher Wiederholung angelegt.

- Versuchsfaktor A: Körnerleguminosenart
- Körnererbse (*Pisum sativum*), Sorte: Respect, Saatstärke 100 keimfähige Körner je m²
 - Schmalblättrige Lupine (*Lupinus angustifolius*), Sorte: Boregine, Saatstärke 100 keimfähige Körner je m²
- Versuchsfaktor B: Art der Grundbodenbearbeitung und Aussaat
- Pflug, Grubber, Kreiselegge (Aussaat mit Parzellendruckmaschine Hege 80 und Rollchar RoTeC)
 - Streifenaussaat („StripTill“) Horsch Focus TD
 - Direktsaat (Cross-slot)
- Versuchsfaktor C: Art der Unkrautregulierung
- Rollstriegel
 - Gehölzhäcksler
 - Untersaat (Erdklee/Weißklee)

Dementsprechend wurden folgende Varianten in der Versuchsanlage geprüft (Tab. 3.3.4).

Tab. 3.3.4: Prüfglieder der Versuchsanlage in Dürrröhrsdorf-Dittersbach

| Körnerleguminosenart | Art der Bodenbearbeitung/ Aussaat | Art der Unkrautregulierung | | |
|----------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------------------|------------------|
| | | <i>Rollstriegel</i> | <i>Gehölzhäcksel</i> | <i>Untersaat</i> |
| Lupine | Pflug | ohne | ohne | ohne |
| Lupine | Pflug | ohne | mit | ohne |
| Lupine | Pflug | ohne | ohne | mit |
| Lupine | Pflug | ohne | mit | mit |
| Lupine | Grubber | ohne | ohne | ohne |
| Lupine | Grubber | ohne | mit | ohne |
| Lupine | Grubber | ohne | ohne | mit |
| Lupine | Grubber | ohne | mit | mit |
| Lupine | Kreiselegge | ohne | ohne | ohne |
| Lupine | Kreiselegge | ohne | mit | ohne |
| Lupine | Kreiselegge | ohne | ohne | mit |
| Lupine | Kreiselegge | ohne | mit | mit |
| Lupine | StripTill | ohne | ohne | ohne |
| Lupine | StripTill | ohne | mit | ohne |
| Lupine | StripTill | ohne | ohne | mit |
| Lupine | StripTill | ohne | mit | mit |
| Lupine | Direktsaat | ohne | ohne | ohne |
| Lupine | Direktsaat | ohne | mit | ohne |
| Lupine | Direktsaat | ohne | ohne | mit |
| Lupine | Direktsaat | ohne | mit | mit |
| Erbse | Pflug | ohne | ohne | mit |
| Erbse | Pflug | mit | ohne | mit |
| Erbse | Grubber | ohne | ohne | mit |
| Erbse | Grubber | mit | ohne | mit |
| Erbse | Kreiselegge | ohne | ohne | mit |
| Erbse | Kreiselegge | mit | ohne | mit |
| Erbse | Grubber | ohne | ohne | mit |
| Erbse | Grubber | mit | ohne | mit |
| Erbse | StripTill | ohne | ohne | mit |
| Erbse | StripTill | mit | ohne | mit |
| Erbse | Direktsaat | ohne | ohne | mit |
| Erbse | Direktsaat | mit | ohne | mit |
| Erbse | Direktsaat | ohne | mit | mit |
| Erbse | Direktsaat | mit | mit | mit |
| Erbse | Direktsaat | ohne | ohne | ohne |
| Erbse | Direktsaat | mit | ohne | ohne |
| Erbse | Direktsaat | ohne | mit | ohne |
| Erbse | Direktsaat | mit | mit | ohne |
| Erbse | Direktsaat | mit | mit | ohne |

Der Versuch wurde als Spaltanlage mit fünf Großteilstücken der Bodenbearbeitungs- und Aussaatverfahren (Pflug [P], Grubber [G], Kreiselegge [K], Streifenlockerung (Strip-Till) [ST] oder Direktsaat [NT]) und den Unterparzellen mit Körnerleguminosenart (Schmalblättrige Lupine, Sorte: Borgine sowie Erbse, Sorte: Respect) angelegt. Ferner wurde eine weitere Unterteilung der Unterparzellen nach Art der Unkrautregulierung mit einer Kombination aus Rollstriegel [R] und/oder Einsatz von Gehölzhäcksel [H] und/oder Einsaat einer Untersaat aus einem Gemenge aus Weißklee und Erdklee [US] vorgenommen. In der Direktsaat wurde die Unterparzelle der Körnerleguminose Erbse zusätzlich mit sechs weiteren Kleinparzellen (Varianten) erweitert, sodass 144 Kleinparzellen in der Versuchsanlage zusammengefasst waren $[(4 \times 5 \times 2 \times 3) + (4 \times 6) = 144]$. Alle Kleinparzellen wiesen eine Länge von 10 m und Breite von 4,95 m auf (Größe der Parzelle: 49,5 m²).

Bodenbearbeitung

Vor der Frühjahrsaussaat der Körnerleguminosen (Körnererbse und Schmalblättrige Lupine) erfolgte im Jahr zuvor die Ansaat einer Hafer-Zwischenfrucht (300 keimfähige Körner/m², Sorte: Ivory) am 26.08.2013 bzw. am 19.08.2014. Hierzu wurde vor Aussaat eine wendende Bodenbearbeitung zur Einarbeitung der Stoppeln der Vorfrucht (2013: Winterweizen, 2014: Wintergerste) mit einem 3-Schar Wendepflug der Fa. Lemken (Bearbeitungstiefe: 25 cm) durchgeführt und im Anschluss die Hafer-Zwischenfrucht mit einer Kreiseleggen-Aussaatkombination etabliert (Kreiselegge der Fa. MASCHINO mit Kastendrillmaschine der Fa. AMAZONE mit Rollskar RoTeC). Nach Erfassung der Mulchmasse der Hafer-Zwischenfrucht nach Winter (26.02.14 bzw. 04.03.2015) und der Entnahme von Bodenproben zur Ermittlung der Grundnährstoffe (P, K, Mg), des pH-Werts und des N_{min}-Vorrates im Boden erfolgte die Anlage der Versuchsanlage (27.03.2014, bzw. 13.03.2015). Die Großparzellen wurden entsprechend der geplanten Bodenbearbeitungsvarianten Pflug (3-Schar Wendepflug, Fa. Lemken, 25 cm Bearbeitungstiefe), Grubber (Flügelschargarubber, Fa. Raabe, 15 cm Bearbeitungstiefe) und Kreiselegge (Fa. MASCHINO, 7 cm Bearbeitungstiefe) bearbeitet und für die Gehölzhäckselausbringung vorbereitet. Hierzu wurde zunächst mit Ausnahme der Direktsaatparzellen und der Parzellen Streifenbearbeitung eine Saatbettbereitung (Kreiselegge, Fa. MASCHINO) auf den Pflug- und Grubbervarianten durchgeführt. Nach Ausbringung des Gehölzhäcksel auf Teilflächen der Bodenbearbeitungsvarianten wurde der Gehölzhäcksel auf den Pflug-, Grubber- und Kreiseleggenvarianten erneut mit der Kreiselegge flach eingearbeitet. Auf den Großparzellen der StripTill und Direktsaat erfolgte keine Bodenbearbeitung, wodurch das Gehölzhäcksel ohne anschließende Einarbeitung direkt auf der Mulchmasse der Zwischenfrucht vor der Saat der Körnerleguminosen aufgebracht wurde. Die Entnahme von Pflanzen und Bodenproben sowie deren Analyse wurde analog der oben angegebenen Methoden für den Versuchsstandort Somsdorf durchgeführt.

3.3.2 Ergebnisse und Diskussion

3.3.2.1 Standort Somsdorf

Versuchsserie 2013/2014

Zwischenfrüchte

Die im Jahr 2013 gesäten Zwischenfrüchte etablierten sich nach der Saat mit Feldaufgängen zwischen 48 % (Rispenhirse früh) und 88 % (Rauhafer früh) der ausgesäten keimfähigen Körner vergleichsweise gut und unabhängig vom Termin der Saat (Abb. 3.3.2).

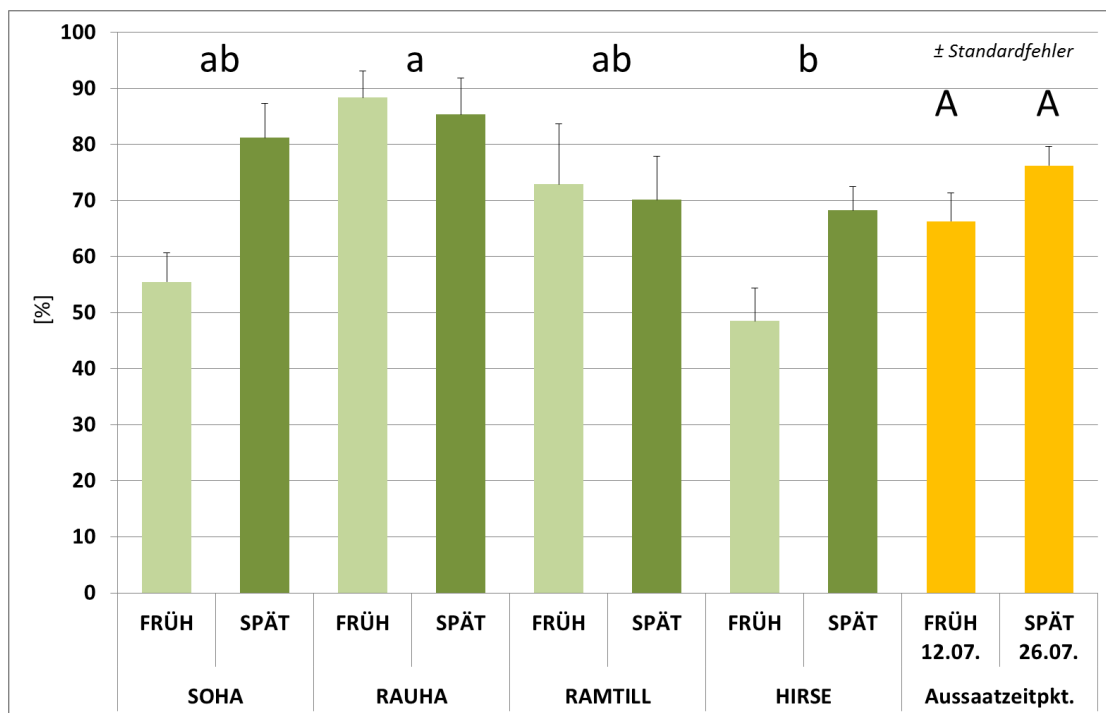


Abb. 3.3.2: Einfluss des Saattermins (S) und der Pflanzenart (P) auf den Feldaufgang der Zwischenfrüchte im Jahr 2013 (Wechselwirkung S × P: nicht signifikant; Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

Die Rispenhirse wies allerdings einen signifikant geringeren Feldaufgang im Vergleich zum Rauhafer auf. Sowohl bei der Sprossmasse der Unkräuter als auch der Zwischenfrüchte und des Gesamtertrages (Sprossmasse Zwischenfrucht plus Sprossertrag der Unkräuter) waren signifikante Wechselwirkungen zwischen dem Saattermin und dem Zwischenfruchtbestand zu verzeichnen. Während bei frühem Saattermin durch einen starken Befall durch die Fritfliege bei Sommerhafer und Rauhafer nahezu kein Sprossertrag der Zwischenfrüchte gebildet wurde, waren bei Ramtillkraut und der Rispenhirse infolge einer früheren Saat höhere Sprosserträge der Zwischenfrucht als nach später Saat zu verzeichnen (Abb. 3.3.3).

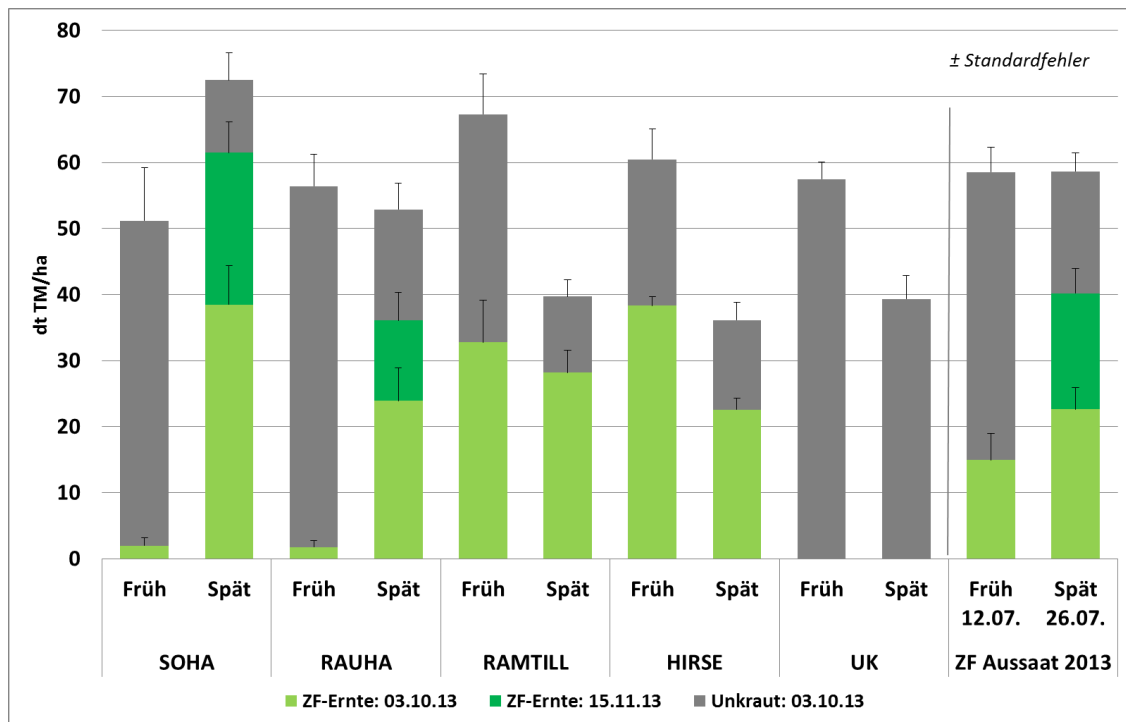


Abb. 3.3.3: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den Sprossertrag der Zwischenfrüchte und des Unkrautes im Jahr 2013 (Sprossertrag Gesamt, Zwischenfrüchte sowie Unkräuter: Wechselwirkung S × A: signifikant $P < 0,05$)

Die Saatzeitverzögerung führte zudem stets zu einer deutlichen Verminderung der gebildeten Unkrautsprossmasse (Abb. 3.3.3). Allerdings war diese Reduktion aufgrund des schlechten Wachstums der Zwischenfrüchte bei frühem Saattermin bei Sommerhafer und Rauhafer deutlich stärker ausgeprägt als in allen anderen Beständen. Die Konkurrenz der Zwischenfrüchte führte zudem zu einer deutlichen Minderung des Wachstums der Unkräuter wie sich aus dem Vergleich zu Kontrolle ohne Kulturpflanze (UK) ableiten ließ. Aufgrund des bei Sommerhafer und Rauhafer auch nach Frosteintritt zum 03.10.2013 zu verzeichnenden Anhalten des Wachstums waren im Gegensatz zu Ramtillkraut und Rispenhirse, die mit Eintritt des Frostes abstarben, nach später Saat dieser Zwischenfrüchte noch Zuwächse in der Sprossmasse in Höhe von 23 dt TM ha⁻¹ (Sommerhafer) bzw. 12 dt TM ha⁻¹ (Rauhafer) vom 03.10. bis 15.11.2013 festzustellen. Mit insgesamt 61 dt TM ha⁻¹ hatte der spät gesäte Sommerhafer den höchsten Sprossertrag, die spät gesäte Rispenhirse mit 22 dt ha⁻¹ den geringsten Sprossertrag aller nicht durch Fritfliege geschädigten Zwischenfrüchte gebildet. Rispenhirse reagierte am stärksten auf die späte Saat mit einem Rückgang des Sprossertrages.

Der Anteil Stängelmasse an der Sprossmasse sank bei allen Zwischenfrüchten zum zweiten Saattermin signifikant um im Mittel der Arten von 60,8 % auf 51,7 % ab (Abb. 3.3.4). Rauhafer und Rammtillkraut wiesen mit im Mittel der Saattermine 61,9 % bzw. 63,8 % einen signifikant höheren Anteil Stängelmasse an der Sprossmasse auf als Sommerhafer und Rispenhirse (44,4 bzw. 51,2 %).

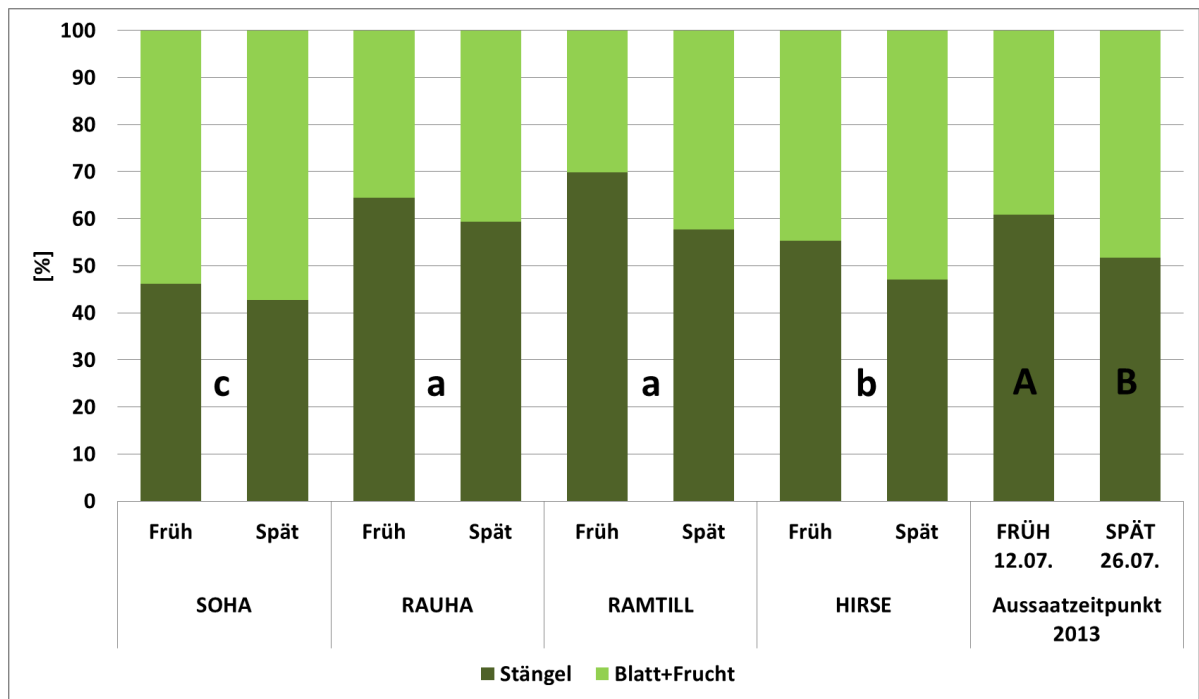


Abb. 3.3.4: Einfluss des Saattermins (S) und der Pflanzenart (P) auf den Anteil Stängel- bzw. Blatt und Fruchtstandstrockenmasse an der Sprossmasse der Zwischenfrüchte am 03.10.2013 (Wechselwirkung S × P: nicht signifikant, Scheffé-Test, $P < 0,05$)

Sommerhafer und Rauhafer starben infolge des Frostes Anfang Oktober im Gegensatz zu den anderen Zwischenfrüchten nicht ab. Deshalb wurde sowohl im spät gesäten Sommerhafer als auch dem spät gesäten Rauhafer am 15.11.2013 der Anteil Stängelmasse an der Sprossmasse erneut erfasst. Er stieg bei Sommerhafer von 42,7 % (03.10.2013) auf 52,2 % (15.11.2013) und bei Rauhafer von 59,4 % auf 67,8 % an, so dass in beiden Fällen durch die Verlängerung der Vegetationszeit ein überproportionaler Zuwachs an Stängelmasse an der verbliebenen Sprossmasse resultierte, der sich positiv auf die zu Vegetationsbeginn der Erbse verbliebene Mulchmasse auf der Bodenoberfläche auswirkte.

Zwischen dem Saattermin der Zwischenfrüchte und der Pflanzenart lag hinsichtlich des C/N-Verhältnisses in der gesamten Sprossmasse keine signifikante Wechselwirkung vor. Das C/N-Verhältnis in der Sprossmaase der Zwischenfrüchte sank bei allen anderen Arten durch die Verzögerung des Saattermines um im Mittel 5 Einheiten (Abb. 3.3.5).

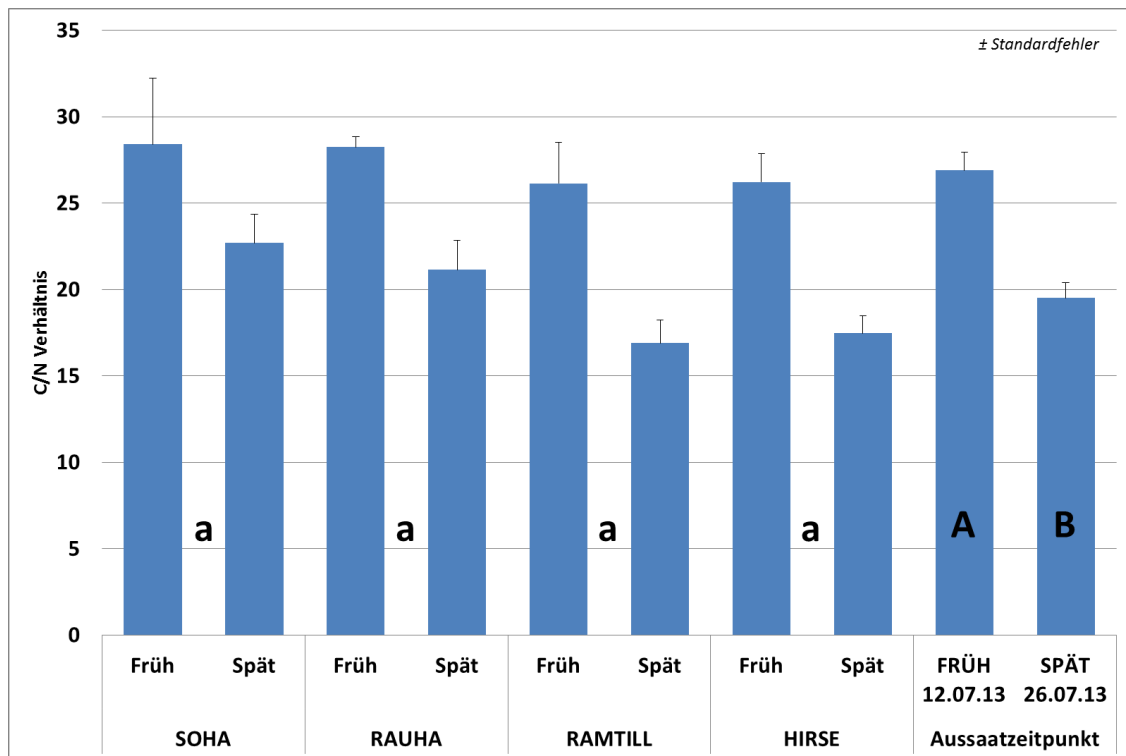


Abb.3.3.5: Einfluss des Saattermins (S) und der Pflanzenart (P) auf das C/N-Verhältnis im Spross der Zwischenfrüchte am 03.10.2013 (Wechselwirkung S × P: nicht signifikant)

Ein verspäteter Saattermin der Zwischenfrüchte verengte sowohl in der Blattmasse als auch in der Sprossachse das C/N-Verhältnis signifikant um 3 (Blatt) bzw. 18 (Sprossachse) Einheiten. Während in der Blattmasse nur zwischen Ramtillkraut und den drei anderen Zwischenfrüchten ein signifikanter Unterschied im C/N-Verhältnis bestand, sank das C/N-Verhältnis in der Sprossachse von Sommerhafer zu Rauhafer zu Ramtillkraut zu Rispenhirse kontinuierlich und war in den meisten Fällen auch zwischen den Arten signifikant verschieden (Abb. 3.3.6).

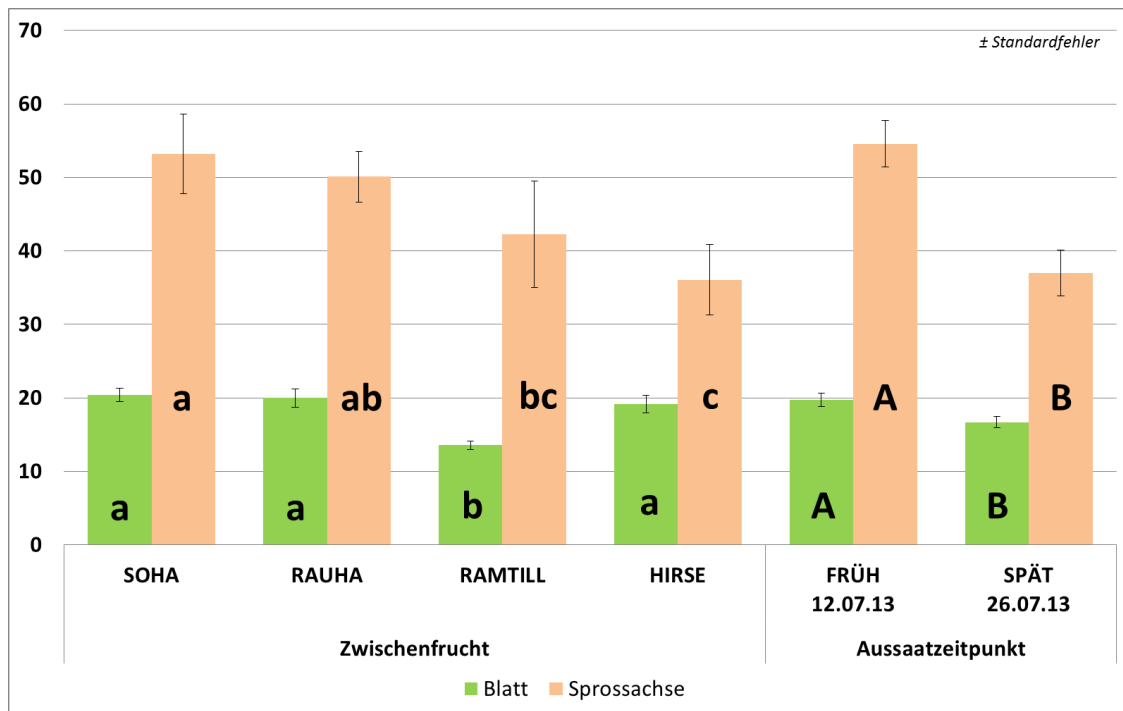


Abb. 3.3.6: Einfluss des Saattermins (S) und der Pflanzenart (P) auf das C/N-Verhältnis in der Blattmasse und Sprossachse der Zwischenfrüchte am 03.10.2013 (Wechselwirkung S × P: jeweils nicht signifikant, Scheffé-Test, $\alpha = 0,05$)

Die Summe der in der Sprossmasse der Unkräuter, der Sprossachse und der Blatt- und Fruchtstandsmasse der Zwischenfrüchte enthaltenen N-Menge unterschied sich zwischen den Beständen nicht signifikant und war auch nicht abhängig vom Saattermin der Zwischenfrüchte (Abb. 3.3.7). In der Sprossmasse wurden im Mittel insgesamt 96 kg N ha^{-1} akkumuliert. Zwischen Saattermin und Pflanzenart der Zwischenfrucht waren sowohl hinsichtlich der in der Blatt- und Fruchtstandsmasse als auch hinsichtlich der in der Sprossachse akkumulierten N-Menge signifikante Wechselwirkungen zu verzeichnen, die durch den Befall mit Fritfliegen beim früh gesäten Sommerhafer und Rauhafer im Vergleich zu den nicht geschädigten Ramtillkraut und der Rispenhirse begründet sind. Mit Ausnahme des früh gesäten Rauhafers (59 %) betrug bei allen Zwischenfrüchten der Anteil der in der Blattmasse befindlichen Stickstoffmenge an der insgesamt im Spross akkumulierten N-Menge mehr als 63 % (63 % früh gesäte Rispenhirse bis 78 % spät gesäeter Sommerhafer).

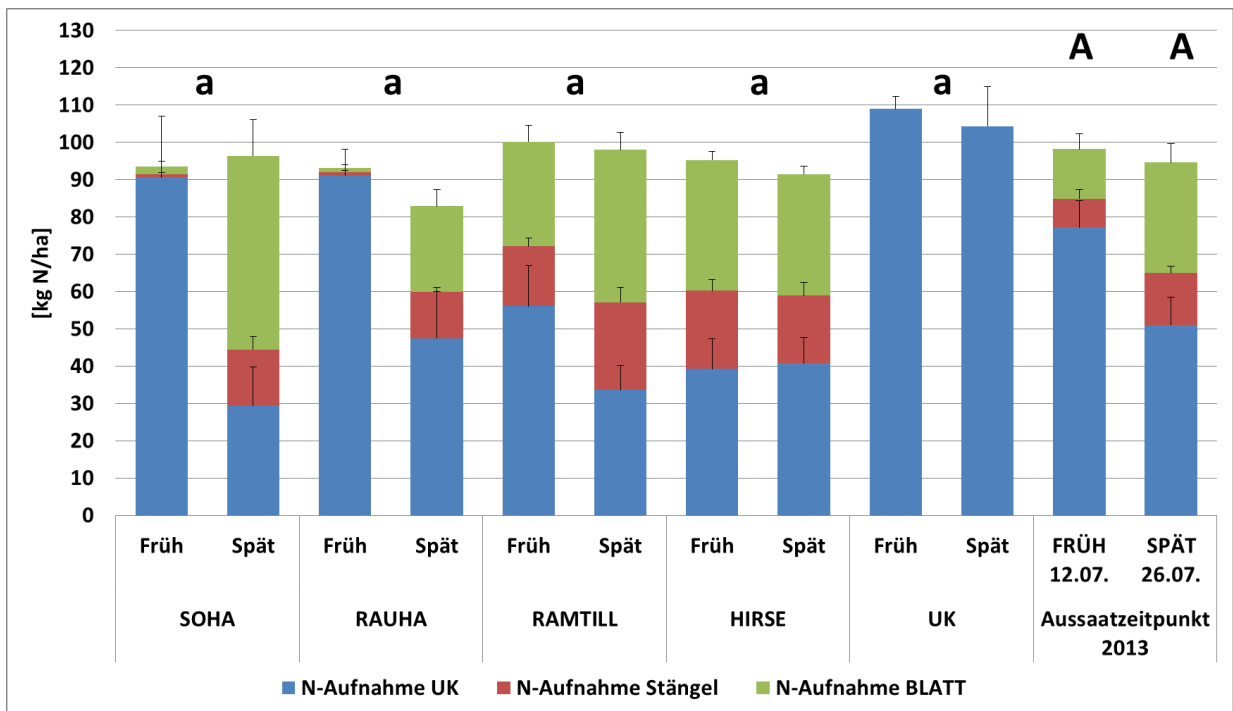


Abb. 3.3.7: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf die N-Menge in der Sprossmasse der Unkräuter sowie in der Blatt- und Fruchtstandmasse und Stängelmasse der Zwischenfrüchte am 03.10.2013 (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant für Summe der N-Menge im Spross, signifikant für N-Menge in Stängel und Blatt, $P < 0,05$; Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

Zum Zeitpunkt der Aussaat der Zwischenfruchtbestände lagen im Boden am 17.07.2013 in 0 bis 30 cm Tiefe $58,2 \text{ kg N}_{\min} \text{ ha}^{-1}$ vor, zum zweiten Saattermin war die N_{\min} -Menge auf $99,6 \text{ kg N}_{\min} \text{ ha}^{-1}$ angestiegen (Werte nicht dargestellt). Bis zum Vegetationsende verminderte sich der N_{\min} -Vorrat im Boden in den Parzellen mit Pflanzenbewuchs unabhängig vom Saattermin der Zwischenfrucht und Art des Pflanzenbestandes auf im Mittel $15,5 \text{ kg N}_{\min} \text{ ha}^{-1}$, während in den durch periodisches Abflammen in Schwarzbrache gehaltenen Parzellen der N_{\min} -Vorrat im Boden auf $118,4 \text{ kg N}_{\min} \text{ ha}^{-1}$ angestiegen war (Abb. 3.3.8).

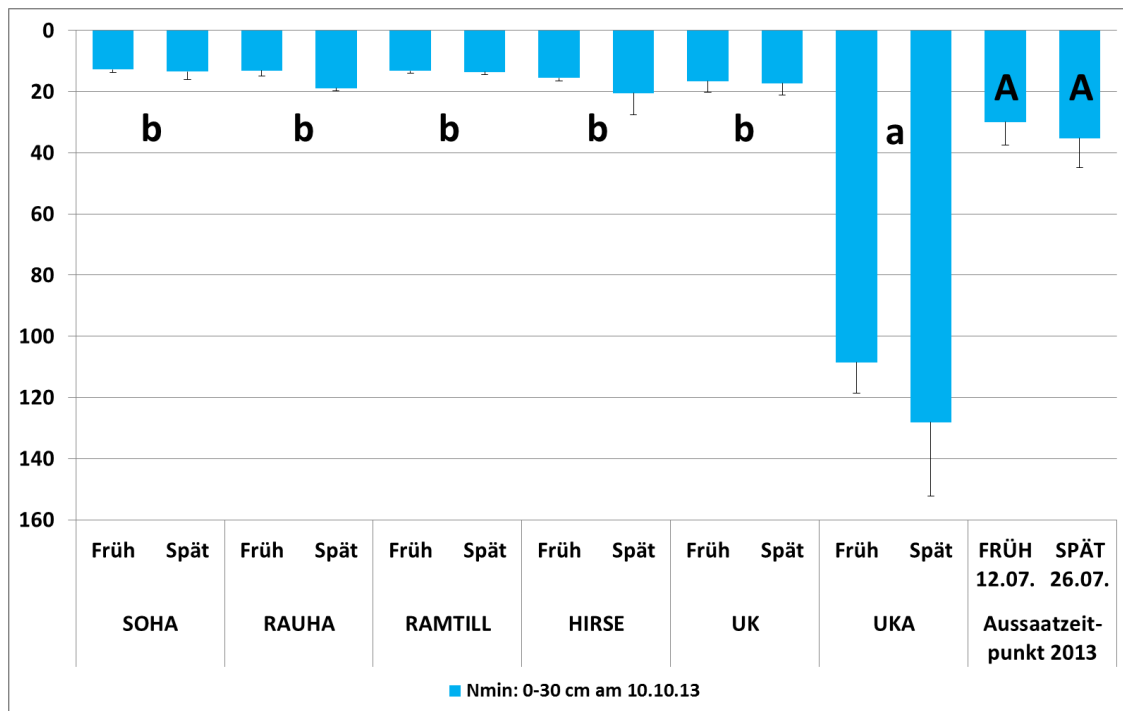


Abb. 3.3.8: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf die N_{\min} -Menge in 0 bis 30 cm Bodentiefe zu Vegetationsende am 10.10.2013 (Wechselwirkung $S \times A$: nicht signifikant; Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

Sowohl bei der im folgenden Jahr auf der Bodenoberfläche verbliebenen Mulchmasse als auch der vorhandenen Unkrautmasse bestand zwischen dem Aussattermin der Zwischenfrucht und der Zwischenfruchtart eine signifikante Wechselwirkung. So waren nach späterer Saat bei Sommerhafer und Rauhafer mit 34 bzw. 22 dt TM ha⁻¹ deutlich höhere Mulchmassen vorhanden als nach früherer Saat, während bei Ramtillkraut und Rispenhirse mit 12 bzw. 20 dt TM ha⁻¹ nach früherer Saat der Zwischenfrucht deutlich mehr Mulchmasse im folgenden Frühjahr vorhanden war als nach späterer Saat (5 bzw. 10 dt TM ha⁻¹, Abb. 3.3.9).

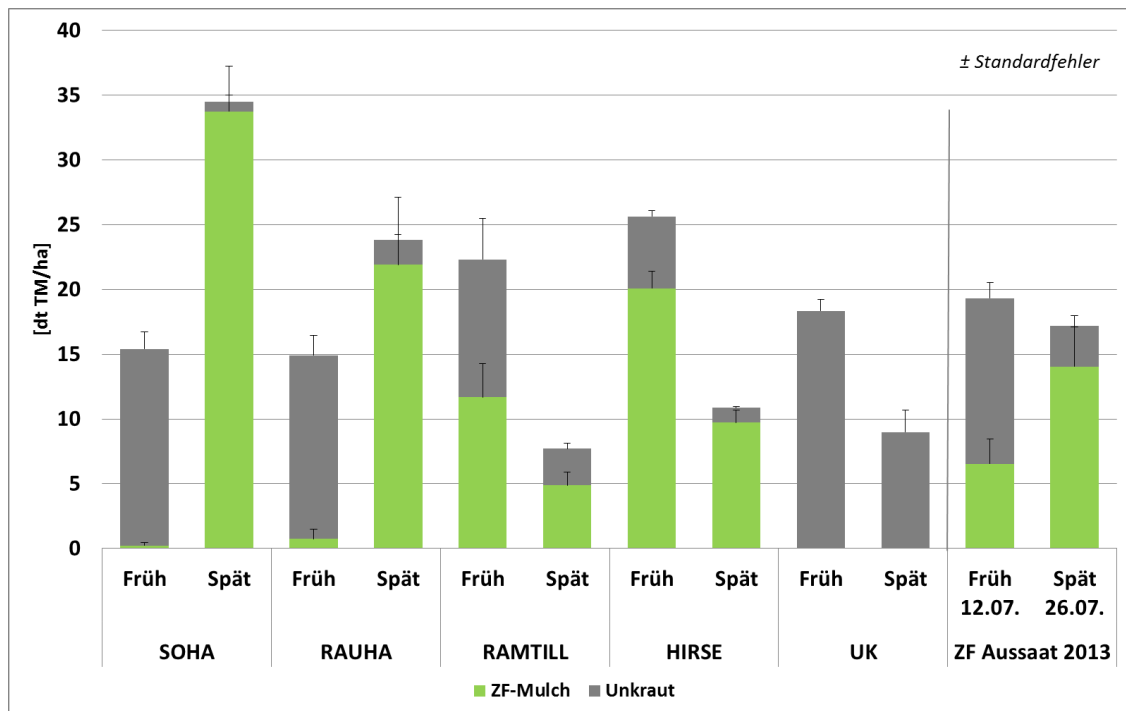


Abb. 3.3.9: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf die im folgenden Frühjahr (05.03.2014) verbliebene Mulchmasse der Zwischenfrucht und vorhandene Sprossmasse der Unkräuter (Mulchmasse der Zwischenfrüchte sowie Sprossmasse der Unkräuter: Wechselwirkung S × A: signifikant, $P < 0,05$)

Entgegengesetzt zur Menge der jeweils nach früher bzw. später Saat der Zwischenfrucht vorhandenen Mulchmasse verhielt sich die Sprossmasse des Unkrautes, die mit steigender Mulchmasse entsprechend zurückging.

Der Saattermin der Zwischenfrüchte spiegelte sich auch noch im C/N-Verhältnis der nach Winter auf der Bodenoberfläche verbliebenen Mulchmasse wider. Eine frühe Saat der Zwischenfrucht führte zu einem um 6,7 Einheiten leicht, allerdings nicht signifikant erweiterten C/N-Verhältnis in der verbliebenen Mulchmasse (Abb. 3.3.10). Es war auch kein signifikanter Einfluss der Pflanzenart auf das C/N-Verhältnis der nach Winter verbliebenen Mulchmasse vorhanden.

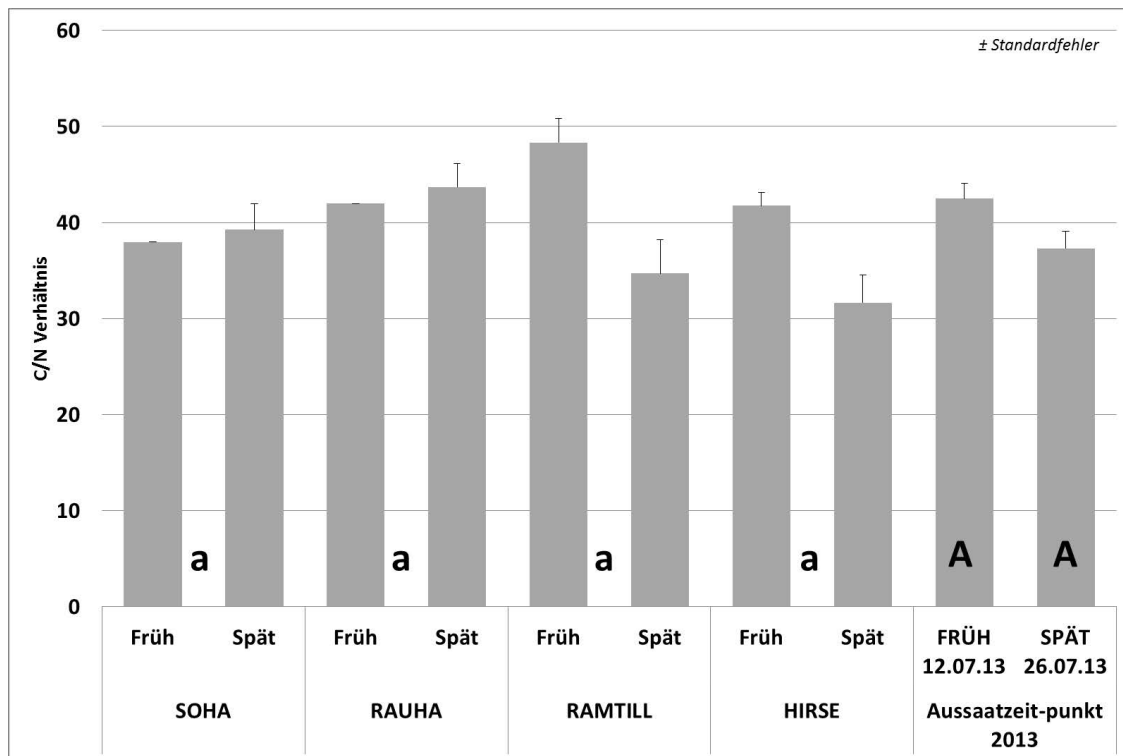


Abb. 3.3.10: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf das C/N-Verhältnis der im folgenden Frühjahr (05.03.2014) verbliebenen Mulchmasse der Zwischenfrucht (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant)

Zu Vegetationsbeginn der Erbsen lagen in 0 bis 30 cm Bodentiefe zwischen 13,4 (später Saattermin der Rispenhirse) und 58,8 kg N_{min} ha⁻¹ (später Saattermin Rauhafer) im Boden vor (Abb. 3.3.11).

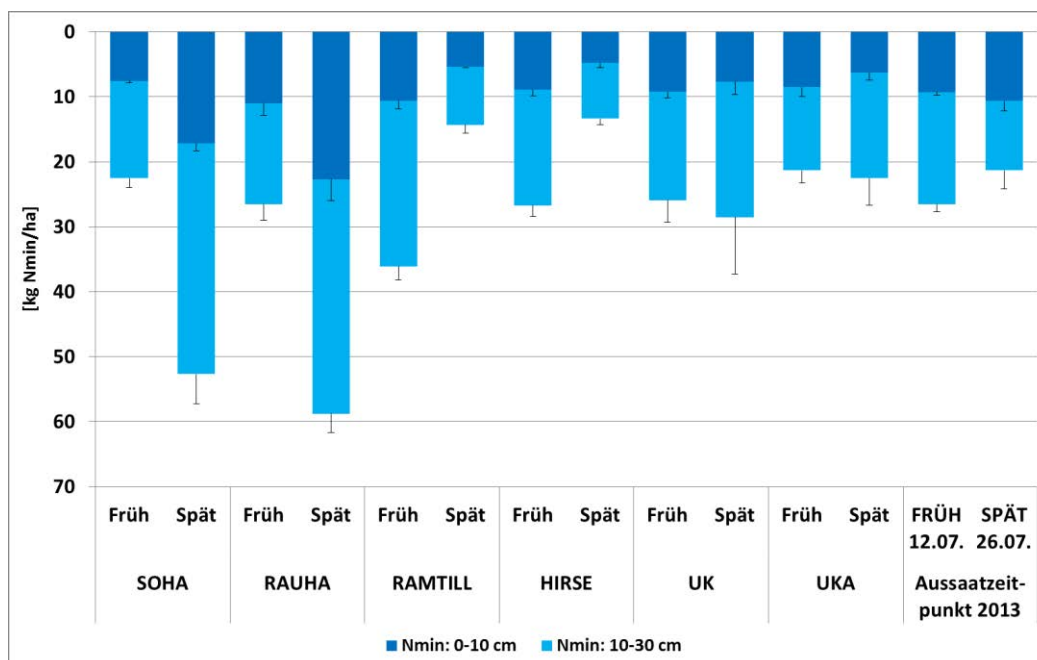


Abb. 3.3.11: Einfluss des Saattermins (S) der Zwischenfrüchte und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den N_{min}-Vorrat im Boden am 17.03.2014 (Wechselwirkung S × A: signifikant, P < 0,05)

Zwischen Saattermin der Zwischenfrucht und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase lag eine signifikante Wechselwirkung vor: Während bei Sommerhafer und Rauhafer nach später Saat höhere N_{\min} -Vorräte im Boden vorlagen als nach früherer Saat der Zwischenfrucht, war dieses bei Ramtillkraut und Rispenhirse in entgegengesetzter Richtung der Fall. Unterschiede waren hierbei im Wesentlichen in der Bodentiefe 10 bis 30 cm zu verzeichnen.

Der Feldaufgang der Erbse lag im Mittel der Arten und Saattermine der Zwischenfrucht nach Direktsaat mit 72,5 % der ausgesäten keimfähigen Samen etwa 6% unter dem Feldaufgang der Erbse nach Mulchsaat (im Mittel 78,4 %, Abb. 3.3.12 und Abb. 3.3.13).

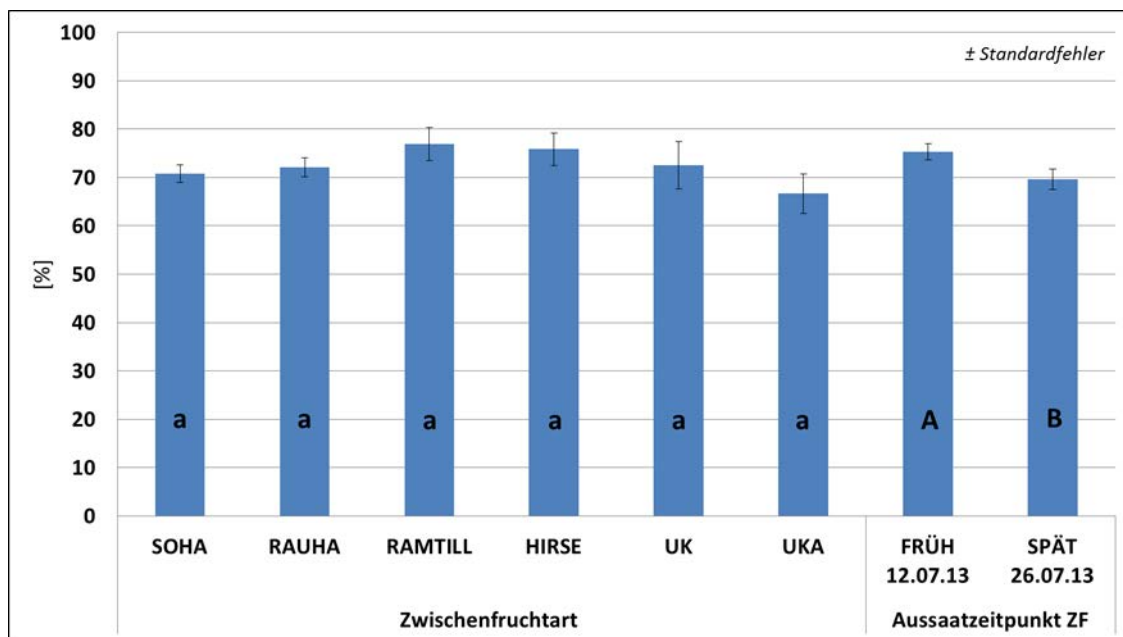


Abb. 3.3.12: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den Feldaufgang der Erbse nach Direktsaat (Wechselwirkung $S \times A$: nicht signifikant, Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

Die Art der Zwischenfrucht hatte weder in Direktsaat noch in Mulchsaat einen signifikanten Einfluss auf den Feldaufgang der Erbse. Allerdings wirkte sich der frühe Saattermin der Zwischenfrucht positiv auf den Feldaufgang der Erbse in Direktsaat aus. Dieser war signifikant höher (5,7%) als nach späterer Saat der Zwischenfrucht (Abb. 3.3.12 und Abb. 3.3.13).

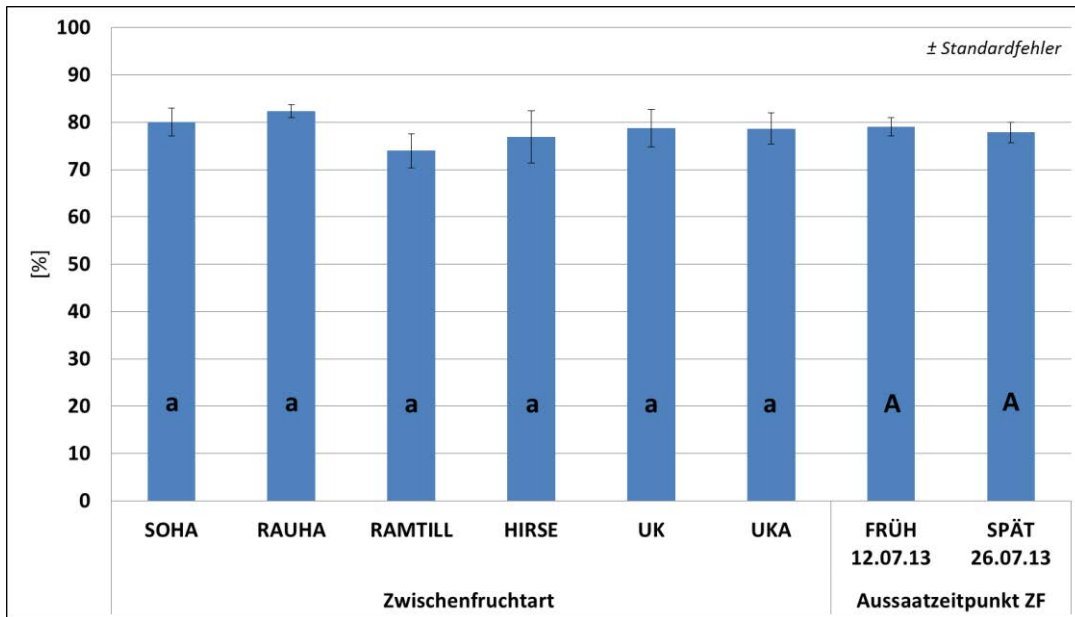


Abb. 3.3.13: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den Feldaufgang der Erbse nach Mulchsaat (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant, Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

Weder nach Direktsaat noch nach Mulchsaat. Es wurde keine signifikante Wechselwirkung zwischen dem Saattermin, der Art der Zwischenfrucht und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase hinsichtlich der Sprossmasse der Unkräuter, der Erbse und der Summe des Sprossertrages aus Unkräutern und Erbse zum Zeitpunkt des Beginns der Erbsenblüte festgestellt (Abb. 3.3.14 und 3.3.15).

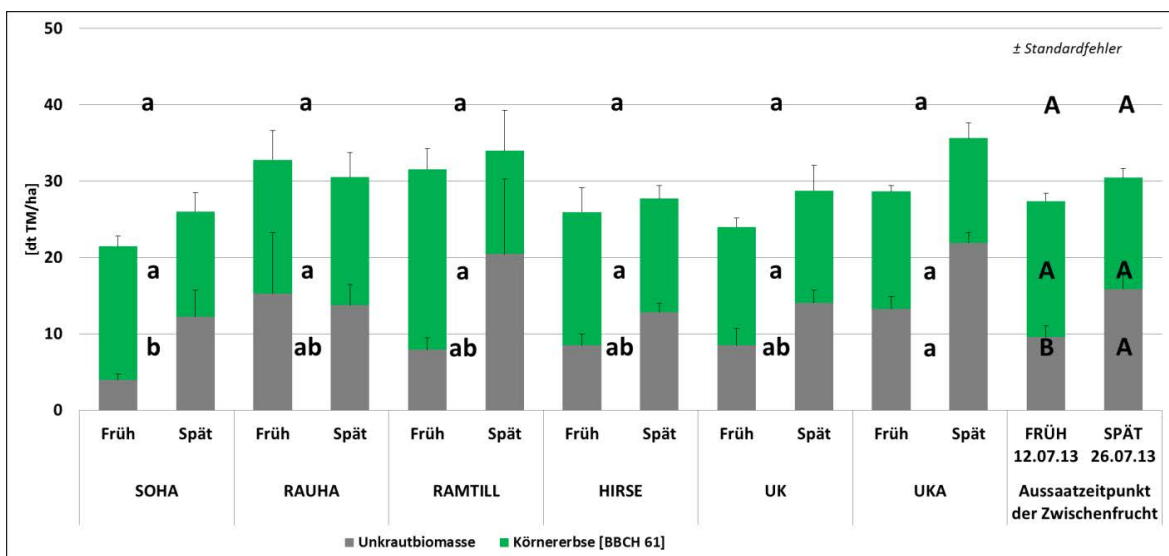


Abb. 3.3.14: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den Sprossertrag der Erbse und Unkräuter nach Direktsaat am 05.06.2014 (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant, Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

Bei statistisch nicht signifikant verschiedenem Gesamtsprossertrag nach früher und später Saat der Zwischenfrucht führte hingegen sowohl bei Direkt- als auch bei Mulchsaat die frühe Saat der Zwischenfrucht im Mittel zu einem signifikant verminderten Sprossertrag der Unkräuter und signifikant erhöhten Sprossertrag der Erbse im Vergleich zur späten Saat der Zwischenfrucht.

Während nach Mulchsaat weder der Sprossertrag der Unkräuter noch von Erbse signifikant durch die Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase beeinflusst wurde (Abb. 3.3.15), wurde bei Direktsaat nach der Zwischenfrucht Sommerhafer ein signifikant geringerer Sprossertrag der Unkräuter in den Erbsen festgestellt (8,1 dt TM ha⁻¹) als nach Schwarzbrache (17,6 dt TM ha⁻¹ in UKA, Abb. 3.3.14). Hiervon war der Sprossertrag der Erbse in Direktsaat allerdings nicht betroffen. Im Mittel wurde nach Direktsaat ein geringerer Sprossertrag der Erbse (16,2 dt TM ha⁻¹) als nach Mulchsaat (25,4 dt TM ha⁻¹), jedoch ein leicht höherer Sprossertrag der Unkräuter (12,7 versus 9,7 dt TM ha⁻¹) festgestellt.

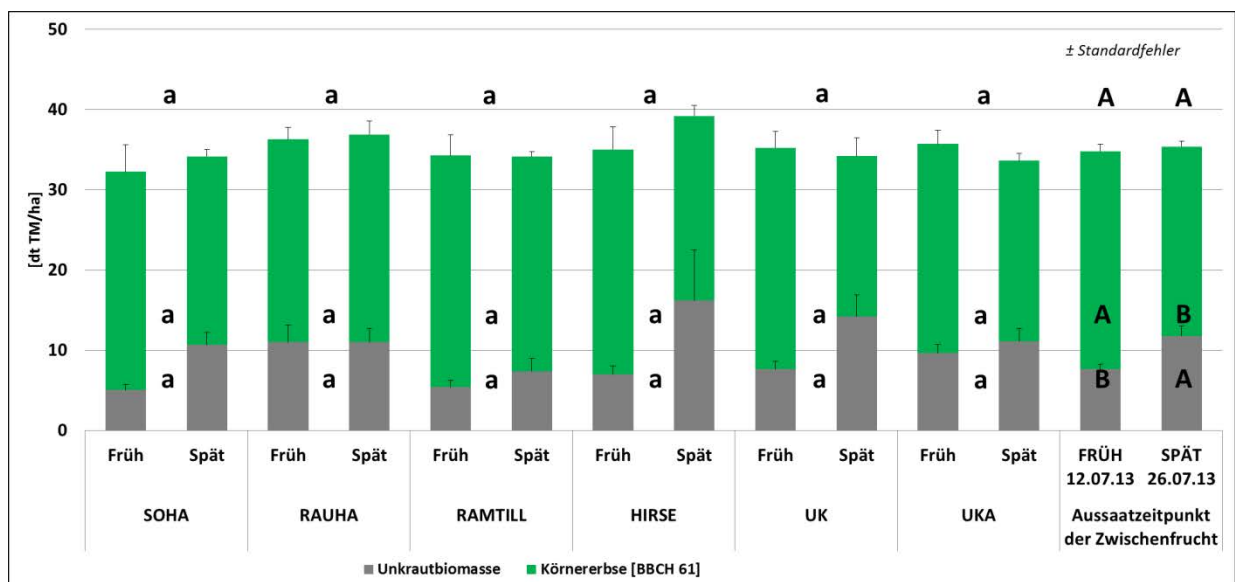


Abb. 15: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den Sprossertrag der Erbse und Unkräuter nach Mulchsaat am 05.06.2014 (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant, Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

Zur Blüte der Erbse wurde der Stickstoffversorgungsindex der Pflanze bestimmt. Weder in Direktsaat noch in Mulchsaat nahm die Art der Bewirtschaftung in der Phase des Zwischenfruchtbaus noch der Saattermin der Zwischenfrucht signifikant auf den Stickstoffversorgungsgrad der Erbse Einfluss (Abb. 3.3.16 und Abb. 3.3.17). Allerdings war in Direktsaat zu beobachten, dass der Stickstoffversorgungsindex der Erbse nach später Saat mit Ausnahme bei Sommerhafer geringer ausfiel als nach später Saat. Es zeigte sich zudem, dass im Mittel der Prüfglieder nach Direktsaat mit im Mittel 0,99 die Erbse einen geringeren Grad der N-Versorgung aufwies als nach Mulchsaat (Mittel aller Prüfglieder: 1,05).

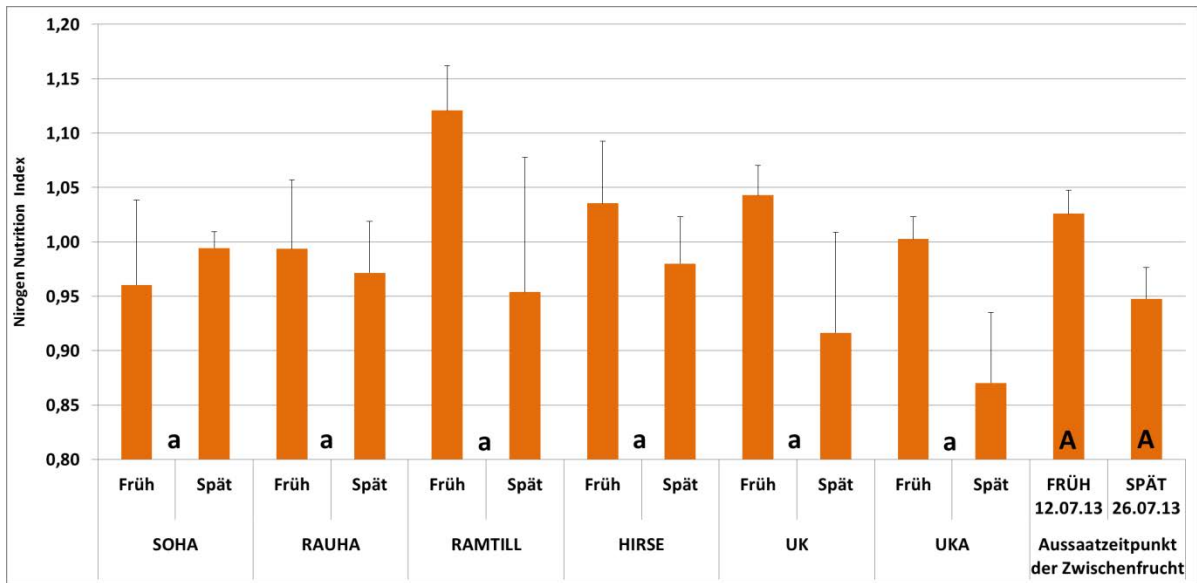


Abb. 3.3.16: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den Stickstoffversorgungsindex (NNI) der Erbse nach Direktsaat am 05.06.2014 (Wechselwirkung $S \times A$: nicht signifikant, Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

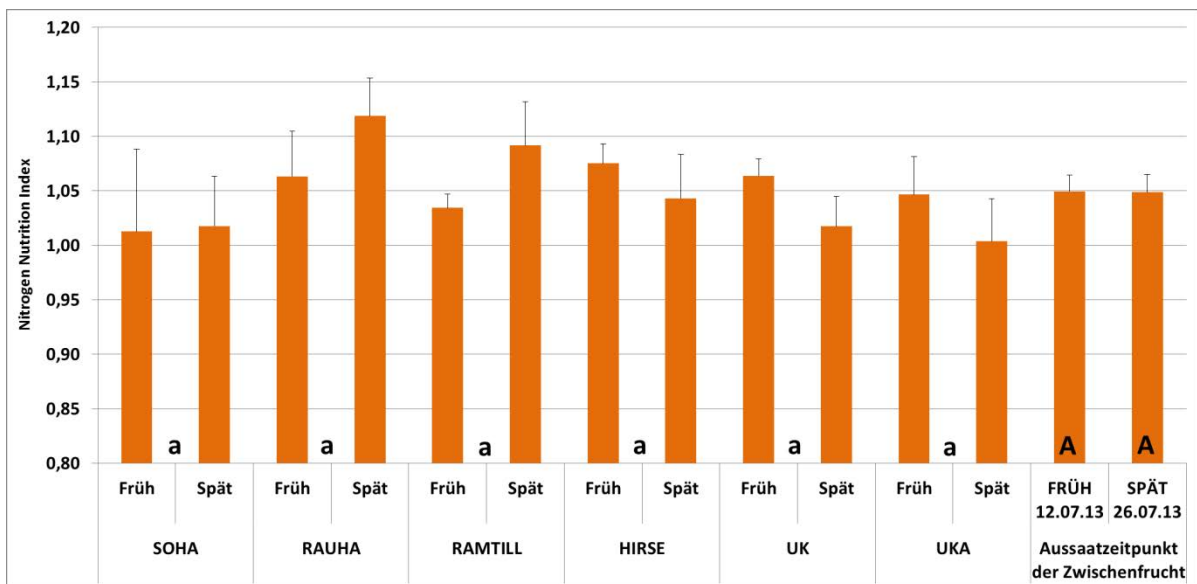


Abb. 3.3.17: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den Stickstoffversorgungsindex (NNI) der Erbse nach Mulchsaat am 05.06.2014 (Wechselwirkung $S \times A$: nicht signifikant, Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

Durch die Art der Bewirtschaftung der Zwischenfruchtphase und den Zeitpunkt der Saat der Zwischenfrucht wurden die N-Aufnahme der Erbse und die Summe der N-Aufnahme von Erbse und Unkraut zum Zeitpunkt der Blüte der Erbse nicht signifikant beeinflusst. Im Gegensatz hierzu war durch eine frühe Saat der Zwischenfrucht die N-Akkumulation im Spross der Unkräuter signifikant gemindert (22,4 versus 39,6 kg N ha⁻¹, Abb. 3.3.18). Im Mittel war eine N-Aufnahme im Spross der Unkräuter und der Erbse nach Direktsaat von 78,1 kg N ha⁻¹ zur Blüte der Erbse zu verzeichnen.

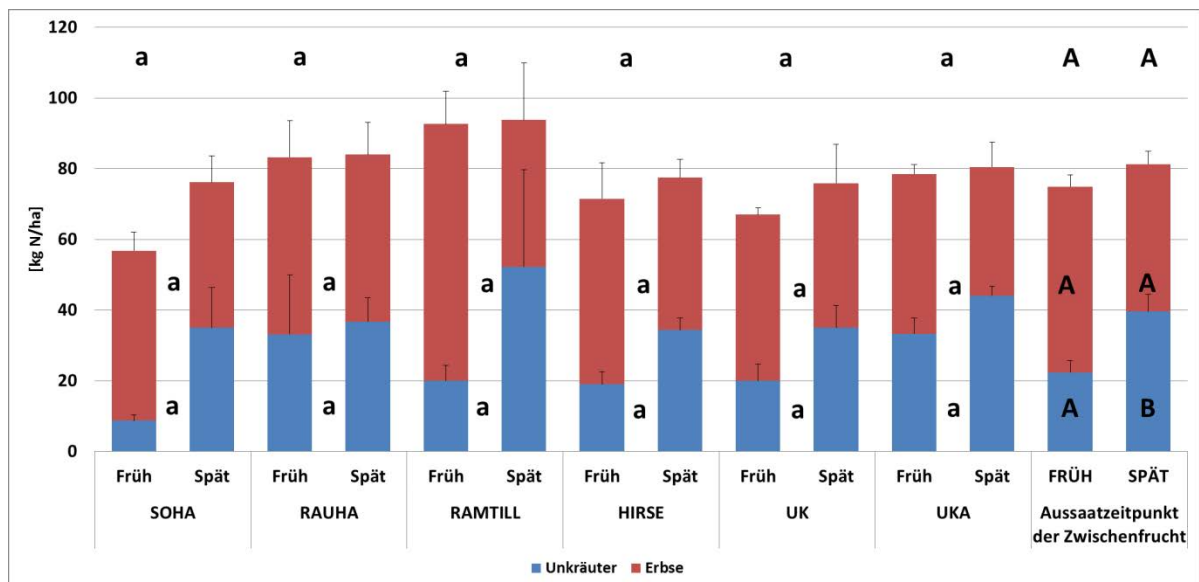


Abb. 3.3.18: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den N-Ertrag im Spross der Unkräuter und der Erbse nach Direktsaat zur Blüte der Erbsen am 05.06.2014 (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant, Tukey-Test, α = 0,05)

Auch nach Mulchsaat der Erbse war nach früher Einsaat der Zwischenfrucht eine signifikant geringere N-Akkumulation im Spross der Unkräuter im Mittel der Art der Bewirtschaftung in der Phase des Zwischenfruchtbaus zu verzeichnen (Abb. 3.3.19, 20,0 versus 30,6 kg N ha⁻¹). Gleichzeitig nahm der Art der Zwischenbewirtschaftung keinen signifikanten Einfluss auf den N-Ertrag in der Sprossmasse der Unkräuter und der Erbse sowie der Summe aus beiden Bestandekomponenten. Die Summe der N-Akkumulation betrug hier im Mittel 97,7 kg N ha⁻¹.

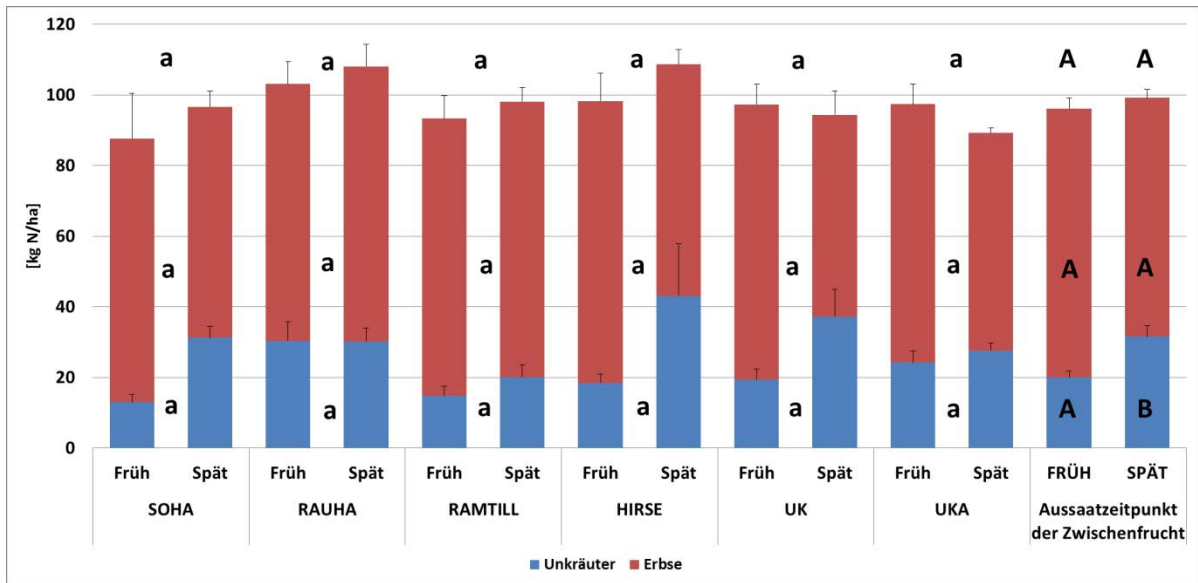


Abb. 19: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den N-Ertrag im Spross der Unkräuter und der Erbse nach Mulchsaat zur Blüte der Erbsen am 05.06.2014 (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant, Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

Zur Druschreife der Erbsen war im Jahr 2014 weder nach Direktsaat (Abb. 3.3.20) noch nach Mulchsaat (Abb. 3.3.21) eine signifikante Wechselwirkung zwischen dem Saattermin der Zwischenfrucht und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase hinsichtlich der Sprossmasse der Unkräuter, des Stroh- und Kornertrages der Erbse und der Summe des Sprossertrages aus Unkräutern und Erbse vorhanden.

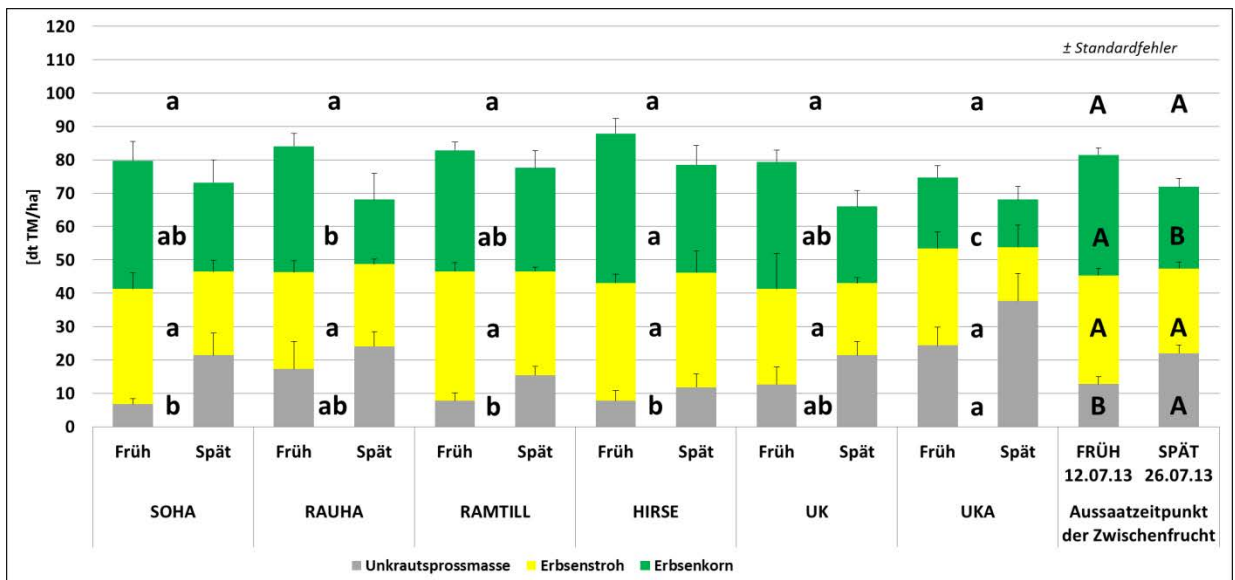


Abb. 20: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den Sprossertrag der Erbse und Unkräuter nach Direktsaat zur Druschreife der Erbsen am 30.07.2014 (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant, Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

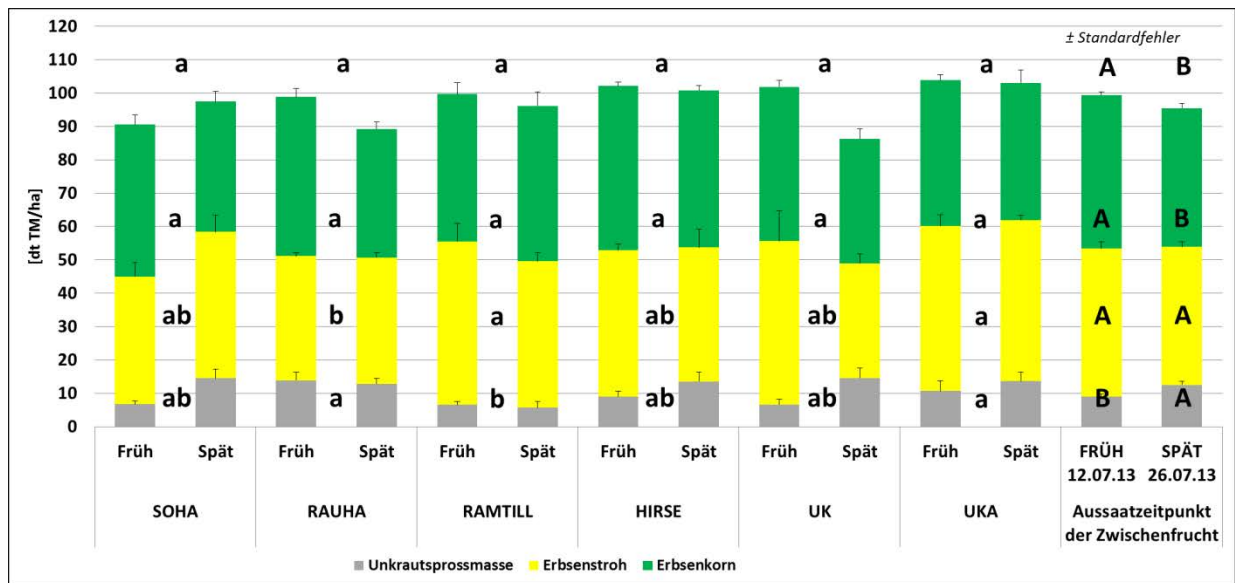


Abb. 21: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den Sprossertrag der Erbse und Unkräuter nach Mulchsaat zur Druschreife der Erbsen am 30.07.2014 (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant, Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

Der Gesamtsprossertrag der Bestände lag in der Mulchsaat mit im Mittel der Bewirtschaftungsvarianten in der Zwischenfruchtphase bei 99,5 dt TM ha⁻¹ nach früherer Saat signifikant über dem Ertrag nach späterer Saat der Zwischenfrüchte (im Mittel 95,5 dt TM ha⁻¹). Dieser Sachverhalt war in Direktsaat ebenfalls gegeben (im Mittel 81,4 versus 71,9 dt TM ha⁻¹) jedoch hier nicht signifikant. Der spätere Saattermin wirkte sich allerdings sowohl in Direktsaat (36,1 versus 24,4 dt TM ha⁻¹) als auch in Mulchsaat (46,1 versus 41,6 dt TM ha⁻¹) negativ auf den mittleren Kornertrag der Erbse aus. Die spätere Etablierung der Zwischenfrüchte führte zudem in beiden Systemen der Bodenbearbeitung zu einer im Vergleich zu früherer Etablierung der Zwischenfrucht signifikant erhöhtem Sprossertrag der Unkräuter in den Erbsen, die in Direktsaat mit + 9,2 dt TM ha⁻¹ größer ausfiel als in Mulchsaat (+ 3,5 dt TM ha⁻¹). In Direktsaat führte im Vergleich zur Schwarzbrache (UKA) der Anbau von Sommerhafer, Rauhafer und Rispenhirse im Zwischenfruchtbau zu einer signifikanten Senkung des Sprossertrages der Unkräuter (Abb. 3.3.20), während dieses in Mulchsaat nur beim Ramtillkraut zu verzeichnen war (Abb. 3.3.21). Das im Vergleich zur Schwarzbrache (UKA) durch den Anbau der Zwischenfrüchte reduzierte Unkrautwachstum in den Erbsen war auch mit einem signifikant höheren Kornertrag der Erbse nach Zwischenfruchtbau verbunden, allerdings war dieser Effekt nur in Direktsaat gegeben.

Die Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase führte bei früher Einsaat der Zwischenfrucht im Mittel aller Varianten zu einem signifikant höheren N-Ertrag in Korn und Stroh der Erbsen und einer signifikant geringeren N-Akkumulation im Spross der Unkräuter (Abb. 3.3.22).

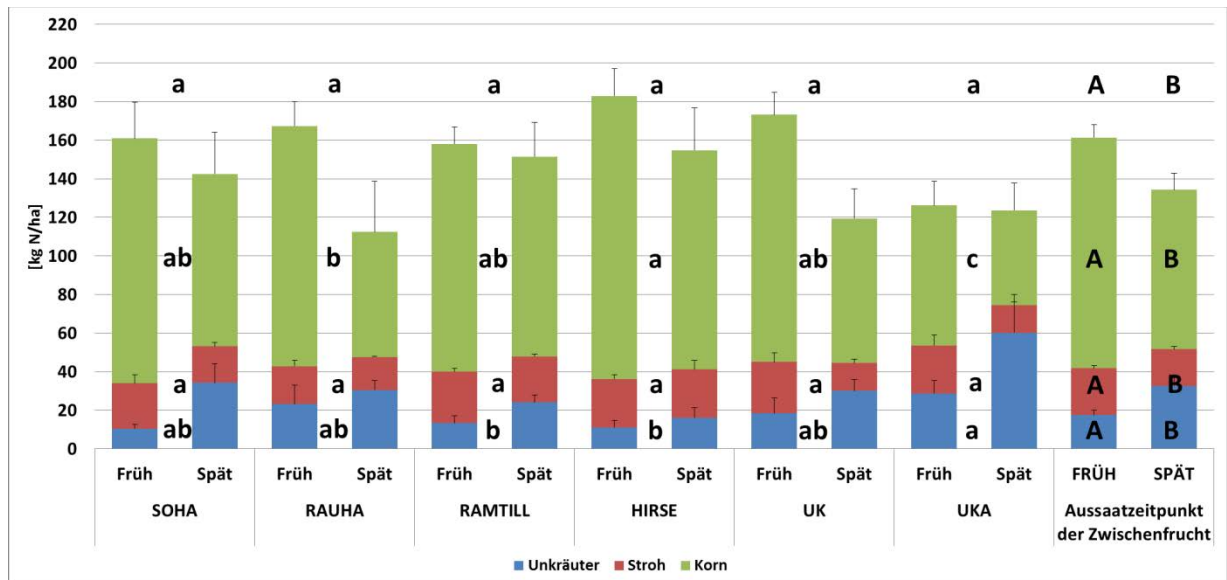


Abb. 22: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den N-Ertrag im Spross der Unkräuter sowie in Stroh und Korn der Erbsen nach Direktsaat zur Druschreife der Erbsen am 30.07.2014 (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant, Scheffe-Test, $\alpha = 0,05$)

So betrug die entsprechende N-Menge im Korn, Stroh und Unkräutern nach früher Saat der Zwischenfrucht 119,5, 24,3 und 17,5 kg N ha⁻¹ und 82,6, 19,1 bzw. 32,6 kg N ha⁻¹ nach später Saat der Zwischenfrucht. Die Summe an akkumulierter N-Menge im Spross der Bestände betrug deshalb 161,3 kg ha⁻¹ nach früher und 134,3 kg ha⁻¹ nach später Saat der Zwischenfrucht. Durch die frühe Saat der Zwischenfrucht wurde nicht nur die gesamte N-Akkumulation im Spross der Bestände gesteigert, sondern auch der Anteil der N-Menge des Bestandes, der durch die Erbsen akkumuliert wurde (89 % nach früher versus 76 % nach später Saat der Zwischenfrucht). Die Zwischenfrüchte Rispenhirse und Ramtillkraut erwiesen sich nicht nur im Hinblick auf die geringere N-Akkumulation im Spross der Unkräuter, sondern auch hinsichtlich der N-Akkumulation in der Kornmasse der Erbsen als signifikant verschieden zum Bestand nach unkrautfrei bis zur Saat der Erbsen gehaltenen Bestände.

Nach Mulchsaat der Erbse führte auch eine späte Saat der Zwischenfrucht im Vergleich zur frühen Saat im Mittel der geprüften Arten der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase zu einer signifikant erhöhten N-Akkumulation im Spross der Unkräuter (20,5 versus 15,7 kg N ha⁻¹) und signifikant verminderten N-Menge in der Kornmasse der Erbsen (82,6 versus 119,5 kg N ha⁻¹, Abb. 3.3.23). Im Mittel der Saattermine der Zwischenfrüchte akkumulierten die Unkräuter im Erbsenbestand nach Rauhafer deutlich mehr Stickstoff im Spross als nach Ramtillkraut (23,7 versus 11,0 kg N ha⁻¹).

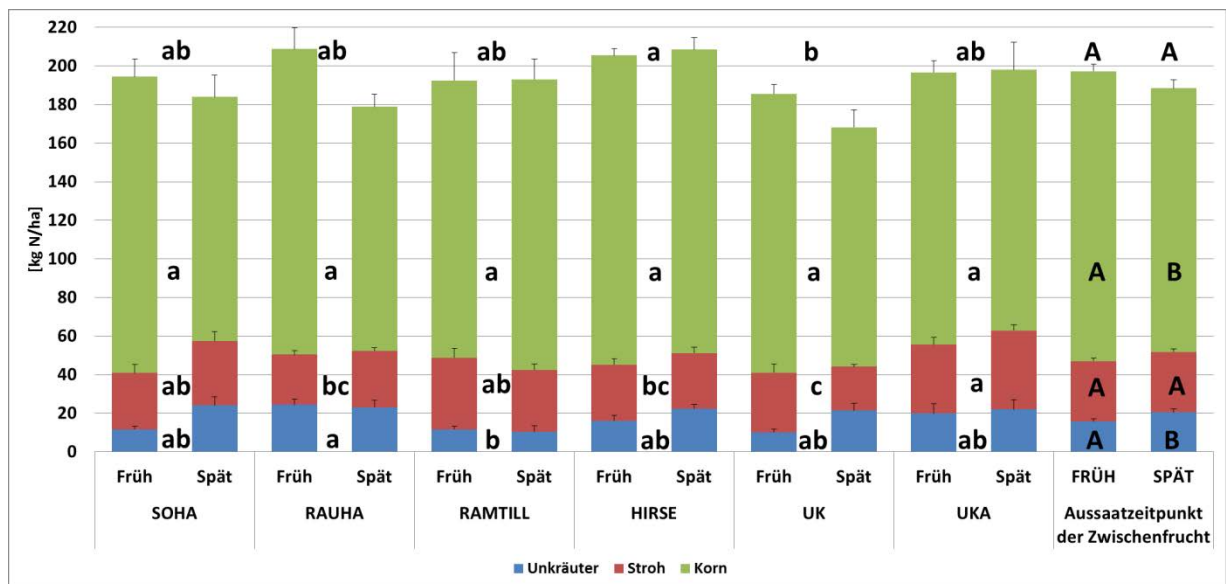


Abb. 3.3.23: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den N-Ertrag im Spross der Unkräuter sowie in Stroh und Korn der Erbse nach Mulchsaat zur Druschreife der Erbsen am 30.07.2014 (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant, Scheffé-Test, $\alpha = 0,05$)

Versuchsserie 2014/2015

Zwischenfrüchte

Im Jahr 2014 liefen die Zwischenfrüchte unabhängig vom Saattermin mit Feldaufgängen zwischen 62,2 % (früh) und 70,5 % (spät) der ausgesäten keimfähigen Körner noch hinreichend gut auf (Abb. 3.3.24). Im Mittel der Saattermine lag allerdings der Feldaufgang der Rispenhirse (49,4 %) signifikant unter der des Sommerhafers (71,0 %) und des Rauhafers (74,4 %).

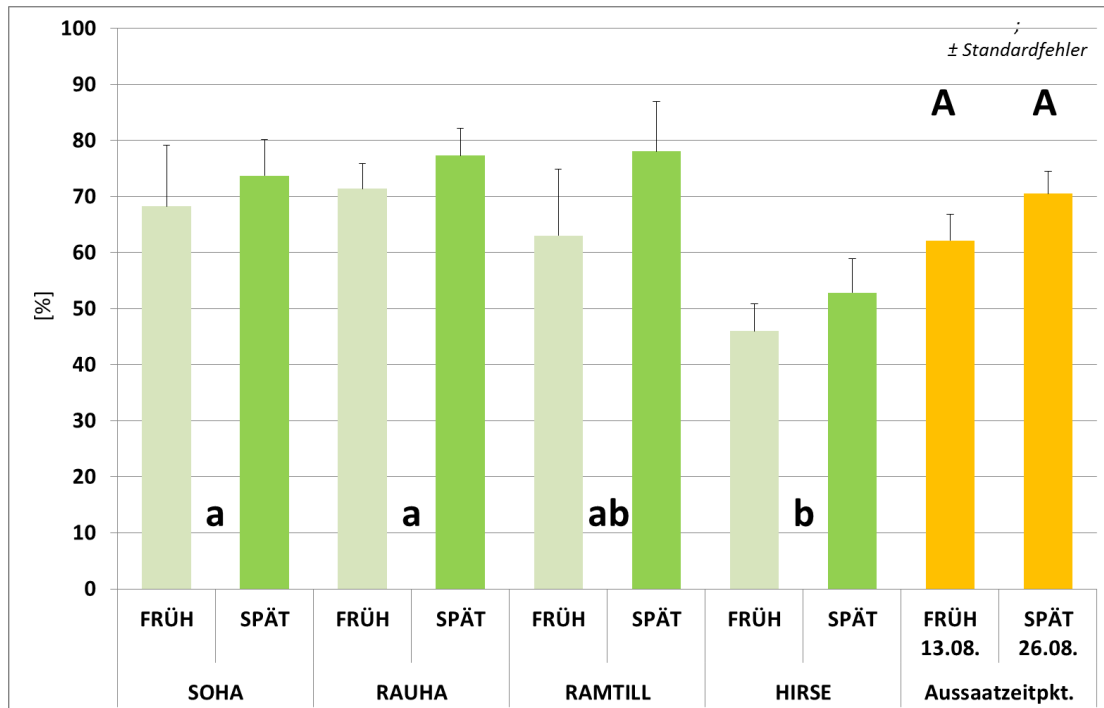


Abb. 3.3.24: Einfluss des Saattermins (S) und der Pflanzenart (P) auf den Feldaufgang der Zwischenfrüchte im Jahr 2014 (Wechselwirkung S × P: nicht signifikant; Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

Im Gegensatz zum Sprossertrag der Zwischenfrüchte wurde der Sprossertrag der Unkräuter durch die spätere Saat signifikant um im Mittel 2,6 dt TM ha⁻¹ reduziert (Abb. 3.3.25). Der Sprossertrag der Zwischenfrüchte fiel aber mit im Mittel der Saattermine der Zwischenfrüchte 7,6 dt TM ha⁻¹ infolge eines um einen Monat im Vergleich zu 2013 verspäteten Saattermines der Zwischenfrüchte im Jahr 2014 deutlich geringer als 2013 aus. Hierbei zeichneten sich Sommerhafer und Rauhafer durch einen signifikant höheren Sprossertrag als Rispenhirse und Ramtillkraut aus. Zugleich führte das geringe Wachstum der Zwischenfrüchte Rispenhirse und Ramtillkraut auch zu einem gegenüber Sommerhafer und Rauhafer signifikant erhöhtem Wachstum der Unkräuter (Abb. 3.3.25).

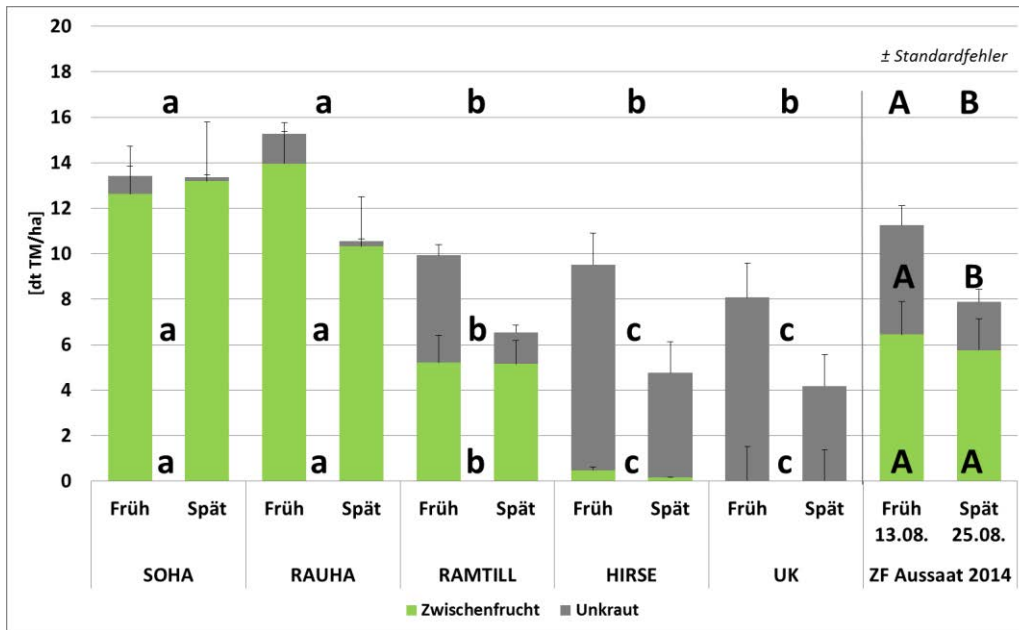


Abb. 3.3.25: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den Sprossertrag der Zwischenfrüchte und des Unkrautes am 07.11.2014 (Sprossertrag Gesamt, Zwischenfrüchte sowie Unkräuter: Wechselwirkung S × A nicht signifikant)

Durch die Verzögerung des Saattermines wurde im Gegensatz zu 2013 (Abb. 3) der Anteil Stängelmasse an der gesamten Sprossmasse der Zwischenfrüchte im Jahr 2014 nicht signifikant beeinflusst (Abb. 26). Er lag im Mittel der Zwischenfrüchte bei 36,4 bzw. 32,3 %. Ramtillkraut wies zugleich mit im Mittel der Saattermine 44,4 % einen signifikant höheren Anteil Stängelmasse an der Sprossmasse auf als Sommerhafer und Rauhafer (30,1 bzw. 30,4 %).

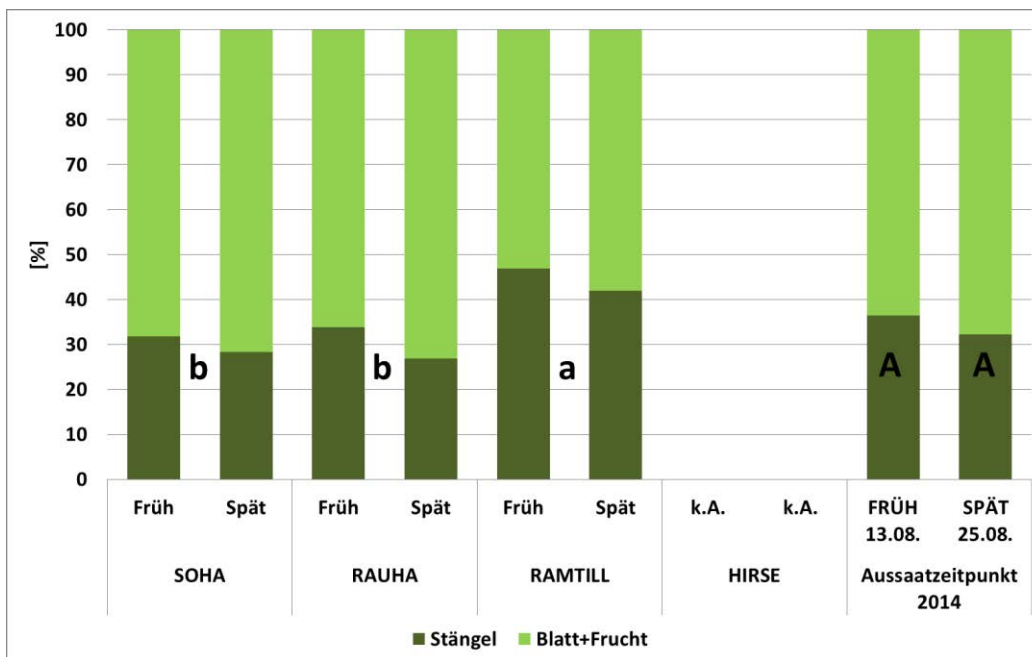


Abb. 26: Einfluss des Saattermins (S) und der Pflanzenart (P) auf den Anteil Stängel- bzw. Blatt und Fruchtstandstrockenmasse an der Sprossmasse der Zwischenfrüchte am 07.11.2014 (Wechselwirkung S × P: nicht signifikant, Scheffé-Test, $P < 0,05$)

Zwischen dem Saattermin der Zwischenfrüchte und der Pflanzenart lag hinsichtlich des C/N-Verhältnisses in der gesamten Sprossmasse der Zwischenfrüchte eine signifikante Wechselwirkung vor. Während bei Sommerhafer das C/N-Verhältnis durch den Saattermin nahezu nicht beeinflusst wurde, sank bei allen anderen Arten das Verhältnis um 2,5 (Rauhafer) bis 5 Einheiten (Ramtillkraut) ab. (Abb. 3.3.27).

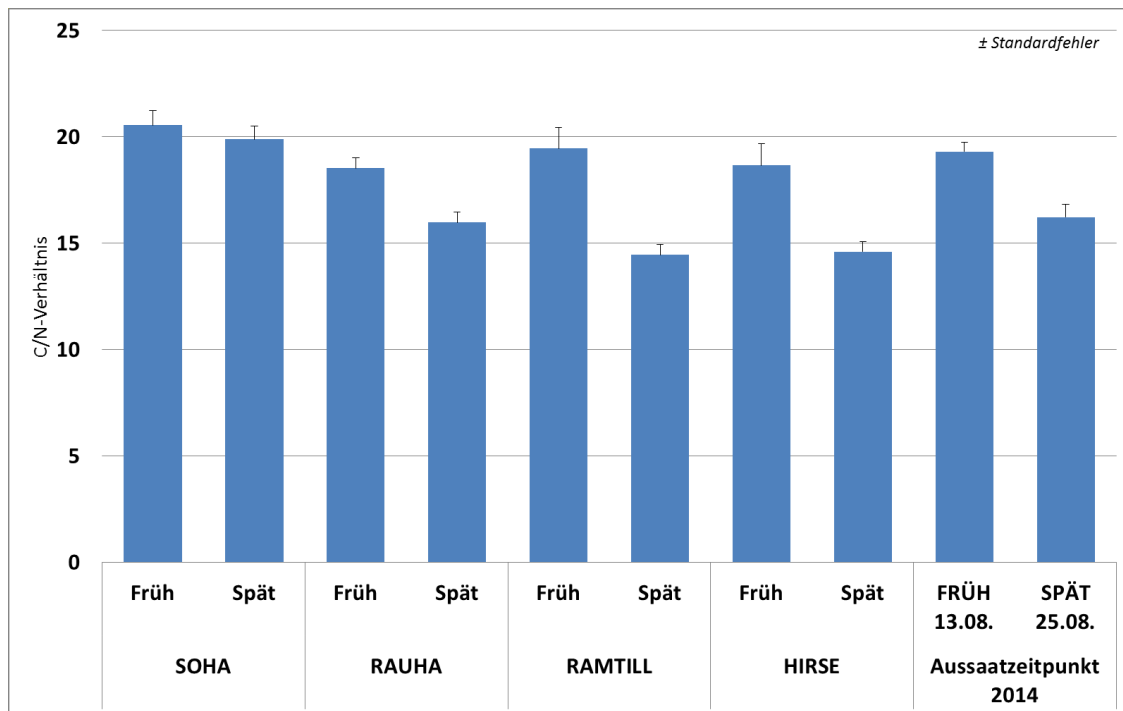


Abb. 27: Einfluss des Saattermins (S) und der Pflanzenart (P) auf das C/N-Verhältnis im Spross der Zwischenfrüchte am 07.11.2014 (Wechselwirkung S × P: signifikant, $P < 0,05$)

Ein späterer Saattermin der Zwischenfrüchte verengte in 2014 nur in der Sprossachse der Zwischenfrüchte das C/N-Verhältnis um 6,4 Einheiten signifikant, während es in der Blattmasse nahezu konstant blieb (16,1 zu 15,0, Abb. 3.3.28). Unterschiede zwischen den Arten im C/N-Verhältnis der Blattmasse und Sprossachse waren demgegenüber signifikant. Während das Ramtillkraut in der Blattmasse im Mittel der Saatzeit der Zwischenfrüchte mit 13,2 das signifikant geringste C/N-Verhältnis der geprüften Arten aufwies, lag in der Sprossachse mit 34 das weiteste C/N-Verhältnis aller geprüften Arten vor (Abb. 3.3 28).

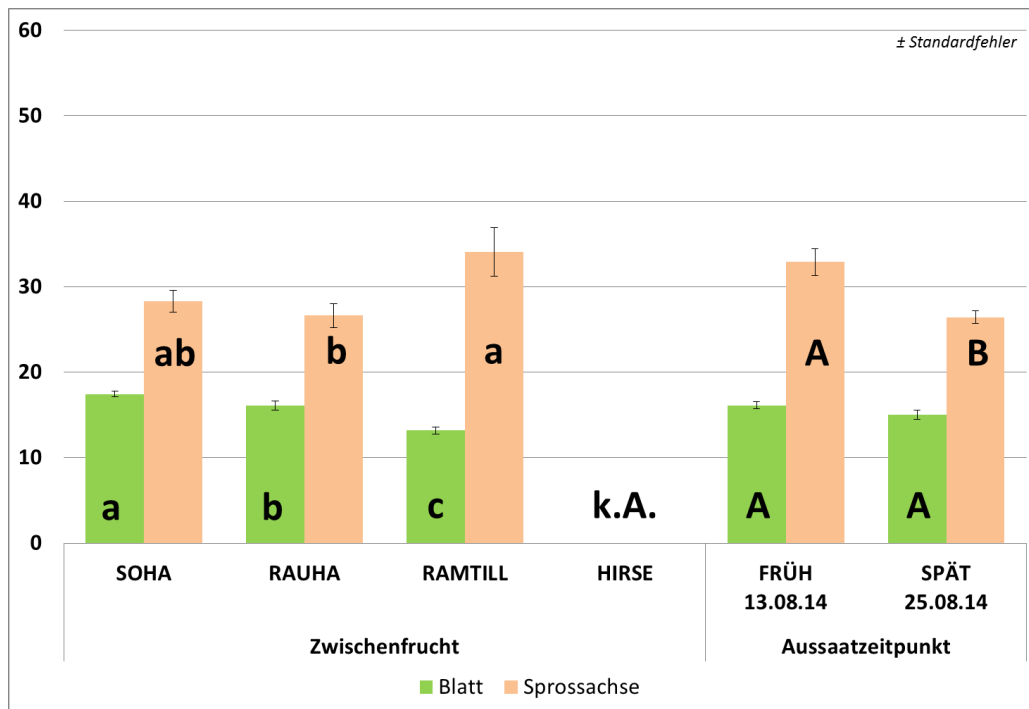


Abb. 3.3.28: Einfluss des Saattermins (S) und der Pflanzenart (P) auf das C/N-Verhältnis in der Blattmasse und Sprossachse der Zwischenfrüchte am 07.11.2014 (Wechselwirkung S × P: jeweils nicht signifikant, Scheffé-Test, $\alpha = 0,05$, k.A. = keine Analyseergebnisse verfügbar, da das Wachstum der Rispenhirse zu gering ausgefallen war)

Der Saatzeitpunkt der Zwischenfrüchte nahm lediglich auf die Summe der im Bestand akkumulierten N-Menge signifikant Einfluss, wobei bei frühem Saattermin 25,4 kg N ha⁻¹, bei spätem Saattermin 21,7 kg N ha⁻¹ akkumuliert wurden (Abb. 3.3.29). In den gut entwickelten Beständen mit Sommerhafer und Rauhafer wurden zudem signifikant höhere N-Mengen akkumuliert als in den Beständen mit Ramtillkraut und Hirse. Bei fehlendem Zwischenfruchtbestand nahmen die Unkräuter zwischen 12,2 und 22,7 kg N ha⁻¹ auf.

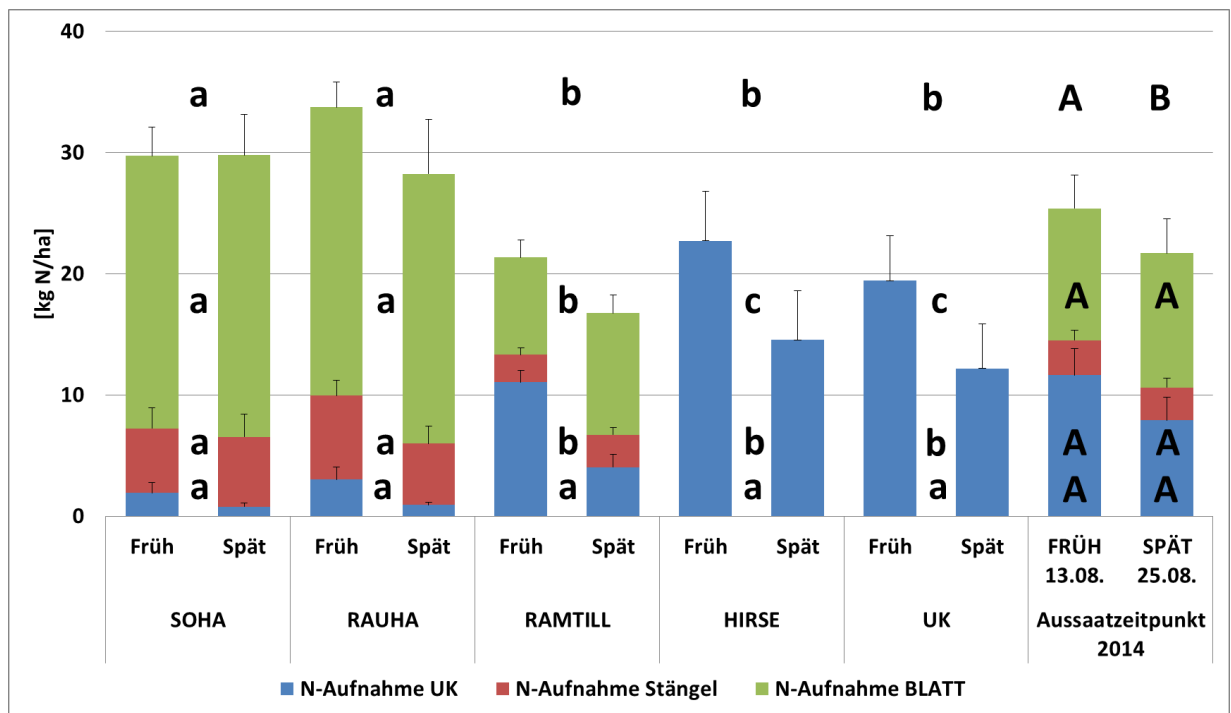


Abb. 3.3.29: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf die N-Menge in der Sprossmasse der Unkräuter (UK) sowie in der Blatt- und Fruchtstandmasse und Stängelmasse der Zwischenfrüchte am 07.11.2014 (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant für Summe der N-Menge im Spross, N-Menge in Stängel und Blatt sowie der Unkräuter; Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

Zum Zeitpunkt der Aussaat der Zwischenfruchtbestände lagen im Boden am 13.08.2014 in 0 bis 30 cm Tiefe 35,4 kg N_{min} ha⁻¹ vor, zum zweiten Saattermin am 25.08.2014 war die N_{min}-Menge im Boden auf 46,8 kg N_{min} ha⁻¹ angestiegen (Werte nicht dargestellt). Bis Vegetationsende reduzierte sich der N_{min}-Vorrat im Boden in den Parzellen mit Pflanzenbewuchs unabhängig vom Saattermin der Zwischenfrucht und Art des Pflanzenbestandes auf im Mittel 17,2 kg N_{min} ha⁻¹. Statistisch signifikant höhere N_{min}-Vorräte im Boden waren infolge des periodischen Abflammens unter Schwarzbrache mit 32,9 kg N_{min} ha⁻¹ zu verzeichnen (Abb. 3.3.30).

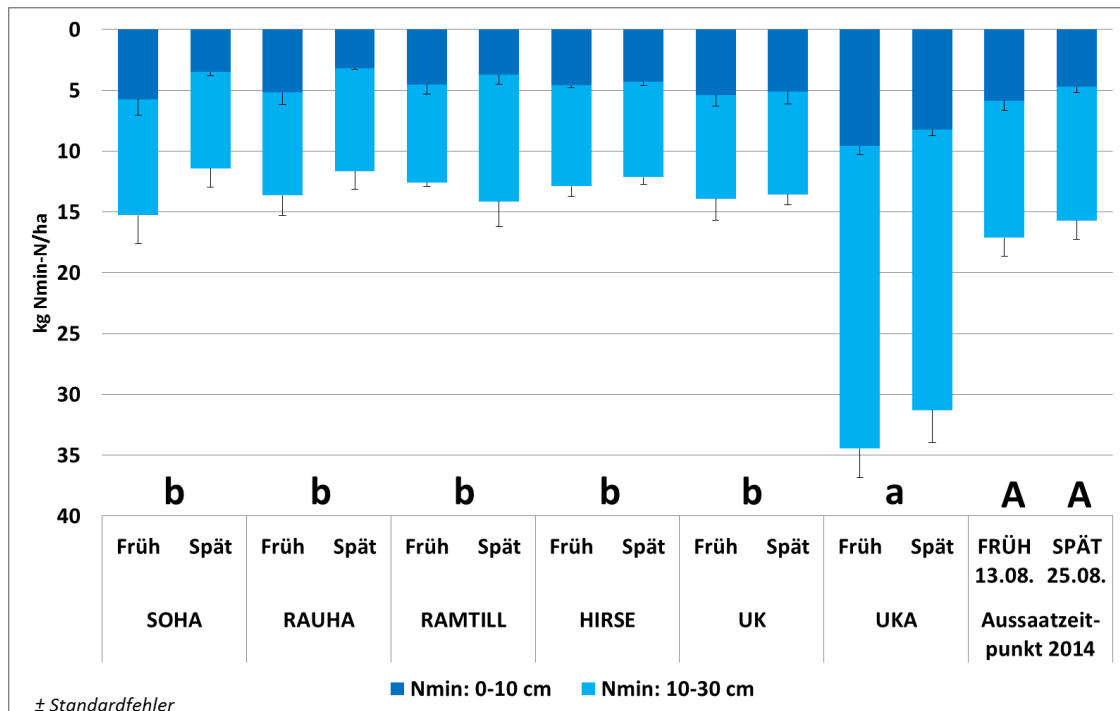


Abb. 3.3.30: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf die N_{min}-Menge in 0 bis 30 cm Bodentiefe zu Vegetationsende am 11.11.2014 (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant; Tukey-Test, α = 0,05)

Der Saattermin der Zwischenfrucht hatte im Jahr 2015 keinen Einfluss auf die im Mittel der geprüften Varianten verbliebene Mulchmasse der Zwischenfrüchte (Abb. 3.3.31). Sommerhafer und Rauhafer hinterließen mit 8,3 bzw. 10,5 dt TM ha⁻¹ signifikant höhere Mulchmassen als Ramtillkraut und Rispenhirse (0,7 bzw. 0 dt TM ha⁻¹). Entsprechend war nach Ramtillkraut und Rispenhirse (3,1 bzw. 5,2 dt TM ha⁻¹) signifikant mehr Sprossmasse an Unkräutern vorhanden als nach Sommerhafer und Rauhafer (0,2 bzw. 0 dt TM ha⁻¹).

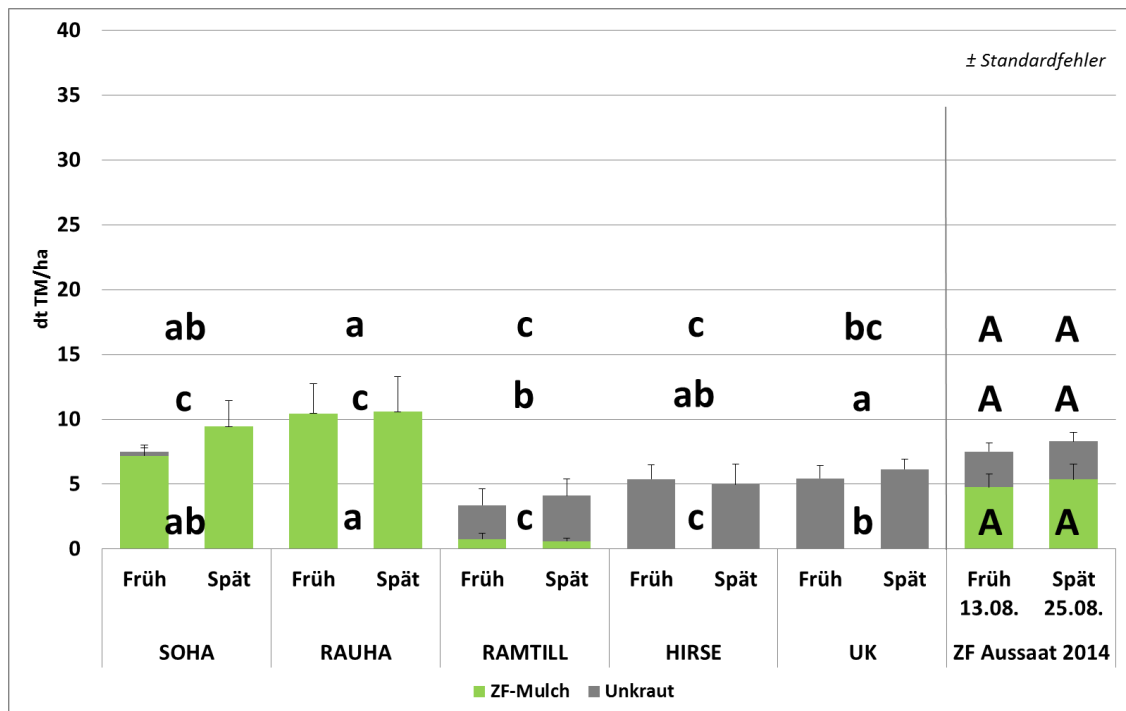


Abb. 3.3.31: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf die im folgenden Frühjahr (26.02.2015) verbliebene Mulchmasse der Zwischenfrüchte und vorhandene Sprossmasse der Unkräuter (Mulchmasse der Zwischenfrüchte sowie Sprossmasse der Unkräuter: Wechselwirkung S × A: nicht signifikant)

Saattermin und Zwischenfruchtart beeinflussten im Jahr 2015 das C/N-Verhältnis der im folgenden Frühjahr verbliebenen Mulchmasse der Zwischenfrüchte signifikant (Abb. 3.3.32). Als Folge nahm das C/N-Verhältnis durch einen späteren Saattermin der Zwischenfrüchte um im Mittel der Arten zwei Einheiten und nahm in der Reihenfolge der Zwischenfrüchte Ramtillkraut, Sommerhafer und Rauhafer von im Mittel der Saatzeiten 28, auf 20 und 17 signifikant ab.

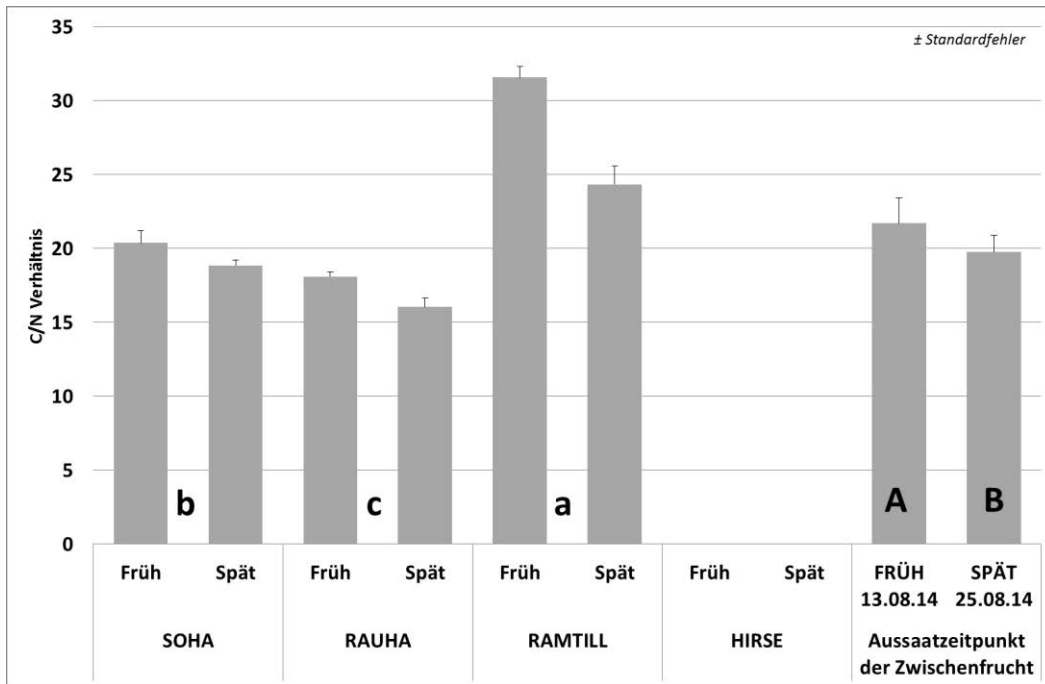


Abb. 3.3.32: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf das C/N-Verhältnis der im folgenden Frühjahr (26.02.2015) verbliebenen Mulchmasse der Zwischenfrucht (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant)

Zu Vegetationsbeginn der Erbsen im Frühjahr 2015 lagen in 0 bis 30 cm Bodentiefe im Mittel aller Prüfglieder 16,3 kg N_{min} ha⁻¹ in 0 bis 30 cm Bodentiefe vor. Weder die Art der Zwischenbewirtschaftung noch der Saattermin der Zwischenfrucht hatten einen signifikanten Einfluss auf die im Frühjahr zum Saatzeitpunkt der Erbse im Boden vorliegende N_{min}-Menge (Abb. 3.3.33).

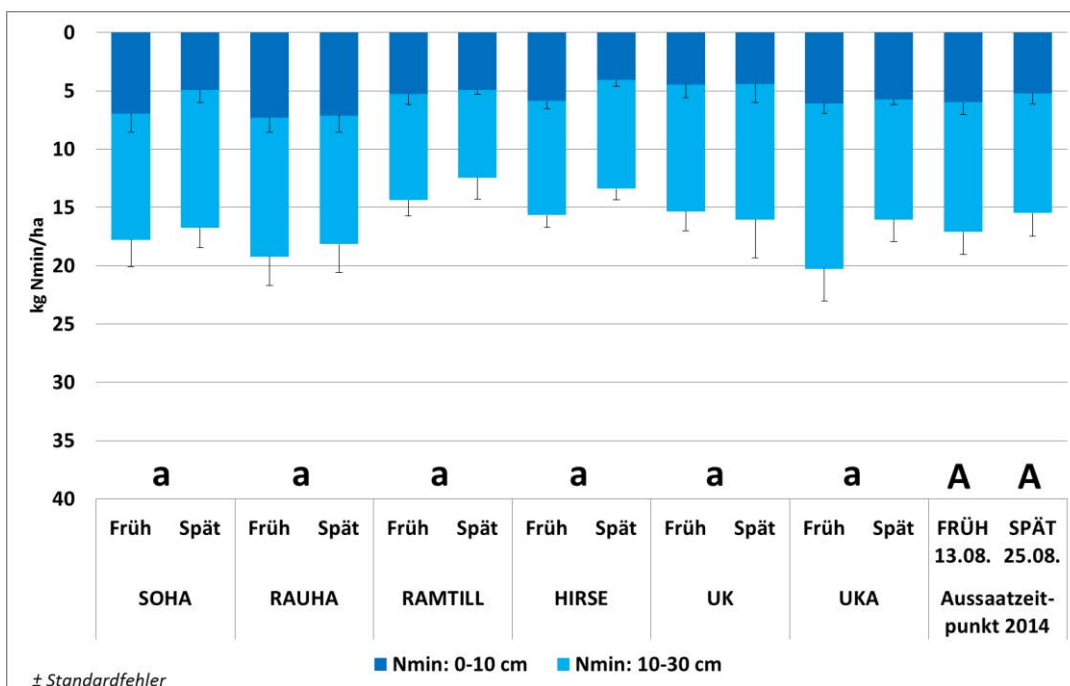


Abb. 3.3.33: Einfluss des Saattermins (S) der Zwischenfrüchte und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den N_{min}-Vorrat im Boden am 05.03.2015 (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant)

Der Feldaufgang der Erbse war im Mittel der Arten und Saattermine der Zwischenfrucht nach Direktsaat mit 80,8 % der ausgesäten keimfähigen Samen etwa 3% geringer als nach Mulchsaat (im Mittel 83,9 %, Abb. 3.3.34 und Abb. 3.3.35). Die Art der Zwischenbewirtschaftung vor der Erbse hatte nur in Direktsaat einen signifikanten Einfluss auf den Feldaufgang der Erbse. Hier führte die kontinuierliche Entfernung der Unkräuter in der Zwischenbewirtschaftung zu einem signifikant höheren Feldaufgang (25,7%) im Vergleich zu einem ungestörten Wachstum der Unkräuter (Abb. 3.3.34).

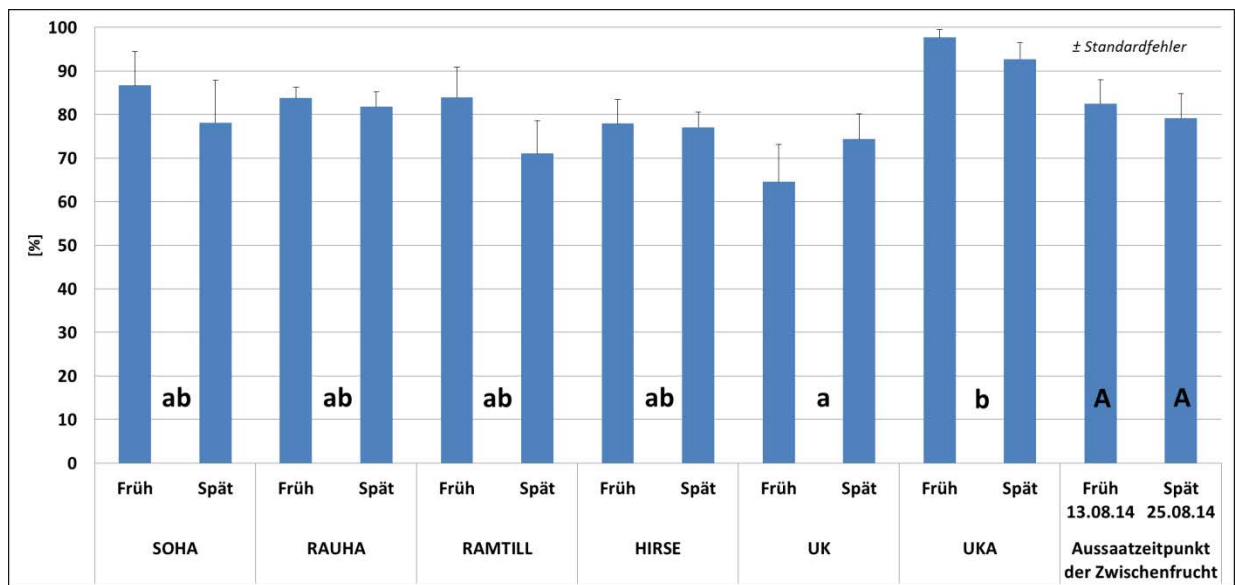


Abb. 3.3.34: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den Feldaufgang der Erbse nach Direktsaat (Wechselwirkung $S \times A$: nicht signifikant, Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

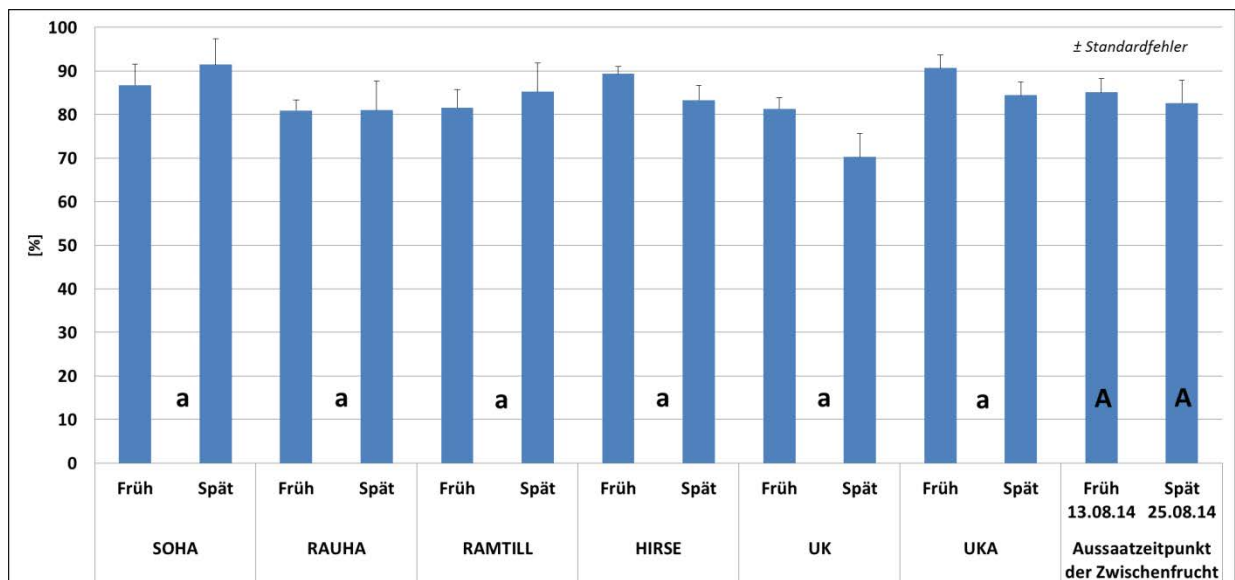


Abb. 3.3.35: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den Feldaufgang der Erbse nach Mulchsaat (Wechselwirkung $S \times A$: nicht signifikant, Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

Weder in Direktsaat (Abb. 3.3.36) noch in Mulchsaat (Abb. 3.3.37) wurde eine signifikante Wechselwirkung zwischen dem Saattermin der Zwischenfrucht und der Art der Bewirtschaftung in der

Zwischenfruchtphase hinsichtlich des bis zur Erbsenblüte gebildeten Sprossertrages der Unkräuter, der Erbse und des Gesamtsprossertrages festgestellt. In den Direktsaatvarianten lagen auch zwischen den Prüfgliedern keine signifikant unterschiedlich hohen Sprosserträge in der Summe aus Erbse und Unkräuter vor. Jedoch führte ein um 14 Tage späterer Saattermin der Zwischenfrüchte zu einem signifikant erhöhten Ertrag an Unkräutern und entsprechend signifikant verringerten Sprossertrag der Erbse (Abb. 3.3.36).

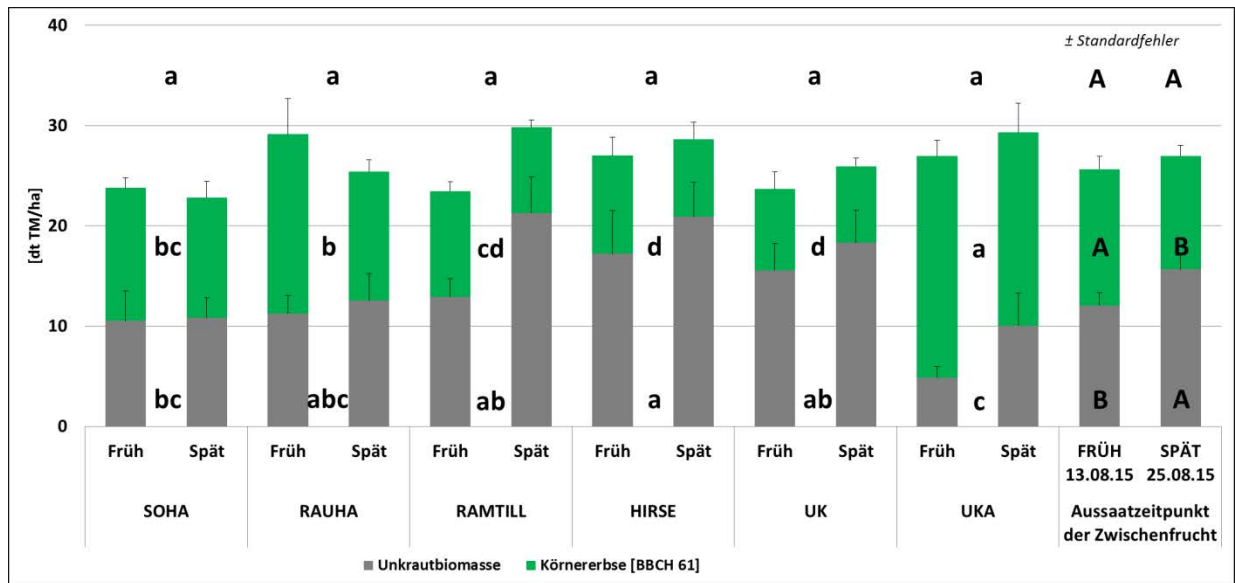


Abb. 3.3.36: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den Sprossertrag der Erbse und Unkräuter nach Direktsaat am 05.06.2015 (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant, Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

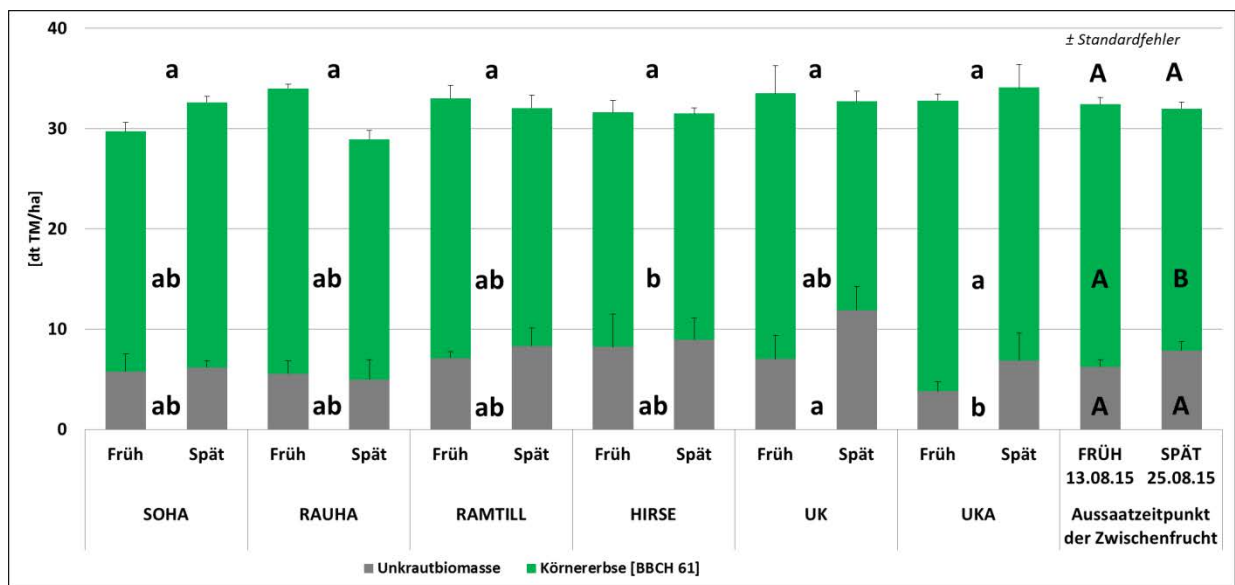


Abb. 3.3.37: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den Sprossertrag der Erbse und Unkräuter nach Mulchsaat am 05.06.2015 (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant, Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

Dieses traf hinsichtlich des Sprossertrages der Erbse auch analog in der Mulchsaat der Erbse zu (Abb. 3.3.37), wobei allerdings der Sprossertrag der Unkräuter nur in der Tendenz durch einen

späteren Saattermin der Zwischenfrucht erhöht wurde. Bereits zur Blüte der Erbse war in der Mulchsaat im Mittel der Prüfglieder ein höherer Sprossertrag der Erbse zu verzeichnen (25,2 dt TM ha⁻¹) als nach Direktsaat (12,5 dt TM ha⁻¹). Dem gegenüber war im Mittel der Prüfglieder der Sprossertrag der Unkräuter nach Direktsaat (13,9 dt TM ha⁻¹) im Vergleich zur Mulchsaat tendenziell höher (7,3 dt TM ha⁻¹). Eine durch Abflammen bis zur Saat der Erbse erfolgte Unkrautregulierung führte sowohl in der Direkt- als auch in der Mulchsaat zu den geringsten Unkrautsprosserträgen und höchsten Sprosserträgen der Erbse. Unzureichendes Wachstum der Zwischenfrüchte Ramtillkraut und Rispenhirse führte vor allen in der Direktsaat (Abb. 3.3.36) zu einer geringeren Unkrautunterdrückung und geringerem Wachstum der Erbse.

Der Saattermin der Zwischenfrucht hatte weder in Direktsaat noch in Mulchsaat einen signifikanten Einfluss auf den Stickstoffversorgungsgrad der Erbse (Abb. 3.3.38 und Abb. 3.3.39). Allerdings war sowohl nach Direktsaat als auch nach Mulchsaat zu beobachten, dass der Stickstoffversorgungsindex der Erbse nach einer Zwischenbewirtschaftung über ein Abflammen der Unkräuter bis zur Saat der Erbse signifikant höher ausfiel als nach der schlecht entwickelten Rispenhirse und einem Unkrautbestand in der Zwischenfruchtphase. In der Direktsaat der Erbse war dieses zusätzlich auch nach dem schlecht entwickelten Ramtillkraut der Fall. Im Mittel lag der Stickstoffversorgungsindex der Erbse allerdings nach Mulchsaat um 0,21 Einheiten über dem Wert nach Direktsaat. Gleichzeitig reagierte die Erbse in Direktsaat deutlich stärker auf die Art der Zwischenbewirtschaftung als nach Mulchsaat.

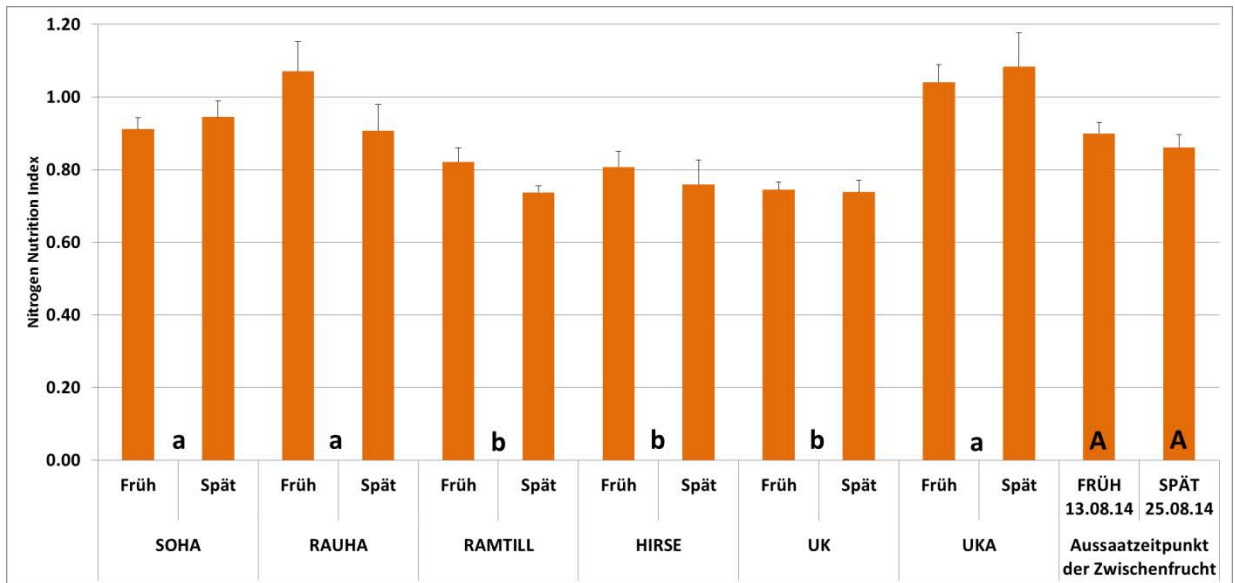


Abb.3.3.38: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den Stickstoffversorgungsindex (NNI) der Erbse nach Direktsaat am 05.06.2015 (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant, Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

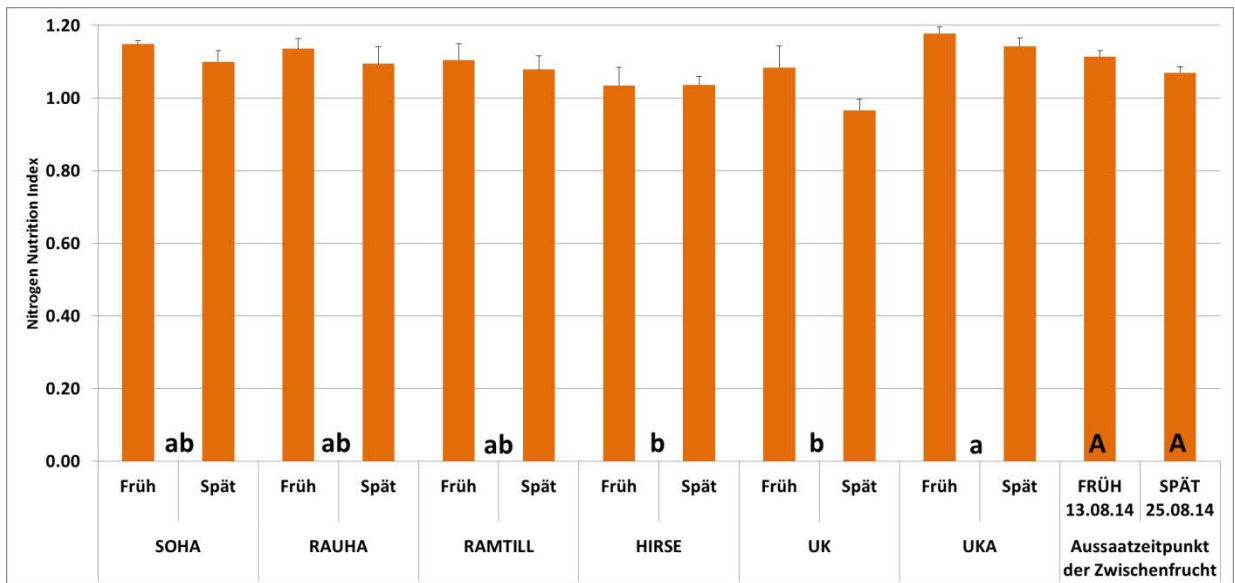


Abb. 3.3.39: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den Stickstoffversorgungsindex (NNI) der Erbse nach Mulchsaat am 05.06.2015 (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant, Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

Durch die Art der Bewirtschaftung der Zwischenfruchtphase und den Zeitpunkt der Saat der Zwischenfrucht wurden die N-Aufnahme der Unkräuter und die Summe der N-Aufnahme von Erbse und Unkraut zum Zeitpunkt der Blüte der Erbse in der Direktsaat nicht signifikant beeinflusst (Abb. 3.3.40). Im Gegensatz hierzu war durch eine frühe Saat der Zwischenfrucht die N-Akkumulation im Spross der Erbse signifikant erhöht (38,0 versus 31,7 kg N ha⁻¹, Abb. 3.3.40). Die gut entwickelten Zwischenfruchtbestände Sommerhafer und Rauhhafer sowie die Unkrautregulierung in der Zwischenfruchtphase spiegeln sich gegenüber allen anderen Prüfgliedern in einer signifikant erhöhten N-Akkumulationen in der Erbse bzw. Summe aus Erbse und Unkräuter wider, während im Jahr 2015 in der Direktsaat die N-Akkumulation der Unkräuter nicht durch die Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase beeinflusst wurde.

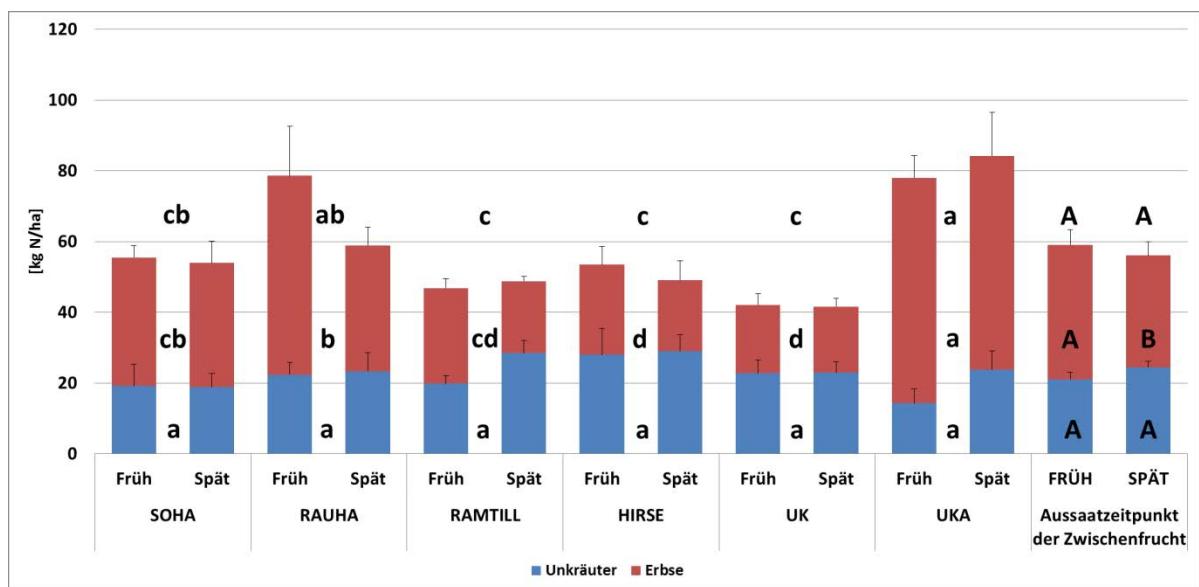


Abb. 3.3.40: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den N-Ertrag im Spross der Unkräuter und der Erbse nach Direktsaat zur Blüte der Erbse am 05.06.2015 (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant, Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

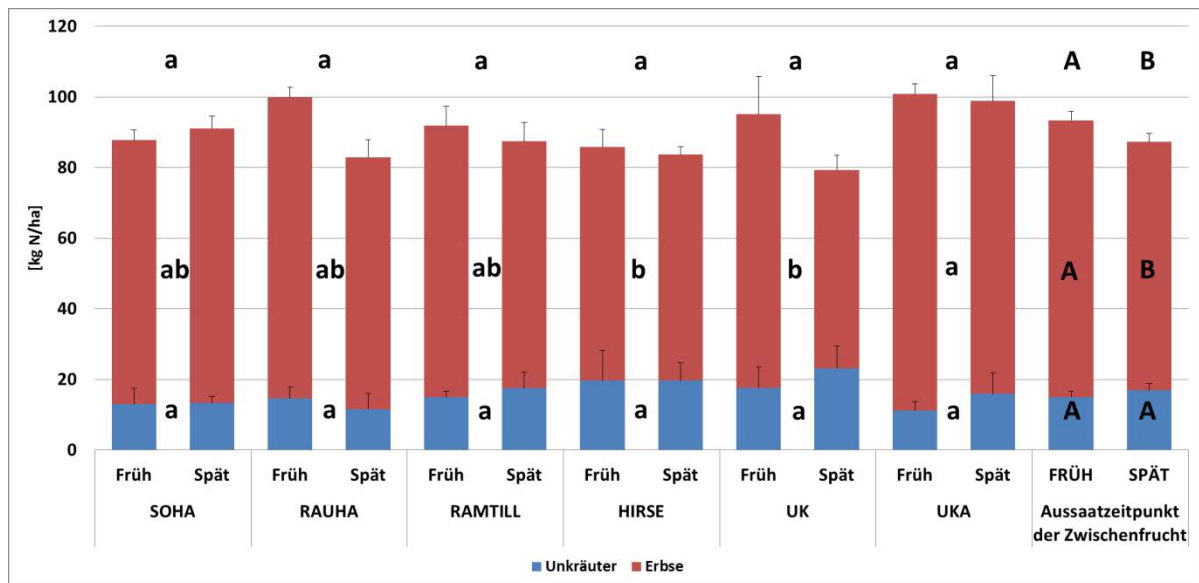


Abb. 3.3.41: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den N-Ertrag im Spross der Unkräuter und der Erbse nach Mulchsaat zur Blüte der Erbsen am 05.06.2015 (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant, Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

In der Mulchsaat der Erbse war nach früherem Einsaat der Zwischenfrucht eine signifikant höhere N-Akkumulation im Spross der Erbse im Mittel der Art der Bewirtschaftung in der Phase des Zwischenfruchtbaus zu verzeichnen (Abb. 3.3.40, 78,4 versus 70,4 kg N ha⁻¹). Gleichzeitig hatten die Art der Zwischenbewirtschaftung und der Saattermin der Zwischenfrucht im Jahr 2015 keinen signifikanten Einfluss auf den N-Ertrag in der Sprossmasse der Unkräuter. Demgegenüber wurde ein Einfluss auf den N-Ertrag der Erbse im Spross in der Mulchsaat festgestellt. Nach der Zwischenfrucht Rispenhirse und einem zugelassenen Unkrautwachstum in der Phase des Zwischenfruchtbaus wurde eine signifikant verringerte N-Akkumulation im Spross der Erbse (22,7 bzw. 19,0 kg N ha⁻¹) im Vergleich zur Variante, in der bis zur Aussaat der Erbse das Unkrautwachstum durch regelmäßiges Abflammen unterbunden wurde (62,1 kg N ha⁻¹, Abb. 3.3.41), festgestellt.

Zur Druschreife der Erbsen war im Jahr 2015 weder nach Direktsaat (Abb. 3.3.42) noch nach Mulchsaat (Abb. 3.3.43) ein signifikanter Effekt der Art der Zwischenbewirtschaftung auf den Sprossertrag der Unkräuter festzustellen. Allerdings erwies sich in der Direktsaat auch im zweiten Versuchsjahr eine um 12 Tage spätere Aussaat der Zwischenfrucht als im Hinblick auf das Unkrautwachstum signifikant ertragssteigernd (+ 7,4 dt TM ha⁻¹). Zudem führte die Direktsaat zu einem deutlich höheren Unkrautwachstum bis zu Kornreife der Erbse als die Mulchsaat (22,6 versus 13,2 dt TM ha⁻¹). Im Mittel aller Prüfglieder wurde nach Mulchsaat in der Summe aller Bestandekomponenten mit 93,7 dt TM ha⁻¹ um 22,5 dt TM ha⁻¹ höhere Sprosserträge gebildet als nach Direktsaat. Die Kornmasse der Erbsen nahm nach Mulchsaat einen Anteil an der insgesamt gebildeten Sprossmasse der Bestände von im Mittel 40,6 % (= 38,0 dt TM ha⁻¹), nach Direktsaat nur 35,5 % (= 25,3 dt TM ha⁻¹) ein. Der Saattermin der Zwischenfrucht wirkte sich in beiden Bodenbearbeitungsverfahren nicht signifikant auf den Kornertrag der Erbsen aus. Sowohl in Direktsaat als auch nach Mulchsaat wurden nach einer Zwischenbewirtschaftung mit einem Abflammen der Unkräuter die höchsten Kornerträge der Erbsen gebildet (38,3 bzw. 41,9 dt TM ha⁻¹), die zudem jeweils signifikant über den Kornerträgen nach Rispenhirse und dem Prüfglied mit einem Unkrautwachstum in der Zwischenfruchtphase lagen (18,9 bzw. 33,6 dt TM ha⁻¹ und 17,9 bzw. 34,3 dt TM ha⁻¹).

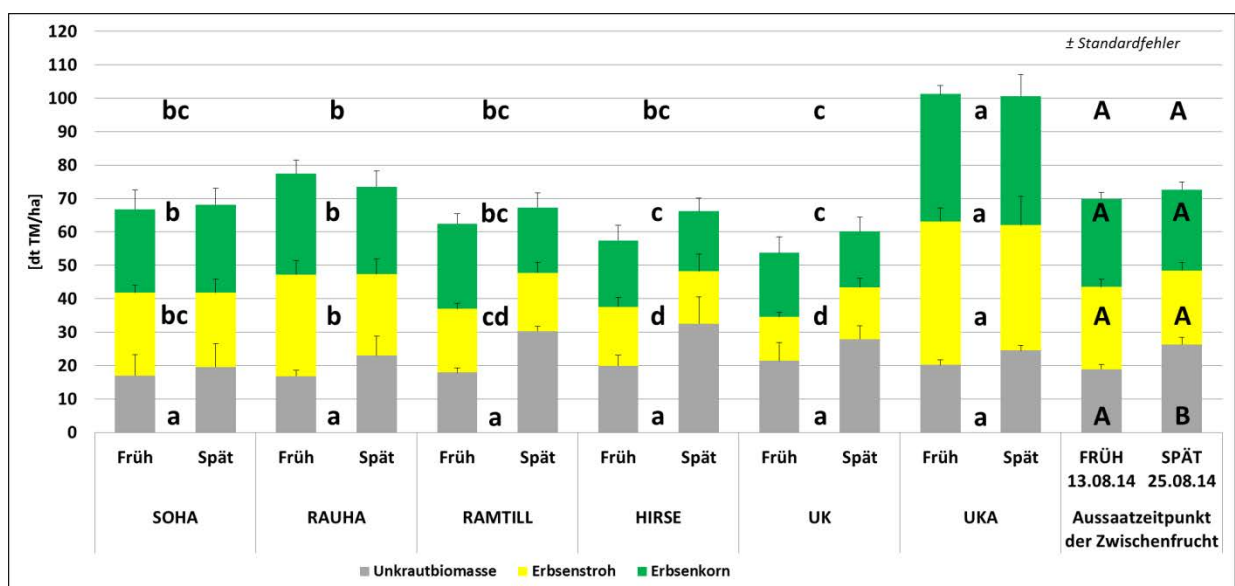


Abb. 3.3.42: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den Sprossertrag der Erbse und Unkräuter nach Direktsaat zur Druschreife der Erbsen am 22.07.2015 (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant, Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

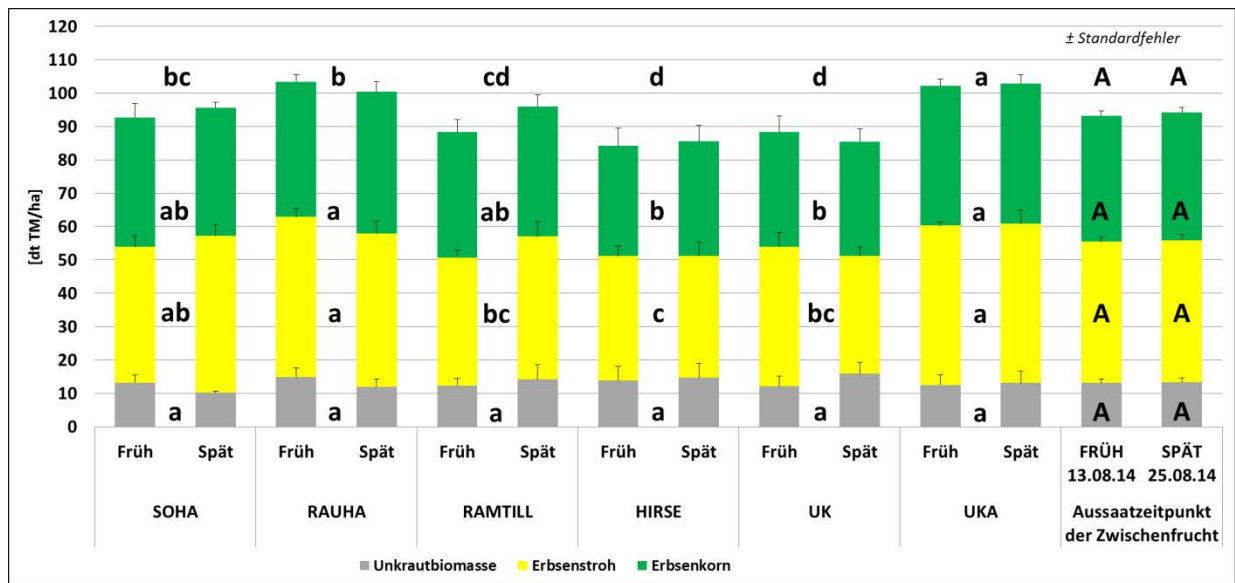


Abb. 3.3.43: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den Sprossertrag der Erbse und Unkräuter nach Mulchsaat zur Druschreife der Erbsen am 22.07.2015 (Wechselwirkung S × A: nicht signifikant, Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

Im Mittel der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase führte die frühe Einsaat der Zwischenfrucht nach Direktsaat zu einem signifikant geringeren N-Ertrag der Unkräuter als nach späterer Einsaat (22,8 versus 29,9 kg N ha⁻¹), nicht jedoch zu einem signifikant geänderten N-Aufnahme in Korn- und Stroh der Erbse (Abb. 3.3.44). In der Summe aller Bestandekomponenten akkumulierten die Bestände in Direktsaat im Mittel 138,7 kg N ha⁻¹ im Spross, nach Mulchsaat im Mittel allerdings deutlich mehr (183 kg N ha⁻¹, Abb. 3.3.45). Analog zu den Ergebnissen zur TM-Akkumulation waren sowohl in Direktsaat als auch nach Mulchsaat nach einer Zwischenfruchtbewirtschaftung mittels Abflammen der Unkräuter bis zur Aussaat der Erbsen eine signifikant höhere N-Akkumulation in der Summe aller Bestandekomponenten nachzuweisen im Vergleich zu nach Zwischenfrucht Rispenhirse und dem Prüfglied mit einem Unkrautwachstum in der Zwischenfruchtphase. Weder nach Direktsaat noch Mulchsaat war ein signifikanter Einfluss der Art der Zwischenbewirtschaftung auf die N-Akkumulation in der Unkrautsprossmasse nachzuweisen.

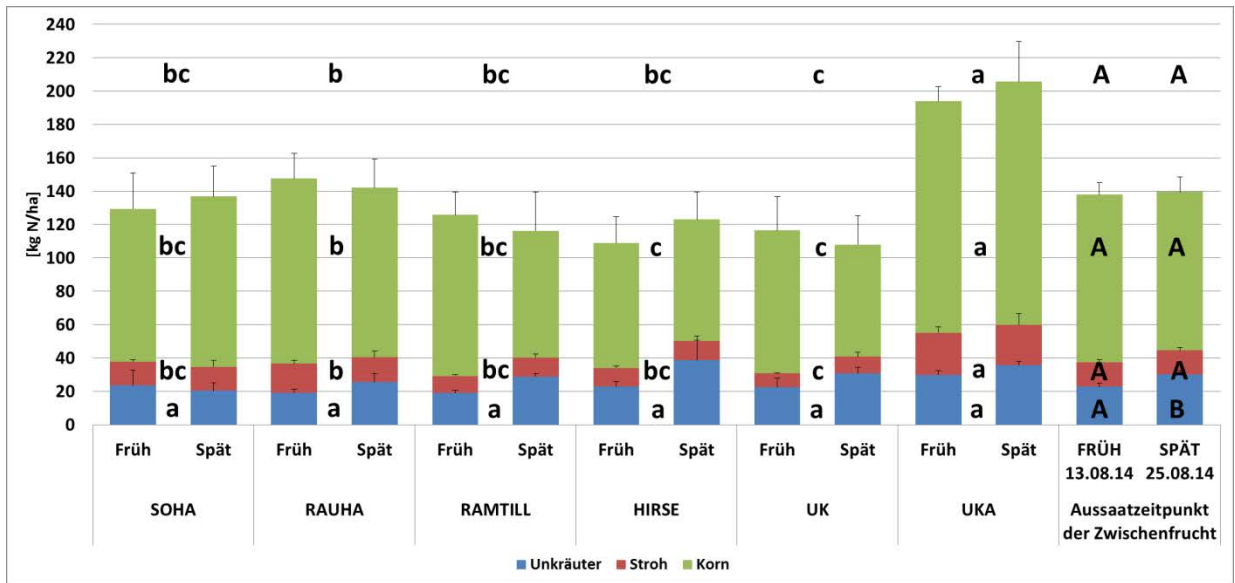


Abb. 3.3.44: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den N-Ertrag im Spross der Unkräuter sowie in Stroh und Korn der Erbsen nach Direktsaat zur Druschreife der Erbsen am 22.07.2015 (Wechselwirkung $S \times A$: nicht signifikant, Scheffe-Test, $\alpha = 0,05$)

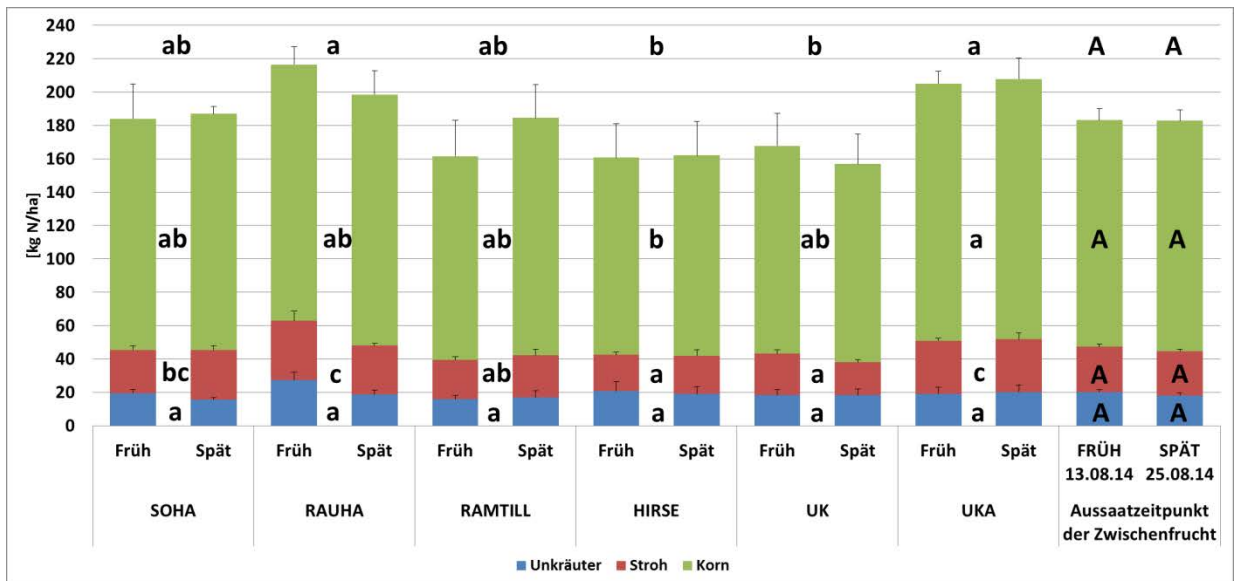


Abb. 3.3.45: Einfluss des Saattermins (S) und der Art der Bewirtschaftung in der Zwischenfruchtphase (A) auf den N-Ertrag im Spross der Unkräuter sowie in Stroh und Korn der Erbsen nach Mulchsaat zur Druschreife der Erbsen am 22.07.2015 (Wechselwirkung $S \times A$: nicht signifikant, Scheffe-Test, $\alpha = 0,05$)

3.3.2.2 Standort Dürrröhrsdorf

Am Versuchsstandort Dürrröhrsdorf wurden in 2014 und 2015 umfangreiche Feldversuche zum Einfluss der Intensität der Bodenbearbeitung (fünf Intensitätsstufen), der Körnerleguminosenart (zwei Stufen) sowie der Unkrautregulation (sieben Stufen) durchgeführt und in einem nicht balancierten Versuchsaufbau geprüft. Deshalb werden im Weiteren die Ergebnisse in vier Segmenten der Variantenkombination dargestellt, in denen verschiedene Varianten mit balanciertem Versuchsaufbau systematisch miteinander verglichen wurden: Vergleich Erbse und Schmalblättrige Lupine bei unterschiedlicher Intensität der Bodenbearbeitung, Strategie der Unkrautregulierung in Erbse und Schmalblättriger Lupine, Strategien der Unkrautregulierung bei unterschiedlicher Intensität der Grundbodenbearbeitung in Schmalblättriger Lupine sowie Strategien der Unkrautregulation in Direktsaat etablierter Erbse.

Versuchsserie 2013/2014

Zu Vegetationsbeginn (27.03.2014) lagen im Mittel der Prüfglieder zum Zeitpunkt der Anlage des Versuches $13,3 \text{ kg N}_{\text{min}} \text{ ha}^{-1}$ in 0 bis 30 cm und $11,0 \text{ kg N}_{\text{min}} \text{ ha}^{-1}$ in 30 bis 60 cm Bodentiefe vor. Von der Zwischenfrucht Sommerhafer waren zum Zeitpunkt der Versuchsanlage noch im Mittel $9,2 \text{ dt TM ha}^{-1}$ an Mulchmasse auf der Bodenoberfläche verblieben.

Vergleich Erbse/Schmalblättrige Lupine bei differenzierter Intensität der Bodenbearbeitung

Während nach einer Bodenbearbeitung mit dem Pflug (77,3 bzw. 78,4 %) und der Kreiselegge (74,9 bzw. 74,4 %) bei Erbse und Schmalblättrige Lupine keine Unterschiede zwischen den Arten im Feldaufgang zu verzeichnen waren, wurde vor allem in Direktsaat und Einsatz des Grubbers bei der Lupine ein deutlich geringerer Feldaufgang als bei der Erbse ermittelt. Zwischen den beiden Prüffaktoren bestand eine signifikante Wechselwirkung bestand. Allerdings ging sowohl bei Erbse als auch bei der Schmalblättrigen Lupine im Verfahren StripTill (50,2 bzw. 55,7 %) und Direktsaat (60,6 bzw. 15,8 %) der Feldaufgang der Körnerleguminosen deutlich gegenüber der Bearbeitung mit dem Pflug oder der Kreiselegge zurück (Abb. 3.3.46).

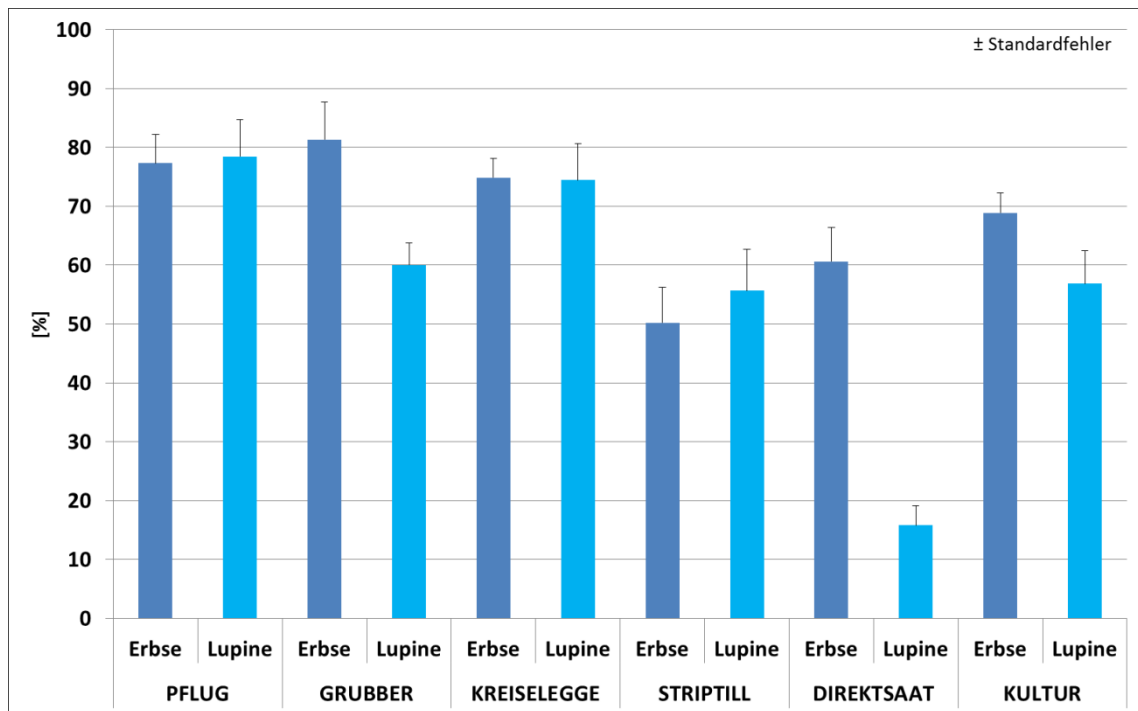


Abb. 3.3.46: Einfluss der Bodenbearbeitung (B) und der Pflanzenart (P) auf den Feldaufgang der Erbse und Schmalblättrigen Lupine im Jahr 2014 (Wechselwirkung B × P: signifikant, $P < 0,05$)

Bis zur Blüte der Körnerleguminosen wurde unabhängig von der Bodenbearbeitung und Körnerleguminosenart durch die Unkräuter und die Kulturpflanzen im Mittel $33,1 \text{ dt TM ha}^{-1}$ an Sprossertrag gebildet (Abb. 3.3.47). Durch die Bodenbearbeitung signifikant beeinflusst wurde die Menge an Unkrautsprossmasse, die nach Direktsaat und im Verfahren StripTill signifikant höher ausfiel als nach Pflug, Grubber und Kreiselegge. Die Erbse konnte hierbei mit Ausnahme nach Pflugbearbeitung signifikant mehr Sprossmasse bilden als die Schmalblättrige Lupine (im Mittel der Bodenbearbeitung: $13,8 \text{ dt TM ha}^{-1}$ Erbse versus $10,7 \text{ dt TM ha}^{-1}$ Lupine).

Die Reduktion der Intensität der Bodenbearbeitung ging bei der Erbse in der Regel mit einem Rückgang des Stickstoffversorgungsindex der Erbse einher (Abb. 3.3.48), wobei allerdings nur zwischen Erbse nach Pflug (NNI: 0,81) im Vergleich zu Streifenbearbeitung (NNI: 0,64) ein signifikante Differenz in der Stickstoffversorgung zu verzeichnen war.

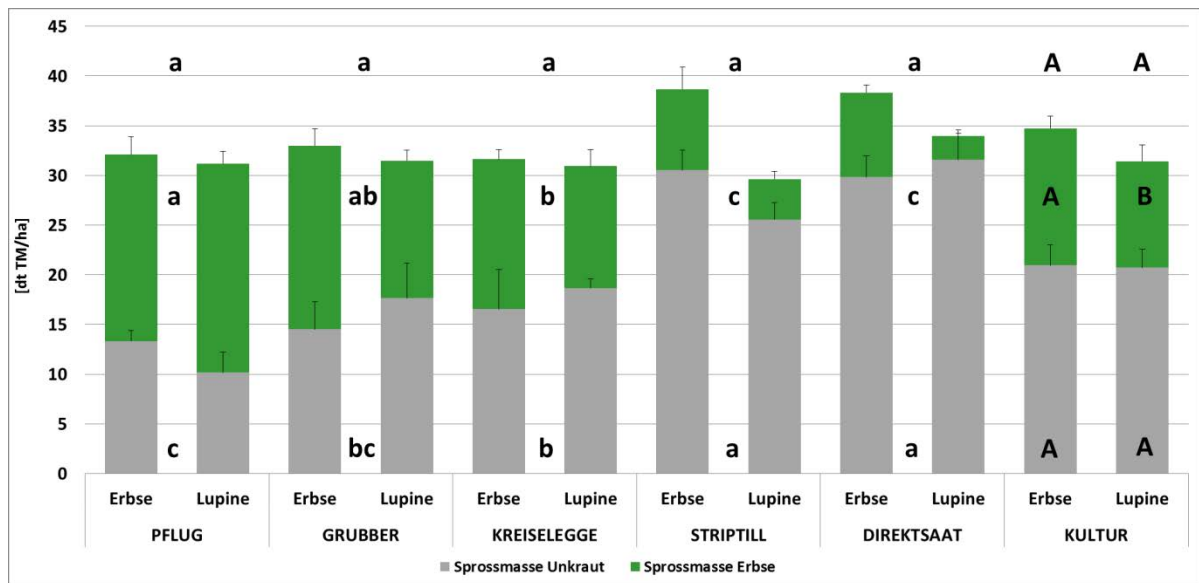


Abb. 3.3.47: Einfluss der Bodenbearbeitung (B) und der Pflanzenart (P) auf den Sprossertrag der Unkräuter sowie Erbse und Schmalblättrigen Lupine zur Blüte am 18.06.2014 (Wechselwirkung B × P: nicht signifikant hinsichtlich Sprossertrag Unkräuter, Erbse sowie der Summe des Sprossertrages, Tukey-Test $\alpha = 0,05$)

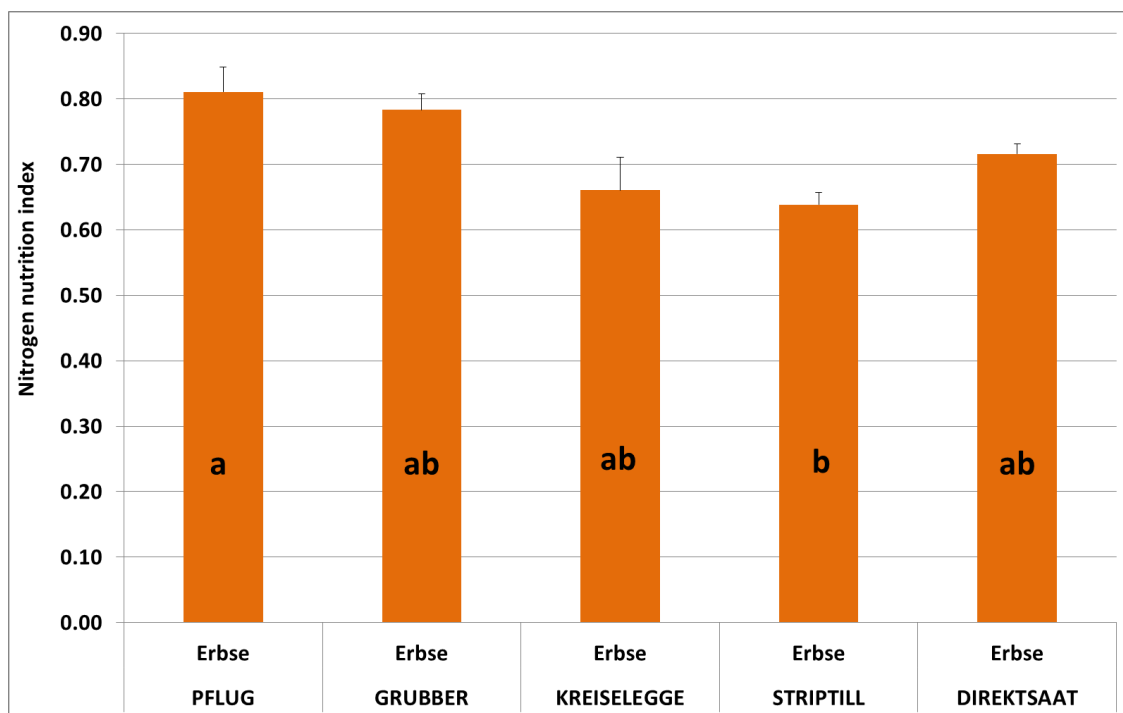


Abb. 3.3.48: Einfluss des Bodenbearbeitung auf den Stickstoffversorgungsindex (NNI) der Erbse zur Blüte am 18.06.2014 (Prüfglieder mit Untersaat, +Standardfehler; Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

Zur physiologischen Reife der Körnerleguminosen lagen zwischen der Bodenbearbeitung und der Pflanzenart signifikante Wechselwirkungen hinsichtlich des Sprossmasseertrages der Untersaaten, der Unkräuter und des Strohs der Körnerleguminosen vor (Abb. 3.3.49). Während nach

Pflugbearbeitung und Einsatz des Grubbers in der Schmalblättrigen Lupine geringere Sprosserträge der Unkräuter im Vergleich zur Erbse vorlagen, war dieses nach Einsatz der Kreiselegge, in der Streifensaart und nach Direktsaat nicht der Fall, sondern es wurden in der Lupine höhere Erträge an Unkrautsprossmasse gebildet. Mit im Mittel aller Prüfglieder gebildeten Sprossertrages an Unkräutern in Höhe von 27 dt TM ha⁻¹ war insgesamt ein vergleichsweise hohes Unkrautwachstum zu verzeichnen. Erbse und Schmalblättrige Lupine wiesen mit im Mittel der Bodenbearbeitung in Höhe von 13,2 bzw. 12,3 dt TM ha⁻¹ nahezu gleich hohe Kornerträge auf, die sich auch nicht signifikant unterschieden. Mit im Mittel der Arten wurden mit 18,8, 18,9 und 14,6 dt TM ha⁻¹ nach Pflug, Grubber und Kreiselegge signifikant höhere Kornerträge erreicht als nach Streifen- und Direktsaat (7,4 bzw. 4,2 dt TM ha⁻¹). Der Gesamtsprossertrag (Summe aller Bestandekomponenten) lag zudem mit 68,1 bzw. 66,3 dt TM ha⁻¹ im Mittel der Pflanzenarten nach Pflug- und Grubbereinsatz signifikant über den entsprechenden Werten nach Streifen- bzw. Direktsaat (47,5 bzw. 45,5 dt TM ha⁻¹). Gleichzeitig sank der Anteil Kornmasse an der insgesamt gebildeten Sprossmasse der Bestände von 27,6 % (Pflug) über 28,4 % (Grubber), 25,2 % Kreiselegge, 15,6 % Streifensaart und 9,1 % Direktsaat deutlich ab (Abb. 3.3.49).

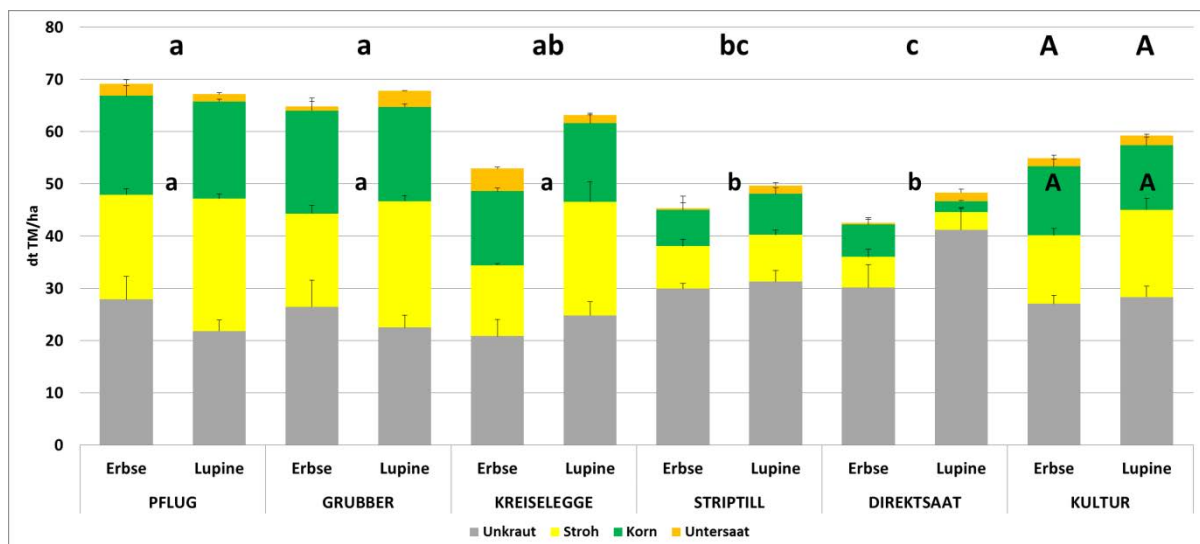


Abb. 3.3.49: Einfluss der Bodenbearbeitung (B) und der Pflanzenart (P) auf den Sprossertrag der Unkräuter, den Stroh- und Kornertrag der Erbse und der Schmalblättrigen Lupine sowie den Sprossertrag der Untersaat zur physiologischen Reife der Körnerleguminosen am 24.07.2014 (Erbse) bzw. 11.08.2014 (Lupine) (Wechselwirkung B × P: signifikant hinsichtlich Sprossertrag Untersaaten und Unkräuter sowie Strohertrages, $P < 0,05$; nicht signifikant hinsichtlich des Kornertrages der Körnerleguminosen und der Summe des Sprossertrages des Bestandes, Tukey-Test $\alpha = 0,05$)

Die Summe der in der Sprossmasse aller Bestandekomponenten akkumulierten N-Menge war im Mittel der Bodenbearbeitung in den Beständen mit Lupine signifikant höher (121,4 kg N ha⁻¹) als mit Erbse (98,4 kg N ha⁻¹) und sank im Mittel der Pflanzenarten von der Pflugbearbeitung (135,1 kg N ha⁻¹) über die Bearbeitung mit dem Grubber (142,6 kg N ha⁻¹), der Kreiselegge (113,1 kg N ha⁻¹),

Streifensaart (84,7 kg N ha⁻¹) zur Direktsaat (72,6 kg N ha⁻¹) hin deutlich ab (Abb. 3.3.50). Hierbei waren die Unterschiede in der Höhe der N-Akkumulation zwischen der Pflug- und Grubberbearbeitung einerseits und der Streifen- und Direktsaat andererseits signifikant. Während nach der Bearbeitung mit dem Pflug, Grubber oder der Kreiselegge der Anbau der Schmalblättrigen Lupine mit einem deutlich höheren N-Ertrag im Korn als der Anbau der Erbse einher ging, war dieses in der Direktsaat nicht der Fall. Hier akkumulierte die Erbse höhere N-Mengen im Korn als die Schmalblättrige Lupine. Hinsichtlich der N-Akkumulation der Unkräuter waren zwischen den Varianten der Bodenbearbeitung und der Körnerleguminosenart nur geringe Unterschiede in der Höhe der N-Akkumulation im Spross der Unkräuter zu verzeichnen. Lediglich in der Direktsaat wurde mit im Mittel der Körnerleguminosenarten mit 48,9 kg N ha⁻¹ höhere N-Mengen akkumuliert als nach Einsatz der Kreiselegge (34,0 kg N ha⁻¹).

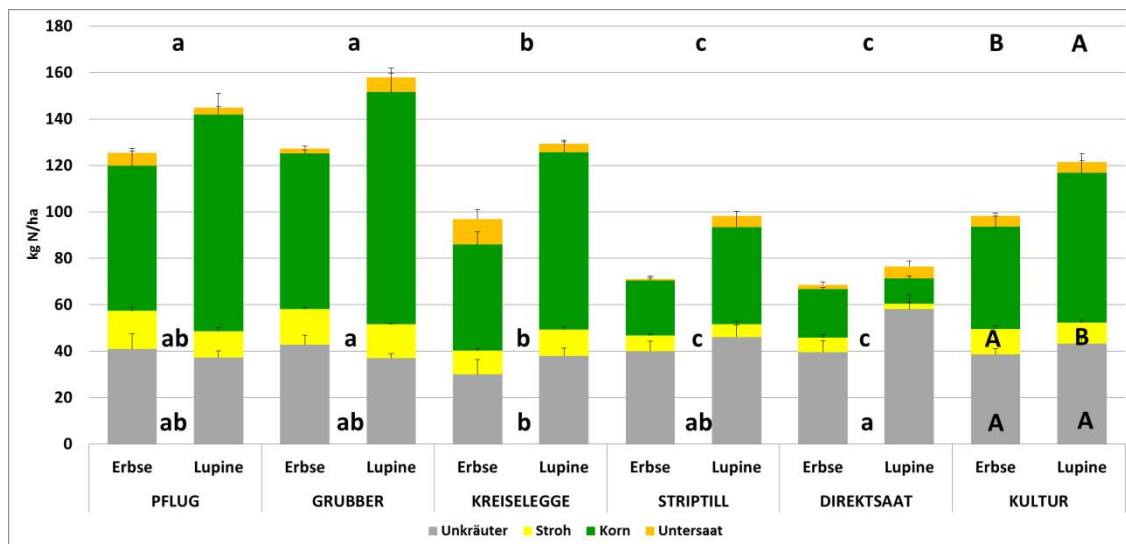


Abb. 3.3.50: Einfluss der Bodenbearbeitung (B) und der Pflanzenart (P) auf die N-Menge im Spross der Unkräuter, in Stroh und Korn der Erbse und Schmalblättrigen Lupine sowie im Spross der Untersaat zur physiologischen Reife der Körnerleguminosen am 24.07.2014 (Erbse) bzw. 11.08.2014 (Lupine) (Wechselwirkung B × P: signifikant hinsichtlich der N-Menge im Korn sowie Spross der Untersaat, $P < 0,05$; nicht signifikant hinsichtlich der N-Menge im Spross der Unkräuter, des Strohs sowie der Summe der Bestandekomponenten, Tukey-Test $\alpha = 0,05$)

4: Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse; Möglichkeiten der Umsetzung oder Anwendung der Ergebnisse für die Praxis und Beratung

Das Interesse seitens der Praxis an Alternativen zur Pflugbearbeitung hat in letzter Zeit nicht zuletzt aus Gründen der Treibstoffkosten auch im Ökologischen Landbau deutlich zugenommen. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass für die vergleichsweise konkurrenzstarken Ackerbohnen, zum Teil auch für Körnererbsen, verschiedene Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung inklusive der Direktsaat grundsätzlich möglich sind (Teilprojekt 1, 2, 3). Der Einsatz reduzierter Bearbeitungsintensität – d. h. der Verzicht auf wendende Bodenbearbeitung – bietet sich derzeit nur bei geeigneten Früchten bzw. Fruchtfolgepaaren mit entsprechend geringerem Vorfruchtanspruch an. Mögliche langfristig wirksame positive Effekte der reduzierten Bodenbearbeitung wie die Erhöhung des Gehaltes an organischer Bodensubstanz, Erosionsminderung und weniger Arbeitszeitbedarf müssen besser quantifiziert und künftig in Wirtschaftlichkeitsberechnungen mit einbezogen werden. Jüngere Untersuchungen haben zudem festgestellt, dass Betriebe des Ökologischen Landbaus häufiger als bisher angenommen negative Schlagbilanzen mit zum Teil ertragsrelevanter Nährstoffabreicherung insbesondere für Phosphor aufweisen. Die Untersuchungen in Teilprojekt 1 haben gezeigt, dass für repräsentative Bedingungen des Ökologischen Landbaus (Gemischtbetrieb) eine kurzfristige Wirkung von Rohphosphaten auch nach Zugabe von elementarem Schwefel nicht zu erwarten ist. Die Ergebnisse sind insofern praxisrelevant, als dass sie eine höhere Sensibilität für das Problem der P-Versorgung im ökologischen Ackerbau bewirken. Hinsichtlich der Schwefelversorgung von Körnerleguminosen sind die Ergebnisse insofern praxisrelevant, als dass sie für einen größeren Teil der Betriebe, insbesondere Gemischtbetriebe, Schwefelmangel als ertragslimitierenden Faktor ausschließen können. Zudem werden Orientierungswerte für eine hinreichende Schwefelversorgung von Körnerleguminosen gegeben (siehe Merkblatt).

Die in den Arbeitspaketen 2 und 3 erzielten Ergebnisse sind für die praktische Landwirtschaft direkt verwertbar. Allerdings müssen Einschränkungen hinsichtlich der Übertragbarkeit von Resultaten bedacht werden. Die Untersuchungen wurden in einem eng definierten Klimaraum auf einem verhältnismäßig schweren Boden durchgeführt. Dies ist insbesondere bei der Beurteilung der Ergebnisse zur Bodenbearbeitung und der mechanischen Unkrautregulierung zu berücksichtigen.

Untersucht wurde u.a. der Unkrautregulierungserfolg des Gerätes „Turbo-Rollstriegel“ (Uni-Hacke, Fa. Annaburger). Der Striegel arbeitet generell reihenunabhängig. Die Arbeitsbreite war in unseren Feldversuchen auf 3 m angelegt. Für die Praxis stehen jedoch Rollstriegel mit bis zu 15 m Arbeitsbreite zur Verfügung.

In den Feldversuchen am Standort Reinshof wurde der Rollstriegel pro Saison zweimal eingesetzt. Ursprünglich war mindestens noch ein dritter Einsatz geplant, dies konnte aber wegen ungünstiger Witterung oder aus organisatorischen Gründen nicht verwirklicht werden. Zudem muss beachtet werden, dass in den vorliegenden Untersuchungen kein zweites Gerät für die mechanische Unkrautregulierung getestet wurde. Ein direkter Vergleich entfällt demnach. Die Prüfung unterschiedlicher Geräte für den Einsatz im Ökologischen Landbau wird in der aktuellen Literatur (z.B. WILHELM & HENSEL 2011, MÜCKE 2015, MÜCKE & KREIKENBOHM 2016) vorgenommen.

Hinsichtlich der Effizienz der Unkrautregulierung zeigte der Rollstriegel der Fa. Annaburger insgesamt zufrieden stellende Resultate. Die Erfahrung war, dass bei hohen Fahrgeschwindigkeiten (8-12 km/h) die überwiegende Anzahl der Unkrautarten im Fädchenstadium und im Keimblattstadium vom Rollstriegel hinreichend gut bekämpft wurden. Dies geschah entweder durch ausreißen oder verschütten. Die vorhandenen Tiefwurzler (z.B. Ackerkratzdistel) wurden jedoch oft nicht genügend entfernt.

Problematisch war in manchen Fällen die Struktur der Bodenoberfläche. Die hohen Tonanteile am Standort partiell gepaart mit Trockenheit (Frühjahr 2014) bewirkten, dass nach der Bodenbearbeitung (letzter Durchgang: Kreiselegge) in der Oberkrume stellenweise relativ große Erdkluten (ca. 5 cm Durchmesser) vorhanden waren. Durch den Rollstriegel wurden diese vereinzelt ungewollt an die Bodenoberfläche befördert. Im ungünstigsten Fall führte dies zum Verschütten der Kulturpflanzen. Ferner wurde festgestellt, dass eine Schädigung oder ein geringfügiger Verlust der Kulturpflanzen durch den Rollstriegel möglich ist. Es ist davon auszugehen, dass auf mittleren und leichteren Böden dieser Effekt weniger stark auftritt. Zudem ist das Striegeln bei späteren Entwicklungsstadien der Ackerbohnen, z.B. drei Laubblätter (BBCH 13) wegen der Schädigung der Kulturpflanzen kaum zu empfehlen.

Das Ertragspotential der Ackerbohnen für den gewählten Standort ist grundsätzlich hoch. Dies haben die eigenen Ergebnisse des Jahres 2014 sowie zahlreiche Studien der Vergangenheit (HAUSER 1987, KÖPKE 1996, JOST 2003) gezeigt. Wie in der landwirtschaftlichen Praxis kann es auch im Feldversuchswesen beim Ackerbohnenanbau zu starken Ertragsschwankungen kommen. Im vorliegenden Projekt unterschieden sich die Erträge der Ackerbohnen zwischen den Jahren 2014 und 2015 deutlich. Eine Ursache war das im Jahr 2015 in vielen Regionen massenhafte Auftreten der Schwarzen Bohnenlaus (MÜCKE 2015, KÄUFLER 2016).

Gemengesaaten aus Körnerleguminosen und Getreide können einen wertvollen Beitrag leisten, um die Erträge zu stabilisieren. Die Korn-Erträge in den vorliegenden Untersuchungen zeigten, dass die Gemenge stets einen relativen Mehrertrag aufzeigten. Die absoluten Korn-Erträge der Gemenge waren in der Summe (Ackerbohnen plus Hafer) höher als jene der Ackerbohnen-Reinsaat. Erneut wurde nachgewiesen, dass durch die Symbiose der Ackerbohnen mit Rhizobien sowohl in ertragsstarken wie auch in ertragsschwachen Jahren hocheffizient Stickstoff aus der Luft in Spross und Korn fixiert wird. Der Anteil des symbiotisch gebundenen Stickstoffs betrug im Mittel rund 80 %. Die absolut gebundenen Stickstoff-Mengen unterschieden sich im Vergleich der Jahre 2014 und 2015, da auch die Spross- und Korn-Erträge zwischen den Jahren erheblich differierten.

Empfehlung zur Unkrautunterdrückung:

(1) Mechanische Unkrautregulierung ist nach unserer Einschätzung ein eminent wichtiger Bestandteil der Arbeitsstrategien zur Unkrautkontrolle im Ökologischen Landbau. Der Rollstriegel der Fa. Annaburger ist ein interessantes Gerät, das jedoch bei Bedarf mit Hack-Maßnahmen (tiefwurzeln-

Unkräuter) kombiniert werden sollte. Ferner gibt es inzwischen weitere Hersteller, die leistungsfähige Rollstriegel (HÄNSEL 2015) oder ähnliche Geräte (MÜCKE 2014) anbieten. Der praktisch wirtschaftende Landwirt sollte die aktuellen Entwicklungen und Berichte beachten.

(2) Unser Konzept der indirekten Unkrautkontrolle mit Ackerbohnen-Gemenge zeigte einige vielversprechende Ergebnisse. Zu beachten ist, dass nur ausreichend dichte Bestände mit relativ hohen Saatstärken (additive Gemenge mindestens mit Saatstärke 100 : 50) zum Erfolg führen. Vor dem Reihenschluss bleibt aber die direkte, mechanische Unkrautregulierung weiterhin das wichtigere Instrument.

Ausblick:

Interessant wäre es, wenn der Aspekt der indirekten Unkrautkontrolle durch Ackerbohnen-Gemenge nochmals auf geeigneten mittelschweren Lehm- oder Löss-Böden untersucht würde. Eine Prüfung von Gemengen mit mehreren variierenden Saatstärken könnte helfen, Empfehlungen zu präzisieren. Zudem sollten bei der Prüfung der mechanischen Unkrautregulierung mindestens zwei Gerätesysteme miteinander verglichen werden. Die Einbeziehung mehrerer Standorte – ähnlich wie bei den Landessortenversuchen – wäre wünschenswert.

5: Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen

Das Arbeitsprogramm im Teilprojekt 1 wurde gemäß Planung absolviert. Änderungen ergaben sich lediglich durch die Tatsache, dass nach Wickroggen die Walzung vor Aussaat der Sojabohnen aufgrund dessen später Blüte nicht mehr in das zeitliche Raster passte (Kurztagspflanze Sojabohne).

Angesichts der für den gewählten Standort eindeutigen Ergebnisse hinsichtlich der P und S-Versorgung der Körnerleguminosen, ist die Konzentrierung der Aktivitäten auf einen Standort im Nachhinein als kritisch zu betrachten. Diese Vorgehensweise musste jedoch sowohl aus logistischen organisatorischen als auch aus finanziellen Gründen vorgenommen werden, sollte aber bei zukünftigen Projekten zur Nährstoffversorgung geändert werden. Aufgrund des nicht festgestellten Effektes der Schwefeldüngung auf den Schwefelgehalt der Sojabohne wurden die geplanten Analysen des Methionin- und Cysteingehaltes der Körner nicht durchgeführt. Stattdessen wurden weitere Feldversuche zur Schwefeldüngung in 2015 durchgeführt und ausgewertet.

Weiterer Forschungsbedarf besteht insbesondere hinsichtlich der Optimierung der Anwendung von Rohphosphat als auch in der Evaluierung der Bedeutung von elementarem Schwefel für die Pflanzenernährung. Innovative Ansätze, z.B. die Zugabe von elementarem Schwefel und Rohphosphat zur Kompostierung könnten die P-Löslichkeit von Rohphosphat erhöhen.

Die Hauptziele von Teilprojekt 2 wurden erfolgreich umgesetzt:

Anlage der faktoriellen Feldversuche mit Ackerbohnen und Hafer (Reinsaaten und Gemengesaaten) in den Jahren 2014 und 2015

drei Versuchsfaktoren mit den im Antrag beschriebenen Faktorstufen

Erhebung aller wesentlichen Parameter, die im Antragstext genannt wurden

Einschränkungen oder Abweichungen gegenüber der Vorhabensbeschreibung aus dem Antragstext seien hier genannt:

„Hauptfaktor ist die Grundbodenbearbeitung. Sie wird folgendermaßen differenziert:

(a) Mulchwirtschaft: Kreiselegge, 5 cm Bearbeitungstiefe

(b) Lockerbodenwirtschaft: Pflug, 25 cm Bearbeitungstiefe (Kontrolle)“

Da die Feldversuche in den Jahren 2014 und 2015 entgegen der ursprünglichen Planungen nur auf einem Schlag mit tonreichen Oberboden stattfinden konnten, musste die Bodenbearbeitung im Frühjahr zur Bereitung eines ausreichend feinkrümeligen Saatbettes intensiviert werden. Im Wesentlichen wurden drei Geräte in drei bis vier Arbeitsgängen eingesetzt: Flachgrubber, Rototiller und Kreiselegge. Bei der „Lockerbodenwirtschaft“ war zusätzlich (wie geplant) eine tiefe Bearbeitung mit dem Wendepflug vorgeschaltet.

In den flach bearbeiteten Abschnitten sollte nach der ursprünglichen Planung ein erheblicher Anteil der Winter-Zwischenfrüchte als abgestorbene Mulchdecke an der Bodenoberfläche verbleiben.

Leider war dies durch die zahlreichen Arbeitsgänge zur Bodenbearbeitung nicht der Fall. Der Bodendeckungsgrad der organischen Rückstände zum Zeitpunkt der Rollstriegel-Einsätze betrug maximal 10 %. Der Arbeits-erfolg des Rollstriegels bei einer stärkeren Mulchauflage konnte daher nicht gemessen werden.

„Beim Versuchsfaktor „Unkrautbehandlung“ werden drei Faktorstufen unterschieden:

(a) Regulierung der Unkräuter mit dem Turbo-Rollstriegel (Fa. Annaburger), Ziel: größtmögliche mechanische Unkrautbekämpfung

(b) manuelle Regulierung der Unkräuter, Ziel: unkrautfreier Bestand

(c) keine Behandlung; Ziel: Konkurrenz durch Leindotter und Unkräuter“

Die manuelle Unkrautregulierung wurde mit dem größtmöglichen Personalaufwand über mehrere Wochen durchgeführt. Komplette unkrautfreie Bestände waren aber nicht zu erreichen. Eine Restverunkrautung blieb in Teilbereichen bestehen. In Abhängigkeit von der Niederschlagsintensität wuchsen die Unkräuter zudem nach. Ein zusätzliches Problem war die nestweise auftretende Ackerkratzdistel.

6: Zusammenfassung

In den Jahren 2013 -2015 wurden in Teilprojekt 1 insgesamt acht Feldversuche mit Acker- bzw. Sojabohnen mit reduzierter Bodenbearbeitung sowie zwei Gefäßversuche mit Sojabohnen auf der Lehr- und Versuchsstation für Organischen Landbau Wiesengut durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war es, den Einfluss einer Unterfuß-Schwefeldüngung (in elementarer bzw. sulfatischer Form mit 40 kg S ha^{-1}) und einer kombinierten Düngung von Rohphosphat (50 kg P ha^{-1}) und elementarem Schwefel (40 kg S ha^{-1}) auf Wachstum, Kornertrag und Nährstoffaufnahme von Acker- und Sojabohnen zu untersuchen. Der Gemischtbetrieb (ca. $0,8 \text{ GV ha}^{-1}$) befindet sich in der Siegniederung bei Hennef und weist eine durchschnittliche Jahrmitteltemperatur von $10,3 \text{ °C}$ und mittlere Jahresniederschläge von 840 mm . Die leicht sauren Böden auf dem Versuchsgut bestehen aus lehmig-schluffigen bis sandig-lehmigen Auensedimenten unterschiedlicher Mächtigkeit und Korngrößenzusammensetzung mit den Versorgungstufen B – C für die Grundnährstoffe P und K. Für die Gefäßversuche wurden Pflanzkulturgefäße des Systems Kick / Brauckmann verwendet. Erhoben wurden die Nährstoffgehalte des Bodens, der Feldaufgang, das Längenwachstum, der SPAD-Wert, die Biomasse zu verschiedenen Entwicklungsstadien, Nährstoffgehalt und -aufnahme (NPK) des Sprosses sowie Kornertrag und Ertragsstruktur. Weiterhin wurden Parameter der Unkrautflora (Dichte, Deckungsgrad) erfasst. Die Versuchsdaten wurden einer varianzanalytischen Auswertung mit anschließendem Tukey-Test ($\alpha = 0,05$) unterzogen.

Die nach Direktsaat erzielten Kornerträge von Ackerbohnen waren im Versuchsjahr 2013 mit etwa $4,4 \text{ t ha}^{-1}$ deutlich höherer als in 2014 ($2,3 - 3,5 \text{ t ha}^{-1}$). Im Versuchsjahr 2014 wurden die Kornerträge in hohem Maße durch hohen Unkrautbesatz (Ampferarten, Ackergänsedisteln) reduziert. Die Düngung mit Rohphosphat oder elementarem Schwefel allein oder Kombination hatte keinen Effekt auf den Kornertrag. Die Schwefeldüngung hatte unabhängig von der Form keinen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag von Ackerbohnen. Auch die Phosphorgehalte von Spross und Korn wurden durch die Düngung nicht erkennbar konsistent und zudem absolut gesehen nur geringfügig beeinflusst. Demgegenüber wurde der Schwefelgehalt von Spross und Korn in beiden Jahren durch die Anwendung sulfathaltiger Dünger z.T. signifikant erhöht. Die im Versuchsjahr 2013 festgestellten höheren Kornerträge erklären sich mit dem höheren Hülsenansatz je Pflanze. Analog zu den Ertrags- und Nährstoffdaten der Ackerbohnen wurden hinsichtlich der Nährstoffaufnahme keine signifikanten Effekte der verschiedenen Düngungsvarianten festgestellt. Der Stickstoffentzug über das Korn erreichte einen maximalen Wert von 235 kg ha^{-1} und einen Mindestwert von 169 kg ha^{-1} . Tendenziell war der Entzug im ersten Versuchsjahr höher als im Versuchsjahr 2014. In Analogie zu dem bereits im Jahr 2007 durchgeführten Feldversuch wurde 2014 wiederum nach Direktsaat eine hohe Abundanz des in NRW als gefährdet eingestuften Sardischen Hahnenfußes (*Ranunculus sardous*) festgestellt, während diese Art nach Pflugbearbeitung nicht auftrat.

Die Feldversuche zu Sojabohnen waren durch eine heterogene Ausgangslage in den verschiedenen Versuchsjahren gekennzeichnet. Im Versuchsjahr 2013 war die Impfung des Saatgutes mit *Bradyrhizobium japonicum* nicht erfolgreich und führte über die gesamte Vegetationsperiode zu erheblichen Minderwuchs. Die Kornerträge waren im ersten Versuchsjahr (2013) mit im Mittel etwa

2,3 t TM ha⁻¹ deutlich geringer als 2014 (2,9 t TM ha⁻¹) und 2015 (4,3 t TM ha⁻¹). Die nach reduzierter Bodenbearbeitung angebauten Sojabohnen unterlagen in allen drei Jahren einem erheblichen Konkurrenzdruck durch Unkräuter, der nur durch intensive manuelle, d.h. nicht praxisrelevante, Entfernung reduziert werden konnte. In Analogie zu den Ertragsdaten war der Stickstoffgehalt von Spross und Korn im Versuchsjahr 2013 deutlich geringer als in beiden Folgejahren. Düngungsbedingte Unterschiede im Stickstoffgehalt von Spross und Korn wurden in keinem der Versuchsjahre festgestellt. Im Gegensatz hierzu war der Phosphorgehalt von Spross und Korn im Versuchsjahr 2013 deutlich höher als in den Versuchsjahren 2014 und 2015. Die Düngung mit Rohphosphat bzw. in Kombination mit elementarem Schwefel hatte in keinem der drei Versuche einen Effekt auf die Phosphorgehalte von Spross und Korn. Die Schwefelgehalte in der Sprossmasse lagen in allen Versuchsvarianten und -jahren in einem engen Bereich von 0,2 - 0,25% S in der TM. Düngungsbedingte Unterschiede wurden nicht festgestellt.

Demgegenüber hatte die Düngung in den Gefäßversuchen hatte in beiden Versuchsjahren einen signifikanten Einfluss auf Sprossmasse, Kornertrag und Ertragsstruktur von Sojabohnen. Im Versuchsjahr 2013 wurde die höchste Sprosstrockenmasse (7.9 g je Pflanze) erwartungsgemäß mit Superphosphat+Magnesiumsulfat (SPMgS) produziert, die geringste in der ungedüngten Kontrolle (2,6 g je Pflanze). Die Sprossmasse war in allen Düngungsvarianten mit Rohphosphat und elementarem Schwefel signifikant höher als in der Kontrolle.

Im Versuchsjahr 2014 war die Sprossmasse deutlich höher als im Vorjahr. Eine im Vergleich zur Kontrolle signifikant höhere Sprossmasse wurde nach Düngung mit Superphosphat (mit und ohne Magnesiumsulfat) bzw. bei kombinierter Anwendung von Rohphosphat und Schwefel festgestellt.

Der mittlere Kornertrag war im Versuchsjahr 2014 etwa viermal höher (8,5 g TM je Pflanze) als 2013 (2,1 g TM je Pflanze). In Analogie zur Sprossmasse wiesen in 2013 alle Düngungsvarianten einen im Vergleich zur Kontrolle signifikant höheren Kornertrag auf. Im Versuchsjahr 2014 wiesen nur die Varianten mit Superphosphat, die kombinierte Anwendung von Rohphosphat und Schwefel sowie Magnesiumsulfat einen signifikant höheren Kornertrag als die Kontrolle auf.

Die Ergebnisse der Feldversuche am Wiesengut zeigen, dass unter den gegebenen Standortbedingungen bei temporärer Mulch- bzw. Direktsaat eine Unterfußdüngung keine markanten Effekte auf Ertrag und Nährstoffversorgung von Acker- bzw. Sojabohnen hat. Dieser Sachverhalt traf sowohl für die Ausbringung von Rohphosphat, allein oder in Kombination mit elementarem Schwefel, als auch von sulfathaltigen Düngern zu. Die als konkurrenzkräftig einzustufende Ackerbohne erzielte trotz eines nicht unerheblichen Unkrautdruckes in der Mehrzahl der Versuche wirtschaftliche Erträge. Die Sojabohne hat sich demgegenüber als nicht geeignet für Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau erwiesen.

Die geringe Wirksamkeit von elementarem Schwefel ist maßgeblich durch dessen geringe Löslichkeit bedingt. Die mangelnde Ertragswirksamkeit der sulfathaltigen Dünger weist darauf hin, dass die S_{min}-Gehalte des Bodens am Standort Wiesengut (Gemischtbetrieb mit regelmäßiger Rindermistdüngung) ausreichend sind. Insgesamt bestätigen die Düngungsversuche zu Sojabohnen die Ergebnisse anderer Autoren, die im Gegensatz zu Futterleguminosen bei Körnerleguminosen in der Regel keinen ertragssteigernden Effekt durch Schwefeldüngung festgestellt haben.

In insgesamt sechs Feldversuchen wurde auf schwach sauren Böden nach kombinierter Anwendung von Rohphosphat mit elementarem Schwefel hinsichtlich P-Gehalt, P- Aufnahme und Kornertrag kein signifikanter Unterschied zur Kontrolle festgestellt. Abiotische und biotische Faktoren, insbesondere, der hinreichende Nährstoffversorgungszustand des Bodens, die Bodenfeuchte und -temperatur sowie die mangelnde Präsenz oder mikrobielle Aktivität schwefelreduzierender Bakterien dürften hierfür ursächlich sein. Die Gefäßversuche haben jedoch gezeigt, dass bei Schaffung günstiger Bedingungen (permanente hohe Bodenfeuchte, hohe Temperaturen, hohe Durchwurzelung des Bodens) messbare Effekte der kombinierten Anwendung von Rohphosphat und Schwefel auf den Ertrag von Sojabohnen ausgehen können.

In den Untersuchungsjahren 2013 bis 2015 wurden in Teilprojekt 2 am Standort Reinshof im südlichen Niedersachsen (Leinetal, Auenboden) faktorielle Feldversuche mit Ackerbohnen (*Vicia faba*) und Hafer (*Avena sativa*) unter Bedingungen des ökologischen Landbaus durchgeführt (Ackerschlag mit Bodenzahl 89, Gley-Vega). Den Hauptfrüchten Ackerbohnen und Hafer (als Sommerungen) wurde stets flächendeckend ein nicht-legumes Zwischenfruchtgemenge mit Sommertriticale und Sonnenblumen vorangestellt. Dessen Aussaat erfolgte Mitte August 2013 oder Mitte August 2014. Die Versuche mit Ackerbohnen und Hafer wurden im nachfolgenden Frühjahr der Jahre 2014 und 2015 angelegt.

Das primäre Ziel der zweijährigen Feldversuche war die Untersuchung von verschiedenen Verfahren zur Unkrautregulierung in Ackerbohnen. Es wurde ein praxisübliches, mechanisches Verfahren (Rollstriegel-Einsatz) mit der indirekten Unkrautunterdrückung durch Gemengesaaten verglichen. Zwei additive Gemengesaaten aus Ackerbohnen und Hafer wurden im Vergleich zu Reinsaaten geprüft. Zudem wurde die Grundbodenbearbeitung vor dem Hauptversuch mit Ackerbohnen variiert. Einer tief-wendenden Bearbeitung mit dem Pflug („Lockerbodenwirtschaft“) stand eine flache Bearbeitung ohne Pflugeinsatz („Mulchwirtschaft“) gegenüber.

Wichtige Zielgrößen waren die Korn- und Sprossmasse-Erträge der Rein- und Gemengesaaten, die symbiotische N₂-Fixierleistung der Ackerbohnen, die mineralischen Stickstoff-Mengen im Boden (N_{min}) sowie die Deckungsgrade und Sprossmassen der autochthonen Unkrautflora. Zudem wurde in den Rein- und Gemengesaaten die Lichttransmission gemessen.

Erfahrungen der Vergangenheit zeigten, dass Ackerunkräuter häufig sehr heterogen auf der Fläche verteilt sind. Deshalb wurde im Vorfeld beschlossen, diesem Umstand durch die breitwürfige Aussaat des Modellunkrautes Leindotter (*Camelina sativa*) Rechnung zu tragen.

Folgende Hypothesen wurden aufgestellt:

- (1) Die Sprossmasse der Unkräuter wird bei Anwendung des Turbo-Rollstriegels (Uni-Hacke, Fa. Annaburger) im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle effizient reguliert.
- (2) In den Gemengesaaten ist die Lichttransmission an der Bodenoberfläche geringer als in den Reinsaaten. Damit ist in den Gemengen eine verstärkte Unkrautunterdrückung verbunden.
- (3) Die flache Bodenbearbeitung führt im Vergleich zur tief-wendenden Grundbodenbearbeitung zu erhöhten Stickstoff-Fixierleistungen der Ackerbohnen.

Die Sprossmasse-Bildung des vor dem Hauptversuch (Ackerbohnen) angesäten Zwischenfrucht-Gemenges (Sommer-Triticale und Sonnenblumen) belief sich auf etwa 2,0 bis 2,3 t ha⁻¹ in den Jahren 2013/14 (Feldversuch I) bzw. auf maximal 5,8 t ha⁻¹ in den Jahren 2014/15 (Feldversuch II). Die in der Sprossmasse akkumulierten Stickstoff-Mengen erreichten Werte zwischen 39 und 74 kg N ha⁻¹. Im Frühjahr zwischen Februar und April wurden die auf der Bodenoberfläche verorteten organischen Rückstände der Zwischenfrüchte im Zuge der Bodenbearbeitungsmaßnahmen größtenteils eingearbeitet.

Die Deckungsgrade der autochthonen Unkräuter bewegten sich vor dem Reihenschluss der Hauptkulturen (Ackerbohnen, Hafer) zwischen Anfang Mai und Anfang Juni im Mittel zwischen 1,7 % und 7,3 %. Der Regulierungserfolg mit dem Rollstriegel führte stets zu einem signifikanten Rückgang der Unkräuter im Vergleich mit der unbehandelten Kontrolle. Im Vergleich mit dem Gemenge Abo-H50 wurden bei der Behandlung mit dem Rollstriegel etwas geringere Unkraut-Deckungsgrade angetroffen (Differenz etwa 0,3 bis 1,4 %).

Die Sprossmasse der autochthonen Unkräuter bewegte sich nach dem Reihenschluss der Hauptkulturen (Ackerbohnen, Hafer) zwischen Ende Mai und Mitte August im Mittel zwischen 2,7 und 33,2 g m⁻². Bei vorheriger Rollstriegel-Behandlung war die Unkraut-Sprossmasse im Juni häufig geringer als in der unbehandelten Kontrolle, aber im August galt dies nicht. Hier zeigten sich die Vorteile der Gemengesaaten. Spätestens ab dem Stadium der Ackerbohnen-Blüte war die Unkraut-Sprossmasse im Gemenge Abo-H50 niedriger als in den Bereichen mit mechanischer Unkrautregulierung (Rollstriegel) oder als in der unbehandelten Kontrolle. Im Gemenge Abo-H20 wurde jedoch stets eine höhere Unkraut-Sprossmasse vorgefunden als in Gemenge Abo-H50.

Die Sprossmasse des Modellunkrautes Leindotter bewegten sich nach dem Reihenschluss der Hauptkulturen (Ackerbohnen, Hafer) zwischen Ende Mai und Mitte August im Mittel zwischen 7,4 und 43,5 g m⁻². Im Jahr 2014 gab es keine Unterschiede zwischen der Behandlung mit dem Rollstriegel und der unbehandelten Kontrolle. Im Gemenge Abo-H50 war die Leindotter-Sprossmasse niedriger als in den Bereichen mit Rollstriegel-Behandlung. Im Jahr 2015 war die Leindotter-Sprossmasse nach Rollstriegel-Behandlung stets signifikant niedriger als in der unbehandelten Kontrolle. Die Differenz zwischen Rollstriegel-Behandlung und dem Gemenge Abo-H50 war gering. Im Gemenge Abo-H20 wurde wie bei den autochthonen Unkräutern stets eine höhere Leindotter-Sprossmasse vorgefunden als im Gemenge Abo-H50. Der Ölgehalt der reifen Leindottersamen betrug im Mittel etwa 39 % i.d.TS.

Die Sprossmasse von Ackerbohnen und Hafer wurde in beiden Jahren im Mai und Juni vom Rollstriegel-Einsatz negativ beeinflusst. Im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle sowie zur manuellen Unkrautregulierung war die Sprossmasse zwischen 8 % und im Extremfall 23 % niedriger. Ursache war die Beschädigung von einigen Kulturpflanzen bei den Rollstriegel-Einsätzen.

Die Hypothese (1) konnte weitgehend bestätigt werden. Der Behandlungserfolg des Rollstriegels war im Vergleich zur Kontrolle bei den Unkräutern zumeist ausreichend. Allerdings muss auch beachtet werden, dass bei den Kulturpflanzen Verluste verzeichnet wurden.

Im Mittel über alle Prüfglieder und Jahre betrug die Sprossmasse der Ackerbohnen zum Zeitpunkt des Längenwachstums (Mai) etwa 9,2 dt TM ha⁻¹. Während der Ackerbohnen-Blüte wurden etwa 26,5

dt TM ha⁻¹ registriert. Die Sprossmasse des Hafers unterschied sich wegen der unterschiedlichen Aussaatstärken zwischen der Reinsaat und den Gemengesaaten deutlich. Der Sprossmasse-Ernteertrag der Hafer-Reinsaat betrug im Juni im Mittel 38 dt TM ha⁻¹. In der Gemengesaat Abo-H50 wurden im Mittel 17 dt Hafer-TM ha⁻¹ geerntet, während im Gemenge Abo-H20 rund 12 dt Hafer-TM ha⁻¹ erzielt wurden. Im Gemenge war die Hafer-Sprossmasse im Juni 2015 etwa 20 bis 30 % höher als im Juni 2014. Dies ist darin begründet, dass die Ackerbohnen (in Reinsaat und Gemenge) im Jahr 2015 deutlich weniger Sprossmasse bildeten als im Jahr 2014.

Im Jahr 2014 wurde das Potential des Standortes für hohe Korn-Erträge fast vollständig ausgenutzt. Die Ackerbohnen in Reinsaat erzielten im Mittel einen Korn-Ertrag in Höhe von 66 dt ha⁻¹, im Gemenge wurden 55 bis 60 dt ha⁻¹ erreicht. Im Jahr 2015 mussten, wie in vielen anderen Regionen Deutschlands, bei den Ackerbohnen Ertragseinbrüche hingenommen werden. In der Reinsaat wurden 34 dt Korn ha⁻¹ geerntet, im Gemenge 22 bis 24 dt ha⁻¹. In den Gemengen wurde durch den Mischungspartner Hafer ein Teil der Ernteverluste kompensiert. Die relativen Gesamterträge (RYT) lagen in beiden Jahren zwischen 1,18 und 1,28.

Die Lichttransmission (Strahlung im Bestand in Relation zum Freiland) unterschied sich zwischen der Ackerbohnen-Reinsaat und den Gemengesaaten nur vor dem Reihenschluss. Während des Makrostadiums 1 (Ackerbohnen) war die Lichttransmission, im Gemenge Abo-H50 etwa 8 bis 11 % niedriger als in der Ackerbohnen-Reinsaat. Dies entsprach der Annahme in Hypothese (2). Es ist davon auszugehen, dass die vergleichsweise geringe Unkraut-Sprossmasse im Gemenge Abo-H50 mit dem Lichtmangel zu tun hat. Nach Reihenschluss gab es jedoch bis zum Zeitpunkt der beginnenden Reife bei der Lichttransmission kaum noch Unterschiede zwischen der Reinsaat und den Gemengen.

Fazit zur Unkrautregulierung:

Direkte, mechanische Regulierung der autochthonen, annuellen Unkräuter ist vor dem Reihenschluss der Kulturpflanzen besser als indirekte Regulierung durch Gemengesaaten. Nach dem Reihenschluss können Gemengesaaten einen zusätzlichen, wertvollen Beitrag zur Unkrautunterdrückung liefern. Der Haferanteil sollte aber mindestens 50 % der Reinsaatstärke betragen.

Die symbiotische Stickstoff-Fixierung der Ackerbohnen wurde mit der $\delta^{15}\text{N}$ -Methode und der erweiterten Differenzmethode zu den BBCH-Stadien 35, 65 und 89 berechnet. Als Referenzpflanze diente der Hafer. Beide Methoden lieferten valide Resultate mit vergleichsweise geringen Standardabweichungen. Die natürlichen Isotopensignaturen der Ackerbohnen (-0,9 bis +1,8 ‰) und des Hafers (+2,4 bis +6,9 ‰) waren für die Anwendung der $\delta^{15}\text{N}$ -Methode nahezu ideal verteilt.

Während des frühen Längenwachstums der Ackerbohnen (etwa BBCH 35) betrug der Anteil des fixierten Luft-Stickstoffs in der Sprossmasse im Mittel 50 bis 62 %. Die Menge des symbiotisch fixierten Stickstoffs belief sich gleichzeitig auf etwa 21 kg N ha⁻¹. Zur Blüte (BBCH 65) wurden im Mittel rund 50 kg N ha⁻¹ aus der Luft im Spross akkumuliert. Dies entsprach einem relativen Anteil in Höhe von rund 60 %.

Zur Vollreife der Ackerbohnen-Körner (BBCH 89) wurden wie erwartet die höchsten Stickstoff-Mengen akkumuliert - überwiegend im reifen Korn, weniger im Stängel. Im ertragsstarken Jahr 2014

wurden bei den Ackerbohnen in Reinsaat bis zu 258 kg N ha^{-1} (Korn und Spross) symbiotisch fixiert. Die aus der Luft akkumulierten N-Mengen waren in den Gemengen etwas niedriger (ca. 236 kg N ha^{-1}), allerdings war der relative Anteil des Luftstickstoffs im Gemenge mit etwa 81 % signifikant höher als in der Reinsaat (75 %). Im ertragsschwachen Jahr 2015 wurde naturgemäß insgesamt weniger Stickstoff symbiotisch fixiert, in der Reinsaat waren dies maximal 147 kg N ha^{-1}). Bemerkenswert ist jedoch, dass der Anteil des Luft-Stickstoffs an der gesamtplanzlich gebundenen Stickstoff-Menge selbst im problematischen Jahr 2015 mit Werten von 79 % in der Reinsaat und rund 82 % in den Gemengen relativ hoch war. Die Hypothese (3) konnte nicht bestätigt werden. Die Bodenbearbeitung (flach oder tief-wendend) bewirkte zu keinem Untersuchungszeitpunkt einen signifikanten Effekt bei den symbiotisch fixierten Stickstoff-Mengen. Gleiches galt für die prozentualen Anteile des Stickstoffs aus der Luft (Ndfa). Beim Parameter Boden- N_{\min} zeigten sich jedoch bezüglich der Bodenbearbeitung zumindest im Juni die gewünschten Unterschiede. Bei flacher Bearbeitung waren die N_{\min} -Werte (0 bis 90 cm Tiefe) signifikant niedriger als bei tiefer Bodenbearbeitung. Allerdings waren die absoluten Differenzen gering. Möglicherweise waren die Eingriffsintensität und die vergleichsweise hohe Anzahl der Arbeitsgänge bei der Bodenbearbeitung dafür verantwortlich, dass keine deutlicheren Unterschiede gefunden wurden.

Im Teilprojekt 3 des Vorhabens wurden der Einfluss des Saattermins einer nichtlegumen Zwischenfrucht vor Erbse, verschiedene Zwischenfrüchte (Sommerhafer, Rauhafer, Ramtillkraut und Rispenhirse) und die Intensität der Bodenbearbeitung (Grubber und Kreiselegge als Mulchsaat versus Direktsaat mit Cross slot Sätechnik) auf das Ertragsbildung und die Stickstoffaufnahme der Körnererbse und Unkräuter in zwei Jahren geprüft. Eine frühe Saat der Zwischenfrucht bereits Mitte Juli führte in der Regel zu einem deutlich höheren Sprossertrag der Zwischenfrucht und weiterem C/N-Verhältnis im Spross der Zwischenfrucht. Bei früher Saat der Zwischenfrucht erwiesen sich Rispenhirse und Ramtillkraut als geeignete Zwischenfruchtarten, um die Sommererbse auch in Direktsaat anbauen zu können. So wurden bei früher Saat der Zwischenfrucht nach Ramtillkraut und Rispenhirse bis zu 38 dt TM ha^{-1} an Kornertrag bei Anbau der Sommererbse in Direktsaat erzielt und gleichzeitig ohne eine Unkrautregulierung in der Erbse der Sprossmasseertrag der Unkräuter auf unter 8 dt TM ha^{-1} reduziert. Ein zeitiger Saattermin der nichtlegumen Zwischenfrucht wirkte sich sowohl in Direktsaat als auch in Mulchsaat ertragssteigernd auf die Erbse aus. Die in Direktsaat angebauten Erbsen wiesen trotz sehr hohem Feldaufgang ($> 80 \%$) im Mittel einen um 31 bis zu 34 % geringeren Kornertrag als nach Mulchsaat auf. Da in beiden Versuchsjahren die in Direktsaat angebauten Erbsen im Vergleich zu den Erbsen der Mulchsaat einen deutlich geringeren Stickstoffversorgungsindex zur Blüte aufgewiesen haben, dürfte die unzureichende Stickstoffversorgung der Erbse in der Direktsaat ursächlich für die geringere Kornertragsleistung der Erbse gewesen sein. Früher Saattermin einer nichtlegumen Zwischenfrucht und Wahl der für den Standort und den Saattermin richtigen Zwischenfruchtart haben sich unabhängig von der Intensität der Bodenbearbeitung vor der Saat der Sommererbse als wichtiges pflanzenbauliches Instrument zur Reduzierung des Unkrautwachstums und Förderung des Kornertrages im ökologischen Landbau erwiesen. Für frühe Saattermine der Zwischenfrucht bis Mitte Juli haben sich Ramtillkraut und Rispenhirse, für späte Saattermine bis Mitte August Sommerhafer und Rauhafer als besser geeignet erwiesen.

7: Literaturverzeichnis

- ABBASI, M.K., M. MANZOOB, & M.M. TAHIR (2010): Efficiency of rhizobium inoculation and P fertilization in enhancing nodulation, seed yield, and phosphorus use efficiency by field grown soybean und hilly region Ramalakot Azad Jamuu and Kashmir, Pakistan. *J. Plant*
- AD-HOC-AG BODEN, 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung KA 5. Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten. 5. Auflage, Hannover.
- ANONYMUS 1968: Bodenkarte Niedernjesa-Reinshof. Deutsche Grundkarte 1 : 5000. Niedersächsisches Landesverwaltungsamt.
- ANONYMUS, 2014: Beschreibende Sortenliste. Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben, Zwischenfrüchte. Bundessortenamt (BSA), Hannover.
- ANTHES, J. (2005): Beitrag von Ackerbohne (*Vicia faba* L.), Luzerne (*Medicago sativa* L.) und Saatwicke (*Vicia sativa* L.) zur Selbstregulierung der N-Zufuhr in leguminosenbasierten Fruchtfolgen. Dissertation, Universität Göttingen.
- ARIA, M.M., A. LAKZIAN, G. H. HAGHNIYA, A. R. BERENJI, H. BESHARATI & A. FOTOVAT (2010): Effect of Thiobacillus, sulfur and vermicompost on the water-soluble phosphorus of hard rock phosphate. *Bioresource Technology* 101: 551-554
- AUFHAMMER, W., 1998: Getreide- und andere Körnerfruchtarten. Ulmer, Stuttgart.
- BAEUMER, K., 1990: Verfahren und Wirkungen der Bodenbearbeitung. In: DIERCKS, R., R. HEITEFUSS, (Hrsg.) *Integrierter Landbau*, München, 68-87.
- BAEUMER, K., 1994: Verfahren und Wirkungen der Bodenbearbeitung. In: DIERCKS, R. & R. HEITEFUSS (ed.): *Integrierter Landbau: Systeme umweltbewusster Pflanzenproduktion; Grundlagen, Praxiserfahrungen, Entwicklungen*; BLV Verlagsgesellschaft München.
- BAEUMER, K. & U. KÖPKE, 1989: Effects of nitrogen. In: Commission of the European Communities (ed.): *Energy Saving by Reduced Soil Tillage. EC-workshop 10. – 12.06.1987, Goettingen, West-Germany*, 145-162.
- BAKER, C. J. & K. E. SAXTON, 2007: The "What" and "Why" of No-tillage Farming. In: BAKER, C. J. & K. E. SAXTON (Eds.): *No-tillage seeding in Conservation Agriculture*, CAB International Wallingford, Oxfordshire, 1-10.
- BALL, R.C., F. TEBRÜGGE, F.L. SATORI, J.V. GIRALDEZ & P. GONZALEZ, 1998: Influence of no-tillage on physical, chemical and biological soil properties, p. 7-27. In: TEBRÜGGE, F. & BÖHRNSEN, A. (eds): *Experience with the application of no-tillage crop production in the West-European countries. Final EU-Report of Concerted Action N^o Air3-CT93- 1464*, pp. 89, Fachverlag Köhler, Giessen.
- BARTELS J., WAHMHOF W. & R. HEITEFUß, 1983: So kann der Praktiker Schadensschwellen feststellen. Hinweise zur praktischen Anwendung von Schadensschwellen für Unkräuter im Getreide. *DLG-Mitteilungen* 5, 270-274.
- BECKER, K., KEILMANN, S., RISSE, A., LEIPOLD, G. & S. A. FISCHINGER, 2013: Wirkung einer Schwefel- und Gülledüngung auf den Trockensubstanz- und Stickstofftrag eines Futterleguminosenbestandes. In: *Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau ‚Ideal und Wirklichkeit – Perspektiven Ökologischer Landbewirtschaftung*, Bonn, 5 - 8 März 2013, ISBN 978-3-89574-815-8, S. 220-221.
- BERLETH, M., F. BACKES & J. KRÄMER, 1998: Schimmelpilzspektrum und Mykotoxine (Deoxynivalenol und Ochratoxin A) in Getreideproben aus ökologischem und integriertem Anbau. *Agribiological Research* 51, 369-376.
- BERNAT, W., H. GAWRONSKA, S.W. GAWRONSKI, 2004: Physiological effects of allelopathic activity of sunflower on mustard. *Advances of Agricultural Sciences - Problem Issues* 496, 275-287.
- BERNER, A., I. HILDERMANN, A. FLIEßBACH, L. PFIFFNER, U. NIGGLI, P. MÄDER, 2008. Crop yield and soil fertility response to reduced tillage under organic management. *Soil and Tillage Research*, 101: 89-96.
- BESHARATI, H., ATASHNAMA, K. & HATAMI, S., 2007. Biosuper as a phosphate fertilizer in a calcareous soil with low available phosphorus. *African Journal of Biotechnology*, Band 6, pp. 1325-1329.
- BETHLENFALVAY G.J. & J.F. YODER (1981): The Glycine-Glomus-Rhizobium symbiosis I. Phosphorus effects on nitrogen fixation and mycorrhizal infection. *Physiol. Plant* 52: 141-145
- BIRZELE, B., A. MEIER, H. HINDORF, J. KRÄMER & H.-W. DEHNE, 2002: A review of epidemiology of *Fusarium* spp. infection and deoxynivalenol contents in winter wheat in the Rhineland, Germany. *European Journal of Plant Pathology* 108, 667-673.
- BÖHM, H., 2013: Auswirkungen einer Schwefeldüngung auf den Ertrag und die Nährstoffzusammensetzung eines Klee-grasbestandes. In: *Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau ‚Ideal und*

- Wirklichkeit – Perspektiven Ökologischer Landbewirtschaftung, Bonn, 5 - 8 März 2013, ISBN 978-3-89574-815-8, S. 216-219.
- BÖHM, H., 2014: Unkrautregulierung durch Fruchtfolgegestaltung und alternative Managementverfahren. Julius-Kühn-Archiv 443, 24-36.
- BÖHM, H., S. KÜHNE, T. LUDWIG, B. ULBER, A. DÖRING, H. SAUCKE, R. WEDEMEYER & U. EBERT, 2013: Stickstoff- und Schwefelversorgung von Rapsbeständen im Ökologischen Landbau. In: Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau ‚Ideal und Wirklichkeit – Perspektiven Ökologischer Landbewirtschaftung, Bonn, 5 - 8 März 2013, ISBN 978-3-89574-815-8, S. 222-223.
- BOONE, F. R., 1976: Notes on soil structure homogeneity and rootability. Proc. 7th Conf. Int. Soil Tillage Res. Uppsala.
- BOURNE J. (1999): Controlling Wild-Life Damage in Direct Seeding Systems. Agdex 519-16. Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Edmonton, Alberta
- CAMPBELL, G.S., 1986: Extinction coefficients for radiation in plant canopies using an ellipsoidal inclination angle distribution. Agric. For. Meteor. 36, 317-321.
- CAZZATO, E., V. TUFARELLI, E. CECI, A. M. STELLACCI & V. LAUDADIO, 2012a: Quality, yield and nitrogen fixation of faba bean seeds as affected by sulphur fertilization, Acta Agriculturae Scandinavica Section B, Soil and Plant Science, 2012; 62: 732-738.
- CAZZATO, E., V. LAUDADIO, A. M. STELLACCI, E. CECI & V. TUFARELLI, 2012b: Influence of sulphur application on protein quality, fatty acid composition and nitrogen fixation of white lupin (*Lupinus albus* L.). Eur Food Res Technol, DOI 10.1007/s00217-012-1817-5. Clarkson, N.M., I.F. Swann & N.P. Chaplain 1989: Sulphur and phosphorus fertilizers increase the yield of barrel medic (*Medicago truncatula*) five-fold in native pasture on a taprock soil. Australian J. Exp. Agric. 29 (4) 527-531.
- CHAUHAN B.S., R.G. SINGH & G. MAHAJAN (2012): Ecology and management of weeds under conservation agriculture: A review. Crop Protection 38: 57-65
- CONNOR, D.J., R.S. LOOMIS & K.G. CASSMAN (2011): Crop Ecology – Productivity and Management in Agricultural Systems, 2. Edition, Cambridge University Press, Cambridge UK
- DE WIT, C.T. & J.P. VAN DEN BERGH, 1965: Competition between herbage plants. Netherlands J. Agric. Sci. 687, 212-221.
- DERPSCH, R. & L. GROOMS, 2002: Why no-till is booming in South-America. No-till Farmer (November), 12-13.
- DIEPENBROCK W., G. FISCHBECK, K.-U. HEYLAND & N. KNAUER (1999): Spezieller Pflanzenbau, 3. Auflage, Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart (Hohenheim)
- DITTMANN, B., 2012: Abschließende Ergebnisse zur Wirkung von langjährig pflugloser Bodenbearbeitung auf die Verunkrautung in der ökologischen Fruchtfolge Güterfelde. Julius-Kühn-Archiv 434, 708-711.
- DORAN, J.W., 1987: Microbial biomass and mineralizable nitrogen distribution in no-tillage and plowed soils. Biol. Fertil. Soils 5, 68-75.
- DORAN, J.W., 1990: Microbial activity and N transformations in sustainable systems. In: Proc. Conf. "Extending sustainable systems". May 9 – 10, 1990. St. Cloud, Min., Minnesota Extension Service and Farm Business Management, 109-114.
- DOWDELL, R. J. & R.Q. CANNELL, 1983: A field of effects of contrasting methods of cultivation on soil nitrate content during autumn, winter and spring. Journal Soil Science 34, 367-379.
- DUDAI, N., A. POLIAKOFF-MAYBER, A.M. MAYER, E. PUTIEVSKY & H.R. LERNER, 1999: Essential oils as allelochemicals and their potential use as bioherbicides. J. Chem. Ecol 25, 1079-1089.
- EDWARDS, W.M., M.J. SHIPITALO, S.J. TRAINA, C.A. EDWARDS & L.B. OWENS, 1992: Role of *Lumbricus terrestris* (L.) burrows on quality of infiltrating water. Soil Biology Biochemistry 24, 1555-1561.
- EHLERS, W., 1991: Wirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf gefügeabhängige Eigenschaften verschiedener Böden. Berichte über Landwirtschaft 204, Sonderheft, 118-148.
- EHLERS, W., 1992: Bodenbearbeitung – Ökologische Folgen und ackerbauliche Grenzen, VDLUFA-Schriftenreihe 35, 35.
- EHLERS, W. & W. CLAUPEIN., 1994: Approaches toward conservation tillage in Germany. In: M.R. CARTER (ed.): Conservation tillage in temperate agroecosystems: development and adaptation to soil, climatic and biological constraints. CRC Press Inc., Boca Raton, FL, 141-165.

- EHLERS, W., U. KÖPKE, F. HESSE & W. BÖHM, 1983: Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil and Tillage Research* **3**, 261-275.
- EMMERLING, C., 2001: Response of earthworm communities to different types of soil tillage. *Applied Soil Ecology* **17**, 91-96.
- EVANS, J., L. McDONALD & A. PRICE (2006): Application of reactive phosphate rock and sulphur fertilisers to enhance the availability of soil phosphate in organic farming, *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* **75**: 233-246
- FISCHINGER, S. A., , BECKER, K. & LEITHOLD, G, 2011: Auswirkungen unterschiedlicher S-Versorgungszustände auf den N-Flächenertrag eines Luzerne-Kleegrassbestandes, 11. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau ,Es geht ums Ganze, Gießen März 2011, Band 1, S. 183 - 184.
- FROUD-WILLIAMS, R.J., R. J. CHANCELLOR & D.S.H. DRENNAN, 1984: The effects of seed burial and soil disturbance on emergence and survival of arable weeds in relation to minimal cultivation, *Journal of Applied Ecology* **21**, 629.
- FURTINI NETO, A. E.; FERNANDES, L. A.; FAQUIN, V.; SILVA, I. R. DA; ACCIOLY, A. M. de A., et al. "Response of bean cultivars to sulfur." *Pesquisa Agropecuária Brasileira* **35.3** (2000): 567-573.
- GAWRONSKA H. & A. GOLISZ, 2005: Allelopathy and biotic stress. In: REIGOSA M.J., PEDROL N., GONZALES L. (eds.) *Allelopathy: A Physiological Process with Ecological Implications*. Springer-Verlag. Pp 211-227.
- GERARD, B..M. & R.K..M. HAY, 1979: The effects on earthworms of ploughing, tined cultivation, direct drilling and nitrogen in barley monoculture system. *Journal of agricultural Science* **93**, 147-155.
- GOLISZ, A., S.W. GAWRONSKI & H. GAWRONSKA, 2004: Allelopathic activity of buckwheat against on quackgrass growth and development. *Advances of Agricultural Sciences, Problem Issue* **496**, 315-324.
- GRONOW, J. & W. SAUERMAN, 2015: EU-Sortenversuch Ackerbohnen 2014. Sortenversuche 2014 mit Winterraps, Futtererbsen, Ackerbohnen und Sonnenblumen. *UFOP-Schriften Agrar* **43**, 140-150.
- GRUBER, S., C. PEKRUN & W. CLAUPEIN, 2005: Life cycle and potential gene flow of volunteer oilseed rape in different tillage systems. *Weed Research* **45**, 83–93.
- GRUBER, S. & W. CLAUPEIN, 2006: Effect of soil tillage intensity on seedbank dynamics of oilseed rape compared with plastic pellets as reference material. *Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue XX*, 173-280.
- GRUBER, H., TITZE, A., WEGNER, C., (2015) Schwefeldüngung von Leguminosen im Öko-Landbau. *Beiträge zum ökologischen Landbau. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern*, Dezember 2015, **56**, S. 62-70.
- GRUNDY, A. C. & A. MEAD, 1998: Modelling the effects of seed depth on weed seedling emergence, *Aspects Applied Biology* **51**, 75.
- GUENZI, W. D., T. M. MCCALLA & F. A. NORSTADT, 1967: Presence and persistence of phytotoxic substances in wheat, oat, corn and sorghum residues. *Agronomy Journal* **59**, 163-165.
- HAAS, G., 1996: Klimaschutz: Klimarelevanz des Ökologischen Landbaus. In: Tagungsband der Tagung ‚Bioland im Gespräch‘ 30. Sept. 1996 in Kiel „Artenvielfalt und Ressourcenschutz durch Ökologischen Landbau“, 10¹⁸.
- HAAS, G. & U. KÖPKE, 1994: Vergleich der Klimarelevanz ökologischer und konventioneller Landbewirtschaftung. In: Enquetekommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Dt. Bundestages (Hrsg.): Bd. 1 Landwirtschaft, Studienprogramm, Teilband 2, Studie H, Bonn: Economica-Verlag, 98 S. mit 33 S. Anhang.
- HAAS, G., U. GEIER, D. G. SCHULZ & U. KÖPKE, 1994: Die CO₂-Effizienz des Organischen Landbaus – Chancen für die Entwicklung landwirtschaftlicher Produktionssysteme in der Dritten Welt? *Entwicklung und ländlicher Raum*, Heft **1/94**, 25-29.
- HAAS, G., U. GEIER, D.G. SCHULZ & U. KÖPKE, 1995: Vergleich Konventioneller und Organischer Landbau – Teil I: Klimarelevante Kohlendioxid-Emission durch den Verbrauch fossiler Energie. *Berichte über Landwirtschaft* **73**, 401-415.
- HAHN V. & T. MIEDANER (2013): Sojaanbau in der EU – Lohnender Anbau ohne GVO, DLG-Verlag GmbH, Frankfurt am Main
- HÄNSEL, M., 2011: Regeneration von Körnerleguminosen nach physikalischer Schädigung in der Jugendphase. In: Wilhelm, B. & O. Hensel (Hrsg.): *Landtechnische Lösungen zur Beikrautregulierung im Ökolandbau*. DITSL, Witzenhausen.
- HÄNSEL, M., 2015: Der Igel-Striegel. *Bioland* 06/2015, 10-12.

- HARROLD, L. L. & W. M. EDWARDS, 1972: A severe rainstorm test of no-till corn. *Journal Soil Water Conservation* 27.
- HAUSER, S., 1987: Schätzung der symbiotisch fixierten Stickstoffmenge von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) mit erweiterten Differenzmethoden. Dissertation, Universität Göttingen.
- HAUSER, S., 1992: Estimation of symbiotically fixed nitrogen using extended N difference method. In: MULONGOY, K.; GUEYE, M. & D.S.C. SPENCER: *Biological Nitrogen fixation and Sustainability of Tropical Agriculture*. Wiley & Sons, 309-321.
- HEINZMANN, F., 1981: Assimilation von Luftstickstoff durch verschiedene Leguminosenarten und dessen Verwertung durch Getreidearten. Diss.agr. Universität Hohenheim.
- HOFFMANN, G., 1991: VDLUFA-Methodenhandbuch Band 1. Die Untersuchung von Böden. Abschnitt A 6.1.4.1. N_{min} -Labormethode. 4. Auflage. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- HUSSAIN, K. M. ISLAM, M.T. SIDDIQUE, R. HAYAT & S.MOHSAN (2011): Soybean growth and nitrogen fixation as affected by sulfur fertilization and inoculation under rainfed conditions in Pakistan. *Int. J. Agr. Biol.* 13, 951-955
- ISLAM, M & A. SAFDAR, 2009: Effect of integrated application of sulphur and phosphorus on nitrogen fixation and nutrient uptake by chickpea (*Cicer arietinum* L.), *Agrociencia* 43: 815-826. 2009.
- ISLAM, M. (2012): The effect of different rates and forms of sulfur on seed yield and micronutrient uptake by chickpea, *Plant Soil Environ.*, 58, 2012 (9): 399-404.
- ISLAM, M., S. MOHSAN, A. SAFDAR, K. RIZWAN & A.SHER, 2012a: Response of chickpea to various levels of phosphorus and sulphur under rainfed conditions in Pakistan: *Romanian Agricultural Research*, No. 29, 2012, 175-183.
- ISLAM, M., A. SAFDAR, M. SALEEM,, K. RIZWAN, H.U. FAYYAZ, M. ABID & A. SHER, 2012b: Relative efficiency of two sulfur sources regarding nitrogen fixation and yield of chickpea, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43:811–820. DOI: 10.1080/00103624.2012.648358
- ISRAEL, D. W., 1987. Investigation of the Role of Phosphorus in Symbiotic Dinitrogen Fixation. *Plant Physiol.*, Band 84, pp. 835-840.
- JAGGI, R.C., M.S.AULAKH & R. SHARMA (2005): Impacts of elemental S applied under various temperature and moisture regions on pH and available P in acidic, neutral and alkaline soils. *Biol. Fert. Soils* 41: 52-58
- JANZEN, H. H. & BETTANY, J. R., 1987. Oxidation of elemental sulphur under field conditions in Central Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.*, Band 67, pp. 609-618.
- JENSEN, E.S., PEOPLES, M.B. & H. HAUGGAARD-NIELSEN, 2010: Faba bean in cropping systems. *Field Crops Research* 115, 203–216.
- JOHNSON, D. (1987): Effect of alternative tillage systems on rodent density in the Palous region, North-West Science 61, 37-40.
- JUNG, R. & R. RAUBER, 2009: Ertragsbildung, Stickstofffixierung und Unkrautentwicklung in Ackerbohnen bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung einschließlich Direktsaat. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 21, 171-172.
- JUNG, R. & R. RAUBER, 2010: Anbau von Ackerbohnen unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus bei differenzierter Bodenbearbeitung – Ergebnisse zur symbiotischen Stickstoff-Fixierung. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwissenschaften* 22, 179-180.
- JUNG, R. & R. RAUBER, 2011: Möglichkeiten zur Steigerung der symbiotischen Stickstoff-Fixierleistung beim Anbau von Ackerbohnen. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwissenschaften* 23, 208.
- JUSTUS, M. & U. KÖPKE, 1995: Strategies to avoid nitrogen losses via leaching and to increase precrop effects when growing faba beans. 1. Intern. Workshop on Nitrate Leaching, 11.-15.10.1993, Copenhagen, Denmark. *Biological Agriculture and Horticulture (BAH)*, Vol 11/1995, 145-155.
- KÄUFLER, G., 2016: Anbau von Körnererbsen und Ackerbohnen – Chancen nutzen! *Landessortenversuche 2015 – Sortenempfehlung 2016*. 1-9. Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen. <https://www.llh.hessen.de/.../Körnererbsen%20Ackerbohnen%20LSV%202015.pdf> (Internetseite besucht im Juni 2016).
- KIMPEL-FREUND, H. (1999): Konkurrenz und Unkrautunterdrückung der Erbse (*Pisum sativum* L.) in Reinsaat und Gemenge mit Hafer (*Avena sativa* L.). Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.
- KIMPEL-FREUND, H., K. SCHMIDTKE & R. RAUBER (1998): Einfluß von Erbsen (*Pisum sativum* L.) mit unterschiedlichen morphologischen Merkmalen in Reinsaat und Gemenge mit Hafer (*Avena sativa* L.) auf die Konkurrenz gegenüber Unkräutern. *Pflanzenbauwissenschaften* 2, 25-36.

- KLIMANEK, E.-M., M. KÖRSCHENS & D. EICH, 1988: Menge und Qualität von Ernte- und Wurzelrückständen ausgewählter Pflanzenarten als Parameter für das Modell der Umsetzung organischer Substanz. FZB-Report 1988; Wiss. Jahresbericht des Forschungszentrums für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg der Akad.
- KLINK, H.-J., 1969: Geographische Landesaufnahme 1:200.000 – Naturräumliche Gliederung Deutschlands. Blatt 112 – Kassel. Bundesanstalt für Landeskunde und Raumordnung.
- KÖLLER, K., 1989: Machinery requirements and possible energy savings by reduced tillage. In: Commission of the European Communities (ed.): Energy Saving by Reduced Soil Tillage. EC-workshop 10. – 12.06.1987, Goettingen, West-Germany, 7-16.
- KÖLLER, K., 2005: Mündliche Mitteilung, 17.06. 2005
- KÖPKE, U., 1996: Symbiotische Stickstoff-Fixierung und Vorfruchtwirkung von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.). Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau. Verlag Dr. Köster, Berlin.
- KÖPKE, U., 2003: Spezifika der Bodenbearbeitung und Unkrautregulierung im Ökologischen Landbau aus Sicht der Wissenschaft und der Praxis. In: Bodenbearbeitung und Unkrautregulierung im Ökologischen Landbau, KTBL-Schrift **416**, 7-22.
- KÖPKE, U. 2008: Anpassungsmöglichkeiten an den Klimawandel durch Bodenbearbeitung und Fruchtfolge. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL) (Hrsg.): Klimawandel und Ökolandbau. Situation, Anpassungsstrategien und Forschungsbedarf. KTBL-Fachgespräch 1. und 2. Dezember 2008. KTBL-Schrift 472, Darmstadt 2008, 141-159.
- KÖPKE, U. & K. BAEUMER, 1985: Stickstoffdüngung zu Winterweizen bei reduzierter Bodenbearbeitung. Zeitschrift Acker- und Pflanzenbau (Journal Agronomy & Crop Science) **154**, 145-156.
- KÖPKE, U. & SCHULTE, H. 2008: Direct Seeding of Faba Beans in Organic Agriculture. In: Daniel Neuhoff, Niels Halberg, Thomas Alföldi, William Lockeretz, Andreas Thommen, Ilse A. Rasmussen, John Hermansen, Mette Vaarst, Lorna Lueck, Fabio Caporali, Henning Høgh Jensen, Paola Migliorini, Helga Willer (Editors): Cultivating the Future based on Science, Volume 1 Organic Crop Production. Proceeding of the Second Scientific Conference of the International Society of Organic Agriculture Research (ISO FAR), Modena, Italy 18-20 June 2008
- KÖPKE, U., & T. NEMECEK, 2010: Ecological services of faba bean. Field Crops Research 115, 217–233.
- KÖPKE, U., RAUBER, R.; SCHMIDTKE, K.; GOLDBACH, H. & H.W. SCHERER, 2011: Entwicklung neuer Strategien zur Mehrung und optimierten Nutzung der Bodenfruchtbarkeit. Abschlussbericht der Forschungsprojekte 08OE020, 08OE145, 08OE146, 08OE147. BÖLN-Bericht-ID 20737, BLE Bonn.
- KOTNIK, T., 2006: Optimisation of nitrogen management after harvest of the main crop by growing turnips [*Brassica rapa* L. ssp. *rapifera* (Metzg.) Sinsk.] as a catch crop and field vegetable. Doctoral thesis. Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Berlin Verlag Dr. Köster, ISBN 978-3-89574-608-6.
- KRAUSS, M., A. BERNER, D. BURGER, A. WIEMKEN, U. NIGGLI & P. MÄDER, 2010: Reduced tillage in temperate organic farming: implications for crop management and forage production. Soil Use and Management, March 2010, **26**, 12-20.
- KURSTJENS D. A. G. (2007): Precise Tillage systems for enhanced non-chemical weed management. Soil & Tillage Research 97: 293-305
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER, 2012. In: Landwirtschaftskammer_Nordrhein-Westfalen, Hrsg. *Ratgeber Pflanzenbau und Pflanzenschutz*. pp. 58-67.
- LEITHOLD G., F. SCHULZ & K.P. FRANZ (2003): Eignung von Sojabohnensorten mit kurzer Vegetationszeit für einen Anbau auf einem ökologisch bewirtschaftetem Grenzstandort unter Berücksichtigung unterschiedlicher Reihenabstände. Pflanzenbauwissenschaften 7: 21-28, Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart
- LESSITER, F., 2003: Without herbicides, no-till would disappear. No-till Farmer (JULY) 13.
- LIPMAN JG, MC LEAN HC, LINT HC. 1916: The oxidation of sulfur in soils as a means of increasing the availability of mineral sulphates. Soil Science 1:533-539.
- LOIBL, B. & K. KÖLLER, 2006: Einfluss verschiedener Reihenträger und Nachlaufwerkzeuge auf den Feldaufgang bei Zuckerrüben bei unterschiedlicher Saatbettbereitung. Proceedings of the 69th IIRB Congress, Brüssel 2006.
- LÓPEZ-BELLIDO, F.J., LÓPEZ-BELLIDO, R.J., REDONDO, R. & L. LÓPEZ-BELLIDO, 2010: B value and isotopic fractionation in N₂ fixation by chickpea (*Cicer arietinum* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.). **Plant and Soil** 337, 425-434.

- MADIGAN, M. T. & MARTINKO, J. M., 2006. Die Oxidation reduzierter Schwefelverbindungen. In: *Brock Mikrobiologie 11 Auflage*.:Pearson Studium, pp. 623-625.
- MARSCHNER, H., 1995: Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition, Academic Press, London.
- MARTIN, P. & B. RADEMACHER, 1960a: Studies on the mutual effects of weeds and crops. In: HARPER, J. L. (ed.), *The biology of weeds*, Blackwell, Oxford, 143-152.
- MARTIN, P. & B. RADEMACHER, 1960b: Untersuchungen zur Frage der Wurzelallelopathie von Kulturpflanzen und Unkräutern. *Beitr. Biolog. Pflanzenbau* **35**, 213-237.
- MASSUCATI, L.F.P. 2013: Temporäre Direktsaat von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) im Ökologischen Landbau. Dissertation, Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Bd 36, Verlag Dr. Köster Berlin.
- MASSUCATI, L.F.P. & U. KÖPKE, 2011: Faba bean (*Vicia faba* L.) response to occasional direct seeding into straw residues under temperate climate. In: Daniel Neuhoff et al.(Eds). *Proceedings of the Third Scientific Conference of the International Society of Organic Agriculture Research (ISO FAR)*, 28 September - 01 October, Namyangju, Republic of Korea, 198-201.
- MASSUCATI, L.F.P., GEIB, B. & U. KÖPKE 2011: Effekte temporärer Direktsaat von Ackerbohnen (*Vicia faba*, L.) auf die Segetalflora im Ökologischen Landbau. In: Leithold, G. et al. (Hrsg.), *Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau: Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis*, Verlag Dr. Köster, Berlin, 1: 294-297.<http://orgprints.org/view/projects/int-conf-2011-wita.html>
- MASSUCATI, L.F.P., U. PERKONS, B. GEIB & U. KÖPKE, 2012: Temporäre Direktsaat von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) im Ökologischen Landbau: Auswirkungen auf die Ackerbegleitflora. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* **24**, 150-151.
- MEIER, A., B. BIRZELE, E.-C. OERKE & H.W. DEHNE, 2000: Impact of growth conditions on the occurrence of *Fusarium* spp. and the mycotoxin content of wheat. *Mycotoxin Research* **16A**, 12-15.
- MEIER, A., B. BIRZELE, E.-C. OERKE, U. STEINER, J. KRÄMER & H.-W. DEHNE, 2001: Significance of different inoculum sources for the *Fusarium* infection of wheat ears. *Mycotoxin Research* **17 (1)**, 76-80.
- MELANDER, B., I.A. RASMUSSEN & P. BARBERI, 2005: Integrating Physical and Cultural Methods of Weed Control – Examples from European Research. *Weed Science* **53**, 369-381.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E. A., 2001. Sulphur. In: *Principles of Plant Nutrition*. Kluwer academic Publishers, pp. 435-450.
- MOLISCH, H., 1937: *Der Einfluß einer Pflanze auf die andere – Allelopathie*. Fischer-Verlag, Jena.
- MONA A.M., SABAH M.A. & REHAB A.M, 2011: Influence of Potassium Sulfate on Faba Bean Yield and Quality, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(3): 87-95
- Pacyna, S.G.M., 2005: Bedeutung des Schwefels für den Ferredoxin- und Leghämoglobin- Gehalt sowie die Energieversorgung in N₂- fixierenden Leguminosen. Dissertation, Universität Bonn, *Bonner Agriculturnchemische Reihe*, Bd. 22.
- MÜCKE, M., 2014: Mechanische Herbizidbekämpfung – welche Technik gibt es? *Bauernblatt*, Ausgabe 21. Juni 2014, 36-38.
- MÜCKE, M., 2015: Ergebnisse der Landessortenversuche Körnererbsen und Ackerbohnen im Ökolandbau 2015. 1-11, Landwirtschaftskammer Niedersachsen
<http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/betriebumwelt/nav/346/article/28831.html>
(Internetseite besucht im Juni 2016).
- MÜLLER, T., JAFFER, I., STEFFENS, D. & SCHULZ, R., 2007. Erhöht die Granulierung von Rohphosphat mit Schwefel (Bio-Superphosphat) die P-Verfügbarkeit in Böden mit hohem pH-Wert?. *Mitteilung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, Band 110, pp. 373-374.
- MUNKHOLM, L. J., P. SCHJØNNING, K.J. RASMUSSEN & K. TANDERUP, 2003: Spatial and temporal effects of direct drilling on soil structure in the seedling environment. *Soil and Tillage Research* **71 (2)**, 163-173.
- NIBIS-KARTENSER, 2016: <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/?TH=BGL500> Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. Hannover. Internetseite, besucht im Juni 2016.
- NORMAN, J.M. & P.G. JARVIS, 1975: Photosynthesis in Sitka Spruce (*Picea sitchensis* (Bong) Carr.) V. Radiation penetration theory and a test case. *J. Appl. Ecol.* **12**, 839-878.
- OKITO A., ALVES B., URQUIAGA S. & R.M. BODDEY, 2004: Isotopic fractionation during N₂ fixation by four tropical legumes. *Soil Biol. Biochem.* **36**, 1179–1190.

- OLFS, H.-W. et al., 2012. DLG-Merkblatt 373: Schwefel-Düngung effizient gestalten. Frankfurt am Main: DLG e. V. Fachzentrum Land- und Ernährungswirtschaft, Ausschuss für Pflanzenernährung.
- PACZYNA, S., 2005: Bedeutung des Schwefels für den Ferredoxin- und Leghämoglobin-Gehalt sowie die Energieversorgung in N₂-fixierenden Leguminosen. Dissertation an der Universität Bonn, ISBN 3-937941-03-7, 173 S.
- PACZYNA, S., M. SCHULZ & H. W. SCHERER, 2004: Influence of sulphur supply on glucose and ATP concentrations of inoculated broad beans (*Vicia faba minor* L.), Biol Fertil Soils (2006) 42: 324-329.
- PALLUT, B., 2000: Unkrautunterdrückung und –bekämpfung durch Fruchtfolgegestaltung, Bodenbearbeitung, Aussaatzeit, Saatmenge und Stickstoffversorgung. In: Pflanzenschutz im ökologischen Landbau – Probleme und Lösungsansätze. Unkrautregulierung im ökologischen Landbau. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- u. Forstwirtschaft, Kleinmachnow. (Hrsg.: BBA Braunschweig), Heft 72, 35-46.
- PATRIQUIN, D.G., D. BAINES, J. LEWIS & A. MCDUGALL, 1988: Aphid infestation of fababeans on an organic farm in relation to weeds, intercrops and added nitrogen. Agriculture, Ecosystems and Environment 20, 279-288.
- PAULSEN, H.M., 2007: Mischfruchtanbausysteme mit Ölpflanzen im ökologischen Landbau. 1. Ertragsstruktur des Mischfruchtanbaus von Leguminosen oder Sommerweizen mit Leindotter (*Camelina sativa* (L.) Crantz). Landbauforschung Völkenrode 57, 107-117.
- PAULSEN, H.M., V. WICHMANN, U. SCHUEMANN & B. RICHTER, 2011: Use of straight vegetable oil mixtures of rape and camelina as on farm fuels in agriculture. Biomass and Bioenergy 35, 4015-4024.
- PEKRUN, C., H.-P. KAUL & W. CLAUPEIN, 2003a: Soil Tillage for Sustainable Nutrient Management. In: ADEL EL TITI (editor): Soil Tillage in Agroecosystems, CRC Press, Boca Raton 2003, 83-113.
- PEKRUN, C., A. EL TITI & W. CLAUPEIN, 2003b: Implications of Soil Tillage for Crop and Weed Seeds. In: ADEL EL TITI (ed.): Soil Tillage in Agroecosystems, CRC Press, Boca Raton 2003, 115-146.
- PORTER, P., G. FEYEREISEN, J. DE BRUIN & G. JOHNSON, 2005: No - till in organic Soybean production following a fall - planted rye cover crop. In: U. KÖPKE, U. NIGGLI, D. NEUHOFF, P. CORNISH, W. LOCKERETZ & H. WILLER (eds.) Researching Sustainable Systems. Proceed. First Scientific Conference Int. Soc. Org. Agric. Res. (ISOFAR) Adelaide, South Australia 21-23, 2005. International Society of Organic Agriculture Research (ISOFAR), Bonn, Germany, 26-30.
- PUDE, R. & B. WENIG, 2005: Pflanzen für die Industrie. Pflanzen, Rohstoffe, Produkte. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Gülzow.
- PUTNAM, A. R., 1983: Exploitation of allelopathy for weed control in annual and perennial cropping systems. Journal of Chemical Ecology 9, 1001-1010.
- PUTNAM, A. R. & J. DE FRANK, 1983: Use of phytotoxic plant residues on selective weed control. Crop Protection 2, 173-181.
- RAHMAN, M., A. A. SOAUD, F. H. AL DARWISH & M. SOFIAN-AZIRUN, 2011: Responses of sulfur, nitrogen and irrigation water on *Zea mays* growth and nutrients uptake, AJCS 5(3):350-360 (2011) ISSN:1835-2707
- RAJAN, S. (1987): Phosphate rock and phosphate rock/sulphur granules as phosphate fertilizers and their dissolution in soil. Fertilizer Research, Band 11, pp. 43-60.
- RECKNAGEL, J. (2000): Geschäftsbericht des Deutschen Soja-Förderrings von 09.12.1999 bis 19.12.2000. Deutscher Soja-Förderring e.V. beim Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung Müllheim. Auf der Breite 7, D-79379 Müllheim.
- REITER, K., K. SCHMIDTKE & R. RAUBER, 2002: The influence of long-term tillage systems on symbiotic N₂ fixation of pea (*Pisum sativum* L.) and red clover (*Trifolium pratense* L.). Plant and Soil 238, 41-55.
- RICE, E. L., 1984: Allelopathy, Academic Press, Orlando.
- RIFFEL, A., H. HORNISCHER, S. FISCHINGER, G. LEITHOLD & K. BECKER, 2013: Wirkung einer Schwefeldüngung zu einem Luzerne-Klee gras-Bestand auf den Kornertrag der Nachfrucht Winterweizen. In: Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau ‚Ideal und Wirklichkeit – Perspektiven Ökologischer Landbewirtschaftung, Bonn, 5 - 8 März 2013, ISBN 978-3-89574-815-8, S. 214-215.
- RIZVI, S.J.H., M. TAHIR, V. RIZVI, R.K. KOHLI & A. ANSARI, 1999: Allelopathic interactions in agroforestry systems. Critical Reviews in Plant Sciences 18, 773-796.
- RÖMER, W., 2014: Welche Phosphatprodukte eignen sich für den Ökolandbau? Ökologie & Landbau 169, 1/2014, 42-44.

- RUDOLPHI, S., 2007: Methodische Grundlagen der Züchtung von Saflor (*Carthamus tinctorius* L.) für den ökologischen Landbau. 132 S., Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.
- RUMPLER, J., 2011: Längs fahren – quer striegeln: der Rollstriegel für Reihen- und Flächenkulturen. In: WILHELM, B. & O. HENSEL (Hrsg.): Landtechnische Lösungen zur Beikrautregulierung im Ökolandbau. DITSL, Witzenhausen.
- SALVAGIOTTI, F., FERRARIS, G., QUIROGA, A., BARRACO, M., VIVAS, H., PRYSTUPA, P., ... & BOEM, F. H. G. (2012). Identifying sulfur deficient fields by using sulfur content; N: S ratio and nutrient stoichiometric relationships in soybean seeds. *Field Crops Research*, 135, 107-115.
- SAUERMAN, W. & O. SASS, 2016: Anbauratgeber Ackerbohnen. Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e. V. (UFOP), Berlin.
- SCHERER, H.W., & A. LANGE (1996): N₂ fixation and growth of legumes as affected by sulphur fertilization. *Biol. Fertil. Soils* 23: 449-453
- SCHERER, H.W., S. PACNYA, N. MANTHEY & M. SCHULZ (2006): Sulphur supply to peas (*Pisum sativum* L.) influences symbiotic N₂ fixation. *Plant Soil Environ.* 52: 72-77
- SCHERER, H. W., S. PACNYA, K. R. SPOTH & M. SCHULZ, 2008: Low levels of ferredoxin, ATP and leghemoglobin contribute to limited N₂ fixation of peas (*Pisum sativum* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) under S deficiency conditions. *Biol Fertil Soils* (2008) 44:909-916
- SCHMIDTKE, KNUT; LUX, GUIDO, 2015: Wirkung verschiedener Verfahren der Schwefeldüngung auf Ertragsleistung und Vorfruchtwert von Körnerleguminosen im Ökologischen Landbau. www.orgprints.org/29783/
- SCHNUG, E., ROGASIK, J., & HANEKLAUS, S. (2003). Die Ausnutzung von Phosphor aus Düngemitteln unter besonderer Berücksichtigung des ökologischen Landbaus. *Landbauforschung Völkenrode*, 53(1). SCHUBERT, S. (2006). *Pflanzenernährung- Grundwissen Bachelor*. Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer Verlag.
- SEEHUBER, C. (2014) Nährstoffversorgung zur Optimierung der N₂-Fixierung und Produktivität von Körnerleguminosen. Dissertation. Landwirtschaftliche Fakultät, Universität Bonn. url: <http://hss.ulb.uni-bonn.de/2015/3888/3888.pdf>
- SEEHUBER, C., H. GOLDBACH & H. SCHERER, 2013: Nährstoffversorgung von Ackerbohnen im Ökologischen Landbau. In: Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau „Ideal und Wirklichkeit – Perspektiven Ökologischer Landbewirtschaftung, Bonn, 5 - 8 März 2013, ISBN 978-3-89574-815-8, S. 210-211.
- SHAPIRO, S. S. & M. B. WILK, 1965: An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52, 591-611.
- SHEARER, G. & D.H. KOHL, 1986: N₂ fixation in field settings: estimation based on natural ¹⁵N abundance. *Aust. J. Plant Physiol.* 13, 699-756.
- SHUSTER, W.D. & C.A. EDWARDS, 2003: Interactions between tillage and earthworms in agroecosystems. In: ADEL EL TITI (ed.): *Soil tillage in agro-ecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton, FL, 229-260.
- SINGH, H. P., R. DAIZY, D.R. BATISH & R.K. KOHLI, 2003: Allelopathic interactions and allelochemicals: New possibilities for sustainable weed management. *Critical Reviews in Plant Sciences* 22 (3&4), 239-311.
- STAMFORD, N.P., P.R. SANTOS, A.M.M.F. MOURA, C.E.R.S. SANTOS & A.D.S. FREITAS (2003): Biofertilizer with natural phosphate, sulphur and *Acidithiobacillus* in a soil with low available P. *Sci. Agricola* 60: 767-773
- STEFFENS, D. (1992): Ertragswirksamkeit und Umsatz von apatitischen Phosphatdüngemitteln im Vergleich zu vollaufgeschlossenen Phosphatformen im Boden unter besonderer Berücksichtigung von Standort- und pflanzenphysiologischen Faktoren. Habilitationsschrift FB 17 Agrarwissenschaften und Umweltsicherung der Justus-Liebig-Universität Gießen
- STOCK, H.G., K. WARNSTOFF & M. KAZMI (1996): Yield structure analysis of soya (*Glycine max* [L.] Merr.) on an eastern German site, *Die Bodenkultur* 47: 23-33
- STODDARD, F.L., NICHOLAS, A.H., RUBIALES, D. THOMAS, J. & A.M. VILLEGAS-FERNANDEZ, 2010: Integrated pest management in faba bean. *Field Crops Res.* 115, 308-318.
- STÜLPNAGEL, R., 1982: Schätzung der von Ackerbohnen symbiontisch fixierten Stickstoffmenge im Feldversuch mit der erweiterten Differenzmethode. *Z. Acker- u. Pflanzenbau* 151, 446-458.
- STUMM, C., 2008: Ackerbohnen - Mechanische Unkrautkontrolle. Leitbetriebe Ökologischer Landbau Nordrhein-Westfalen. 45-48.

- SULIEMAN, S., C.V. HA, J. SCHULZE & L.S.P. TRAN (2013): Growth and nodulation of symbiotic *Medicago truncatula* at different levels of phosphorus availability. J. Exp. Bot. 64: 2701-2712
- TEBRÜGGE, F. & A. BÖHRNSEN, 2000: Mulchsaat – Beurteilung durch Landwirte und Experten in der EU und Nebraska. Landtechnik 55 (1), 17-19.
- TEBRÜGGE, F., 2003: Konservierende Bodenbearbeitung gestern, heute, morgen - von wendender über nicht wendende Bodenbearbeitung zur Mulchsaat. In: ARTMANN, R. & F.-J. BOCKISCH (Hrsg.): Nachhaltige Bodennutzung – aus technischer, pflanzenbaulicher, ökologischer und ökonomischer Sicht. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 256, 49-59.
- THEISEN, G., R. A. VIDAL & N.G. FLECK, 2000: Redução da infestação de Brachiaria
- TIMAC-POTASCO, 2009. Naturphosphat P26. Zwentendorf: TIMAC AGRO Düngemittelsproduktions- und Handels-GmbH.
- UNKOVICH M.J. & J.S. PATE, 2000: An appraisal of recent field measurements of symbiotic N₂ fixation by annual legumes. Field Crop Res. 65, 211–228.
- URBATZKA, PEER; OFFENBERGER, KONRAD; SCHNEIDER, REGINA UND JACOB, IRENE (2014) Schwefeldüngung zu Leguminosen im ökologischen Pflanzenbau. In: Wiesinger, Klaus; Cais, Kathrin und Obermaier, Sabine (Hrsg.) Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, D-Freising, Schriftenreihe der LfL, Nr. 2, S. 132-138.
- VERSCHWELE, A., 2004: Herbizide im Ökologischen Landbau? Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 396, 258.
- VÖLKELE, G & U. EBERT, 2011: Anbautelegramm Ackerbohne (*Vicia faba* L.). 28-29. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.): Körnerleguminosen anbauen und verwerten. KTBL-Heft 100. Darmstadt.
- WANG, Y. F., S. P. WANG, X. Y. CUI, Z. Z. CHEN, E. SCHNUG & S. HANEKLAU, 2003: Effects of sulphur supply on the morphology of shoots and roots of alfalfa (*Medicago sativa* L.), Grass and Forage Science, 58, 160-167
- WILHELM, B. & O. HENSEL (2011): Landtechnische Lösungen zur Beikrautregulierung im Ökolandbau. Deutsches Institut für Tropische und Subtropische Landwirtschaft (DITSL), Witzenhausen.
- WITMER, G., R. SAYLER, D. HUGGINS & J. CAPELLI (2007): Ecology and management of rodents in no-till agriculture in Washington, USA. Integrative Zoology 2: 154-164
- YOUNG, S. L., 2004: Natural product herbicides for control of annual vegetation along roadsides. Weed Technology 18, 580-587.
- ZEHNER, S. & M. GÖTTFERT, 2015: Knöllchenbakterien: Helfer der Landwirtschaft. Biologie in unserer Zeit, 5/2015, 296-302.
- ZIMMER, S. , M. MEßMER, T. HAASE, A. MINDERMANN, H. SCHULZ, K.P. WILBOIS & J. HEB (2013): Eignung von Bradyrhizobium-Impfpräparaten zur Inokulation von Sojabohnen. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 24: 341-342
- ZWERGER, P. & H.U. AMMON (Hrsg.), 2002: Unkraut – Ökologie und Bekämpfung. Ulmer, Stuttgart.

8: Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt, bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse

Publikationen und Vorträge

- Jung et al. 2013. 58. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften ‚Multifunktionale Agrarlandschaften - Pflanzenbaulicher Anspruch, Biodiversität, Ökosystemdienstleistungen‘. Braunschweig, 22. bis 24. September 2013.
- Jung et al. 2015. 13. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau ‚Am Mut hängt der Erfolg‘. Eberswalde, 17. bis 20. März 2015.
- Jung, R., Solf, G. & R. Rauber, 2015a: Temporär reduzierte Bodenbearbeitung: Kann das Unkrautufkommen in Ackerbohnen durch Gemengeanbau oder Striegeln nachhaltig reduziert werden? In: Häring et al. (Hrsg): Beiträge zur 13. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau ‚Am Mut hängt der Erfolg‘ in Eberswalde. 82-83. Verlag Dr. Köster, Berlin.
- Jung, R. & R. Rauber, 2015b: Kornenerträge von Ackerbohnen in Süd-Niedersachsen unter Bedingungen des ökologischen Landbaus. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 27, 181-182.
- Mick, T., Schmidtke, K. 2014: Posterpräsentation „Optimierungsstrategien zum Anbau von Körnerleguminosen mit temporären Mulch- und Direktsaatverfahren“ Fachtagung zu Leguminosen „Bausteine einer nachhaltigen Landwirtschaft“, BLE, Bonn am 28. Oktober 2014 in Bonn.
- Schmidtke, K. 2014: Fachvortrag „10 Schritte zum erfolgreichen Körnerleguminosenanbau im ökologischen Landbau“ 4. Leguminosentag – Potentiale für Leguminosen in NRW. Fachtagung der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen und der Arbeitsgemeinschaft Bäuerliche Landwirtschaft, Haus Düsse am 26. November 2014.
- Schmidtke, K. 2015: Fachvortrag „Benchmark 40 plus – Neues aus der Forschung zum Öko-Erbesenbau“. Öko-Eiweißpflanzenfeldtag der KWS und der Landwirtschaftskammer Niedersachsen am 01. Juli 2015 in Wiebrechtshausen.
- Schmidtke, K. 2015: Fachvortrag „Körnerleguminosen erfolgreich anbauen: Neue Strategien der Fruchtfolgegestaltung und des Anbaus“. Beraterfortbildung des Landesbetriebes Landwirtschaft Hessen am 04. November 2015 im Schloss Rauischholzhausen.
- Schmidtke, K. 2015: Fachvortrag „Leguminosen erfolgreich anbauen: Neue Strategien der Fruchtfolgegestaltung, des Anbaus und der Düngung.“ SÖL-Fortbildungstag in Volxheim am 19. November 2015.
- Schmidtke, K. 2016: Fachvortrag „Düngung und Bodenbearbeitung beim Anbau von Erbse und Ackerbohne“, Bioland Bayern e.V., Wintertagung in Plankstetten, 03. Februar 2016.
- Schmidtke, K. 2016: Fachvortrag „Bodenbearbeitung im ökologischen Landbau, Bioland Baden-Württemberg, Wintertagung in Bad Boll, 27. Januar 2016.

Projektbezogene Feldtage und Veranstaltungen

Öko-Eiweißpflanzenfeldtag, KWS-Klostergut Wiebrechtshausen, 1. Juli 2015. Vor Ort wurde eigens zum Thema im März 2015 ein Demonstrationsversuch angelegt. Am Feldtag Darstellung und Präsentation der vorläufigen Ergebnisse aus den faktoriellen Feldversuchen am Standort Reinschhof.

Vortrag am 1.7.2015 beim Feldtag durch R. Jung: „Beikrautregulierung beim Anbau von Ackerbohnen - mechanisch oder indirekt durch Gemengeanbau?“

Fachexkursion zur Mulch- und Direktsaat von Körnerleguminosen für Studierende und Mitarbeiter der Universität Göttingen zur Feldversuchsanlage in Dürrröhrsdorf am 12. Juni 2014.

Kleiner Feldtag am Standort Freital/Somsdorf mit Verein konservierender Bodenbearbeitung Sachsen, GÄA e.V., Verein ökologischer Landbau, Landesanstalt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen, private Landwirte am 07. Juli 2014 in Somsdorf.

Veranstaltung des Workshops „Mulch- und Direktsaat von Körnerleguminosen“ auf der Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, HNE-Eberswalde am 19. März 2015 in Eberswalde.

Feldtag/Feldrundfahrt mit Landwirten des GÄA-Anbauverbandes und von Landwirten des Erzeugerverbandes Ökobauern Sachsen (ÖBS) am Standort am 16. Juni 2015 in Somsdorf.

Feldtag für Landwirte, Studierende und Berater des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie auf dem Lehr- und Versuchsgut Köllitsch mit Vorstellung der Demonstrationsanlage zur Mulch- und Direktsaat von Körnerleguminosen am 25. Juni 2015 in Köllitsch

Sonstiges

Darstellung und Beschreibung (online) des vorliegenden Teilprojektes der Abteilung Pflanzenbau (DNPW, Universität Göttingen).

JUNG, R. & R. RAUBER, 2013-2015: Pflanzenbauliche Strategien zur Minderung der Verunkrautung bei Mulchsaat von Ackerbohnen.

<http://www.uni-goettingen.de/de/44251.html>

Artikel im Feldversuchsführer der Versuchsbetriebe Univ. Göttingen:

<http://www.uni-goettingen.de/de/2014/506924.html>

<http://www.uni-goettingen.de/de/2015/514071.html>

Geplant

Verbreitung der Ergebnisse mit BÖLN-Merkblatt

Ausarbeitung wissenschaftlicher Fachartikel für internationale Fachzeitschriften

Brahim, S., Pflipsen, M., Niess, A., Neuhoff, D., Scherer, H. (2016): Effect of combined fertilization with rock phosphate and elementary sulphur on nutrient uptake and yield of soybean, in prep.