

Entwicklung neuer Strategien zur Mehrung und optimierten Nutzung der Bodenfruchtbarkeit

Developing strategies for maintaining and increasing soil fertility: cropping systems combining pulses with mulch husbandry

FKZ: 08OE020, 08OE145, 08OE146 und 08OE147

Projektnehmer (Gesamtkoordination des Verbundvorhabens):

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Institut für Organischen Landbau

Katzenburgweg 3, 53115 Bonn

Tel.: +49 228 735615

Fax: +49228 735617

E-Mail: iol@uni-bonn.de

Internet: <http://www.iol.uni-bonn.de>

Autoren:

Köpke, Ulrich; Rauber, Rolf; Schmidtke, Knut; Goldbach, Heiner; Scherer, Heinrich W.

Gefördert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger
Landwirtschaft (BÖLN)

Bundesprogramm Ökologischer Landbau

Abschlussbericht des Projektes

„Entwicklung neuer Strategien zur Mehrung und optimierten Nutzung der Bodenfruchtbarkeit“

Zuwendungsempfänger/ ausführende Stellen:

Universität Bonn

Universität Göttingen

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Forschungsprojekt Nr.: 08OE020, 08OE145, 08OE146, 08OE147

Laufzeit: 10.07.08 - 30.11.11

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 rrauber@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

TP 4: Prof. Dr. Heiner Goldbach, Prof. Dr. Heinrich W. Scherer, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz (INRES), Fachgebiet Pflanzenernährung, h.goldbach@uni-bonn.de, h.scherer@uni-bonn.de

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Projekt Ökologische Leitbetriebe NRW, Dipl. Ing. Agr, Christoph Stumm, private Landwirte

Inhaltsverzeichnis

I: Kurzfassung	1
1 & 1.1: Einführung / Gegenstand des Vorhabens	2
1.2: Ziele und Aufgabenstellung des Projekts	4
1.3: Planung und Ablauf des Projektes	5
2: Stand des Wissens.....	6
3.1: Teilprojekt 1:.....	16
3.1.1. Material und Methoden.....	17
3.1.2 Ergebnisse und Diskussion	31
3.2: Teilprojekt 2:.....	60
3.2.1. Material und Methoden.....	61
3.2.2 Ergebnisse und Diskussion	66
3.3: Teilprojekt 3:.....	82
3.3.1 Material und Methoden.....	83
3.3.2 Ergebnisse und Diskussion	99
3.4: Teilprojekt 4:.....	142
3.4.1 Material und Methoden.....	143
3.4.2 Ergebnisse und Diskussion	158
4: Generaldiskussion.....	184
5: Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse; Möglichkeiten der Umsetzung oder Anwendung der Ergebnisse für die Praxis und Beratung	187
6: Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen	189
7: Zusammenfassung.....	191
8: Literaturverzeichnis	195
9: Veröffentlichungen zum Projekt	201

I: Kurzfassung

In vier Teilprojekten wurden Strategien zur Optimierung des ökologischen Anbaus von Ackerbohnen und Erbsen in Feldversuchen untersucht. Im Fokus stand der Einfluss verschiedener Formen reduzierter Bodenbearbeitung und temporärer Direktsaat im Verbund mit Mulchen, Zwischenfruchtanbau und gezielter Nährstoffversorgung auf Ertragsleistung und Unkrautvorkommen. Das Wachstum von Ackerbohnen und Erbsen war nach Direktsaat im Vergleich zu Pflugbearbeitung retardiert und glich sich erst mit zunehmendem Vegetationsverlauf an. In der Mehrzahl der Versuche wurde bei Nichtvorhandensein perennierender Unkräuter bei insgesamt vglw. niedrigem Ertragsniveau kein fördernder Einfluss der Pflugbearbeitung auf den Kornertrag festgestellt. Nährstoffmangel, bspw. von Schwefel kann bei Ackerbohnen ertragslimitierend sein und ist durch entsprechende DRIS basierte Düngungsverfahren behebbar. Nichtlegume Zwischenfrüchte erhöhten die N₂-Nettofixierleistung von Ackerbohnen. Gezielte Verfahren reduzierter Bodenbearbeitung / temporärer Direktsaat für Ackerbohnen, bspw. mit Nutzung von Strohmulch, sind bei geeigneten Standortbedingungen insbesondere geringer Unkrautdruck ohne wirtschaftliche Ertragseinbußen möglich; im Falle von Erbsen wird das Anbaurisiko deutlich erhöht.

II: Abstract

Strategies to improve the performance of organic grain legumes (faba bean and pea) were tested in numerous field trials all over Germany. The key objectives were to evaluate the effect of reduced soil tillage / occasional direct seeding in combination with mulching, cover crops and nutrient supply on crop growth and yield. After reduced soil tillage / direct seeding compared with ploughing crop growth of faba bean and pea was retarded, but compensated in later stages. In the majority of the field trials, when densities of perennial weeds were low, grain yield of faba bean was not higher after ploughing compared with the reduced tillage methods. Nutrient deficiency, e.g. of sulphur, can be a yield limiting factor for faba bean and can be resolved by DRIS based nutrient supply. Non-leguminous cover crops increase net N₂ fixation of faba bean. Site specific techniques of reduced soil tillage for faba bean, e.g. straw mulching, are generally possible, if weed pressure of perennials is low. In contrast, reduced soil tillage such as direct direct seeding significantly increases the risk of cultivation for pea.

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, in denen aber die für Körnerleguminosen als Druschfrüchte nötige Erntetechnik vorhanden ist bzw. nur wenig modifiziert werden muss. Vor allem in *viehlos wirtschaftenden Marktfruchtbetrieben* besteht ein größeres Interesse am Einsatz neuer ackerbaulicher Techniken für gesteigerten Boden- bzw. Erosionsschutz, zur *Begrenzung des Aufwandes, gesteigerter 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 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 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

Oberziel der Forschung im interdisziplinären Projekt ist die systematische Erarbeitung, komplexe Abbildung und praktische Umsetzung von Anbaustrategien zur Sicherung und Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit durch optimierte Nutzung von Körnerleguminosen (Ackerbohnen, Körnererbsen) in Fruchtfolgeausschnitten mit reduzierter Bodenbearbeitung bzw. Mulchsaatverfahren im Ökologischen Landbau. Die mögliche Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse auf den Anbau von Lupinen und Sojabohnen wird berücksichtigt.

Die dazu experimentell bearbeiteten Module umfassen im Bereich Nährstoffmanagement Anbauelemente, von denen erwartet wird, dass sie geeignet sind die N_2 -Fixierleistung der Körnerleguminosen und die Stickstoffeffizienz im Anbausystem zu steigern. Dazu soll zum einen die Menge des bodenbürtigen Stickstoff unter Ackerbohnen durch den Mulch der Erntereste unterschiedlicher nichtlegumer Vorfrüchte (Haupt- und Zwischenfrüchte) temporär immobilisiert bzw. durch legume Untersaaten reduziert werden. N_2 -Fixier- und Ertragsleistung der Körnerleguminosen limitierende Makro- und Mikronährstoffe sollen mit ressourcenschonendem Einsatz geeigneter zugelassener Sekundärrohstoffdünger ausgeglichen werden. Die Nährstoffmängel sollen mittels moderner und weiter zu entwickelnder Pflanzenanalysenmethoden detektiert werden. Alle Maßnahmen werden im Hinblick auf ihre Vorfruchtwirkung zu nachfolgenden Nichtleguminosen quantifiziert.

Die hinreichende Regulation von Unkräutern soll bei annualen Arten durch geeignete Mulchauflagen mit physikalischen und z. T. allelochemischen Wirkungen, Einsatz einer Reihenmulchtechnik ebenso wie mit Nährstoffkonkurrenz und –entzug (Zwischenfrüchte vor und Untersaaten in Körnerleguminosen) erreicht werden. Begleitend wird (für den hier gestellten Antrag kostenneutral) untersucht, ob Wurzelunkräuter durch verschiedene Pflanzenextrakte und andere geeignete Naturstoffe hinreichend geschwächt und kontrolliert werden können.

Zur Kompensation potentiell ertragslimitierender Faktoren bei Mulch- und im Extrem Mulchsaat soll die derzeit beste verfügbare Sätechnik mit optimierter Saatgutablage für höheren Feldaufgang und homogene Bestände durch technisch angepasste Mulch durchtrennende Werkzeuge eingesetzt werden.

Die einfache ökonomische Bewertung erfasst die untersuchten und entwickelten Verfahren und Verfahrenskomponenten aus betriebswirtschaftlicher Sicht auf Basis der Verfahrenskosten und Direktkostenfreien Leistungen. Mit Ökobilanzen können besonders umwelt- und energieeffiziente Verfahren identifiziert werden.

Ein standardisiertes Unkrautbonitursystem soll die Einführung bodenschonender bodenfruchtbarkeitsfördernder Verfahren und reduzierter Bodenbearbeitung und Mulchsaat im Ökologischen Landbau durch Integration geeigneter Kenngrößen zur Minimierung von Anbaurisiken fördern.

Die Forschungsziele sollen im partizipativen Ansatz durch Einbeziehung der Kompetenz und Erfahrung aller an der Wertschöpfungskette beteiligten Akteure der Praxis, Beratung, Wissenschaft und Industrie in dialogisch-reflexiver Vorgehensweise und mit einem konsekutiven Feldversuchsansatz zielgruppennah auch in Praxisbetrieben erreicht werden.

1.3: Planung und Ablauf des Projektes

Das Gesamtprojekt wird in der Laufzeit von Juni 2008 bis Ende November 2011 durchgeführt und besteht aus drei sich zeitlich überlappenden Projektphasen. Zu Beginn wird vornehmlich in Versuchseinrichtungen ein gezieltes experimentelles Programm zum Fragenkomplex Anbauverfahren für Körnerleguminosen durchgeführt. In einer zweiten Phase werden, zum Teil mit Phase eins überschneidend, basierend auf den Ergebnissen sukzessive Erfolg versprechende Ansätze in der landwirtschaftlichen Praxis modifizierend überprüft und optimiert. Nach einer umfassenden Bewertung der untersuchten Anbauverfahren werden die Forschungsergebnisse in gezielten Demonstrationsvorhaben und verschiedenen Medien der interessierten landwirtschaftlichen Praxis und Beratung zeitnah zugänglich gemacht. Der planungsgemäße Ablauf des Projektes wird durch Setzung von Meilensteinen und deren erfolgreiche Erzielung intern kontrolliert.

2: Stand des Wissens

Restriktionen des Körnerleguminosen-Anbaus

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 Wurzelichte 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, 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 & KÖPKE 1994, HAAS et al. 1994, 1995, HAAS 1996) und auch mit Humusabbau, d. h. dem Abbau potentieller Bodenfruchtbarkeit, verbunden.

Da Körnerleguminosen in vielen Fällen nur unzureichend in der Lage sind, mineralisierten N aus dem Unterboden aufzunehmen, besteht beim und insbesondere nach dem Anbau von Körnerleguminosen die Gefahr einer erhöhten N-Verlagerung und -auswaschung. So liegen u. U. bereits zur Saat der Körnerleguminosen im Frühjahr erhebliche Mengen an mineralischem N im Unterboden vor, 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 wird i. d. R. weniger N symbiotisch gebunden als mit den Körnern von der Fläche abgefahren wird: Körnerleguminosen werden als potentielle Mehrer der Bodenfruchtbarkeit zu Zehrnern der Bodenfruchtbarkeit; negative N-Flächenbilanzsalden sind die Folge.

Eine Erhöhung der N₂-Fixierleistung und damit des Netto-Zuflusses von Stickstoff und Mehrung der Bodenfruchtbarkeit ist mit der Applikation und Verfügbarkeit von Nährstoffen aus P-haltigen und mikronährstoffreichen Düngern (z. B. Molybdän) möglich. Die N₂-Fixierung kann durch Beseitigung potenzieller Mangelzustände von Mo und Zn (MARSCHNER 1995) sowie Bor (WIMMER et al. 2005) auch sehr kurzfristig verbessert und erhöht werden. Auch Algenkalk (z. B. Litho-Physalg, 18 % P₂O₅) oder andere Sekundär-Rohstoffdünger mit hohem Anteil von Spurenelementen könnte den Knöllchenansatz und N₂-Fixierung deutlich verbessern, sind aber dieserhalb bislang nicht untersucht worden. Geeignete Analysemethoden, die den Nährstoffversorgungszustand der Pflanzen und mögliche Mängel rasch und treffgenau bestimmen, und Maßnahmenkataloge für die Praxis, die die Nährstoffversorgung der Körnerleguminosen für unterschiedliche Standortbedingungen, Boden-Managementsysteme (Direkt- oder Mulchsaatverfahren) und Betriebsstrukturen optimieren lassen, sind bislang nicht erarbeitet.

Restriktionen und Potentiale von reduzierter Bodenbearbeitung und Mulchsaat-Verfahren

Den vorgenannten Problemen des Körnerleguminosenanbaus könnte mit einem adäquaten Einsatz von bodenfruchtbarkeitsrelevanten Mulch- und bei günstigen Voraussetzungen auch Mulchsaatverfahren zu Körnerleguminosen begegnet werden. Oberziele reduzierter Bodenbearbeitungsintensität - im Extrem Mulchsaat - 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). Mulchsaatverfahren mit reduzierter Bodenbearbeitung und verminderter

Eingriffsintensität haben bislang eine deutlich höhere Verbreitung als Mulchsaatverfahren, 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 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), 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: Erhöhter Unkrautdruck und verminderte bodenbürtige Stickstofffreisetzung.

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.

Generell bietet sich 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 Unkrautaufkommen - nach günstigen Vorfrüchten nicht wendende Grundbodenbearbeitung zu Wintergetreide empfohlen (PALLUT 2000). Ackerbohnen sind im Gegensatz zu Körnererbsen vglw. unkrauttolerant. Nach Bestandesschluss entwickeln sie eine hohe Konkurrenzkraft, die erst mit der Abreife der Bestände abnimmt und mit Spätverunkrautung (z. B. Chenopodiaceen) verbunden sein kann.

Grundsätzlich ist die Substitution chemisch-synthetischer Totalherbizide wie Glyphosaten, 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 einsatzfähig; ein Sachverhalt, der sich angesichts der internationalen Entwicklungen aber durchaus ändern könnte, wenngleich 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 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 & RADERMACHER 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 (KÖPKE unveröffentlicht) bestätigen Angaben der Literatur (THEISEN et al. 2000, DERPSCH & GROOMS 2002), dass mit Ernterestmengen von 4 – 6 t/ha homogen verteilter und zerkleinerter Trockenmasse das Unkrautauftreten 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). 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 aus phytopathologischer Perspektive durchaus wünschenswert sein um den Befall mit *Aphis fabae* zu minimieren (PATRIQUIN et al. 1988, JUSTUS & KÖPKE 1995). Die Standorteinflüsse auf den Befall mit Schaderregern und mögliche Vermeidungsstrategien sind bei Körnerleguminosen bislang kaum untersucht.

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 Festboden-Mulchsysteme (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 nicht 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 vergleichsweise gering (PORTER et al. 2005).

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 Erbsen deutlich höher als nach einer Bodenbearbeitung mit dem Pflug (REITER et al. 2002). Moderne Mulchsaatmaschinen erlauben die Ablage auch großkörnigen Saatgutes (z. B. Ackerbohnen) in hinreichender Bodentiefe (d. h. 6 – 8 cm). Erfolgreiche Mulchsaat von Körnerleguminosen im Ökologischen Landbau hängt von der Unkraut-Unterdrückung der Mulch-Decke und dem Bodenbedeckungsgrad ab. Hohe Schichtdicken stellen besondere Anforderungen an die Sätechnik, besonders an die Vorlaufwerkzeuge vor dem Säeschar, 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. 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) die symbiotische N₂-Fixierung in der Jugendphase der Körnerleguminosen u.U. beeinträchtigen bzw. verzögern.

Auch hinsichtlich der Gefährdung der Körnerleguminosen mit bodenbürtigen Schaderregern ist der Einfluss von Mulch unterschiedlicher Vorfrüchte bislang nicht hinreichend untersucht worden. Reduzierte Bodenbearbeitung bzw. Mulchsaat kann das Überleben von bodenbürtigen Schaderregern auf Ernterückständen und über Einflüsse auf Bodentemperatur und Bodenfeuchtigkeit die Entwicklung von Schaderregern fördern (BOCKUS & SHROYER 1998). Andererseits ist bekannt, dass die Steigerung der mikrobiellen Aktivität im Boden als Folge der Zufuhr und Akkumulation organischer Substanz boden- und windbürtige Krankheiten reduzieren kann (DRINKWATER et al. 1995, STONE et al. 2003). Einige Erreger haben einen relativ weiten Wirtspflanzenkreis, sodass eine Mulchdecke nicht nur in der Nachfrucht, sondern auch später das Spektrum und die Intensität der Schaderreger beeinflussen kann.

Beim Anbau von Körnerleguminosen gehören Arten aus den Gattungen *Pythium*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Aphanomyces* und *Phoma*, welche den Komplex der Auflaufkrankheiten hervorrufen, zu den bedeutsamen bodenbürtigen Schaderregern (GRUNWALD & HOHEISEL 2006, ARES et al. 2006). Bei begünstigender Witterung, insbesondere nassen Bodenverhältnissen, sind hohe Ertragsverluste möglich. Die Erreger überdauern auch auf frischer organischer Substanz und werden durch eine Bodenbearbeitung mit dem Pflug reduziert (BOCKUS & SHROYER 1998), ein Sachverhalt, der insbesondere mit Hinblick auf die Saatverfahren mit Mulchaufgabe berücksichtigt werden muss. Ob Ackerschnecken, die unter feuchten Bedingungen bei langjährig unterlassener intensiver Bodenbearbeitung erhebliche Schäden verursachen können, auch bei temporärer Mulchsaat/ Reduzierter Bodenbearbeitung Anbausystem limitierend sind, ist unklar. Gleiches gilt für bodenwühlende Tiere, Maulwurf, Wühlmaus und Feld- und Spitzmäuse.

Mit der Einführung reduzierter Bodenbearbeitung – und in Mulchsaatsystemen als ihrer ausgeprägtesten Form – finden chemische, physikalische und biologische Veränderungen im Agrarökosystem statt. Flächen mit Mulchsaatsystemen

unterschieden 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). Ebenso können Schaderreger wie Schnecken (GLEN & SYMONDSON 2003) oder Mäuse (REINHARD *et al.* (2001) vermehrt auf Flächen in Mulchsaat auftreten. Auch auf pflanzenbauliche Kenngrößen wie Ertrag oder Bestandesdichte hat die Intensität der Bodenbearbeitung Einfluss (TEBRÜGGE & EICHHORN 1992).

Obwohl aus Sicht des Schutzes der natürlichen Ressourcen und des Pflanzenbaus eine Vielzahl von gewünschten Effekten bei Mulchsaat auftritt, besteht bei Landwirten oft eine negative Einschätzung der pflanzenbaulicher Folgen, wie z. B. vermehrtes 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 ersetzt werden.

Zur Abschätzung der Umweltwirkungen von Acker- und Pflanzenbau wiederum können Ökobilanzen von Betrieben, Regionen oder landwirtschaftlichen Verfahren dienen, die Hinweise auf eine ökologische Optimierung liefern (ARMAN 2003, FAL 2003). Durch multivariate Datenanalyse und Regressionsanalyse (KHATTREE & NAIK 2000, MILLER 2002) im Zuge eines *Data Mining*-Prozesses lassen sich Muster in großen Datensätzen erkennen. Alle diese Ansätze fußen auf der Erfassung und Auswertung spezifischer Kenngrößen. Die aufgeführten chemischen, physikalischen und biologischen Kenngrößen, die sich bei konventioneller und reduzierter

Bodenbearbeitung erheblich unterscheiden, können, vergleichbar mit bereits vorhandenen Ansätzen (BOCKSTALLER & GIRARDIN 2000, BOCKSTALLER *et al* 1997, CHRISTEN & O'HALLORAN-WIETHOLZ 1999) als Indikatoren zur Beschreibung der Systemstabilität und Tauglichkeit des Verfahrens fungieren.

Die agrarökonomische Forschung konzentrierte sich bislang im Wesentlichen auf die Bereiche:

(1) Wirtschaftlichkeit des Ökologischen Landbaus und die Analyse der Rentabilität von Betriebsumstellungen auf ökologische Wirtschaftsweise, (2) Marktchancen für Öko-Produkte und die Rolle der Vermarktung für den Erfolg der Umstellung und (3) die ökonomische Bewertung alternativer Politikoptionen für die Förderung des Ökologischen Landbaus. Relevant ist im Zusammenhang mit den hier verfolgten Projektzielen der Bereich (1) für den die einzelnen Teilprojekte umfangreich Daten zur späteren projektexternen Verarbeitung bereitstellen können.

NIEBERG (1997) führte eine mehrjährige ökonomische Begleituntersuchung zur Umstellung von 107 landwirtschaftlichen Betrieben auf ökologische Wirtschaftsweise durch. Sie stellte fest, dass die Umstellung bei der Mehrzahl der Betriebe zu positiven Einkommenseffekten geführt hat und dass vor allem Marktfruchtbetriebe von der Umstellung profitierten. SCHULZE-PALS (1994) kam anhand der Analyse von Jahresabschlüssen landwirtschaftlicher Betriebe zu ähnlichen Ergebnissen. Insgesamt zeigte sich, dass vor allem Futterbaubetriebe auf staatliche Umstellungsbeihilfen angewiesen waren, während für die Mehrzahl der Marktfruchtbetriebe die Umstellung auch ohne Beihilfen gelohnt hätte. KÖHNE & KÖHN (1998) führten entsprechende Untersuchungen für ökologisch wirtschaftende Großbetriebe in Ostdeutschland durch und konnten die von NIEBERG (1997) sowie SCHULZE-PALS (1994) gefundenen Ergebnisse weitgehend bestätigen. NIEBERG (2001) untersuchte anhand von Daten einer Betriebserhebung die erfolgsbestimmenden Faktoren im Ökologischen Landbau. Sie stellte fest, dass erfolgreiche Betriebe eher marktorientiert produzieren, weniger von agrarpolitischen Prämien abhängig sind und überwiegend im Haupterwerb bewirtschaftet werden. GUBI (2006) untersuchte in einer auf Buchführungsabschlüssen basierenden Analyse die erfolgs- und effizienzbestimmenden Faktoren und kam zu dem Ergebnis, dass insbesondere Betriebsgröße und Spezialisierungsgrad diesbezüglich eine wesentliche Rolle spielen. FRANCKSEN *et al.* (2007) nahmen Gubis Erkenntnisse zum Anlass, den Einfluss des betrieblichen Spezialisierungsgrades auf den

wirtschaftlichen Erfolg näher zu untersuchen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Mehrzahl der untersuchten ökologischen Marktfruchtbetriebe zu wenig spezialisiert ist. Durch eine stärkere Konzentration auf wenige Betriebszweige könnte nach Ansicht dieser Autoren die Produktivität dieser Betriebe um bis zu 15 % gesteigert werden. TAUBE et al. (2005) befassten sich mit den produktionstechnischen, ökologischen und ökonomischen Aspekten alternativer Fruchtfolgen im ökologischen Marktfruchtbau an Hohertragsstandorten. Leguminosenreiche Fruchtfolgen erreichen zwar insgesamt höhere Deckungsbeiträge als die untersuchten „extensiven“ Vergleichsfruchtfolgen, waren aber auch durch höhere Nitratfrachten gekennzeichnet.

Insgesamt zeigt sich, dass die betriebswirtschaftliche Analyse des Ökologischen Landbaus bisher im Wesentlichen auf gesamtbetriebliche Rentabilitätsaspekte beschränkt ist, bei denen Umweltleistungen und Umweltlasten nicht berücksichtigt wurden.



Bild 1: Projekt - Feldtag Körnerleguminosen in Niederkrüchten am 09.06.2010

3.1: Teilprojekt 1:

Material und Methoden

Ergebnisse und Diskussion

„Mulchsaat von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) im Ökologischen Landbau“

Förderkennzeichen: 08OE020

Projektleitung: Prof. Dr. Ulrich Köpke

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Organischen Landbau,
Katzenburgweg 3, 53115 Bonn.

Bearbeitung: Dipl. Ing. agr. Luiz Massucati

3.1.1. Material und Methoden

Feldversuche und Versuchsdurchführung

In zwei Versuchsjahren, 2008/2009 und 2009/2010, wurden auf der Lehr- und Forschungsstation für Organischen Landbau „Wiesengut“ (50°48'N; 7°17'E) der Universität Bonn in Hennef/ Sieg (WG) und der Lehr- und Forschungsstation „Frankenforst“ (50°42'N; 7°12'E) des Instituts für Tierwissenschaften der Universität Bonn in Königswinter (FF) sowie auf zwei ökologisch wirtschaftenden Praxisbetrieben in Niederkrüchten (NI) und in Willich/ Anrath (AN) insgesamt acht Feldversuche durchgeführt. Die verwendeten Versuchsbezeichnungen setzen sich jeweils aus einem Kürzel für den Betrieb (WG, FF, NI und AN) und das Versuchsjahr (1 und 2), sowie unterschiedliche Versuchsflächen (a und b) am selben Standort und Jahr zusammen (Tab. 1.1)

Tab. 1.1: Kennungen und Saattermine der Feldversuche in den Versuchs- und Praxisbetrieben

Versuche	Jahr	Versuchsbetrieb Wiesengut		Versuchsbetrieb Frankenforst	Praxis Betriebe	
AB im Hafer-Mulch	2008/2009 (Aussaattermin)	WG 1 (22.Mrz.-3.Apr.2009)		FF 1 (7.Apr.2009)	NI 1 21.Mrz.- 2.Apr.2009)	
	2009/2010 (Aussaattermin)	WG 2a (18.Mrz.2010)	WG 2b (6.Apr.2010)	FF 2 (9.Apr.2010)	NI 2 (10.Mrz. 2010)	AN 1 (18.Mrz.- 7.Apr. 2010)

In den Vegetationsperioden 2008/2009 und 2009/10 wurden Feldversuche mit Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) in temporärer Direktsaat durchgeführt. Die Versuche wurden nach einer konventionell bestellten Getreide-Vorfrucht angelegt. Nach den Ackerbohnen wurden *Brassicaceen* (*Sinapis alba* oder *Raphanus sativus* ssp. *oleiferus*) als Zwischenfrucht und Sommergetreide (Weizen) als Nachfrucht angebaut (konventionelle Bodenbearbeitung), um die Vorfruchtwirkung der Ackerbohnen zu überprüfen.

Alle Feldversuche wurden von Feldmäusen befallen, welche jedoch erfolgreich biologisch bekämpft werden konnten, indem Sitzstangen für Greifvögel (z.B. Bussarde und Eulen) aufgestellt wurden. In keinem Versuche wurde gravierender Schneckenbefall festgestellt.

Tab 1.2: Bearbeitungsmaßnahmen

Arbeitsschritt (Gerät)	Bearbeitungstermin (Datum)							
	WG 1	WG 2a	FF 1	FF 2	NI 1	NI 2	AN 1	WG 2b
Vorfrucht								
Drusch (Ernte)	13. Aug. 08	3. Apr. 09	15. Aug. 08	Aug. 09	8. Aug. 08	Aug. 09	Aug. 09	Aug. 09
zur Zwischenfrucht								
Primäre Bodenbearbeitung								
Grundboden- Bearbeitung (Grubber)	01. Sep. 08	04. Aug. 09	02. Sep. 08	Sep. 09	29. Aug. 08	Sep. 09	Sep. 09	Sep. 09
Sekundäre Bodenbearbeitung + Aussaat								
Saatbettbereitung (Kreiselegge-Säkombination)	03. Sep. 08	Sep. 09	5. Sep. 08	Sep. 09	30. Aug. 08	Sep. 09	Sep. 09	Sep. 09
zur Ackerbohne								
Primäre Bodenbearbeitung								
Grundboden- Bearbeitung (Scharpflug)	31. Jan. 09	05. Feb. 10	10. Mrz. 09	06. Apr. 10	19. Mrz. 09	06. Mrz. 10	05. Apr. 10	19. Mrz. 10
Sekundäre Bodenbearbeitung								
Saatbettbereitung (Kreiselegge)	20. Feb. 09	15. Mrz. 10	20. Mrz. 09	9. Apr. 10	21. Mrz. 09	9. Mrz. 10	7. Apr. 10	6. Apr. 10
Unkrautkontrolle Handhacke	21. Mai 09	27. Apr/ 18. Mai. 10	4. Mai. 09	11. Mai. 10	19. Mai. 09	29. Apr./25. Mai. 10	29. Apr./05. Mai. 10	05. Mai. 10
zur Zwischenfrucht								
Primäre Bodenbearbeitung								
Grund- Bodenbearbeitung (Scharpflug)	12. Sep. 09		20. Sep. 09					
Sekundäre Bodenbearbeitung + Aussaat								
Saatbettbereitung (Kreiselegge-Säkombination)	15. Sep. 09		24. Sep. 09					
zum Weizen								
Primäre Bodenbearbeitung								
Grund- Bodenbearbeitung (Grubber)	April. 10		06. Apr. 10					
Sekundäre Bodenbearbeitung + Aussaat								
Saatbettbereitung (Kreiselegge-Säkombination)	April. 10		09. Apr. 10					

Im Jahr 2009 wurde der Versuch nach Vorfrucht Hafer als zweifaktorielle Blockanlage mit vier Wiederholungen mit den folgenden Versuchsfaktoren im Direktsaatverfahren angelegt: Haferstroh in unterschiedlicher Menge (ohne Stroh, 4 und 6 t Stroh TM ha^{-1} = tDS 0, 4 und 6, Abb. 1.1) und Hafer unterschiedlicher Saattiefe (0, 600, 1200, 1800 Körner m^{-2}) Hagelverluste simulierend. Als Kontrollvariante wurde eine konventionelle Bodenbearbeitung mit Wendepflug (Lockerbodensystem = LBS) durchgeführt (Tab. 1.3). Aus technischen Gründen wurden die LBS-Varianten in einer Breite von 5 m angelegt, während die Parzellen der tDS Varianten 3 m breit waren (variable Parzellenlänge zwischen 12 m und 25 m).

Die Versuche wurden nach dem Haferernte im August angelegt. Zuerst wurde das Stroh gehäckselt (10 cm), gepresst (Strohballenpresse Fa. WELGER) und entfernt. Danach wurde in den Direktsaatvarianten Hafer als Zwischenfrucht in vier unterschiedlichen Saattiefen (0, 600, 1200 und 1800 Körner m^{-2}) gesät. Die Aussaat der Haferkörner erfolgte mittels einer Parzellendrillmaschine (Fa. HEGE) mit abgebauten Scharen, welche die Körner aus 20 cm Höhe über dem Boden fallen ließ. Nach der Hafer-Aussaat wurde das Hafer-Stroh in drei unterschiedlichen Mengen (0, 4 und 6 t ha^{-1}) per Hand auf die Flächen ausgebracht (Abb. 1.1).

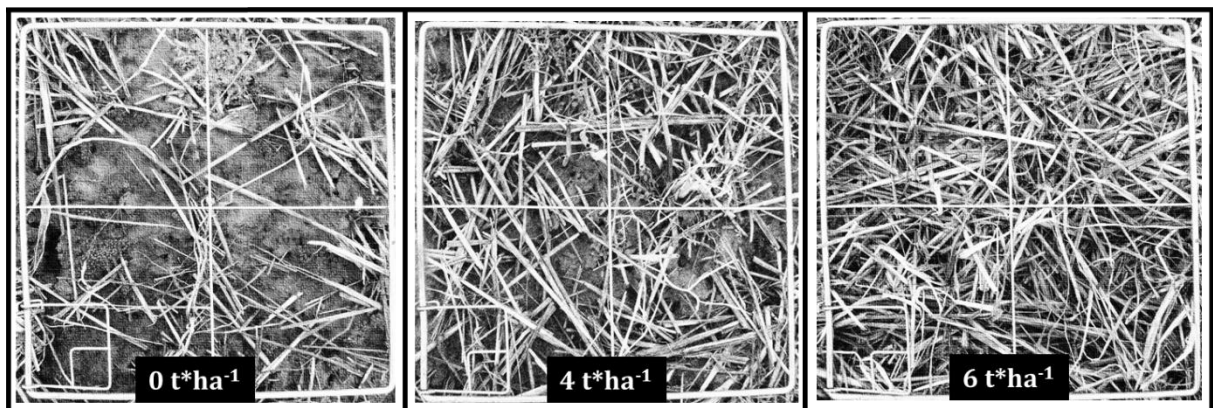


Abb. 1.1: Strohauflagen

In der Kontrollvariante (LBS) wurde nach Haferernte und Strohabfuhr eine Stoppelbearbeitung mit einem Schwergrubber durchgeführt. Es folgte eine Kreiseleggen-Säkombination, mit der die Winterzwischenfrucht Ölrettich mit einer Saattiefe von 25 kg ha^{-1} ausgebracht wurde. Die Pflugbearbeitung erfolgte im zeitigen Frühjahr mit einem 5-Schar-Wendepflug. Als Simulation der in der Praxis

üblichen mechanischen Unkrautkontrolle mit der Hacke wurde in den LBS-Varianten eine Unkrautregulierung per Handhacke an ein bis zwei Terminen durchgeführt.

Im Versuchsjahr 2010 wurde der Versuch modifiziert. Es wurde auf den Versuchsfaktor Hafer-Zwischenfrucht (Ausfall durch simulierten Hageelschlag) verzichtet, da dieser keine Wirkung auf das untersuchte Parameterspektrum aufwies. Der Versuch wurde als ein-faktorielle Blockanlage mit dem Faktor Haferstroh (0, 4 und 6 TM t*ha⁻¹) und LBS als Kontrollvariante angelegt; insgesamt also vier Varianten mit fünf Wiederholungen. Die Parzellenlänge variierte bei einer Standardbreite von 3 m zwischen 10 m und 16 m.

Tab. 1.3: Versuchsfaktoren und Faktorstufen, TM=Trockenmasse

Anbauverfahren	Versuchsfaktor	Faktorstufen
Temporäre Direktsaat (tDS)	Haferstroh (TM t*ha ⁻¹)	0, 4 und 6
	Hafer-Zwischenfrucht (Körner*m ⁻²)	0, 600, 1200 und 1800
Konventionelle Bodenbearbeitung (LBS)	Kontrolle	Grundbodenbearbeitung; Saatbettbereitung; Unkrautkontrolle

Aussaat mit der Direktsaatmaschine

Die Aussaat der Ackerbohnen (Sorte *Limbo*: WG 1 und NI 1; und *Fuego*: alle Versuche) erfolgte mit einer Einzelkorn-Dreischeiben-Sämaschine SHM 11/13 (Fa. SEMEATO, Abb. 1.2). Im ersten Versuchsjahr wurde mit einer Aussaatstärke von 45 Körnern*m⁻², einem Reihenabstand von 34 cm und einer Ablagetiefe zwischen 5 und 9 cm gearbeitet. Aufgrund von Problemen mit der Saatgutqualität wurde in zwei Versuchen (WG 1 und NI 1) nachgesät. Die Sorte *Fuego* wurde zwischen die bereits mit der Sorte *Limbo* gesäten Reihen eingebracht; insgesamt wurden also 90 Körner*m⁻² gesät (17 cm Reihenabstand).

Bei der Aussaat in einen mit Strohaufgaben bedeckten Boden, besonders bei großen Strohmenge auf den Parzellen und gleichzeitig trockenem oder feuchtem Bodenzustand kommt es darauf an, das Saatgut sowohl über die Fläche als auch über die Tiefe optimal zu verteilen, damit schädigende Einflüsse durch die Strohaufgabe vermieden werden und eine günstige Wasserversorgung des Saatgutes gewährleistet wird. Bei der SEMEATO SHM 11/13 werden drei Scheiben je Säorgan

verwendet. Die Scheiben sind glatt und verursachen keine Bodenbewegung. Die vorlaufende Schneidscheibe hat die Funktion, die Strohaufgabe zu durchtrennen und die Säschnitte zu erzeugen. Die dahinter laufenden Doppelscheibenschare öffnen die Schnitte und ermöglichen eine optimale Saatgutablage. Das Eindringen der Scheiben in den Boden wird von der Gewichtsbelastung gewährleistet. Um unter praktischen Bedingungen die gewünschte Saattiefe zu erreichen, wurde jedes Säorgan mit ca. 400 kg belastet. Durch die Rollenschare wird die Ablagetiefe der Körner reguliert. Die Druckrollen dienen zur Bedeckung des Saatgutes mit Boden und zur Rückverfestigung des Bodens (Verbesserung des Boden-Korn-Kontaktes) durch das Andrücken der Saatrille, in der das Saatgut abgelegt wurde.



Abb. 1.2: Einzelkorn- Direktsaatmaschine SEMEATO® (Längsschnitt).

Beim SEMEATO-Säsystem wird das Saatgut in eine Lochscheibe mit speziellen Bohrungen gedrückt und von einem gefederten Abstreifer vereinzelt. Das vereinzelt Samenkorn fällt dann von der Lochscheibe durch die Doppelscheiben in den Boden. Die Lochscheiben bzw. die Zellenräder der Direktsaatmaschine wurden für die Ackerbohnenaussaat im Rahmen dieser Untersuchung umgerüstet; dazu wurden die Lochscheiben für Mais- und Soja auf die Größe der Ackerbohnen erweitert.

Versuchsstandorte

Die Versuche wurden auf acht Standorten angelegt. Die Betriebsflächen des Wiesengutes (WG) liegen im Siegtal nördlich der Stadt Hennef (7°17'O; 50°48'N) auf einer Höhe von 2 bis 65 m über NN. Bei den Böden handelt es sich um allochthone braune Auenböden, lehmig-schluffige bis sandig-schluffige Auensedimente

unterschiedlicher Mächtigkeit und Korngrößenzusammensetzung. Für die Versuche WG 1,2a und 2b wurden drei verschiedene Haferschläge als Vorfrucht für die Nachfrucht Ackerbohnen ausgewählt. Der Hafer folgte entsprechend der betriebsüblichen Fruchtfolge auf Kartoffeln und Klee gras (WG 1 und WG 2a) oder Ackerbohnen und Raps (WG 2b).

Die Lehr- und Forschungsstation Frankenforst (FF) (7° 12'O; 50° 42'N) des Instituts für Tierwissenschaften dient seit 1930 der Forschung und Lehre der Universität Bonn. Der landwirtschaftliche Betrieb liegt ca. 10 km südöstlich von Bonn (130 - 192 m über NN) am Nordabfall des Siebengebirges am Rande der Ortschaft Vinxel im Stadtbereich Königswinter und wird konventionell bewirtschaftet. Die Versuchsfläche des Standortes FF 1 (50° 42' 38" N; 7° 12' 41" E) wurde seit 2006 ökologisch bewirtschaftet; der Boden ist als Pseudogley-Parabraunerde und Pseudogley (feinsandiger Lehmboden/ Lehmboden) anzusprechen (Ackerzahl: 58/61). Der Versuchsstandort FF 2 (50° 42' 30" N; 7°12' 54" E) wurde seit 2009 ökologisch bewirtschaftet, der Boden ist als Pseudogley (toniger Lehmboden, kiesig) (Ackerzahl: 34/26) anzusprechen. In den Tabellen 1.4. - 1.6 sind die Bodenparameter und Vorfrüchte aller Versuche dargestellt.

Tab. 1.4: Vorfrüchte der Ackerbohnen auf den Versuchsstandorten

Versuchsstandorte	Vorfrucht 1	Vorfrucht 2	Vorfrucht 3
WG 1	Hafer	Kartoffeln	Klee gras
WG 2a	Hafer	Kartoffeln	Klee gras
FF 1	Hafer	Ackerbohnen	Hafer
FF 2	Hafer	Wintergerste	Hafer
NI 1	Hafer	Winterweizen	Grünbrache
NI 2	Hafer	Weißkohl	Kartoffeln
AN 1	Hafer	Mais	Kartoffeln
WG 2b	Hafer	Ackerbohnen	Winterraps

Am Standort Niederkrüchten (NI) wurden im Versuchsjahr 2008/2009 und 2009/10 zwei Feldversuche auf einem Ackerbohnenfeld des Bioland-Betriebes „Hof Bolten“ in Niederkrüchten/ Viersen zirka 90,16 km Luftlinie nordwestlich vom Wiesengut angelegt (NI 1: 51°12'57N; 6°11'53E; NI 2: 51°12'21N, 6°11'24E). Die Versuchsflächen lagen auf einer Höhe von etwa 60 m über NN.

Am Standort Willich/Anrath (AN 1) wurde im Versuchsjahr 2009/2010 ein Feldversuch auf dem Bioland-Betrieb „*Stautenhorf*“ angelegt (51°16'50N, 6°28'25E). Die Versuchsfläche lag auf etwa 45 m über NN auf Lössboden (sandiger Lehm) mit einer Ackerzahl von 75.

Tab. 1.5: Versuchsstandorte: Bodenparameter

	WG 1	FF 1	NI 1	WG 2a	WG 2b	FF 2	NI 2	AN 1
Bodenart#	Uls	Ut4	Us	Slu	Ut3	Lu	Su4	Uls
Acker-/Grünland-Zahl	71	60	50	77	60	26	65	75
pH-Wert *	6,08	6,49	6,59	6,16	6,02	6,73	6,05	6,00
P ₂ O ₅ * (mg/100g Boden)	11 (C)	59 (E)	21 (D)	11 (C)	6 (B)	42 (E)	24 (D)	37 (E)
K ₂ O* (mg/100g Boden)	19 (D)	21 (C)	22 (D)	39 (D)	14 (C)	22 (D)	19 (D)	25 (D)

* (0-30 cm): WG 1: 01.04.2009; WG 2a: 03.03.2010; FF 1: 09.04.2009; FF 2: 04.03.2010; NI 1: 2.4.2009; NI 2: 10.03.2010; AN1: 23.03.2010; WG 2b: 16.04.2010, # Bodenartbestimmung (Kornanalyse): INRES-Bodenkunde, Universität Bonn

Tab. 1.6: Korngrößenverteilung der silikatischen Feinerde in Gew.-%

Fraktion	µm	WG 1	WG2a	FF 1	FF 2	NI 1	NI 2	AN 1	WG 2b
Sand	gS 2000-630	0,3	2,7	0,4	2,6	1,7	2,4	5,0	0,2
	mS 630-200	2,1	12,7	1,1	3,7	8,5	21,2	21,3	0,7
	fS 200-63	23,0	20,8	6,3	7,6	16,3	29,0	10,7	2,7
Schluff	gU 63-20	41,6	30,6	49,5	37,1	51,1	31,9	38,6	55,8
	mU 20-6,3	14,7	12,7	18,9	18,2	12,4	8,0	12,4	20,0
	fU 6,3-2	3,8	5,6	4,5	6,9	2,1	1,9	2,8	4,8
Ton	T < 2	14,5	14,9	19,2	24,0	7,9	5,6	9,2	15,9

Analyse: INRES-Bodenkunde, Universität Bonn

Klima und Witterung

Die Abbildung 1.3 zeigt die Witterungsdaten für die Standorte Wiesengut (WG), Frankenforst (FF) und Niederkrüchten/Anrath (NI/AN) im Untersuchungsraum 2009 bis 2010. Das langjährige Mittel für den Standort WG wurde anhand der Wetterstation Köln-Wahn, 11 km Luftlinie vom Standort WG entfernt, erstellt. Der Standort WG wies im Versuchsjahr 2009 einen mittleren Jahresniederschlag von 843 mm und eine Jahresdurchschnittstemperatur von 10,8 °C auf. Die Winter- und

Frühjahrsmonate waren durch überdurchschnittliche Niederschläge gekennzeichnet. Ab Juni nahm die Niederschlagsintensität ab und erreichte den niedrigsten Wert im Monat August, der besonders trocken war und unter dem langjährigen Mittel lag (37 gegenüber 76 mm). Im Versuchsjahr 2010 waren die Temperaturen im April im Vergleich zum langjährigen Mittel deutlich höher. Gleichzeitig ausbleibender Niederschlag direkt nach der Aussaat führte zu einer langsamen Ackerbohnenentwicklung; darauffolgende Trockenperioden im Juni und Juli, verbunden mit über dem langjährigen Mittel liegenden Temperaturen resultierten in einer beschleunigten Abreife.

Am Standort FF waren die Niederschläge im Frühjahr des Versuchsjahres 2009 im Vergleich zum langjährigen Mittel ebenfalls hoch. Dieser Sachverhalt und die hohen Temperaturen im April und Mai wirkten sich günstig auf die Pflanzenentwicklung aus. Die geringeren Niederschläge in den folgenden Monaten konnten durch die vorhandene Bodenfeuchte kompensiert werden. Die Witterungsbedingungen im Versuchsjahr 2010 am Standort FF waren ähnlich denen am Standort WG. Die Niederschläge waren im Winter und Frühjahr mit einem fast niederschlagsfreien Monat April (4,4 mm) deutlich geringer als im langjährigen Mittel. Aufgrund geringer Niederschläge in den Monaten Juni und Juli erfolgte eine frühzeitig Abreife der Bestände, welche im Verbund mit Platzregen und Hagel in Mindererträgen resultierte.

An den Standorten NI und AN waren die Niederschläge in den Monaten April und Mai (30 und 22 mm) des Versuchsjahres 2009 überdurchschnittlich gering. Die Witterungsbedingungen im Versuchsjahr 2010 waren ähnlich denen der anderen Standorte.

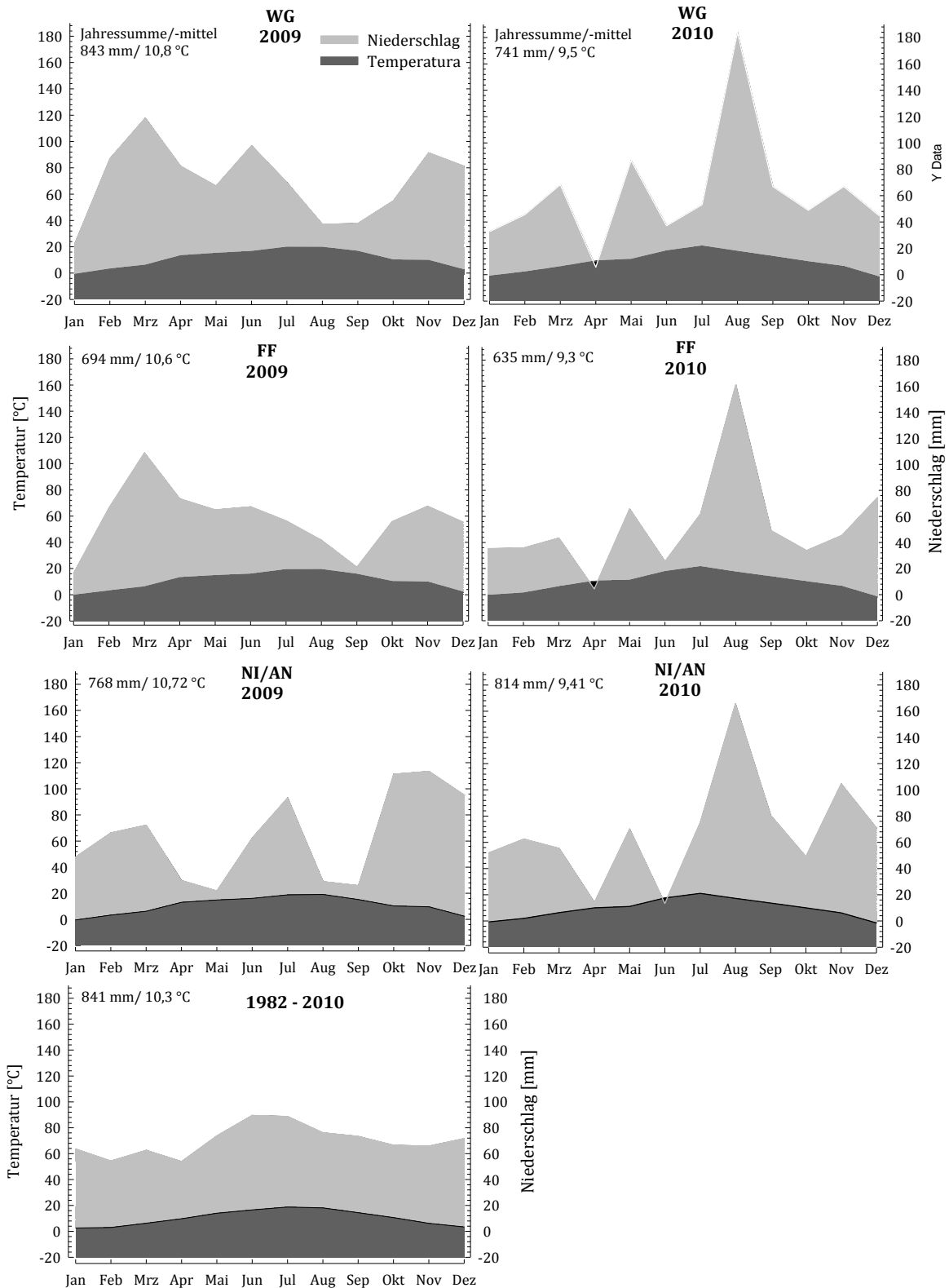


Abb. 1.3: Temperaturen und Niederschläge der Jahre 2009 und 2010 an den Versuchstandorten im Vergleich zum langjährigen Mittel. Standorte: Wiesengut (WG); Frankenforst (FF); Niederkrüchten und Anrath (NI/AN). Wetterdaten: WG: eigene Wetteraufzeichnung; FF: Geographisches Institut (Universität Bonn); NI/AN: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Langjähriges Mittel: Deutscher Wetterdienst (DWD), Wetterstation Flughafen Köln/Bonn.

Felderhebungen

Zu bestimmten Entwicklungsstadien der Ackerbohnen (Abb. 1.4) wurden alle Parameter der Unkrautvegetation und der Ackerbohnen erfasst (Entwicklungsstadien nach Zadoks et al. 1974). Im Jugendstadium der Ackerbohnen und vor der Aussaat wurde hauptsächlich die Unkrautvegetation auf Teilflächen bonitiert (EC 00 bis 39). Bei der Auswahl der Schätz- und Zählflächen sowie der Zwischenernteflächen wurden die Randreihen vermieden.

Mechanische Maßnahmen der Unkrautkontrolle (Hacken) wurden nur für die Kontrollparzellen (LBS) durchgeführt. Austreibende Wurzel-Unkrautarten wie Ampferarten (*Rumex* ssp.), Distelarten (*Cirsium* sp, *Sonchus* sp.), Löwenzahn (*Taraxacum* sp.), Beinwell (*Symphytum officinale*) wurden in den Parzellen ohne Bodenbearbeitung (tDS) per Hand entfernt, um ungleiche Ausgangsbedingungen in den verschiedenen Versuchsvarianten zu verhindern.

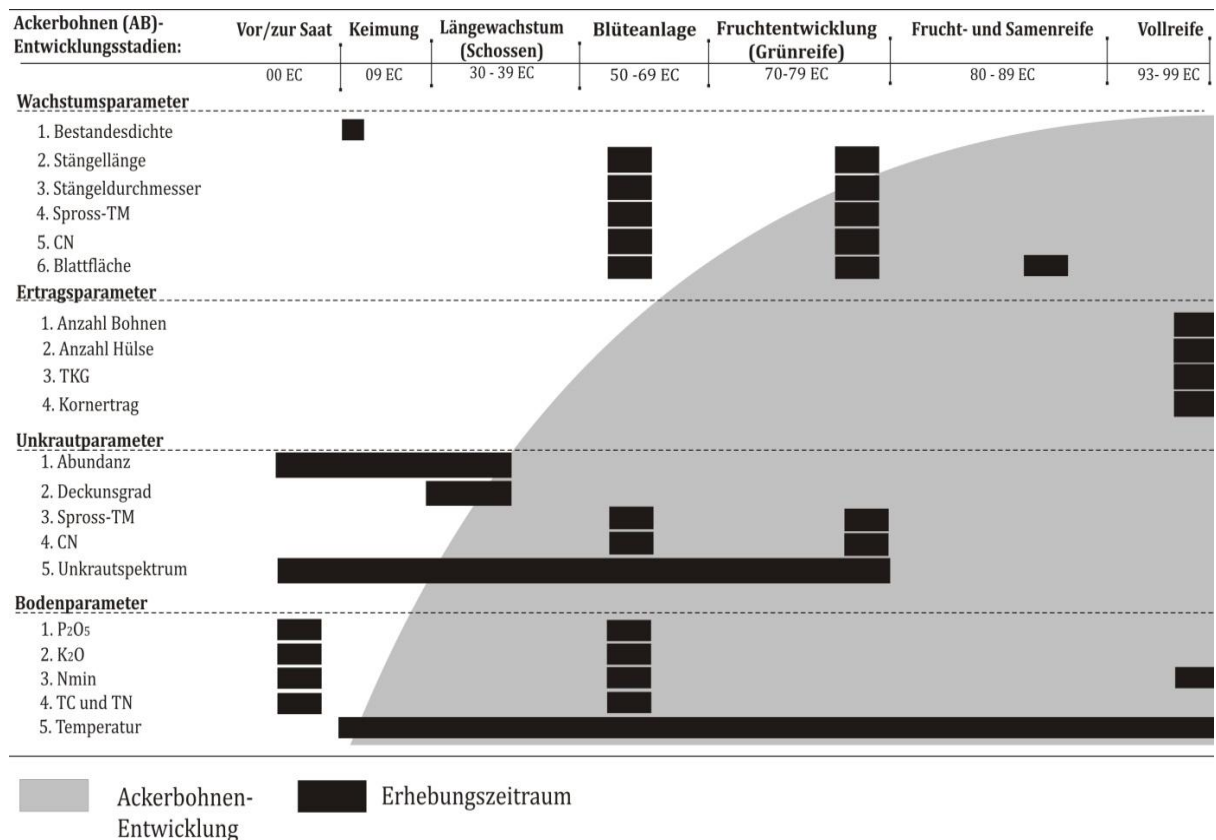


Abb. 1.4: Übersicht aller Prüfparameter

Erhebung an der Kulturpflanze

Der Feldaufgang (Pflanzen*m⁻²) wurde im Frühling (EC 09) gezählt. Hierzu wurden die aufgelaufenen Ackerbohnenpflanzen innerhalb eines laufenden Meters einer Drillreihe an jeweils vier diagonal über die Parzellen verteilten Stellen gezählt.

Stängellänge (cm) und -durchmesser (mm) der Ackerbohnen wurden zeitnah zur Erhebung von Sprossmasse, Blattflächenindex und Kornertrag ermittelt. Es wurden in jeder Parzelle diagonal zehn zufällig ausgewählte Stängel gemessen.

Der Blattflächenindex (BFI) gibt das Verhältnis der Blattfläche (m²) zur Bodenfläche (m²) an. Die Blätter von jeweils zehn Pflanzen wurden am Übergang zum Stängel abgetrennt, die gesamte Fläche der Blätter gemessen (LI-COR Modell LI 3100) und anschließend umgerechnet.

Die Sprossmasse (t*ha⁻¹) der Ackerbohnen wurde an einem bzw. zwei Terminen zwischen EC 55 und 98 auf jeweils zwei Zwischenernteflächen je Parzelle gleichzeitig mit der Unkrautspromasse geerntet. Die Größe der Zwischenernteflächen wurde an die jeweilige Versuchsfeldgröße angepasst. Bei einer Versuchsfeldlänge von über 10 m wurde eine 100cm x 50cm (=0,5 m²) große Fläche (Versuche: WG1, FF1, FF2, NI1, NI2, AN 1 und WG 2b) beerntet, bei einer Versuchslänge kürzer als 10 m wurden 50cm x 50cm (=0,25m²) (WG2a) beprobt. Alle AB-Pflanzen wurden knapp über der Bodenoberfläche mit einer Rosenschere geschnitten. Die Frischmasse der Ackerbohnen wurde bis zur Gewichtskonstanz bei 102°C getrocknet (24 Stunden) und anschließend die Trockenmasse jeder einzelnen Probe bestimmt. In dieser Arbeit wird die Sprosstrockenmasse kurz als Spross-TM bezeichnet.

Der Kornertrag der Ackerbohnen (TM 86% t*ha⁻¹) wurde je nach Versuch auf einer Fläche von etwa 10 m² (6 x 1,7 m) bis 34 m² (20 x 1,7 m) ausgewertet. Nach der Ernte mit einem Parzellenmähdrescher (Fa. HEGE) wurde das Erntegut in einer Reinigungsanlage mit einem 4 mm-Schlitzsieb von Verunreinigungen und Kümmerkörnern befreit. Die gereinigten Parzellenerträge wurden auf 14 % Wassergehalt umgerechnet.

Für die Anzahl Hülsen je Pflanze und Bohnen je Hülse wurden zeitnah zur Erhebung des Kornertrages zehn zufällig ausgewählte Pflanzen diagonal in der Parzelle beerntet und gezählt.

Das Tausendkorngewicht (TKG) wurde mit einem Zählgerät (Fa. CONTADOR) erfasst (zweimal 500 Körner je Parzelle).

Erhebungen an der Unkrautflora

Die Unkrautdichte (Individuen*m⁻²) der natürlich aufkommenden Unkräuter wurde zu Beginn der Vegetationsentwicklung von März bis Juni bestimmt. Für einen Vergleich wurde ein Boniturtermin im April ausgewählt. Die meisten Pflanzen befanden sich zu diesem Zeitpunkt in Parzellen unter Direktsaatverfahren im Keimlings- und Jugendstadium, in der Kontrolle (LBS) im Keimlingsstadium. Die Pflanzen der verschiedenen Unkrautarten wurden auf jeweils vier markierten quadratischen großen Flächen (Größe: 0,1 m²) gezählt.

Der Deckungsgrad (%) der gesamten Unkrautvegetation wurde zum Ende der Blattentwicklung der Ackerbohne (EC 10-19) und zum Schossbeginn (EC 30-39) an ein bis zwei Terminen auf jeweils vier markierten Schätz- und Zählflächen einer Parzelle geschätzt (Abb. 1.5). Der verwendete Schätzrahmen (20 x 20 cm) ist in Viertel (4x 25%) unterteilt, zusätzlich sind zur Erleichterung einer exakten Schätzung Drahtvierecke mit einer Flächenverhältnis von 1 und 5 % in den Rahmen eingehängt.

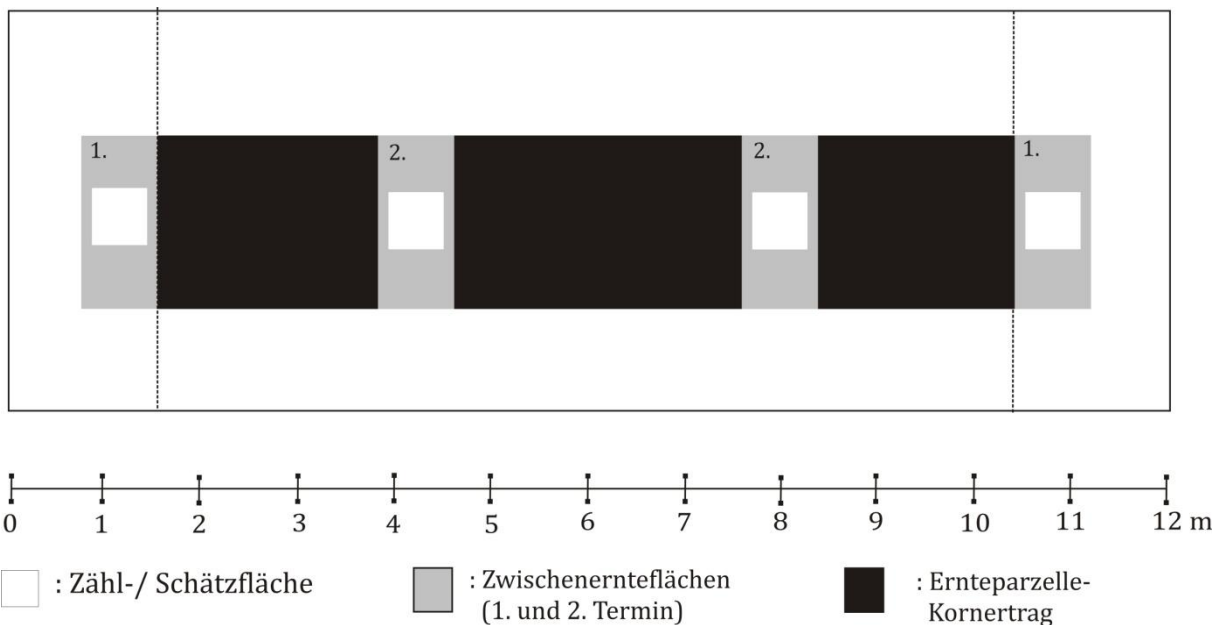


Abb. 1.5: Unterteilung der Parzellen in Teilflächen für verschiedene Erhebungen am Beispiel eines Versuches (NI 2)

Die Artenzusammensetzung der Unkrautvegetation im Bestand wird durch die Angaben zur Gesamtartenzahl, Abundanz einzelner Arten/ Gattungen und den Diversität-Index (Shannon-Wiener-Index) sowie „*relative abundance index*“ (Wertigkeitsindex) angegeben.

Der Wertigkeitsindex – auch „*relative abundance index*“ genannt – ist ein Ausdruck für die Bedeutung einer Art innerhalb der betrachteten Gemeinschaft. Die Berechnung des „*relative abundance index*“ für jede Art hat den Vorteil, dass die nicht homogene Verteilung der Arten in Ackerflächen ausgeglichen wird (Derksen et al. 1993, Streit et al. 2003). Eine Gemeinschaft von Arten wird umso höher bewertet, je mehr Arten anzutreffen sind und je gleichmäßiger die Anteile von Individuen einer Art an der Gesamtheit der Individuen verteilt sind. Ackerwildpflanzengemeinschaften zeichnen sich allgemein durch aggregierte Verteilung der Arten aus.

Der Shannon-Wiener-Index (H_s') beschreibt die Vielfalt betrachteter Daten. Der Vorteil dieser Methode ist, dass dabei sowohl die Anzahl unterschiedlicher Datenkategorien (z. B. die Artenzahl) als auch die Abundanz (Anzahl der Individuen je Art) und die ‚*evenness*‘ der Arten/ Gattungen berücksichtigt. Die *Evenness* ermöglicht den Vergleich von Beständen mit unterschiedlicher Artenzahl hinsichtlich ihrer Dominanzstruktur (Haeupler 1982, Clements et al. 1994).

Die Sprossmasse ($g \cdot m^{-2}$) der Unkrautvegetation wurde an ein bzw. zwei Terminen auf jeweils zwei Zwischenerntenflächen der Parzellen gleichzeitig mit der AB-Sprossmasse (vgl. oben) geerntet. Die Sprosstrockenmasse ($g \cdot m^{-2}$) wurde nach 24-stündiger Trocknung der Frischmasse bei 102 °C bestimmt. Im Rahmen der Spross-Ernte wurde nach den dominierenden Arten bzw. Unkrautgruppen sortiert. Dabei wurden die konkurrenzstarken Wurzelunkräuter *Cirsium arvense* (Acker-Kratzdistel), *Rumex* spp. (Ampfer), *Symphytum officinale* (Beinwell) und *Taraxacum officinale* (Löwenzahn) nicht berücksichtigt bzw. in die Gruppe der perennierenden Arten aufgeteilt.

Bodenproben

Zur Bestimmung der N-Mineralisation (pflanzenverfügbarer Stickstoff; N_{min}) wurden Bodenproben in fünf Feldversuchen (WG 1, WG 2a, FF 1, FF 2 und NI 1) an drei Terminen entnommen: vor oder zur Aussaat der AB (EC 00), zur Blüte der AB und zur Fruchtreife oder nach der Ernte. In drei weiteren Feldversuchen (NI 2, AN 1 und WG 2b) wurde jeweils vor der Aussaat und nach der Ernte beprobt.

Die Bodenproben wurden mit einem Pürckhauer-Bohrstock bis zu einer Bodentiefe von 90 cm entnommen und in vier Schichten aufgeteilt: 0-10, 10-30, 30-60 und 60-90 cm. Je Schicht wurden vier Einstiche (oberste Schicht: sechs Einstiche) zu einer Mischprobe vereinigt, in PE-Beuteln in Kühlboxen zwischengelagert und bis zur weiteren Aufarbeitung bei -18°C tiefgefroren. Die aufgetauten Proben wurden mit 1%iger Kaliumsulfat-Lösung in zweifacher Wiederholung extrahiert (VDLUFA 1991) und bis zur Analyse bei -18°C tiefgefroren. Zur Bestimmung der Grundnährstoffe (Phosphor und Kalium), Gesamtkohlenstoff und -stickstoff, sowie zur pH-Analyse wurde ein Teil der Bodenproben luftgetrocknet und anschließend gesiebt (2mm). Die Grundnährstoffe (P und K) aus der Bodentiefe 0-30 cm wurden mit CAL-Lösung in zweifacher Wiederholung extrahiert (VDLUFA 1991).

Laboruntersuchungen

Zur Bestimmung des Gesamtkohlenstoffes (C_t) und -stickstoffes (N_t) im Boden wurden die Proben bei 105°C zwölf Stunden lang getrocknet und anschließend eingewogen. Im Sauerstoffstrom des Elementaranalysators (Typ: NA 1500 N, Fa. Carlo Erba) wurden die Proben vollständig verbrannt und das nach der Reduktion der Verbrennungsgase entstandene CO_2 beziehungsweise N_2 gemessen. Die Messung des Nitrat- und Ammoniumgehaltes ($=N_{min}$) erfolgte mit einem *continuous-flow-analyser* (Fa. Skalar, Breda, Niederlande) UV-photometrisch.

Auswertung der Daten

Der Einfluss der Versuchsfaktoren (Hafer-Ausfallkorn-Dichte und Haferstrohmasse) auf die erhobenen Boden-, Ackerbohnen- und Unkrautparameter wurde mittels Varianzanalyse (SPSS Version 19) und anschließendem Tukey-Test ($\alpha = 0,05$) berechnet. Zuvor wurden die Daten auf Normalverteilung geprüft (Shapiro-Wilk-Test). Falls auch nach der Transformation der Daten ($\log(x+0,5)$, $\ln(x)$, $\exp(x)$) keine Normalverteilung vorlag, wurde eine Rangvarianzanalyse (Kruskal-Wallis H-Test) durchgeführt.

Im ersten Jahr wurden die Daten sowohl als zwei-faktorielle Blockanlage ohne den Versuchsfaktor LBS (Kontrolle) über drei Versuche (WG 1, FF 1, NI 1) als auch ein-faktoriell (Vergleich von tDS 0, 4 und 6 mit LBS) ausgewertet. Im Versuchsjahr 2010 wurden die Versuche über fünf Standorte ein-faktoriell ausgewertet (Vergleich von tDS 0, 4 und 6 mit LBS).

3.1.2 Ergebnisse und Diskussion

Im Rahmen des Teilprojektes 1 wurde schwerpunktmäßig der Einfluss differenzierter Anbausysteme (Lockerbodensystem = LBS vs. temporäre Direktsaat = tDS) auf die Leistungsfähigkeit von Sommerackerbohnen untersucht. Das Standardsystem mit konventioneller Pflugbearbeitung (LBS) wurde mit insgesamt 12 Faktorkombinationen aus Strohmulchgaben (0, 4 und 6 t ha⁻¹) und Saatkichte von Hafer – Ausfallkorn simulierend - (0, 600, 1200 und 1800 keimfähige Körner m⁻²) im Verbund mit Direktsaat verglichen. Da der Faktor Saatkichte keinen Einfluss auf das untersuchte Parameterspektrum aufwies, werden im Folgenden nur die maßgebenden Effekte unterschiedlicher Strohmulchgaben (tDS 0, 4, 6) für insgesamt acht Umwelten (Standort * Jahr) dargestellt und anschließend mit dem LBS verglichen. Für weitere Details wird auf die projekteigenen Publikationen verwiesen.

Bestandesentwicklung der Ackerbohnen

In sieben von acht Versuchen (WG 1, WG 2a, FF 1, FF 2, NI 2, AN 1 und WG 2b) wurde kein Einfluss der Strohaufgabe auf den Feldaufgang festgestellt (Tab. 1.7). Demgegenüber war die Bestandesdichte im Versuch NI 1 in den Varianten mit Strohaufgabe (4 und 6 TM t*ha⁻¹) signifikant geringer als ohne Strohaufgabe.

Tab. 1.7: Ackerbohnen-Bestandesdichte (Pflanzen*m⁻²): Einfluss der Bodenbearbeitung und Strohaufgabe.

Anbau- variante	WG 1	WG 2a	FF 1	FF 2	NI 1	NI 2	AN 1	WG 2b	
	Pflanze*m ⁻²								
LBS	55 _B	34	41 _A	27	73	29	33	33	
tDS Stroh t*ha ⁻¹	0	68 _A	35	29 _B	28	77 ^a	33	28	30
	4	70 _A	36	31 _B	29	73 ^{ab}	34	29	30
	6	73 _A	31	28 _B	31	69 ^b	32	29	32

Großbuchstaben: Vergleich der Anbauverfahren (Tukey-test, α=0,05).

Kleinbuchstaben: Vergleich der Strohaufgaben (Tukey-Test, α=0,05).

Dieser Sachverhalt begründet sich vermutlich mit der suboptimalen, d.h. inhomogenen Strohverteilung auf den Parzellen. Dichte Strohaufgaben können dazu führen, dass die Scheibenschare das Stroh in den Boden drücken und dem Saatgut anschließend der Bodenschluss fehlt. Saatbettbereitung mit dem Pflug hatte im Vergleich zur Direktsaat keinen erkennbaren Einfluss auf die Bestandesdichte (Tab. 1.7).

Sprosslänge

Die Stängellänge war zum frühen Boniturtermin in den Varianten ohne Mulch (tDS 0) in vier Versuchen (FF2, NI 1, NI 2, WG 2b) tendenziell und in zwei Versuchen (FF2 und NI 1) signifikant höher als in den Varianten mit Mulchauflage (tDS 4 und 6, Tab. 1.8). Dieser Sachverhalt erklärt sich vermutlich durch die höhere Lichtkonkurrenz zwischen Ackerbohne und Unkraut in den Parzellen ohne Mulchauflage, welche das Längenwachstum fördern kann. In einem späteren Entwicklungsstadium wurde der Entwicklungsrückstand der Varianten tDS 4 und 6 im Vergleich zu tDS0 kompensiert. In vier Versuchen (WG 1, FF 1, NI 1 und NI 2) war die Stängellänge der Varianten mit Stroh tendenziell größer als ohne (tDS 0).

Tab. 1.8: Ackerbohnen - Stängellänge (cm): Einfluss der Bodenbearbeitung und Strohauflage.

Anbau- variante	WG 1	FF 1	FF 2	NI 1	NI 2	AN 1	WG 2b	
	cm							
Termin 1								
LBS	88 _A	79 _A	69 _A	45 _A	67 _A	52	75 _A	
tDS Stroh [t^*ha^{-1}]	0	76 _B ^b	61 _B	69 _A ^a	33 _B ^a	55 _B	52 _B	
	4	81 _B ^a	60 _B	63 _{AB} ^b	30 _B ^b	51 _B	52 _B	
	6	78 _B ^{ab}	61 _B	60 _B ^b	30 _B ^b	47 _B	55	49 _B
Termin 2								
LBS	158	99	124 _A	114 _A	130 _A	nb	nb	
tDS Stroh [t^*ha^{-1}]	0	146 ^b	99	121 _{AB} ^a	90 _B ^b	94 _B	nb	nb
	4	157 ^a	97	116 _{AB} ^{ab}	90 _B ^{ab}	101 _B	nb	nb
	6	159 ^a	102	114 _B ^b	100 _B ^a	100 _B	nb	nb

Großbuchstaben: Vergleich der Anbauverfahren (Tukey-test, $\alpha=0,05$). Kleinbuchstaben: Vergleich der Strohauflagen (Tukey-Test, $\alpha=0,05$).

Zeitpunkt der Erhebung (Termin 1) (AB EC Stadium): WG 1: 61; FF 1: 66; FF 2: 55; NI 1: 34; NI 2: 59; AN 1: 65 und WG 2b: 51, (Termin 2) (AB EC-Stadium): WG 1: 93; FF1: 88; FF2: 80; NI 1: 79 und NI 2: 77. nb: nicht bestimmt

Es wurde ein signifikanter Effekt der Bodenbearbeitung auf die Entwicklung der Ackerbohnen zum frühen Entwicklungsstadium festgestellt. In sieben Versuchen (WG 1, FF 1, FF 2, NI 1, NI 2, AN 1 und WG 2b), war die Stängellänge nach LBS um 5 bis 24 cm (im Mittel 12 cm) höher (signifikant) als nach Direktsaat (Mittel aller tDS Varianten). Dieser Sachverhalt erklärt sich vermutlich mit den günstigeren Bodeneigenschaften (Bodendurchlüftung und -temperatur) nach Pflugbearbeitung.

Zum späteren Boniturtermin war demgegenüber die Stängellänge in drei von fünf Versuchen in den tDS-Varianten etwa gleichlang wie in der LBS-Variante. In zwei Versuchen (NI 1 und NI 2) wurde der Entwicklungsrückstand der tDS Varianten nicht mehr kompensiert.

Blattflächenindex

In fünf Versuchen (WG 1, WG 2a, FF 1, NI 1, AN 1 WG 2b) war zum ersten Beprobungstermin die Blattfläche der direkt gesäten Ackerbohnen in den Varianten mit Strohmulch tendenziell höher (signifikant in WG 2b) als in den Parzellen ohne Strohapplikation (Tab 1.9). Zum zweiten Beprobungstermin waren die Unterschiede zwischen den Varianten ohne Mulch (tDS 0) und mit Mulch (tDS 4 & 6) noch deutlicher ausgeprägt (signifikant in WG 2a).

Tab 1.9: Blattflächenindex von Ackerbohnen: Einfluss der Bodenbearbeitung und Strohaufgaben.

		Termin 1						
		WG 1	WG 2a	FF 1	FF 2	NI 1	AN 1	WG 2b
LBS		4,2A	1,0	3,8A	2,8	3,9	2,3A	3,2A
tDS	0	2,9B	0,8	1,6B	2,3	3,3	1,1B	0,7Cb
	4	3,3AB	1,0	1,9B	1,9	3,1	1,1AB	1,1Ba
	6	3,5AB	1,0	2,4B	2,1	2,8	1,6AB	1,0BCa
		Termin 2						
LBS		3,0	3,2AB	3,2	3,1	3,7	nb	nb
tDS	0	3,8	2,0Bb	3,0	2,7	2,9	nb	nb
	4	4,1	2,5ABab	3,9	3,0	3,9	nb	nb
	6	4,6	3,4Aa	3,7	2,9	4,2	nb	nb

Großbuchstaben: Vergleich der Anbauverfahren (Tukey-test, $\alpha=0,05$). Kleinbuchstaben: Vergleich der Strohaufgaben (Tukey-Test, $\alpha=0,05$).

Termin 1: Zeitpunkt der Erhebung (AB EC-Stadium): WG 1: 60/63; WG 2a: 63; FF 1: 66; FF2: 55; NI 1: 62; NI 2: 64; AN 1: 64; WG2b: 65. Termin 2: Zeitpunkt der Erhebung (AB EC-Stadium): WG 1: 78; WG 2a: 98; FF 1: 79; FF 2: 74; NI 1: 78; NI 2: 74. nb: nicht bestimmt

Der BFI der Ackerbohnen war in sechs von sieben Versuchen (WG 1, FF 1, FF 2, NI 1 AN 1 und WG 2b) zum ersten Messtermin nach konventioneller Bodenbearbeitung höher (z.T. signifikant) als in den Varianten mit Direktsaatverfahren. Zum späteren Beprobungstermin wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten mit tDS und LBS festgestellt (Tab. 1.9). Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass Ackerbohnen eine durch Direktsaat induzierte verzögerte Jugendentwicklung in späteren Stadien kompensieren können.

Spross - Trockenmasse (Spross-TM)

In fünf Versuchen (WG 1, WG 2a, FF 1, AN 1 und WG 2b) wurde zum ersten Beprobungstermin (Beginn der Blüte) eine höhere Spross-TM (signifikant in WG 1) in den Varianten mit Strohmulch im Vergleich zu ohne Strohmulch festgestellt (nicht dargestellt). Dieser Sachverhalt erklärt sich vermutlich neben Gefügeeigenschaften mit der unkrautunterdrückenden Wirkung der Strohaufgaben. In drei Versuchen (FF 2, NI 1 und NI 2) wurde demgegenüber zu diesem Termin eine geringere Spross-TM mit steigenden Strohaufgaben festgestellt, ein Sachverhalt der sich vermutlich mit der geringeren Bestandesdichte in diesen Versuchen begründet.

Die Messungen zum späteren Entwicklungsstadium (Grünreife) bestätigten die Ergebnisse des ersten Termins mit zum Teil noch stärkerer Ausdifferenzierung der Varianten. Im Durchschnitt aller Versuche war die Spross-TM der direktgesäten Ackerbohnen im Strohmulch mit $6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ um 34% ($+691 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) höher als in den Parzellen ohne Strohapplikation (Abb. 1.6).

Der fördernde Effekt der Pflugbearbeitung auf die AB-Sprossentwicklung zeigte sich in Analogie zum BFI in allen Versuchen. Die Spross-TM der Ackerbohnen war in sechs von acht Versuchen zum zweiten Beprobungstermin nach konventioneller Bodenbearbeitung signifikant höher als nach mindestens einer Direktsaatvariante (Abb. 1.6). Im Durchschnitt aller Versuche war die Spross-TM der Ackerbohnen (zweiter Termin) in den gepflügten Parzellen um 53% ($+660 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) höher als nach Direktsaat. Wenngleich weniger stark ausgeprägt als beim BFI, zeigte sich die beginnende Kompensation der Wachstumsretardierung der Varianten mit Direktsaat auch bei der Sprosstrockenmasse der Ackerbohnen. Der Ertragszuwachs vom ersten gegenüber dem zweiten Beprobungstermin fiel ohne Bodenbearbeitung im Durchschnitt um bis zu 71 % höher aus als in den gepflügten Parzellen.

Die verzögerte Jugendentwicklung von Ackerbohnen nach Direktsaat begründet sich vermutlich vornehmlich mit dem veränderten thermischen Verhalten des Bodens (höherer Wassergehalt, langsamere Erwärmung), der verminderten Durchlüftung des Bodens und der geringeren Mineralisationsrate im Vergleich zu gepflügtem Boden.

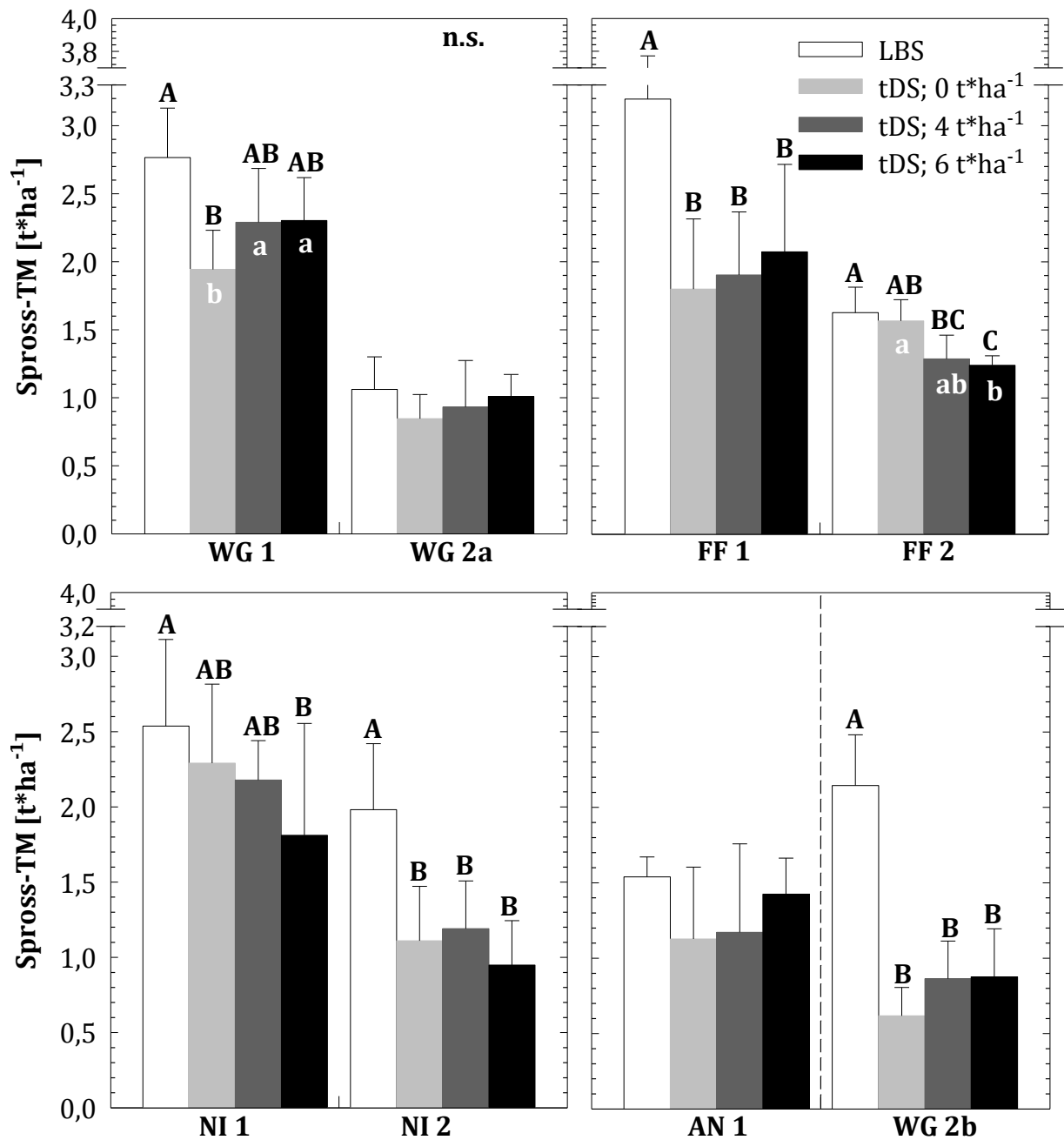


Abb 1.6: Ackerbohnen Spross-TM (t*ha⁻¹) nach Bodenbearbeitung (LBS) und temporärer Direktsaat (tDS) in unterschiedlichen Strohauflagen (Termin 2).

Großbuchstaben: Vergleich der Anbauverfahren (Tukey-test, $\alpha=0,05$). Kleinbuchstaben: Vergleich der Strohauflagen (Tukey-Test, $\alpha=0,05$).

Zeitpunkt der Erhebung (AB EC-Stadium): WG 1: 78; WG 2a: 98; FF 1: 79; FF 2: 74; NI 1: 78; NI 2: 74. I= Standardabweichung

Stickstoffaufnahme des Sprosses

In fünf Versuchen (WG 1, WG 2a, FF 1, AN 1 und WG 2b) nahm die Stickstoffaufnahme des Sprosses mit steigender Mulchauflage zu (nicht dargestellt). In allen Versuchen war die N-Aufnahme des Sprosses in den Pflugvarianten höher als in den tDS Varianten, davon in fünf Versuchen signifikant (WG 1, WG 2a, FF 2, NI 2 und WG 2b). Die Stickstoffaufnahme der Bestände war im Wesentlichen eine Funktion der gebildeten Sprosstrockenmasse.

Zusammenfassung - Bestandesentwicklung

- Unter normalen Bedingungen wurde kein negativer Einfluss der Strohaufgabe auf die Bestandesdichte der Ackerbohnen festgestellt; bei ungünstigen Bedingungen (z.B. Feuchte oder Mattenbildung) kann der Strohmulch die AB-Keimung beeinträchtigen.
- Wendende Bodenbearbeitung förderte in der Jugendentwicklung im Vergleich zum tDS-System verstärkt das Streckungswachstum der Ackerbohnen; zu späteren Boniturterminen wurden zwischen den Varianten keine Unterschiede der Wachstumsparameter Pflanzenlänge und -durchmesser festgestellt.
- Der BFI der direktgesäten Ackerbohnen in Strohmulch war höher als in den Parzellen ohne Stroh.
- Wendende Bodenbearbeitung wirkte sich im Gegensatz zum Direktsaatverfahren positiv auf den BFI in frühen Entwicklungsstadien aus. Induziert durch schnelleres Wachstum der tDS Varianten im weiteren Verlauf der Entwicklung, glichen sich die BFI's der verschiedenen Varianten zunehmend an.
- Der fördernde Effekt der Pflugbearbeitung auf die Ackerbohnen-Sprossentwicklung war in allen Versuchen zum ersten Beprobungstermin stärker ausgeprägt; zum zweiten Beprobungstermin war die Spross - TM aller Varianten etwa gleich hoch.
- In allen Versuchen war die N-Aufnahme des Sprosses in den Pflugvarianten höher als in den Varianten mit Direktsaat.

Übersicht der Ergebnisse

Temporäre Direktsaat (Mittel der drei Varianten) versus LBS	
Bestandesdichte (Pflanzen*m ⁻²)	=
Stängellänge (cm) (Termin 1)	▼
Stängellänge (cm) (Termin 2)	= (▼)
BFI (Termin 1)	▼
BFI (Termin 2)	▲
Spross-TM (t*ha ⁻¹) (Termin 1)	▼
Spross-TM (t*ha ⁻¹) (Termin 2)	=
Stickstoff-Akkumulation (kg N*ha ⁻¹)	▼ (=)

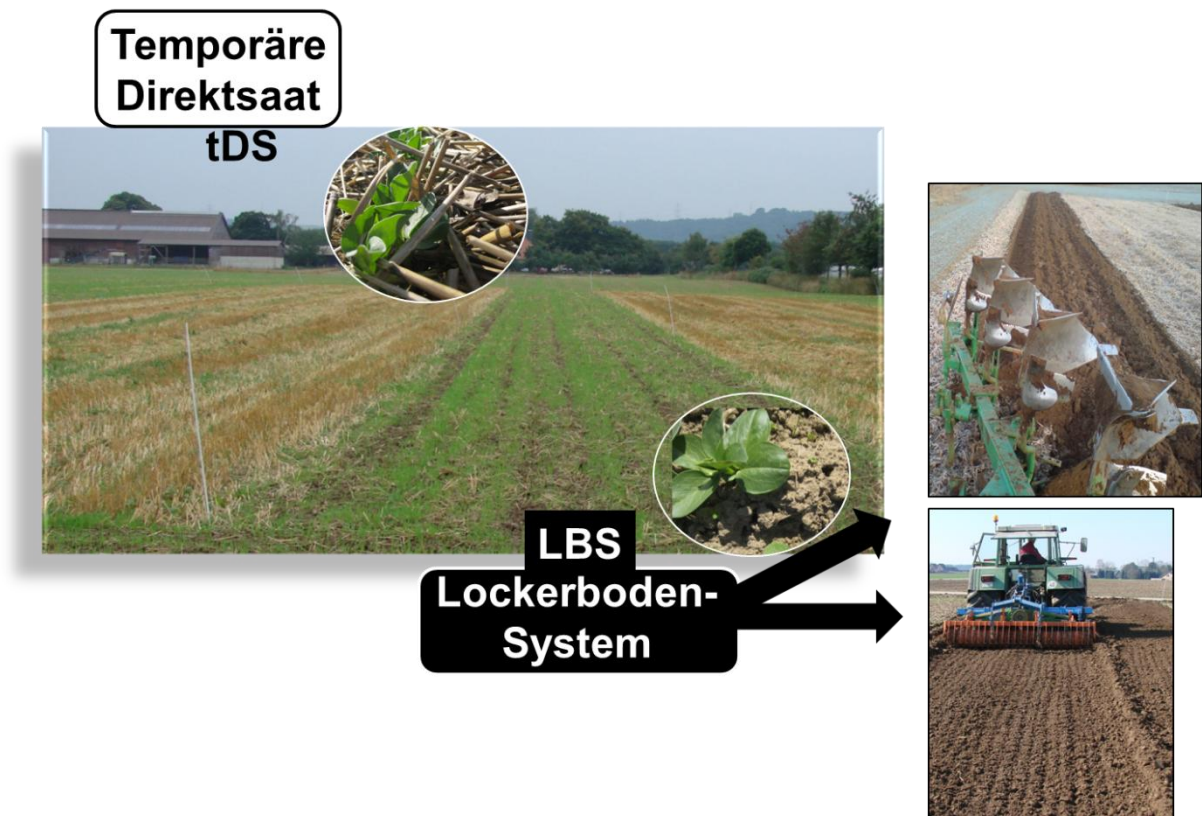


Bild 2: Strategieelement in Teilprojekt 1

Kornertrag und Ertragsstruktur der Ackerbohnen

Die Ackerbohnen-Kornerträge unterlagen einer hohen Schwankung mit einer Spannweite der Versuchsmittel von 2,1 (WG 2a) bis 3,9 t*ha⁻¹ (WG 2b). Der mittlere Ackerbohnen-Kornertrag war im Versuchsjahr 2009 mit 3,2 t*ha⁻¹ um etwa 0,6 t*ha⁻¹ höher als im Versuchsjahr 2010 (2,6 t*ha⁻¹).

In fünf Versuchen (WG 1, WG 2a, NI 1, AN 1 und WG 2b) war der Kornertrag in den Parzellen mit Strohaufgaben (tDS 4 und 6) höher als in den Parzellen ohne Strohaufgabe, in drei Versuchen (WG 1, NI 1 und AN 1) war der Unterschied signifikant (Abb. 1.7). Im Durchschnitt aller Versuche hatten die Ackerbohnen in den Varianten mit Strohmulch (tDS 4 und 6) einen um 23 bzw. 36% höheren Kornertrag (+0,5 und 0,6 t*ha⁻¹) verglichen mit den Parzellen ohne Mulch (tDS 0). In drei Versuchen (FF 1, FF 2 und NI 2) wurde kein Einfluss der Mulchaufgabe auf den Kornertrag festgestellt. Die Ertragswirksamkeit der Strohaufgabe ist vorwiegend als Funktion einer reduzierten Unkrautkonkurrenz zu interpretieren (siehe auch Ergebnisse zu Unkraut). Insgesamt weisen die Ergebnisse darauf hin, dass bodenbearbeitungsinduzierte Unterschiede im Kornertrag bei Ackerbohnen zumindest bei niedrigem Ertragsniveau vergleichsweise gering ausfallen.

Der Einfluss der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme (Pflug versus Direktsaat) auf den Kornertrag wies bei Betrachtung aller Versuche keine einheitliche Tendenz auf. Im Mittel aller Versuche wurde mit 3 t*ha⁻¹ nach konventioneller Bodenbearbeitung verglichen mit Direktsaat (Mittel aller Varianten und Versuche = 2,5 t*ha⁻¹) ein um etwa 20% höherer Kornertrag erzielt. Im Versuch WG 2b wurde mit 2,7 t*ha⁻¹ der absolut höchste Ertragsunterschied zwischen LBS und Direktsaat festgestellt (Abb. 1.7). Eine Erklärung für den hohen Ertragsunterschied in diesem Versuch liegt in der ungünstigen Ackerbohnen-Entwicklung nach Verzicht auf Pflugbearbeitung. In zwei weiteren Versuchen (NI 2 und AN 1) wurde ebenfalls ein höherer Ertrag im System LBS verglichen mit tDS festgestellt, die Ertragsunterschiede waren jedoch nicht bei allen Direktsaatvarianten signifikant. Demgegenüber wurde in fünf Versuchen (WG 1, WG 2a, FF 1, FF 2 und NI 1) kein Einfluss der Pflugbearbeitung auf den Kornertrag festgestellt. In einigen Fällen wurde ein fördernder Effekt der Direktsaat auf den Kornertrag beobachtet. Beispielsweise war der Kornertrag in den Versuchen WG 1 und NI 1 in den Direktsaatvarianten mit den höchsten Strohaufgaben (tDS 6) z.T. signifikant (NI 1) höher (+0,3 und 0,8 t*ha⁻¹) als nach Pflugbearbeitung. In weiteren Versuchen (WG

2b, FF 1 und FF 2) wurde kein signifikanter Ertragsunterschied zwischen LBS und den Direktsaatvarianten festgestellt.

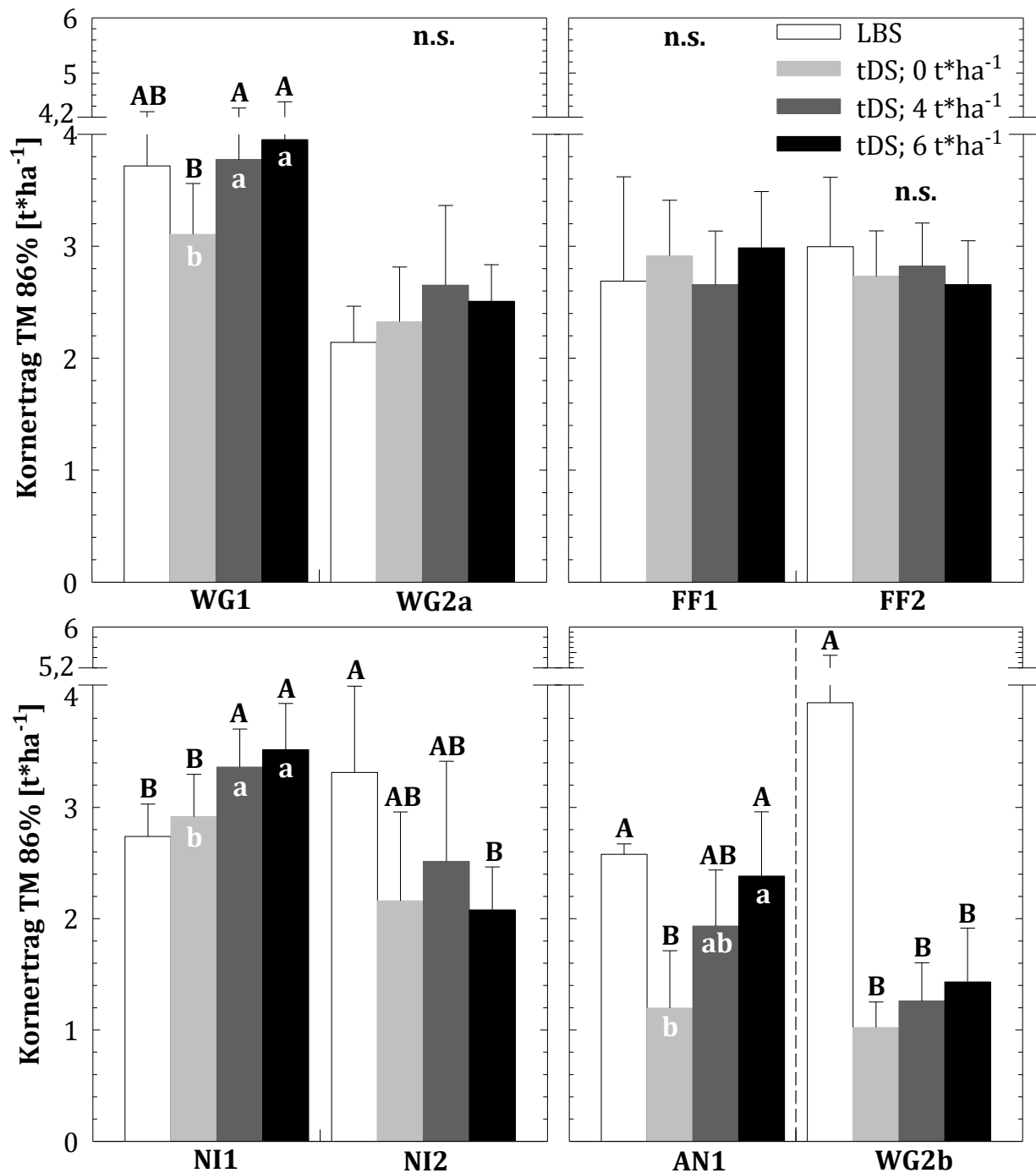


Abb. 1.7: Kornertrag TM 86% (t*ha⁻¹): Einfluss von Bodenbearbeitung und differenzierten Strohaufgaben.

Großbuchstaben: Vergleich der Anbauverfahren (Tukey-test, α=0,05). Kleinbuchstaben: Vergleich der Strohaufgaben (Tukey-Test, α=0,05).

Zeitpunkt der Ernte (Datum): WG 1: 12.8.2009; WG 2a: 19.8.2010; FF 1:19.08.2009; FF 2: 4.8.2010; NI 1: 4.8.2009; NI 2: 31.07.2010; AN 1: 31.7.2010; WG 2b: 5.8.2010, I= Standardabweichung.

Ertragsstruktur

Das Anbausystem (Pflugbearbeitung versus Direktssaat) hatte in keinem Versuch einen Einfluss auf die finale Bestandesdichte sowie die Anzahl Körner je Hülse. Demgegenüber war die Anzahl Hülsen je Pflanze in fünf Versuchen (WG 1, FF 2, NI 2, AN 1 und WG 2b) nach Pflugbearbeitung höher (z.T. signifikant) als nach den verschiedenen Varianten der Direktsaat (Tab. 1.10). Die geringste Anzahl Hülsen je Pflanze wurde in allen Versuchen in der Direktsaatvariante ohne Strohauflage festgestellt (signifikant im Vergleich zu LBS in den Versuchen WG 1, NI 2, AN 1 und WG 2b).

Tab: 1.10: Ertragsstruktur der Ackerbohnen (TKG; Anzahl Körner*Hülse; Anzahl Hülse*Pflanze): Einfluss der Bodenbearbeitung und Strohauflagen.

Anbau- variante	WG 1	WG 2a	WG MW	FF 1	FF 2	FF MW	NI 1	NI 2	NI MW	AN 1	WG 2b	
	Bestandesdichte											
LBS	55	34	55	41	27	34	73	29	51	33	33	
tDS Stroh [t*ha ⁻¹]	0	68	35	68	29	28	28	78	33	55	28	30
	4	70	36	70	30	29	30	74	34	54	29	30
	6	73	31	73	29	31	30	71	32	52	29	32
Hülse*Pflanze												
LBS	16 _A	9	12	11	15	13	7	16 _A	11	12 _{AB}	14 _A	
tDS Stroh [t*ha ⁻¹]	0	10 _B	9	9	11	13	12	6 ^b	11 _B	9	10 _B	6 _B
	4	11 _{AB}	9	10	11	13	12	7 ^{ab}	13 _{AB}	10	12 _{AB}	7 _B
	6	11 _{AB}	9	10	12	13	12	8 ^a	12 _{AB}	10	14 _A	10 _B
Körner*Hülse												
LBS	3,2	3,3	3,3	2,5	3,2	2,9	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	
tDS Stroh [t*ha ⁻¹]	0	3,1	3,3	3,2	2,6	3,2	2,9	3,3	3,2	3,2	3,1	2,8
	4	3,2	3,4	3,3	2,6	3,1	2,8	3,3	3,2	3,3	3,2	2,9
	6	3,2	3,4	3,3	2,7	3,2	2,9	3,3	3,2	3,2	3,2	2,8
TKG												
LBS	472 _B	419	445	448 _B	443	445	432 _B	433	432	384	482	
tDS Stroh [t*ha ⁻¹]	0	479 _{AB} ^b	425	452	529 _A ^a	430	479	455 _{AB} ^b	415	435	369	461
	4	498 _{AB} ^a b	437	468	488 _{AB} ^b	434	461	465 _{AB} ^{ab}	411	438	388	403
	6	506 _A ^a	413	459	506 _A ^{ab}	438	472	473 _A ^a	408	440	397	460

Großbuchstaben: Vergleich der Anbauverfahren (Tukey-test, $\alpha=0,05$). Kleinbuchstaben: Vergleich der Strohauflagen (Tukey-Test, $\alpha=0,05$).

In drei Versuchen (WG 1, FF1 und NI 1) wurden signifikante Effekte der Strohaufgabe auf das Tausendkorngewicht festgestellt. Im Mittel war das TKG bei den direkt gesäten Ackerbohnen um 6 g höher als nach LBS. An zwei Standorten (WG 1 und NI 1) war das TKG der Ackerbohnen der Variante tDS 6 signifikant höher als nach Pflugbearbeitung (Tab. 1.10). In den anderen Versuchen wurde kein Einfluss der Strohaufgabe auf das TKG festgestellt.

Zusammenfassung-Ertragsparameter

- Der Kornertrag war im tDS-System mit Strohaufgaben höher als in den Varianten ohne Strohaufgabe; das konventionelle Bestellverfahren erzielte im Mittel aller Versuche höhere Kornerträge als die Varianten mit Direktsaat.
- Es wurde kein konsistenter Einfluss der Strohaufgabe auf das TKG festgestellt; das TKG der direktgesäten Ackerbohnen war tendenziell höher als im LBS.

Übersicht der Ergebnisse

Temporärer Direktsaat (Mittel der Varianten mit Stroh) versus LBS	
Kornertrag (86% TM t*ha ⁻¹)	= (▼)
Tausendkorngewicht	▲ (=)
Anzahl Hülse*Pflanze ⁻¹	= (▼)
Anzahl Bohnen*Hülse	=

Zusammenhang zwischen Ackerbohnenentwicklung und Kornertrag

In Tabelle 1.11 sind die Korrelationskoeffizienten (Pearson) zwischen Wachstumsparametern (BFI und Spross-TM zu jeweils zwei Terminen) und dem Kornertrag für acht Versuche dargestellt. An beiden Beprobungsterminen korrelierte die Spross-TM in den meisten Versuchen signifikant positiv mit dem jeweiligen Kornertrag aller Varianten inklusive LBS. Demgegenüber war der Zusammenhang zwischen BFI und dem Kornertrag deutlich schwächer ausgeprägt.

Tab 1.11: Zusammenhang zwischen Wachstumsparametern und dem Kornertrag on Ackerbohnen.

Versuche	Spross-TM (T1)	Spross-TM (T2)	BFI (T1)	BFI (T2)
Kornertrag				
WG 1	+0,506**	+0,605***	+ 0,343*	+0,246 n.s.
WG 2a	+0,699**	+0,532*	+0,258 n.s.	+0,425 n.s.
FF 1	+0,159 n.s.	+0,305*	-0,039 n.s.	-0,001 n.s.
FF 2	+0,175 n.s.	+0,603**	+0,202 n.s.	+0,560*
NI 1	-0,098 n.s.	+0,017 n.s.	-0,205 n.s.	+0,183 n.s.
NI 2	+0,821 ***	+0,775***	nb	nb
AN 1	+0,650**	nb	+0,676**	nb
WG 2b	+0,731**	nb	+0,862**	nb

Korrelation nach Pearson, *p < 0,05; ** p<0,01; ***p<0,001, nb: nicht bestimmt

Termin 1 (Ackerbohnen EC-Stadium: LBS/tDS): WG 1: 63/60; WG 2a: 64/63; FF 1: 67/65; FF2: 55; NI 1: 65/62; NI 2: 66/64; AN 1: 64/60; WG2b: 66/65.

Termin 2 (Ackerbohnen EC-Stadium): WG 1: 78; WG 2a: 98; FF 1: 79; FF 2: 74; NI 1: 78; NI 2: 74.

Unkrautdichte

Die Unkrautdichte wies zwischen den Versuchen erhebliche Unterschiede auf. Die höchste Anzahl Individuen je m^2 wurde in den Versuchen NI 1 und AN 1 (LBS: 558 Ind.* m^{-2} und tDS 0: 1062 Ind.* m^{-2}) gezählt, während am Standort FF (1 und 2) die geringste Anzahl Individuen (41 Ind.* m^{-2}) erfasst wurde (Abb. 1.8). Am Standort FF wurden die Versuchsflächen bis zur Anlage des Versuches konventionell bewirtschaftet (Anwendung von Herbiziden), ein Sachverhalt der die geringere Unkrautdichte auf den entsprechenden Flächen begründen kann.

In sieben Versuchen wurde eine reduzierende Wirkung (signifikant in WG 1, FF1, NI 1 und AN 1) der Mulchauflage (4 und 6 Stroh-TM $t \cdot ha^{-1}$) auf die Unkrautdichte im Vergleich zur Variante ohne Stroh festgestellt. Im Mittel aller Versuche war die Unkrautdichte in der Variante tDS 4 mit 128 Ind.* m^{-2}) um 48% und in der Variante tDS 6 mit 83 Ind.* m^{-2} um 64% geringer als in der Variante tDS 0.

Die im Vergleich zur Variante tDS 0 deutlich geringere Unkrautdichte im System LBS (201 Ind.* m^{-2}) in fünf Versuchen (WG 1, FF 1, NI 2, AN 1 und WG 2b) bestätigt die Effekte der Unkrautregulation mit Wendepflug und Hacke (Abb. 1.8). In sechs Versuchen (WG1, WG 2a, FF2, NI1, NI2 und AN1) war jedoch die Unkrautdichte in den tDS-Varianten mit Stroh geringer als nach wendender Bodenbearbeitung (signifikant in NI 1 und WG2a). In den Versuchen NI1 und WG2a war die Unkrautdichte in der Variante LBS auch höher als in den Direktsaatvarianten ohne Mulchauflage. Dieser Sachverhalt weist darauf hin, dass wendende Bodenbearbeitung nicht grundsätzlich zu verminderter Unkrautdichte führt. Ein Vergleich der Entwicklung der Unkrautdichte nach unterschiedlichen Anbauverfahren im Versuch WG 2a verdeutlicht diesen Sachverhalt (Abb. 1.9). Bis Ende März wurde der Effekt der Unkrautregulation mit Wendepflug und Hacke in LBS mit deutlich geringerer Unkrautdichte bestätigt. Mit zunehmender Bestandesentwicklung nahm die Abundanz annueller Unkräuter im System LBS jedoch auf 76 (07.04.) bzw. 181 Pflanzen m^2 (19.04.) zu. Primärer Grund für diesen Sachverhalt war das zunehmende Wachstum von Vertretern typischer Spätverunkrautung in Ackerbohnen des LBS wie zum Beispiel *Chenopodium album* und *Sinapis arvensis*. Demgegenüber wurde die Dichte beider Arten im System tDS durch Strohmulch um 96 bzw. 97% im Vergleich zu LBS reduziert. Ursache dafür kann neben dem Lichtentzug durch die Mulchauflage auch eine verminderte Präsenz keimfähiger

Samen an der Bodenoberfläche gewesen sein, denn auch in den Varianten ohne Strohauflage war die Unkrautdichte tendenziell geringer als nach LBS.

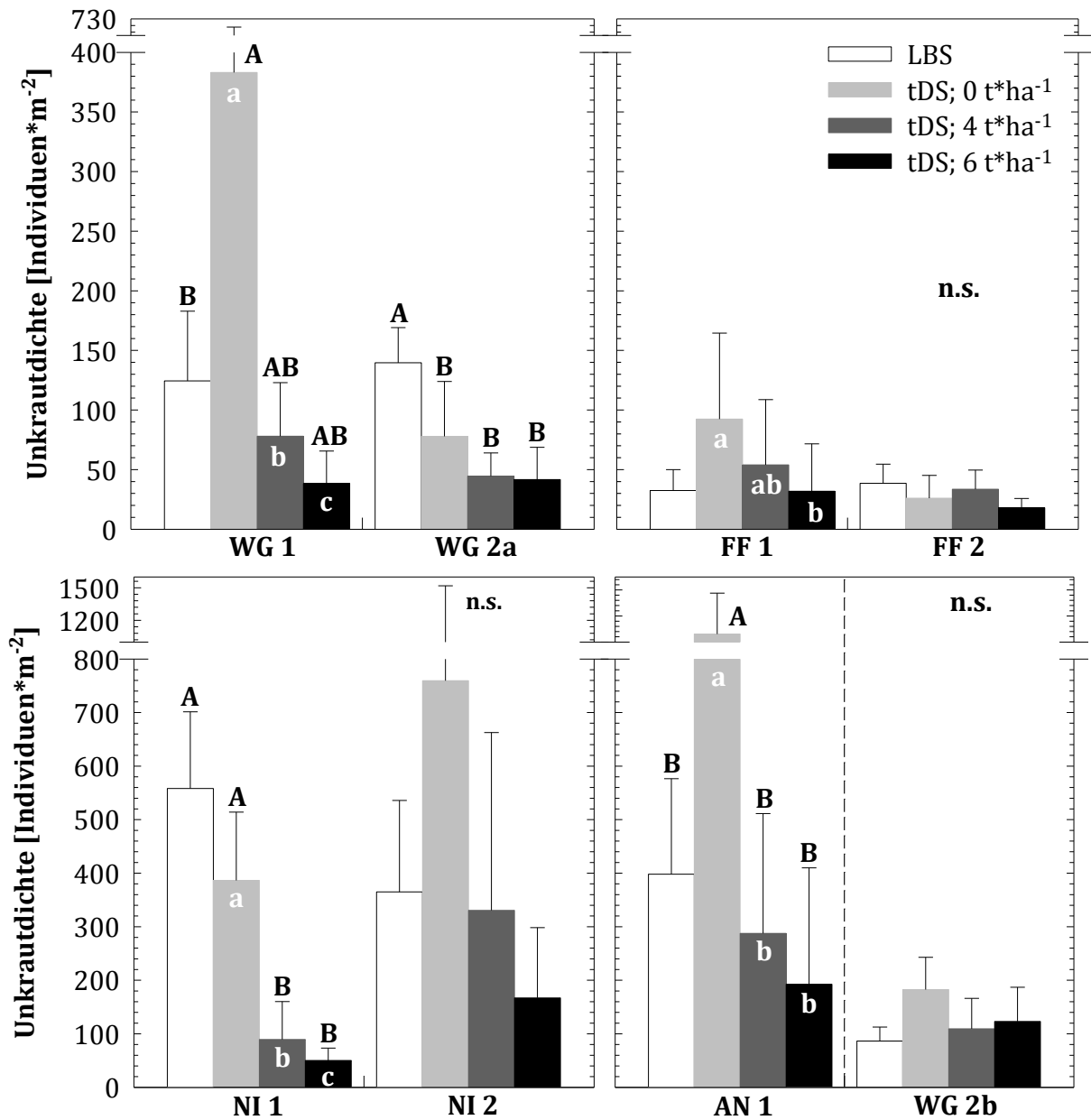


Abb. 1.8: Unkrautdichte ($\text{Individuen} \cdot \text{m}^{-2}$): Einfluss der Bodenbearbeitung und Strohauflagen.

Großbuchstaben: Vergleich der Anbauverfahren (Tukey-test, $\alpha=0,05$). Kleinbuchstaben: Vergleich der Strohauflagen (Tukey-Test, $\alpha=0,05$). Zeitpunkt der Erhebung (Ackerbohnen EC): WG 1: 09; WG 2a: 12; FF 1: 13; FF 2: 34; NI 1: 13; NI 2: 12; AN 1: 09/23; WG 2b: 00/13. I= Standardabweichung

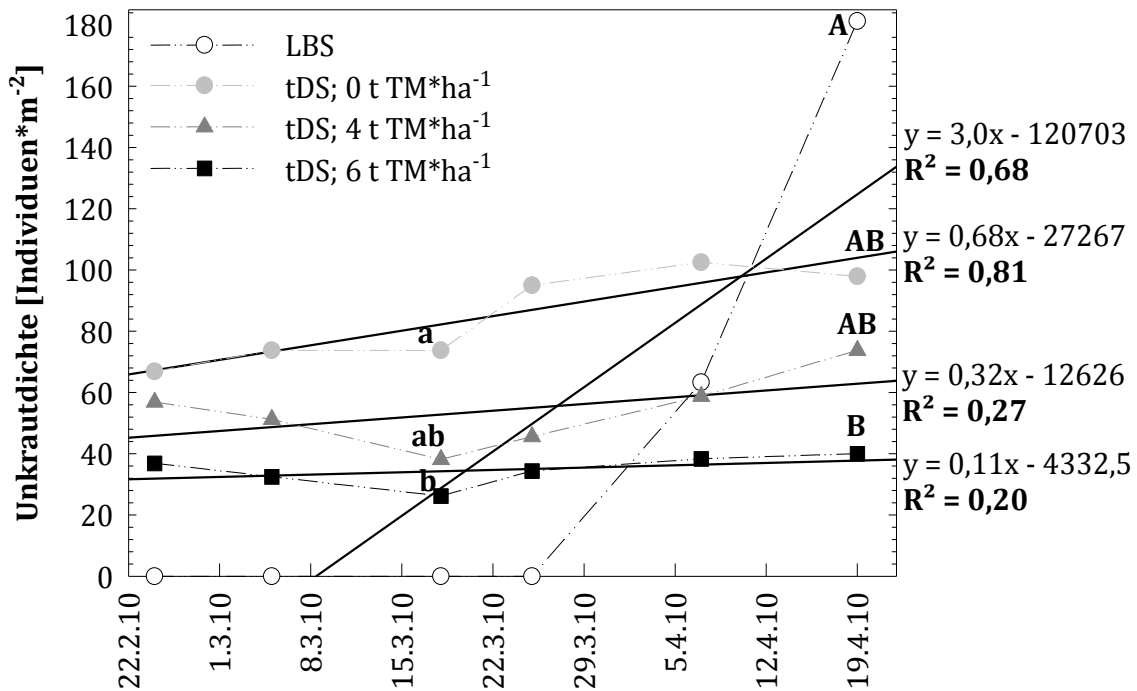


Abb. 1.9: Unkrautdichte (Individuen*m⁻²): Einfluss der Bodenbearbeitung und Strohaufgaben an verschiedenen Boniturterminen, Versuch WG 2a.

Großbuchstaben: Vergleich der Anbauverfahren (Tukey-test, $\alpha=0,05$). Kleinbuchstaben: Vergleich der Strohaufgaben (Tukey-Test, $\alpha=0,05$). Zeitpunkt der Bonitur (Datum): 24.Feb., 05.Mrz., 18.Mrz., 25.Mrz., 07.Apr. und 19.Apr..

Unkrautdeckungsgrad

Der höchste Unkrautdeckungsgrad (früher Boniturtermin) wurde im Versuch WG 2b mit 38% festgestellt, der niedrigste im Versuch FF 2 mit 1% (Abb. 1.10). In sieben Versuchen (WG 1, WG2a, FF 1, NI 1, NI 2, AN 1 und WG 2b) wurde der Deckungsgrad der Unkrautvegetation durch Strohaufgabe reduziert (signifikant in fünf Versuchen). Im Mittel aller Versuche wurde der Deckungsgrad der Unkrautvegetation durch die Varianten tDS 4 und 6 im Vergleich zur Variante ohne Mulchaufgabe um 41 bzw. 44 % reduziert. Der Unkrautdeckungsgrad der Variante LBS war in allen Versuchen niedriger als nach Direktsaat. In sechs Versuchen (WG 1, WG 2a, FF 1, NI 1, NI 2 und AN 1) war jedoch der Unterschied zwischen LBS und der Variante tDS 6 nicht signifikant, während in sieben Versuchen eine signifikante Differenzierung zwischen LBS und Direktsaat ohne Strohaufgabe festgestellt wurde. Neben der unkrautregulierenden Wirkung des Pflugs kann dieser Sachverhalt durch die verzögerte Keimung und das verspätete Auflaufen der sommerannuellen Flora nach wendender Bodenbearbeitung erklärt werden. Die Unkrautpopulation im LBS war zum Zeitpunkt der Erfassung an vielen Standorten und Versuchen noch im Keimstadium bzw. hatte noch keinen voll ausgebildeten Blattapparat.

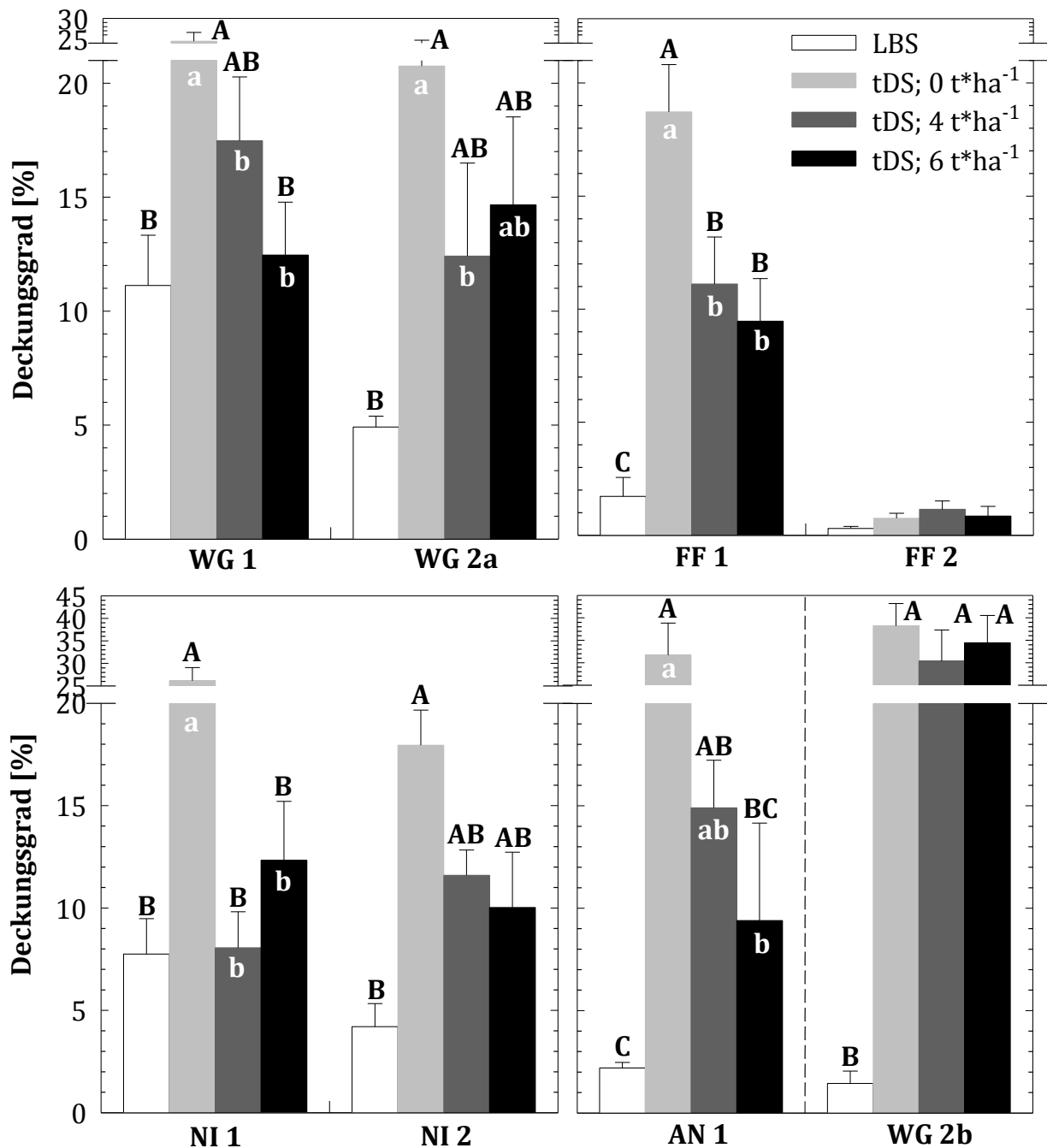


Abb. 1.10: Unkrautdeckungsgrad (%): Einfluss der Bodenbearbeitung und Strohaufgabe.

Großbuchstaben: Vergleich der Anbauverfahren (Tukey-test, $\alpha=0,05$). Kleinbuchstaben: Vergleich der Strohaufgaben (Tukey-Test, $\alpha=0,05$).

Zeitpunkt der Erhebung (Ackerbohnen EC): WG 1: 32; WG 2a: 32; FF 1: 13; FF 2: 14; NI 1: 13; NI 2: 15; AN 1: 13 und WG 2b: 13, I= Standardabweichung.

Nachfolgende Abb. 1.11 zeigt den Zusammenhang zwischen der Unkrautdicke und dem Unkrautdeckungsgrad in den tDS-Varianten. Aus dieser Abbildung kann entnommen werden, dass mit steigender Dichte auch der Deckungsgrad der Unkrautpopulation steigt. Dennoch nimmt der Deckungsgrad ab einer höheren

Abundanz (> 250 Individuen*m⁻²) aufgrund der steigenden intraspezifischen Konkurrenz ab.

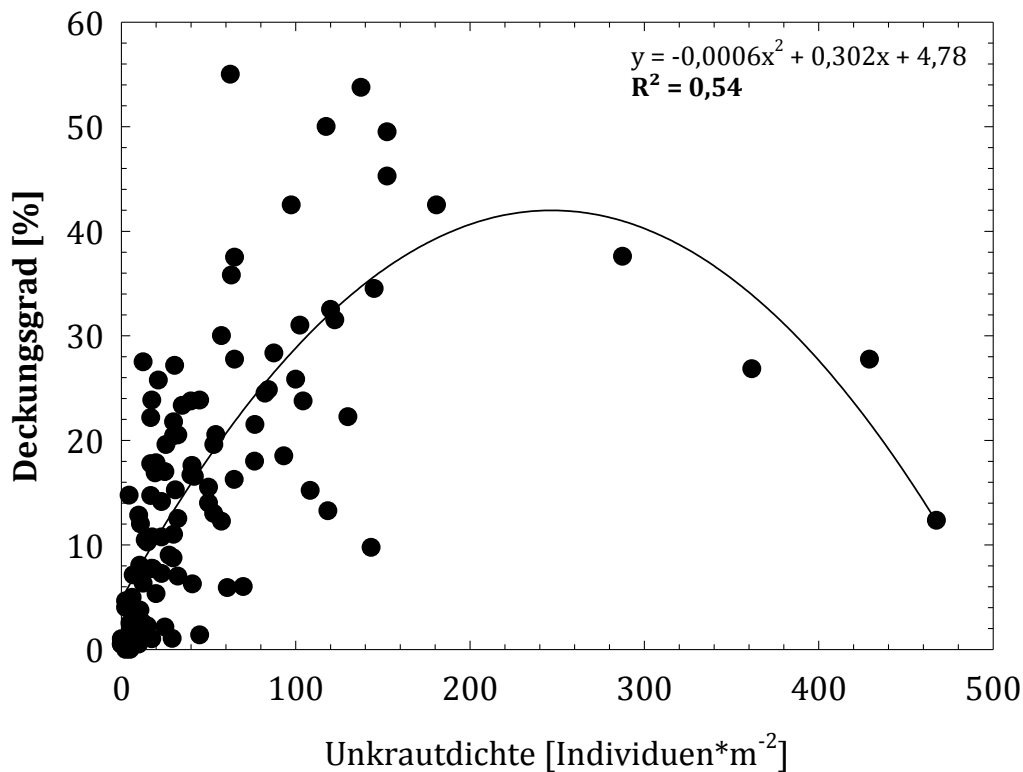


Abb. 1.11: Zusammenhang zwischen Unkrautdichte und Deckungsgrad im Direktsaatverfahren.
Versuche: WG 1; WG 2a; FF 1; FF 2; NI 1; NI 2; AN 1; WG 2b

Unkrautbiomasse

Die Sprosstrockenmasse der annualen Unkrautpopulation wurde an zwei Terminen (Beginn der Blüte und Grünreife der Ackerbohnen) erfasst. Die höchste Unkrautbiomasse wurde im Versuch WG 2b (tDS 0: 126 g*m⁻²) bei der ersten Beprobung gemessen, die niedrigste hingegen im Versuch FF 2 (tDS 0: 13 g*m⁻²).

Zu Beginn der Ackerbohnen - Blüte wurde in fünf Versuchen (WG 1, WG 2a, FF 1, AN 1 und WG 2b) eine signifikante geringere Unkrautbiomasse in den tDS-Varianten 4 und 6t Stroh (44 bzw. 37 g*m⁻²) verglichen mit der Variante ohne Stroh (101 g*m⁻²) gemessen (Abb. 1.12).

Zu einem späteren Entwicklungsstadium wurden die Ergebnisse des ersten Messtermins bestätigt. Die Unkrautbiomasse in den Varianten mit Stroh war tendenziell geringer als in der Variante ohne Stroh, die Unterschiede waren jedoch nur in einem Fall signifikant (Abb. 1.13).

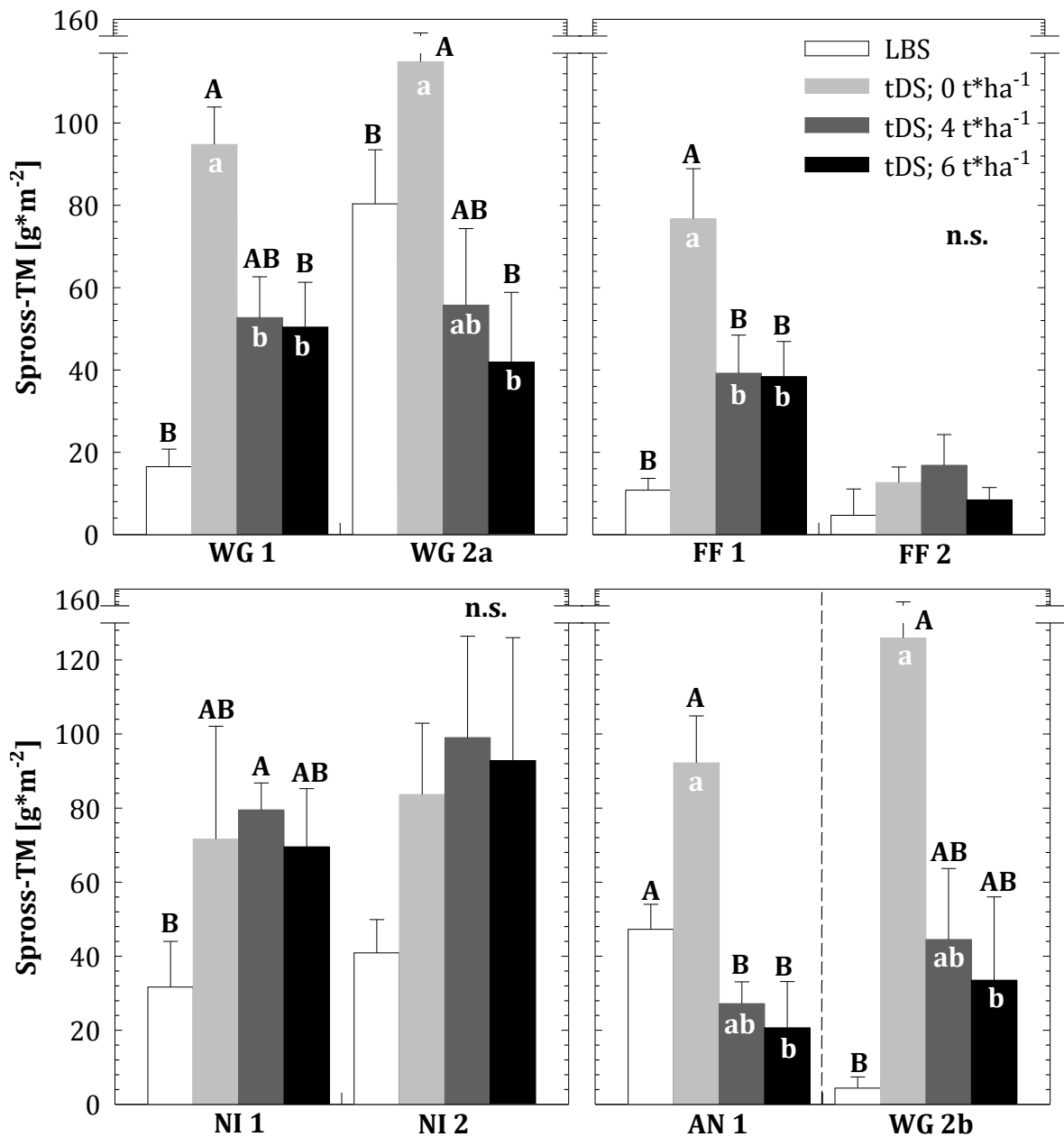


Abb. 1.12: Unkraut Spross-Trockenmasse (Spross-TM, g*m⁻²): Einfluss der Bodenbearbeitung und Strohauflage (1. Termin).

Großbuchstaben: Vergleich der Anbauverfahren (Tukey-test, $\alpha=0,05$). Kleinbuchstaben: Vergleich der Strohauflagen (Tukey-Test, $\alpha=0,05$).

Zeitpunkt der Erhebung (Ackerbohnen EC-Stadium): WG 1: 60/63; WG 2a: 63; FF 1: 66; FF2: 55; NI 1: 62; NI 2: 64; AN 1: 64; WG2b: 65. I= Standardabweichung.

Der Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Unkrautbiomasse war je nach Versuch sehr unterschiedlich. Zu Beginn der Ackerbohnen-Blüte wurde in WG 2a die höchste Spross-TM im LBS erfasst (80 g*m⁻²), während an den Standorten FF 2 und WG2b die niedrigsten Werte (5 und 4 g*m⁻²) gemessen wurden. In sieben Versuchen (WG 1, FF 1, FF 2, NI 1, NI 2, AN 1 und WG 2b) war die Spross-TM im LBS z.T. signifikant geringer (im Mittel 22 g*m⁻²) als in den tDS-Varianten (59 g*m⁻²).

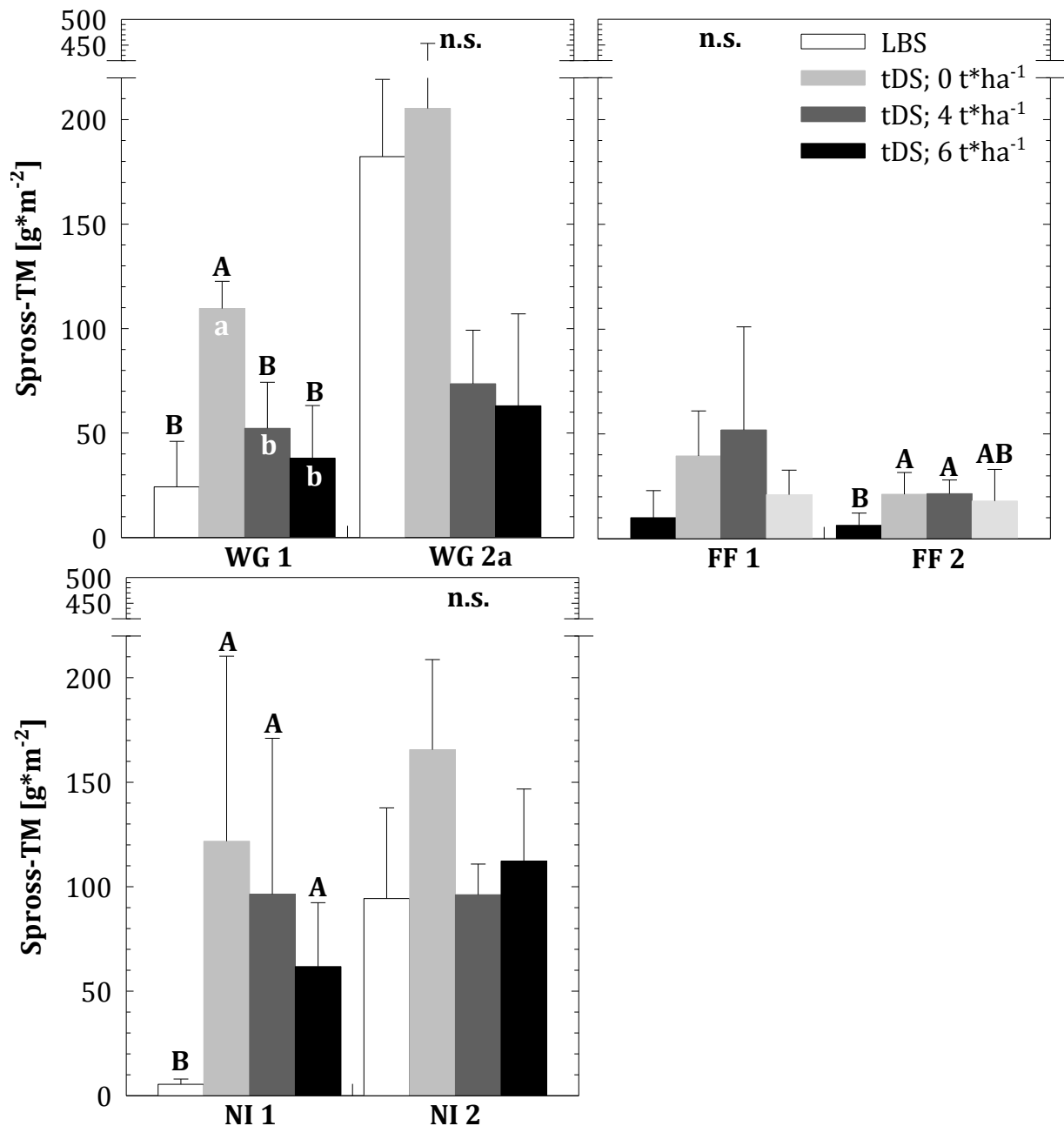


Abb. 1.13: Unkraut-Spross trockenmasse (Spross-TM, g*m⁻²): Einfluss der Bodenbearbeitung und Strohaufgabe (2. Termin).

Großbuchstaben: Vergleich der Anbauverfahren (Tukey-test, α=0,05). Kleinbuchstaben: Vergleich der Strohaufgaben (Tukey-Test, α=0,05).

Zeitpunkt der Erhebung (EC): WG 1: 78; WG 2a: 98; FF 1: 79; FF2: 74; NI 1: 78; NI2: 74.

Verschiedene Großbuchstaben zeigen signifikante Unterschied zwischen den Anbauverfahren (ANOVA; Tukey-test; α=0,05). I= Standardabweichung.

Verglichen mit den Varianten mit Mulchauflage war die Spross-TM der annuellen Unkräuter in den LBS-Varianten nicht signifikant geringer. In zwei Versuchen (WG 2a und AN 1) war die Unkrautbiomasse nach Pflugbearbeitung höher als nach Direktsaat mit Strohauflage. Dieser Sachverhalt erklärt sich v.a. durch den Massenauftritt von *Chenopodium album*, *Sinapis arvensis*, und *Polygonum persicaria* im LBS.

Zusammenfassung - Unkraut

- Mit steigender Strohmasse nahmen bei Direktsaat die Unkrautdichte, der Unkrautdeckungsgrad und die Spross-TM der annuellen Unkrautpopulation gegenüber dem tDS-System ohne Strohmulch ab:
- Die im Vergleich zu den Parzellen ohne Bodenbearbeitung und Strohmulch deutlich geringeren Werte für Unkrautdichte, -deckungsgrad und -Spross-TM in LBS bestätigen die Effekte der Unkrautregulation mit Wendepflug.
- Verglichen mit den Direktsaat-Varianten mit Mulchauflage unterschieden sich der Unkrautdeckungsgrad und die Spross-TM der annuellen Unkräuter in den LBS-Varianten nicht signifikant, die Unkrautdichte war in der Variante LBS z.T. höher.

➔

Übersicht der Ergebnisse

Auswirkung der temporären Direktsaat im Strohmulch auf	
Abundanz (Individuen*m ⁻²)	= (▼)
Deckungsgrad (%)	= (▲)
Spross-TM (g*m ⁻²) Termin 1	=
Spross-TM (g*m ⁻²) Termin 2	= (▲)
N-Akkumulation im Spross (N Kg*ha ⁻¹)	= (▼)

Einzelne Unkrautgruppen und Arten

Die Untersuchung der einzelnen Unkraut-Arten und -Gruppen war im Rahmen dieser Arbeit von speziellem Interesse, da die Unkrautpopulation sich in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und Strohaufgabe differenzieren kann. Folglich wurde vermutet, dass sich bearbeitungsbedingte Änderungen in der Zusammensetzung der Unkrautvegetation in der Veränderung der Abundanz einzelner Arten und der Spross-TM einzelner Unkrautgruppen widerspiegeln. Die Diversität und die Anzahl der Unkrautarten sowie der Wertigkeitsindex geben zudem Hinweise auf die Veränderung der Unkrautflora nach unterschiedlichen Anbauverfahren.

Gesamte Artenanzahl

In vier Versuchen (WG 1, FF 2, NI 1, WG 2b) wurde kein eindeutiger Effekt der Strohaufgabe auf die gesamte Artenanzahl beobachtet. Jedoch nahm die Artenanzahl in drei Versuchen (WG 2a, NI 2 und AN 1) mit zunehmender Strohaufgabe ab (Tab. 12). Die Erfassung der einzelnen Arten zeigte, dass bestimmte Unkrautarten im DS-System mit Strohmulch $6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ nicht aufliefen. Je nach Versuch sind 3 bis 29 Arten in der Variante tDS 6 nicht aufgetreten, während sie in den Vergleichsvarianten der entsprechenden Versuche vorkamen. Dieser Sachverhalt wurde für nachfolgende Arten in mindestens zwei Versuchen beobachtet:

- *Capsella bursa-pastoris* (WG 1, NI 2, WG2b),
- *Conyza canadensis* (WG 1, FF2, NI 1, AN 1),
- *Galinsoga ciliata* (WG 1, AN 1),
- *Polygonum aviculare* (WG 1, NI 2, AN 1),
- *Myosotis arvensis* (NI 1, WG 2b),
- *Fallopia convolvulus* (NI 2, AN 1)
- *Bellis perenne* (WG 1, WG 2b)
- *Anagallis arvensis* (WG 1, NI 2)
- *Vicia* spp. (NI 2, AN 1)
- *Trifolium* spp. (AN 1, NI 2)

Tab. 1.12.: Artenanzahl: Einfluss der Bodenbearbeitung und Strohauflage.

Anbauverfahren		WG 1	WG 2a	FF 1	FF 2	NI 1	NI 2	AN 1	WG 2b
LBS		19	20	8	10	6	17	17	8
tDS	0	37	43		6	31	22	19	19
	4	40	39	33	8	28	16	15	19
	6	37	40		6	31	15	10	18

Zeitpunkt der Erhebung (Ackerbohnen EC): WG 1: 09; WG 2a: 12; FF 1: 13; FF 2: 34; NI 1: 13; NI 2: 12; AN 1: 09/23; WG 2b: 00/13.

Die Variante mit Bodenbearbeitung wies im Durchschnitt aller Versuche mit 13 Arten im Vergleich zu 24 Arten in den nicht gepflügten Varianten eine deutlich geringere Gesamtartenzahl auf (Tab. 1.12). Nachfolgende Arten wurden nur in den Varianten ohne Bodenbearbeitung bonitiert.

- ➔ Dikotyle Arten: *Anagallis arvensis* (Ackergauchheil), *Conyza canadensis* (Kanadisches Berufskraut), *Euphorbia* spp. (Wolfsmilch), *Bellis perennis* (Gänseblümchen), *Cerastium* spp. (Hornkraut), *Epilobium* spp. (Weidenröschen), *Geranium pusillum* (Kleiner Storchschnabel), *Gnaphalium uliginosum* (Sumpfruhrkraut), *Aphanes arvensis* (Gewöhnlicher Ackerfrauenmantel), *Arabidopsis thaliana* (Acker-Schmalwand), *Myosotis arvensis* (Acker-Vergissmeinnicht), *Capsella bursa-pastoris* (Ackerhellerkraut), Bergahorn, *Galeopsis* sp. (Hohlzahn), *Ranunculus repens* (Kriechender Hahnenfuß), *Galium aparine* (Gewöhnliches Kletten-Labkraut), *Oxalis stricta* (Aufrechter Sauerklee)
- ➔ Monokotyle Arten: *Digitaria sanguinalis* (Blutrote Fingerhirse), *Setaria viridis* (Grüne Borstenhirse), *Avena fatua* (Flug-Hafer), *Apera spica venti* (Acker-Windhalm).

Der Grund für höhere Artenzahlen ohne Bodenbearbeitung liegt vermutlich darin, dass bei diesem System die Störungsintensität verringert wird und günstige Keimnischen für mehr Arten – vor allem auch kleinsamige Arten – entstehen. Ein anderer Grund für diesen Sachverhalt ist die Anreicherung von Diasporen an der Bodenoberfläche unter tDS, ein Sachverhalt, der eine erfolgreiche Keimung und Etablierung erhöht. Häufig waren die zusätzlich vorkommenden Arten jedoch nur mit geringerer Individuendichte vertreten, abgesehen von den Gräsern und den vom Wind verbreiteten Arten wie zum Beispiel *Senecio vulgaris*.

Im Lockerbodensystem kamen zusätzlich Arten wie Feldkresse und *Mercurialis annua* (Einjähriges Bingelkraut) vor. Die dominierenden Arten nach Pflugbearbeitung waren jedoch *Stellaria media* (52% im NI 2), *Galingosa ciliata* (62% im NI 1), *Polygonum* sp. (65% im AN 1), *Sinapis arvensis* (46% im WG 2a) und *Chenopodium*

album (61% im WG 1, Abb. 1.14 und 1.15). Die meisten Arten waren Sommerannuelle, bei denen durch Eingriff des Pfluges die sekundäre Dormanz mittels hoher Lichteinstrahlung und Bodentemperaturen sowie Stickstoffmineralisation gebrochen wird.

In den Varianten mit Direktsaat waren in sechs Versuchen die Monokotylen (Gras=GR) die dominanteste Gruppe (36% WG 2a, 84% FF 2, 34% NI 1 und 57% WG 2b), vorwiegend mit nachfolgenden Arten:

- *Alopecurus myosuroides*
- *Apera spica-venti*
- *Avena fatua*
- *Avena sativa*
- *Digitaria sanguinalis*
- *Elymus repens*
- *Hordeum murinum*
- *Lolium* sp.
- *Poa* sp.
- *Setaria viridi*

Bestimmte dikotyle Arten (annuelle und perennierende) konnten sich auch in den Varianten mit Strohaufgabe gut etablieren und gemeinsam mit den Gräser dominieren (Abb. 1.14 und 1.15):

- *Mentha arvensis* (27% WG 1)
- *Equisetum arvense* (50% WG 1)
- *Stellaria media* (48% FF 1)
- *Chenopodium album* (34 % AN 1)
- *Atriplex patula* (51% NI 2)
- *Galingosa ciliata* (33% NI 1)
- *Matricaria* spp (23% WG 1)

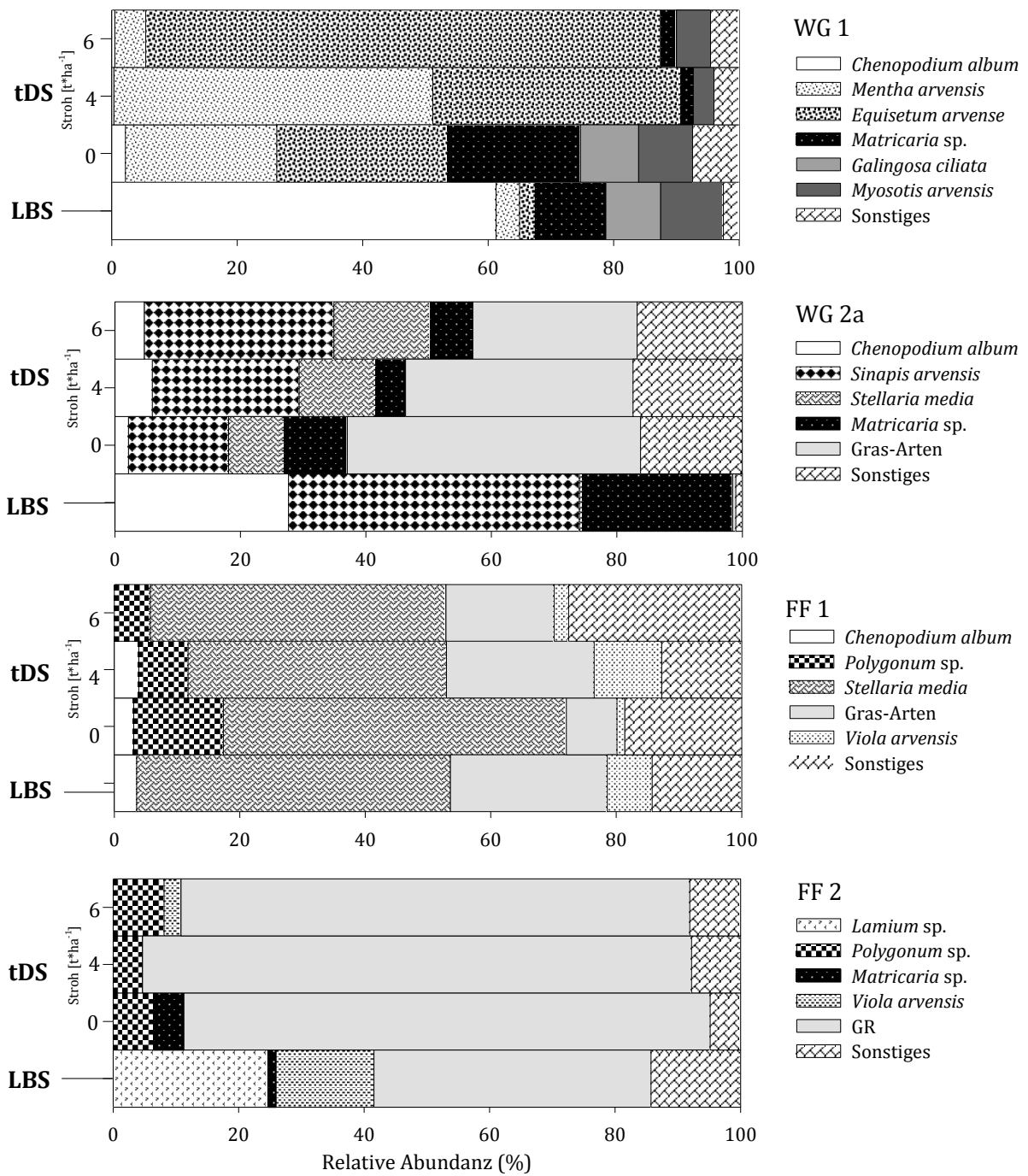


Abb. 1.14: Dominierende Unkrautarten/-gruppen: Einfluss der Bodenbearbeitung und Strohaufgabe.

Versuche: WG 1, WG 2a; FF 1; FF 2.

Die Daten wurden aus unterschiedlichen Boniturterminen verwendet.

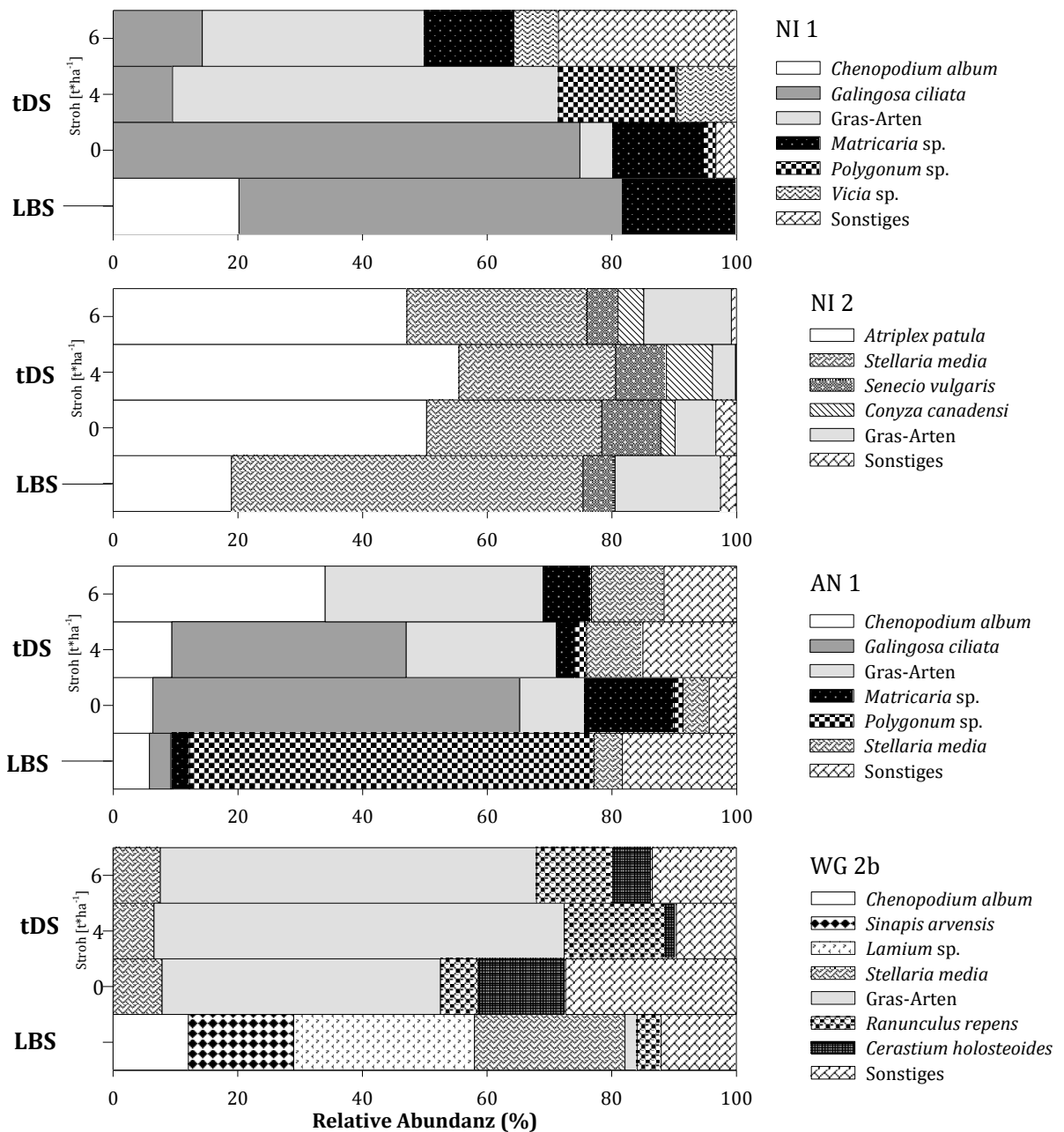


Abb. 1.15: Dominierende Unkrautarten/-gruppen: Einfluss der Bodenbearbeitung und Strohauflage.

Versuche: NI, AN 1 und WG 2b.

Die Daten wurden aus unterschiedlichen Boniturterminen verwendet.

Diversität der Arten (Shannon-Wiener-Index)

Für die Berechnung der Diversität wurde der Shannon-Wiener-Index (Hs') aus der Abundanz der dikotylen Unkrautarten berechnet. Es wurden jeweils Daten aus unterschiedlichen Boniturterminen verwendet, da die Keimungs- und Auflaufstadien der Arten je nach Anbauvariante unterschiedlich waren.

In sechs von acht Versuchen wurde eine tendenziell abnehmende Diversität der Unkrautarten mit steigender Strohaufgabe festgestellt (WG 1, FF 2, NI 1, AN 1). Dieser Sachverhalt deutet auf die Wirkung einer unkrautspezifischen Unterdrückung der dikotylen sommerannuellen Arten durch den Strohmulch hin. In den anderen vier Versuchen (WG 2a, FF 1, NI 2 und WG 2b) wurde kein Effekt der Strohaufgabe auf die Artenvielfalt beobachtet (Abb. 1.16).

Der Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Artenvielfalt war versuchsabhängig. In vier Versuchen (WG 1, FF 2, NI 1 und AN 1) wurde in den Varianten mit Bodenbearbeitung eine z.T. signifikant höhere Vielfalt der Arten verglichen mit dem Direktsaat-System festgestellt. In den anderen vier Versuchen (WG 2a, FF 1, NI 2 und WG 2b) war die Diversität nach Direktsaat höher als im LBS.

Dieser Sachverhalt erklärt sich damit, dass monokotyle und perennierende Arten, die generell am meisten durch Pflugverzicht und Bodenruhe gefördert werden, im Rahmen dieser Untersuchung nicht detailliert erfasst wurden. Ein anderer Grund für den höheren Diversitätsindex nach Pflugbearbeitung kann die höhere Abundanz von spätkeimenden Arten (Sommerannuelle) wie *Chenopodium album*, *Sinapis arvensis* und *Polygonum*-Arten sein. Im Lockerboden-System haben diese Arten zunehmende Chancen sich zu etablieren, weil durch den Pflugeingriff die Dormanz gebrochen werden kann.

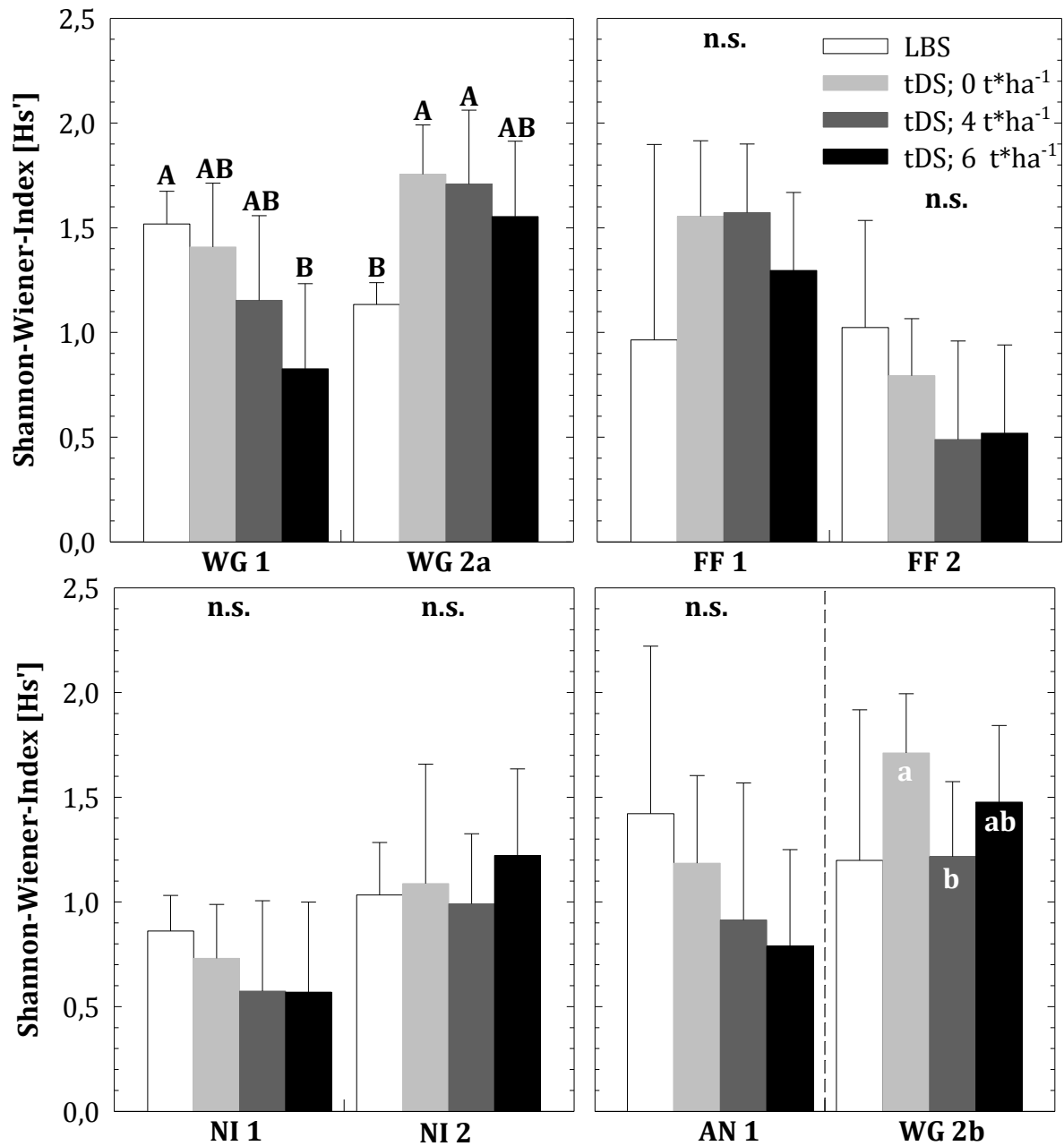


Abb. 1.16: Diversität-Index (HS'): Einfluss der Bodenbearbeitung und Strohaufgabe.

Großbuchstaben: Vergleich der Anbauverfahren (Tukey-test, $\alpha=0,05$). Kleinbuchstaben: Vergleich der Strohaufgaben (Tukey-Test, $\alpha=0,05$). I= Standardabweichung.

Abundanz von Perennierenden und Gräsern

In Tabelle 1.13 wird die Abundanz der häufigsten Arten, Gattungen und Unkrautgruppen (GR=Gräser und perennierende Arten) in Abhängigkeit der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme dargestellt. Die Erhebungen zeigen, dass in allen Verfahren der Direktsaat (mit und ohne Stroh) eine deutlich höhere Abundanz von perennierenden Unkräutern und Gräsern vorliegt als nach Pflugbearbeitung. Dieses bekannte Phänomen erklärt sich vornehmlich mit den physikalischen Effekten der Bodenbearbeitung (z.B. Vergraben) und führt bei Direktsaatverfahren im konventionellen Landbau zur kombinierten Anwendung von Herbiziden. Der Lösungsansatz ‚Strohmulch belassen‘ scheint unter bestimmten Bedingungen für den Ökologischen Landbau geeignet zu sein.

Tab. 1.13: Abundanz einzelner Unkraut-Arten und -gruppen

Nr.	Unkrautarten/ -gattung/ -gruppen	Versuche	LBS	tDS		
				Stroh [t*ha ⁻¹]		
			0	4	6	
Perennierende						
1	<i>Mentha arvensis</i> (MENAR)	WG1	1	16	62	3
2	<i>Equisetum arvense</i> (EQUAR)	WG1	1	18	48	54
3	<i>Trifolium repens</i> und <i>T. pratense</i> (TRFSS)	FF 1	0,0	0,4	0,1	0,1
		WG 2a	0	1	0	1
		WG 2b	1,5	0,5	2	0
		AN 1	1	7	4	1
4	<i>Ranunculus repens</i> (RANRE)	WG2b	2	12	19	15
5	Sonstige perennierende Arten	FF 1	0 _A	6 _B	6 _B	4 _B
		AN 1	3	22	51	43
		WG2b	4	13	13	13
Gräser						
1	GR	WG 2a	1 _C	36 _A ^a	16 _{AB} ^{ab}	8 _{BC} ^b
		FF 1	5	2	3	2
		NI 1	0	4	5	4
		NI 2	33 _A	10 _B	3 _B	9 _B
		AN 1 §	1 _C	34 _A ^a	8 _B ^b	5 _B ^b
		WG 2b §	1 _B	88 _A	75 _A	72 _A
		FF2	7	10	11	6

Abundanz von *Chenopodium album*

In der Abbildung 1.17 wird die Abundanz von *Chenopodium album* in den Ackerbohnenreihen und zwischen den Ackerbohnen-Reihen im Versuch WG2a dargestellt. Aus der Grafik kann entnommen werden, dass die Abundanz von *C. album* im LBS signifikant höher war als nach Direktsaat, sowohl in als auch zwischen den Ackerbohnen-Reihen. Wie bereits diskutiert, wird die Dormanz von *C. album*-Samen während der Bodenbearbeitung beeinflusst. Dieses führt dazu, dass die Keimung im LBS stärker stimuliert wird als im DS-System. Demgegenüber wird die sekundäre Dormanz von *C. album* im tDS-System durch die Bodenruhe nicht beeinflusst; die Samen bleiben in Keimruhe.

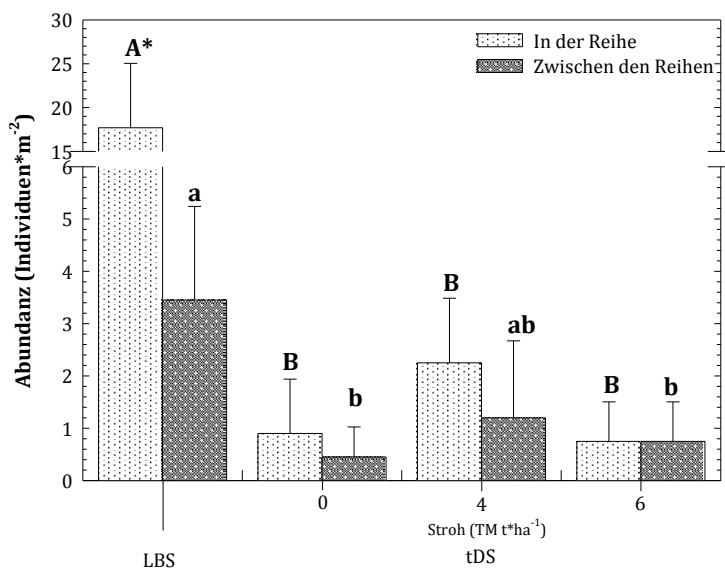


Abb. 1.17. *Chenopodium album* (Individuen*m⁻²) in der Ackerbohnen-Reihe und zwischen den Reihen.

Unterschiedliche Großbuchstaben zeigen die Signifikanz in der Reihe (ANOVA, Tukey-test, $\alpha=0,05$). Unterschiedliche Kleinbuchstaben zeigen die Signifikanz zwischen den Reihen (ANOVA, Tukey-test, $\alpha=0,05$). Asterisk, '*' zeigt eine Signifikanz zwischen den Varianten. Zeitpunkt der Erfassung (AB EC-Stadium):



Bild 3: Differenzierte Entwicklung der Unkrautflora in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung, Anrath 2010

3.2: Teilprojekt 2:

Material und Methoden

Ergebnisse und Diskussion

„Nichtlegumer Zwischenfruchtbau und reduzierte Bodenbearbeitung zur Steigerung der symbiotischen N₂-Fixierleistung von Ackerbohnen – N-Flüsse, Unkrautregulierung und Energieeffizienz“

Förderkennzeichen: 08OE145

Projektleitung: Prof. Dr. Rolf Rauber & Dr. Rüdiger Jung

Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenbau, Georg-August-Universität Göttingen

3.2.1. Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden zwischen 2008 und 2010 auf langjährig ökologisch bewirtschafteten Ackerschlägen des Lehr- und Versuchsgutes der Universität Göttingen, dem Kloostergut Reinshof, durchgeführt (Tab. 2.1). Die Böden des Kloostergutes werden überwiegend als Auenböden aus Schwemmlöss angesprochen. Diese Lehme bis tonigen Lehme zeigen im Durchschnitt die Ackerzahl 83 (JUNG & RAUBER 2009, 2010).

Der erste Feldversuch wurde am 05.08.2008 nach Sommergerste auf dem Schlag „Dreieck“ (51°29'58``Nord, 9°24'85``Ost) angelegt. Der zweite Feldversuch folgte ein Jahr später auf dem Schlag „Stemmekamp“, in geringer Entfernung zum vorjährigen Standort. Die Anlage erfolgte am 14.08.2009, wiederum nach der Vorfrucht Sommergerste.

Tabelle 2.1: Humusgehalte, pH-Werte und pflanzenverfügbare Nährstoffe im Boden (0-25 cm Tiefe) der Untersuchungsstandorte

Ackerschlag	Zeitpunkt	Humus-gehalt ¹⁾	pH ²⁾	P ³⁾	K ³⁾	Mg ⁴⁾
		(%)		mg/100 g Boden	mg/100 g Boden	mg/100 g Boden
Dreieck	Herbst 2008	2,9	6,7	9,0	11,3	10,5
	Frühjahr 2009	2,7	6,3	9,0	11,2	12,8
Stemme-kamp	Herbst 2009	2,9	7,3	5,5	5,6	11,7
	Frühjahr 2010	n.e.	7,1	6,3	9,0	10,3

¹⁾ nach Dumas; ²⁾ VdLUFA Methodenhandbuch A 5.1.1.; ³⁾ VdLUFA Meth. A 6.2.1.1.; ⁴⁾ VdLUFA Meth. A 6.2.4.1; n.e.: nicht ermittelt

Bezüglich der Grundnährstoffmengen im Oberboden zeigten die Ackerstandorte punktuell Mangel, bestenfalls eine durchschnittliche Versorgung. Phosphor konnte zwar durchgehend in Versorgungsstufe C eingeordnet werden, am Schlag „Stemmekamp“ bewegten sich die P-Gehalte jedoch an der unteren Grenze zur Versorgungsstufe B. Die Kalium-Gehalte im Oberboden waren auf beiden Ackerschlägen sehr niedrig (Versorgungsstufen A oder B), während Magnesium wiederum in zufriedenstellenden Mengen vorlag (Versorgungsstufe C). Insgesamt war der Schlag „Stemmekamp“ schlechter mit Grundnährstoffen versorgt als der Schlag „Dreieck“ (Tab. 2.1).

Tabelle 2. 2: Witterungsbedingungen am Standort Göttingen-Reinshof

	Temperatur (°C)				Niederschlag (mm)				
	Mittel ¹⁾	2008 ²⁾	2009 ²⁾	2010 ²⁾	Mittel ¹⁾	2008 ²⁾	2009 ²⁾	2010 ²⁾	
Januar	0,3	4,8	-2,7	-3,6	47,7	58,5	14,5	30,1	
Februar	1,0	3,9	1,3	-0,1	39,1	38,9	51,5	35,5	
März	4,1	4,8	4,7	4,7	46,7	55,9	49,8	50,8	
April	8,0	7,8	11,6	8,9	48,5	49,8	34,8	16,9	
Mai	12,6	13,9	13,5	10,5	59,6	10,4	64,5	95,3	
Juni	15,7	16,5	14,5	16,0	81,3	90,1	48,3	41,2	
Juli	17,1	17,9	18,0	19,9	62,7	71,4	70,1	101,2	
August	16,7	17,9	18,4	16,8	60,0	47,9	52,6	103,3	
September	13,5	12,8	14,5	12,7	50,0	50,2	55,9	61,0	
Oktober	9,5	9,5	8,2	8,5	39,7	46,9	61,0	19,7	
November	4,7	5,6	8,3	5,3	50,6	32,9	71,5	101,0	
Dezember	1,6	1,6	0,7	-4,0	59,0	22,2	65,7	47,6	
°C Ø	8,7	9,8	9,3	8,0	mm Σ	644,9	575,1	640,2	703,6

¹⁾ langjähriges Mittel 1961 bis 1990, Quelle: DWD; ²⁾ Quelle: Wetterstation Göttingen

Im Untersuchungszeitraum ermöglichten zwei relativ kalte Winter in den Jahren 2008/09 bzw. 2009/10 ein sicheres Abfrieren der eingesäten Zwischenfruchtgemenge. In der Vegetationsperiode des Jahres 2010 folgte einer Trockenphase im April (nur 17 mm Niederschlag) ein nasser Hochsommer mit Niederschlägen, die im Juli und August ca. 60% über den Durchschnittswerten lagen (Tab. 2.2).

In den Jahren 2008 und 2009 wurde zwischen März und Juli auf den späteren Versuchsflächen als Vorfrucht Sommergerste angebaut. Nach einer Saatbettbereitung (Pflug, Kreiselegge) Anfang bzw. Mitte August begann die erste Phase der Feldversuche mit der Aussaat der nicht-legumenen Zwischenfruchtgemenge (Tab. 2.3, Tab. 2.4). Das Gemenge bestand aus Hafer (*cv.* Husky, ca. 250 Körner m⁻²) und Sonnenblumen (*cv.* Methasol, ca. 15 Körner m⁻²). Ziel war eine möglichst effiziente Aufnahme des bodenbürtigen Stickstoffs mit Festlegung in der oberirdischen Biomasse über Winter. Das Hafer-Sonnenblumen-Gemenge wurde bis zur Aussaat der Ackerbohnen keiner weiteren Behandlung unterzogen. Der Bestand froh über Winter ab und bildete eine Mulchauflage aus abgestorbenen Halmen und Blättern, hauptsächlich aus Hafer bestehend. Als Kontrolle wurden ab August parallel zum Zwischenfruchtgemenge Vergleichsflächen als Schwarzbrache ohne Bewuchs angelegt. Aufkommende Unkräuter wurden zwischen Ende August und Ende

Oktober mit einem maschinellen Abflammgerät mehrfach reguliert. Von Ende Oktober bis zur Aussaat der Ackerbohnen im Folgejahr wurde auf der Kontrollvariante „Schwarzbrache“ (-ZF) keine weitere Unkrautregulierung vorgenommen. Die zweite Phase der Feldversuche wurde in den Vegetationsperioden der Jahre 2009 und 2010 durchgeführt. Die Hauptfrüchte waren Ackerbohnen (cv. Fuego, 35 Körner m⁻²) und Sommerweizen (cv. Granny, 300 Körner m⁻²). Der Sommerweizen diente als Referenzfrucht, z.B. zur Messung der symbiotischen Stickstoff-Fixierung.

Tabelle 2.3: Faktor Bodenbearbeitung in den Feldversuchen: Übersicht zu den Varianten sowie den verwendeten Geräten und Bearbeitungstiefen.

Anbausystem	Bodenbearbeitung	Gerät	Bearbeitungstiefe
Festboden-Mulchsystem (FMS)	keine Bearbeitung zur Saatbettbereitung, Saat in Mulchauflage	Cross-Slot-Direktsaatmaschine	---- ¹⁾
Lockerboden-Mulchsystem (LMS)	reduzierte Bearbeitung	Flügelschargrubber	ca. 15 cm
Lockerboden-System (LBS)	konventionelle, praxisübliche Bearbeitung	Wendepflug	ca. 25 cm

¹⁾ „Cross-Slot“-Technik: Säschlitz bis ca. 6 cm Tiefe

Drei Anbausysteme wurden in dieser zweiten Phase verglichen (Tab. 2.3): Die Variante Festbodenmulchsystem (FMS) mit Mulchsaatverfahren ohne vorhergehende Bodenbearbeitung, die Variante Lockerboden-Mulchsystem (LMS) mit reduzierter Bodenbearbeitung durch einen Flügelschargrubber und die Variante Lockerboden-System (LBS) mit konventioneller, praxisüblicher Bodenbearbeitung durch den Wendepflug. Die Aussaat der Körnerfrüchte jeweils Anfang April 2009 und 2010 (Tab. 2.4) erfolgte in den Varianten FMS und LMS mit der sogenannten Cross-Slot-Technik.

Tab. 2.4: Termine für Aussaat, Zwischen- und Endernten im Untersuchungszeitraum von 2008 bis 2010 (in Klammern: Tage nach Aussaat).

Ackerschlag und Fruchtart	Termin 1 Aussaat	Termin 2 Zeiternte 1	Termin 3 Zeiternte 2	Termin 4 Endernte
Dreieck, Zwischenfrüchte	05. August 2008	28. Oktober 2008 (84 Tage)	---	---
Dreieck, Ackerbohnen + Sommerweizen	08. April 2009	25. Mai 2009 (47 Tage)	18. Juni 2009 (71 Tage)	17. August 2009 (131 Tage)
Stemmekamp, Zwischenfrüchte	14. August 2009	29. Oktober 2009 (76 Tage)	---	---
Stemmekamp, Ackerbohnen + Sommerweizen	08. April 2010	02. Juni 2010 (55 Tage)	21. Juni 2010 (74 Tage)	10. August 2010 (124 Tage)

Die entsprechende Sätechnik wurde von den Kooperationspartnern der HTW Dresden (Prof. Schmidtke) bereitgestellt. In der Variante LBS wurden die Ackerbohnen mit einer Einzelkornsämaschine „Monoair“ (Fa. Fähse) und der Sommerweizen mit einer Drillmaschine der Fa. Amazone (D7 Super S) ausgesät.

Alle Prüfglieder der Feldversuche wurden in vierfacher Wiederholung angelegt. Die Feldversuche waren als Spaltanlage konzipiert. Die Großparzellen beinhalteten den Faktor „Zwischenfruchtgemenge“ mit zwei Faktorstufen (mit Zwischenfrucht „+ZF“; ohne Zwischenfrucht bzw. Schwarzbrache „-ZF“), die Unterparzellen bildeten die beschriebenen drei Anbausysteme zur Bodenbearbeitung ab (Tab. 2.3). Pro jährlichen Untersuchungszyklus (Zwischenfruchtgemenge, Nachfrüchte Ackerbohnen und Sommerweizen) umfassten die Feldversuche insgesamt 48 Parzellen.

Die oberirdische Biomasse (Spross oder Korn) der verschiedenen Fruchtarten sowie der Unkräuter wurde zu den in Tab. 2.5 angegebenen Terminen in den Parzellen per Handerte auf Kleinteilflächen entnommen. Unkräuter in den Parzellen wurden mit einem Akkuschneidgerät (Fa. Gardena) ca. 1-2 cm über der Bodenoberfläche abgeschnitten. Eingriffe in die Bodenmatrix, beispielsweise durch Hacken, wurden auf diese Weise vermieden. Die Versuchsflächen wurden mit einem Parzellen-Mähdrescher (Fa. Hege) gedroschen und die Kornerträge erfasst. Zur Ermittlung der Trockenmasse wurden repräsentative Teilproben bei 105°C für 48 h bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Frischmasse und Trockenmasse wurden mit Laborwaagen (Fa. Sartorius) ermittelt. Für die Bestimmung der C- und N-Gehalte der Pflanzenteile wurden Teilproben bei 60°C schonend getrocknet und mit einer

Ultrazentrifugalmühle (Fa. Retsch) feinvermahlen (ca. 0,25 mm Körnung). Anschließend erfolgte die Analyse entweder elementaranalytisch (Fa. Elementar) oder mit Isotopen-Massenspektrometern (Delta Plus, Fa. FinniganMAT).

In einem gesonderten Telexperiment im Jahr 2010 wurde der Einfluss der Unkrautmasse auf die Korn-Erträge der Ackerbohnen bestimmt. Zu diesem Zweck wurde auf Ackerbohnen-Teilflächen keine Unkrautkontrolle durchgeführt. Diese Teilflächen wurden zur Reife der Ackerbohnen gleichfalls mit einem Parzellen-Mähdrescher (Fa. Hege) beerntet.

Zur Erfassung des Vorrates an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden (N_{\min} -Stickstoff: NO_3^- -N plus NH_4^+ -N) wurden regelmäßig Bodenproben bis 120 cm Tiefe entnommen (Termine 1 bis 4 in Tab. 2.4). Während der ersten Untersuchungsphase (Wachstum Zwischenfrüchte) betrug die Schichtdicke der Segmente je 30 cm, während der zweiten Untersuchungsphase (Vegetationsperiode Ackerbohnen und Sommerweizen) wurde die erste Schicht zusätzlich in 0 bis 10 cm- Abschnitte sowie 10 bis 30 cm- Abschnitte unterteilt. Die Entnahme der Proben erfolgte mit einem halbautomatischen Gerätesystem (Fa. Nietfeld) sowie Pürckhauer-Bohrstöcken (vier Einstiche je Parzelle und Termin).

Die über Winter an der Bodenoberfläche verbliebene abgestorbene organische Substanz der Zwischenfrüchte wurde teilweise mikrobiell abgebaut. Dabei wurde langsam Stickstoff freigesetzt (Tab. 2.6). In einem gesonderten Markierungsexperiment wurde versucht, den Stickstoff-Transfer aus ^{15}N -markierter Sprossmasse der Zwischenfrüchte Hafer und Sonnenblumen in die Nachfrüchte Ackerbohnen und Sommerweizen nachzuweisen. Das Hafer-Sonnenblumen-Gemenge wurde hierzu auf separat gelegenen Flächen jeweils von August bis November angebaut und mit hochangereichertem ^{15}N -Harnstoff (10 atom% ^{15}N) gedüngt. Auf Kleinteilflächen im Hauptversuch (2,25 m²) wurde anschließend am 17.11.2008 bzw. am 18.11.2009 die Sprossmasse des bestehenden Zwischenfruchtbestandes entfernt und durch ^{15}N -angereicherte Hafer-Sonnenblumen-Sprossmasse ersetzt (mittlere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte: ca. 940 ‰ im Jahr 2008 bzw. ca. 400 ‰ im Jahr 2009). Zur Endernte (Tab. 2.4) der Nachfrüchte erfolgten gesonderte Probenahmen auf den Teilflächen, auf denen ^{15}N -angereicherte Sprossmasse der Zwischenfrüchte ausgebracht worden war, nebst nachfolgender Analyse der Isotopensignaturen.

3.2.2 Ergebnisse und Diskussion

Zwischenfrucht: Hafer-Sonnenblumen-Gemenge

Jeweils im August wurde das Zwischenfruchtgemenge aus Hafer und Sonnenblumen ausgesät (Tab. 2.4). Zeiternten jeweils Ende Oktober zeigten die unterschiedliche Entwicklung, Ertragsbildung und Stickstoff-Akkumulation auf den beiden Ackerschlägen (Tab. 2.5A). Auf Schlag „Dreieck“ wurde im Jahr 2008 mit 28 dt TM ha⁻¹ die doppelte Menge an Pflanzenmasse gebildet wie ein Jahr später auf Schlag „Stemmekamp“ (14 dt TM ha⁻¹). Demnach wurden durch Hafer und Sonnenblumen entsprechend höhere Mengen Stickstoff oberirdisch akkumuliert: 65 kg N ha⁻¹ im Jahr 2008 im Gegensatz zu 27 kg N ha⁻¹ im Jahr 2009. Die unterschiedliche Nährstoffversorgung der beiden Ackerschläge (Tab. 2.1, Tab. 2.5B) bieten eine Erklärung für diese Ergebnisse. Zur Aussaat wurde beispielsweise in der obersten Bodenschicht (0 bis 30 cm Tiefe) auf Schlag „Dreieck“ mit 22 kg N ha⁻¹ ein mehr als doppelt so hohes N-Angebot wie auf Schlag „Stemmekamp“ (10 kg N ha⁻¹) nachgewiesen.

Tab. 2.5 (A): Ertrag und akkumulierte Stickstoff-Mengen des Zwischenfruchtgemenges Hafer-Sonnenblumen Ende Oktober sowie (B) pflanzenverfügbare Stickstoff-Mengen im Boden (Nmin: NO₃-N plus NH₄⁺-N) unter Zwischenfrucht (+ZF) und Schwarzbrache (-ZF) zur Aussaat und Ende Oktober.

A.	Ertrag		N-Menge	
	(dt TM ha ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)	
	28.10.	29.10.	28.10.	29.10.
	2008	2009	2008	2009
Sonnenblume	6,0	1,1	12,2	2,3
Hafer	21,6	11,4	51,3	21,2
Unkraut	0,5	1,5	1,1	3,8
Summe	28,0	13,9	64,6	27,3

B. Nmin	2008		2009			
	05.08.	28.10.	14.08.	29.10.		
	+ZF		-ZF			
0 – 30 cm	22,2	5,1	57,1	10,3	7,1	23,3
30 – 60 cm	6,0	2,9	20,6	5,7	5,6	27,6
60 – 90 cm	4,5	2,1	7,2	3,6	4,2	11,5
90 – 120 cm	9,2	3,2	8,1	3,4	4,7	6,4
Summe	41,9	13,3	93,1	23,0	21,5	68,9

Die Witterungsbedingungen für das Wachstum der Zwischenfrüchte waren hingegen im Jahr 2009 durch mehr Wärme und Niederschlag zwischen August und November (Tab. 2.2) etwas günstiger als im Jahr 2008. Auf Schlag „Dreieck“ entwickelten Hafer und Sonnenblumen noch im November Rispen bzw. Blütenköpfe (Bestandeshöhe ca. 70 cm). Mit dem ersten Frost um den 22.11.2008 war die Wachstumsphase beendet. Im Jahr 2009 trat der erste Frost erst Anfang Dezember auf, dennoch entwickelten die Zwischenfrüchte keine Blütenstände (Bestandeshöhe ca. 50 cm).

Zur Ernte der Zwischenfrüchte Ende Oktober zeigte sich hinsichtlich des pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Boden (N_{\min}) auf beiden Ackerschlägen eine deutliche Differenzierung zwischen der Bewuchsfläche (+ZF) und der Schwarzbrache (-ZF). Die Zwischenfrüchte akkumulierten abhängig von der Durchwurzelungstiefe die zur Verfügung stehenden N_{\min} -Mengen (Tab. 2.5). Unter der Schwarzbrache (-ZF) wurden in beiden Jahren erheblich höhere N_{\min} -Mengen als unter der Zwischenfrucht (+ZF) festgestellt. Auch hier wurde wiederum ein Effekt des Standortes beobachtet. In der Summe von 0 bis 120 cm Bodentiefe wurden auf Schlag „Dreieck“ (2009) mit ca. 93 kg N ha^{-1} (-ZF) höhere N_{\min} -Werte als auf Schlag „Stemmekamp“ (2010) mit ca. 69 kg N ha^{-1} (-ZF) ermittelt. Unter den Zwischenfrucht-Flächen (+ZF) wurde Ende Oktober am Schlag „Dreieck“ etwas weniger N_{\min} -N (Summe: ca. 13 kg N ha^{-1}) als auf Schlag „Stemmekamp“ mit ca. 22 kg N ha^{-1} gemessen. Dies ist wahrscheinlich auf die effizientere Ausnutzung des N_{\min} -Stickstoffs durch die Zwischenfrüchte zurückzuführen.

Unkräuter wurden in beiden Jahren von den Zwischenfrüchten effektiv unterdrückt. Sie bildeten nur 0,5 bzw. 1,5 dt TM ha^{-1} . Je geringer die Biomasse der Zwischenfrucht war, desto höher war die Unkrautbiomasse (Tab. 2.5A).

Mulchauflage

In Tab. 2.6 werden die N- und C-Konzentrationen der Mulchauflage in der Variante FMS zu verschiedenen Zeitpunkten vor und nach der Aussaat der Ackerbohnen (März oder April bis Mai oder Juni) gezeigt. Die Mulchauflage bestand überwiegend aus den über Winter erfrorenen Pflanzen des Zwischenfruchtgemenges Hafer-Sonnenblumen.

Tab. 2.6: Mittlere N- und C-Konzentration der Mulchauflage¹⁾ in den FMS-Parzellen.

Ackerschlag	Termin	N	C	C/N-Verhältnis
		(g / kg TM)		
Dreieck	05.04.2009	14,9	407,4	27,3
Dreieck	19.05.2009	8,3	423,9	51,1
Stemmekamp	30.03.2010	15,1	333,5	22,1
Stemmekamp	08.06.2010	9,0	334,8	39,1

¹⁾ bestehend aus toter organischer Substanz der Zwischenfrüchte Hafer und Sonnenblumen

Ein Ziel der Versuche war eine effiziente N-Immobilisierung durch die Zwischenfrüchte über einen möglichst langen Zeitraum. Die Ergebnisse in Tab. 2.6

zeigen, dass zu Beginn des Wachstums der Ackerbohnen Stickstoff in einer noch relativ hohen Konzentration in der Mulchauflage gebunden war (ca. 15 g N kg⁻¹ TM). Zum Vergleich: am 17.11.2008 wurde in einer Stängel-Blatt-Mischung des noch lebenden Hafer-Sonnenblumen-Gemenges im Mittel eine Stickstoff-Konzentration in Höhe von ca. 21 g N kg⁻¹ TM beobachtet. Während der Vegetationsperiode der Ackerbohnen nahm der N-Gehalt in der Mulchauflage jedoch ab. Das beschriebene Ziel der N-Immobilisierung über die gesamte Vegetationsperiode wurde demnach nicht vollständig erreicht.

Die C-Gehalte blieben mit fortschreitender Zeit weitgehend konstant. Eine Erhöhung des C/N-Verhältnisses im Mai oder Juni im Vergleich zum März oder April war die Folge. Der C-Gehalt der Mulchauflage war im Jahr 2010 (Schlag „Stemmekamp“) geringer als im Jahr 2009 (Schlag „Dreieck“). Dies deckt sich mit den Beobachtungen, dass die Wüchsigkeit der Bestände auf Schlag „Stemmekamp“ geringer war als auf Schlag „Dreieck“.

Erträge Ackerbohnen und Sommerweizen

Die Kornerträge der untersuchten Ackerbohnen-Sorte „Fuego“ lagen im Mittel mit 30,3 dt Korn-TM ha⁻¹ im Jahr 2009 und 23,7 dt Korn-TM ha⁻¹ im Jahr 2010 unter den Erwartungen. Die höchsten Erträge wurden in den Jahren 2009 bzw. 2010 in der Variante LBS erzielt (32,5 bzw. 24,7 dt Korn-TM ha⁻¹; Tab. 2.7). Der Standort Göttingen-Reinshof erbrachte in der Vergangenheit teilweise deutlich höhere Korn-Erträge bei Ackerbohnen (38 bis 63 dt Korn-TM ha⁻¹; HAUSER 1987, KÖPKE 1996, JOST 2003, ANTHES 2005). Zu beachten ist bei diesen Vergleichen u.a. die unterschiedliche Nährstoffversorgung der Böden.

Tab. 2.7: Kornerträge (Ackerbohnen, Sommerweizen) zum Zeitpunkt der Ernte (17.08.2009 und 10.08.2010) in Abhängigkeit von den Untersuchungsfaktoren.

	2009		2010	
	Ackerbohnen	Sommerweizen	Ackerbohnen	Sommerweizen
Korn-Ertrag (dt TM ha ⁻¹)				
Bodenbearbeitung				
FMS	29,4	28,2	22,1	17,4
LMS	29,0	28,0	24,2	22,4
LBS	32,5	28,7	24,7	17,9
GD 5% Tukey	8,5	3,4	3,5	4,7*
Zwischenfrucht				
+ZF	30,8	26,4	24,0	16,2
-ZF	29,7	30,3	23,4	22,3
GD 5% Tukey	5,7	2,2*	2,4	3,2*
Gesamt-Mittel	30,3	28,3	23,7	19,2

*: signifikante Unterschiede zwischen den Varianten

Wie in Tab. 2.1 gezeigt, war die Versorgung mit Phosphor und insbesondere Kalium auf den Schlägen „Dreieck“ und „Stemmekamp“ suboptimal. Die genannten Ackerbohnen-Erträge von HAUSER (1987), KÖPKE (1996), JOST (2003) und ANTHES (2005) beziehen sich zudem auf Flächen des konventionellen Landbaus. Pflanzenschutzmaßnahmen und intensive Unkrautregulierung können dort zusätzlich einen höheren Ertrag ermöglicht haben.

Auf Schlag „Dreieck“ wurden die Ackerbohnen im Spätsommer des Jahres 2009 massiv von Läusen befallen. In der Folge trat ein verstärkter Befall mit Pilzen auf. Am Schlag „Stemmekamp“ gingen die Ackerbohnen wenige Wochen vor der Ernte nach einem Gewitterschlag in „Knicklage“. Beide Ereignisse trugen höchstwahrscheinlich zur Ertragsminderung bei. Ähnliche Ertragsdepressionen durch Läusebefall beobachteten WICHMANN et al. (2006).

Die mittleren Korn-Erträge der Referenzfrucht Sommerweizen bewegten sich insgesamt gleichfalls auf niedrigem Niveau, im Mittel 19,2 bzw. 28,3 dt TM ha⁻¹ (Tab. 2.7). Dies unterstützt die Annahme, dass die Anbaubedingungen (z.B. die Nährstoffversorgung) an beiden Ackerschlägen in den Untersuchungsjahren nur unterdurchschnittliche Erträge zuließen.

Bei den Ackerbohnen-Kornerträgen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten (Tab. 2.7). Die Kornerträge des Sommerweizens waren in beiden Jahren auf den vorhergehenden Schwarzbracheflächen (-ZF) signifikant höher als auf den Zwischenfruchtflächen (+ZF). Dies ist u.a. mit dem deutlich

höheren Angebot an pflanzenverfügbarem N_{\min} -Stickstoff (v.a. Nitrat) zu erklären. Im Vergleich dazu wurde bei den Ackerbohnen ein konträrer Sachverhalt beobachtet, jedoch statistisch nicht signifikant. Zumindest tendenziell ist daher zu erkennen, dass die vorherige N-Akkumulation durch die Zwischenfrüchte positive Auswirkungen auf die Ackerbohnen haben kann (Tab. 2.7).

Die Wurzelmasse der Kulturpflanzen wurde nicht systematisch erhoben. Einzelne Stichproben in den Feldversuchen zeigten eine gute Wurzelentwicklung und einen ausreichenden Besatz mit lebenden Knöllchen bei den Ackerbohnen. In der Vergangenheit wurden am Standort Göttingen-Reinshof bei verschiedenen Ackerbohnen-Sorten zur Körnerernte Wurzelmassen zwischen 7 und 19 dt TM ha⁻¹ ermittelt (HAUSER 1987, JOST 2003). Nach JOST (2003) bewegte sich der Anteil des in den Wurzeln gebundenen Stickstoffs am Gesamt-Stickstoff der Ackerbohnen zwischen 3,5 und 6 %.

Stickstoff-Akkumulation

Die Stickstoff-Akkumulation durch Ackerbohnen, durch die Referenzfrucht Sommerweizen sowie durch die Unkräuter zeigen die Tabellen 2.8 und 2.9. Die Darstellung der Unkraut-N-Mengen erfolgt getrennt: jeweils in Ackerbohnen („UK“ in Tab. 2.8) oder Sommerweizen („UK“ in Tab. 2.9). Die Darstellung der Zahlen für die Endernte im August wurde als Summe für Korn und Spross angegeben. Bei Ackerbohnen wurde zusätzlich die Fraktion „Blattfall“ addiert. Die für den 17.08.2009 und für den 10.08.2010 angegebenen N-Mengen in der Biomasse wurden als gesamtpflanzliche, oberirdisch gebundene N-Menge angesprochen (NBt). Diese Werte waren die Datengrundlage für die spätere Berechnung der Stickstoff-Anteile aus Luft und Boden (Abb. 2.3).

Die oberirdisch gebundene N-Menge der Ackerbohnen zur Endernte bewegte sich im Mittel zwischen 144,0 kg N ha⁻¹ im Jahr 2010 und 209,3 kg N ha⁻¹ im Jahr 2009 (JUNG & RAUBER 2011). Zwischen den Varianten der untersuchten Faktoren wurden zu diesem Zeitpunkt keine signifikanten Unterschiede ermittelt. Zur Endernte der Ackerbohnen wurden in beiden Jahren nur geringe N-Mengen in den Unkräutern festgestellt: ca. 13 kg N ha⁻¹ im Jahr 2009 und ca. 11 kg N ha⁻¹ im Jahr 2010 (Tab. 2.8). Entsprechend gering war in beiden Jahren die mittlere Unkraut-Trockenmasse (ca. 5 bis 6 dt TM ha⁻¹). Die Variante FMS akkumulierte in einem Fall (18.06.2009) signifikant höhere N-Mengen als die beiden anderen Varianten. Zur

ersten Zeiternte wurde in beiden Jahren mit der Variante LMS die höchste N-Aufnahme erzielt (signifikant im Jahr 2010).

Tab. 2.8: Stickstoff (kg N ha⁻¹) in der oberirdischen Biomasse der Ackerbohnen (AB) sowie der Unkräuter (UK) zu unterschiedlichen Zeitpunkten in Abhängigkeit von den Untersuchungsfaktoren.

	2009						2010					
	25.05.		18.06.		17.08.		02.06.		21.06.		10.08.	
	AB ²⁾	UK	AB ²⁾	UK ¹⁾	AB ²⁾	UK	AB ²⁾	UK	AB ²⁾	UK ¹⁾	AB ²⁾	UK
Bodenbearbeitung												
FMS	43,0	24,5	147,8	27,4	208,7	11,0	21,0	32,5	81,3	7,4	138,2	8,6
LMS	49,8	20,0	125,1	35,6	206,5	14,8	24,6	17,8	90,1	5,9	146,8	12,8
LBS	41,1	29,6	114,9	38,6	212,8	13,4	22,3	15,6	84,7	7,1	147,1	12,8
GD 5% Tukey	10,0	14,8	15,3*	13,6	32,5	7,8	2,9*	14,9*	17,8	5,3	22,5	7,7
Zwischenfrucht												
+ZF	44,5	21,2	130,7	32,6	211,5	11,7	23,3	16,9	84,6	4,7	145,8	10,0
-ZF	44,7	28,2	127,9	35,1	207,1	14,4	22,1	27,1	86,1	8,9	142,2	12,8
GD 5% Tukey	3,7	9,9	10,3	9,1	21,8	5,2	1,9	10,0*	11,9	3,6*	15,0	5,2
Gesamt-Mittel	44,6	24,7	129,3	33,9	209,3	13,1	22,7	22,0	85,4	6,8	144,0	11,4

¹⁾ zwischen 1. Ernte und 2. Ernte: mechanische Unkrautregulierung; ²⁾ zur 1. und 2. Ernte: nur Sprossmasse, 3. Ernte: Summe aus Korn, Spross und Blattfall; *: signifikante Unterschiede zwischen den Varianten

Im Jahr 2010 war die akkumulierte Stickstoff-Menge der Unkräuter (Tab. 2.8 und 2.9) sowie die Unkraut-Trockensubstanz (nicht dargestellt) zum Zeitpunkt der 1. Zeiternte (2. Juni) in der Variante FMS in Ackerbohnen und Sommerweizen signifikant höher als in den beiden anderen Varianten LMS und LBS. Die relativ geringen N-Gehalte der Unkräuter am 21.06.2010 resultieren aus den durchgeführten Kontrollmaßnahmen (Akkuschneidergerät). Zum vergleichbaren Zeitpunkt im Jahr 2009 wurden erheblich höhere N-Mengen für die Unkraut-Biomasse ermittelt. Dieser Sachverhalt ist mit einem insgesamt stärkeren Unkrautwuchs im Vergleich zum Jahr 2010 zu begründen.

Der Anteil des Gesamt-Stickstoffs im Korn der Ackerbohnen (in % der Trockenmasse) betrug im Jahr 2009 im Mittel 4,58 %, während im Jahr 2010 im Mittel 4,25 % erreicht wurden. Als Faustzahl werden allgemein Werte zwischen 3,2 % und 4,4 % angegeben (KTBL 2009). WICHMANN et al. (2006) ermittelten mittlere Korn-N-Gehalte in Höhe von 4,4 % bei der Ackerbohnen-Sorte „Scirocco“. Bei JOST (2003) fanden sich N-Anteile im Korn in Höhe von 3,5 % (mittlerer Korn-Ertrag: 50 dt TM ha⁻¹).

Zum Zeitpunkt der Endernten (17.08.2009 und 10.08.2010) akkumulierte Sommerweizen im Mittel mit ca. 77 kg N ha⁻¹ bzw. ca. 45 kg N ha⁻¹ in Korn und Spross erheblich weniger Stickstoff als die Ackerbohnen (Tab. 2.8 und 2.9). Zur Endernte am 10.08.2010 nahm Sommerweizen in der Variante LMS mit ca. 51 kg N ha⁻¹ signifikant höhere N-Mengen auf als in den Varianten LBS und FMS (42 bzw. 43 kg N ha⁻¹).

Tab. 2.9: Stickstoff (kg N ha⁻¹) in der oberirdischen Biomasse des Sommerweizens (SW) sowie der Unkräuter (UK) zu unterschiedlichen Zeitpunkten in Abhängigkeit von den Untersuchungsfaktoren.

	2009				2010							
	25.05.		18.06.		17.08.		02.06.		21.06.		10.08.	
	SW ²⁾	UK	SW ²⁾	UK ¹⁾	SW ²⁾	UK	SW ²⁾	UK	SW ²⁾	UK ¹⁾	SW ²⁾	UK
Bodenbearbeitung												
FMS	37,3	13,7	75,3	21,7	74,9	11,1	21,6	19,2	32,5	7,4	42,5	6,6
LMS	35,7	11,4	81,0	14,6	77,6	15,0	18,6	4,3	39,2	3,0	51,4	3,0
LBS	36,8	10,9	82,6	27,5	78,1	13,3	20,0	7,8	29,8	2,8	42,1	3,8
GD 5% Tukey	13,4	7,9	18,5	27,8	9,0	10,9	5,6	7,1*	10,0	5,7	8,8*	1,8*
Zwischenfrucht												
+ZF	31,6	11,1	60,8	17,3	62,5	14,6	17,1	8,5	27,8	3,2	36,7	3,7
-ZF	41,6	13,0	98,5	25,2	91,3	11,7	23,0	12,3	39,9	5,5	53,9	5,2
GD 5% Tukey	8,9*	5,3	12,4*	18,6	6,1*	7,3	3,8*	4,8	6,7*	3,8	5,9*	1,2*
Gesamt-Mittel	36,6	12,0	79,6	21,6	76,9	13,2	20,1	10,4	33,8	4,4	45,3	4,7

¹⁾ zwischen 1. Ernte und 2. Ernte: mechanische Unkrautregulierung; ²⁾ zur 1. und 2. Ernte: nur Sprossmasse, 3. Ernte: Summe aus Korn und Spross; *: signifikante Unterschiede zwischen den Varianten

Sommerweizen akkumulierte zu jedem Zeitpunkt signifikant höhere N-Mengen in der Variante –ZF als in der Variante +ZF. Dies ist auf das erheblich höhere Angebot an bodenbürtigem Stickstoff (N_{min}) unter der Variante -ZF zurückzuführen (siehe Abb. 2.1).

Stickstoff im Boden („N_{min}“)

Ausgehend von den pflanzenverfügbaren N-Mengen im Boden Ende Oktober (Tab. 2.5B) wurde über Winter sowie im Frühjahr der Jahre 2009 und 2010 im Boden unter den Zwischenfrucht-Bewuchsflächen (+ZF) und der Schwarzbrache (-ZF) Stickstoff in unterschiedlichem Maße mineralisiert und vertikal verlagert (Abb. 2.1). In den Schichten zwischen 60 und 120 cm Bodentiefe wurden zur Aussaat (BBCH 00 in Abb. 2.1) unter der Schwarzbrache (-ZF) mit bis zu 69 kg N ha⁻¹ erheblich höhere N_{min}-Mengen (hauptsächlich Nitrat) gemessen als unter den Zwischenfruchtparzellen

(+ZF, max. 12 kg N ha⁻¹). Entsprechend war in der Summe aller Bodenschichten (0 – 120 cm Tiefe) der N-Vorrat zur Aussaat der Ackerbohnen in der Variante –ZF (2009: 115 kg N ha⁻¹; 2010: 73 kg N ha⁻¹) erwartungsgemäß erheblich höher als in der Variante +ZF (2009: 45 kg N ha⁻¹; 2010: 33 kg N ha⁻¹). Die in Abb. 2.1 dargestellten N_{min}-Werte für die Varianten +ZF und –ZF unterschieden sich für einzelne Schichten und für die Summenwerte bis auf wenige Ausnahmen signifikant voneinander.

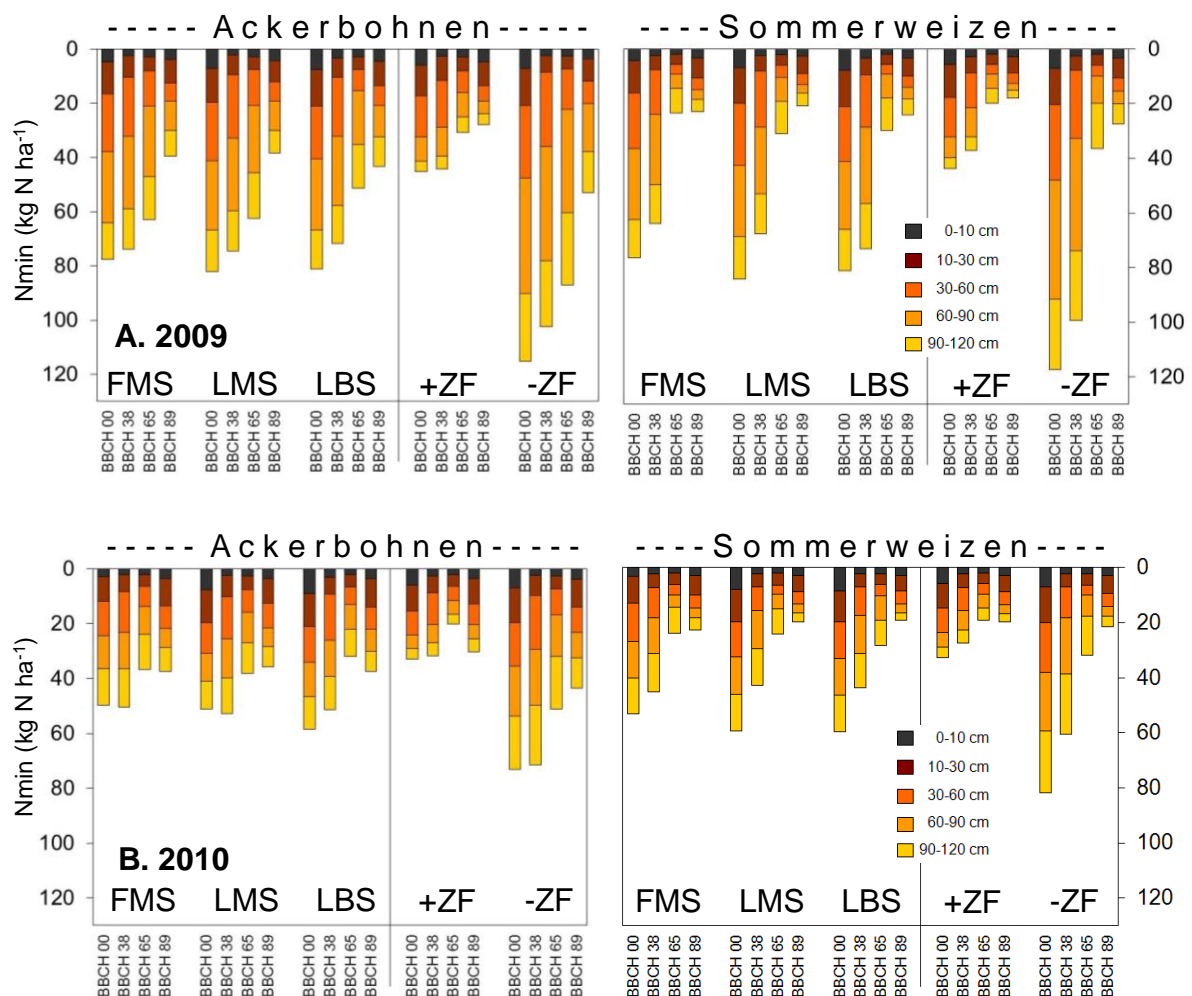


Abb. 2.1: Stickstoff-Mengen (N_{min}, kg N ha⁻¹) im Boden unter Ackerbohnen und Sommerweizen in den Jahren 2009 (A) und 2010 (B). BBCH-Stadien entsprechen den in Tab. 2.4 angeführten Terminen (Aussaat bis Ernte).

Im Mittel aller Varianten wurden zur Aussaat der Ackerbohnen und des Sommerweizens im Jahr 2009 ca. 80 kg N ha⁻¹ und im Jahr 2010 lediglich 53 kg N ha⁻¹ bis 120 cm Bodentiefe festgestellt. Der weitaus größte Teil dieses N_{min}-Stickstoffs (ca. 75 %) befand sich jedoch im Unterboden, tiefer als 30 cm.

Generell wurden zwischen Aussaat und Körnerernte vom Sommerweizen höhere Boden-N-Mengen aufgenommen als von den Ackerbohnen. Im Jahr 2009 fanden sich unter Ackerbohnen zur Endernte im Mittel noch ca. 40 kg N ha⁻¹, unter Sommerweizen im Mittel noch ca. 23 kg N ha⁻¹. Im Jahr 2010 wurden unter Ackerbohnen im Mittel zur Endernte noch ca. 37 kg N ha⁻¹ festgestellt, unter Sommerweizen im Mittel noch ca. 21 kg N ha⁻¹.

Zum Zeitpunkt der Aussaat der Ackerbohnen wurden in der Bodenschicht von 0 – 10 cm Tiefe in der Variante FMS in beiden Jahren und bei beiden Kulturpflanzen signifikant niedrigere Stickstoff-Mengen ermittelt (2,7 bis 4,7 kg N ha⁻¹) als in den Varianten LMS und LBS mit ca. 7,0 bis 8,9 kg N ha⁻¹. Auch in der nächst tieferen Schicht (10 – 30 cm) war die gleiche Tendenz feststellbar, jedoch überwiegend nicht signifikant. Es ist davon auszugehen, dass diese Ergebnisse auf die Bodenbewegung in den Varianten LMS und LBS zurückzuführen sind. Ähnliche Differenzen wurden zu späteren Zeitpunkten nicht mehr festgestellt.

Verglichen mit der zweiten Zeiternte wurden zur Endernte in der Schicht zwischen 0 – 30 cm Bodentiefe sowie in den meisten Fällen in der Schicht zwischen 30 – 60 cm Bodentiefe bei Ackerbohnen und bei Sommerweizen höhere N_{min}-Mengen festgestellt. Möglicherweise wurde Stickstoff von den Pflanzen nicht mehr mit der gleichen Intensität aufgenommen wie innerhalb der ersten 70 Tage nach der Aussaat. Denkbar sind auch Mineralisierungsprozesse, wie z.B. die Umsetzung abgestorbener Wurzeln oder anderer organischer Substanzen aus der Rhizodeposition.

Symbiotische Stickstoff-Fixierung

Für die Ermittlung der symbiotischen Stickstoff-Fixierleistung wurden zwei unterschiedliche Methoden verwendet: (1) die δ¹⁵N-Methode (SHEARER & KOHL 1986), basierend auf der natürlichen Verteilung der stabilen Isotope des Stickstoffs. Als Wert für die Isotopenfraktionierung („B-Wert“) wurde auf Grundlage zahlreicher Literaturdaten -0,6 ‰ eingesetzt und (2) die erweiterte Differenzmethode (STÜLPNAGEL 1982). Für letztere Methode werden Messungen der Isotopensignaturen nicht benötigt. Lediglich die akkumulierten N-Mengen der Leguminosen und der Referenzpflanzen inklusive der pflanzenverfügbaren Boden-N-Mengen werden miteinander verrechnet.

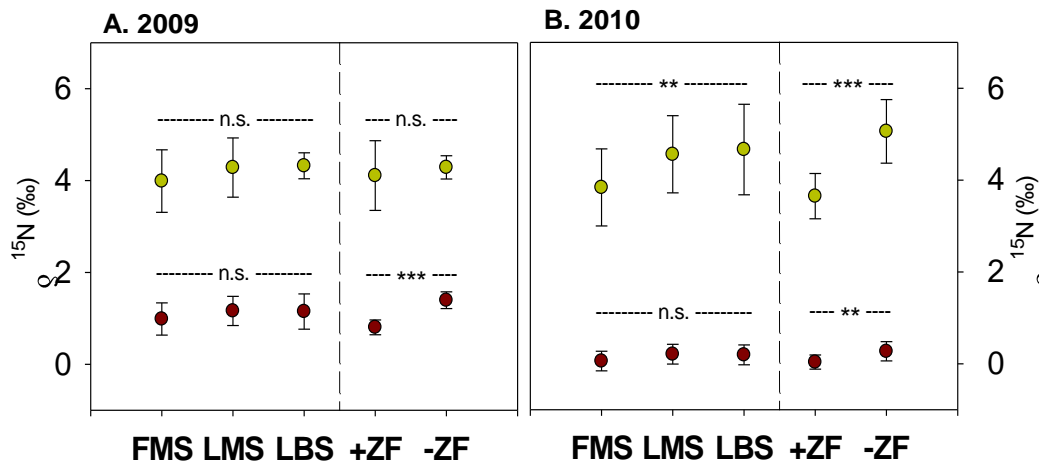


Abb. 2.2: Isotopensignaturen (^{15}N) der Referenzpflanze Sommerweizen (helle Symbole oben) sowie der Hauptfrucht Ackerbohnen (dunkle Symbole unten) zur Endernte in den Jahren 2009 (A) und 2010 (B) in Abhängigkeit von den Untersuchungsfaktoren als Mittelwerte \pm Standardabweichung. Bezug: Summe aus Korn, Spross und Blattfall (letzteres nur bei Ackerbohnen).

Schlagspezifische Isotopensignaturen des Elements Stickstoff wurden für die verschiedenen Pflanzenteile der Hauptkultur Ackerbohnen (Korn, Spross und Blattfall) sowie der Referenzkultur Sommerweizen (Korn und Spross) zur Endernte in den Jahren 2009 und 2010 analytisch ermittelt und verrechnet. Die methodenbedingten Unterschiede bei den Ergebnissen (Abb. 2.3) bewegten sich im erwarteten Bereich. Gleichwohl muss bei der Interpretation beachtet werden, dass Zahlenwerte für die symbiotische Stickstoff-Fixierung indirekt abgeleitet werden (UNKOVICH & PATE 2000).

Unabhängig von der Berechnungsmethode war die symbiotisch fixierte Stickstoff-Menge (Nfix) der Ackerbohnen im Jahr 2009 im Mittel mit 135 bzw. 146 kg N ha⁻¹ höher als im Jahr 2010 (122 bzw. 111 kg N ha⁻¹). Andererseits war der Anteil des Stickstoffs aus der Luft (Ndfa) am gesamt-pflanzlich oberirdisch akkumulierten Stickstoff (NBt: Summe aus Korn, Spross und Blattfall) im Jahr 2009 mit durchschnittlich 64 % ($\delta^{15}\text{N}$ -Methode) bzw. 69 % (Differenzmethode) niedriger als im Jahr 2010 (85 % bzw. 76 %). Dieser geringere Ndfa-Wert am Schlag „Dreieck“ im Jahr 2009 zeigte, dass Ackerbohnen bei einem höheren Boden-N_{min}-Angebot - im Vergleich zum Schlag „Stemmekamp“ im Jahr 2010 - die Stickstoff-Fixierleistung reduzieren. Die Gesamt-N-Akkumulation der Ackerbohnen war auf Schlag „Dreieck“ jedoch höher (209 kg N ha⁻¹, Tab. 2.8) als auf Schlag „Stemmekamp“ (144 kg N ha⁻¹, Tab. 2.8). Die Nutzung des Nitrat-Stickstoffs aus dem Boden war für die Leguminose metabolisch günstiger, als die energetisch aufwändigere Luft-N-Bindung durch die

symbiotische Stickstoff-Fixierung. Dieser Effekt der Selbstregulation wurde bei Leguminosen bereits mehrfach beobachtet (ANTHES 2005).

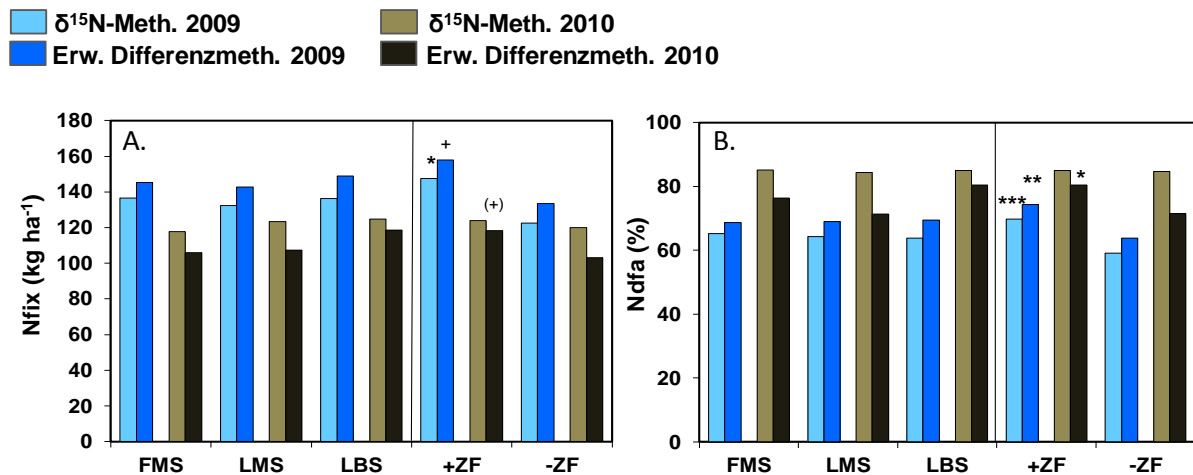


Abb. 2.3: (A) Absolute Menge (kg N ha⁻¹) sowie (B) der Anteil (Ndfa in %) des symbiotisch fixierten Stickstoffs in Ackerbohnen. Bezug: Summe aus Korn, Stroh und Blattfall; jeweils 2009 und 2010.

Signifikante Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten hinsichtlich der symbiotischen Stickstoff-Fixierung wurden zu keinem Zeitpunkt gemessen. Im Jahr 2009 bewegten sich die symbiotisch fixierten N-Mengen der Ackerbohnen basierend auf der $\delta^{15}\text{N}$ -Methode zwischen 132,4 und 136,5 kg N ha⁻¹ (Faktor Bodenbearbeitung), basierend auf der Differenzmethode zwischen 142,8 und 148,9 kg N ha⁻¹. Die Variante FMS fällt anhand dieser Zahlen kaum auf (Abb. 2.3). Wenn jedoch die Isotopensignaturen (Abb. 2.2A) hinzugezogen werden, zeigen sich Unterschiede. Die Variante FMS wies bei Ackerbohnen im Jahr 2009 eine Isotopensignatur in Höhe von 0,99 δ -‰ auf, während der Wert bei den Varianten LMS und LBS ca. 1,15 δ -‰ betrug. Dieser Unterschied ist nicht signifikant, der P-Wert beträgt jedoch 0,126. Bei näherer Betrachtung der Isotopensignaturen ist erkennbar, dass die Variante FMS in beiden Jahren sowohl bei Ackerbohnen als auch bei Sommerweizen gegenüber den Varianten LMS und LBS niedrigere Isotopensignaturen aufwies (Ackerbohnen: 0,06 δ -‰ gegenüber 0,20 δ -‰ im Jahr 2010). Bei Sommerweizen war diese ¹⁵N-Abreicherung der Variante FMS im Jahr 2010 signifikant (Abb. 2.2; P-Wert: 0,006**). Die niedrigeren Isotopensignaturen der Variante FMS bei Ackerbohnen (Abb. 2.2) können ein Hinweis auf eine gesteigerte Leistung der symbiotischen Stickstoff-Fixierung sein, auch wenn dies zunächst im

Widerspruch zu den in Abb. 2.3 gezeigten Ergebnissen steht. Es bleibt zu beachten, dass die Berechnung der Fixierleistung in starkem Maß von der Reaktion der gewählten Referenzpflanze (hier: Sommerweizen) abhängig ist. In den vorliegenden Ergebnissen waren die Differenzen zwischen den Isotopensignaturen der Leguminose und der Referenzpflanze in den Bodenbearbeitungsvarianten offensichtlich nicht ausreichend, um mit der $\delta^{15}\text{N}$ -Methode signifikante Unterschiede zu zeigen. Ideal wäre der gleichzeitige Einsatz mehrerer Referenzpflanzen, was in diesen Untersuchungen nicht realisiert werden konnte.

Hinsichtlich des Faktors „Zwischenfrucht“ (+ZF bzw. -ZF) wurden für die Ackerbohnen zahlreiche signifikante Unterschiede hinsichtlich der symbiotisch fixierten N-Menge und des Anteils Stickstoff aus der Luft nachgewiesen. Insbesondere im Jahr 2009 zeigte sich, dass unabhängig von der Berechnungsmethode, sowohl die symbiotisch fixierte Stickstoff-Menge wie auch der Anteil des Stickstoffs aus der Luft, bei der Variante +ZF signifikant gegenüber der Variante -ZF erhöht war (Abb. 2.3). Die fixierten N-Mengen waren im Jahr 2009 in der Variante +ZF mit 148 kg N ha^{-1} ($\delta^{15}\text{N}$ -Methode; P-Wert: 0,006**) bzw. 158 kg N ha^{-1} (Differenzmethode; P-Wert: 0,068⁺) signifikant höher als in der Variante -ZF, die 123 kg N ha^{-1} bzw. 134 kg N ha^{-1} aufwies. Im Jahr 2010 auf Schlag „Stemmekamp“ waren diese Unterschiede weniger deutlich ausgeprägt. Auf Grundlage der Differenzmethode zeigte die Variante +ZF mit 118 kg fixiertem Stickstoff pro ha tendenziell höhere N-Mengen (P-Wert: 0,1033) als die Variante -ZF (103 kg N ha^{-1}). Im Jahr 2009 betrug der N-Anteil aus der Luft in der Variante +ZF 69,8 % ($\delta^{15}\text{N}$ -Methode) bzw. 74,3 % (Differenzmethode) verglichen mit 59,1 % bzw. 63,8 % bei der Variante -ZF (P-Werte: <0,001*** bzw. 0,0011**).

Diese Ergebnisse zeigen, dass eine wichtige Hypothese des Teilprojektes bestätigt wurde: Durch den vorangehenden Anbau von nicht-legumen Zwischenfrüchten wurde die symbiotische Stickstoff-Fixierung der Ackerbohnen absolut (kg N ha^{-1}) und relativ (in % NdfA) erheblich gefördert. Dies war der Fall, obwohl während der Vegetationsperiode der Ackerbohnen aus der Mulchaufgabe in gewissem Umfang Stickstoff freigesetzt wurde (Tab. 2.6).

Die Variante FMS zeigte im Vergleich mit den Varianten intensiverer Bodenbearbeitung nahezu identische Stickstoff-Fixierleistungen. Dies ist z.B. im Hinblick auf den Leistungsbedarf (kW m^{-1}) positiv zu bewerten, da bei der Variante FMS im Vergleich zu den Varianten LMS und LBS weniger Energie für Bearbeitung

und Bestellung verbraucht wird (KTBL 2009). Gleichwohl waren die in den Feldversuchen zwischen den Jahren 2009 und 2010 beobachteten Stickstoff-Mengen aus der symbiotischen N₂-Fixierung der Ackerbohnen (111 bis 146 kg N ha⁻¹) – ebenso wie die Kornerträge – relativ niedrig. JOST (2003) ermittelte für Ackerbohnen am gleichen Standort im Mittel (drei Jahre, drei Sorten) eine symbiotische Stickstoff-Fixierleistung in Höhe von 223 kg N ha⁻¹.

Stickstoff-Transfer während der Vegetationsperiode

Die Mineralisierung und Umsetzung der Biomasse aus den Zwischenfrüchten über Winter und in der folgenden Vegetationsperiode bis zur Ernte der Ackerbohnen wurde mit einem Telexperiment gesondert erfasst (Abb. 2.4). Die in Abb. 2.2 gezeigten Isotopensignaturen wurden mit Isotopensignaturen aus hochangereicherten Teilflächen (ohne Abb.) sowie weiteren Stickstoff-Parametern verrechnet.

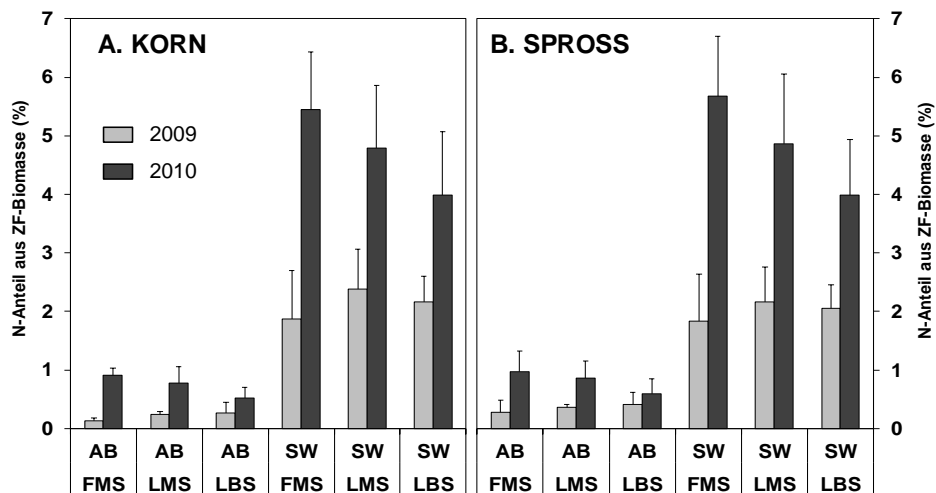


Abb. 2.4: Stickstoff-Anteil (in %) aus der verrotteten Zwischenfrucht-Biomasse (+ZF), der von Ackerbohnen (AB) und Sommerweizen (SW) über die Vegetationsperiode aufgenommen wurde. Nachweis basierend auf Anreicherung der Zwischenfrüchte mit ¹⁵N-Harnstoff (10 atom% ¹⁵N).

Es konnte nachgewiesen werden, dass in beiden Jahren weniger Stickstoff aus der Zwischenfrucht-Biomasse in den Ackerbohnen (ca. 0,2 % bis 1 %) als im Sommerweizen (ca. 2 % bis 7 %) zu finden war (Abb. 2.4). Unter Ackerbohnen verblieb demnach Stickstoff eher im „System“ als unter Sommerweizen. Eine Steigerung der symbiotischen Stickstoff-Fixierung der Ackerbohnen wäre die

mögliche Folge. Weiterhin ist in Abb. 2.4 zu erkennen, dass beide Kulturen auf dem N-ärmeren Schlag „Stemmekamp“ im Jahr 2010 (siehe Tab. 2.5 und Abb. 2.1) stärker auf den aus der Zwischenfrucht-Biomasse mineralisierten Stickstoff zurückgegriffen haben als im Jahr 2009 auf dem Schlag „Dreieck“, der höhere N_{\min} -Stickstoffmengen aufwies. Schließlich ist in Abb. 2.4 zu sehen, dass im Jahr 2010 bei beiden Kulturpflanzen die Höhe des N-Anteils aus der ZF-Biomasse von der Art der Bodenbearbeitung abhängig war. Die Ergebnisse für das Jahr 2010 zeigen: Je höher die Bearbeitungsintensität ausfiel, desto weniger Stickstoff stammte aus der Zwischenfrucht-Biomasse. Vermutlich wurden die in der Variante LBS schon frühzeitig mineralisierten N-Mengen von den Mikroorganismen im Boden stärker verwertet als in der Variante FMS. Die Variante LMS nahm eine mittlere Position ein. Dies entspricht dem Sachverhalt, dass hier die Intensität der Bodenbewegung (Grubber) zwischen den Varianten LBS und FMS lag.

Unkräuter

Auf den Untersuchungsflächen der Jahre 2008 bis 2010 wurde eine reichhaltige Unkrautflora angetroffen (Tab. 2.10). Die praxisüblichen mechanischen Bekämpfungsmaßnahmen wie Blindstriegeln oder Hacken wurden in den Feldversuchen nicht durchgeführt, um die Mineralisierung von Stickstoff im Boden nicht zusätzlich anzuregen. Diese Maßnahmen unterblieben, um Effekte der Zwischenfrüchte hinsichtlich der symbiotischen Stickstoff-Fixierung der Ackerbohnen zu verdeutlichen.

Bei einer Reihenweite von ca. 38 cm in Ackerbohnen und Sommerweizen boten sich zwischen Aussaat und Reihenschluss vielen Unkräutern günstige Keim- und Entwicklungsbedingungen. Insbesondere bis zur zweiten Zeiternte (ca. 70 Tage nach Aussaat) wurde deshalb regelmäßig mit einem Akkuschneidgerät in den Reihen der Ernteflächen das Unkraut ca. 1-2 cm über der Bodenoberfläche abgeschnitten, in den Boden wurde also nicht eingegriffen.

Tab. 2.10: Artenzusammensetzung der Unkräuter auf den Untersuchungsflächen. Schlag „Dreieck“ (2008-2009) und Schlag „Stemmekamp“ (2009-2010). Aufnahmen während der Vegetationsperioden zwischen Mai und September durch B. Burghart und R. Jung.

Lfd. Nr.	Botanischer Name	Deutscher Name
1	<i>Achillea millefolium</i>	Gemeine Schaafgarbe
2	<i>Alopecurus myosuroides</i>	Acker-Fuchsschwanz
3	<i>Anaallis arvensis</i>	Acker-Gauchheil
4	<i>Apera spica-venti</i>	Gemeiner Windhalm
5	<i>Avena fatua</i>	Fludhafer
6	<i>Bromus sterilis</i>	Taube Trespe
7	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Hirtentäschelkraut
8	<i>Carduus crispus</i>	Krause Distel
9	<i>Centaurea cyanus</i>	Kornblume
10	<i>Chenopodium album</i>	Weißer Gänsefuß
11	<i>Cirsium arvense</i>	Acker-Kratzdistel
12	<i>Cirsium vulgare</i>	Gewöhnliche Kratzdistel
13	<i>Elmuis repens</i>	Gemeine Quecke
14	<i>Equisetum arvense</i>	Acker-Schachtelhalm
15	<i>Ersimum cheiranthoides</i>	Acker-Schöterich
16	<i>Euphorbia helioscopia</i>	Sonnenwend-Wolfsmilch
17	<i>Fallopia convolvulus</i>	Windenknöterich
18	<i>Fumaria officinalis</i>	Gewöhnlicher Erdrauch
19	<i>Galeopsis tetrahit</i>	Gemeiner Hohlzahn
20	<i>Galium aparine</i>	Kletten-Labkraut
21	<i>Geranium dissectum</i>	Schlitzblättriger Storchschnabel
22	<i>Lamium amplexicaule</i>	Stängelumfassende Taubnessel
23	<i>Lamium purpureum</i>	Purpurrote Taubnessel
24	<i>Lapsana communis</i>	Gemeiner Rainkohl
25	<i>Matricaria discoidea</i>	Strahlenlose Kamille
26	<i>Matricaria recutita</i>	Echte Kamille
27	<i>Malva sylvestris</i>	Wilde Malve
28	<i>Mvosotis arvensis</i>	Acker-Veraißmeinnicht
29	<i>Papaver rhoeas</i>	Klatschmohn
30	<i>Phleum pratense</i>	Wiesen-Liescharas
31	<i>Plantago maior</i>	Breitwegerich
32	<i>Poa annua</i>	Einiähriges Rispenaras
33	<i>Poa trivialis</i>	Gewöhnliches Rispenaras
34	<i>Polvaonum amphibium</i>	Wasser-Knöterich
35	<i>Polvaonum aviculare</i>	Voael-Knöterich
36	<i>Polvaonum lapathifolium</i>	Ampfer-Knöterich
37	<i>Polvaonum persicaria</i>	Floh-Knöterich
38	<i>Rumex crispus</i>	Krauser Ampfer
39	<i>Silene noctiflora</i>	Acker-Lichtnelke
40	<i>Sinapis arvensis</i>	Acker-Senf
41	<i>Sisymbrium officinale</i>	Wea-Rauke
42	<i>Sonchus arvensis</i>	Acker-Gänsedistel
43	<i>Sonchus asper</i>	Raue Gänsedistel
44	<i>Sonchus oleraceus</i>	Kohl-Gänsedistel
45	<i>Stellaria media</i>	Voaelmiere
46	<i>Taraxacum officinale</i>	Löwenzahn
47	<i>Thlaspi arvense</i>	Acker-Hellerkraut
48	<i>Tripleurospermum inodorum</i>	Geruchlose Kamille
49	<i>Tussilago farfara</i>	Huflattich
50	<i>Urtica urens</i>	Kleine Brennnessel
51	<i>Veronica persica</i>	Persischer Ehrenpreis
52	<i>Veronica hederifolia</i>	Efeu-Ehrenpreis
53	<i>Viola arvensis</i>	Acker-Stiefmütterchen

Anmerkung: Ausfallsaaten von Kulturpflanzen wurden nicht berücksichtigt.

Acker-Senf (*Sinapis arvensis*) ist auf den langjährig ökologisch bewirtschafteten Flächen des Reinshofs als ein Leitunkraut anzusprechen. Möglicherweise wurde die Art durch Sommerungen und intensives Pflügen in der Vergangenheit gefördert. Die Abundanz des Acker-Senfs wurde in den Feldversuchen signifikant von den Bodenbearbeitungsmaßnahmen und vom Vorhandensein der Zwischenfrüchte beeinflusst (Abb. 2.5). Zudem wurden im Jahr 2009 Wechselwirkungen zwischen den zwei Untersuchungsfaktoren festgestellt. Wendende Bodenbearbeitung (Variante LBS) und ein höheres Angebot an bodenbürtigem Stickstoff in Variante –ZF (Abb. 2.1) förderten den Lichtkeimer Acker-Senf.

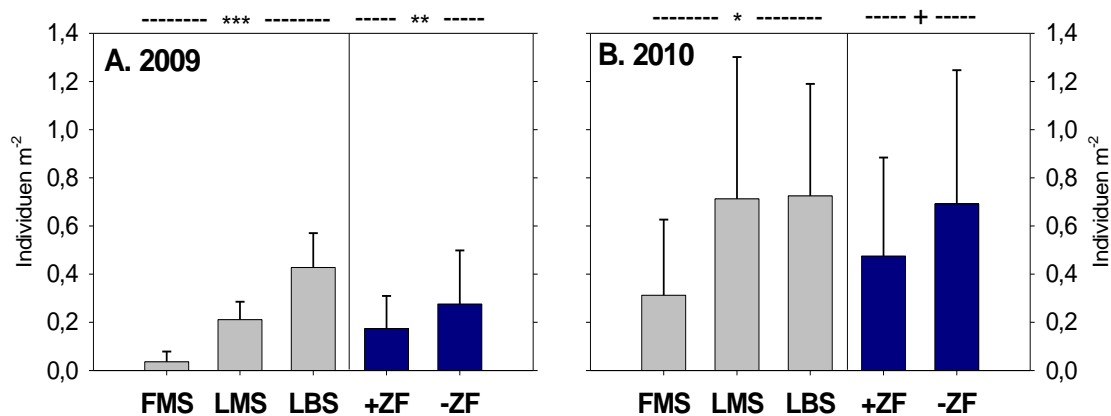


Abb. 2.5: Abundanz von Acker-Senf (*Sinapis arvensis*) in Ackerbohnen differenziert nach Untersuchungsfaktoren, jeweils Mitte Juli 2009 (A) und 2010 (B). Mittelwerte \pm Standardabweichung.

Ackerbohnen werden als konkurrenzkräftige Kultur angesehen und Ertragsausfälle sind nur bei hoher Unkrautdichte zu erwarten (IRLA 1995). In einem gesonderten Teilversuch zeigte ein Vergleich der Korn-Erträge am Schlag „Stemmekamp“ im Jahr 2010, dass Parzellenabschnitte ohne Unkrautkontrolle signifikant niedrigere Korn-Erträge erbrachten (im Mittel ca. 21,5 dt TM ha⁻¹) als die Flächen mit der Unkrautkontrolle durch das Akkuschneidergerät (im Mittel ca. 24,5 dt TM ha⁻¹). Dies gilt allerdings nur für die Varianten LMS und LBS. Die Erträge der Variante FMS unterschieden sich nicht signifikant (20 dt TM ha⁻¹ mit Unkrautkontrolle bzw. 22 dt TM ha⁻¹ ohne Unkrautkontrolle). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass in der Variante FMS die Abundanz des Acker-Senfs deutlich geringer war als in den Varianten LMS und LBS (Abb. 2.5) und deshalb der Effekt einer Unkrautkontrolle naturgemäß weniger sichtbar werden konnte.

3.3: Teilprojekt 3:

Material und Methoden

Ergebnisse und Diskussion

**„Leistung legumer Untersaaten in Körnererbse:
Unkrautunterdrückung, symbiotische N₂-Fixierung und N-
Vorfruchtwirkung in Systemen differenzierter Grund-
bodenbearbeitung“**

Förderkennzeichen: 08OE146

Projektleitung: Prof. Dr. Knut Schmidtke

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH),

Fachbereich Landbau / Landespflege, Fachgebiet Ökologischer Landbau

Bearbeitung: Dipl. Ing Jette Stieber

3.3.1 Material und Methoden

Standorteigenschaften und Witterung

Die Anlage des Versuches erfolgte in Pinkowitz (Gemeinde Klipphausen) 20 km von Dresden entfernt. Pinkowitz liegt am Rande der Lommatzscher Pflege auf ca. 260 m über NN. Die Versuchsfläche weist eine leichte Hangneigung und eine für diese Region geringe Profiltiefe von max. 70 cm auf. Der Bodentyp kann als eine Parabraunerde aus Löss mit vorwiegend sL angesprochen werden (Ap: 0-20 cm, Bv: 20-30 cm, Bt: 30-60 cm, Cv: 60 cm +). Die Fläche wird langjährig ökologisch, nach den Richtlinien des Anbauverbandes Gää bewirtschaftet.

Die Witterungsdaten wurden von einer Wetterstation des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) bezogen. Die Wetterstation Salbitz des agrarmeteorologischen Messnetzes liegt ca. 35 km vom Versuchsstandort entfernt. Durchschnittlich fallen in Salbitz 635 mm Niederschlag im Jahr. Im Jahr 2009 lagen die Jahresniederschläge mit 578,8 mm unter dem langjährigen Mittel. Insbesondere in den Monaten April, Juli, August und September waren deutlich geringere Monatsmittelwerte, als im langjährigen Mittel zu verzeichnen. 2010 lag die Jahresniederschlagssumme hingegen mit 711,2 mm über dem Durchschnitt des langjährigen Mittels. Dies wurde vor allem durch hohe Monatsniederschläge im Mai, August und September verursacht. In 2011 fielen ebenfalls bis zum Versuchsende weniger Niederschläge als im Durchschnitt. Hier fielen bis Juni deutlich weniger Niederschläge im Vergleich zum langjährigen Monatsmittelwert, im Juli hingegen insgesamt 210 % des langjährigen Niederschlages (Abb. 3.1).

Die Jahresdurchschnittstemperatur des langjährigen Mittels beträgt am Versuchsstandort 9,7 °C. In 2009 und 2011 lagen die Temperaturen im Durchschnitt mit 9,8 °C und 11,0 °C über dem langjährigen Mittel. Das Jahr 2010 war hingegen mit 9,8 °C kühler als der Durchschnitt. Alle im Versuchszeitraum liegende Winter (2008/09, 2009/10 und 2010/11) waren deutlich kälter als das im langjährigen Mittel. In den Jahren 2009 und 2011 konnten in den Frühlingsmonaten höhere Temperaturen als im Durchschnitt verzeichnet werden. Im Jahr 2010 war vor allem der Juli deutlich wärmer im Vergleich zum langjährigen Mittel (Abb. 3.2).

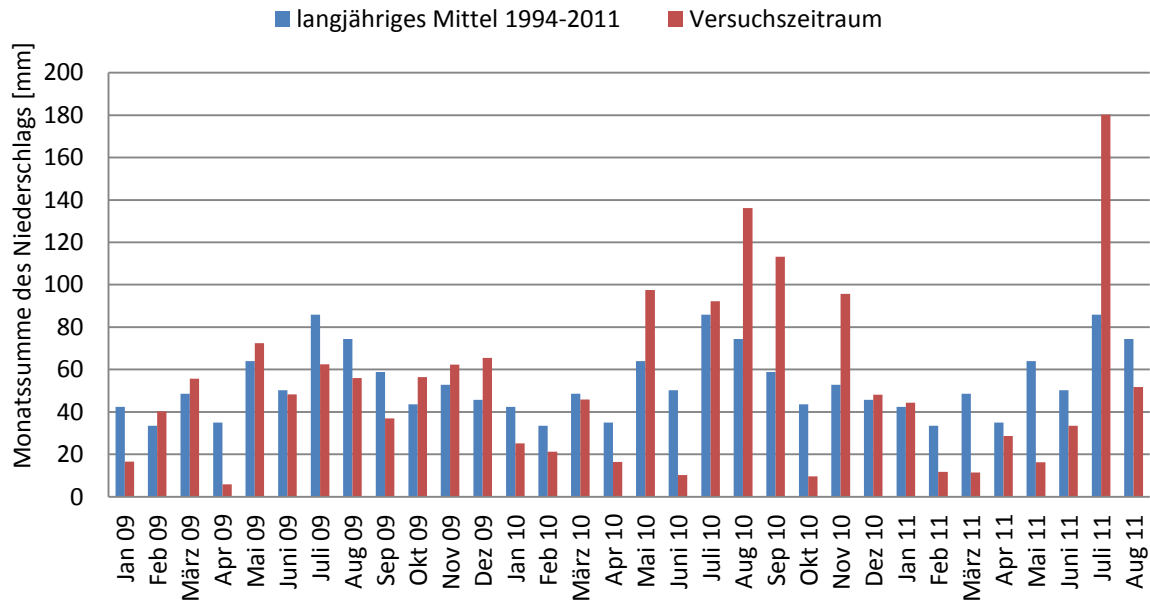


Abb. 3.1: Monatliche Niederschlagssummen [mm] im Versuchszeitraumes und langjährigen Mittel an der Wetterstation Salbitz

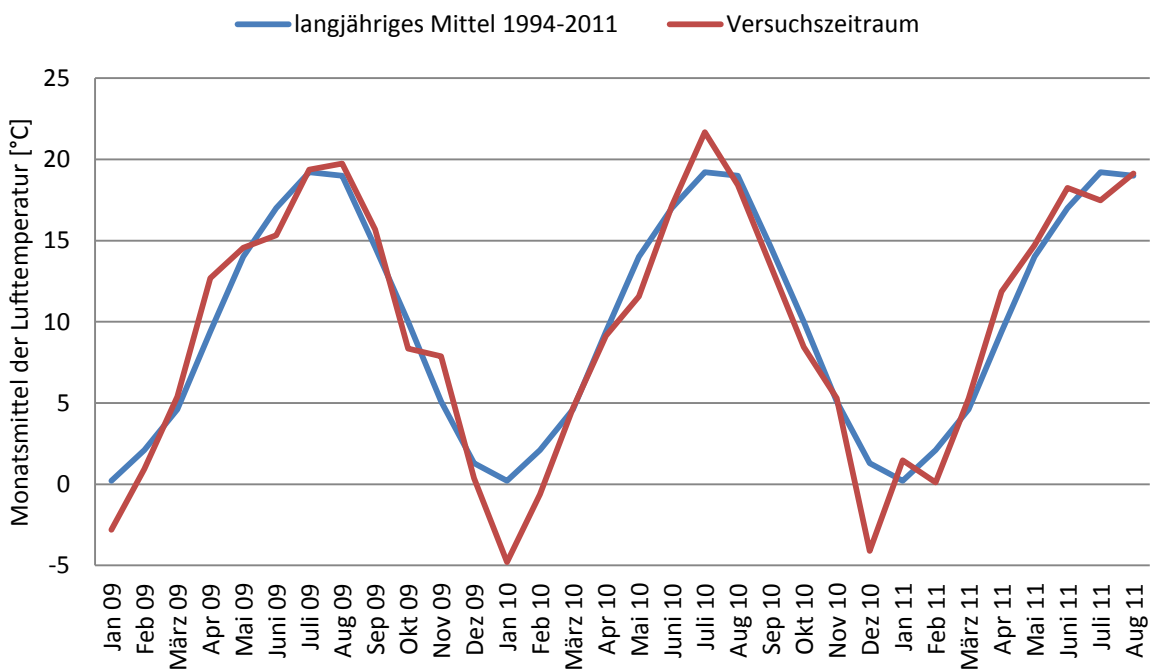


Abb. 3.2: Monatsmittel der Lufttemperatur [°C] in 2 m Höhe im Versuchszeitraum und langjährigen Mittel an der Wetterstation Salbitz

Versuchsaufbau

Die Anzahl der Prüfglieder variierte je nach Kultur in den Versuchsreihen. Im ersten Teil der Versuchsreihen mit der Körnererbse wurden 6 verschiedene Varianten geprüft. Im zweiten Teil der Versuchsreihen wurden durch die verschränkte Anlage der Bodenbearbeitung 18 verschiedene Varianten geprüft (Tab. 3.1).

Tab. 3.1: Prüfglieder des Feldversuches

	Bodenbearbeitung zur Erbse	Untersaat	Bodenbearbeitung zum Weizen
Versuchsteil „Körnererbse“ (Versuchszeiträume 2009 und 2010)			
1E	Pflug	ohne	
2E	Pflug	mit	
3E	Grubber	ohne	
4E	Grubber	mit	
5E	Direktsaat	ohne	
6E	Direktsaat	mit	
Versuchsteil „Winterweizen“ (Versuchszeiträume 2010 und 2011)			
1W	Pflug	ohne	Pflug
2W	Pflug	ohne	Grubber
3W	Pflug	ohne	Direktsaat
4W	Pflug	mit	Pflug
5W	Pflug	mit	Grubber
6W	Pflug	mit	Direktsaat
7W	Grubber	ohne	Pflug
8W	Grubber	ohne	Grubber
9W	Grubber	ohne	Direktsaat
10W	Grubber	mit	Pflug
11W	Grubber	mit	Grubber
12W	Grubber	mit	Direktsaat
13W	Direktsaat	ohne	Pflug
14W	Direktsaat	ohne	Grubber
15W	Direktsaat	ohne	Direktsaat
16W	Direktsaat	mit	Pflug
17W	Direktsaat	mit	Grubber
18W	Direktsaat	mit	Direktsaat

Versuchsanlage

Die Feldversuche wurden in einer 2- (Körnererbse) bzw. 3-faktoriellen (Winterweizen) Spaltanlage mit 4 Wiederholungen angelegt. Die Körnererbseparzellen wurden je Wiederholung in 3 Großparzellen mit unterschiedlicher Bodenbearbeitung aufgeteilt. Jede Großparzelle wurde wiederum in 2 Teile geteilt; in eine Hälfte ohne Untersaat und eine Hälfte mit der Untersaat Erdklee. Jeder Großparzelle wurden jeweils 3 Referenzparzellen mit Sommergerste zugeordnet. So ergaben sich $4 \times 3 \times 2 = 24$ Körnererbseparzellen (Größe: 4,5 m x 28 m) und $4 \times 3 \times 3 = 36$ Referenzparzellen (Größe: 1,5 m x 9 m). Da die Bodenbearbeitung zum Winterweizen quer zur Bodenbearbeitung zur Körnererbse erfolgte, ergaben sich in diesem Teil des Versuches $4 \times 3 \times 2 \times 3 = 72$ Parzellen (Größe: 9 m x 4,5 m). In der Hälfte der Winterweizenparzellen befand sich noch eine 2,5 m x 2,5 m große Teilfläche für den Versuch mit ^{15}N -angereicherter Erdkleesprossmasse.

Vor der Einsaat der Zwischenfrucht wurde auf der gesamten Versuchsfläche eine Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug (Bearbeitungstiefe: 25 cm) durchgeführt (Tab. 2). Vor der Einsaat der Körnererbse, sowie des Winterweizens wurde in allen Pflug-Varianten eine 25 cm tiefe Bodenbearbeitung mit einem Beetpflug durchgeführt. Die reduzierte Bodenbearbeitung wurde mit einem Grubber (im Jahr 2009 ausgestattet mit Doppelherzscharen, in den Jahren 2010 und 2011 mit Flügelscharen, Bearbeitungstiefe: 15 cm) ausgeführt. In diesen beiden Varianten der Bodenbearbeitung erfolgte stets eine Saatbettbereitung mit einer Kreiselegge und einer Bearbeitungstiefe von ca. 8 cm (Firma Maschino).

Tab. 3.2: Termine der Bodenbearbeitung zur Einsaat der verwendeten Kulturen in beiden Versuchsreihen

	1. Versuchsreihe	2. Versuchsreihe
Zwischenfrucht	06.08.2008	08.08.2009
Körnererbse	09.04.2009	07.04.2010
Winterweizen	26.10.2009	22.10.2010

In Parzellen in denen das Saatgut in Direktsaat eingebracht wurde erfolgte unmittelbar vor der Saat keine Bodenbearbeitung. Die Direktsaat erfolgte mit der Direktsaatparzellendrillmaschine, ausgestattet mit *Cross slot*- Scharen des Zentrums für Angewandte Forschung an der HTW Dresden (SCHMIDTKE 2011).

Sorten

Im Versuch wurden für die Zwischenfrucht die Sorten *Husky* (Hafer) und *Metasol* (Sonnenblume) verwendet. Darauf folgend wurden die weißblühende, halbblattlose Körnererbsensorte *Santana* und als Untersaat *Dalkeith* (Erdklee) verwendet. Als Referenzfrucht zu den Leguminosen wurden die Sorten *Eunova* (Sommergerste) und *Libor* (Spitzwegerich) gewählt. Im letzten Versuchsteil wurde die Winterweizensorte *Achat* (E-Weizen) genutzt, die für den Ökologischen Landbau gut geeignet ist (FUCHS & REHM 2008).

Saatstärke

Die ausgebrachten Saatstärken wurden aus der Tausendkornmasse (TKM) sowie der im Keimfähigkeitstest festgestellten Keimfähigkeit (Kf) des Saatgutes errechnet (Tab. 3.3).

Tab. 3.3: Aussaatstärken, Tausendkornmasse (TKM) und Keimfähigkeit (Kf) der im Versuch verwendeten Kulturen

Art	K m ⁻²	TKM [g]	Kf. [%]	Saatstärke [kg ha ⁻¹]
1. Versuchsreihe				
Sommerhafer	200	36,7	94,7	77,5
Sonnenblume	30	57,3	87,3	19,7
Körnererbse	90	223,5	95,8	210,0
Erdklee	2000	7,5	93,5	160,4
Sommergerste	300	47,3	95,6	148,4
Spitzwegerich	800	2,0	57,3	27,9
Winterweizen	300	49,1	94,7	155,5
2. Versuchsreihe				
Sommerhafer	200	38,4	89,5	85,8
Sonnenblume	30	59,2	62,5	28,4
Körnererbse	90	220,9	95,7	207,7
Erdklee	2000	7,5	92,7	16,2
Sommergerste	300	46,9	95,7	147,0
Spitzwegerich	800	2,0	52,4	30,5
Winterweizen	300	49,2	93,0	158,7

Aussaattermine

Die Aussaaten der Zwischenfrüchte in den Jahren 2008 und 2009 erfolgte mit einer Kastendrillmaschine (Fa. Amazone, D9-25). Die Kulturen Sommerkörnererbse, Sommergerste und Winterweizen wurden nach einer Grundbodenbearbeitung mit Pflug bzw. Grubber mit einer Parzellendrillmaschine mit Scheibenscharen (Hege 80) eingebracht (Saattiefe: ca. 4 cm). In den Direktsaatvarianten erfolgte die Saat mit einer Direktsaatparzellendrillmaschine mit *Cross slot*- Säscharen und einer Saattiefe von ebenfalls ca. 4 cm. Die Untersaaten Erdklee und Spitzwegerich wurden in 2009 und 2010 eine Woche nach Einsaat der Körnererbse in allen Varianten mit einer Parzellendrillmaschine mit Scheibenscharen (Hege 80) eingesät, wobei die Saattiefe 1 cm betrug. Die Aussaattermine der Kulturen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst (Tab.3.4)

Tab. 3.4: Aussaattermine der verschiedenen Kulturen in beiden Versuchsreihen

Art	1. Versuchsreihe	2. Versuchsreihe
Hafer & Sonnenblume	06.08.2008	14.08.2009
Körnererbse & Sommergerste	18./19.04.2009	07./08.04.2010
Erdklee und Spitzwegerich	23.04.2009	16.04.2010
Winterweizen	26.10.2009	23.10.2010

Probennahme und Probenaufarbeitung

Feldaufgang

Der Feldaufgang der Körnererbse wurde 2009 und 2010 4 Wochen nach der Aussaat auf 3 m² erfasst. In den Winterweizenbeständen wurde die Pflanzenanzahl auf 2 m² im Frühjahr 2010 und 2011 erfasst, da durch eine starke Verunkrautung mit Quecke (*Elymus repens*) eine sichere Unterscheidung zwischen Kulturpflanze und Quecke im Herbst nicht gewährleistet werden konnte.

Bodentemperatur

Die Messung der Bodentemperatur erfolgte jeweils im Frühjahr, um die Erwärmung des Bodens abbilden zu können. In der Körnererbse wurden im Zeitraum des Auflaufens 4 Messungen im Abstand von 1 bis 2 Wochen durchgeführt. Je Parzelle wurde die Temperatur des Bodens 10-mal in 5 cm Tiefe mittels eines digitalen Thermometers (GTH 1160 Greisinger electronic, Genauigkeit $\pm 0,1$ °C) erfasst.

Lichttransmission

Die Lichttransmission in den Beständen der Körnererbse wurde mittels eines Lichtmessgerätes mit 64 Photodioden (Sun Scan SS1, Delta-T Devices) an 5 Terminen erfasst. Je Parzelle wurden 10 Messungen durch Einschieben der Messsonde in einem Winkel von 90° zur Drillrichtung durchgeführt, so dass die Lichttransmission ca. 3 cm oberhalb der Bodenoberfläche ermittelt wurde. Die erste Messung erfolgte 3 bis 4 Wochen nach der Aussaat. Die letzte Messung erfolgte kurz vor Erreichen der physiologischen Reife der Erbsenbestände.

Bodenfeuchte

Die Bodenfeuchte wurde in 10 cm Schritten gravimetrisch mittels Bodenprobennahme mit 4 Einstichen je Parzelle erfasst. Die Bestimmung der Bodenfeuchte erfolgte stets parallel zur Entnahme von Bodenproben zur Erfassung des Nmin-Gehaltes in den Körnererbse- und Winterweizenparzellen. In den Parzellen mit Winterweizen wurden jeweils nur die Parzellen beprobt, in denen keine Untersaat eingebracht wurde. Nach dem Homogenisieren der Bodenproben wurde je Parzelle und Tiefenstufe eine Teilprobe von ca. 50 g feuchten Boden zur Bestimmung der Bodenfeuchte entnommen und in ein Schraubdeckelgefäß eingefüllt. Das Gewicht der Probe wurde mit einer Analysenwaage erfasst (Denver Instruments, SI-6002, ± 0,01g). Anschließend erfolgte die Trocknung in einem Trockenschrank (Heraeus Instruments, UT 6760) für 24 h bei 105 °C. Die Bodenfeuchte wurde nach folgender Formel errechnet:

$$\text{Bodenfeuchte [\%]} = \frac{(\text{Einwaage [g]} - \text{Auswaage [g]})}{\text{Auswaage [g]}} \times 100 \quad (1)$$

Lagerungsdichte

Die Lagerungsdichte des Bodens wurde im Saathorizont, den oberen 0 bis 7 cm, am 15.05.2009 und 09.07.2010 ermittelt. Es wurden in den Körnererbsebeständen in allen Parzellen mit unterschiedlicher Bodenbearbeitung jeweils 8 Stechzylinderproben (100 cm³) entnommen. In Parzellen mit Direktsaat wurden jeweils 8 Proben direkt auf dem Säschlitz und 8 Proben zwischen den Säschlitzen entnommen. Die Trocknung der Proben erfolgte für 24 h bei 105 °C im Trockenschrank (Heraeus Instruments, UT 6760). Im Anschluss wurde das Gewicht

der Bodenprobe ohne Stechzylinder erfasst und die Lagerungsdichte mit folgender Formel berechnet:

$$dB [g\ cm^3] = \frac{\text{GewichtBodenprobe [g]}}{100 [cm^3]} \quad (2)$$

Entnahme Pflanzenproben

Die Beerntung der Teilflächen richtete sich nach dem BBCH-Stadium der Kulturpflanzen. Die 3 m² großen Teilflächen in den Körnererbsen wurden zu BBCH 20, 65 und 89 beerntet (Tab. 3.5). Dabei wurden die Körnererbsen, das Unkraut und gegebenenfalls die Untersaat Erdklee getrennt erfasst. Zum ersten Erntetermin wurde die Untersaat nicht erhoben, da zu diesem Zeitpunkt die Höhe des Erdklee noch sehr gering war. In den Winterweizenbeständen wurden ebenfalls 3 Ernten auf 2 m² großen Teilflächen zu BBCH 39, 59 und 89 durchgeführt. Hierbei wurden wieder Kulturpflanze und Unkraut getrennt erhoben. Zusätzlich wurden aus allen Flächen, in denen im Herbst angereicherter Erdklee aufgebracht wurde, zu jeder Weizenernte jeweils 4 mal 0,5 Reihenmeter Winterweizen geschnitten.

Tab. 3.5: Zeitpunkt der Beerntung der Teilflächen und des Kernparzellendrusches der Körnererbse und des Winterweizens in den Versuchsreihen

	1. Ernte	2. Ernte	3. Ernte	Drusch
1. Versuchsreihe				
Kultur				
Körnererbse	26.05.2009	15.06.2009	27.07.2009	07.08.2009
Winterweizen	26.05.2010	14.06.2010	12.08.2010	20.08.2010
2. Versuchsreihe				
Körnererbse	20.05.2010	24.06.2010	28.07.2010	20.08.2010
Winterweizen	18.05.2011	14.06.2011	28.07.2011	12.08.2011

Nach der Endernte wurde zusätzlich zur Beerntung der Teilflächen per Hand ein Kernparzellendrusch (Typ Wintersteiger Classic) durchgeführt, um den maschinell beerntbaren Ertrag unter Druschbedingungen zu erfassen. Im Körnererbsenbestand wurden zwischen 39 und 42 m², im Winterweizenbestand 6,75 m² je Parzelle gedroschen.

Entnahme Bodenproben

Die Entnahme von Bodenproben zur Bestimmung des N_{min}-Vorrates im Boden erfolgte jeweils zu Beginn jeder Versuchsreihe, in der Körnererbse zu jedem Erntetermin und im Winterweizen zu Beginn der Vegetationsperiode sowie nach dem Drusch des Weizens (Tab. 3.6). Die Anzahl der beprobten Parzellen variierte. Zu Versuchsbeginn wurden vier Wiederholungen beprobt, zur Einsaat der Erbse 12 Großparzellen mit unterschiedlicher Grundbodenbearbeitung, in der Körnererbse 24 Erbsenparzellen und 12 Referenzparzellen und im Winterweizen 72 Parzellen.

Tab. 3.6: Zeitpunkt der Entnahme von Bodenproben in beiden Versuchsreihen und die Anzahl der beprobten Flächen

	1. Versuchsreihe	2. Versuchsreihe	Parzellen
Einsaat Zwischenfrucht	06.08.2008	26.08.2009	4 Großparzellen.
Einsaat Körnererbse	25.04.2009	01.04.2010	12 Großparzellen
1. Ernte Körnererbse	27.05.2009	19.05.2010	36 Parzellen
2. Ernte Körnererbse	17.06.2009	01.07.2010	36 Parzellen
Drusch Körnererbse	29.07.2009	30.07.2010	36 Parzellen
Einsaat Winterweizen	20.10.2009	13.10.2010	36 Parzellen
Vegetationsbeginn	16.04.2010	29.03.2011	72 Parzellen
Drusch Winterweizen	02.09.2010	18.08.2011	72 Parzellen

Der N_{min}-Vorrat im Boden wurde in 3 Tiefenstufen bis 60 cm erfasst (0 bis 10 cm, 10 bis 30 cm, 30 bis 60 cm). Eine tiefer liegende Beprobung fand nicht statt, da ab ca. 70 cm Festgestein anstand. Die N_{min}-Probenahme erfolgte mittels eines Schlaghammers und Pürckhauer-Bohrstöcken. Je Parzelle wurden 4 Proben entnommen, zusammengefasst, homogenisiert und anschließend bei -18 °C tiefgefroren.

Aufarbeitung Pflanzenproben

Die Frischmasse des geschnittenen Sprossmaterials der Kulturpflanzen, des Unkrautes und, sofern vorhanden, der Untersaat wurden erfasst (Denver Instruments, SI-6002, ± 0,01 g). Bei der 3. Ernte wurden zusätzlich die Hülsen der Erbsen bzw. Ähren des Weizens entfernt und gezählt, um anschließend die Ertragsparameter berechnen zu können. Die entfernten Hülsen und Ähren wurden mit einem Staddröschler (Baumann Saatzucht, Saatmeister) ausgedroschen und die Spelzen des Weizens bzw. Hülsen der Körnererbse wurden der Strohfraktion

zugeführt. Die Frischmasse der ausgedroschenen Körner sowie des Stroh wurde einzeln erfasst. Es wurde eine Teilprobe der Gesamtfrischmasse aller Bestandekomponenten eingewogen und bei 60 °C für 48 h in einem Trockenschrank (Heraeus Instruments, UT 6760) getrocknet. Zur Bestimmung der Sprosstrockenmasse wurde ein Teil des bereits bei 60 °C getrockneten Pflanzenmaterials im Anschluss noch einmal 24 h bei 105 °C getrocknet. Aus dem Anteil der Körner der Erbse und des Weizens, die bei 105 °C getrocknet wurden, wurde durch Auszählen von 8 mal je 100 Körner die Tausendkornmasse ermittelt. Die bei 60 °C getrockneten Pflanzenproben wurden in einer Ultra-Zentrifugalmühle (Firma Retsch ZM 200) auf $\leq 0,2$ mm vermahlen, um sie anschließend auf den C/N-Gehalt zu untersuchen. Die Proben, bei denen zusätzlich der ^{15}N -Gehalt ermittelt wurde, wurden auf einer Feinwaage (Mettler Toledo XA 105 Dual Range) in Zinnkapseln eingewogen. Die C/N-Gehalte der Proben wurden im Labor der Staatlichen Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft in Leipzig analysiert. Die Analyse zum Gehalt der stabilen Stickstoff-Isotope ^{15}N und ^{14}N erfolgte im Labor *UC Davis Stable Isotope Facility* (PDZ Europa ANCA-GSL Elementanalyser in Verbindung mit PDZ Europa 20-20 Isotopen-Massenspektrometer) in den USA.

Die aus dem Parzellendrusch gewonnenen Proben wurden mittels eines Siebes von Unkrautsamen gereinigt und anschließend die Frischmasse, sowie die absolute Trockenmasse nach Trocknung bei 105 °C für 48 h bestimmt.

Aufarbeitung Bodenproben

Zur Bestimmung des Gehalts an pflanzenverfügbarem Stickstoff (NO_3^- , NH_4^+) im Boden wurden 100 g ($\pm 0,05$ g) des tiefgefrorenen Bodens aus jeder Parzelle und Tiefenstufe in 500 ml Weithalsflaschen eingewogen. Im Anschluss wurden zu jeder Probe 250 ml 0,01 molare Calciumchloridlösung (CaCl_2) hinzugegeben und die Proben für 1 h im Schüttler geschüttelt. Danach wurde ein Filtrat jeder Probe hergestellt, in ein Reagenzglas abgefüllt und bei -18 °C tiefgefroren. Die Analyse des Filtrats erfolgte in der Staatlichen Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, Leipzig. Mit den Konzentrationen an NO_3^- und NH_4^+ und der dazu bestimmte Bodenfeuchte konnte der N-Gehalt an Nitrat- und Ammonium-N mit folgender Gleichung (3) ermittelt werden.

$$N_{\min} [\text{kg ha}^{-1}] = c_L \times d \times \frac{dB}{TS} \times f \times S \quad (3)$$

c_L = NO_3^- und NH_4^+ -Konzentration in der Messlösung [mg l^{-1}]

d = Mächtigkeit der beprobten Schicht [dm]

dB = Lagerungsdichte der beprobten Schicht [g cm^{-3}]

TS = Trockensubstanzgehalt des Bodens [%]

f = Ausschüttelungsverhältnis (Extraktionsmittel [ml]/ Bodeneinwaage [g])

S = Steingehalt [%]

Bilanzierung

Aus den mit den Boden- und Pflanzenprobennahmen erhobenen Daten wurden verschiedene Kennwerte erhoben, um die Leistungsfähigkeit der geprüften Varianten vergleichen zu können. Aus den, in den Handernten der Körnererbse, erhobenen Trockenmasseerträgen, den dazugehörigen N-Gehalten und dem Nmin-Vorrat im Boden wurde mittels erweiterter Differenzmethode die N_2 -Fixierleistung der Erbse berechnet (STÜLPNAGEL 1982). Die Fixierleistung konnte nicht mittels ^{15}N *natural abundance* Methode errechnet werden, da hierfür die ^{15}N -Werte der Nichtleguminosen zu gering waren, diese wiesen Gehalte zwischen 0,26 bis 1,49 atom% auf.

$$N_2 \text{fix} [\text{kg ha}^{-1}] = (N_{SL} + N_{SUKL}) - (N_{SR} + N_{SUKR}) + N_{\min L} - N_{\min R} \quad (4)$$

N_{SL} = N-Menge im Spross der Leguminose [kg ha^{-1}]

N_{SUKL} = N-Menge im Spross des Unkrautes in der Leguminose [kg ha^{-1}]

N_{SR} = N-Menge im Spross der Referenzpflanze [kg ha^{-1}]

N_{SUKR} = N-Menge im Spross des Unkrautes in der Referenzpflanze [kg ha^{-1}]

$N_{\min L}$ = Nmin-Vorrat im Boden unter der Leguminose [kg ha^{-1}]

$N_{\min R}$ = Nmin-Vorrat im Boden unter der Referenzfrucht [kg ha^{-1}]

In Körnererbsenparzellen in denen eine Untersaat etabliert wurde, wurde die Gleichung noch erweitert.

$$N_2fix[kg ha^{-1}] = \left(N_{SL} + N_{SUKL} + N_{SU} \right) - \left(N_{SR} + N_{SUKR} + N_{SUR} \right) + \left(N_{minL} - N_{minR} \right) \quad (5)$$

N_{SU} = N-Menge im Spross der Untersaat [$kg ha^{-1}$]

N_{SUR} = N-Menge im Spross der Untersaat in der Referenzparzelle [$kg ha^{-1}$]

Es wurde ebenfalls der Anteil Stickstoff aus der Luft (Ndfa) als Quotient der insgesamt fixierten Menge N und der Gesamt-N-Menge im Spross der Leguminose berechnet.

$$Ndfa[\%] = \frac{N_2fix[kg ha^{-1}]}{N_{SL} [kg ha^{-1}]} \times 100 \quad (6)$$

Aus den Verhältnissen von Korntrockenmasse zu Gesamt-Trockenmasse und Korn-N zu Gesamt-Spross-N wurden Harvest- und N-Harvest-Index berechnet.

$$Harvest-Index = \frac{Korn-TM [dt ha^{-1}]}{Gesamt-Spross-TM [dt ha^{-1}]} \quad (7)$$

$$N-Harvest-Index = \frac{Korn-N [kg ha^{-1}]}{N_{SL} [kg ha^{-1}]} \quad (8)$$

Anreicherung Erdklee

Um den Anteil des eingebrachten Stickstoffes aus der Untersaat zur N-Aufnahme des Weizens zu quantifizieren, wurde in Dresden-Pillnitz eine Fläche von 280 m² mit Erdklee eingesät (*cv. Dalkeith*, 1000 keimfähige Körner m⁻²). Die Aussaat erfolgte am 07.07.2009 bzw. 27.07.2010 nach einer Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug und anschließender Saatbettbereitung mit einer Kreiselegge (Firma Maschino), mit einer Parzellendrillmaschine mit Scheibenscharen (Hege 80). Im Verlauf des Wachstums wurde an jeweils 3 Terminen (Tab. 3.7) ¹⁵N angereicherter Stickstoff (Urea-¹⁵N, 10

atom%) mit einer Pflanzenschutzspritze ausgebracht, um so eine großflächige, jedoch geringe Anreicherung mit $^{15}\text{N}_2$ zu erreichen.

Tab. 3.7: Termine der Anreicherung und Ausbringmengen von Urea- $^{15}\text{N}_2$ in den Erdkleebestand in Dresden-Pillnitz

	1. Versuchsreihe	2. Versuchsreihe	Ausbringmenge
1. Anreicherung	11.08.2009	25.08.2010	25,00 g
2. Anreicherung	01.09.2009	21.09.2010	50,00 g
3. Anreicherung	24.09.2009	08.10.2010	17,21 g

Vor der Einsaat des Winterweizens in die Versuchsanlage wurde in jeder Parzelle mit Untersaat Erdklee 3-mal eine 2,5 m x 2,5 m große Fläche der Erdkleeaufwuchs mit einer Motorsense abgeschnitten und das Schnittgut entfernt. Angereichertes Schnittgut des Erdkleees in Dresden-Pillnitz wurde mittels eines Einachs-Traktors mit Balkenmähwerk am 21.10.2009 bzw. 15.10.2010. geerntet. Das Schnittgut wurde geborgen und anschließend zu Portionen von 0,3 kg TM m⁻² bzw. 0,22 kg TM m⁻² eingewogen und zur Versuchsanlage transportiert. In Pinkowitz wurde der Erdklee auf den zuvor frei geschnittenen Flächen aufgebracht und gleichmäßig verteilt. Die Kennzeichnung der Flächen, auf die angereicherter Erdklee aufgetragen wurde, erfolgte mittels Magneten, die 30 cm tief in den Boden eingebracht wurden. Anschließend konnte die Grundbodenbearbeitung durchgeführt werden, ohne dass die Lage der Magneten verändert wurde. Im darauf folgenden Frühjahr wurde die Lage der Magnete mit einem Suchgerät ermittelt und die Flächen mit Markierungsstäben versehen.

Erfassung der N-Rhizodeposition des Erdkleees

Der Gefäßversuch zur Quantifizierung der N-Rhizodeposition von Erdklee (*Trifolium subterraneum* L.) fand unter teilkontrollierten Bedingungen im Gewächshaus der HTW Dresden-Pillnitz statt. Die Versuchsanlage wurde als randomisierte Blockanlage mit fünf Wiederholungen angelegt. Die Aussaat der Leguminosen in Keimschalen erfolgte am 08.10.2010. Etwa 20 Tage später wurden die Pflanzen mit einem geteilten Wurzelsystem über zwei Pflanzgefäße getopft. Nach weiteren 20 Tagen wurde mit der kontinuierlichen ^{15}N -Anreicherung der Leguminosen begonnen. Das Split-Root-Experiment wurde nach 60 Tagen

kontinuierlicher ^{15}N -Markierung der Erdkleepflanzen zum Zeitpunkt der Blüte beendet und die Pflanzgefäße der Versuchsanlage entnommen. Der Versuchsboden wurde dem Ap-Horizont (sL3; pH-Wert 5,8; N_t 0,1 %; C_t 0,97 %) des Versuchsfeldes der HTW Dresden-Pillnitz entnommen. Als Pflanzgefäße dienten Polypropylen-Töpfe (12 cm x 12 cm x 20 cm). Für die Verwendung im Split-Root-Experiment wurden jeweils zwei Pflanzgefäße mittels Tesaband an einer Topfkante miteinander verbunden. Ein Teil dieses Split-Root-Gefäßes wurde mit Versuchsboden (2200 g TM je Gefäß) gefüllt und das zweite Gefäß mit Vermiculit (Körnung 1 – 2 mm). Um den Einfluss einer Strohdüngung auf die Höhe der N-Rhizodeposition zu testen, wurde in einer Variante dem Versuchsboden Roggenstroh beigemischt (28,8 g je Gefäß; 0,5mm Vermahlungsgrad) und in der zweiten Variante der Versuchsboden ohne eine Strohdüngung verwendet. Pro Pflanzgefäß wurden 3 Erdkleepflanzen (*cv. Dalkeith*) geprüft, bei denen sich je eine Hälfte der Wurzelsystems im Gefäß mit Boden befand und die andere Hälfte des Pflanzensystems im Gefäß mit Vermiculit. Das mit Boden gefüllte Gefäß wurde im Versuchszeitraum mit einer N-freien Nährlösung und entionisiertem Wasser nach Bedarf versorgt. Die kontinuierliche ^{15}N -Anreicherung der Leguminosenwurzel im Gefäß mit Vermiculit erfolgte durch Zugabe einer 10 at.% ^{15}N -Kaliumnitratlösung. Das mit Vermiculit gefüllte Gefäß erhielt in 12 Gaben innerhalb der 60 Tage ^{15}N -Anreicherungsdauer insgesamt 0,2806 g N in Form einer KNO_3^- -Düngelösung mit 10 at.% ^{15}N . Als Referenzpflanze wurde Spitzwegerich (*Plantago lanceolata* L., *cv. Arterner*) in einem mit Versuchsboden gefüllten Gefäß ohne ein geteiltes Wurzelsystem verwendet. Die Referenzpflanzen erhielten N-freie Nährlösung und entionisiertes Wasser nach Bedarf. Den Pflanzgefäßen wurden zum Erntezeitpunkt folgende Einzelproben entnommen: Spross, Wurzel des Gefäßes mit Boden, Wurzel des Gefäßes mit Vermiculit und der Boden, in dem die Leguminose bzw. die Referenzpflanze gewachsen ist. Aus dem Boden wurden alle sichtbaren Wurzeln mit Hilfe einer Pinzette gesammelt und für einige Sekunden in ca. 150 ml entionisiertem Wasser gespült, um anhaftenden Boden an den Wurzeln zu entfernen. Diese Lösung wurde anschließend der Bodenprobe wieder zugegeben.

Pflanz- und Bodenproben wurden bei 60°C im Trockenschrank getrocknet und anschließend vermahlen (Pflanzproben Leguminosen: Analysenmühle A10 IKA Labortechnik; Bodenproben Leguminosen: Retsch Planeten-Kugelmühle PM 100; Pflanzproben Referenzpflanzen: Retsch Ultra-Zentrifugalmühle ZM 200 < 0,2 mm; Bodenproben Referenzpflanzen: Handmörser). Die Wurzelproben aus dem Gefäß

mit Vermiculit und die Sprossproben wurden auf N-Gehalt und C-Gehalt analysiert. Die Wurzelproben aus dem Gefäß mit Boden und die Bodenproben wurden auf Gesamt-N-Gehalt und $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ -Verhältnis analysiert (PDZ Europa ANCA-GSL Elementanalyser in Verbindung mit PDZ Europa 20-20 Isotopen-Massenspektrometer). Für die Berechnung der N-Rhizodeposition wurden folgende Formeln verwendet (SCHMIDTKE 2005a, SCHMIDTKE 2005b):

$$P_{NdfR} = \frac{at.\% \text{ } ^{15}\text{N Soil}_L N - at.\% \text{ } ^{15}\text{N Soil}_R N}{at.\% \text{ } ^{15}\text{N Root}_{Soil} N - at.\% \text{ } ^{15}\text{N Soil}_R N} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} at.\% \text{ } ^{15}\text{N Soil}_L N &= \text{ } ^{15}\text{N-Anreicherungsgrad Boden}_{\text{Leguminose}} \\ at.\% \text{ } ^{15}\text{N Soil}_R N &= \text{ } ^{15}\text{N-Anreicherungsgrad Boden}_{\text{Referenzpflanze}} \\ at.\% \text{ } ^{15}\text{N Root}_{Soil} N &= \text{ } ^{15}\text{N-Anreicherungsgrad}_{\text{Leguminosenwurzel Gefäß Boden}} \end{aligned}$$

$$NdfR = P_{NdfR} \times Soil_L N \quad (10)$$

$$\begin{aligned} NdfR &= \text{Anteil Stickstoff im Boden aus Rhizodeposition} \\ Soil_L N &= \text{Menge Stickstoff im Boden zur Ernte der Leguminose} \end{aligned}$$

Deckungsbeiträge

Als Grundlage der betriebswirtschaftlichen Berechnung dienten zur Erhebung der Maschinen und Arbeitskosten Daten des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL 2005). Für die im Versuch verwendeten *Cross-slot*-Säschare waren keine Daten zum Zugkraftbedarf sowie Flächenleistung verfügbar. BÖHRENSSEN (1997), STREIT (2009) und GALL et. al. (2009) gehen jedoch von einem bis zu 30 % höheren Zugkraftbedarf als bei Scheibenscharen aus. Diesen Angaben zufolge wurden die Maschinenkosten für Direktsaatmaschinen mit *Cross-slot*-Scharen aus den KTBL-Angaben für Direktsaatmaschinen mit Scheibenscharen abgeleitet. Die Anzahl der Überfahrten mit den verschiedenen Geräten, sowie die Kornerträge der Körnererbse und des Winterweizens wurden aus der Versuchsdurchführung und den Ergebnissen der Ernten aus dem Versuch 2008/09/10 übernommen.

Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit dem Statistikprogramm SAS (SAS for Windows 9.3) vorgenommen. Es wurde eine Prüfung der Normalverteilung der Datensätze, als Voraussetzung für eine varianzanalytische Verrechnung, mit dem Shapiro-Wilk-Test durchgeführt. Waren Datensätze nicht normalverteilt, wurden diese mit einem geeigneten Verfahren (MUNZERT 1992) zur Standardnormalverteilung transformiert. Wurden transformierte Datensätze in Tabellen oder Abbildung verwendet sind diese mit „n.T.“ für nach Transformation gekennzeichnet. Konnte auch durch Transformation keine Normalverteilung hergestellt werden, wurden diese Datensätze mit „n.n.“ gekennzeichnet. Es wurde eine 2-faktorielle Varianzanalyse mit den Faktoren Bodenbearbeitung zur Erbse und Untersaat bei der Frucht Körnererbse vorgenommen. Eine 3-faktorielle Varianzanalyse erfolgte bei der Frucht Winterweizen mit den Faktoren Bodenbearbeitung zur Erbse, Untersaat und Bodenbearbeitung zum Weizen (Spaltanlage, SAS Procedure GLM). Ein multipler Mittelwertvergleich erfolgte mittels des Tukey-Testes für balancierte Datensätze und mittels des Scheffe-Testes für unbalancierte Datensätze. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde mit „*“ $\alpha = 0,05$, „**“ $\alpha = 0,01$ und „***“ $\alpha = 0,001$ gekennzeichnet. Tabellen und graphische Abbildungen wurden mit dem Programm MS Excel (Microsoft Office 2007) erstellt. Die Leserichtung in den Tabellen ist mit → für waagrecht und ↓ für senkrecht im Tabellenkopf gekennzeichnet.

3.3.2 Ergebnisse und Diskussion

Körnererbse

Feldaufgang

Der Feldaufgang der Körnererbse wurde in beiden Versuchsjahren signifikant durch den Faktor Bodenbearbeitung beeinflusst, nicht jedoch durch die Untersaat. In 2009 liefen nach Direktsaat 40 % weniger Pflanzen, nach Grubberbearbeitung 9 % weniger Pflanzen als nach einer Grundbodenbearbeitung mit Pflug auf. Im 2. Versuchsjahr liefen in der Direktsaat 80 % und nach Grubberbearbeitung 94 % der Pflanzen auf, die in der Pflugvariante aufliefen. In 2010 wurde insgesamt ein geringer Feldaufgang des eingebrachten Saatgutes verzeichnet. Von 90 ausgesäten keimfähigen Körnern liefen in der Pflugvariante 74 % der Erbsen auf. Der Feldaufgang der verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten differierte in 2009 deutlicher als in 2010. Im Jahr 2010 wurde in der Variante Pflug ein um 29 % und in der Variante Grubber ein um 27 % geringerer Feldaufgang als in der Pflug- und Grubbervariante des Jahres 2009 verzeichnet. In der Direktsaat betrug dieser Unterschied zwischen den Jahren nur 6 % (Tab. 3.8).

Tab. 3.8: Feldaufgang der Erbse [Pflanzen m⁻²] in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung und einer Untersaat (US) in den Jahren 2009 und 2010, Tukey-Test $\alpha=0,05$.

→	Pflug	Grubber	Direktsaat	ohne US	mit US
2009 n.n.	93,2 a	85,2 b	56,3 c	77,8 a	78,7 a
2010	66,5 a	62,5 ab	52,9 b	62,3 a	59,0 a

Bodentemperatur

Die Bodentemperatur differierte bei allen Messungen in 2009 und 2010 um maximal 0,9 °C zwischen den verschiedenen Varianten der Bodenbearbeitung (Tab. 3.9). In 2009 konnten bei den ersten 3 Messungen höhere Bodentemperaturen im Saathorizont bei Direktsaat im Vergleich zur Bearbeitung mit dem Pflug bzw. dem Grubber verzeichnet werden. Zur 2. und 3. Datenaufnahme war die Bodentemperatur zwischen den Varianten der Bodenbearbeitung signifikant verschieden. Zur letzten Messung der Bodentemperatur am 20.05.2009 glichen sich die Temperaturen unter den verschiedenen Varianten wieder aneinander an. Im 2.

Versuchsjahr 2010 lagen die Temperaturen im Durchschnitt unter denen von 2009. Der Verlauf der Erwärmung des Bodens im Jahr 2010 ist ähnlich dem des Jahres 2009. Zu Beginn der Messungen am 14.04.2010 konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten festgestellt werden. Zur 2. und 3. Messung in 2010 konnten, wie in 2009, höhere Temperaturen bei Direktsaat im Vergleich zum Pflug verzeichnet werden. Die Bodentemperatur war zum 2. Messtermin zwischen den Varianten auch signifikant verschieden. Zur letzten Messung konnte kein Unterschied der Bodentemperatur zwischen den verschiedenen Varianten der Bodenbearbeitung festgestellt werden.

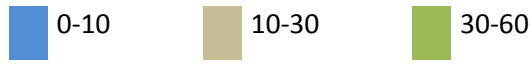
Tab. 3.9: Bodentemperatur [°C] in 5 cm Tiefe in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung an 4 Terminen in den Jahren 2009 und 2010, Tukey-Test $\alpha=0,05$.

↓	Pflug	Grubber	Direktsaat
	Frühjahr 2009		
19.04.2009	16,7 a	16,8 a	17,2 a
25.04.2009	14,4 ab	14,2 b	14,8 a
07.05.2009	13,7 b	13,7 b	14,6 a
20.05.2009	19,1 ab	19,1 a	18,7 b
Frühjahr 2010			
14.04.2010	7,8 a	8,3 a	7,9 a
19.04.2010	9,2 b	9,3 b	9,7 a
07.05.2010	12,0 a	12,2 a	12,3 a
22.05.2010	16,5 a	16,4 a	16,5 a

Bodenfeuchte

Die Daten zur Bodenfeuchte wurden in Stufen zu 10 cm erhoben, jedoch anschließend zu 3 Stufen zusammengefasst (0 bis 10 cm, 10 bis 30 cm, 30 bis 60 cm), um die Unterschiede in den unterschiedlichen Tiefen zu verdeutlichen. Die Bodenfeuchte war bis auf den 2. Messtermin in 2010 stets mit zunehmender Tiefe abnehmend, zur Messung am 01.07.2010 nahm die Bodenfeuchte hingegen mit zunehmender Bodentiefe zu (Abb. 3.3). Es konnten nur wenig signifikante Effekte der geprüften Faktoren festgestellt werden, da die Bodenfeuchte zu allen Terminen auf einem ähnlich hohen Niveau lag. Ausgenommen hiervon ist der 2. Messtermin in 2010. Hier wurden deutlich geringere Bodenfeuchten ermittelt. Am 27.05.2009 trat in der Stufe 10 bis 30 cm ein signifikanter Effekt der Bodenbearbeitung auf. Hier konnte

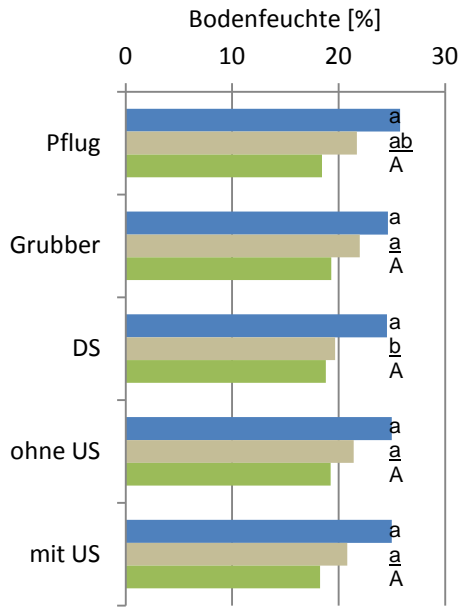
eine im Mittel um 2,3 %-Punkte geringere Bodenfeuchte nach Direktsaat im Vergleich zu einer Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug festgestellt werden. Zum 2. Termin in 2009 konnte keine signifikante Wirkung des Faktors Bodenbearbeitung, jedoch des Faktors Untersaat festgestellt werden. In allen 3 Tiefenstufen wurde eine im Mittel signifikant geringere Bodenfeuchte in Parzellen mit Untersaat im Vergleich zu Parzellen ohne Untersaat ermittelt. In der oberen Stufe (0 bis 10 cm) lag die Bodenfeuchte 0,89 %-Punkte, in 10 bis 30 cm 2,2 %-Punkte und in 30 bis 60 cm 2 %-Punkte niedriger als ohne Untersaat. Zur Reife der Erbse konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Stufen der Prüffaktoren festgestellt werden. Zur Einsaat der Körnererbse in 2010 konnten im Mittel keine signifikanten Unterschiede der Prüffaktoren ermittelt werden, jedoch trat in der 2. Tiefenstufe (10 bis 30 cm) eine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren Bodenbearbeitung und Untersaat auf. Die Differenzen der Bodenfeuchte zwischen den 3 Varianten der Bodenbearbeitung waren größer in Parzellen ohne Untersaat als in Parzellen mit Untersaat. In allen Prüfgliedern sank mit Rücknahme der Bodenbearbeitungsintensität die Bodenfeuchte ab. Dieser Effekt war ohne Untersaat wesentlich stärker ausgeprägt als mit Untersaat. Eine besonders hohe Bodenfeuchte konnte in Parzellen mit einer Bodenbearbeitung mit dem Pflug und ohne Untersaat festgestellt werden. Am 01.07.2010 konnten in den beiden oberen Tiefenstufen keine Effekte der Prüffaktoren nachgewiesen werden. In der Stufe von 30 bis 60 cm wurde eine signifikant geringere Bodenfeuchte nach Pflug im Vergleich zur Direktsaat festgestellt. Die Differenz zwischen diesen beiden Varianten betrug im Mittel 2,2 %-Punkte. Zur Ernte der Körnererbse in 2010 nahm die Bodenfeuchte mit zunehmender Tiefe vergleichsweise stark ab. Der Wassergehalt des Bodens war in der untersten Stufe maximal halb so hoch als in 0 bis 10 cm Tiefe.



27.05.2009

17.06.2009

29.07.2009



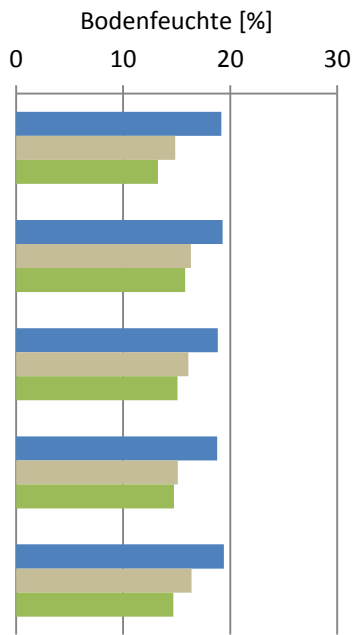
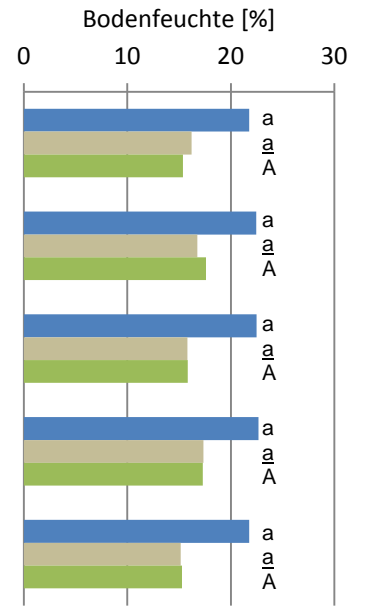
a
a
A

a
a
A

a
a
A

a
a
A

b
b
B



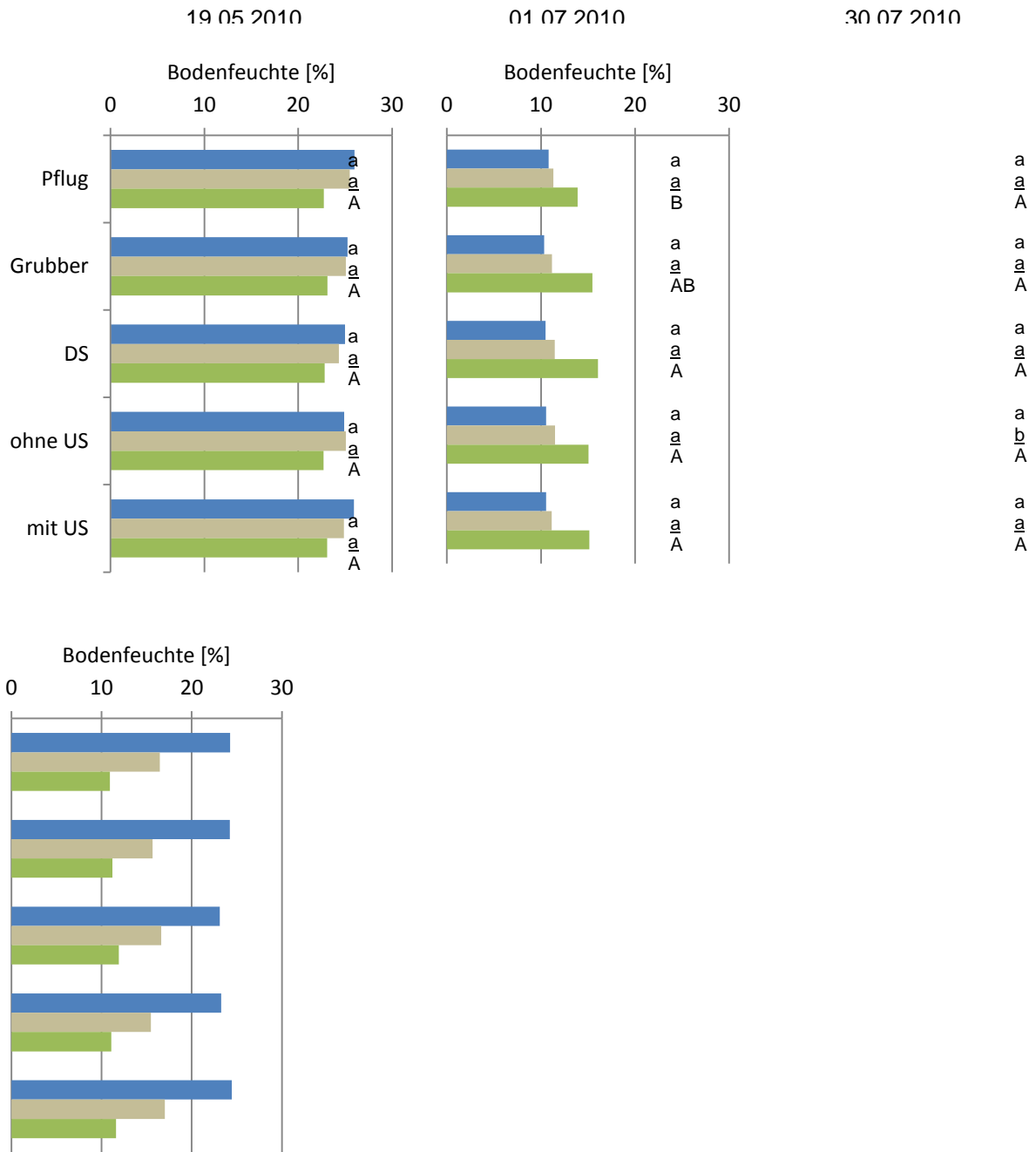


Abb. 3.3: Bodenfeuchte [Gew.-%] in 3 Tiefenstufen in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung mit Pflug, Grubber oder Direktsaat (DS) und einer Untersaat (US) an den Messterminen in 2009 und 2010, Tukey-Test $\alpha=0,05$,

Lagerungsdichte

Die Lagerungsdichte des Bodens im Saathorizont differierte in beiden Jahren deutlich. Die höchsten Werte der Lagerungsdichte wurden in den Parzellen mit Direktsaat im Bereich in dem kein Säschar lief verzeichnet. Die Unterschiede zwischen Pflug und Direktsaat waren in 2009 mit $0,08 \text{ g cm}^{-3}$ geringer, als in 2010 mit $0,2 \text{ g cm}^{-3}$. Die Unterschiede in der Lagerungsdichte zwischen der Entnahmestelle Direktsaat im Bereich des Säschar und Direktsaat zwischen den Scharen waren im Jahr 2009 größer als in 2010. Im Jahr 2009 konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten der Bodenbearbeitung in der Lagerungsdichte des Bodens festgestellt werden. Im 2. Versuchsjahr hingegen wurden signifikante Unterschiede zwischen Pflug und Grubber einerseits und den beiden Entnahmebereichen der Direktsaat andererseits gemessen (Tab. 3.10).

Tab. 3.10: Lagerungsdichte [g cm^{-3}] des Bodens im Saathorizont in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Tukey-Test $\alpha=0,05$.

→	Pflug	Grubber	Direktsaat Säschar	Direktsaat zwischen den Scharen
2009	1,34 a	1,35 a	1,34 a	1,42 a
2010	1,20 b	1,22 b	1,38 a	1,40 a

Lichttransmission

Die photosynthetisch aktive Strahlung, die auf der Bodenoberfläche gemessen werden konnte, nahm im Verlauf der Messungen in allen 3 Varianten der Bodenbearbeitung ab (Abb. 3.4). Nach einer Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug erreichten zum 1. Messtermin am 17.05.2009 noch 89,1 % der Strahlung die Bodenoberfläche im Körnererbsenbestand. Zum 2. Messtermin 2 Wochen später sank die gemessene Strahlung auf 21,5 % der über dem Bestand gemessenen Strahlung ab. Während der 3 folgenden Messungen sank die photosynthetisch aktive Strahlung auf der Bodenoberfläche von 15,8 % auf 7,5 % ab, um zur Abreife der Erbse wieder leicht auf 11,7 % anzusteigen. Der Verlauf der Strahlungsabnahme auf der Bodenoberfläche verlief in den Grubberparzellen ähnlich wie in Parzellen mit einer Bodenbearbeitung mit dem Pflug, jedoch wurden zum 2. Messtermin in Parzellen, in denen mit dem Grubber gearbeitet wurde, noch 36,5 % der Strahlung

über dem Bestand gemessen. Anschließend erfolgte bis zur Abreife der Körnererbse eine kontinuierliche Abnahme der Strahlungsintensität bis auf 7,3 %. In Parzellen mit Direktsaat konnte ebenfalls ein steter Abfall der Strahlungsintensität verzeichnet werden. Im Gegensatz zu Parzellen mit einer Bodenbearbeitung mit Pflug oder Grubber erfolgte die stärkste Abnahme der Strahlung zwischen dem 2. und dem 3. Messtermin. Hier sank die Strahlungsintensität von im Mittel 58,6 % auf 26,8 %. Die gemessenen Einzelwerte in Parzellen mit Direktsaat variierten sehr stark. Die Dateien aus 2010 waren im Zuge der Datenübertragung beschädigt worden und konnten nicht wieder hergestellt werden, so dass im 2. Jahr keine Auswertung der Daten der Lichttransmission erfolgen konnte.

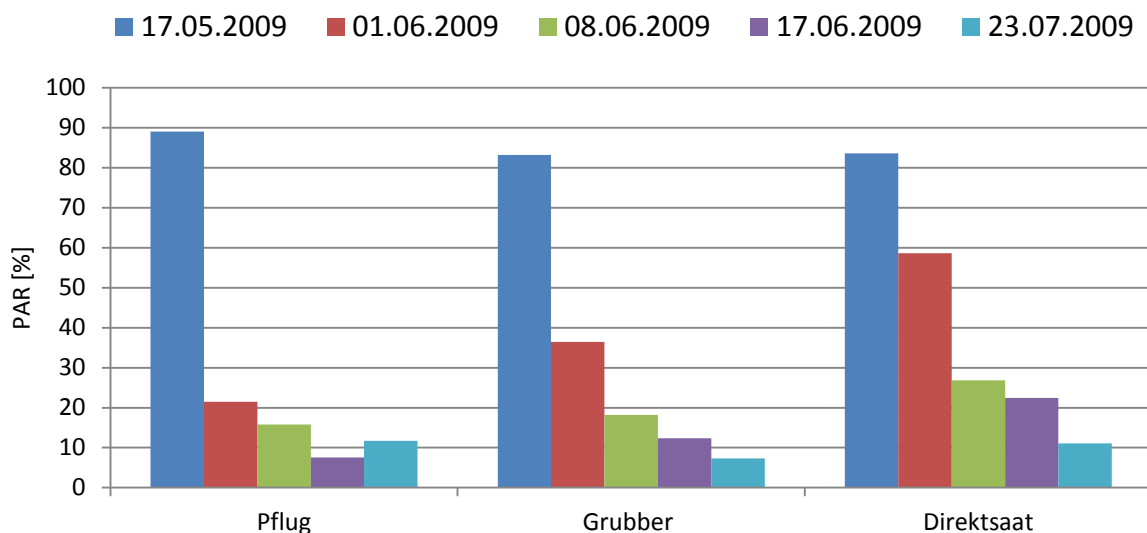


Abb. 3.4: Lichttransmission [%] im Erbsenbestand in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung an allen Messterminen im Jahr 2009

Entwicklung Sprossmasse

Der Faktor Bodenbearbeitung hatte zu allen Terminen eine Wirkung auf die Bildung der Sprossmasse (Abb. 3.5). Bei allen Probenahmetermen in 2009 und 2010 wurden signifikant höhere Sprosstrockenmasseerträge nach Pflug im Vergleich zur Direktsaat festgestellt. Die Parzellen, in denen mit einem Grubber gearbeitet wurde, wiesen, bis auf die letzte Probennahme in 2010, einen signifikanten Unterschied zu Direktsaat, jedoch nicht zum Pflug auf. Der Faktor Untersaat hatte an 3 Terminen einen signifikanten Einfluss auf die Sprosstrockenmasse der Erbse. Durch die Untersaat mit Erdklee wurde im Mittel weniger Sprossmasse gebildet als ohne Untersaat. Im Jahr 2009 war zu den beiden ersten Probenahmetermen dieser Effekt noch signifikant, jedoch nicht mehr zur Abreife der Erbse. In 2010 trat diese

negative Wirkung der Untersaat erst zur Reife der Körnererbse auf und war hier auch signifikant. Mit Untersaat wurden im Mittel je Hektar 9,31 dt Sprosstrockenmasse der Erbsen weniger gebildet als ohne Untersaat. Die prozentualen Zuwächse der Sprossmasse zwischen den 3 Probennahmeterminen in 2009 und 2010 unterscheiden sich zwischen den beiden Jahren und auch zwischen den unterschiedlichen Varianten der Bodenbearbeitung. Im ersten Jahr konnte nach Pflugbearbeitung sowie nach Grubbereinsatz eine Vervierfachung der Sprosstrockenmasse der Erbse zwischen dem 1. und dem 2. Erntetermin festgestellt werden, in Direktsaat war ein 5-mal höherer Sprosstrockenmasseertrag zu verzeichnen. Zwischen dem 2. und 3. Erntetermin stieg die Sprosstrockenmasse bei Pflug und Grubber um das 2,5-fache an, nach Direktsaat um die 3,2-fache Menge. In 2010 konnte zum ersten Erntetermin deutlich weniger Sprossmasse geerntet werden als im vorangegangenen Jahr. Die Zuwächse an Sprossmasse vom 1. zum 2. Erntetermin liegen somit deutlich über denen aus dem Jahr 2009. Bei allen Prüfgliedern konnte im Mittel eine 20-fach höhere Sprosstrockenmasse zum 2. Termin im Vergleich zum 1. Termin festgestellt werden. Zwischen dem 2. und 3. Erntetermin stieg die Sprossmasse im Mittel noch einmal um 70 % an. Es konnten nicht, wie in 2009, höhere Zuwachsraten mit Rücknahme der Bodenbearbeitungsintensität verzeichnet werden. In den Versuchsjahren 2009 und 2010 konnten variantenbezogen mit durchschnittlich 66,4 und 67,0 dt TM ha⁻¹ nach Pflug, 59,5 und 61,5 dt TM ha⁻¹ nach Grubber und 48,4 und 50,1 dt TM ha⁻¹ in Direktsaat zur Abreife nahezu gleich hohe Sprosstrockenmassen festgestellt werden. Die Trockenmassenerträge zum 1. und 2. Termin differierten zwischen den beiden Jahren jedoch erheblich.

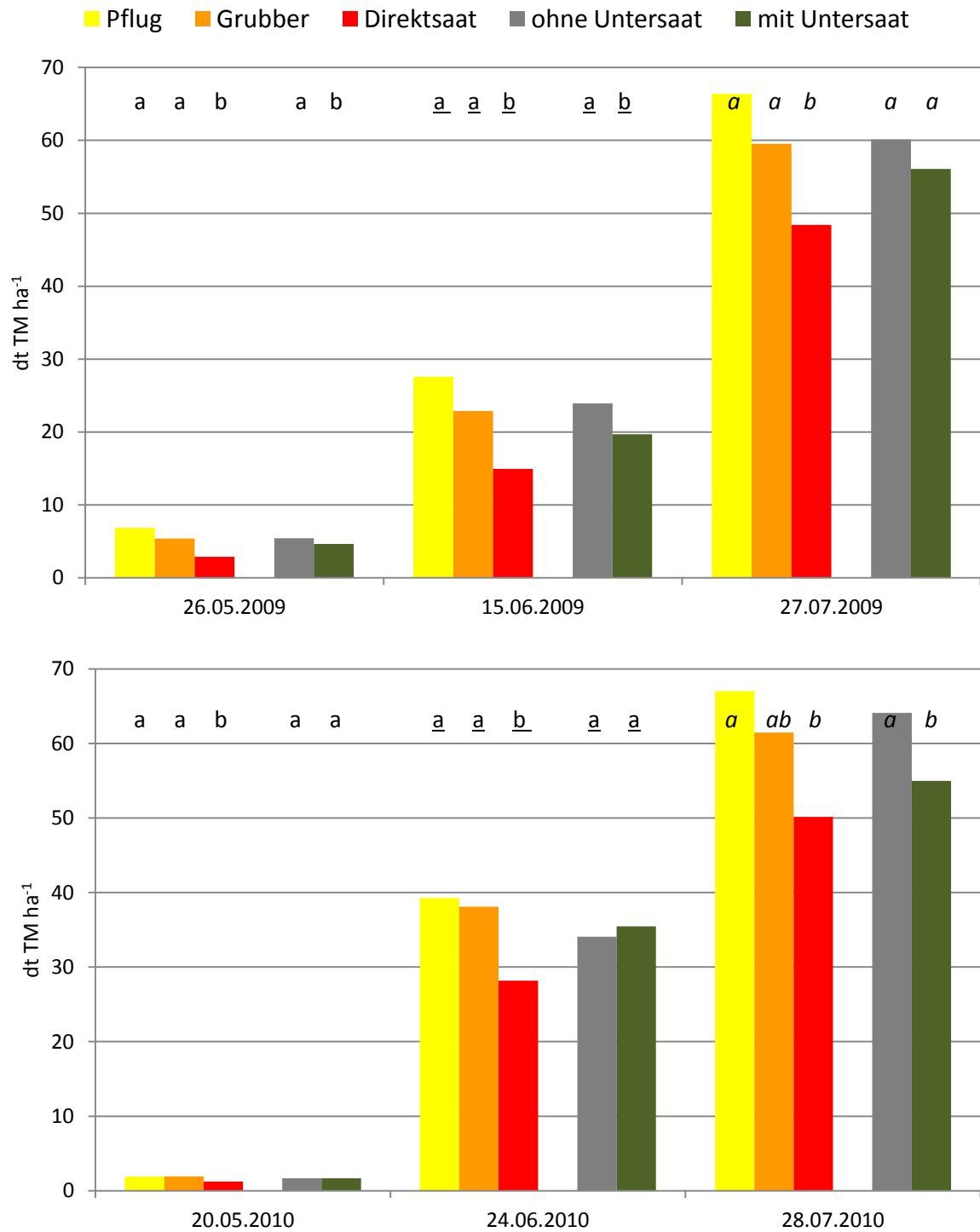


Abb. 3.5: Sprosstrockenmasse der Körnererbse [dt TM ha⁻¹] in Abhängigkeit einer differenzierten Grundbodenbearbeitung und einer Untersaat zu den Ernteterminen in 2009 und 2010, Tukey-Test $\alpha=0,05$.

Die Entwicklung der Sprosstrockenmasse des Unkrautes wurde zusätzlich zu den 3 Ernteterminen der Körnererbse noch zur Einsaat des Winterweizens erhoben (Abb. 3.6). So wurde die Wirkung der Untersaat Erdklee auf die Entwicklung des Unkrautes abgebildet im Zeitraum von der Ernte der Deckfrucht Erbse bis zur Einsaat der folgenden Frucht. In Parzellen mit Direktsaat konnte in beiden Versuchsjahren eine höhere Unkrauttrockenmasse als in den Parzellen mit Pflug oder Grubber festgestellt werden. Dieser Effekt war 2009 auch durchgängig signifikant. In 2010 war der Effekt auch vorhanden, jedoch weniger deutlich und nur zum ersten Probenahmetermin signifikant. Mit einer Untersaat Erdklee wurden stets geringere Unkrauttrockenmassen als ohne Untersaat festgestellt. Dieser Effekt war jedoch nicht zu allen Zeiternten signifikant. Insgesamt konnte ein steter Zuwachs der Unkrauttrockenmasse bis zur Ernte ermittelt werden. Zur Einsaat des Winterweizens waren in beiden Jahren die Unkrautmassen geringer ausgeprägt als zum Zeitpunkt des Drusches. Dieser Effekt stieg mit Rücknahme der Bodenbearbeitungsintensität, so sank die Unkrauttrockenmasse in 2009 beispielsweise in Parzellen mit einer Bodenbearbeitung mit Pflug oder Grubber auf das Niveau des 2. Probenahmetermines. In den Direktsaatparzellen wurden hingegen geringere Unkrautmassen verzeichnet als zur ersten Zeiternte. Im ersten Versuchsjahr war der Rückgang der Unkrautmasse nach der Ernte der Körnererbse ausgeprägter als im folgenden Versuchsjahr. Im Oktober 2010 war deutlich mehr Unkraut vorhanden als im Jahr 2009. Hier hatte die Untersaat einen positiven Effekt auf die Unkrautunterdrückung bis zur Einsaat des Weizens, während dieser Effekt im Jahr 2010 nur tendenziell vorhanden war.

Im Verlauf des Wachstums des Unkrautes konnte beobachtet werden, dass in Parzellen mit Direktsaat die prozentuale Zunahme der Trockenmasse geringer war als in Parzellen, in denen der Boden zur Saat bearbeitet wurde. In 2009 stieg die Unkrauttrockenmasse zwischen der 1. und 2. Zeiternte um 50 % an. In Pflugparzellen um 348 % und in Grubberparzellen um 204 %. Von der 2. zur 3. Zeiternte erhöhte sich die Trockenmasse des Unkrautes in Parzellen mit Pflug um 117 %, mit Grubber um 172 % und nach Direktsaat um 77 %.

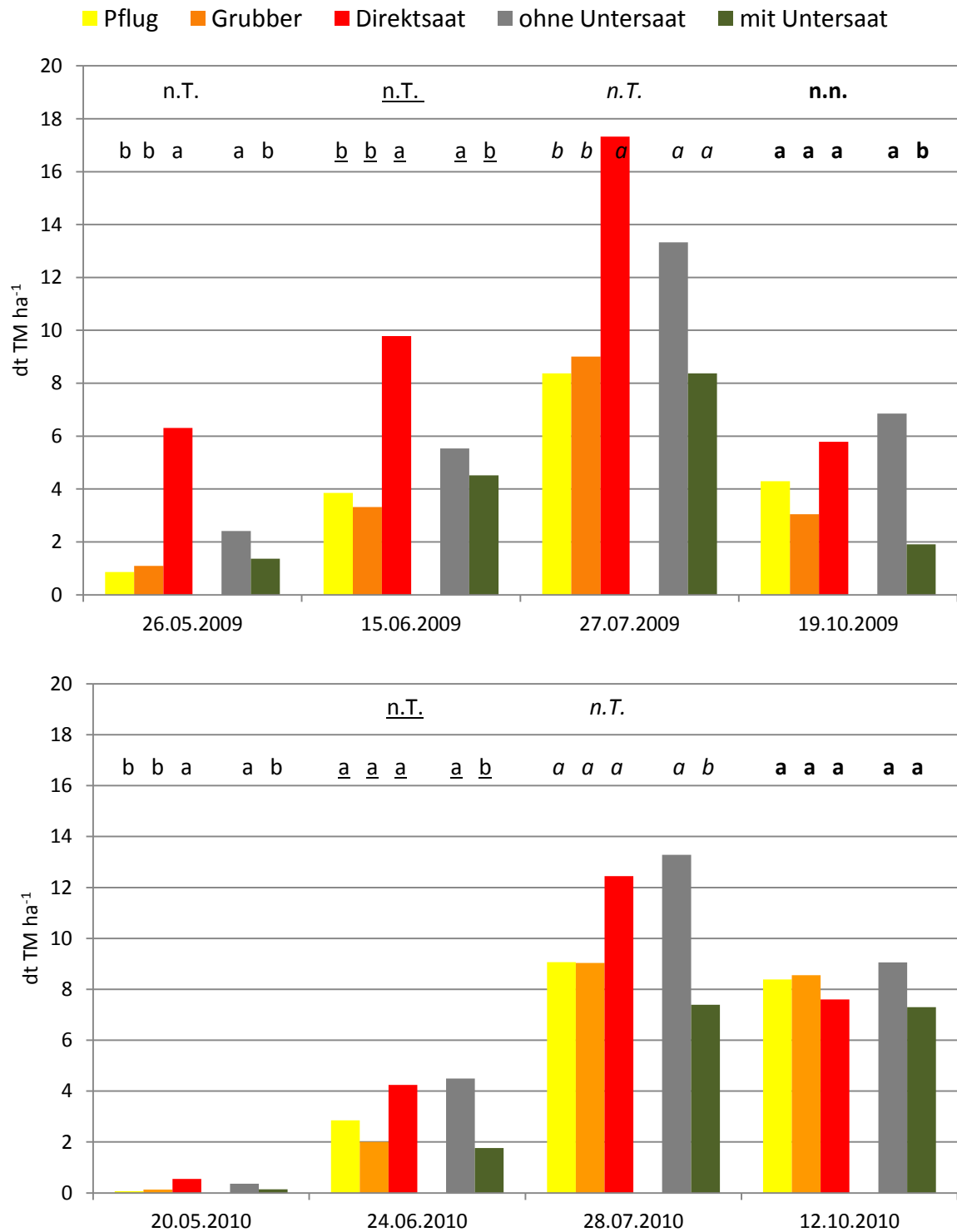


Abb.3. 6: Sprosstrockenmasse des Unkrautes [dt TM ha⁻¹] in Abhängigkeit einer differenzierten Grundbodenbearbeitung und einer Untersaat zu den Ernteterminen in 2009 und 2010, Tukey-Test $\alpha=0,05$.

Ertragsparameter und Ernteindizes

Der Kornertrag der Erbse wurde unter Verwendung der während der Teilflächenbeerntung erhobenen Daten berechnet. Zusätzlich wurde ein Kernparzellendrusch zur Erfassung des maschinell erntbaren Ertrages durchgeführt. Die Ergebnisse der Ertragsermittlung dieser beiden Verfahren unterscheiden sich im Versuchsjahr 2010 erheblich. In 2009 wurden durchschnittlich ca. 3 % weniger Ertrag beim Drusch im Vergleich zu der Handernte geerntet. Im darauf folgenden Jahr betrug diese Differenz durchschnittlich ca. 30 %. Das Ertragsniveau des Kernparzellendrusches lag im ersten Jahr über dem Ertragsniveau der Erbse in 2010 (Abb. 3.7). Gegensätzlich fielen die Ergebnisse der Handernten aus. Hier konnten in 2009 im Mittel höhere Erträge verzeichnet werden als in 2009. Bei den Handernten wurden im Jahr 2009 im Mittel nach Pflug 27,4 dt ha⁻¹ (a), nach Grubber 26,4 dt ha⁻¹ (a) und in Direktsaat 23,7 dt ha⁻¹ (a) geerntet. Die Parzellen ohne Untersaat wiesen einen Kornertrag von 26,4 dt ha⁻¹ (a) und Parzellen mit Untersaat von 25,3 dt ha⁻¹ (a) auf. Im folgenden Jahr wurden zur Handernte nach Pflug 35,4 dt ha⁻¹ (a), nach Grubber 33,2 dt ha⁻¹ (a) und in Direktsaat 26,1 dt ha⁻¹ (b) verzeichnet. Ohne Untersaat betrug der Kornertrag im Mittel 33,9 dt ha⁻¹ (a) und mit Untersaat 29,3 dt ha⁻¹ (b). Beim Kernparzellendrusch sowie Handernten konnten nur signifikante Unterschiede im Ertrag zwischen Pflug und Direktsaat festgestellt werden. So konnten in 2009 beim Drusch 27,9 % und bei der Handernte ein um 13,3 % geringerer Ertrag der Körnererbse in Direktsaat im Vergleich zur Erbse nach Pflug festgestellt werden. In 2010 betrug die Differenz zwischen Direktsaat und Pflug beim Drusch 38,3 % und in der Handernte 26,2 %. Ein negativer Effekt der Untersaat auf den Ertrag konnte tendenziell in beiden Jahren festgestellt werden. In 2010 war dieser Effekt in der Handernte sowie im Drusch signifikant.

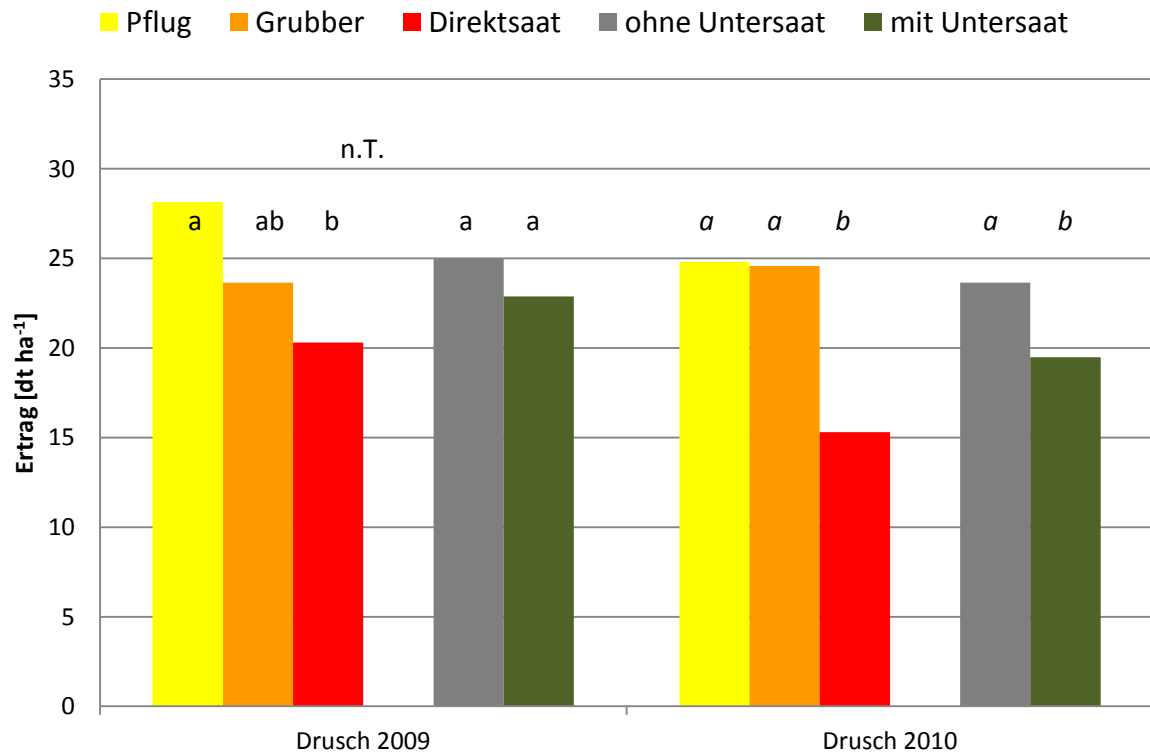


Abb. 3.7: Druschertrag der Körnererbse in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und einer Untersaat in den Jahren 2009 und 2010, Tukey-Test $\alpha=0,05$.

Die Wirkung der differenzierten Grundbodenbearbeitung und der Untersaat waren in beiden Jahren ähnlich. Es konnten keine signifikanten Effekte der untersuchten Faktoren auf die Ertragsparameter Tausendkornmasse (TKM) und Körner je Hülse festgestellt werden (Tab. 3.11). Die Anzahl Hülsen je Pflanze wurde in beiden Jahren negativ durch die Untersaat beeinflusst, in 2009 war dieser Effekt signifikant. Im Mittel wurden mit Untersaat 10 % weniger Hülsen je Pflanze gebildet als ohne Untersaat. Ein deutlicher Effekt der differenzierten Bodenbearbeitung wurde, wie bereits beschrieben, auf die Anzahl Pflanzen je m² verzeichnet. In 2009 konnte bei allen Parametern der Ertragsstruktur, ausgenommen die Anzahl Pflanze je m², ein tendenzieller Anstieg mit Rücknahme der Bodenbearbeitungsintensität beobachtet werden. Im darauf folgenden Versuchsjahr konnte diese Wirkung nicht mehr verzeichnet werden. In 2010 lag die Anzahl Hülsen je Pflanze und Körner je Hülse deutlich über den in 2009 erhobenen Daten, die Tausendkornmasse fiel jedoch geringer aus.

Tab. 3.11: Ertragsparameter der Körnererbse in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung und einer Untersaat (US) in 2009 und 2010, Tukey-Test $\alpha=0,05$, n.n. : Daten nicht normalverteilt, n.T.: nach Transformation

→		Pflug	Grubber	Direktsaat	ohne US	mit US
		2009				
Pflanzen m ⁻²	n.n.	92,9 a	85,2 b	56,3 c	77,8 a	78,7 a
Hülsen/Pflanze	n.T.	4,6 a	4,6 a	5,7 a	5,2 a	4,7 b
Körner/Hülse	n.T.	2,5 a	2,6 a	2,7 a	2,6 a	2,7 a
TKM [g]	n.n.	247,3 a	251,5 a	255,7 a	243,0 a	243,8 a
→		2010				
		Pflanzen m ⁻²	66,5 a	62,55 ab	52,9 b	62,3 a
Hülsen/Pflanze	n.T.	7,0 a	6,4 a	6,6 a	7,0 a	6,3 a
Körner/Hülse		3,4 a	3,6 a	3,6 a	3,5 a	3,5 a
TKM [g]		229,3 a	231,8 a	222,4 a	227,7 a	227,9 a

Der Harvest-Index und N-Harvest-Index wurden bei den Erbsen nicht signifikant von den untersuchten Faktoren beeinflusst. (Tab. 3.12). Das Korn-Stroh-Verhältnis war in 2010 größer als in 2009. Harvest-Index und N-Harvest-Index stiegen in 2009 mit Rücknahme der Bodenbearbeitung tendenziell an. Der N-Gehalt des Kornes differierte im Mittel in beiden Jahren mit 3,62 % in 2009 und 3,61 % 2010 kaum. Die N-Gehalte des Strohs lagen jedoch in 2009 mit 1,19 % über den N-Gehalten in 2010.

Tab. 3.12: Harvest-Index und N-Harvest-Index der Körnererbse in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung und einer Untersaat (US) in 2009 und 2010, Tukey-Test $\alpha=0,05$.

→		Pflug	Grubber	Direktsaat	ohne US	mit US
		2009				
Harvest-Index	n.T.	0,42 a	0,45 a	0,49 a	0,45 a	0,46 a
N-Harvest-Index		0,68 a	0,69 a	0,73 a	0,70 a	0,70 a
→		2010				
		Harvest-Index	0,53 a	0,54 a	0,52 a	0,53 a
N-Harvest-Index		0,84 a	0,84 a	0,83 a	0,83 a	0,84 a

N_{min}

Die Analyse der Bodenprobenextrakte ergab häufig Gehalte von NO_3^- und NH_4^+ die unterhalb der Nachweisgrenze lagen, deshalb sind die Ergebnisse der N_{min}-Analytik kritisch zu betrachten ist. Im ersten Versuchsjahr wurden im Mittel deutlich geringere N_{min}-Vorräte im Boden als in 2010 festgestellt (Abb. 3.8). Der im Mittel höchste Wert in 2009 wurde zur 2. Bodenprobennahme mit $31,8 \text{ kg N ha}^{-1}$ in den Grubberparzellen erhoben, in 2010 hingegen betrug der höchste gemessene N_{min}-Vorrat im Mittel $81,8 \text{ kg N ha}^{-1}$ zur Einsaat des Winterweizens in den Pflugparzellen. In beiden Versuchsjahren traten kaum signifikante Effekte der Prüffaktoren auf. Nur in 2009 zu Einsaat der Körnererbse und zur Einsaat des Winterweizens waren signifikante Wirkungen zu verzeichnen. Zur Einsaat der Körnererbse in 2009 konnten in der obersten Schicht (0 bis 10 cm) im Mittel um $6,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ höhere N_{min}-Vorräte nach einer Grundbodenbearbeitung mit Grubber im Vergleich zu den Pflugparzellen festgestellt werden. In 10 bis 30 cm Tiefe wurden signifikant höhere N_{min}-Vorräte nach Pflug im Vergleich zur Direktsaat erfasst. Die Differenz zwischen den beiden Stufen des Prüffaktors betrug im Mittel $3,7 \text{ kg N ha}^{-1}$. In der 30 cm mächtigen, untersten Tiefenstufe konnte keine Wirkung der Prüffaktoren verzeichnet werden. In der Summe konnten über alle 3 Stufen nach Direktsaat mit $20,7 \text{ kg N ha}^{-1}$ signifikant geringere N_{min}-Vorräte im Boden als nach Pflug mit $28,9$ und Grubber mit $30,4 \text{ kg N ha}^{-1}$ ermittelt werden. Zur 2. und 3. Bodenprobennahme konnten keine signifikanten Einflüsse der Prüffaktoren auf die N_{min}-Vorräte des Bodens festgestellt werden, jedoch wurden in allen Tiefenstufen tendenziell im Mittel nach Direktsaat geringere Werte als nach Pflug und Grubber erhoben.

Zur Einsaat des Winterweizens in 2009 wurden in der Summe über alle Tiefenstufen signifikant höhere N_{min}-Vorräte im Boden in Parzellen mit Untersaat Erdklee im Vergleich zu ohne Untersaat erhoben. Diese signifikante Differenz wurde vor allem durch Unterschiede im N_{min}-Vorrat des Bodens in der Stufe 10 bis 30 cm hervorgerufen. In 2010 zur Einsaat der Körnererbse konnten die höchsten N_{min}-Vorräte des Bodens in Parzellen mit einer Bodenbearbeitung mit dem Grubber festgestellt werden. Die Wirkung des Faktors Bodenbearbeitung zeigte sich vor allem in den Stufen 10 bis 30 cm und 30 bis 60 cm. Zur 2. Bodenprobennahme lagen die N_{min}-Vorräte in der 3. Tiefenstufe nach Grubber über denen der beiden anderen Stufen des Prüffaktors Bodenbearbeitung. Das spiegelte sich auch in der Summe über alle Tiefenstufen wider. Zum Drusch der Körnererbse war ein deutlicher Abfall

des N_{\min} -Vorrates im Boden bei allen Prüffaktoren und Faktorstufen zu verzeichnen. Der Rückgang der Gehalte an $\text{NO}_3^- \text{N}$ und $\text{NH}_4^+ \text{N}$ zeigte sich am stärksten in Parzellen mit einer Bodenbearbeitung mit dem Grubber. Hier fielen die Werte im Mittel um $47,6 \text{ kg N ha}^{-1}$ ab, nach Pflug um $39,9 \text{ kg N ha}^{-1}$ und bei Direktsaat um $35,4 \text{ kg N ha}^{-1}$. Im Zeitraum zwischen Ernte der Körnererbse und Einsaat des Winterweizens konnte wiederum ein Anstieg des mineralisch vorliegenden Stickstoffes auf $81,7 \text{ kg N ha}^{-1}$ nach Pflug, $59,3 \text{ kg N ha}^{-1}$ nach Grubber und $51,4 \text{ kg N ha}^{-1}$ in Direktsaat ermittelt werden. In der 2. Tiefenstufe konnte zu diesem Zeitpunkt ein im Mittel ca. 13 kg N ha^{-1} höherer N_{\min} -Vorrat nach Pflug im Vergleich zur Direktsaat gemessen werden. In 30 bis 60 cm wurden 17 kg N ha^{-1} mehr nach einer Bodenbearbeitung mit dem Pflug im Vergleich zu Grubber und Direktsaat ermittelt. Diese Vorräte summieren sich über die gesamte Tiefe der 3 Stufen zu einer Differenz zwischen Pflug und Direktsaat von $30,4 \text{ kg N ha}^{-1}$ auf, die jedoch nicht signifikant ist. In Parzellen mit einer Untersaat Erdklee konnten zur Einsaat des Winterweizens im Mittel tendenziell höhere N_{\min} -Vorräte festgestellt werden als in Parzellen ohne Untersaat.

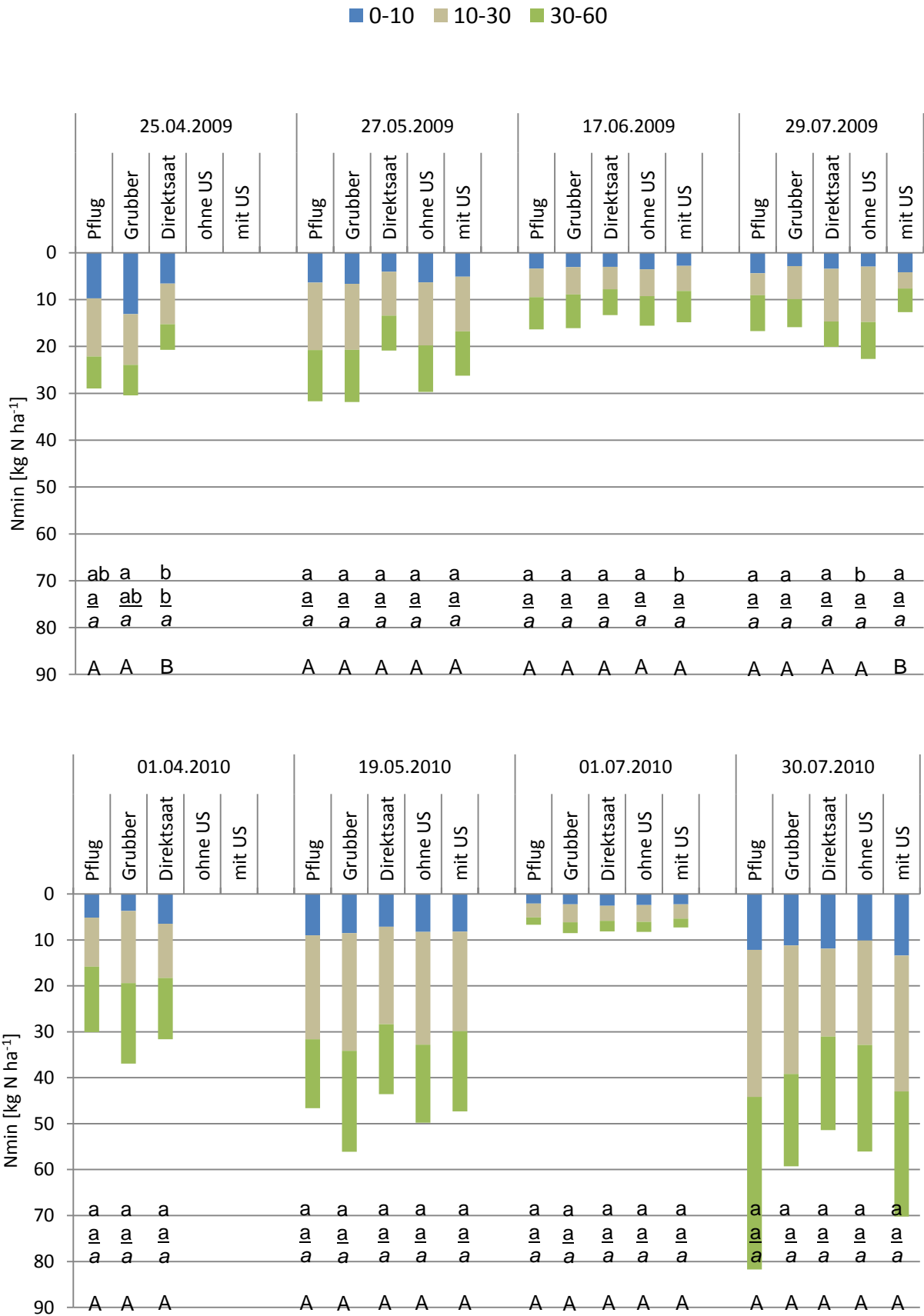


Abb. 3.8: Nmin-Menge [kg Nmin ha⁻¹] im Boden in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und einer Untersaat an allen Probenahmeterminen 2009 und 2010, Tukey-Test $\alpha=0,05$.

N₂-Fixierleistung

Die Höhe der symbiotischen N₂-Fixierleistung war mit Rücknahme der Intensität der Bodenbearbeitung zur Saat der Körnererbse rückläufig. Dieser Effekt war in 2010 deutlich stärker zu verzeichnen als in 2009, jedoch nur zur 2. Ernte in 2010 signifikant (Abb. 3.9). Zum Zeitpunkt der Abreife der Erbse konnten keine signifikanten Unterschiede in der symbiotischen N₂-Fixierleistung der Erbse festgestellt werden. Es war kein gesicherter Effekt der Untersaat Erdklee vorhanden, während des Wachstums der Erbse konnte in 2010 einmal ein signifikant höherer Wert mit Untersaat im Vergleich zu ohne Untersaat festgestellt werden. Diese Wirkung war aber zum Zeitpunkt der Erntereife nicht mehr feststellbar. In beiden Versuchsjahren waren deutliche Zuwächse der fixierten Menge Stickstoffs nach der Blüte der Erbse, zu verzeichnen. In 2009 konnte im Mittel ein höheres Niveau der symbiotischen N₂-Fixierleistung vor allem zur Abreife der Körnererbse ermittelt werden als in 2010. Im ersten Versuchsjahr konnten trotz großer Differenzen in der Sprosstrockenmasse keine signifikanten Unterschiede in der Höhe der N₂-Fixierleistung der Erbse zwischen den verschiedenen Stufen der Bodenbearbeitung festgestellt werden. In diesem Jahr konnten signifikant höhere N-Gehalte im Spross von im Mittel 2,36 % nach Direktsaat im Vergleich zu 2,25 % und 2,13 % bei Pflug und Grubber festgestellt werden. In 2010 gab es keinen signifikanten Unterschied in der Höhe der N₂-Fixierleistung zwischen den unterschiedlichen Bodenbearbeitungen, jedoch eine Differenz von 56,4 kg N ha⁻¹ zwischen Pflug und Direktsaat. Allerdings waren in 2010 sehr starke Schwankungen zwischen den Wiederholungen vorhanden. Die N-Gehalte im Spross der Erbse waren hier im Vergleich zum Vorjahr in Direktsaat nicht höher als nach Pflug oder Grubber. Nach Direktsaat wurden im Mittel die geringsten N-Gehalte mit 2,23 % gemessen, nach Pflug 2,26 % und nach Grubber 2,36 %.

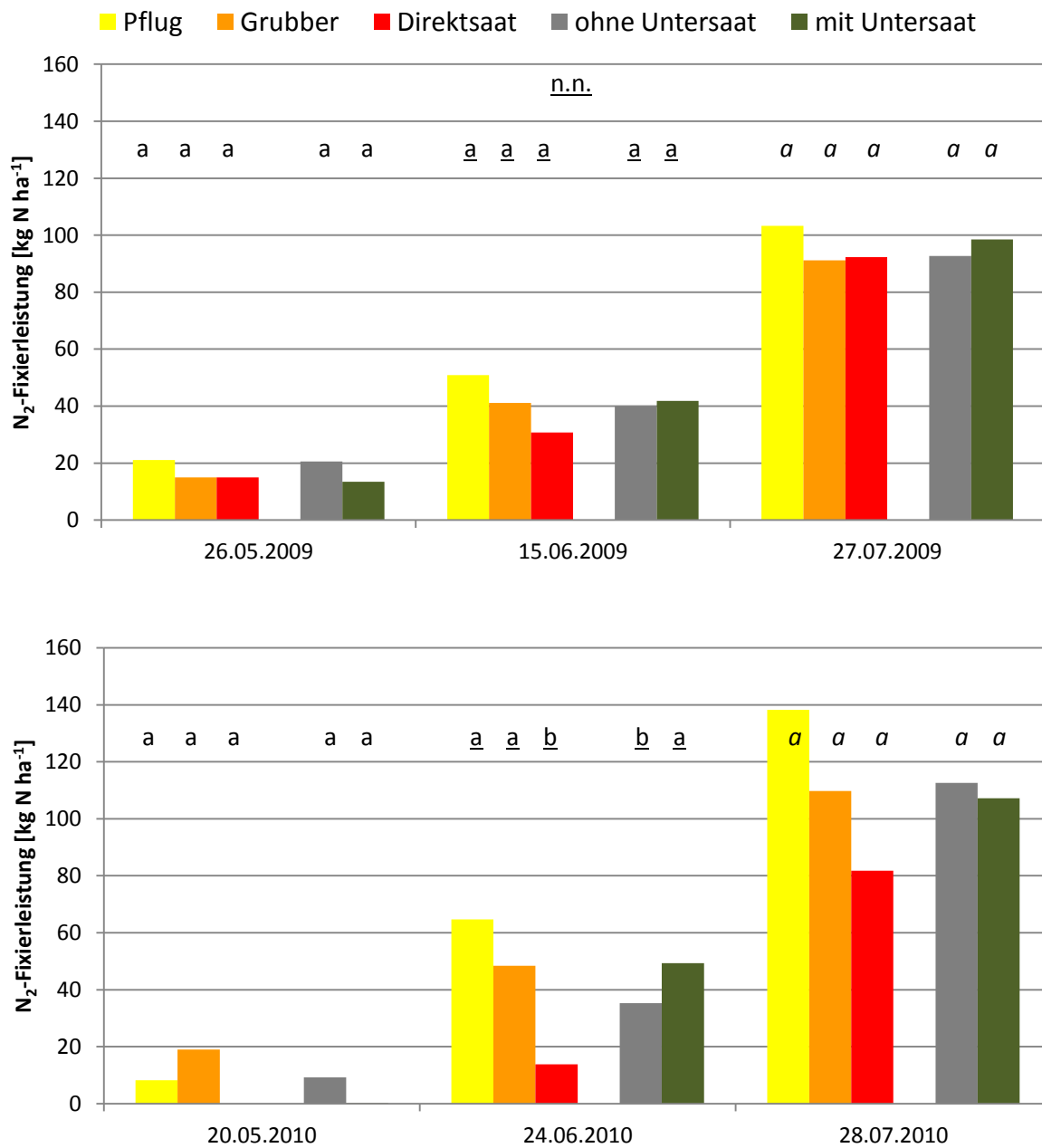


Abb. 3.9: N_2 -Fixierleistung [$kg\ N\ ha^{-1}$] der Körnererbse in Abhängigkeit von einer differenzierten Bodenbearbeitung und einer Untersaat zu 3 Terminen in 2009 und 2010, Tukey-Test $\alpha=0,05$.

3.2 Winterweizen

Die Auswertung der Ergebnisse des Winterweizens erfolgte 3-faktoriell, da die Bodenbearbeitung zum Winterweizen quer zur Bodenbearbeitung der Körnererbse erfolgte. So ergaben sich statt 6 verschiedenen Varianten der Bodenbearbeitung 18 verschiedene Varianten. In den folgenden Tabellen und Abbildungen wurde deshalb die Wirkung der Bodenbearbeitung zur Körnererbse auf den Winterweizen, sowie die Bodenbearbeitung direkt zum Weizen und der Faktor Untersaat in Körnererbse ausgewertet.

Feldaufgang

In beiden Versuchsjahren war keine Wirkung der Bodenbearbeitung zur Körnererbse auf den Feldaufgang des Winterweizens zu verzeichnen. Tendenziell wirkte sich das Einbringen einer Untersaat in die Vorfrucht Körnererbse positiv auf die Anzahl Weizenpflanzen je m² aus. In 2010 war dieser Effekt signifikant. Hier war eine Differenz von im Mittel 8 Pflanzen je m² zwischen den Varianten mit und ohne Untersaat zu verzeichnen. Eine deutliche Wirkung hatte nur die Bodenbearbeitung zum Winterweizen. In 2010 konnten nach Grubber 3,3 % weniger Pflanzen als nach Pflug verzeichnet werden, nach Direktsaat war dieser Effekt signifikant. Hier wurden nach Direktsaat 50,5 % weniger Pflanzen als nach Pflug festgestellt. In 2011 war die Abstufung zwischen den unterschiedlichen Varianten der Bodenbearbeitung deutlicher. Nach einer Grundbodenbearbeitung mit dem Grubber wurden signifikant weniger Pflanzen gezählt; ebenso zwischen Grubber und Direktsaat. Nach einer Bodenbearbeitung mit dem Grubber wurden 2011 8,0 % weniger Pflanzen und nach Direktsaat 46,3 % weniger Pflanzen als nach einer Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug festgestellt (Tab. 3.13).

Tab. 3.13: Anzahl Weizenpflanzen 30.03.2010/07.04.2011 [Pflanzen m⁻²] nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung zur Erbse und zum Weizen sowie mit und ohne Erdkleeuntersaat (US) in Erbse, Tukey-Test $\alpha=0,05$.

		2009 n.n.	2010 n.n.
	↓		
Bodenbearbeitung zur Erbse	Pflug	171 a	165 a
	Grubber	174 a	165 a
	Direktsaat	176 a	164 a
Untersaat	ohne Untersaat	170 a	163 a
	mit Untersaat	178 b	165 a
Bodenbearbeitung zum Weizen	Pflug	212 a	201 a
	Grubber	205 a	185 b
	Direktsaat	105 b	108 c

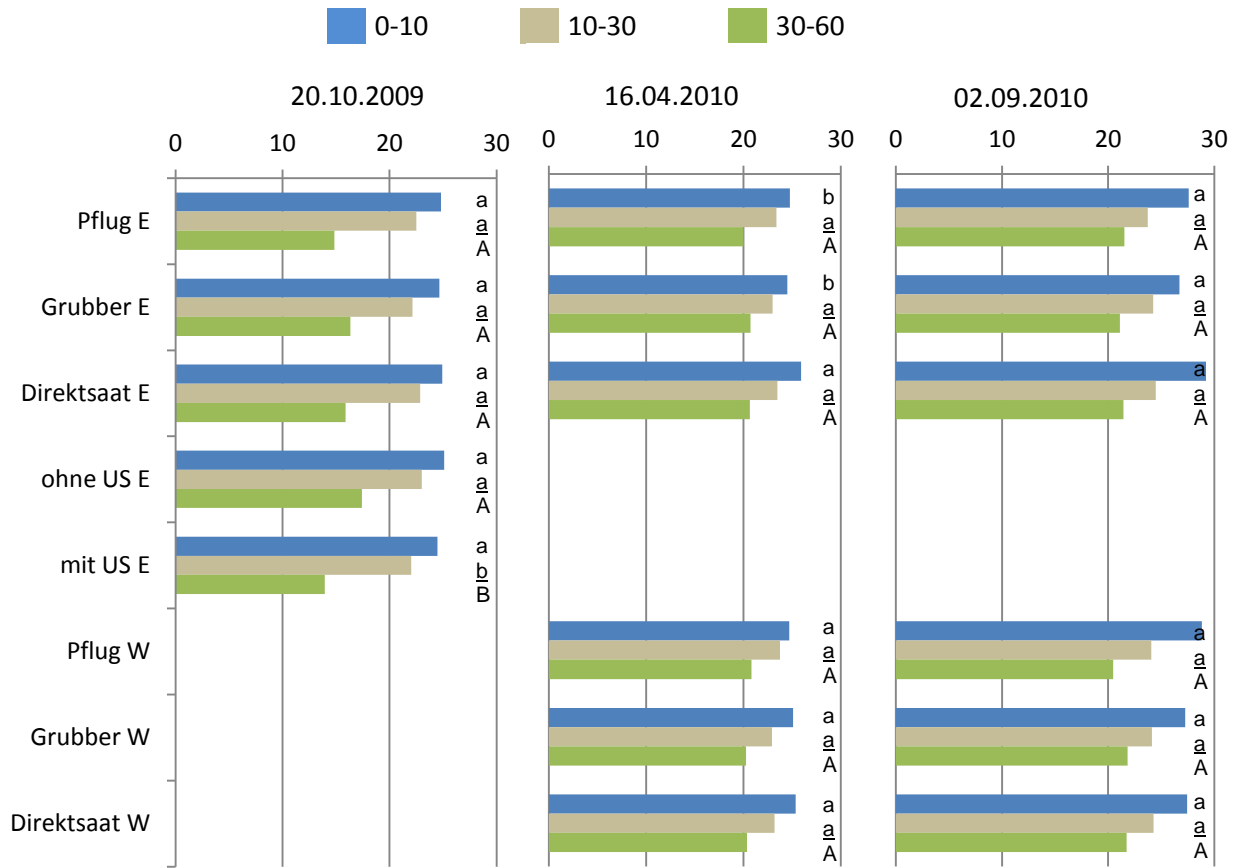
Bodenfeuchte

An allen Terminen der Bodenprobennahme der ersten Versuchsreihe konnte mit zunehmender Tiefe eine abnehmende Bodenfeuchte festgestellt werden (Abb. 3.10). Zur Einsaat des Winterweizens im Jahr 2009 wurden in der obersten Schicht durchgängig über alle Faktoren hinweg nur sehr geringe Differenzen zwischen den Faktorstufen ermittelt. In den Schichten 10 bis 30 cm und 30 bis 60 cm konnte kein signifikanter Einfluss der Bodenbearbeitung, jedoch des Faktors Untersaat verzeichnet werden. In Parzellen, in denen eine Untersaat in Erbse eingebracht wurde, wurden im Vergleich zu Parzellen ohne Untersaat in Körnererbse signifikant niedrigere Bodenfeuchtwerte festgestellt. Die Differenz zwischen ohne und mit Untersaat betrug in der 2. Schicht 0,9 %-Prozentpunkte in der 3. Schicht 3,5 %-Prozentpunkte. Zum 2. und 3. Bodenprobennahetermin konnten steigende Bodenfeuchtwerte mit Rücknahme der Bodenbearbeitung zur Saat der Erbse in 0 bis 10 cm und 10 bis 30 cm festgestellt werden. Zu Vegetationsbeginn im Jahr 2010 war dieser Effekt in 0 bis 10 cm signifikant. Mit Rücknahme der Bodenbearbeitung zur Saat des Winterweizens konnten zu Vegetationsbeginn 2010 steigende Bodenfeuchtwerte in der oberen Schicht festgestellt werden, in tieferen Schichten sank die Bodenfeuchte hingegen ab. Zur Ernte 2010 war diese Wirkung umgekehrt. Hier sank die Bodenfeuchte mit Rücknahme der Bodenbearbeitung in der oberen Schicht ab und stieg in den tieferen Schichten an. Zur Saat des Weizens im Jahr 2011 konnten keine signifikanten Effekte der beiden Prüffaktoren festgestellt werden. Zu Vegetationsbeginn im Jahr 2011 wurden signifikant geringere Bodenfeuchtwerte ermittelt in den Parzellen, in denen der Weizen nach einer Bodenbearbeitung mit dem Pflug eingebracht wurde im Vergleich zu Direktsaatparzellen. Zur Ernte des

Winterweizens im Jahr 2011 wurde ein gegenteiliger Effekt festgestellt. Hier wurden in den Schichten 10 bis 30 cm und 30 bis 60 cm eine signifikant geringe Bodenfeuchte nach Direktsaat als nach einer Bodenbearbeitung mit dem Pflug verzeichnet. Zur Einsaat des Winterweizens in 2010 sowie zum Vegetationsbeginn 2011 zwischen den 3 Tiefenstufen nur geringe Differenzen festgestellt. Die höchsten Werte wurden in 10 bis 30 cm ermittelt. Zur Ernte des Winterweizens in 2011 war eine abnehmende Bodenfeuchte mit zunehmender Tiefe festzustellen.

Abb. 3.10: Bodenfeuchte [Gew.-%] in 3 Tiefenstufen in Abhängigkeit einer differenzierten Bodenbearbeitung zur Erbse (E) und zum Weizen (W) und einer Untersaat (US) in Erbse an den Probennahmeterminen in 2010 und 2011, Tukey-Test $\alpha=0,05$.

nächste Seite



Entwicklung Sprossmasse

Einen sehr deutlichen und auch über alle Termine der Sprossprobennahme in 2010 und 2011 durchgängigen Effekt hatte die Bodenbearbeitung zur Saat des Winterweizens. Hier konnten stets signifikant geringere Trockenmassen des Sprosses des Weizens nach Direktsaat im Vergleich zum Pflug festgestellt werden (Abb. 3.11). An 5 Terminen der Entnahme von Sprossproben konnte ein signifikanter Unterschied zwischen allen 3 Faktorstufen der Bodenbearbeitung zum Weizen nachgewiesen werden. Ebenso hatte der Faktor Bodenbearbeitung zur Vorfrucht Körnererbse in 2010 einen signifikanten Effekt auf Sprosstrockenmasse des Weizens, der Faktor Untersaat in Erbse hingegen hatte einen signifikanten Einfluss auf die Sprossmassebildung in 2011. In 2010 konnte zum 1. Erntetermin kein Effekt der Bodenbearbeitung zur vorangegangenen Frucht Erbse verzeichnet werden. Die Sprosstrockenmassen waren mit $14,4 \text{ dt TM ha}^{-1}$ nach Pflug, $13,5 \text{ dt TM ha}^{-1}$ nach Grubber und in Direktsaat mit $12,2 \text{ dt TM ha}^{-1}$ recht einheitlich.

Die Bodenbearbeitung zum Weizen hatte bereits zur ersten Zeiternte einen erheblichen Einfluss auf die Entwicklung der Weizenpflanzen. Nach Direktsaat konnten zur 1. Zeiternte nur 13 % der Sprosstrockenmasse im Vergleich zum Pflug, nach Grubber 75,5 % des Ertrages im Vergleich zum Pflug erhoben werden. Zur 2. und 3. Sprossernte konnte auch eine Wirkung der Bodenbearbeitung zur Körnererbse verzeichnet werden: Hier wurden im Mittel bei Direktsaat zur Erbse 75 % der Trockenmasse im Vergleich zur Pflugbearbeitung zur Erbse gemessen. Diese Wirkung war auch zur 3. Ernte noch nachweisbar. Es wurden 72 % der Sprosstrockenmasse an Weizen der Pflug-Variante geerntet. Der Effekt der Bodenbearbeitung zur Saat des Winterweizens blieb deutlich über alle 3 Ernten in 2010 erhalten. Hier wurden bei Direktsaat 13,0 %; 13,8 % und 16,5 % der Sprosstrockenmasse nach Pflugbearbeitung ermittelt. Nach einer Bodenbearbeitung mit dem Grubber zur Saat des Weizens wurden zur 1., 2. und 3. Ernte jeweils 75,5 %, 85,8 % und 83,2 % der Sprosstrockenmasse der Faktorstufe Pflug erhoben. Im Versuchsjahr 2011 konnte im Verlauf des Wachstums des Winterweizens kein Einfluss der Bodenbearbeitung zur Vorfrucht Erbse auf den Winterweizen festgestellt werden. Hier waren stets nur geringfügige Unterschiede zwischen den Faktorstufen festzustellen, die maximal erfasste Differenz betrug zur Abreife $3,3 \text{ dt TM ha}^{-1}$ zwischen Direktsaat und Pflug zur Erbse. Der Faktor Untersaat in der Vorfrucht Körnererbse hatte einen Einfluss, der zur ersten und zweiten Ernte auch signifikant

war. Hier wurden in Parzellen mit Untersaat im Mittel höhere Sprosstrockenmassen des Weizens gemessen als ohne Untersaat; die Differenz betrug 3,9 dt TM ha⁻¹ zur 1. Ernte, 8,15 dt TM ha⁻¹ zur 2. Ernte und 7,6 dt TM ha⁻¹ zur 3. Ernte. Wie bereits in der 1. Versuchsreihe wurde hier hauptsächlich ein Effekt der Bodenbearbeitung zur Einsaat des Winterweizens verzeichnet. Im Versuchsjahr 2011 konnte nach Direktsaat eine Sprosstrockenmasse von 9,5 %, 11,3 % und 13,0 % des Weizenertrages an Sprosstrockenmasse der Pflugparzellen zur 1., 2. und 3. Zeiternte verzeichnet werden. Nach einer Grundbodenbearbeitung mit dem Grubber zur Saat des Weizens wurden 76,8 % zur 1. Ernte, 79,9 % zur 2. Ernte und 83,2 % zur 3. Ernte der Sprosstrockenmasse des Weizens im Vergleich zum Pflug geerntet. Insgesamt konnte in 2011 ein deutlich höheres Niveau der Erträge an Sprosstrockenmasse des Winterweizens festgestellt werden, als in 2010.



Bild 4: Erbsen nach reduzierter Bodenbearbeitung mit Zwischenfrucht, Pinkowitz 2010

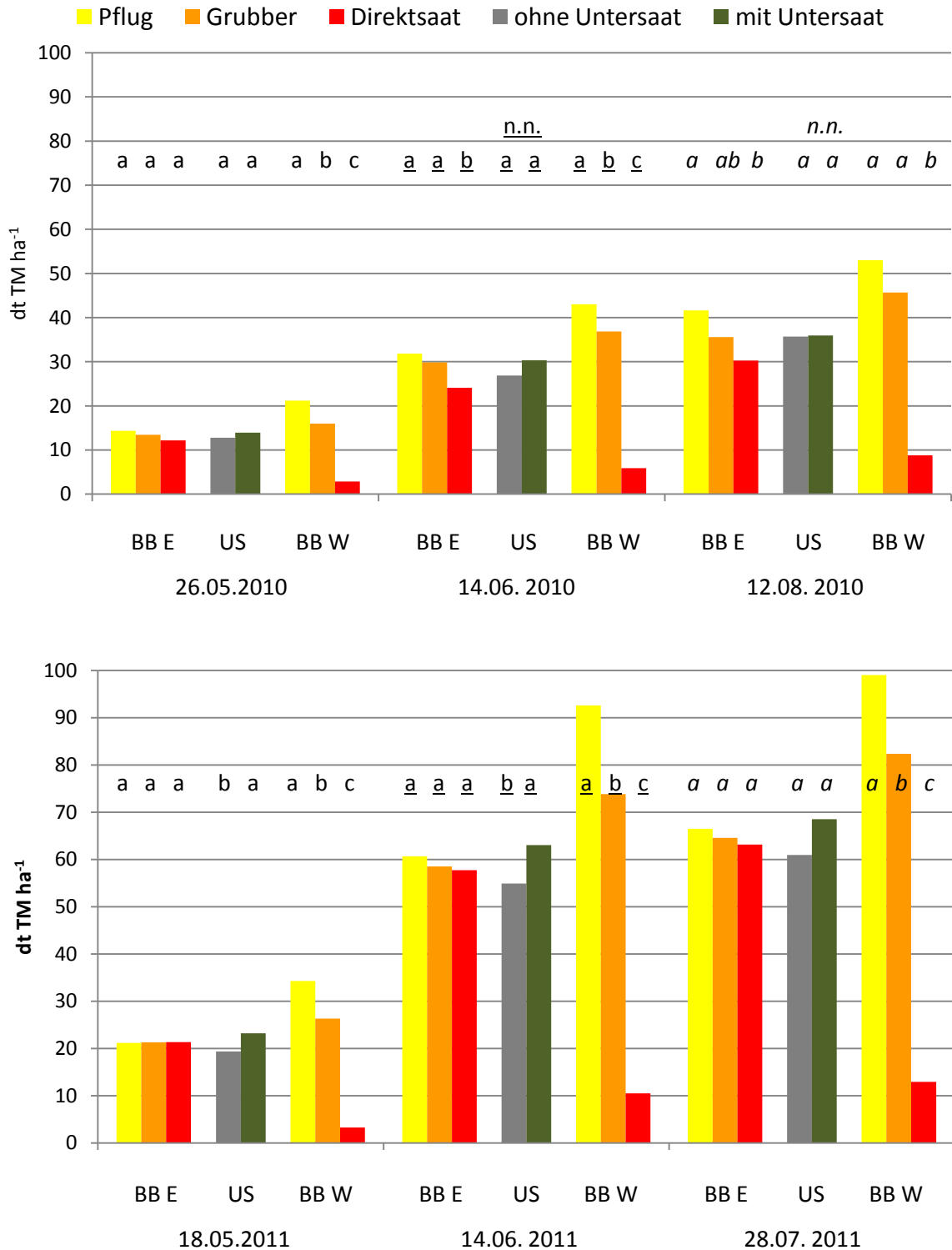


Abb. 3.11: Sprosstrockenmasse des Winterweizens [dt TM ha⁻¹] in Abhängigkeit der differenzierten Grundbodenbearbeitung zur Körnererbse (BB E) und zum Winterweizen (BB W) und einer Untersaat in Erbse (US) an allen Ernteterminen 2010 und 2011, Tukey-Test $\alpha=0,05$.

Die Sprosstrockenmassen des Unkrautes spiegeln die Trockenmassen des Weizens reziprok wider. Konnten im Mittel bei einem Prüffaktor hohe Sprosstrockenmassen des Weizens festgestellt werden, wurden geringe Sprosstrockenmassen des Unkrautes gemessen und umgekehrt. In 2010 war ein signifikanter Effekt der Bodenbearbeitung zur vorangegangenen Frucht Erbse vorhanden (Abb. 3.12). Hier wurden im Mittel signifikant höhere Trockenmassen nach Direktsaat im Vergleich zu Pflug und Grubber erhoben. Bis zur Abreife des Weizens differenzierten sich diese Ergebnisse noch weiter. Wurde die Körnererbse in Direktsaat eingebracht, wurden im Weizenbestand im Mittel 30,1 dt TM ha⁻¹ (a), nach Grubber 22,3 (b) und nach Pflug im Mittel 16,6 dt TM ha⁻¹ (c) Unkrauttrockenmasse bestimmt.

Der Faktor Untersaat in Körnererbse hatte 2010 nur eine geringe Wirkung. Tendenziell wurde mehr Unkraut in Parzellen festgestellt, in denen ein Jahr zuvor eine Untersaat vorhanden war. Auch bei der Sprosstrockenmasse des Unkrautes wurde der größte Effekt durch die Bodenbearbeitung zur Saat des Weizens hervorgerufen. Es wurden stets signifikant höhere Sprosstrockenmassen des Unkrautes nach Direktsaat verzeichnet. Im Mittel wurde nach Direktsaat eine 6,8 fache Menge zur 1. Ernte, die 4,45 fache Menge zur 2. Ernte und die 3,2 fache Menge der Unkrautsprosstrockenmasse in den der Pflugparzellen erhoben. In 2011 konnte keine signifikante Wirkung der Bodenbearbeitung zur Erbse auf die Bildung der Unkrauttrockenmasse nachgewiesen werden. Ebenso war beim Faktor Untersaat in der Vorfrucht Erbse keine signifikante Wirkung zu verzeichnen, jedoch wurden tendenziell im Mittel geringere Unkrauttrockenmassen in Parzellen mit Untersaat im Vergleich zu Parzellen ohne Untersaat erhoben. Die Wirkung der Bodenbearbeitung zum Winterweizen war mit den Effekten aus dem vorangegangenen Jahr 2010 vergleichbar. Hier wurden durchgängig niedrige Sprossmassen des Unkrautes in Parzellen mit einer Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug gemessen. Zur Abreife des Weizens konnten im Mittel nur 4,6 dt TM ha⁻¹ gemessen werden. Nach einer Bodenbearbeitung mit dem Grubber wurden höhere Unkrautmengen als nach Pflug verzeichnet. Die Differenz von 7 dt TM ha⁻¹ war jedoch nicht signifikant. Nach Direktsaat wurde bereits zur ersten Zeiternte 32,6 dt TM ha⁻¹ Unkraut festgestellt. Bis zur 3. Zeiternte stieg die Unkrautmasse noch auf 59,8 dt TM ha⁻¹ an.

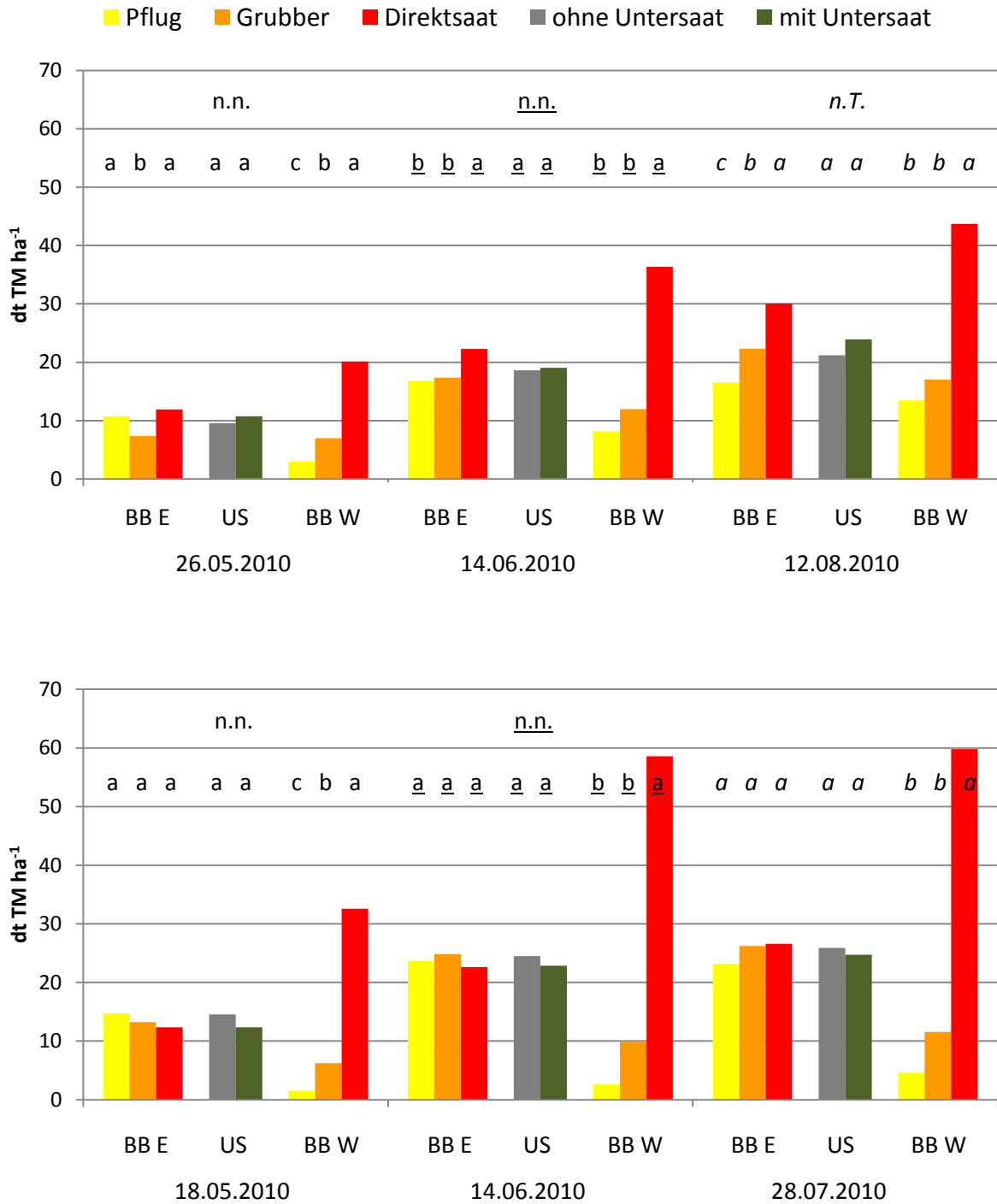


Abb. 3.12: Sprosstrockenmasse des Unkrautes [dt TM ha⁻¹] in Abhängigkeit einer differenzierten Grundbodenbearbeitung zur Körnererbse (BB E) und zum Winterweizen (BB W) und einer Untersaat in Erbse (US) zu den Ernteterminen in 2010 und 2011, Tukey-Test $\alpha=0,05$.

Ertragsparameter/Ernteindizes/Kornprotein

Die Ergebnisse der letzten Handerte der Sprosstrockenmasse des Winterweizens spiegeln sich in der Höhe des Kornertrages des Kernparzellendrusches wider (Abb. 3.13). In beiden Jahren konnte ein deutlicher Effekt der Bodenbearbeitung zum Weizen festgestellt werden. In 2010 konnte ein signifikanter Unterschied zwischen Pflug und Grubber auf der einen Seite und Direktsaat auf der anderen Seite ermittelt werden. In Parzellen, in denen der Weizen in Direktsaat eingebracht wurde, konnte im Mittel nur 14,3 % des Kornertrages aus Pflugparzellen geerntet werden. Nach einer Bodenbearbeitung mit dem Grubber wurden im Mittel nur um 3,7 dt TM ha⁻¹ geringere Kornerträge im Vergleich zur Bodenbearbeitung mit dem Pflug gedroschen. In 2011 konnten signifikante Unterschiede zwischen allen 3 Faktorstufen der Bodenbearbeitung zum Weizen verzeichnet werden. In Direktsaat wurden 11,9 % des Kornertrages nach Pflug und nach Grubber 75,6 % des Kornertrages des Pfluges erhoben. Der Faktor Untersaat in der Vorfrucht Körnererbse hatte weder in 2010 noch in 2011 einen signifikanten Effekt auf den Kornertrag des Weizens. Einen negativen Einfluss auf die Höhe des Kornertrages des Winterweizens hatte in 2010 die Rücknahme der Bodenbearbeitung zur Einsaat der Körnererbse. Hier wurden mit im Mittel 5,8 dt ha⁻¹ signifikant geringere Kornerträge nach Direktsaat im Vergleich zum Pflug ermittelt.

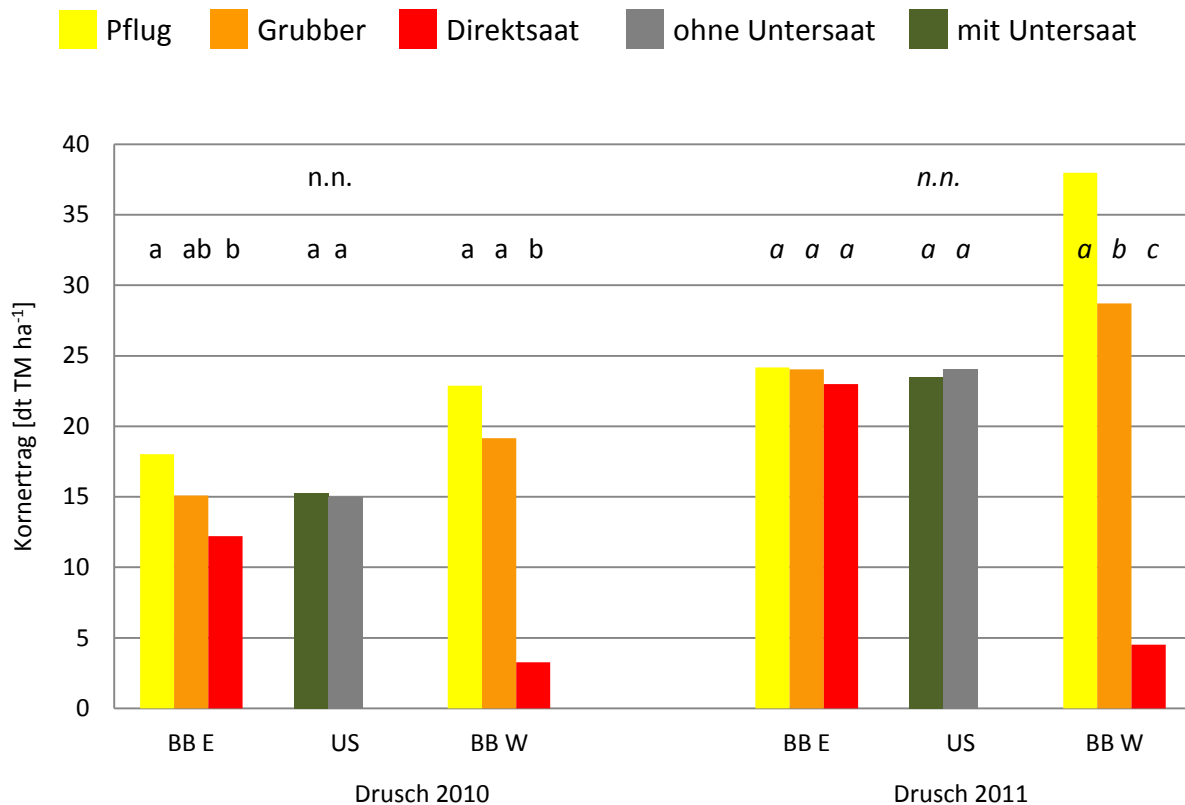


Abb. 3.13: Kornertrag [dt TM ha⁻¹] des Winterweizens aus dem Kernparzellendrusch in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung zur Erbse (BB E), der Bodenbearbeitung zum Weizen (BB W) und einer Untersaat mit Erdklee in Erbse (US), Tukey-Test $\alpha=0,05$.

Der Faktor Bodenbearbeitung zur Vorfurche Körnererbse hatte in beiden Jahren nur einen geringen Einfluss auf die Parameter der Ertragsstruktur (Tab. 3.14). In 2010 wurden im Mittel 41,8 Ähren je m² weniger nach Direktsaat als nach Pflug gebildet. Dieser Effekt war 2010 signifikant, in 2011 auch noch tendenziell vorhanden, jedoch statistisch nicht signifikant. Die Untersaat Erdklee in Körnererbse hatte in 2010 einen positiven Effekt auf die Anzahl Pflanzen je m². Hier wurden mit Untersaat im Mittel 8 Pflanzen je m² mehr verzeichnet als ohne Untersaat. Die Bodenbearbeitung zur Einsaat des Winterweizens hatte in beiden Jahren einen signifikanten Einfluss auf Anzahl Pflanzen je m² und damit auch auf die Anzahl Ähren je m². Hier wurden bei Einsaat in Direktsaat stets weniger Pflanzen und Ähren je m² im Vergleich zu Pflug und Grubber erhoben. In 2010 waren zusätzlich zu den Parametern Pflanzen je m² und Ähren je m² noch die Anzahl Körner je Ähre und die Tausendkornmasse negativ durch die Direktsaat zur Saat des Weizens beeinflusst.

Tab. 3.14: Ertragsstrukturmerkmale des Winterweizen in Abhängigkeit von der unterschiedlichen Bodenbearbeitung zur Erbse (BB Erbse) und zum Weizen (BB Weizen) und einer Untersaat mit Erdklee in Erbse (US) in 2010 und 2011, Tukey-Test $\alpha=0,05$, n.n.= nicht normalverteilt, N.T.= nach Transformation, # = Scheffe-Test.

2010					
		Pflanzen m ⁻²	Ähren m ⁻² n.n.	Körner je Ähre n.T.	TKM n.T.
BB Erbse	Pflug	171 a	194,3 a	31,1 a	37,6 a
	Grubber	174 a	172,7 ab	28,9 a	37,0 a
	Direktsaat	176 a	152,5 b	28,8 a	36,3 a
Untersaat	ohne US	170 a	174,9 a	29,4 a	37,7 a
	mit US	178 b	171,5 a	29,8 a	36,2 a
BB Weizen	Pflug	212 a	243,2 a	33,4 a	37,5 a
	Grubber	205 a	222,5 a	31,0 a	38,8 a
	Direktsaat	105 b	53,8 b	23,6 b	34,3 b
2011					
		Pflanzen m ⁻²	Ähren m ⁻² n.n.	Körner je Ähre n.n. #.	TKM n.n. #
BB Erbse	Pflug	165 a	148,6 a	33,7 a	41,1 a
	Grubber	165 a	147,7 a	34,4 a	42,0 a
	Direktsaat	164 a	142,0 a	35,8 a	41,5 a
Untersaat	ohne US	163 a	136,6 a	34,9 a	41,9 a
	mit US	165 a	155,6 a	34,3 a	41,2 b
BB Weizen	Pflug	201 a	219,5 a	36,3 a	41,3 a
	Grubber	185 b	185,7 b	36,3 a	41,3 a
	Direktsaat	108 c	33,1 c	30,6 a	42,2 a

In 2010 konnten sinkende Harvest- und N-Harvest-Indizes mit Rücknahme der Bodenbearbeitungsintensität zur Saat der Körnererbse festgestellt werden (Tab. 3.15). Ebenso nahmen Harvest- und N-Harvest-Index ab, wenn die Bodenbearbeitungsintensität zur Saat des Winterweizens herabgesetzt wurde. Dieser Effekt wirkte 2010 auf den N-Harvest-Index signifikant, es wurde nach Direktsaat mit 0,72 ein signifikant geringerer N-Harvest-Index als nach Pflug mit 0,82 verzeichnet. Der Faktor Untersaat hatte keinen Einfluss auf die Harvestindizes. In 2011 konnte keinerlei Effekt der Bodenbearbeitung zur Körnererbse, sowie der Untersaat in Erbse auf die Ertragsstrukturmerkmale festgestellt werden. Nach einer Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug zur Saat des Weizens konnte mit im Mittel 0,54 ein signifikant höherer Harvest-Index als nach Direktsaat mit 0,48 festgestellt werden.

Tab. 3.15: Harvest-Index und N-Harvest-Index des Winterweizens in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung zur Körnererbse und zum Weizen und einer Untersaat in Erbse in 2010 und 2011, Tukey-Test $\alpha=0,05$, n.n.= nicht normalverteilt, N.T.= nach Transformation, # = Scheffe-Test.

		2010	
		Harvest-Index	N Harvest-Index
	↓		
Bodenbearbeitung zur Erbse	Pflug	0,43 a	0,81 a
	Grubber	0,42 a	0,79 a
	Direktsaat	0,38 a	0,74 a
Untersaat	ohne Untersaat	0,41 a	0,78 a
	mit Untersaat	0,40 a	0,78 a
Bodenbearbeitung zum Weizen	Pflug	0,42 a	0,82 a
	Grubber	0,41 a	0,79 ab
	Direktsaat	0,38 a	0,72 b
		2011	
		Harvest-Index n.n.#	
Bodenbearbeitung zur Erbse	Pflug	0,52 a	
	Grubber	0,52 a	
	Direktsaat	0,52 a	
Untersaat	ohne Untersaat	0,51 a	
	mit Untersaat	0,52 a	
Bodenbearbeitung zum Weizen	Pflug	0,54 a	
	Grubber	0,53 ab	
	Direktsaat	0,48 b	

Der Proteingehalt des Weizenkorns wurde von keinem Prüffaktor signifikant beeinflusst. Jedoch konnte ein leicht ansteigender Kornproteingehalt mit Rücknahme der Bodenbearbeitung zur Saat der Körnererbse beobachtet werden (Tab.3.16). Ebenso waren tendenziell höhere Kornproteingehalte in Parzellen, in denen in der Vorfrucht Erbse eine Untersaat mit Erdklee vorhanden war, zu verzeichnen. Die Bodenbearbeitung zur Saat des Weizens hatte keinen Einfluss auf die Höhe der Kornproteingehalte im Weizen.

Tab. 3.16: Kornproteingehalt des Winterweizens in Abhängigkeit einer differenzierten Grundbodenbearbeitung und einer Untersaat in 2010 und 2011, Tukey-Test $\alpha=0,05$, n.n.= nicht normalverteilt, N.T.= nach Transformation, # = Scheffe-Test.

		Kornprotein	
		2010	2011
	↓		
Bodenbearbeitung	Pflug	9,21 a	
zur Erbse	Grubber	9,32 a	
	Direktsaat	9,53 a	
Untersaat	ohne Untersaat	9,17 a	
	mit Untersaat	9,54 a	
Bodenbearbeitung zum Weizen	Pflug	9,49 a	
	Grubber	9,10 a	
	Direktsaat	9,48 a	

N_{min}

Die N_{min}-Vorräte im Boden waren über alle Termine der Bodenprobennahme und die gesamte Profiltiefe nicht höher als 51,4 kg N_{min} ha⁻¹. Zur Einsaat des Winterweizens im Oktober 2009 wurde kein signifikanter Einfluss der Bodenbearbeitung festgestellt (Abb. 3.14). In Parzellen mit Untersaat Erdklee wurden mit im Mittel 12,7 N_{min} ha⁻¹ signifikant geringere N_{min}-Mengen im Boden festgestellt als in Parzellen ohne Untersaat mit 22,7 kg N_{min} ha⁻¹. Im Frühjahr 2010 konnte ein Anstieg der N_{min}-Vorräte im Vergleich zur Einsaat ermittelt werden. Die Bodenbearbeitung zur Saat der Körnererbse hatte keinen signifikanten Einfluss auf die N_{min}-Menge, jedoch konnten nach einer Bodenbearbeitung mit dem Pflug tendenziell höhere N_{min}-Vorräte, als nach Direktsaat festgestellt werden. In Parzellen mit einer Untersaat in Körnererbse lagen die N_{min}-Gehalte über denen ohne Untersaat. Einen signifikanten Einfluss auf den N_{min}-Vorrat im Boden hatte die Bodenbearbeitung zur Saat des Winterweizens. Hier wurden in den Stufen 10-30 cm und 30-60 cm nach Pflug signifikant höhere Gehalte festgestellt als nach Direktsaat. Die Differenz betrug 7, 9 kg N_{min} ha⁻¹ in 10-30 cm und 15, 2 kg N_{min} ha⁻¹ in 30-60 cm. Über die gesamte Profiltiefe hinweg konnten mit 27,5 kg N_{min} ha⁻¹ signifikant geringere N_{min}-Werte nach Direktsaat im Vergleich zu Pflug und Grubber mit 51,4 kg N_{min} ha⁻¹ und 45,2 kg N_{min} ha⁻¹ erhoben werden. Zur Ernte des Winterweizens konnte

kein Einfluss der Bodenbearbeitung zur Saat der Körnererbse oder des Winterweizens festgestellt werden. Nachdem eine Untersaat Erdklee in Körnererbse eingebracht wurde, konnten in 30-60 cm sowie über die gesamte Profiltiefe signifikant höhere N_{\min} -Vorräte unter dem Winterweizen festgestellt werden als ohne Untersaat.

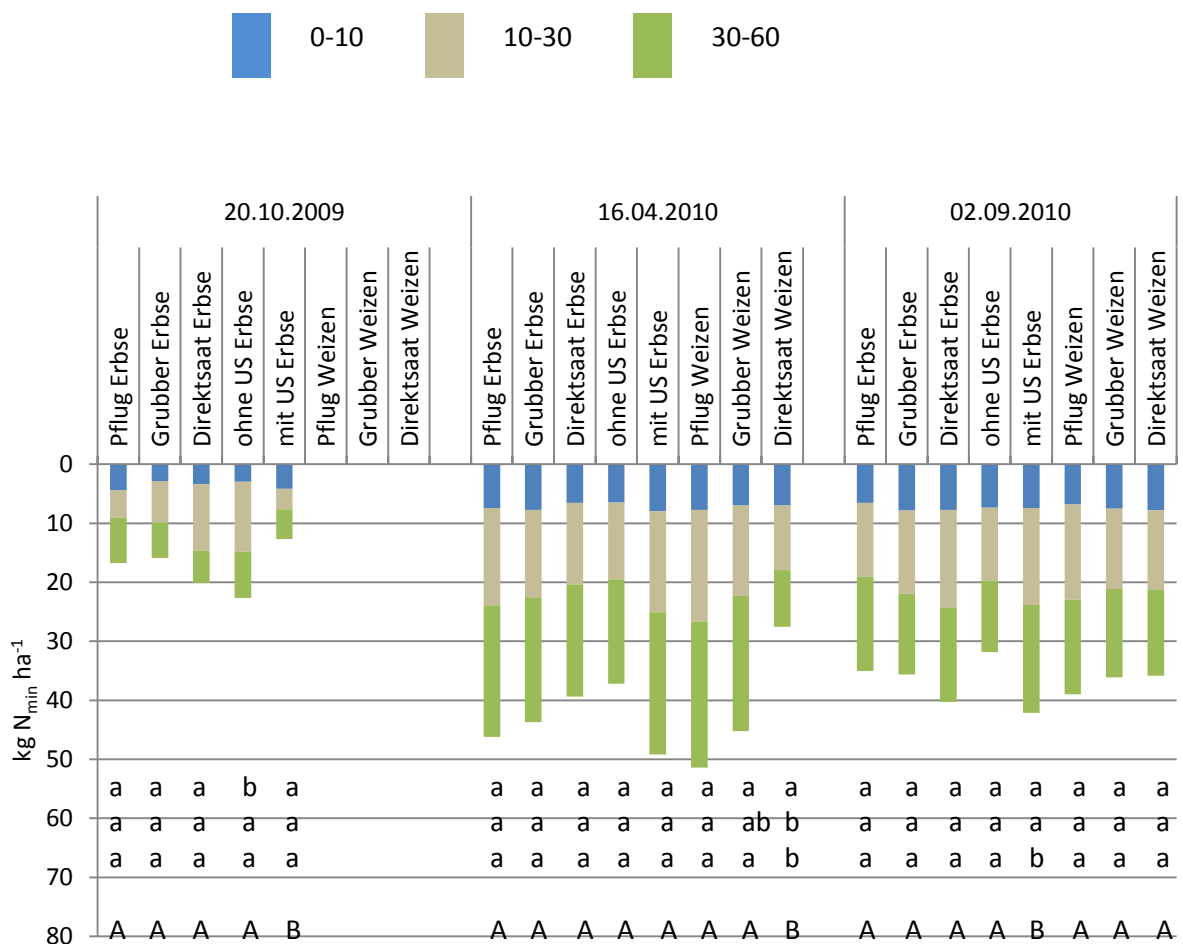


Abb. 3.14: N_{\min} -Menge [$\text{kg } N_{\min} \text{ ha}^{-1}$] im Boden in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung zur Körnererbse und Winterweizen und einer Untersaat in Erbse an allen Probennahmeterminen 2009 und 2010, Tukey-Test $\alpha=0,05$.

N-Rhizodeposition Erdklee

Während des Wachstums geben Leguminosen über ihre Wurzeln Stickstoff in den Boden ab. Diese N-Rhizodeposition wurde in einem Split-Root-Experiment für Erdklee (*Trifolium subterraneum* L.) ermittelt. Dabei wuchs die Leguminose mit einem geteilten Wurzelsystem in zwei Gefäßen. Durch eine kontinuierliche ¹⁵N-Markierung der Pflanze konnte die Höhe der N-Rhizodeposition bestimmt werden. Der mit Stroh gedüngte Erdklee bildete tendenziell weniger Gesamt-Wurzel-TM (3,2/3,6 g TM je Gefäß, mit Strohdüngung/ohne Strohdüngung, $P = 0,6115$) und eine signifikant niedrigere Spross-TM (3,4/6,2 g TM je Gefäß, $P = 0,0182$) im Vergleich zu den Erdkleepflanzen ohne eine Strohdüngung aus. Bei der strohgedüngten Variante waren Spross-N und Gesamtpflanzen-N signifikant niedriger als bei der Variante ohne Strohapplikation (Tab. 3.17).

Tab. 3.17: N-Verteilung in den Pflanzenteilen des ¹⁵N-angereicherten Erdklee unter Einfluss einer Strohdüngung, Tukey-Test $\alpha=0,05$, N_{Bt} = Summe N in Spross und Wurzel der Pflanzen

↓	Wurzel _{Gefäß Boden} - N [mg] n.T.	Wurzel _{Gefäß Vermiculit} -N [mg]	Spross-N [mg]	N_{Bt} [mg]
ohne Strohdüngung	12,5 a	26,7 a	246,2 a	285,4 a
mit Strohdüngung	9,7 a	16,2 a	120,3 b	146,1 b
P-Wert	0,4232	0,0971	0,0098	0,0153

Die Höhe des ¹⁵N-Anreicherungsgrades im Boden und in der Wurzel, die in dem mit Boden gefüllten Gefäß gewachsen war, unterschied sich nicht signifikant zwischen den Varianten. Mit Strohdüngung lag der Anteil der N-Rhizodeposition am Gesamtpflanzen-N mit 11,5% höher als in der Variante ohne Strohdüngung mit 6,5% (Tab. 3.18).

Tab. 3.18: ¹⁵N-Anreicherungsgrad von Boden und Wurzel des ¹⁵N-angereicherten Erdklee und Höhe der N-Rhizodeposition im Bodengefäß unter Einfluss einer Strohdüngung, Tukey-Test $\alpha=0,05$, N_{Bt} = Summe N in Spross und Wurzel der Pflanzen, ¹⁾¹⁵N-Anreicherungsgrad der Wurzel im Bodengefäß [at.% ¹⁵N], ²⁾Zum Zeitpunkt der Ernte, ³⁾gew. Mittel

↓	¹⁵ N-Anreicherungsgrad des Bodens ²⁾ [at.% ¹⁵ N]	¹⁵ N-Anreicherungsgrad der Wurzel ¹⁾²⁾ [at.% ¹⁵ N]	Rhizo- depositions- menge [mg N je Gefäß Boden] n.T.	N-Rhizo- deposition der Pflanze ³⁾ [in % von N_{Bt}]
ohne Strohdüngung	0,3764 a	1,4079 a	17,7 a	6,5 a
mit Strohdüngung	0,3771 a	1,6319 a	16,5 a	11,5 a
P-Wert	0,3209	0,3432	0,7615	0,2064

Betriebswirtschaftliche Betrachtung

Die Deckungsbeiträge der einzelnen Kulturen sanken mit Rücknahme der Bodenbearbeitungsintensität zur Saat der Körnererbse und des Winterweizens (Tab. 3.19). Die Deckungsbeiträge der Körnererbse sind bei allen Stufen der Bodenbearbeitungsintensität im positiven Bereich, jedoch konnte ein Rückgang von 70,64 € ha⁻¹ verzeichnet werden bei Einsaat nach Grubber im Vergleich zur Einsaat nach Pflug. Nach Direktsaat betrug der Rückgang gegenüber dem Pflug 199,45 € ha⁻¹. In Parzellen, in denen der Winterweizen in Direktsaat eingebracht wurde, konnten in keinem Falle positive Deckungsbeiträge erzielt werden. Ebenso wie in Parzellen in denen die Körnererbse in Direktsaat eingebracht wurde. Die Unterschiede in der Höhe des Deckungsbeitrages des Winterweizens zwischen Pflug und Direktsaat zur Saat des Weizens sind größer je stärker die Intensität der Bodenbearbeitung zur Saat der Körnererbse zurückgenommen wurde. In der Summe über die 3 Teile der Fruchtfolge konnten in allen Kombinationen der Bodenbearbeitung, außer Grubber/Direktsaat und Direktsaat/Direktsaat, positive Deckungsbeiträge erzielt werden. Die höchsten Deckungsbeiträge konnten in der Variante Pflug zur Saat der Körnererbse und zur Saat des Winterweizens ermittelt werden. Die Kosten der Untersaat Erdklee beliefen sich, bei der im Versuch verwendeten Saatstärke, auf 107,73 € ha⁻¹ und sind vor allem durch die sehr hohen Kosten für das Saatgut verursacht. Der positive Effekt der Untersaat auf das Wachstum des Unkrautes konnte innerhalb dieses Versuches monetär nicht bewertet werden. Alle einzelnen Komponenten der Deckungsbeiträge sind im Anhang beispielhaft für eine Schlaggröße von 2 ha sowie einen 20 ha großen Schlag aufgeführt.

Tab. 3.19: Deckungsbeiträge [€ ha⁻¹] (ohne Prämie) der Zwischenfrucht, der Körnererbse und des Winterweizens und deren Summe in Abhängigkeit einer differenzierten Grundbodenbearbeitung mit Pflug (P), Grubber (G), und Direktsaat (DS)

DB Zwischenfrucht	DB Körnererbse	DB Winterweizen	Gesamt DB
Pflug: -230,95 €	Pflug: 503,49 €	Pflug: 143,19 €	P/P: 415,73 €
Pflug: -230,95 €	Pflug: 503,49 €	Grubber: 106,45 €	P/G: 378,99 €
Pflug: -230,95 €	Pflug: 503,49 €	Direktsaat: -258,76 €	P/DS: 13,78 €
Pflug: -230,95 €	Grubber: 432,85 €	Pflug: 78,09 €	G/P: 279,99 €
Pflug: -230,95 €	Grubber: 432,85 €	Grubber: 16,15 €	G/G: 218,05 €
Pflug: -230,95 €	Grubber: 432,85 €	Direktsaat: -290,26 €	G/DS: -88,36 €
Pflug: -230,95 €	Direktsaat: 304,04 €	Pflug: -45,81 €	DS/P: 27,28 €
Pflug: -230,95 €	Direktsaat: 304,04 €	Grubber: -30,05 €	DS/G: 43,04 €
Pflug: -230,95 €	Direktsaat: 304,04 €	Direktsaat: -298,66 €	DS/DS: -225,57 €

Diskussion

Erbsen

Der Feldaufgang der Körnererbse wurde in bei den Jahren des Anbaus deutlich von der Bodenbearbeitung zur Saat der Erbse beeinflusst. Das Einbringen der Untersaat Erdklee eine Woche nach Einsaat der Erbse hatte keinen Einfluss auf das Auflaufen der Erbse. Die zusätzliche Überfahrt mit einer Drillmaschine war somit mit keinerlei Beeinträchtigung der jungen Erbsenpflanzen durch z.B. Abbrechen oder Verschütten der Keimlinge verbunden. Als weiterer positiver Effekt der zusätzlichen Überfahrt mit der Drillmaschine ist eventuell die dem Striegel ähnliche Wirkung der Federzinken der verwendeten Drillmaschine, die in einem gewissen Grad zu einer Regulation von Unkräutern beigetragen haben dürfte.

Es wurden verschiedene Umweltfaktoren im Zeitraum des Auflaufens erfasst, die einen Einfluss auf die Keimung und das Wachstum der jungen Erbsenpflanzen hatten. Diese Faktoren sind die Lagerungsdichte des Bodens im Saathorizont, die Bodenfeuchte, hier vor allem in den oberen 10 cm, und die Bodentemperatur im Saathorizont. Die Lagerungsdichte war in 2009 einheitlich hoch (1,34 bis 1,42 g cm⁻³); in 2010 war die Lagerungsdichte in Parzellen nach Pflug und Grubber deutlich niedriger (1,20 bis 1,22 g cm⁻³) als nach Direktsaat (1,38 bis 1,42 g cm⁻³). In 2010 konnte jedoch trotz geringerer Lagerungsdichte in Parzellen mit einer Bodenbearbeitung mit Pflug oder Grubber ein schlechteres Auflaufen der Körnererbse verzeichnet werden. Eine zu geringe Rückverdichtung des Bodens nach

der Bodenbearbeitung in 2010 konnte ebenso nicht festgestellt werden (KUNZEA et al. 1966). Die im Zeitraum des Auflaufens erfassten Bodentemperaturen waren in Parzellen nach Direktsaat höher als in Parzellen mit einer Grundbodenbearbeitung mit Pflug oder Grubber. In Untersuchungen von z.B. FORTIN (1992) und JOHNSON & LOWERY B. (1984) konnten hingegen stets in Parzellen mit einer Bodenbearbeitung höhere Bodentemperaturen verzeichnet werden als nach Direktsaat. Unterschiede zu den eigenen Untersuchungsergebnissen könnten in der Eingriffsintensität des Croos-slot Schares liegen. Die seitlich angebrachten Flügelschare führen offenbar zu einer Lockerung des Bodens, so dass im Saathorizont nach Direktsaat entsprechend hohe Bodentemperaturen zu verzeichnen sind. Da die Temperatur im Saathorizont bei diesem Versuch in Direktsaat höher lag, kann dies auch nicht als Ursache für den geringen Feldaufgang in Direktsaat angenommen werden. Bei der Erhebung der Bodenfeuchte konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den 3 Stufen der Bodenbearbeitungsintensität in den oberen 10 cm festgestellt werden. So kann dieser Faktor ebenso als Hauptursache für die Unterschiede im Feldaufgang ausgeschlossen werden. Der Faktor Nährstoffversorgung des Keimlings wurde nicht untersucht, jedoch sind die Nährstoffvorräte im Korn ausreichend für eine ungehinderte Keimung der Erbse (KRUG et al. 2002). Erst für eine weitere optimale Entwicklung der Pflanze ist das Nährstoffangebot entscheidend. Basierend auf diesen Faktoren ist fraglich, wodurch der geringe Feldaufgang der Körnererbse in Direktsaat begründet ist. Es könnte mit weiterführenden Untersuchungen zur Intensität der Bodenbearbeitung die notwendig, um einen optimalen Feldaufgang zu erzielen geklärt werden.

Die Entwicklung der Erbsenpflanzen erfolgt in Direktsaat nicht so gut wie nach Pflug oder Grubber, im Mittel lagen die Sprossmassen in Direktsaat stets unter denen nach einer Bodenbearbeitung mit Pflug und Grubber. Diese Entwicklung ist auch mit den Messungen der Lichttransmission übereinstimmend. In Direktsaat wurde eine geringere Abnahme der Lichttransmission beobachtet als nach Pflug und Grubber. Obwohl die Beschattungsleistung sowie die Sprossmassen der Erbse bis zur Ernte zunahm, konnte ein steter Zuwachs an Unkraut verzeichnet werden. Nach der Blüte der Erbse wurde ein deutlicher Anstieg der Verunkrautung verzeichnet. Hohe Sprossmassen sowie ein gutes Beschattungsvermögen haben nur bedingt eine geringe Verunkrautung zur Folge. Zur Blüte wurde der Nitrogen-Nutrition-Index (NNI) der Erbse aus den N-Gehalten im Spross und der Sprosstrockenmasse

berechnet (NEY et al.1997). In keinem Fall waren die Erbsen so gut mit Stickstoff versorgt, dass eine ertragsmindernde Wirkung ausblieb. Der höchste NNI wurde nach Pflug mit im Mittel 0,83 und 0,82 in 2009 und 2010 festgestellt. In Direktsaat sank die Versorgung der Erbse mit Stickstoff deutlich (NNI: 0,66 in 2009 und 0,69 in 2010), so dass der vergleichsweise geringe Ertrag nach Direktsaat auch aus einer niedrigeren N-Konzentration zur Blüte abgeleitet werden kann. Die Körnererbse in Direktsaat zeigte im Vergleich zu Pflug und Grubber ein geringeres Vermögen niedrige Bestandesdichten zu kompensieren. CORRE-HELLOU & CROZAT (2005) stellten in ihren Untersuchungen fest, dass hohe Unkrautrockenmassen in Erbse einen geringen NNI zur Folge haben, jedoch anteilig mehr Luftstickstoff fixiert wird. Die gleichen Beobachtungen konnten in diesem Feldversuch gemacht werden.

Die Sprosstrockenmasse des Unkrautes war in beiden Jahren nach Direktsaat signifikant höher als nach einer Bodenbearbeitung mit dem Pflug. Nach Untersuchungen von CORRE-HELLOU & CROZAT (2005) konnte festgestellt werden, dass bei Körnererbse eine Bestandesdichte von 80 Pflanzen je m² notwendig ist, um das Unkraut so weit zu unterdrücken, dass eine ertragsmindernde Wirkung ausbleibt. Eine vergleichbare Bestandesdichte konnte in beiden Jahren in Direktsaat nicht realisiert werden. In Parzellen mit einer Bodenbearbeitung mit Pflug oder Grubber konnte in 2009 und 2010 das Auftreten von einzelnen Rapspflanzen beobachtet werden. In Parzellen mit Direktsaat konnten keine Rapspflanzen festgestellt werden. Die Bodenbearbeitung gab somit offenbar den Impuls zur Keimung der ausgefallenen Rapssamen. Daraus kann ein Vorteil der Direktsaat gegenüber einer intensiven Bodenbearbeitung bei einem hohen Vorrat an Samenunkräutern im Boden abgeleitet werden.

Die Untersaat Erdklee wirkte in allen Systemen der Bodenbearbeitung der Entwicklung von Unkräutern entgegen. ENACHE & ILNICKI (1993) konnten in ihren Untersuchungen zu Erdklee ebenso Unkräuter erfolgreich unterdrücken. Hervorzuheben ist die Möglichkeit mit einer Untersaat mit Erdklee das Wachstum des Unkrautes im Zeitraum zwischen Drusch der Körnererbse und Einsaat des Winterweizens deutlich zu mindern.

Die Kornerträge der Erbse lagen in 2009 und 2010 nach einer Bodenbearbeitung mit dem Pflug signifikant über denen nach Direktsaat. Mit den aus den Handernten gewonnen Sprossproben wurde ermittelt, dass keine signifikanten Unterschiede in den Komponenten der Ertragsstruktur festgestellt werden konnten. Daraus kann

geschlussfolgert werden, dass der geringe Ertrag nach Direktsaat auf den niedrigeren Feldaufgang im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung zurückzuführen ist. In 2010 wurden trotz geringeren Feldaufganges im Vergleich zu 2010 im Mittel höhere Kornerträge festgestellt. Die einzelnen Erbsenpflanzen zeigten hier in 2010 eine höhere Anzahl Hülsen je Pflanze und Körner je Hülse und glichen somit das ungünstige Auflaufen aus. In Parzellen mit Untersaat Erdklee konnte in beiden Jahren ein geringerer Ertrag der Körnererbse ermittelt werden, im Vergleich zu Parzellen ohne Untersaat. Hier kann möglicherweise durch ein Einbringen der Untersaat zu einem späteren Zeitpunkt diese Wirkung minimiert werden. So wäre es möglich den Zeitraum zwischen Einsaat der Erbse und Einbringen der Untersaat noch zur Unkrautbekämpfung mit einem Striegel zu nutzen.

In 2009 konnten über das gesamte Profil hinweg max. ca. $30 \text{ kg N}_{\text{min}} \text{ ha}^{-1}$ zu BBCH 20 der Körnererbse festgestellt werden. In Direktsaat wurden zur Saat der Erbse und zu BBCH 20 geringere N_{min} -Vorräte in Direktsaat im Vergleich zu Pflug festgestellt. Bis zur Ernte der Erbse nahmen die N_{min} -Vorräte ab, so dass im Zeitraum bis zur Einsaat des Winterweizens nur eine geringe Gefahr der Auswaschung von Stickstoff bestand. Im folgenden Versuchsjahr konnten im Mittel zu allen Terminen der Bodenprobennahme höhere N_{min} -Vorräte ermittelt werden. Bis zur Ernte der Körnererbse war ein steter Anstieg bis auf ca. $80 \text{ kg N}_{\text{min}} \text{ ha}^{-1}$ nach Pflug zu beobachten, in Direktsaat bis auf $50 \text{ kg N}_{\text{min}} \text{ ha}^{-1}$. Hier wurde in Direktsaat weniger Stickstoff mineralisiert und so das Potential der N-Auswaschung gemindert. Die Verminderte Mineralisierung von Stickstoff in Direktsaat konnte ebenso in mehreren Untersuchungen von z.B. BERNER. et al. (2008) und ANKEN et al. (2003) ermittelt werden.

Die Höhe der N_2 -Fixierleistung der Körnererbse wurde in 2009 nicht von der Bodenbearbeitung beeinflusst, in 2010 hingegen wurden in Direktsaat 30 kg N_2 weniger fixiert als nach Pflug. In 2009 kompensierte die Erbse das ungünstige Auflaufen in Direktsaat hinsichtlich der N_2 -Fixierleistung. In diesem Jahr konnten nur geringe Mengen N_{min} im Boden erhoben werden, die nach Direktsaat nochmals niedriger waren als nach Pflug. Bei geringen N_{min} -Vorräten im Boden steigt die Fixierleistung der Körnererbse (PEOPLES et al. 1995). In 2010 wurden bis zum Drusch der Erbse in allen Systemen der Bodenbearbeitung etwa gleich hohe N_{min} -Mengen erhoben, so dass von einer erhöhten Fixierleistung der Erbse in Direktsaat nicht auszugehen ist.

Winterweizen

Die Menge der im Frühjahr 2010 und 2011 erfassten Pflanzen je m² wurde in hohem Maße durch die Bodenbearbeitung zur Saat zum Winterweizen beeinflusst. In Direktsaat konnten nur ca. 50 % der Pflanzen im Vergleich zu Pflug und Grubber erfasst werden. Folgend entwickelten sich die Weizenpflanzen nach Direktsaat zu Winterweizen sehr schlecht, es wurden über alle Probennahmen hinweg nur sehr geringe Zuwächse der Sprosstrockenmasse verzeichnet. Nach Pflug und Grubber zur Saat des Winterweizens konnten hingegen stete Zunahmen der Sprosstrockenmasse ermittelt werden. In 2010 konnte ein negativer Einfluss der Rücknahme der Bodenbearbeitung zur Erbse verzeichnet werden, je weniger intensiv die Unkrautregulierung über die Bodenbearbeitung zur Erbse war, umso höher war die in im Weizen erhobenen Unkrautmengen. In 2011 wurde kein Einfluss der Bodenbearbeitung zu Erbse auf das Wachstum von Unkräutern festgestellt. Nach Pflug zur Saat des Weizens wurden stets geringere Unkrauttrockenmassen verzeichnet als nach Direktsaat. Diese Ergebnisse decken sich mit vergleichbaren Untersuchungen von KETTLER et al. (2000). Hier konnte mit einmaligem Pflügen in Direktsaat das Unkraut für mindesten 3 Jahre deutlich reduziert und so höhere Erträge erzielt werden.

In Parzellen mit einer Bodenbearbeitung mit Pflug oder Grubber konnten kaum Zunahmen der Unkrauttrockenmassen beobachtet werden. Nach Direktsaat zu Winterweizen wurde ein kontinuierlicher Anstieg der Sprosstrockenmasse des Unkrautes verzeichnet. Im Winterweizen konnte eine sehr starke Vermehrung der Quecke beobachtet werden. ANDERSON (2008) machte in seinen Untersuchungen zur Unkrautregulierung in Direktsaat ähnliche Beobachtungen, eine starke Vermehrung, vor allem der Ungräser, konnte erst in der 2. Hauptkultur festgestellt werden. Des Weiteren traten in Winterfrüchten stets höhere Mengen an Ungräsern auf als in Sommerfrüchten, da Kulturen wie Winterweizen einen ähnlichen Entwicklungszyklus besitzen wie überjährige Ungräser und so eine Regulierung schlecht möglich ist. In anderen Untersuchungen zur Direktsaat von Winterweizen und Hirse von WICKS et al. (1988) wurde ein deutlicher Rückgang des Unkrautes erst nach mehreren Jahren Direktsaat festgestellt.

Die Kornerträge des Winterweizens nach Direktsaat zu Winterweizen lagen oftmals nicht in der Höhe der Aussaatstärke. Hier konnte wie bereits von ANDERSON (2008) beobachtet werden, dass die Unkrauttrockenmassen in Wintergetreidekulturen

sprunghaft ansteigen und so im Vergleich zu Sommergetreiden deutlich geringere Erträge erzielt werden. Eine ähnliche Beobachtung wurde auch bei den im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführten Versuchen gemacht. Die Referenzfrucht Sommergerste wies nach Direktsaat in 2010 einen Kornertrag von 36,2 dt ha⁻¹ und nach Pflug 41,6 dt ha⁻¹ auf, zusätzlich konnten nur geringe Unkrautmassen in allen Systemen der Bodenbearbeitung verzeichnet. Bei Direktsaat zu Winterweizen konnten weniger Ähren je m² als Pflanzen nach Überwinterung gezählt. Das bedeutet, dass nur ein geringer Teil der überwinterten Pflanzen auch zur Ausbildung von Ähren kam. Durch die verzögerte Mineralisierung bei verminderter Intensität der Bodenbearbeitung konnten jedoch, entgegen der Arbeitshypothese keine höheren Kornproteingehalte des Weizens erzielt werden.

Zur Saat des Winterweizens in 2010 konnten im Mittel nicht über 20 kg N_{min} ha⁻¹ festgestellt werden, bis zum Vegetationsbeginn in 2011 wurden ca. 25 kg N_{min} ha⁻¹ mineralisiert. In Parzellen mit Direktsaat zur Erbse wurde dabei im Mittel weniger mineralisiert. Ein deutlicher Unterschied konnte bei der Bodenbearbeitung zur Saat des Weizens festgestellt werden. Nach Direktsaat konnte hier eine deutliche Verzögerung der Mineralisierung und damit verbunden ein verringertes Risiko der Stickstoffauswaschung verzeichnet werden. In Untersuchungen von BERNER et al. (2008), ANKEN et al. (2003) und ZIHLMANN & WEISSKOPF (2006) konnte stets eine verzögerte und insgesamt geringere Mineralisierung von Stickstoff bei konservierender Bodenbearbeitung und Direktsaat festgestellt werden.

Aus den Untersuchungen ist zu schlussfolgern, dass über die Rhizodeposition bei Erdklee zwischen 6,5 und 11,5 % des in Spross und Wurzel befindlichen Stickstoffs zusätzlich während des Wachstums in den Boden abgegeben wird. Um diese Anteile erhöht sich damit insgesamt beim Anbau des Erdklee in den Boden eingetragenen N-Mengen aus der Symbiose.

Es konnten stets geringere Deckungsbeiträge nach Direktsaat als nach Pflug oder Grubber verzeichnet werden. Dies wurde durch die niedrigeren Erträge nach Direktsaat verursacht. Im Rahmen der Erhebung der Deckungsbeiträge wurden langfristig positive Effekte der Direktsaat wie Erhöhung der organischen Substanz, Erosionsminderung und weniger Arbeitszeitbedarf im Frühjahr und Herbst nicht monetär bewertet. Die geringere Ertragsleistung der Körnererbse sowie des Winterweizens in Direktsaat konnte nicht durch einen geringeren Kostenaufwand oder einen Anstieg der Qualität kompensiert werden. Eine Untersaat mit Erdklee ist durch hohe Saatgutpreise kostenintensiv. In Parzellen mit Untersaat wurde weniger Unkraut festgestellt, jedoch wirkte die Untersaat leicht ertragsmindernd auf die Erbse, in der folgenden Frucht Winterweizen konnte kein positiver Effekt auf die Unkräuter festgestellt werden, so dass das Einbringen einer Untersaat mit Erdklee aus betriebswirtschaftlicher Sicht kurzfristig nicht sinnvoll erscheint.

3.4: Teilprojekt 4:

Material und Methoden,
Ergebnisse und Diskussion

„Nährstoffversorgung zur Optimierung der N₂-Fixierung und Produktivität von Körnerleguminosen“

Förderkennzeichen: 08OE147

Projektleitung: Prof. Dr. Heiner E. Goldbach, Prof. Dr. Heinrich W. Scherer

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, INRES-Pflanzenernährung

Bearbeitung: Dipl. Ing. agr. Claudia Seehuber

3.4.1 Material und Methoden

Gefäßversuch 2009

Für eine erste Abschätzung der Wirksamkeit zugelassener Düngemittel wurden diese zunächst in neun Düngevarianten mit 4-facher Wiederholung (Tab. 4.1) in einem Gefäßversuch getestet. Die Varianten wurden entsprechend Tab. 4.1 mit verschiedenen Nährstoffen ergänzt. Als Versuchspflanze diente *Vicia faba minor* (Sorte: Fuego), die vor der Aussaat mit Rhizobien inokuliert wurde. Pro Topf wurden 5 Samen ausgesät.

Die beiden Kontrollen unterschieden sich in ihrer P-Zufuhr. Während der ersten Kontrolle 80 kg P/ha in Form von Super-P zugeführt wurde, wurde bei der zweiten Kontrolle auf eine P-Zugabe verzichtet. Hierdurch sollte eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den P-Düngern erreicht werden. Aus Tabelle 4.2 ist die Nährstoffzufuhr mittels SeRo-Dünger zu entnehmen. Die Düngemittel wurden so ergänzt, dass insgesamt je 80 kg P/ha und 160 kg K/ha gedüngt wurden.

Das Düngerband wurde jeweils 10-12 cm tief im Boden direkt unter den Saatkörnern appliziert. Die Tiefe der Kulturgefäße, die jeweils mit 24 kg Unterboden einer P-armen Parabraunerde (Versorgungsstufe A) aus Löss gefüllt waren, betrug 30 cm. Der Versuchsboden zeichnete sich durch folgende Nährstoffgehalte aus:

2,11 mg P_2O_5 /100 g Boden (CAL)

4,24 mg K_2O /100 g Boden (CAL)

8,24 mg MgO /100 g Boden ($CaCl_2$)

0,035 % N_{total} (Kjeldahl)

Die Aussaat fand am 08.07.2009 statt und der Versuch endete am 07.10.2009 nach der zweiten Blattprobenahme.

Tabelle 4.1: Ergänzungen zu den Düngern je Kulturgefäß

Zusatzdünger	K ₂ SO ₄	Mg(SO) ₄ · 7 H ₂ O	Mikro + Mo, B ³	Mikro – Mo, B	Super-Phosphat	Super-Phosphat	Super-Phosphat	Super-Phosphat
Menge _{gesamt}	6,7 g	12,17 g	10 ml	10 ml	10,25 g	10,63 g	11,62 g	12,79 g
Menge _{rein}	3 g K	1,19 g Mg			2,52 g P	2,62 g P	2,86 g P	3,14 g P
1 = Roh-Phosphat ²	X	X	X					
2 = FKM ²	X	X	X					
3 = FKM verascht ²	X	X	X					
5 = Gärrückst.		X		X	X			
6 = Kompost		X		X		X		
7 = Trauben-Trester, komp.		X		X			X	
8 = Kontrolle ¹	X	X	X					X
9 = Kontrolle ²	X	X	X					

¹ 80 kg/ha P in Form von Super-P, ² ohne P-Zugabe, ³ 1,5 kg B/ha wurden gedüngt mit Borax, FKM = Fleischknochenmehl

Tabelle 4.2: Nährstoffzufuhr durch die SeRo-Dünger und Roh-Phosphat

SeRo-Dünger	K (kg/ha)	P (kg/ha)	N (kg/ha)
Fleischknochenmehl	gering	80	78
Roh-Phosphat ¹	0	80	0
Trauben-Trester	160	15	148
Kompost	160	29	158
Gärrückstand	160	29	101

¹Roh-Phosphat Khouribga enthält 14 % P

Zwischenfrucht-Feldversuch 2009

Die Ackerbohnen (45 Körner/m²) wurden mit einer Semeato Direktsaatmaschine mit einer Reihenweite von 34 cm und einem Abstand der Körner in der Reihe von ca. 6,7 cm am 8.8.2009 auf dem Versuchsgut Wiesengut als Zwischenfrucht gesät. Tabelle 4.3 zeigt die verwendeten Düngemittel. Die Herausforderung bestand darin, dass der Dünger mit den Düngerscharen ausgebracht werden sollte. Dies funktionierte nur mit feinen Granulaten oder rieselfähigem Pulver. Die Ausbringung von 40 kg Fleisch-Knochen-Mehl (FKM) mittels der Semeato-Maschine war praktisch nicht möglich. Aufgrund der zu geringen Rieselfähigkeit wurden nur maximal 10

kg/ha FKM ausgebracht (Tabelle 4.3). Eine Trocknung der Sekundärrohstoff-Dünger (Gülle, Trester, Kompost) konnte die Rieselfähigkeit nicht maßgeblich steigern. Aus diesem Grund wurde der später folgende Feldversuch 2010 mit Ausnahme von Roh-Phosphat mit der Hand gedüngt. Der Bestand wurde dokumentiert und am 23.10.2009 wurden Blattproben der obersten ausgewachsenen Blätter genommen.

Tabelle 4.3: Ausbringungsmenge verschiedener Dünger, Zwischenfruchtversuch Wiesengut, 08.08.2009

Variante	K (kg/ha)	P (kg/ha)	N (kg/ha)	S (kg/ha)	B (kg/ha)	Mo (kg/ha)
1 = Kontrolle	0	0	0	0	0	0
2 = Roh-Phosphat	0	40	0	0	0	0
3 = Roh-Phosphat + Dolomit ¹	0	40	0	0	0	0
4 = FleischKnochenMehl (10 kg/ha)	gering	0,71	0,66	n. a.	n. a.	n. a.
5 = Natrium-Molybdat	0	0	0	0	0	3
6 = Borax	0	0	0	0	1,5	0

¹ Bei Variante 3 wurden 4 kg/ha CaCO₃ (Dolomit) ausgebracht. Das entspricht 1,44 kg Ca/ha. n. a. = nicht analysiert

Blattproben aus Praxisbetrieben

Von 45 Landwirten aus ganz Deutschland wurden insgesamt 105 Blattproben von Ackerbohnen an das INRES-Pflanzenernährung der Universität Bonn geschickt. Diese wurden sofort nach Ankunft bei 50 bis 60 °C im Trockenschrank getrocknet und anschließend in einer Scheibenschwingmühle vermahlen. Genauso wurde bereits mit den Blattproben aus dem Gefäßversuch und dem Zwischenfruchtversuch verfahren. Die Landwirte hatten einen kurzen Fragebogen ausgefüllt, der Auskunft über Sorte, Bodenart, Niederschlag, Düngung, Bodenbearbeitung und Wachstumsbedingungen gab. Nach der Ernte wurde der Ertrag festgehalten. Außerdem wurden in die Nährstoffvergleiche noch Proben von Versuchen der Landwirtschaftskammer NRW im Jahr 2009, sowie Proben von verschiedenen Versuchsflächen des Wiesenguts in Hennef bei Bonn und der anderen Projektpartner aus den Jahren 2009 und 2010 einbezogen. Somit standen 416 Blattproben des Entwicklungsstadiums Beginn und Mitte Blüte zur Verfügung, um die Kennwerte für die Nährstoffversorgung der Ackerbohne festzulegen. Die Mikronährstoffe außer Mangan wurden nur in 248 Proben gemessen, da sich deren Gehalte bei Versuchswiederholungen von ackerbaulichen Versuchen nicht unterschieden.

Feldversuch 2010

Standort, Anbau und Düngung

Der Versuch wurde an 4 Standorten durchgeführt:

- Wiesengut (Niederrheinische Bucht) - Ökologisches Versuchsgut; Direktsaat mit 6 t Strohmulchauflage pro ha
- Niederkrüchten (Niederrheinische Tiefebene) - Biolandbetrieb Bolten; Direktsaat mit 6 t Strohmulchauflage pro ha
- Willich-Anrath - Biolandbetrieb Leiders; Direktsaat mit 6 t Strohmulchauflage pro ha
- Klein-Altendorf - Konventionelles Versuchsgut der Uni Bonn; Grubbereinsatz im Herbst – Einarbeitung der 6 t Strohmulchauflage pro ha

Anbautechnisches Verfahren

Ackerbohne

Die Ackerbohnen wurden mit einer mechanischen Direktsaatmaschine Semeato SMH 11/13, Einzelkornsaat mit 3 Scheiben und einer Arbeitsbreite von 2,8 m direkt in den unbearbeiteten Boden durch die Mulchschicht gesät. Nur in Klein-Altendorf wurde das Feld im Herbst vor der Frühjahrssaat gegrubbert. Die weiteren Daten sind aus der folgenden Auflistung zu entnehmen:

Vorfrucht:	Hafer; nur in Klein-Altendorf Winterroggen
Sorte:	Fuego
Ablagetiefe:	7 cm
Reihenabstand:	34 cm mit Bohnen
Körner je m ² :	50
TKM:	551,8 g
Keimfähigkeit:	89 %, mit der Ausnahme von Klein-Altendorf (80 %)

Der Feldaufgang wurde erfasst und ist in Tabelle 4.4 wiedergegeben.

Tabelle 4.4: Feldaufgang: Tatsächlich gekeimte Bohnenpflanzen und Dichte des Aufwuchses

Standort	Datum Bonitur	Bohnenpflanzen /fd. m	Bohnenpflanzen /m ²	Gekeimte (%)
Wiesengut	21.04.2010	11,2	33,5	67,0
Leiders	29.04.2010	8,0	23,8	47,6
Bolten	22.04.2010	12,9	38,7	77,4
Klein-Altendorf	14.05.2010	10,8	32,4	64,8

Sommerweizen

Der Sommerweizen, der als Referenzpflanze diente, wurde mit einem Handsäugerät der Firma Sembdner ebenfalls direkt gesät. In Klein-Altendorf wurde der Weizen mit einer Sämaschine gesät. Die weiteren Daten sind in der folgenden Auflistung und in Tabelle 4.5 zu finden:

Sorte: *Scirocco* an den Bio-Standorten und *Taifun* in Klein-Altendorf
Ablagetiefe: 3 cm bis 4 cm
Reihenabstand: 15 bis 16 cm, mit Ausnahme von Klein-Altendorf (9,6 cm)
Körner je m²: 450 = 17,7 g/m² = 74 Samen/m
TKG: 39,25 g

Termine der Aussaat & Düngung

Tabelle 4.5: Saattermine und Zeitpunkte der Düngung

Standort	Aussaat Ackerbohne	Aussaat Sommerweizen	Düngung der Ackerbohnen & des Sommerweizens
Wiesengut	18.03.2010	31.03.2010	25.03.2010
Niederkrüchten	18.03.2010	24.03.2010	18.03.2010
Willich-Anrath	07.04.2010	15.04.2010	15.04.2010
Klein-Altendorf	12.04.2010	06.04.2010	10.05.2010 bis 14.05.2010

Düngung

Alle Dünger wurden zeitnah zum Vegetationsbeginn ausgebracht. Kaliumsulfat (gekörnt), Natrium-Molybdat als Pulver, Borax als Pulver, Fleischknochenmehl, Bio-Kompost vor allem aus Grünabfällen, Apfeltrester (schon angegoren), Gärrückstand aus Mais und Rindergülle (flüssig) wurden mit der Hand – letztere mit der Gießkanne - breitflächig ausgebracht. Die SeRo-Dünger Fleischknochenmehl, Kompost, Apfeltrester und Gärrückstand in Klein-Altendorf wurden außerdem in der Reihe/als Band neben der Kultur ausgebracht. Das Roh-Phosphat in Pulverform wurde mittels Düngescharen an der Sämaschine unter Fuß gedüngt. Tabelle 4.6 zeigt die Düngevarianten an den 4 Standorten.

Um die Düngevarianten vergleichen zu können, gab es eine ungedüngte Kontrolle und eine vollgedüngte Kontrolle, die mit allen in diesem Versuch aufgeführten Mineraldüngern gedüngt wurde. Die „Volldüngung“ setzt sich also aus Kaliumsulfat, Roh-Phosphat, Borax und Na-Molybdat zusammen.

Die Dünge­menge richtete sich nach dem Kalium-Gehalt oder dem Phosphor-Gehalt der Dünger (Tab. 4.7). Diese wurde bei den SeRo-Düngern zuvor ermittelt. Das heißt, alle Dünger, die Kalium enthalten, wurden so gedüngt, dass jeweils 80 kg K/ha ausgebracht wurden. Dementsprechend wurden die Dünger, die P enthalten so abgewogen, dass 40 kg P/ha gedüngt wurden.



Bild 5: Düngeversuch Klein-Altendorf, 10. Mai 2010

Tabelle 4.6: Düngevarianten an den verschiedenen Standorten

Dünger / Variante	breit	Reihe	Standort*
Kontrolle = ungedüngt			alle
Apfeltrester	X	X	K-A
Fleischknochenmehl (FKM)	X	X	N & K-A
Gärrückstand (Mais, Rindergülle)	X	X	K-A
Kompost (besonders Grünabfall)	X	X	K-A
Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ = Natriumtetraborat-Dekahydrat)	X		WG, N, K-A
Natrium-Molybdat-Dihydrat ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$)	X		WG, N, K-A
Gemahlene Roh-Phosphat [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$]		Unterfuß	alle
Kaliumsulfat (K_2SO_4)	X		alle
„Volldüngung“ → P + KS + B + Mo	X	nur P Unterfuß	alle

*K-A = Klein-Altendorf, WG = Wiesengut, N = Niederkrüchten, W-A = Willich-Anrath

Tabelle 4.7: Ausgebrachte Düngemenge (Frischmasse) und entsprechende Nährstoffgehalte

Dünger	Menge (FM) (kg/ha)	K (kg/ha)	P (kg/ha)	N (kg/ha)	S (kg/ha)	B (kg/ha)	Mo (kg/ha)	Mg (kg/ha)
FKM	560	gering	40	39	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
Roh-P	286	0	40	0	0	0	0	~ 0,9
Na-Molybdat	2,6	0	0	0	0	0	1	0
K_2SO_4	194	80	0	0	35	0	0	0
Borax	7,6	0	0	0	0	1	0	0
P+KS+B+Mo	490	80	40	0	35	1	1	0
Apfeltrester	34750	80	5	76	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
Gärrückstand	23843	80	12	55	n. a.	n. a.	n. a.	10
Kompost	12947	80	19	107	54	n. a.	n. a.	37

n. a. = nicht analysiert

Roh-P enthält 30 – 45 % Ca und ca. 14 % P

Versuchsaufbau

Der Düngeversuch - randomisierte Blockanlage - umfasste an allen vier Standorten vier Wiederholungen. Eine einzelne Ackerbohnen-Parzelle war 12 m x 2,80 m groß, die Weizen-Parzellen waren mit 4 m x 2,80 m dimensioniert.

Bodenproben

Zur Bestimmung der „verfügbaren“ Nährstoffgehalte im Boden, wurden je Parzelle in einer Tiefe von 0 bis 30 cm Bodenproben mit Bohrstöcken entnommen (Tab. 4.8). Da die Wurzeln der Ackerbohnen die Nährstoffe vor allem aus dem Ap-Horizont entnehmen, wurde auf eine tiefere Beprobung verzichtet. Der Boden aus 2 bis 3 Einstichen wurde zu einer Mischprobe von ca. 200 g verarbeitet. Diese wurde luftgetrocknet und mit einem 2 mm Sieb gesiebt. Die Probenentnahme erfolgte sowohl vor der Düngung als auch nach der Ernte der Ackerbohnen.

N_{min}-Proben

Proben für die Messung des mineralisierten Stickstoffs wurden vor Vegetationsbeginn und nach der Ernte gezogen. Die Beprobung vor der Ackerbohne erfolgte nicht parzellenweise, sondern über den Schlag verteilt (7 Einstiche pro Wiederholung/Block). Nach der Kultur wurde aus jeder Parzelle einzeln Boden mit 3 Einstichen entnommen. Die Unterteilung der Tiefen erfolgte in 0 bis 30 cm, 30 bis 60 und 60 bis 90 cm Bodentiefe (Tab. 4.8).

Tabelle 4.8: Übersicht über die Bodenproben 2010 in Tiefe und Anzahl

Standort	Tiefe (cm)	Datum Probenahme N _{min}	Anzahl N _{min} -Proben	Datum Probenahme, trocken	Anzahl getrockneter Boden
Wiesengut	0 bis 10 10 bis 20 20 bis 30 0 bis 30 30 bis 60 60 bis 90	02.04.2010 & 11.08.2010	4 & 40 4 & 40 4 & 40	25.3.2010 & 11.08.2010	24 & 24 24 & 24 24 & 24
Niederkrüchten	0 bis 10 10 bis 20 20 bis 30 0 bis 30 30 bis 60 60 bis 90	25.05.2010 & 05.08.2010	16 & 48 16 & 48 16 & 48	23.4.2010 & 07.08.2010	28 & 28 28 & 28 28 & 28
Willich-Anrath	0 bis 30 30 bis 60 60 bis 90	25.05.2010 & 06.08.2010	16 & 32 16 & 32 16 & 32	07.04.2010 & 06.08.2010	16 & 16
Klein-Altendorf	0 bis 30 30 bis 60 60 bis 90	19.05.2010 & 17.08.2010	32 & 96 32 & 96 32 & 96	12.4.2010 & 12.08.2010	56 & 56

Blattproben

Die Ackerbohnen-Blattproben wurden zu 3 verschiedenen Entwicklungsstadien genommen (Tab. 4.9) und die Sommerweizen-Blattproben zu 2 Entwicklungsstadien (Tab. 4.10). Aufgrund der Trockenheit des Versuchsjahres sowie der schnellen unregelmäßigen Entwicklung (inhomogene Bestände) konnte kein exakt definiertes BBCH-Stadium abgegrenzt werden. Auf dem Standort Willich-Anrath gab es ein Problem mit Mäusefraß an den Weizenpflanzen, weshalb das Blattmaterial nur für eine Probenahme reichte.

Ausgewählt wurden die jüngsten vollentwickelten Blätter. Bei Verunreinigungen mit Erde oder Blattläusen wurden sie vorsichtig in Wasser geschwenkt, um eine genaue Analyse zu ermöglichen. Die Blattproben wurden nach der Entnahme bei 40 °C bis 60 °C 4 Tage lang getrocknet. Die Blätter wurden in der Scheibenschwingmühle pulverfein gemahlen.

Tabelle 4.9: Zeitpunkte der Blattprobenahme der Ackerbohne

Standort	BBCH-Stadium	Entwicklungsstadium	Datum Probenahme
Wiesengut	31 bis 33	Schossen mit 1 bis 3 gestreckten Internodien	21.05.2010
	65	Vollblüte	11.06.2010
	67 bis 70	Abgehende Blüte bis Beginn Hülsenbildung	23.06.2010
Niederkrüchten	32 über 39 bis 51	Schossen bis Blütenknospenbildung	25.05.2010
	65	Vollblüte	10.06.2010
	67 (bis 69)	Abgehende Blüte (bis Ende Blüte)	17.06.2010
Willich-Anrath	51 bis 59	Blütenknospenbildung bis 1. Aufblüte	10.06.2010
	63	Zwischen Blühbeginn und Vollblüte	17.06.2010
	65 bis 69	Vollblüte bis Ende Blüte	24.06.2010
Klein-Altendorf	30 bis 32	Beginn Schossen bis 2 gestreckte Internodien	02.06.2010
	59 bis 63	Beginn Blüte	15.06.2010
	65 bis 71	Vollblüte bis Beginn Hülsenbildung	28.06.2010

Tabelle 4.10: Zeitpunkte der Blattprobenahme des Sommerweizens

Standort	BBCH-Stadium	Entwicklungsstadium	Datum Probenahme
Wiesengut	30 bis 33	Schoßbeginn bis 3-Knoten-Stadium	11.06.2010
	48 bis 59	Ährenscheiden bis Ende Ährenschieben	22.06.2010
Niederkrüchten	(30 bis) 32	Schoßbeginn bis 2-Knoten-Stadium	10.06.2010
	51 bis 55	Beginn bis Mitte Ährenschieben	17.06.2010
Willich-Anrath	30 bis 55	Schoßbeginn bis Mitte Ährenschieben	24.06.2010
Klein-Altendorf	45 bis 51	Ährenscheiden bis Beginn Ährenschieben	16.06.2010
	69 bis 71	Ende Blüte bis Anfang Kornbildung	05.07.2010

Wurzelernten

Am 07.07.2010 - ausschließlich am Standort Wiesengut - als die Ackerbohnen das BBCH-Stadium 72 erreicht hatten, wurden Wurzeln durch Zug mit Ansatzpunkt unten am Stiel, aus dem Boden geholt, der zuvor oben herum gelockert wurde. Diese Probenahme bezieht sich auf ausgewählte Varianten, wovon nur die Varianten: Kontrolle und „Volldüngung“ genauer inspiziert wurden. Je Variante wurden die Knöllchen von 40 Wurzeln gezählt und gewogen, also 10 Wurzeln je Wiederholung.

Endernte der Körner und Hülsen

Einzelpflanzen

Da die Ackerbohnen notreif wurden, wurde vor dem Drusch eine Handernernte durchgeführt. So liessen sich die einzelnen Ertragsparameter wie Anzahl Hülsen pro Pflanze und Körner pro Hülse feststellen.

Parzellendrusch

Die Ackerbohnenparzellen wurden zur endgültigen Reife der Ackerbohnen gedroschen (Tab. 4.11). Der Standort Willich-Anrath konnte nicht gedroschen werden, da die Bohnenpflanzen zu klein und zu dicht am Boden waren und kurz zuvor 60 mm Regen niedergingen, die für erheblichen Ausfall sorgten.

Tab. 4.11: Termine der Endernte der Ackerbohne

Standort	Datum Einzelplanzenernte	Anzahl Pflanzen	Datum Parzellendrusch
Wiesengut	27.07.2010	30	01.08.2010
Niederkrüchten	22.07.2010	30	31.07.2010
Willich-Anrath	28.07.2010	40	n.b. (Ausfall)
Klein-Altendorf	04.08.2010	30	04.08.2010

Die Höhe der Ackerbohnen wurde am 10.6.2010 in Niederkrüchten zum Zeitpunkt der Vollblüte, am 10.6.2010 in Willich-Anrath zum BBCH-Stadium 51 bis 59, am 15.6.2010 in Klein-Altendorf zum BBCH-Stadium 59 bis 64, und am 23.6.2010 auf dem Wiesengut zum Zeitpunkt der Endblüte gemessen.

Ertrag und Körnerproben für C/N

Zur Bestimmung des Trockenmasseertrages sowie des TKGs wurden die Körner der Ackerbohnen aus Parzellendrusch und der Einzelpflanzenernte bei 105 °C 24 h getrocknet. Die Zählung der Körner erfolgte mit dem Zählgerät „Contador“ der Firma Pfeuffer. Die getrockneten Körner wurden mit der Scheibenschwingmühle vermahlen, und anschließend für eventuelle weitere Analysen aufbewahrt.

Laboranalytik - Pflanzenproben

Um die Elemente Ca, P, K, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B & Mo zu bestimmen, wurden die feingemahlene Blattproben mit 65 %iger Salpetersäure (HNO₃) aufgeschlossen. Nach dem Säuredruckaufschluss wurden die Proben filtriert.

Die K- und Ca-Messung erfolgte am Flammenfotometer der Firma Eppendorf „Elex 6361“. Bevor Ca störungsfrei gemessen werden kann, muss dabei Phosphat ausgefällt werden. Dazu wird die Probelösung mit Hexamethylentetramin (7 %ig) oder auch Urotropin genannt und Fe (III) Chlorid (5 %ig) aufgeköcht. (Proben aus 2009 wurden mit Lachgas am AAS gemessen.)

Die Mg-, Zn-, Mn-, Fe-, und Cu-Messungen erfolgten am Atomabsorptionsspektrometer (AAS) „Perkin Elmer 1100B“.

Phosphat wurde nach der Molybdänblau-Methode am Flammenfotometer „Eppendorf ECOM 6122“ bestimmt.

Bor wurde nach der Curcumin-Methode doppelt bestimmt. Der Bor-Gehalt wird am UV/VIS Spektrometer der Firma Perkin Elmer „Lambda 20“ bei einer Wellenlänge von 550 nm gemessen.

Molybdän wurde über die ICP-OES = **O**ptische **E**missions-**S**pektroskopie mit Anregung durch ein induktiv gekoppeltes Plasma, wobei ICP die Abkürzung für **I**nductively **C**oupled **P**lasma ist, gemessen.

Die Gesamt-Gehalte der Elemente Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel wurden per Elementaranalyse bestimmt.

Die SeRo-Dünger wurden mittels trockener Veraschung aufgeschlossen.

Laboranalytik - Nährstoffe im Boden

Bei der Analyse der Nährstoffe im Boden wurden nur die pflanzenverfügbaren Nährstoffe gemessen.

50 g des vorher homogenisierten Bodens wurden mit 200 ml 1 %iger Kaliumsulfat-Lösung 1 h über Kopf geschüttelt, um N_{\min} zu extrahieren. Von jeder Probe wurde die Trockenmasse bestimmt. Die Messung erfolgte über den Autoanalyser (continuous flow analyzer). Ammonium-N wird bei einer Wellenlänge von 660 nm und Nitrat-N bei einer Wellenlänge von 520 nm gemessen.

$$N_{\min} \text{ (kg/ha)} = \text{Nitratstickstoffmenge (kg/ha)} + \text{Ammoniumstickstoffmenge (kg/ha)}$$

Die CAL-Methode nach Schüller (Verbandsmethode des VDLUFA) wurde angewandt, um pflanzenverfügbares Phosphat und Kalium zu bestimmen. Im Filtrat wurde Kalium direkt am Flammenphotometer (Elex 6361 der Firma Eppendorf) bestimmt. Zur Phosphatbestimmung wurde das Molybdänblau-Verfahren gewählt.

Die Messung des pH-Wertes erfolgte in 0,01 M CaCl_2 im Extraktionsverhältnis 1:10 (w/w).

Statistik

Die Varianzanalysen wurden mit der Miniversion des Programms PLABSTAT (*Plant breeding statistics*) des Instituts für Pflanzenzüchtung der Universität Hohenheim gerechnet. Die 4 Standorte wurden sowohl einzeln als auch zusammen verrechnet über eine ANOVA: Tukey-Test & LSD. Der F-Wert, der in den Ergebnistabellen die Signifikanzen angibt, bezieht sich auf den Tukey-Test. Zur Auswertung der Nährstoffverteilung und -verhältnisse in ertragsschwachen bis ertragsstarken Ackerbohnenfeldbeständen wurden Korrelationen und multiple Regressionen berechnet.

Schätzmethode für die N_2 -Fixierung

Für die Schätzung der fixierten N-Menge wurde aus Kostengründen die Differenzmethode gewählt. Als Referenzpflanze für die Ackerbohne (AB) wurde Sommerweizen (SW) ausgesucht, da es keine isogenen Linien – ohne die Fähigkeit Knöllchen zu bilden und N_2 zu fixieren - der Ackerbohne gibt. Nach BERGMANN (1983), FAGERIA (1997) & PLANCQUAERT haben Ackerbohnen zum Beginn der Blüte gleich viel N in den Blättern wie Sommerweizen zu Beginn bis Mitte Schossen, wenn der Weizen normal gedüngt wurde. Die Spanne beläuft sich auf 30 bis 55 g N/kg. Nach folgender Rechnung ergibt sich dann die fixierte N-Menge pro kg Ackerbohnen-Trockenmasse:

$$N_{2\text{fix}} \text{ (g/kg TM)} \approx \text{N-Gehalt}_{\text{ABBlatt}} - \text{N-Gehalt}_{\text{SWBlatt}}$$

Der prozentuale Anteil an Luftstickstoff in der Ackerbohne wurde nach folgender Gleichung geschätzt:

$$\text{Ndfa (\%)} \approx \frac{N_{2\text{fix}}}{\text{N-Gehalt}_{\text{ABBlatt}}} \cdot 100$$

Außerdem wurde für die Schätzung der fixierten N-Menge pro Hektar die Ertragsmethode angewandt. Folgende Faustzahlen wurden verwendet (KLÖBLE & ZEHR, 2005; ANONYM, 2008):

ökologischer Landbau

$$N_{2\text{fix}} \text{ (kg/ha)} \approx 3,2 \text{ (kg N/dt FM)} \cdot \text{FM-Kornertrag (dt/ha)}$$

bis

$$N_{2\text{fix}} \text{ (kg/ha)} \approx 4,2 \text{ (kg N/dt FM)} \cdot \text{FM-Kornertrag (dt/ha)}$$

konventioneller Landbau

$$N_{2\text{fix}} \text{ (kg/ha)} \approx 5 \text{ (kg N/dt FM)} \cdot \text{FM-Kornertrag (dt/ha)}$$

Zum Vergleich wurde auch die Ertragsmethode nach KOLBE *et al.* (2002), ALBERT *et al.* (1997) & SCHMIDTKE (2002) mit einem definierten N-Gehaltsfaktor angewendet:

$$N_{2\text{fix}} \text{ (kg/ha)} \approx \text{FM-Kornertrag (dt/ha)} \cdot \text{N-Gehalt im Korn (kg/dt)} \cdot \text{Faktor}$$

dabei variiert der Faktor mit dem Ertrag

Faktor = 1,44 wenn Kornertrag < 20 dt/ha

Faktor = 1,32 wenn Kornertrag 20 - 40 dt/ha

Faktor = 1,08 wenn Kornertrag > 40 dt/ha

Der durchschnittliche N-Gehalt im Korn ist 4,2 kg/dt.

Die Trockenmasseproduktion der Ackerbohnen wurde mit folgender Gleichung geschätzt:

$$TM_{\text{ABgesamt}} \text{ (kg/ha)} = \text{Kornertrag}_{\text{AB}} \cdot 3,65 + \text{Wurzelmasse}_{\text{AB}}$$

DRIS

Die DRIS-Normen wurden wie in der Anleitung von DRECHSEL (1994) (: DRIS - Diagnosis and Recommendation Integrated System – in Theorie und Praxis) beschrieben, ermittelt.

Alle Blattproben wurden zum gleichen Entwicklungsstadium genommen (Beginn/Mitte Blüte). Auch wurden nur gleich alte Blätter beprobt. 416 Blattproben sind in die Evaluation von DRIS eingeflossen, wobei für die Norm-Werte nur die Ackerbohnenbestände mit eingegangen sind, die 80 % bis 100 % des Höchstertages aufwiesen. Da es sich bei den Proben um Mischproben handelte und nicht um einzeln beprobte Pflanzen, ist die Genauigkeit höher als bei 416 Blattproben aus einem Gefäßversuch mit 416 Versuchsgefäßen. Eine Mischprobe enthält die Blätter von 10 bis 30 Pflanzen. Somit wurden ca. 8320 einzelne Pflanzen beprobt.

Es wurden die Gesamtgehalte der Nährstoffe C, N, K, P, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, Cu, B und Mo in den Ackerbohnenblättern gemessen. Die Analyseergebnisse wurden mit Literaturwerten verglichen. Dabei wurde besonders auf Optimum-Werte und CNL (*Critical Nutrient Level*) eingegangen. Auch die Ergebnisse der Blatt- und Bodenanalysen wurden verglichen. Die Streuung in der *high-yielding population* = Normpopulation soll signifikant unter der Streuung in der *low-yielding population* = Restpopulation liegen. Dazu wird das passende Testniveau gewählt:

Niveau 1 nach BEAUFILS, 1973:

Ein Quotient eignet sich zur Differenzierung der Populationen, wenn er in der *high-yielding population* eine signifikant niedrigere Varianz ($p \leq 0,100$) besitzt, als in der Restpopulation.

Niveau 2:

Ein Quotient eignet sich zur Differenzierung der Populationen, auch wenn die Varianz zwar niedriger, aber nicht signifikant ist ($p > 0,100$). Dafür muss der Quotient aber zusätzlich signifikant unterschiedliche Mittelwerte ($p \leq 0,100$) in beiden Populationen aufweisen.

Niveau 3:

Ein Quotient eignet sich zur Differenzierung der Populationen, wenn er in der *high-yielding population* eine tendenziell niedrigere Varianz ($p < 0,200 = 20 \text{ %-Level}$) als in der Restpopulation besitzt.

Niveau 4 nach JONES, 1981:

Ein Quotient eignet sich zur Differenzierung der Populationen, wenn sich seine Mittelwerte in beiden Populationen signifikant ($p \leq 0,100$) unterscheiden (t-Test).

Auch die t-Test-Ergebnisse wurden zur Festlegung der DRIS-Normen = relevante Quotienten herangezogen. Für die DRIS-Normen wurde der Mittelwert (\bar{x}), die Standardabweichung (SD) und der Variationskoeffizient (CV) bestimmt. Dann wurden die Variationskoeffizienten ($CV = SD \cdot 100/\bar{x}$) für die Indexkalkulation berechnet. Anhand der Quotienten wurden für alle untersuchten Nährstoffe die Nährstoffindizes (*nutrient indices*) gebildet.

Am Beispiel des N/P-Quotienten ist hier die Rechnung dargestellt:

Wenn $N/P_{rest} \geq N/P_{high\ x}$, dann ist $f(N/P) = ((N/P_{rest})/(N/P_{high\ x}) - 1) \cdot 1000/CV$

Wenn $N/P_{rest} < N/P_{high\ x}$, dann ist $f(N/P) = (1 - (N/P_{high\ x})/(N/P_{rest})) \cdot 1000/CV$

wobei:

N/P_{rest} : N/P-Verhältnis der jeweils zu untersuchenden Probe(n)/Standort

$N/P_{high\ x}$: mittlerer N/P-Quotient der DRIS-Norm

CV: Variationskoeffizient des N/P-Quotienten in der DRIS-Norm

Faktor 1000: setzt sich zusammen aus $100 \cdot 10$, dabei dient 100 um den CV (%) zurückzurechnen, und 10 um die Zahlen in eine „angenehme“ Größenordnung zu bringen.

Beispiel wie die Quotienten zum Index aufsummiert werden:

$N\text{-Index} = (+ fN/P + fN/Ca + fN/Cu + fN/Al)/4$

$P\text{-Index} = (- fN/P + fP/K - fCu/P)/3$

Die Ergebnis-Werte der Nährstoff-Indizes der verschiedenen Elemente wurden summiert, um den NBI oder NII = *nutrient (im)balance index* (Indexsumme) auszurechnen. So kann bestimmt werden, ob die jeweilige Probe einen ausgewogenen Ernährungszustand hat oder nicht. Die Rechnung sieht dann so aus:

$NBI = N\text{-Index} + P\text{-Index} + K\text{-Index} + Ca\text{-Index} + Mg\text{-Index} + S\text{-Index} + \dots$

3.4.2 Ergebnisse und Diskussion

Gefäßversuch 2009

Die Ergebnisse des Gefäßversuches sind in den Tabellen 4.12 bis 4.15 dargestellt. Alle Varianten bei denen Superphosphat (80 kg P/ha) gedüngt wurde, hatten einen verünftachten, somit hochsignifikant höheren, Kornertrag als die Varianten ohne Superphosphat. Phosphat im Fleischknochenmehl sowie im Roh-Phosphat dagegen wurde nur wenig von den Ackerbohnen aufgenommen. Bei den Ertragsmerkmalen der Variante Roh-Phosphat wurden keine Unterschiede zur Kontrolle ohne P-Düngung in P-verarmtem Boden festgestellt (Tab. 4.12 & 4.13).

Tab. 4.12: Einfluss der P-Dünger auf das Ackerbohnenwachstum (Teil 1)

Variante	24.09. Größe (cm)	24.09. Pflanzen/To pf	24.09. Hülsen/ Topf	07.10. Größe (cm)	07.10. Dicke (mm)	07.10. Pflanzen/To pf
1 = Roh-Phosphat	58,4	4,8	7,0	65,7	5,5	4,8
2 = Fleischknochenmehl (FKM)	50,6	4,3	4,0	62,7	6,1	3,8
3 = FKM verascht	64,8	5,0	10,8	75,4	6,0	5,0
5 = Gärrückstand	76,7	4,8	15,5	86,1	7,2	4,8
6 = Kompost	78,5	4,5	16,5	90,3	6,9	4,8
7 = Trauben-Trester	82,2	5,0	16,0	98,7	7,1	5,0
8 = Kontrolle	82,0	5,0	18,5	97,8	6,9	5,0
9 = Kontrolle 2	56,5	5,0	5,8	65,7	5,4	5,0
Mittel	68,7	4,8	11,8	80,3	6,4	4,8
Signifikanz F-Wert	**	n. s.	**	**	**	**
GD 5 %	6,4	-	6,76	9,8	0,74	0,68

** = signifikant bei P = 1 %, * = signifikant bei P = 5 %, + = signifikant bei P = 10 %, n. s. = nicht signifikant,

n. a. = nicht analysiert, Varianten 5, 6, 7, 8 erhielten Super-Phosphat.

Ein P-Mangel konnte trotz eines leichten Anstiegs des P-Gehaltes im Blatt nicht behoben werden. Nur durch die Veraschung des Fleischknochenmehls und anschließender Düngung konnte der Kornertrag signifikant auf das 2,5 fache gegenüber der Kontrolle angehoben werden (Tab. 4.15). Der P-Gehalt im Blatt der Variante Fleischknochenmehl unterscheidet sich aber nicht signifikant von dem des veraschten Fleischknochenmehls. Das Fleischknochenmehl zeigte eine höhere P-Düngewirkung als das Roh-Phosphat. Die Merkmale aus Tabelle 4.12 und 4.13 stehen in Analogie zum Kornertrag, insbesondere die Größe und

Stengeldurchmesser der Pflanzen, die Hülsen pro Topf oder Pflanze und die Anzahl der Pflanzen mit Hülsen.

Tab.4.13: Einfluss der P-Dünger auf das Ackerbohnenwachstum (Teil 2)

Variante	07.10. Hülsen/ Pflanze	07.10. Hülsen/ Topf	07.10. Pflanzen mit Hülsen	Kornertrag/T opf (g)	Kornertrag/ Pflanze (g)
1 = Roh-Phosphat	1,4	6,8	3,3	4,4	0,92
2 = Fleischknochenmehl (FKM)	0,5	1,8	1,0	3,0	0,86
3 = FKM verascht	2,1	10,5	4,3	12,5	2,51
5 = Gärrückstand	3,9	18,3	4,5	25,7	5,45
6 = Kompost	3,7	17,0	3,8	22,5	4,85
7 = Trauben-Trester	4,0	20,0	5,0	27,0	5,39
8 = Kontrolle	4,4	22,0	4,5	25,9	5,18
9 = Kontrolle 2	1,1	5,5	2,5	4,7	0,93
Mittel	2,6	12,7	3,6	15,7	3,26
Signifikanz F-Wert	**	**	**	**	**
GD 5 %	1,09	4,90	1,17	6,25	1,48

** = signifikant bei P = 1 %, * = signifikant bei P = 5 %, + = signifikant bei P = 10 %, n. s. = nicht signifikant,

n. a. = nicht analysiert, Varianten 5, 6, 7, 8 erhielten Super-Phosphat.

Die drei weiteren SeRo-Dünger dienten lediglich als Kaliumquelle. Diesen Zweck erfüllten der Gärrückstand, der Kompost und der Trauben-Trester gleichermaßen gut (Tab. 4.14 und 4.15). Nur einer der SeRo-Dünger, nämlich Kompost, führte zu einem Anstieg des Mo-Gehaltes im Ackerbohnenblatt von unter 0,25 auf 1,3 mg/kg – vergleichbar mit der Düngewirkung bei der mit Mikronährstoffen gedüngten Kontrolle (Tab. 4.14). Zu bemerken ist, dass der extrem niedrige Kornertrag, der etwa mit 14 dt/ha gleichzusetzen ist, durch eine Spritzung gegen Mehltau bei zu hohen Temperaturen im Gewächshaus zustande kam, von der sich die Ackerbohnenpflanzen nicht mehr vollständig erholt hatten.

Tab. 4.14: Nährstoffgehalte im Ackerbohnenblatt (Trockenmasse) am 6.9.2009

Variante	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mo # (mg/kg)	Zn (mg/kg)
1 = Roh-Phosphat	20,9	12,8	4,0	122,9	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
2 = Fleischknochenmehl (FKM)	21,3	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
3 = FKM verascht	24,0	12,0	3,7	143,8	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
5 = Gärrückstand	25,3	11,8	3,6	174,5	13,9	193,5	< 0,25	75,2
6 = Kompost	28,5	12,3	3,8	126,4	12,3	256,7	1,30	73,1
7 = Trauben-Trester	29,4	10,5	3,5	189,8	11,0	155,7	< 0,25	64,0
8 = Kontrolle	22,4	11,4	3,4	145,2	13,3	191,7	1,85	80,5
9 = Kontrolle 2	22,2	12,0	5,3	143,8	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
Mittel	24,3	13,4	4,1	173,7	12,5	200,2	1,58	72,9
Signifikanz F-Wert	**	n. s.	**	*	n. s.	n. s.	*	n. s.
GD 5 %	2,19	-	0,39	81,76	-	-		-

** = signifikant bei P = 1 %, * = signifikant bei P = 5 %, + = signifikant bei P = 10 %, n. s. = nicht signifikant,

n. a. = nicht analysiert, Varianten 5, 6, 7, 8 erhielten Super-Phosphat. # Die Nachweisgrenze von Molybdän liegt bei 0,25 mg Mo/kg. Die Messung ist erst ab 1,5 mg Mo/kg zuverlässig.

Tab. 4.15: Nährstoffgehalte im Ackerbohnenblatt (Trockenmasse) am 7.10.2009

Variante	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	Mn (mg/kg)	P (g/kg)	N (g/kg)	S (g/kg)	Kornertrag/ Pflanze (g)
1 = Roh-Phosphat	34,4	16,2	4,1	n. a.	2,2	53,7	3,1	0,92
2 = Fleischknochenmehl (FKM)	31,4	16,9	4,3	139,9	3,4	62,8	3,9	0,86
3 = FKM verascht	26,9	16,3	3,8	187,6	3,7	64,2	3,6	2,51
5 = Gärrückstand	34,6	21,6	4,2	n. a.	4,5	61,2	3,2	5,45
6 = Kompost	30,9	18,2	4,0	175,9	3,0	60,4	3,2	4,85
7 = Trauben-Trester	28,5	15,7	3,8	n. a.	4,4	58,3	3,0	5,39
8 = Kontrolle	26,1	19,4	4,0	n. a.	4,5	59,4	3,0	5,18
9 = Kontrolle 2	31,7	19,1	5,4	122,9	1,3	55,0	3,2	0,93
Mittel	30,1	17,6	4,2	156,6	3,5	59,4	3,3	3,26
Signifikanz F-Wert	+	**	**	n. s.	**	n. s.	n. s.	**
GD 5 %	6,11	2,88	0,58	-	1,32	-	-	1,48

** = signifikant bei P = 1 %, * = signifikant bei P = 5 %, + = signifikant bei P = 10 %, n. s. = nicht signifikant,

n. a. = nicht analysiert, Varianten 5, 6, 7, 8 erhielten Super-Phosphat.

Zwischenfrucht-Feldversuch 2009

Die Ackerbohnen waren durch eine vergleichsweise schwache Entwicklung gekennzeichnet. Wie die Blatt-Nährstoffanalysen zeigen (Tab. 4.16), lag das nicht nur an dem konkurrenzstarken Unkraut, sondern auch an der überhöhten Cu-Menge im Boden. Trotz eines ausreichend hohen Ca-Gehaltes in den Blättern und somit aller Wahrscheinlichkeit nach neutral bis leicht sauren pH-Wertes im Boden, wurde ein Cu-Gehalt von durchschnittlich 24 mg Cu/kg festgestellt. Im „Plant Analysis Handbook“ der Universität von Georgia wird die toxische Grenze von Kupfer mit 20 mg Cu/kg angegeben. Nach bisherigen Erfahrungen, wird angenommen, dass die toxische Cu-Grenze für Ackerbohnen höher ist. Dennoch ist nicht auszuschließen, dass die Ackerbohnen an den Cu Hot Spots, die nicht zur Bildung des Mittelwertes herangezogen wurden, unter Cu-Toxizität gelitten hatten. Weiterhin ist das Spurenelement Zink in einer höheren Konzentration als der Höchstwert (148 mg) der eingeschickten Proben von den deutschen Landwirten enthalten. Dies wird aber nicht als problematisch angesehen. Der Fe-Gehalt lag knapp über dem Durchschnitt aller Proben aus diesem Projekt. Die vermutlich überhöhte Mo-Düngung (3 kg Mo/ha) hat zu einem Anstieg des Mo-Gehaltes um das 51-fache geführt – das heißt von rund 2 mg/kg auf 102 mg/kg. Es ist davon auszugehen, dass dieser hohe Gehalt pflanzentoxisch ist. Generell wird das Pflanzenwachstum durch Düngegaben auf hoch versorgten Böden nicht verbessert. Allerdings muss bei einem hohen Angebot an Mikronährstoffen darauf geachtet werden, dass das Verhältnis zu den Hauptnährstoffen nicht ungünstig verschoben wird.

Tab. 4.16: Nährstoffgehalte im Ackerbohnenblatt als Zwischenfrucht am 23.10.2009, Wiesengut

Variante	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	N (g/kg)	S (g/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mo* (mg/kg)
1 = Kontrolle	25,9	14,4	5,3	54,7	2,9	199	24,5	264	< 0,25
2 = Roh- P	21,6	13,6	4,8	56,7	2,9	171	24,5	340	1,28
3 = Roh-P + Dolomit	20,7	13,9	4,6	56,0	3,0	169	26,6	372	0,88
4 = FKM	23,9	13,9	5,1	55,6	3,0	180	22,8	332	2,38
5 = Natrium- Molybdat	29,9	14,1	4,7	51,9	2,8	155	21,1	316	102,26
6 = Borax	25,3	13,8	4,8	52,3	2,7	191	24,0	236	0,94
7 = ohne Dü.	24,5	13,1	4,5	54,2	2,9	171	23,8	205	2,95
Mittel	24,6	13,7	4,9	54,5	2,9	177	23,9	295	20,5
Sig. F-Wert ²	+	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	**
GD 5 %	5,23	-	-	-	-	-	-	-	44,9

Feldversuch 2010

Bodenanalysen – pflanzenverfügbare Nährstoffe

Die Böden der Versuchsstandorte waren alle gut mit Kali und Phosphat versorgt. Teils befanden sie sich nach der CAL - Methode in Versorgungsstufe D. Auch der pH-Wert war normal für Ackernutzung. Nach der LWK Nordrhein-Westfalen sollte der pH-Wert für eine effiziente N₂-Fixierung nicht unter 6 liegen. In Klein-Altendorf, wo im Gegensatz zu den anderen Standorten eine gewisse Streuung auftrat (pH 5,2 bis 6,5), war der pH-Wert bei einigen Parzellen mit 5,5 zu niedrig. In Tabelle 4.17 sind die Mittelwerte der Bodenanalysen der verschiedenen Standorte einmal vor den Ackerbohnen und einmal nach der Ackerbohnernte zusammengefasst.

Tab. 4.17: Versorgungsstufen der Standorte 2010 in 0 bis 30 cm Bodentiefe

Standort	Bodenart	Datum	mg K ₂ O /100 g Bode n	Versorgung s- stufe	mg P ₂ O ₅ /100 g Bode n	Versorgung s- stufe	pH (CaCl ₂)
Wiesengut	Brauner Auenboden, lehmiger Schluff (IU) bis sandiger Schluff (sU)	25.03.2010	23,5	D	10,5	C	6,3
		11.08.2010	23,5	D	9,3	knapp C	6,3
Klein-Altendorf*	Löß-Lehm	11.08.2009	13,0	C	13,0	C	5,6
		15.11.2010	13,0	C	16,0	C	6,1
Klein-Altendorf	Löß-Lehm	12.04.2010	17,2	C	15,6	C	6,0
		12.08.2010	15,9	C	18,0	C	5,8
Leiders	sandiger Lehm (sL)	07.04.2010	23,7	D	36,0	E	6,1
		06.08.2010	25,4	D	34,3	E	6,0
Bolten	lehmiger Sand (IS) und sandiger Lehm	23.04.2010	21,7	D	24,0	D	6,3
		07.08.2010	23,4	D	23,5	D	6,1

*LUFA, Schlagmittel

Zwischen den einzelnen Varianten bestand weder zu Beginn des Versuchs noch nach der Ernte der Ackerbohnen ein Unterschied im Nährstoffversorgungsgrad der Böden, wobei K₂O generell einer gewissen Schwankung (nicht variantenbedingt) unterworfen ist.

Zwischen den einzelnen Varianten bestand weder zu Beginn des Versuchs noch nach der Ernte der Ackerbohnen ein Unterschied im Nährstoffversorgungsgrad der Böden, wobei K₂O generell einer gewissen Schwankung (nicht Varianten bedingt) unterworfen ist. Zu Beginn des Versuches im Frühjahr 2010 lagen die N_{min}-Gehalte etwa bei 20 bis 52 kg/ha und waren somit höher als die N_{min}-Gehalte nach der Ernte. (Tabelle 4.18 – 4.20). Generell ist es so, dass der Ammonium-Gehalt unter der Referenzfrucht und der Leguminose gleich hoch ist. Nur der Nitrat-Gehalt ist nach dem Leguminosenanbau höher.

Tab. 4.18: N_{min}-Werte (NO₃-N + NH₄-N) in kg/ha Wiesengut 2010

Tiefe	Nmin (kg/ha) 0 – 30 cm Tiefe			Nmin (kg/ha) 30 – 60 cm Tiefe			Nmin (kg/ha) 60 – 90 cm Tiefe			Nmin (kg/ha) Gesamt 0 – 90 cm Tiefe		
	Saat	Ernte	Diff. AB- SW Ernte	Saat	Ernte	Diff. AB- SW Ernte	Saat	Ernte	Diff. AB- SW Ernte	Saat	Ernte	SW Ernte
1 = Kontrolle	14,7			6,8			7,9			29,4		
2 = Roh- Phosphat	n. a.	11,0	-1,0	n. a.	4,4	0,4	n. a.	5,7	2,0	n. a.	21,0	20,2
3 = Na- Molybdat	n. a.	11,0	0,3	n. a.	4,8	0,7	n. a.	4,2	0,3	n. a.	20,0	19,0
4 = Kaliumsulfat	n. a.	19,6	10,3	n. a.	8,1	3,7	n. a.	5,6	0,7	n. a.	33,3	18,6
5 = Borax	n. a.	16,5	5,7	n. a.	6,0	2,2	n. a.	6,1	2,2	n. a.	28,6	19,0
6 = P + KS + B + Mo	n. a.	17,4	7,6	n. a.	8,8	4,2	n. a.	6,4	3,7	n. a.	32,6	15,6
Mittel	14,7	15,1	4,6	6,8	6,4	2,2	7,9	5,6	1,7	29,4	27,1	18,5
F-Wert ²	n. a.	n. s.	*	n. a.	*	n. s.	n. a.	zvfW	*	n. a.	*	zvfW
GD 5 %	n. a.	-	8,1	n. a.	3,2	-	n. a.	-	1,9	n. a.	9,4	-

Tab. 4.19: N_{min}-Werte (NO₃-N + NH₄-N) in kg/ha Willich-Anrath 2010

Tiefe	Nmin (kg/ha) 0 – 30 cm			Nmin (kg/ha) 30 – 60 cm			Nmin (kg/ha) 60 – 90 cm			Nmin (kg/ha) Gesamt 0 – 90 cm		
	Saat	Ernte	Diff. AB- SW Ernte	Saat	Ernte	Diff. AB- SW Ernte	Saat	Ernte	Diff. AB- SW Ernte	Saat	Ernte	SW Ernte
1 = Kontrolle	10,5	13,1	2,5	13,2	12,1	6,7	13,3	6,8	1,8	37,1	32,0	20,8
2 = Roh- Phosphat	11,8	14,7	4,6	20,0	8,7	5,8	18,9	3,8	-1,2	50,7	27,2	20,7
4 = K ₂ SO ₄		25,6	16,8		9,5	4,9	17,4	4,7	-0,8		39,8	19,0
6 = P + KS + B + Mo		18,5	5,8	18,6	14,1	11,8	16,4	7,5	2,2		40,1	22,2
Mittel		18,0	7,4		11,1	7,4		5,7	0,5		34,8	20,7
F-Wert ₂		+	n. s.		n. s.	n. s.		n. s.	n. s.		n. s.	n. s.
GD 5 %		9,5	-		-	-		-	-		-	-

Tab. 4.20: N_{min}-Werte (NO₃-N + NH₄-N) in kg/ha Niederkrüchten 2010

Tiefe	Nmin (kg/ha) 0 – 30 cm Tiefe			Nmin (kg/ha) 30 – 60 cm Tiefe			Nmin (kg/ha) 60 – 90 cm Tiefe			Nmin (kg/ha) Gesamt 0 – 90 cm Tiefe		
	Saat	Ernte	Diff. AB- SW Ernte	Saat	Ernte	Diff. AB- SW Ernte	Saat	Ernte	Diff. AB- SW Ernte	Saat	Ernte	SW Ernte
1 = Kontrolle	23,0	9,0	2,5	22,3	5,5	1,3	6,3	5,0	2,0	51,6	20,3	13,2
2 = Roh-P	12,0	8,2	1,7	13,2	4,8	0,3	8,3	3,0	-0,1	33,5	16,0	14,1
3 = Na- Molybdat	12,1	9,8	3,5	11,9	5,9	1,6	10,0	3,5	-0,1	34,0	19,2	13,2
4 = Kaliumsulfat	14,3	10,0	3,9	18,7	6,2	2,3	10,1	5,1	0,4	43,1	21,2	14,6
5 = Borax	11,8	9,0	2,7	14,3	4,8	0,5	10,9	3,3	0,0	37,0	17,1	13,2
6 = P+ KS+B+Mo		9,4	3,5	22,6	3,9	-0,7	11,3	3,8	0,1		17,1	13,2
7 = FKM		10,2	3,0		6,6	3,0		4,6	1,4		21,2	14,4
Mittel		9,4	3,0	17,2	5,4	1,2	9,5	4,1	0,5		18,9	13,7
F-Wert ₂		n. s.	n. s.		n. s.	n. s.		+	n. s.		n. s.	zvfW
GD 5 %		-	-		-	-		1,7	-		-	-

Generell waren die N_{\min} -Werte nach der Ernte aufgrund der Sommertrockenheit sehr niedrig. Schwach signifikante Unterschiede im N_{\min} -Gehalt von 0 bis 90 cm zeigten sich zwischen den mit Kaliumsulfat ($\rightarrow 35 \text{ kg S/ha}$) gedüngten Varianten auf dem Wiesengut im Vergleich zu den Varianten ohne Kaliumsulfat (Tab. 4.18).

Die Aussagefähigkeit der N_{\min} -Gehalte im Jahr 2010 ist mit gewissen Problemen behaftet. Sowohl während der Vegetationsperiode als auch zum Zeitpunkt der Probenahme herrschte starke Trockenheit. Des Weiteren waren die Versuchspartzellen zum Ende der Vegetationsperiode stark verunkrautet, so dass in mineralischer Form vorliegender Stickstoff zusätzlich entzogen wurde. Somit ist zu vermuten, dass die N_{\min} -Gehalte tatsächlich höher waren. Die Bodenproben wurden nicht gezielt in den Reihen oder zwischen den Reihen der Ackerbohnen gezogen. In den Reihen liegen die N_{\min} -Gehalte nach Erfahrung der Techniker auf dem Wiesengut höher als dazwischen, was zum Teil sicherlich auf den N-Verbrauch des Unkrauts zurückzuführen ist und auf den Abbau der Ackerbohnenwurzel, der zur physiologischen Reife, also vor der eigentlichen Ernte einsetzt.

Blattanalysen

Analog zu den gemessenen Nährstoffgehalten in den Böden gab es auf Standortebeine keine Unterschiede bei den Nährstoffgehalten in den verschiedenen Düngevarianten in Bezug auf Kalium und Phosphor. Der hochsignifikante Unterschied im Kaliumgehalt bei der Kaliumsulfatdüngung am Standort Wiesengut wird als zufällig betrachtet, da die Volldüngungsvariante - sprich P+KS+B+Mo – keine höheren K-Gehalte in den Blättern hatte als die ungedüngte Kontrolle, was bei einem sehr hoch mit Kalium versorgtem Boden zu erwarten war. Zudem lässt sich anhand der anderen Nährstoffgehalte, die hier nicht gedüngt wurden, erkennen, dass eine gewisse Spannbreite/Streuungsbreite an Nährstoffen in den Blättern vorhanden ist oder der Boden nicht hinreichend homogen ist (Tabelle 4.21).

Am Standort Willich-Anrath wiederum waren die signifikanten Unterschiede nicht auf die Düngung zurückzuführen. Das wird offensichtlich, wenn man in Tabelle 4.28 die K-Gehalte vergleicht. Hier ist der K-Gehalt der ungedüngten Kontrolle signifikant höher. Die Zufuhr des Roh-Phosphates hatte an keinem Standort einen Einfluss auf die P-Gehalte in den Blättern, denn die Böden waren bereits vor der Düngung gut mit

P versorgt – unabhängig von der schlechten Pflanzenverfügbarkeit von Roh-Phosphat.

Die Blattproben der ungedüngten Pflug-Variante auf dem Wiesengut zeigten, dass die Nährstoffgehalte nicht durch die Direktsaat beeinträchtigt wurden. Das Wurzelwachstum war im nicht aufgelockerten Boden ausreichend, um äquivalente Nährstoffmengen aufzunehmen wie bei einer vorherigen Saatbettbereitung.

Tab: 4.21: Nährstoffgehalte in der TM im Ackerbohnenblatt zum Entwicklungsstadium BBCH 65 nach unterschiedlicher Düngung am Standort Wiesengut (Teil 1)

Nährstoff	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	P (g/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Ertrag (dt/ha bei 14 % Feuchte)
Pflug (ungedüngt)	26,85	7,98	2,83	4,38	82,80	16,5	172	46,28	21,4
Kontrolle (ungedüngt)	33,08	8,09	3,32	5,31	82,80	16,7	168	49,03	20,0
Roh-Phosphat	31,95	9,14	3,51	4,85	85,88	16,8	168	49,03	24,5
Natrium-Molybdat	33,50	9,22	3,52	5,31	90,45	17,8	171	50,53	26,4
Kaliumsulfat	35,33	8,90	3,62	5,25	108,75	19,8	182	55,20	35,3
Borax	32,38	9,16	3,49	5,02	85,10	16,7	168	48,78	27,0
P+KS+B+Mo	34,58	9,07	3,43	4,36	116,38	17,7	181	55,08	32,5
Gesamtmittel	32,53	8,79	3,39	4,92	93,16	17,4	173	50,56	27,6
Minimum	25,80	6,80	2,61	3,34	65,20	14,7	155	38,90	16,9
Maximum	38,20	10,26	3,88	6,08	126,30	22,2	191	57,50	38,7
GD 5 %	2,18	0,88	0,37	0,62	12,83	1,6	11	4,96	4,03
Signifikanz F-Wert	**	*	**	*	**	**	*	**	**

Fettgedruckte Werte in den Tabellen 22 – 34 weisen auf signifikante Unterschiede im Vergleich zur Kontrolle hin. Der Minimal- sowie der Maximalwert bezieht sich auf die einzelnen Versuchswiederholungen und nicht auf die Mittelwerte der Varianten.

Am Standort Wiesengut fällt auf, dass in den Ackerbohnenblättern trotz eines Boden pH-Wertes von 6,3 der mittlere Ca-Gehalt nur bei 8,8 g/kg lag. Bei 6 g/kg Ca liegt der *Critical Nutrient Level* (CNL). Der Phosphor-Gehalt war trotz des gut versorgten Bodens bei allen Standorten nur knapp oberhalb des CNLs. Da Willich-Anrath der trockenste Standort war und im Gesamtmittel mit 3,8 g P/kg unter der oberen Grenze des CNLs mit 2 bis 4 lag, obwohl dort der Boden mit P₂O₅ überversorgt war, könnten sich die niedrigen P-Gehalte in den Blättern durch die Trockenheit erklären lassen. Da aber auch die Proben des Jahres 2009 aus ganz Deutschland im Mittel nur 4,1 g P/kg TM enthielten, scheint der CNL für Ackerbohnen auf dem Feld nicht ganz korrekt zu sein. Selbst bei einem P-Gehalt von 3 g/kg TM im

Blatt wurde noch ein Höchstertag erzielt. Aufgrund dieser Ergebnisse und derjenigen des Gefäßversuchs muss davon ausgegangen werden, dass der CNL zum Zeitpunkt Beginn bis Mitte Blüte bei 2,5 g P/kg TM liegt.

Tab. 4.22: Nährstoffgehalte in der TM im Ackerbohnenblatt zum Entwicklungsstadium BBCH 65 nach unterschiedlicher Düngung am Standort Wiesengut (Teil 2)

Nährstoff	C (g/kg)	N (g/kg)	S (g/kg)	B (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Ertrag (dt/ha bei 14 % Feuchte)
Pflug (ungedüngt)	439,9	56,1	2,6	15,4	0,31	21,4
Kontrolle (ungedüngt)	440,2	56,7	2,5	17,1	1,35	20,0
Roh-Phosphat	450,2	58,5	2,6	17,2	1,29	24,5
Natrium-Molybdat	433,2	56,4	2,8	18,6	12,95	26,4
Kaliumsulfat	447,3	61,8	3,6	17,0	< 0,25	35,3
Borax	446,5	58,2	2,6	18,7	1,24	27,0
P+KS+B+Mo	449,6	62,3	3,6	18,8	1,81	32,5
Gesamtmittel	443,9	58,6	2,9	17,6	3,07	27,6
Minimum	404,0	52,3	2,4	13,4	< 0,25	16,9
Maximum	478,8	63,2	3,9	20,0	19,15	38,7
GD 5 %	-	2,0	0,23	1,48		4,03
Signifikanz; F-Wert	n. s.	**	**	**	**	**

Die Bor-Düngung führte zu keiner Erhöhung der B-Gehalte in den Ackerbohnenblättern. Ein Variantenvergleich am Standort Wiesengut zeigt zwar signifikante Unterschiede beim Bor-Gehalt, aber diese belaufen sich nur auf 1 mg und sind bedingt durch den Blockeffekt (Tab. 4.22). Es stellt sich die Frage, warum bei der Bor-Düngung auf dem Wiesengut (18,7 mg B/kg) etwa 10 mg weniger Bor in den Blättern war als bei den Kontrollen in Klein-Altendorf (25,5 mg B/kg) und Willich-Anrath (29,2 mg B/kg). Molybdän ist im wahrsten Sinne des Wortes ein Mikronährstoff, denn die Mengen, die für ein gutes Wachstum ausreichen, liegen bereits unter der Nachweisgrenze des Messverfahrens (ICP). Probleme mit der Molybdänversorgung sind eher auf sauren Böden zu erwarten, da die Pflanzenverfügbarkeit dort gering ist. Die Düngung mit Natrium-Molybdat führte zu einem starken Anstieg der Mo-Konzentration im Blatt. In Kombination mit den anderen Düngern: Roh-Phosphat (40 kg P/ha), Kaliumsulfat (80 kg K/ha & 35 kg S/ha) und Borax (1 kg B/ha) wurde der Mo-Gehalt bei weitem nicht so erhöht wie bei alleiniger Ausbringung von Natrium-Molybdat (1 kg Mo/ha).

Tab. 4.23: Nährstoffgehalte in der TM im Ackerbohnenblatt zum Entwicklungsstadium BBCH 31 bis 33 nach unterschiedlicher Düngung am Wiesengut

Nährstoff	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	P (g/kg)	B (mg/kg)	C (g/kg)	N (g/kg)	S (g/kg)	Mo (mg/kg)	Ertrag (dt/ha bei 14 % Feuchte)
Roh-Phosphat	31,1	9,0	2,4	2,8	16,8	427,0	40,9	1,7	0,73	24,5
Natrium-Molybdat	37,5	9,4	2,4	2,7	18,7	425,9	40,0	1,6	5,24	26,4
Kalium-sulfat	37,0	7,9	2,3	2,6	15,8	430,0	44,4	2,5	0,46	35,3
Borax	33,5	9,6	2,3	2,6	20,0	416,5	40,4	1,5	0,98	27,0
P+KS+ B+Mo	30,8	8,7	2,2	2,6	17,9	429,3	44,0	2,4	1,15	32,5
Gesamt-mittel	34,0	8,6	2,3	2,7	17,9	425,7	41,9	1,9	1,71	27,6
Minimum	25,8	7,2	1,9	2,3	15,0	385,7	37,2	1,3	0,45	16,9
Maximum	49,9	10,2	3,0	2,9	22,7	433,8	45,2	2,6	8,50	38,7
GD 5 %	-	-	-	-	1,61	-	1,77	0,1		4,03
Signifikanz F-Wert	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	**	n. s.	**	**		**

Tab. 4.24: Nährstoffgehalte in der TM im Ackerbohnenblatt zum Entwicklungsstadium BBCH 67 bis 70 nach unterschiedlicher Düngung am Wiesengut

Nährstoff	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	P (g/kg)	B (mg/kg)	C (g/kg)	N (g/kg)	S (g/kg)	Mo (mg/kg)	Ertrag (dt/ha bei 14 % Feuchte)
Pflug (ungedüngt)	22,1	7,7	2,4	2,9	11,6	428,0	46,5	1,9	0,33	21,4
Kontrolle (ungedüngt)	26,3	6,9	2,5	3,5	17,2	429,1	48,7	1,9	1,00	20,0
Roh-Phosphat	26,2	6,9	2,5	3,3	14,6	416,6	48,4	1,9	0,99	24,5
Natrium-Molybdat	26,8	6,9	2,6	3,5	17,1	430,5	49,8	2,0	7,78	26,4
Kaliumsulfat	29,4	6,9	2,7	3,6	14,3	430,1	54,4	2,5	< 0,25	35,3
Borax	26,3	7,1	2,4	3,4	19,6	430,6	47,9	1,9	1,03	27,0
P+KS+ B+Mo	29,5	7,2	2,6	3,4	18,6	433,0	53,5	2,5	1,65	32,5
Gesamt-mittel	26,7	7,1	2,5	3,4	16,1	428,3	49,9	2,1	2,07	27,6
Minimum	19,1	5,7	2,3	2,8	8,7	387,2	43,0	1,6	< 0,25	16,9
Maximum	32,4	8,1	2,9	4,2	22,3	435,9	55,5	2,6	9,55	38,7
GD 5 %	2,27	-	-	0,34	2,09	-	3,08	0,18		4,03
Signifikanz F-Wert	**	n. s.	n. s.	*	**	n. s.	**	**		**

Hervorzuheben ist die Reaktion auf die Schwefel-Düngung. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Zufuhr von 35 kg S/ha in Form von Kaliumsulfat zu einem signifikant höheren S-Gehalt in den Blättern gegenüber allen Varianten geführt hat. Dies traf beim Wiesengut für alle 3 beprobten Entwicklungsstadien zu (Tab. 4.22, 4.23 und 4.24). Besonders zu betonen ist, dass parallel mit dem höheren S-Gehalt auch der Stickstoff-Gehalt um ca. 10 % angestiegen ist. Am Standort Wiesengut hatten die Ackerbohnen der Varianten ohne S-Zufuhr Schwefel-Mangel. Während der CNL im frühen Wachstum bei 2 g S/kg Spross TM liegt, enthielten die untersuchten Blätter nur 1,6 g S/kg. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass Blätter höhere Nährstoff-Gehalte enthalten als ganze Pflanzen oder insbesondere Stängel. In Klein-Altendorf wird im Gegensatz zu den anderen Standorten auch Raps angebaut, weshalb regelmäßig Schwefeldünger zum Einsatz kommen. Deshalb konnte durch zusätzliche Schwefelzufuhr hier kein deutlicher Effekt erzielt werden. In Klein-Altendorf lag der mittlere S-Gehalt bei 3 g/kg TM. Die Varianten unterschieden sich nicht signifikant im S-Gehalt, so dass an diesem Standort ein etwa gleich hoher Ertrag mit weniger Schwefel im Blatt erzielt wurde.

Tab. 4.25: Nährstoffgehalte in der TM im Ackerbohnenblatt zum Entwicklungsstadium BBCH 59 bis 63 nach unterschiedlicher Düngung in Klein-Altendorf (Teil 1)

Nährstoff	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	P (g/kg)	Mn (mg/ kg)	Cu (mg/ kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/ kg)	Ertrag (dt/ha bei 14 % Feuchte)
Kontrolle (ungedüngt)	27,70	12,60	3,26	3,98	80,7	16,0	181	66,0	30,14
Fleisch- knochenmehl (Reihe)	29,38	12,95	3,30	4,32	85,9	16,8	192	67,7	30,59
Gärrückstand (Reihe)	33,12	11,98	3,30	4,22	77,2	15,9	189	65,1	26,92
Kompost (Reihe)	35,55	12,23	3,33	4,31	79,5	15,5	197	67,2	27,08
P+KS+B+Mo	33,55	12,18	3,38	4,28	77,8	15,7	181	77,0	28,35
Gesamtmittel	31,86	12,39	3,31	4,22	80,2	16,0	188	68,6	28,61
Minimum	22,70	9,50	2,82	3,28	67,4	13,6	153	59,0	23,26
Maximum	40,50	14,80	3,90	5,21	102,6	18,1	234	96,3	34,79
GD 5 %	5,33	-	-	-	-	-	-	-	-
Signifikanz F-Wert	*	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

Tab. 4.26: Nährstoffgehalte in der TM im Ackerbohnenblatt zum Entwicklungsstadium BBCH 59 bis 63 nach unterschiedlicher Düngung in Klein-Altendorf

Nährstoff	C (g/kg)	N (g/kg)	S (g/kg)	B (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Ertrag (dt/ha bei 14 % Feuchte)
Kontrolle (ungedüngt)	436,5	50,0	2,83	25,50	0,64	30,14
Fleischknochenmehl (Reihe)	440,1	52,0	2,96	26,20	0,50	30,59
Gärrückstand (Reihe)	439,5	52,9	2,91	27,30	0,53	26,92
Kompost (Reihe)	437,3	53,4	3,07	25,00	0,64	27,08
Borax	n. a.	n. a.	n. a.	26,60	n. a.	30,30
Natrium-Molybdat	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	10,11	32,42
P+KS+B+Mo	438,9	50,7	3,06	25,10	5,05	28,35
Gesamtmittel	438,5	51,8	2,96	26,00	2,91	28,61
Minimum	431,6	44,6	2,58	21,50	0,30	23,26
Maximum	445,4	56,8	3,62	31,20	18,00	34,79
GD 5 %	5,95	3,46	0,33	3,98	4,62	4,80
Signifikanz, F-Wert, Tukeytest	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	**	n. s.

Tab. 4.27: Nährstoffgehalte im Ackerbohnenblatt (TM) zum Entwicklungsstadium BBCH 63 nach unterschiedlicher Düngung in Willich-Anrath (Biolandbetrieb Leiders) (Teil 1)

Nährstoff	Ertrag (dt/ha bei 14 % Feuchte)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	P (g/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Ca/P	Mn/Zn
Kontrolle	8,97	32,4	11,9	4,14	4,30	131	16,7	302	148	2,80	0,88
Roh-Phosphat	10,94	29,2	13,3	4,19	4,00	158	15,1	333	141	3,35	1,14
Kaliumsulfat	13,08	28,5	9,2	3,54	3,63	116	17,1	280	117	2,53	0,99
P+KS+B+Mo	12,15	27,9	12,0	3,98	3,33	136	15,2	337	132	3,70	1,04
Gesamtmittel	11,29	29,5	11,6	3,96	3,81	135	16,0	313	134	3,09	1,01
Minimum	6,81	25,0	7,9	3,20	2,57	97	13,2	241	108	2,00	0,78
Maximum	14,85	34,2	14,7	4,45	4,70	200	17,5	440	163	5,00	1,45
GD 5 %	3,33	2,9	2,15	0,49	0,60	28,4	1,48	-	12,5	0,97	-
Signifikanz F-Wert	+	*	*	+	*	*	*	n. s.	**	+	n. s.

Tab.4.28: Nährstoffgehalte in der TM im Ackerbohnenblatt zum Entwicklungsstadium BBCH 63 nach unterschiedlicher Düngung in Willich-Anrath (Biolandbetrieb Leiders) (Teil 2)

Nährstoff	C (g/kg)	N (g/kg)	S (g/kg)	B (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Ertrag (dt/ha bei 14 % Feuchte)
Kontrolle	427,4	55,0	2,32	29,20	7,93	8,97
Roh-Phosphat	424,8	49,1	2,05	25,40	7,34	10,94
Kaliumsulfat	438,0	58,1	3,30	18,60	1,16	13,08
P+KS+B+Mo	428,8	51,8	3,31	34,70	10,31	12,15
Gesamtmittel	429,7	53,5	2,74	27,00	6,68	11,29
Minimum	421,1	45,2	1,97	16,40	0,90	6,81
Maximum	442,0	62,1	3,73	36,70	12,00	14,85
GD 5 %	05,6	04,86	0,32	4,42	2,09	3,33
Signifikanz F-Wert	**	**	**	**	**	+

Kornertrag und Pflanzenwachstum

Die Bestandeshöhe sowie die Ertragsparameter und der Ertrag selbst wurden am Standort Wiesengut durch die Gabe von Kaliumsulfat alleine als auch durch die Gabe von Kaliumsulfat in Kombination mit Roh-Phosphat als Unterfußdüngung, Borax und Natrium-Molybdat (= P + KS + B + Mo) positiv und signifikant beeinflusst. Am Standort Wiesengut scheint auch die Bor-Düngung einen günstigen Effekt erzielt zu haben. Aufgrund der visuellen Unterschiede zwischen den Varianten wurden am Standort Wiesengut die Knöllchen an den Wurzeln von zwei Varianten gezählt. Die „Volldüngung“ (=P + KS + B + Mo) hatte etwa gleich viele Knöllchen wie die Kontrolle. Ausschlaggebend für einen hohen Knöllchenbesatz ist ein feuchter Boden (Transportmedium) und nicht die Art oder Menge des Düngers. Die Masse der Knöllchen dagegen wurde durch die „Volldüngung“ um 20 % erhöht (Tab. 4.29).

Tab. 4.29: Bestandeshöhe, Ertragskomponenten, Kornertrag & Masse der Knöllchen am Standort Wiesengut 2010

Variante	Bestandeshöhe (cm)	Anzahl Hülsen/ 10 Pflanzen ³	Anzahl Körner/ 10 Pflanzen ³	TKG ³ (g)	Ertrag/ 10 Pflanzen ⁴ TM in g	Ertrag/ Parzelle TM in dt/ha	Anzahl Knöllchen/ Pfl. ⁵	Gewicht Knöllchen/ 10 Pfl. ⁴ (g)
1 = Pflug	98,5	-	-	-	-	18,40	-	-
4 = Kontrolle	105,0	71,0	226,0	348,6	78,5	17,52	142,9	17,03
5 = Roh-Phosphat	106,5	76,0	247,2	334,8	82,8	21,49	-	-
6 = Na-Molybdat	105,8	78,0	236,5	345,7	81,7	23,13	-	-
7 = K ₂ SO ₄	115,8	88,4	284,8	347,6	99,2	30,96	-	-
8 = Borax	104,5	80,4	258,6	350,9	90,7	23,68	-	-
9 = P + KS + B + Mo	115,0	82,0	260,8	346,4	90,5	28,50	150,6	20,42
Mittel	107,3	79,3	252,3	345,7	87,3	24,12	146,8	18,73
Signifikanz F-Wert	**	*	**	n. s.	**	**	n. s.	*
GD 5 %	3,9	9,1	24,7	-	9,7	3,53	-	2,35

³ TKG (TM in g) aus Einzelpflanzenernte bestimmt. ⁴ aus 30 Pflanzen bestimmt, ⁵ 10 Pflanzen je Wdh. und Variante, von der Kontrolle signifikant verschiedene Werte sind fett geschrieben.

In Klein-Altendorf gab es keine signifikanten Unterschiede beim Kornertrag und Pflanzenwachstum zwischen den verschiedenen Varianten – weder bei den Ackerbohnen (Tab. 4.30) noch bei dem Sommerweizen (Tab. 4.31). Die Ausnahme stellt der in Reihe gedüngte Apfeltrester dar, der durch bereits angesetzte alkoholische Gärung die jungen Pflanzen beim Auflaufen geschädigt hat. Bereits kompostierten Trester zu verwenden wie im Topfversuch, erscheint demnach sinnvoller.

Tab. 4.30: Bestandeshöhe, Ertragskomponenten & Ertrag der Ackerbohne am Standort Klein-Altendorf 2010

Variante	Bestandes- höhe (cm)	Anzahl Hülsen/ 10 Pfl.	Anzahl Körner/ 10 Pfl.	TKG ⁶ (g)	Ertrag/ 10 Pfl. TM in g	Ertrag/ Parzelle TM in dt/ha
1 = Kontrolle	75,5	87,0	257,0	364,8	93,8	26,44
2 = Apfeltrester (breitfl.) ⁵	70,1 ⁵	89,3	259,0	373,7	96,6	27,27
3 = Apfeltrester (Reihe)	68,9 ⁵	85,0	240,4	361,1	85,9	20,52
4 = FKM ¹ (breitflächig)	74,9	96,3	276,8	375,6	104,0	26,90
5 = FKM (Reihe)	75,8	88,3	257,2	356,9	92,3	26,83
8 = Gärrückstand (breit.)	76,5	92,8	273,3	365,4	100,3	26,79
9 = Gärrückstand (Reihe)	77,0	99,7	283,0	351,1	99,6	23,61
10 = Kompost (breitfl.)	76,3	87,5	258,9	361,5	93,6	26,82
11 = Kompost (Reihe)	76,9	96,7	262,3	358,4	93,8	23,75
12 = Borax (breitflächig)	75,3	91,6	268,3	372,7	99,9	26,58
13 = Natrium-Molybdat ⁴	75,4	89,7	261,3	357,2	93,3	28,24
14 = Roh-Phosphat	75,1	98,3	284,3	367,9	104,8	25,06
15 = Kaliumsulfat	75,2	111,00	339,8	373,8	127,2	28,87
16 = P + KS + B + Mo	75,0	95,6	276,6	367,3	101,6	24,87
Mittel	74,9	93,4	271,3	364,8	99,0	25,90
Signifikanz F-Wert	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	*
GD 5 %	-	-	-	-	-	04,20

⁴ Werte des Blocks III als fehlende Werte berechnet, da Pflanzen der Parzellen offensichtlich krank waren.

⁵ Die anfangs durch den Apfeltrester geschädigten Pflanzen haben sich im Laufe der Zeit weitgehend erholt.

⁶ TKG (TM in g) aus Einzelpflanzenernte bestimmt.

Tab. 4.31: Ertrag und Korngröße des Sommerweizens am Standort Klein-Altendorf, 2010 (Parzellengröße 8,7 m²)

Variante	Ertrag/ Parzelle TM in dt/ha	TKG (g)	Korngröße Prozentualer Anteil in Fraktion (mm)			
			> 2,8	2,5	2,2	< 2,2
1 = Kontrolle	24,86 ³	30,5	20,5	33,1	32,1	14,5
2 = Apfeltrester (breitfl.)	23,13	31,8	24,0	35,6	29,5	11,0
4 = FKM ¹ (breitflächig)	40,20	33,4	27,8	43,7	22,6	6,0
5 = FKM (Reihe)	38,17	34,4	26,8	42,9	23,7	6,6
8 = Gärrückstand (breitfl.)	26,38	29,9	20,4	33,6	31,3	14,8
9 = Gärrückstand (Reihe)	29,67	30,8	20,7	35,6	30,2	13,5
10 = Kompost (breitfl.)	28,28	32,1	24,3	35,1	28,8	11,9
14 = Roh-Phosphat	31,89	33,2	24,3	39,2	26,6	9,9
15 = Kaliumsulfat	32,76	31,2	22,3	35,6	29,6	12,5
16 = P + KS + B + Mo	36,08	34,1	28,0	41,8	23,4	6,8
Mittel	30,88	32,1	23,9	37,4	27,9	10,9
Signifikanz F-Wert ²	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

³ weitere ungedüngte Parzellen hatten einen TM Ertrag von 30,47 dt (nur Parzellen ohne Unkraut hatten mit ca. 40 dt einen höheren Ertrag als der Durchschnitt)

In Willich-Anrath konnten wie am Wiesengut bei der Düngung mit Kaliumsulfat sowie der Düngekombination aus P + KS + B + Mo höhere Kornerträge erzielt werden. Doch nur bei der Variante mit Kaliumsulfat war der Unterschied zur Kontrolle signifikant (Tab. 4.32).

Tab. 4.32: Bestandeshöhe, Ertragskomponenten & Ertrag am Standort in Willich- Anrath (Leiders) 2010

Variante	Bestandes- höhe (cm)	Anzahl Hülsen/ 10 Pflanzen	Anzahl Körner/ 10 Pflanzen	TKG ³ (g)	Ertrag/ 10 Pflanzen ⁴ TM in g
1 = Kontrolle	56,3	32,2	87,5	359,0	31,5
2 = Roh-Phosphat als Unterfußd.	61,3	41,3	111,7	343,9	38,4
3 = Kaliumsulfat	66,3	49,3	138,1	332,5	45,9
4 = P + KS + B + Mo	68,8	46,3	130,9	323,9	42,6
Mittel	63,1	42,3	117,1	339,8	39,6
Signifikanz F-Wert ²	**	*	*	*	+
GD 5 %	5,2	11,4	31,4	24,4	11,7

³ TKG (TM in g) aus Einzelpflanzenernte bestimmt. ⁴ aus 40 Pflanzen bestimmt

Nachdem die mit P + KS + B + Mo gedüngte Variante am Standort in Niederkrüchten zuerst einen tendenziellen Unterschied in der Bestandeshöhe aufwies, konnte später bei den Ertragskomponenten und beim Kornertrag keine Signifikanz mehr gefunden werden (Tab. 4.33).

Tab. 4.33: Bestandeshöhe, Ertragskomponenten & Ertrag am Standort in Niederkrüchten (Bolten) 2010

Variante	Bestandes- höhe (cm)	Anzahl Hülsen/ 10 Pflanzen	Anzahl Körner/ 10 Pflanzen	TKG ³ (g)	Ertrag/ 10 Pflanzen TM in g	Ertrag/ Parzelle TM in dt/ha
1 = Kontrolle	90,0	45,0	133,3	296,5	40,0	11,22
2 = Roh-P als Unterfußd.	86,3	41,6	126,5	296,9	38,7	11,03
3 = Natrium-Molybdat	86,3	45,1	142,1	307,0	44,0	13,01
4 = Kaliumsulfat	86,3	47,0	132,5	325,4	41,9	10,53
5 = Borax	83,8	54,8	159,3	306,6	49,7	12,13
6 = P + KS + B + Mo	97,5	41,7	124,4	303,3	38,2	12,10
7 = Fleischknochenmehl	86,2	52,0	153,3	319,8	50,7	12,51
Mittel	88,0	46,7	138,8	307,9	43,3	11,79
Signifikanz, F-Wert	*	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
GD 5 %	6,8	-	-	-	-	-

³ TKG (TM in g) aus Einzelpflanzenenernte bestimmt.

N₂-Fixierung

Die N₂-Fixierung wurde mit verschiedenen Methoden geschätzt. Jede Methode führt zu einem anderen Ergebnis, was die Schwierigkeiten bei der Abschätzung der tatsächlichen N₂-Fixierung verdeutlicht. Auf jeden Fall tendiert die Differenzmethode anhand der Blattgehalte nicht so stark zum Unterschätzen der N₂-Fixierung. Die Schätzwerte der Differenzmethode liegen deutlich höher als die der Ertragsmethoden. Daher scheinen die Ertragsmethoden nicht sehr geeignet zu sein. Dass nur knapp die Hälfte des Stickstoffs aus der Luft entstammt, passt zu den Beobachtungen während der Versuchszeit. Da die Knöllchen erst kurz vor Beginn der Blüte zu sehen waren, müssen die Ackerbohnen in der Zeit vor der N₂-Fixierung und nach Aufbrauchen der Vorräte im Samen Stickstoff aus dem Boden aufgenommen haben. Die Lebensspanne der Knöllchen war in dem trockenen Jahr durch die verfrühte Reife begrenzt. Die $\delta^{15}\text{N}$ -Methode wurde aus Kostengründen nicht angewendet. Zudem ist eine Messung der Stickstoff-Isotope (*Natural Abundance* / $\delta^{15}\text{N}$ -Methode) auch nicht ideal, um die N₂-Fixierung zu schätzen. Das Problem mit der Wahl der Referenzpflanze wurde oben bereits angesprochen. Der

$\delta^{15}\text{N}$ -Wert der Referenzpflanze entspricht dem $\delta^{15}\text{N}$ -Wert des Bodens, der je nach Art des Pflanzenbewuchses und der N-Düngung variiert. Für diese Methode muss der $\delta^{15}\text{N}$ -Wert der Referenzpflanze signifikant von dem der Luft verschieden sein. Nach LEDGARD & PEOPLES, 1988 sollte der Unterschied dabei mindestens 6 ‰ betragen. Das ist nicht an jedem Standort der Fall; auch kann es sehr inhomogene Böden geben, bei denen der ^{15}N -Gehalt kleinräumig stark variiert. Um diesen Einflussfaktor gering zu halten, sollte die Referenzpflanze möglichst dicht bei der Leguminose wachsen. Bei zu dichtem Wachstum besteht jedoch die Möglichkeit, dass die Referenzpflanze Teil an dem N_{fix} der Leguminose hat. Falls der $\delta^{15}\text{N}_{\text{Referenz}}$ -Wert negativ ist, hängt das Ergebnis (N_{dfa}) vom B-Wert ab, der gut überlegt gewählt werden muss. (KLATT, 2008; SHEARER & KOHL, 1993).

Tab. 4.34: Fixierte N-Menge und prozentualer Anteil des Luftstickstoffs in der Ackerbohne am Standort Wiesengut 2010

Variante	$\text{N}_{2\text{fix}}$ (g/kg TM) [◇]	N_{dfa} (%) [◇]	$\text{N}_{2\text{fix}}$ (kg/ha) [◇]	$\text{N}_{2\text{fix}}$ (kg/ha) ^{◇◇}	$\text{N}_{2\text{fix}}$ (kg/ha) ^{◇◇◇}
1 = Pflug	25,0	44,6	230	68 – 90	119
4 = Kontrolle	25,6	45,2	222	64 – 84	111
5 = Roh-P (Unterfuß)	26,6	45,6	275	78 – 103	136
6 = Na-Molybdat	25,3	44,9	279	84 – 111	146
7 = Kaliumsulfat	32,0	51,7	460	113 – 149	196
8 = Borax	27,1	46,6	305	86 – 114	150
9 = P + KS + B + Mo	30,5	49,0	408	104 – 137	180
Mittel	27,5	46,7	325	102	153
Signifikanz F-Wert ²	**	**	**	-	-
GD 5 %	2,42	3,17	50,43	-	-

[◇] Differenzmethode

^{◇◇} Ertragsmethode nach Faustzahlen

^{◇◇◇} Ertragsmethode mit N-Gehaltsfaktor

Tab. 4.35: Fixierte N-Menge und prozentualer Anteil des Luftstickstoffs in der Ackerbohne am Standort Klein-Altendorf 2010

Variante	N _{2fix} (g/kg TM) [◇]	Ndfa (%) [◇]	N _{2fix} (kg/ha) [◇]	N _{2fix} (kg/ha) ^{◇◇}	N _{2fix} (kg/ha) ^{◇◇◇}
1 = Kontrolle	15,4	30,8	221	96 – 136	167
5 = Fleischknochenmehl, Reihe	17,4	33,5	249	97 – 138	170
9 = Gärrückstand, Reihe	18,3	34,6	262	68 – 121	149
11 = Kompost, Reihe	18,8	35,2	269	86 – 122	150
16 = P + KS + B + Mo	16,1	31,8	230	90 – 128	157
Mittel	17,2	33,0	246	108	159
Signifikanz F-Wert ²	n. s.	n. s.	n. s.	-	-

[◇] Differenzmethode

^{◇◇} Ertragsmethode nach Faustzahlen

^{◇◇◇} Ertragsmethode mit N-Gehaltsfaktor

Tab. 4.36: Fixierte N-Menge und prozentualer Anteil des Luftstickstoffs in der Ackerbohne am Standort in Willich-Anrath 2010

Variante	N _{2fix} (g/kg TM) [◇]	Ndfa (%) [◇]	N _{2fix} (kg/ha) [◇]	N _{2fix} (kg/ha) ^{◇◇}	N _{2fix} (kg/ha) ^{◇◇◇}
1 = Kontrolle	22,1	40,2	103	28 – 38	54
2 = Roh-P (Unterfuß)	15,5	31,6	83	35 – 46	66
3 = Kaliumsulfat	25,5	43,9	160	41 – 55	79
4 = P + KS + B + Mo	18,7	36,2	111	39 – 51	73
Mittel	20,5	37,9	114	42	68
Signifikanz F-Wert ²	*	+	**	-	-
GD 5 %	6,24	8,61	31,78	-	-

[◇] Differenzmethode

^{◇◇} Ertragsmethode nach Faustzahlen

^{◇◇◇} Ertragsmethode mit N-Gehaltsfaktor

DRIS

Es wurden 3 Norm-Populationen gewählt. Die 1. Norm-Population beginnt ab $\bar{x} + 1$ SD = 42,5 dt Kornertrag/ha (Tabelle 4.37). Hierbei bleiben nach dem Testniveau 1 von Beaufils nicht genügend Quotienten übrig, um für jeden gemessenen Nährstoff Nährstoff-Indizes zu bilden. So wurde eine 2. DRIS-Norm-Population ab $x + 1$ SD berechnet, bei der 19 Werte gestrichen wurden, um mehr normalverteilte Quotienten zu erhalten (Tabelle 4.37). Eine Bedingung ist, dass alle Quotienten wenigstens in der Norm-Population normalverteilt sind. Diese wird für alle angegebenen DRIS-Normen erfüllt. Um alle gemessenen Nährstoffe in der DRIS-Norm zu haben, wurde eine 3. Norm-Population bei $x + 1,5$ SD = 48,3 dt/ha aufgestellt (Tabelle 40). Diese Norm-Population erfüllt aber leider nicht das Kriterium, dass in die Norm-Population 10 – 30 % der gesammelten Daten eingehen müssen bzw. in die Restpopulation 70 – 90 %. Dennoch liefert sie beim Berechnen der Nährstoff-Indizes gleich gute Ergebnisse. Die Mangelsituationen, die DRIS anzeigt, stimmen weitestgehend mit den CNL-Werten aus der Literatur überein. Nur aus den Mo-Quotienten ergeben sich falsche Indizes, wenn die zu untersuchende Probe über 2 mg Mo/kg enthält. Das liegt daran, dass der höchste Mo-Gehalt der Landwirte von denen Proben eingegangen sind, nur bei 2,9 mg/kg liegt. Nur in den Düngerversuchen wurden höhere Mo-Gehalte in den Blättern gefunden. Liegt der Mo-Gehalt im Blatt z. B. bei 6 mg Mo/kg zeigt DRIS Nährstoffmängel bei anderen Elementen auf. Diese sind aber nicht vorhanden, weil auch höhere Mo-Gehalte als 2 mg/kg normal sind und keine negativen Effekte auf das Pflanzenwachstum haben. Das Problem kann einfach behoben werden, wenn die Mo-Quotienten bei zu untersuchenden Proben mit > 2 mg Mo/kg bei der Berechnung der Indizes weggelassen werden. Es sollte darauf geachtet werden, dass die DRIS-Normen nur für Ackerbohnenblätter zu Beginn bis Mitte Blüte gelten.

Tab. 4.37: DRIS-Norm für *Vicia faba* Blätter zu Beginn bis Mitte Blüte bei einem Kornertrag bis $x + 1$ SD = 42,5 dt/ha in der Restpopulation

Quotient	Normal verteilt - Schiefe	H-y Units	Rest Units	High-yielding x	Größe	High-yielding SD	Rest-Population SD	High-yielding Varianz	Restpop. Varianz	F-value (SD ² /SD ²)	High-yielding CV %
K	-0,59	43	270	24,706		4,015	5,888	16,119	34,663	2,151	16,25
N	0,15	36	218	49,266		6,025	7,795	36,299	60,769	1,674	12,23
Zn	0,78+	26	201	47,022		15,589	38,91	243,00	1514,0	6,230	33,15
K/N	-0,12	36	218	0,492		0,079	0,147	0,006	0,022	3,462	16
K/C	0,07	36	218	0,057		0,009	0,015	0	0	2,778	16,17
Ca/Mn	0,61+	43	265	171,8		68,915	87,919	4749,3	7729,7	1,628	40,11
Mg/C	0,17	36	218	0,007		0,001	0,002	0	0	4,000	22,77
Mg/Ca	0,01	43	265	0,241		0,055	0,072	0,003	0,005	1,714	22,74
P/N	0,66+	36	218	0,085		0,016	0,022	0	0	1,891	18,75
Cu/Zn	0	26	201	0,266		0,076	0,131	0,006	0,017	2,971	28,39
Mo/P	0,38	26	201	0,222	$\times 10^{-3}$	0,156	0,657	0,024	0,432	17,74	70,09
Mo/N	0,77+	26	184	0,02	$\times 10^{-3}$	0,015	0,053	0	0,003	12,48	79,06
Mo/S	0,88+	26	184	0,415	$\times 10^{-3}$	0,349	1,084	0,122	1,176	9,647	83,99
Mo/Cu	0,79+	26	201	0,088		0,07	0,167	0,005	0,028	5,692	79,21
Zn/Ca	-0,34	26	201	4,376	$\times 10^{-3}$	1,164	3,252	1,355	10,573	7,805	26,6
Zn/Mg	-0,62	26	201	17,982	$\times 10^{-3}$	4,833	11,485	23,354	131,91	5,647	26,87
Zn/N	0,82+	26	184	0,958	$\times 10^{-3}$	0,394	0,855	0,156	0,731	4,709	41,19
Zn/C	0,66	26	184	0,111	$\times 10^{-3}$	0,04	0,096	0,002	0,009	5,760	36,07
Zn/B	0,48	26	200	2,718		0,98	2,002	0,96	4,008	4,173	36,06

- hierbei entfallen aufgrund < 3 Quotienten die Nährstoffindizes für K, S, P, Fe, B, Cu und Mn
- 1,18* und 2,05** Verteilung ist rechtsschief; -1,18* und -2,05** Verteilung ist linksschief; ohne * ist normal verteilt; Nährstoffgehalte in der Restpopulation sind fast nie normal verteilt
 - Testniveau 1 nach Beaufils: der Quotient in der High-yielding population besitzt eine signifikant niedrigere Varianz ($p \leq 0,050$) als der Quotient in der Restpopulation.
 - Bedingungen: F-Verteilung für $(1 - \alpha) = 0,95$; F-value $>$ Signifikanzschranke = F-Verteilung; SD Rest $>$ SD high-yielding
 - Spurenelemente in mg/kg und Hauptnährstoffe in g/kg

Tab. 4.38: DRIS-Norm für *Vicia faba* Blätter zu Beginn bis Mitte Blüte bei einem Kornertrag bis $x + 1$ SD = 42,5 dt/ha in der Restpopulation

Quotient	Skewness	H-y Units	Rest Units	High-yielding x	Größe	High-yielding SD	Rest-Population SD	High-yielding Varianz	Restpop. Varianz	F-value (SD ² /SD ²)	High-yielding CV %
K	-0,59	43	270	24,706		4,015	5,888	16,119	34,663	2,151	16,25
P	0,37	40	270	3,940		0,531	0,712	0,282	0,507	1,798	13,48
N	0,15	36	218	49,266		6,025	7,795	36,299	60,769	1,674	12,23
C	-0,58	33	218	433,78		17,15	26,599	294,139	707,53	2,405	3,95
Fe	-0,89+	24	201	143,95		30,72	227,90	943,503	51939	55,048	21,34
Mo	0,67	23	201	0,774		0,557	2,719	0,31	7,394	23,829	71,93
Zn	0,78+	26	201	47,022		15,59	38,91	243,003	1514,0	6,230	33,15
K/N	-0,12	36	218	0,492		0,079	0,147	0,006	0,022	3,462	16
K/C	-0,3	33	218	0,057		0,008	0,015	0	0	3,516	14,89
Mg/C	0,29	33	218	0,006		0,001	0,002	0	0	4,000	22,81
Mg/Ca	0,01	43	265	0,241		0,055	0,072	0,003	0,005	1,714	22,74
P/N	0,79+	33	218	0,083		0,015	0,022	0	0	2,151	18,11
P/C	0,43	30	218	0,009		0,001	0,002	0	0	4,000	15,22
P/Fe	-0,06	21	201	27,435		4,765	8,57	22,703	73,448	3,235	17,37
C/N	-0,46	33	218	8,761		0,683	1,576	0,467	2,482	5,324	7,8
Mn/Ca	0,24	35	265	6,060	$\times 10^{-3}$	1,937	2,811	3,751	7,9	2,106	31,96
Mn/P	0,74+	34	269	17,544	$\times 10^{-3}$	7,619	12,243	58,054	149,89	2,582	43,43
Cu/Mo	1,13+	15	201	1,052		1,212	47,928	1,469	2297,1	1563,8	115,24
Cu/Zn	0	26	201	0,266		0,076	0,131	0,006	0,017	3	28,39
Fe/Ca	0,1	24	201	13,609	$\times 10^{-3}$	3,66	16,571	13,396	274,61	20,499	26,89
Fe/Mg	0,3	24	201	55,82	$\times 10^{-3}$	15,08	69,383	227,518	4814,0	21,158	27,02
Fe/N	-0,58	24	184	2,875	$\times 10^{-3}$	0,676	4,446	0,457	19,763	43,256	23,52
Fe/S	0,15	24	184	58,506	$\times 10^{-3}$	14,46	74,802	208,97	5595,3	26,775	24,71
Fe/Mn	-0,12	20	201	3,131		0,926	1,844	0,858	3,4	3,966	29,58
Fe/Zn	0,74	24	201	3,463		1,415	7,779	2,003	60,515	30	40,86
Mo/K	0,93+	23	201	0,032	$\times 10^{-3}$	0,025	0,097	0,001	0,009	15,054	77,12
Mo/P	-0,01	22	201	0,176	$\times 10^{-3}$	0,118	0,657	0,014	0,432	31,000	66,69
Mo/N	0,59	23	184	0,016	$\times 10^{-3}$	0,012	0,053	0	0,003	19,507	73,54
Mo/C	0,53	21	184	0,002	$\times 10^{-3}$	0,001	0,007	0	0	49,000	70,61
Mo/Mn	0,74	20	201	0,014		0,012	0,033	0	0,001	7,563	82,51
Zn/Ca	-0,34	26	201	4,376	$\times 10^{-3}$	1,164	3,252	1,355	10,573	7,805	26,6
Zn/Mg	-0,62	26	201	17,982	$\times 10^{-3}$	4,833	11,485	23,354	131,91	5,647	26,87
Zn/P	0,92+	23	201	12,251	$\times 10^{-3}$	4,829	11,343	23,322	128,67	5,517	39,42
Zn/N	0,82+	26	184	0,958	$\times 10^{-3}$	0,394	0,855	0,156	0,731	4,709	41,19
Zn/C	0,88+	24	184	0,107	$\times 10^{-3}$	0,04	0,096	0,002	0,009	5,760	36,87
Zn/B	0,48	26	200	2,718		0,98	2,002	0,96	4,008	4,173	36,06
B/P	-0,77	24	200	4,757	$\times 10^{-3}$	1,155	1,607	1,335	2,581	1,936	24,29

- 1,18* und 2,05** Verteilung ist rechtsschief; -1,18* und -2,05** Verteilung ist linksschief; ohne * ist normal verteilt; Nährstoffgehalte in der Restpopulation sind fast nie normal verteilt
- Testniveau 1 nach Beaufils: der Quotient in der High-yielding population besitzt eine signifikant niedrigere Varianz ($p \leq 0,050$) als der Quotient in der Restpopulation.

• Bedingungen: F-Verteilung für $(1 - \alpha) = 0,95$; F-value > Signifikanzschranke = F-Verteilung; SD Rest > SD high-yielding

• Spurenelemente in mg/kg und Hauptnährstoffe in g/kg

➤ hierbei entfallen aufgrund < 3 Quotienten die Nährstoffindizes für S, Cu & B

Tab. 4.39: DRIS-Norm für *Vicia faba* Blätter zu Beginn bis Mitte Blüte bei einem Kornertrag bis $x + 1,5$ SD = 48,3 dt/ha in der Restpopulation

Quotient	Skewness	H-y Units	Rest Units	High-yielding x	Größe	High-yielding SD	Rest-Population SD	High-yielding Varianz	Restpop. Varianz	F-value (SD ² /SD ²)	High-yielding CV %
K	0,12	16	297	24,601		3,338	5,766	11,145	33,247	2,984	13,57
N	-0,44	16	238	48,307		4,665	7,717	21,762	59,553	2,736	9,66
Mo	0,13	14	213	0,659		0,507	2,653	0,257	7,036	27,38	76,92
Zn	0,62	14	213	47,036		15,008	38,276	225,248	1465,038	6,504	31,91
B	-0,78	14	213	20,5		2,902	5,153	8,421	26,55	3,153	14,16
K/B	0,15	14	213	1255,4		277,50	483,38	77007,9	233655,8	3,034	22,1
Ca/N	-0,15	16	234	0,248		0,065	0,105	0,004	0,011	2,609	26,26
Ca/S	-0,2	16	234	4,599		1,05	1,716	1,102	2,944	2,671	22,83
Ca/K	0,16	16	292	0,493		0,143	0,23	0,02	0,053	2,587	29,02
Mg/P	0	16	297	0,663		0,126	0,2	0,016	0,04	2,520	18,94
Mg/C	0,22	16	238	0,006		0,001	0,002	0	0	4,000	22,93
Mg/B	0,17	14	213	123,58		22,078	46,625	487,424	2173,89	4,460	17,87
P/B	0,47	14	213	191,44		27,589	83,246	761,157	6929,954	9,104	14,41
P/Ca	-0,03	16	292	0,347		0,088	0,134	0,008	0,018	2,319	25,29
N/Mn	-0,78	16	238	857,32		296,81	439,929	88096,7	193537,4	2,197	34,62
N/B	0,55	14	196	2410,2		456,11	919,132	208037	844802,9	4,061	18,92
N/K	-0,64	16	238	1,985		0,227	0,61	0,052	0,373	7,221	11,45
C/B	0,4	14	196	21035		4230,6	8042,95	17897833	64689080	3,614	20,11
C/K	-0,5	16	238	17,378		2,339	5,288	5,471	27,966	5,111	13,46
S/K	0,53	16	238	0,107		0,018	0,031	0	0,001	2,966	17,15
S/N	-0,6	16	238	0,054		0,006	0,011	0	0	3,361	11,9
Cu/Ca	0,02	14	213	1,006	10 ⁻³	0,263	0,486	0,069	0,236	3,415	26,14
Cu/B	0,17	14	212	0,554		0,148	0,24	0,022	0,058	2,630	26,73
Fe/Ca	0,56	14	213	14,488	10 ⁻³	3,804	16,392	14,473	268,707	18,57	26,26
Fe/Zn	0,36	14	213	3,646		1,084	7,578	1,176	57,42	48,87	29,74
Mo/K	0,49	14	213	0,027	10 ⁻³	0,021	0,095	0	0,009	20,47	80,55
Mo/Ca	0,07	14	213	0,061	10 ⁻³	0,048	0,257	0,002	0,066	28,67	78,42
Mo/Mg	0,6	14	213	0,277	10 ⁻³	0,238	0,742	0,057	0,551	9,720	85,89

Mo/P	0,08	14	213	0,163	10 ⁻³	0,122	0,64	0,015	0,41	27,52	74,46
Mo/N	0,57	14	196	0,014	10 ⁻³	0,012	0,052	0	0,003	18,78	83,36
Mo/C	0,24	14	196	0,002	10 ⁻³	0,001	0,006	0	0	36,00	79,26
Mo/S	0,54	14	196	0,27	10 ⁻³	0,228	1,056	0,052	1,114	21,45	84,39
Mo/Mn	0,92	14	213	0,013		0,012	0,033	0	0,001	7,563	93,95
Mo/Cu	0,08	14	213	0,062		0,048	0,164	0,002	0,027	11,67	77,6
Mo/Fe	0,04	14	213	0,004		0,003	0,014	0	0	21,78	77,04
Mo/Zn	0,28	14	213	0,015		0,012	0,046	0	0,002	14,69	80,42
Mo/B	0,31	14	212	0,032		0,025	0,128	0,001	0,016	26,21	78,76
Zn/K	1,09+	14	213	1,933	10 ⁻³	0,788	1,447	0,62	2,094	3,372	40,75
Zn/Ca	0,15	14	213	4,092	10 ⁻³	0,776	3,185	0,602	10,146	16,85	18,96
Zn/Mg	0,2	14	213	18,679	10 ⁻³	4,453	11,297	19,829	127,614	6,436	23,84
Zn/P	1,01+	14	213	12,245	10 ⁻³	4,131	11,192	17,063	125,265	7,340	33,74
Zn/N	0,6	14	196	0,999	10 ⁻³	0,389	0,84	0,151	0,706	4,663	38,95
Zn/C	0,34	14	196	0,114	10 ⁻³	0,04	0,094	0,002	0,009	5,523	35,26
Zn/S	0,52	14	196	18,748	10 ⁻³	6,462	16,3	41,76	265,686	6,363	34,47
Zn/Cu	0,7	14	213	4,28		1,18	3,059	1,393	9,359	6,720	27,58
Zn/B	0,52	14	212	2,317		0,729	1,96	0,531	3,841	7,229	31,45
B/S	-0,53	14	196	8,147	10 ⁻³	1,404	2,111	1,972	4,457	2,261	17,24

Hierbei entfällt aufgrund < 3 Quotienten der Mn-Index.

- 1,18* und 2,05** Verteilung ist rechtsschief; -1,18* und -2,05** Verteilung ist linksschief; ohne * ist normal verteilt; Nährstoffgehalte in der Restpopulation sind fast nie normal verteilt
- Testniveau 1 nach Beaufils (1973): der Quotient in der High-yielding population besitzt eine signifikant niedrigere Varianz ($p \leq 0,050$) als der Quotient in der Restpopulation.
- Bedingungen: F-Verteilung für $(1-\alpha) = 0,95$; F-value > Signifikanzschränke = F-Verteilung; SD Rest > SD high-yielding; High-yielding population = 10 bis 30 % der Restpopulation ist hier nicht erfüllt!
- Spurenelemente in mg/kg und Hauptnährstoffe in g/kg

Die einzelnen Nährstoffe – ohne Quotientenbildung – zeigen keine ausgeprägten Korrelationen zum Ertrag (Tabelle 4.40). Der Kornertrag ist leicht negativ mit dem Mo-, Cu-, Zn-, Mg- und B-Gehalt in den Blättern korreliert.

Tabelle 4.40: Korrelationen zwischen den Nährstoffen und zum Kornertrag

K	-0,057													
Ca	0,098	-0,176**												
Mg	-0,298**	0,374**	0,297**											
P	-0,049	0,218**	-0,303**	0,100										
N	0,034	0,368**	-0,253**	0,096	0,277**									
C	0,051	0,116	-0,199**	-0,099	0,148*	0,609**								
S	0,134*	0,369**	0,032	0,311**	0,072	0,455**	0,233**							
Mn	-0,089	0,056	0,412**	0,559**	-0,308**	-0,117	-0,190**	0,268**						
Cu	-0,335**	0,234**	-0,330**	0,243**	0,559**	0,353**	0,143*	0,305**	-0,007					
Fe	-0,061	0,103	0,097	0,155*	-0,092	0,015	-0,145*	0,111	0,279**	-0,071				
Mo	-0,381**	0,114	-0,137*	0,327**	0,142*	0,070	-0,058	0,000	0,165*	0,238**	0,021			
Zn	-0,299**	0,265**	0,179**	0,453**	-0,172**	-0,022	-0,097	0,110	0,571**	0,131*	0,207**	0,209**		
B	-0,172**	0,302**	0,117	0,427**	0,028	0,094	-0,010	0,267	0,253**	0,202	0,014	0,284**	0,402**	
Ertrag	K	Ca	Mg	P	N	C	S	Mn	Cu	Fe	Mo	Zn		



Bild 6: Blatternte 10.06.2010 in Willich-Anrath, links mit Schwefel gedüngt und rechts ohne Schwefel

4: Generaldiskussion

Im Rahmen des Verbundprojektes wurden verschiedene innovative Ansätze zur Nutzung von Verfahren reduzierter Bodenbearbeitung von Körnerleguminosen unter den Anbaubedingungen des Ökologischen Landbaus untersucht. Als Kernaussage lässt sich ableiten, dass Verfahren reduzierter Bodenbearbeitung sowohl für Ackerbohnen und – mit grösseren Einschränkungen – für Körnererbsen unter bestimmten Voraussetzungen ohne wirtschaftliche Ertragseinbußen möglich sind. Für Verfahren der temporären Direktsaat trifft diese Aussage nur für Ackerbohnen unter sehr partikularen Standortbedingungen bei gleichzeitig obligater Nutzung von Unkraut unterdrückenden Strohmulchgaben zu. Das Verfahren ist vornehmlich für Betriebe mit geringem oder keinem Einstreubedarf interessant, in welchen die Nutzung des Stroh sowohl aus humusbilanzieller Sicht als auch aus Gründen der Unkrautkontrolle in der untersuchten Form von Vorteil sein kann. Der Ansatz ist jedoch mit Opportunitätskosten verbunden, wenn dieses Stroh alternativ verkauft würde.

Temporäre Direktsaat hatte im Vergleich mit dem Pflug und Saatbettbereitung (LBS) keinen erkennbaren Einfluss auf den Feldaufgang und die Bestandesdichte, wenn inhomogene Strohverteilung vermieden wurde. Die Jugendentwicklung der Pflanzen im LBS war zügiger. Mit zunehmender Vegetationsdauer, Erwärmung und Abtrocknung des Bodens konnte der Entwicklungsrückstand der Direktsaatvarianten in der Regel kompensiert werden. Strohmulch erhöhte in den tDS-Varianten im Vergleich zur Variante tDS ohne Stroh i.d.R. auch die spätere Sprossmasseentwicklung. In allen Versuchen waren die N-Aufnahme des Sprosses und die vegetative Sprossmasse in der Pflugvariante höher als in den Varianten mit Direktsaat. Dieser Sachverhalt ist bei Ackerbohnen nicht notwendigerweise mit einem höheren Hülsenansatz und höherem Kornertrag verbunden.

Die Ackerbohnen-Kornerträge unterlagen hohen Schwankung mit einer Spannweite der Versuchsmittel von 2,1 bis 3,9 t*ha⁻¹. Der Einfluss der verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme zeigte keine einheitliche Tendenz. Im Mittel von acht ausgewerteten Versuchen ergab sich zwar ein um etwa 20% höherer Kornertrag zugunsten der Pflugvariante, der sich aber aus einigen wenigen Versuchen mit standörtlich bedingt extremen Ertragsunterschieden ergab, die auch nicht immer signifikant waren. In fünf Versuchen wurde kein Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf den Kornertrag festgestellt. In einigen Fällen wurde ein

fördernder Effekt der Direktsaat auf den Kornertrag beobachtet, der insbesondere in den Varianten mit der höchsten Mulchmasse von $6\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ signifikant höher war als nach Pflugbearbeitung. Im Durchschnitt aller Versuche hatten die Ackerbohnen in den Varianten mit Strohmulch einen um 23 bzw. 36% höheren Kornertrag ($+0,5$ und $0,6\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) verglichen mit den Parzellen ohne Mulch (tDS 0). In fünf Versuchen war der Kornertrag in den Varianten mit Strohauflagen (tDS 4 und $6\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ Stroh) höher als in den Parzellen ohne Stroh; in drei Versuchen war dieser Unterschied signifikant. In drei weiteren Versuchen wurde kein Einfluss der Mulchauflage auf den Kornertrag festgestellt.

Insgesamt weisen die Ergebnisse darauf hin, dass bodenbearbeitungsinduzierte Unterschiede im Kornertrag bei Ackerbohnen zumindest bei niedrigem Ertragsniveau vergleichsweise gering ausfallen (Massucati et al. 2012). Sie sind möglicherweise wegen der geringeren Aufwendungen bei tDS im Vergleich zum LBS zu tolerieren. Über einen der ersten Versuche mit nicht signifikanten Ertragsunterschieden aber erheblich niedrigeren Kosten, niedrigeren Arbeits- und Dieseleinsatz sowie geringeren CO_2 -Emissionen wurde schon früher berichtet (Köpke 2008; Köpke & Schulte 2008). In diesem Versuch betrugen die Verfahrenskosten 275 € (LBS) bzw. 48 € (tDS). Bei damaligen Preisen von 240 € je t wären die Kostenvorteile der Direktsaat bis zu einer Differenz von $0,95\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ Kornertrag wirksam gewesen. In diesem Versuch betrug die größte (nicht signifikante Differenz) einer tDS-Variante mit dem LBS allerdings nur $0,84\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ Kornertrag. Mindererträge durch Direktsaat können unter solchen Umständen akzeptiert werden.

Trotz der erheblichen Vorteile von temporärer Direktsaat mit Hinblick auf Arbeits- und Energiekosten (flächenbezogene maximale Einsparungen von 80 Prozent wurden in Voruntersuchungen festgestellt) sowie auf erfolgreichen Erosionsschutz stellen sich aus praktischer Sicht des Ökologischen Landbaus noch einige ungelöste Probleme. Die Ertragswirksamkeit der Strohauflage ist bei tDS vorwiegend als Funktion einer reduzierten Unkrautkonkurrenz und eines günstigeren Bodengefüges an der Bodenoberfläche unter der Mulchdecke zu interpretieren. Mit steigender Strohmasse nahmen bei Direktsaat die Unkrautdichte, der Unkrautdeckungsgrad und die Spross-Trockenmasse der annualen Unkräuter im Vergleich zur Direktsaat ohne Strohmulch ab. Die bei LBS im Vergleich zu den tDS-Parzellen mit Strohmulch deutlich geringeren Werte für Unkrautdichte, -deckungsgrad und -sprossmasse bestätigen die bekannten Effekte der Unkrautregulation mit dem Wendepflug. Zudem

wurde mechanische Unkrautregulation mit der Hacke nur in den LBS-Referenzparzellen durchgeführt.

Ein erheblicher Vorteil: Strohmulch verhindert die Keimung der Verschlämmung anzeigenden Kamille-Arten und vor allem die nach dem Verkahlen der Bestände typische Spätverunkrautung insbesondere mit dem auf der Saatreihe keimenden Weißen Gänsefuß, *Chenopodium album*, der durch die Hackschare und den Erdstrom in der Pflugvariante nicht erreicht wird.

Verglichen mit den Direktsaat-Varianten mit Mulchauflage unterschieden sich der Unkrautdeckungsgrad und die Sprossmasse der annuellen Unkräuter in den LBS-Varianten i.d.R. nicht signifikant; mehrfach war die Unkrautdichte in der Variante LBS standortbedingt sogar höher. Effekte einer potentiell möglichen zunehmenden Verunkrautung nach temporärer Direktsaat, d.h. eine Zunahme der Diasporenbank des Bodens sind wohl auszuschliessen. Die projektbegleitenden floristischen Bonituren zeigten vielmehr, dass temporäre Direktsaat zu einer signifikanten Veränderung des Unkrautartenspektrums in Ackerbohnen führt, und auch markant reduzierend auf bestimmte früh aussamende Problemunkräuter, wie z.B. Weißen Gänsefuß, wirken kann.

Ungeeignet sind Flächen mit hoher Verungrasung und hoher Dichte perennierender Unkräuter. Unter diesen Bedingungen muss temporäre Direktsaat von Ackerbohnen derzeit ausgeschlossen werden.

Ackerschnecken und Feldmäuse waren – im Gegensatz zu den bekannten Problemen bei kontinuierlicher Direktsaat – keine die temporäre Direktsaat einschränkenden Faktoren.

Die häufig beobachtete verlangsamte Jugendentwicklung von Ackerbohnen bzw. bei Erbsen auch der verringerte Feldaufgang nach Direktsaat erhöhen das Anbaurisiko und die Ertragsunsicherheit. Die zu Ackerbohnen eingesetzte Dreischeiben-Einzelkorn-Sämaschine SHM 11/13 ermöglicht die Unterfußdüngung bei der Saat. Damit kann die verzögerte Jugendentwicklung möglicherweise ebenso wie die symbiotische Stickstofffixierung und der Kornertrag durch Unterfußdüngung mit Phosphor, Schwefel und Molybdän gefördert bzw. gesteigert werden. Unzureichende Nährstoffversorgung mit Schwefel erwies sich in einigen Fällen als ertragslimitierender Faktor beim Anbau von Ackerbohnen. Die Applikation von sulfathaltigen Düngern, bspw. Kaliumsulfat, wirkt unter diesen Bedingungen ertragssteigernd. Künftig gilt es, Minderleistungen von Leguminosen aufgrund

unzureichender Mineralstoffversorgung im Ökologischen Landbau durch gezielte Düngungsmaßnahmen auf Basis von Indikatorensystemen zu verhindern. Die Zielsetzung einer möglichst hohen absoluten N_2 -Fixierung der Körnerleguminosen, d.h. ein maximales Produkt aus N-Ertrag und prozentualem NdfA Wert, wird nach derzeitigem Kenntnisstand in erster Linie vom Kornertrag der Leguminose determiniert. Die gezielte temporäre Entleerung des N_{\min} -Vorrates des Bodens durch Anbau nichtlegumer Zwischenfrüchte vor Körnerleguminosen kann neben allen Kornertrag steigernden Maßnahmen zur Steigerung der symbiotischen N_2 -Fixierung (Erhöhung des NdfA-Anteils) eingesetzt werden. Demgegenüber sind Verfahren mit Nutzung legumer Untersaaten wohl eher kritisch zu bewerten, da diese destabilisierend auf die Ertragssicherheit wirken können.

5: 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 verschiedene Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung inklusive der Direktsaat grundsätzlich möglich sind. Da der Einsatz von natürlichen Phytotoxischen Wirkstoffen mit herbizider Wirkung (NPW) in Europa (noch) nicht zugelassen ist, bleibt die effiziente Regulation in hoher Dichte auftretender perennierender Unkräuter ein limitierender Faktor für Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung, inklusive der Direktsaat. Dies gilt insbesondere für die weniger konkurrenzstarken Erbsen, deren Deckungsbeiträge nach Direktsaat aufgrund der niedrigeren Erträge geringer waren als nach Pflug oder Grubber. Grundsätzlich ist die Substitution chemisch-synthetischer Totalherbizide wie Glyphosate oder Glufosinate, die die umfängliche Verbreitung von Direktsaat- und Mulchsaatverfahren im *mainstream* weltweit erst ermöglichten, durch natürliche Substanzen mit phytotoxischer Wirkung (NPW) möglich. Dazu gehören beispielsweise Essigsäure, Kiefernholzextrakt oder pflanzliche Öle. Eigene

Voruntersuchungen haben die markante Wirkung von Citronella-Öl, gewonnen aus einem tropischen Gras, das auch als Tee genossen oder Badezusatz verwendet wird, auf die Spross und Wurzelmasse von Ampferarten nachgewiesen (Massucati et al. 2009). Gleichwohl sind NPW – obwohl Kiefernholzextrakt beispielsweise in Neuseeland im Ökologischen Landbau zugelassen ist – unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus Mitteleuropas (bislang) nicht einsatzfähig; ein Sachverhalt, der sich angesichts der internationalen Entwicklungen aber durchaus ändern könnte, wenngleich 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 dieser natürlichen Wirkstoffe mit dem Selbstverständnis des Ökologischen Landbaus, lässt stattdessen die unkrautreduzierende Wirkung allelopathisch wirksamer Substanzen der Vorfrüchte wie Hafer und Roggen und v. a. der physikalischen Wirkungen der bodenoberflächlich belassenen Erntereste als geeignetere Lösung erscheinen.

Mögliche langfristig wirksame positive Effekte der temporären Direktsaat wie die Erhöhung des Gehaltes an organischer Bodensubstanz, Erosionsminderung und weniger Arbeitszeitbedarf müssen besser quantifiziert und künftig in Wirtschaftlichkeitsberechnungen mit einbezogen werden.

Da in Marktfruchtbetrieben die Bergung von Stroh als Einstreu nicht erforderlich ist, könnten technikaffine Betriebe das beschriebene Verfahren zum kostensparenden, bodenschützenden und klimarelevanten Anbau von Ackerbohnen schon heute nutzen und weiterentwickeln und bei überbetrieblichem Einsatz – zumal für Lohnunternehmer – auch für nur temporäre Direktsaat lohnend sein.

Im Gemischtbetrieb wird genereller Pflugverzicht wegen der notwendigen Regulation vor allem perennierender Unkräuter, der Einarbeitung von Düngern und Ernteresten und einer effizienten Nutzung von Bodennährstoffen sowie aus phytosanitärer Sicht als kaum möglich erachtet.

Klimawandel und Witterungsextreme werden die Aufgabe statischer Fruchtfolgesysteme weiter fördern. Mittel- und kurzfristige Fruchtfolgeumgestaltung (*opportunistic cropping*) wird ebenso zu nehmen, wie die Diversität der angebauten Feldfrüchte. Das gleiche gilt für den Einsatz bzw. Verzicht von Bodenbearbeitungsgerät. 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. Reduzierte Bodenbearbeitung wird in der Praxis mehr denn je nach den gegebenen Ausgangsbedingungen vorgenommen werden. So wird – durchaus auch begründet mit einem geringeren Unkrautauflkommen – nach günstigen Vorfrüchten nicht wendende Grundbodenbearbeitung eingesetzt. Künftig wird wohl kein statisches System der Bodenbearbeitung sondern eine den gegebenen Standortbedingungen flexibler angepasste Geräteauswahl (*opportunistic tillage*) mit Einschluss temporärer Direktsaat angewandt werden.

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

Mit Hinblick auf die wesentlichen Ziele kann die Durchführung des Projektes als erfolgreich angesehen werden. Für noch näher zu definierende Rahmenbedingungen (tolerierbare artendifferenzierte Unkrautdichte, Neigung der unterschiedlichen Böden zur Schaffung günstiger Bodengefüge bei Mulchauflage) sind Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung/Direktsaat für Körnerleguminosen, namentlich Ackerbohnen und Erbsen, unter den Anbaubedingungen des Ökologischen Landbaus grundsätzlich möglich. Limitierend für temporäre Direktsaat sind derzeit vor allem perennierende Unkrautarten wenn sie in hoher Dichte auftreten. Weiter untersucht werden muss der Einsatz von NPW; zur Vermeidung hoher Kosten auch mit sensorgesteuerter Einzelpflanzenbehandlung.

Nicht ausreichend verifiziert werden konnte die Eignung der Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung für den Anbau von Sojabohnen und Lupinen. Abzuwarten bleibt auch, ob die Verfahren für Ackerbohnen und Erbsen auch die Akzeptanz der landwirtschaftlichen Praxis erhalten werden. Für technikaffine Umstellungsbetriebe mit geringem Unkrautdruck und günstiger Nährstoffversorgung bieten sich die untersuchten Verfahren zur Sicherstellung des Eiweissfutterbedarfes im Ökologischen Landbau schon heute an.

In den bisherigen Versuchen musste das Stroh in den verschiedenen Varianten der Direktsaat zur exakten mengenmäßigen Beaufschlagung der unterschiedlichen Strohmassen von Hand aufgebracht werden. Eine Mindestmenge von $4\text{-}5\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ Stroh

ist für eine wirksame Unkrautunterdrückung notwendig und mit Kornerträgen von etwa $4\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ sicher zu erreichen. Künftig kann durch Hochdrusch des Hafers (oder anderer geeigneter Sommergetreide mit hoher Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern) und dem nachfolgenden Einsatz einer Messerwalze ein mögliches Verschleppen der Strohaufgabe durch dessen bleibende Verankerung mit dem Boden vermieden werden; ein Umstand, der örtliche Konzentration großer Stromengen bzw. Freiräumen der Bodenoberfläche beim Säen vermeiden kann. Messerwalzen haben sich in der landwirtschaftlichen Praxis und auch im eigenem Betrieb beispielsweise zum Umlegen von Wickroggen und anschließender Direktsaat von Mais bewährt.

Forschungsbedarf besteht bei Verfahren Reduzierter Bodenbearbeitung – nicht temporärer Direktsaat - vor allem in der Optimierung der mechanischen Unkrautkontrolle durch sensorgesteuerte Hacken.

Der Forschungsansatz einer Verwendung von legumen Untersaaten erwies sich als unzureichend erfolgversprechend und wird zudem durch hohe Saatgutpreise für Feinleguminosen erschwert.

7: Zusammenfassung

Im Rahmen des Verbundprojektes wurden in insgesamt vier Teilprojekten verschiedene Anbaustrategien zur Optimierung des ökologischen Anbaus von Körnerleguminosen in Feldversuchen untersucht. Schwerpunktmäßig wurde der Einfluss verschiedener Formen reduzierter Bodenbearbeitung im Verbund mit Zwischenfruchtanbau bzw. Nährstoffversorgung auf Ertragsleistung und Unkrautvorkommen in Ackerbohnen und Erbsen untersucht.

Teilprojekt 1

In zwei Versuchsjahren, 2008/2009 und 2009/2010, wurden auf zwei Lehr- und Forschungsstationen der Uni Bonn (Wiesengut und Frankenforst, sowie auf zwei ökologisch wirtschaftenden Praxisbetrieben in Niederkrüchten (NI) und in Willich/Anrath (AN) insgesamt acht Feldversuche mit Ackerbohnen durchgeführt. Im ersten Jahr wurde der Versuch nach Vorfrucht Hafer als zweifaktorielle Blockanlage mit vier Wiederholungen mit den Versuchsfaktoren Haferstroh (ohne Stroh, 4 und 6 t Stroh $\text{TM} \cdot \text{ha}^{-1} = \text{tDS}$ 0, 4 und 6) und Hafer - Saatdichte (0, 600, 1200, 1800 Körner $\cdot\text{m}^{-2}$) in Direktsaat angelegt. Als Kontrolle diente eine konventionelle Bodenbearbeitung mit Wendepflug (Lockerbodensystem=LBS). Es wurden Parameter der Bestandesentwicklung, Ertragsleistung sowie zur Unkrautentwicklung erfasst und einer varianzanalytischen Auswertung unterzogen.

Die Bestandesentwicklung, gemessen an der Sprosslänge und dem BFI, war nach Direktsaat im Vergleich zu Pflugbearbeitung verlangsamt und glich sich erst mit zunehmendem Vegetationsverlauf an. Der Versuchsfaktor Hafer - Saatdichte hatte keinen Einfluss auf das untersuchte Parameterspektrum und wurde im zweiten Jahr nicht mehr geprüft. Demgegenüber hatte der Versuchsfaktor Strohmulch einen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag und die Unkrautflora. Durch Applikation von Strohhäcksel (4 bzw. 6 t ha^{-1}) wurden Samenunkräuter effizient unterdrückt und der Ackerbohnenkornertrag im Vergleich zu Direktsaat ohne Strohmulch signifikant erhöht. Es wurde jedoch keine ausreichende Unterdrückung von perennierenden Unkräutern und Ungräsern durch Strohmulch festgestellt. Demgegenüber wurde das Auflaufen des Problemunkrautes Weißer Gänsefuß durch Direktsaat im Vergleich zu Pflugbearbeitung effizient unterdrückt. Obwohl die Bestände mit konventioneller Bodenbearbeitung (Pflug) im Vergleich zu Direktsaat häufig wüchsiger waren, wurde in fünf von acht Versuchen kein Einfluss der Pflugbearbeitung auf den Kornertrag

festgestellt. In zwei Versuchen war der Kornertrag nach Pflugbearbeitung signifikant höher, in einem Versuch signifikant niedriger als nach Direktsaat mit Strohmulch (6 t ha⁻¹). Als Kernaussage lässt sich ableiten, dass Verfahren reduzierter Bodenbearbeitung für Ackerbohnen unter bestimmten Bedingungen (geringer Unkrautdruck mit Perennierenden) ohne wirtschaftliche Ertragseinbußen möglich sind.

Teilprojekt 2

Zwischen den Jahren 2008 und 2010 wurden am Standort Göttingen-Reinshof Feldversuche mit dem Fruchtfolgeausschnitt Sommergerste – Hafer-Sonnenblumen-Gemenge (Zwischenfrucht) – Ackerbohnen (cv. Fuego) durchgeführt. Sommerweizen diente als Referenzfrucht. Ziel war die Förderung der symbiotischen N₂-Fixierung der Ackerbohnen durch N-Immobilisierung nach Anbau einer nicht-legumen Zwischenfrucht sowie durch reduzierte Bodenbearbeitung und Mulchsaat-Verfahren. Zudem sollten Reaktionen der Unkrautflora beobachtet werden. Bodenbearbeitungsvarianten (konventionell mit Pflug oder reduziert mit Flügelschargrubber) kurz vor Aussaat der Ackerbohnen wurden mit einer Mulchsaat-Variante ohne Bodenbearbeitung verglichen. Ferner wurden Varianten mit Zwischenfrucht-Bewuchs und ohne Bewuchs (Schwarzbrache) gegenübergestellt.

Das nicht-legume Zwischenfrucht-Gemenge bildete im Herbst ausreichend Biomasse, um Unkräuter effektiv zu unterdrücken. Die Zwischenfrüchte akkumulierten Stickstoff in hohem Maße und nachfolgende Ackerbohnen reagierten - sowohl absolut in kg N ha⁻¹ als auch relativ in % - in 3 von 4 Fällen mit signifikanten Steigerungen der symbiotischen Stickstoff-Fixierung gegenüber der Kontrollvariante Schwarzbrache. Für den Faktor Bodenbearbeitung zeigten sich hinsichtlich der symbiotischen Stickstoff-Fixierung keine signifikanten Effekte, jedoch wurden bei den Isotopensignaturen signifikante Unterschiede nachgewiesen. N-Flüsse im System wurden durch ¹⁵N-Transfer-Versuche aufgedeckt. Die Korn-Erträge der Ackerbohnen bewegten sich in den Jahren 2009 und 2010 auf niedrigem Niveau (im Mittel: 30 bzw. 24 dt TM ha⁻¹). Die Untersuchungsfaktoren übten keinen signifikanten Einfluss auf den Ertrag aus. Die Element-Konzentration in den Ackerbohnen ergab Hinweise auf Mangelernährung. Mit zunehmender Intensität der Bodenbearbeitung stieg die Abundanz des Leitunkrautes Acker-Senf (*Sinapis arvensis*) signifikant an.

Teilprojekt 3

Das Pflügen birgt die Gefahr einer erhöhten Bodenerosion durch Wind und Wasser sowie einer Verdichtung im Wurzelbereich der Pflanze. Um diesen negativen Effekten der wendenden Bodenbearbeitung entgegenzuwirken wurde ein Feldversuch angelegt, um die Wirkung einer reduzierten Bodenbearbeitung und einer Untersaat mit Erdklee auf den Ertrag, N₂-Fixierleistung und die Unkrautentwicklung im Fruchtfolgeglied Erbse-Winterweizen zu untersuchen. In Pinkowitz (bei Dresden) wurde die Körnererbse nach einer Bodenbearbeitung mit dem Pflug oder Grubber, bzw. ohne Bodenbearbeitung in Direktsaat eingebracht. Eine Woche nach Einsaat der Körnererbse wurde eine Untersaat mit Erdklee eingebracht. Nach Ernte der Erbse wurde im Oktober Winterweizen nach Pflug oder Grubber, oder in Direktsaat, jedoch quer zur Bodenbearbeitung zur Körnererbse eingesät. Das Wachstum der Kulturpflanzen und des Unkrautes, sowie die N_{min}-Mengen im Boden wurden zu zwei Zeiternten und zur Reife der Erbse und des Weizens erfasst.

Direktsaat hatte einen negativen Einfluss auf den Feldaufgang der Körnererbse. Die geringere Bestandesdichte nach Direktsaat im Vergleich zu Pflug und Grubber konnte nicht vollständig durch Erhöhung der Körner je Hülse oder das Tausendkorngewicht kompensiert werden. Ein signifikant negativer Effekt der reduzierten Bodenbearbeitung und der Direktsaat auf die N₂-Fixierleistung wurde nicht festgestellt. Die Untersaat Erdklee in Erbse unterdrückte in allen Systemen der Bodenbearbeitung das Wachstum von Unkräutern, ohne sich deutlich negativ auf das Wachstum der Körnererbse auszuwirken. Winterweizen in Direktsaat entwickelte sich sehr schlecht und wies nur einen sehr geringen Kornertrag auf. Zusätzlich zeigte sich ein stark erhöhtes Wachstum von Unkräutern nach Direktsaat zu Winterweizen, welches den Weizen fast vollständig zurückdrängte.

Teilprojekt 4

Der Gefäßversuch mit Ackerbohnen (*Vicia faba*) der Sorte Fuego sollte zeigen, ob die Nährstoffe Kalium, Bor und Molybdän aus Sekundärrohstoffdüngern pflanzenverfügbar sind, und wie die Wirkung von Roh-Phosphat im Vergleich zu Super-Phosphat ist. Gärrückstand, Kompost und Trauben-Trester eigneten sich gleichermaßen gut als K-Quelle. Eine Molybdän-Düngewirkung dagegen zeigte sich nur bei der Variante „Kompost“. Die Ackerbohnen, die im Boden mit der P-Versorgungsstufe A wuchsen, zeigten P-Mangel (1,3 g P/kg TM Blatt) und einen ausgeprägten Minderertrag. Das

Fleischknochenmehl erhöhte die P-Gehalte im Blatt auf 3,6 g/kg TM, wobei nur das veraschte Fleischknochenmehl den Ertrag um das Dreifache im Vergleich zur Kontrolle ohne P ansteigen ließ. Super-Phosphat erhöhte den Ertrag um das 5,5-fache bei 4,5 g P/kg TM in den Blättern.

Im Zwischenfrucht-Feldversuch zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Varianten nur beim Mo-Gehalt der Ackerbohnenblätter zu Blühbeginn. Die sehr hohe Natrium-Molybdat-Düngung von 3 kg Mo/ha führte zu einem Gehalt von 102,3 mg Mo/kg TM im Vergleich zu 1 bis 3 mg Mo/kg TM in den Varianten ohne Mo-Düngung.

Die Feldversuche im Jahr 2010 zeigten wiederum, dass sich eine Molybdän-Düngung – diesmal 1 kg Mo/ha – in den Blattgehalten widerspiegelt. Die Mo-Düngung zeigte hier keinen Effekt auf den Ertrag. Auf dem Versuchsgut Wiesengut wurde ein S-Mangel in Ackerbohnen festgestellt. In der ungedüngten Kontrolle lag der S-Gehalt im Blatt zum BBCH 32 bei 1,6 g/kg TM und damit unter dem Critical Nutrient Level (CNL). Der S-Gehalt der mit Kaliumsulfat gedüngten Varianten lag um 1 g/kg TM höher. Die S-Düngung erhöhte den Ertrag um das 1,7-fache. Aufgrund der gut mit Nährstoffen versorgten Standorte konnte weder ein signifikanter Einfluss der SeRo-Dünger noch der Mineralstoffe auf das Wachstum und die N₂-Fixierungsleistung der Ackerbohnen festgestellt werden. Lediglich S-Düngung hatte an zwei Standorten eine gewisse Ertragswirkung. Trotz der großen Trockenheit waren die Nährstoffgehalte in der Norm, denn durch den begrenzten Wuchs gab es keinen Verdünnungseffekt.

Nach der abgewandelten Differenzmethode lag die mittlere N₂-Fixierungsleistung auf dem Wiesengut bei 27,5 g N/kg TM. Das entspricht einem Ndfa-Anteil von 46,7 % und 325 kg N₂fix/ha. Die S-Düngung hat die N₂-Fixierung schätzungsweise um 200 kg N₂fix/ha angehoben.

Eine Mo-Mangelsituation über Blattanalysen festzustellen war nicht möglich, weil die Messmethode zu hohe Nachweisgrenzen hat. Bei Mo-Gehalten < 1,5 mg/kg TM kann bei Ackerbohnen mit dem Höchstertrag gerechnet werden.

Der in der Literatur angegebene CNL von P für Ackerbohnen mit 2 bis 4 g/kg wurde durch die eigenen Untersuchungen nicht bestätigt. Der CNL müsste nach den vorliegenden Analysen bei 2,5 g P/kg TM liegen und bestätigt somit die Angaben von Bergmann (1983). Ebenso wurden neue CNL-Werte für Mg mit < 1,6 g/kg TM bestimmt, die somit niedriger sind als in der Literatur (2 bis 2,5 g/kg TM).

8: Literaturverzeichnis

- ANDERSON, R.L. (2008): Diversity and No-till: Keys for Pest Management in the U.S. Great Plains. *Weed Science* 56, 141-145.
- ANKEN, T.; WALTHER, U.; WEISSKOPF, P.; NIEVERGELT, J.; STAMP, P.; SCHMID, O. MÄDER, P (2003): Nitrogen dynamics, nitrate leaching and plant development using mouldboard ploughing and no-tillage cultivating techniques. Beitrag zur 16. ISTRO conference, 13-18. Juli Brisbane.
- ANONYM (2008), Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
- ANONYM (2011): Basisinformationen Ackerbohnen, LWK NRW, <http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/eiweisspflanzen/ackerbohnen-pdf.pdf>
- ANONYM, (2000): AESL PLANT ANALYSIS HANDBOOK – NUTRIENT CONTENT OF PLANT. AGRICULTURAL & ENVIRONMENTAL Services Laboratories; The University of Georgia, <http://aesl.ces.uga.edu/publications/plant/Nutrient.htm>
- 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.
- ARES, J.L.A., A.R. MARTINEZ & F.P. BARBEITO, 2006: Telluric pathogens isolated from bean plants with collar and root rots in northwest Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research* 4, 80-85.
- ARMAN, B., 2003: Die Ökobilanz zur Abschätzung von Umweltwirkungen in der Pflanzenproduktion. Dissertation Universität Hohenheim.
- 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.
- 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.
- 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° Air3-CT93- 1464, pp. 89, Fachverlag Köhler, Giessen.
- BERGMANN, W. (1983): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen – Entstehung und Diagnose. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 1. Auflage
- 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.; HILDERMANN, I.; FLIEßBACH, A.; PFIFFNER, L.; NIGGLI, U.; MÄDER, P. (2008): Crop yield and soil fertility response to reduced tillage under organic management. *Soil & Tillage Research* 101, 89-96.
- 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.
- BOCKSTALLER, C. & P. GIRARDIN, 2000: Berechnungsverfahren Agrarökologische Indikatoren. Landwirtschaftliche Versuchsanstalt INRA, Colmar, Frankreich.
- BOCKSTALLER, C., P. GIRARDIN & H.M.G. VAN DER WERF, 1997: Use of agro-ecological indicators for the evaluation of farming systems. *European Journal of Agronomy* 7, 261-270.
- BOCKUS, W.W. & J.P. SHROYER, 1998: The impact of reduced tillage on soilborne plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 36, 485-500.
- BÖHRENSSEN, A. (1997): Untersuchungen zur Direktsaat von Winterraps und Winterweizen nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung der Vorfruchtreste. Dissertation an der Justus Liebig Universität Giessen.
- BOONE, F. R., 1976: Notes on soil structure homogeneity and rootability. Proc. 7th Conf. Int. Soil Tillage Res. Uppsala.
- CHRISTEN, O., & Z. O'HALLORAN-WIETHOLZ, 1999: Indikatoren für eine nachhaltige Entwicklung der Landwirtschaft. Institut für Landwirtschaft und Umwelt (Hrsg.), Heft 3.
- CLEMENTS D.R., S.F. WEISE, C.J. SWANTON, 1994. Integrated weed management and weed species-diversity. *Phytoprotection*, 75: 1-18.

- CORRE-HELLOU, G.; CROZAT, Y (2005): N₂ fixation and N supply in organic pea (*Pisum sativum* L.) cropping systems as affected by weeds and pea weevil (*Sitona lineatus* L.). *European Journal of Agronomy* 22, 449-458.
- DERKSEN D.A., G.P. LAFOND, A.G. THOMAS, H.A. LOEPPKY, C.J. SWANTON, 1993. Impact of agronomic practices on weed communities - tillage systems. *Weed Science*, 41: 409-417.
- DERPSCH, R. & L. GROOMS, 2002: Why no-till is booming in South-America. *No-till Farmer* (November), 12-13.
- 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.
- DRECHSEL, P. (1994): DRIS – Diagnosis and Recommendation Integrated System – in Theorie und Praxis. Eine SPSS-orientierte Anleitung; Bayreuther Bodenkundliche Berichte, Band 34
- DRINKWATER, L.E., D.K. LETOURNEAU, F. WORKNEH, A.H. VAN BRUGGEN & C. SHENNAN, 1995: Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. *Ecology and its Application* 5: 1098-1112.
- DUDAI, N., A. POLJAKOFF-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. & W. CLAUPEIN, 1994: Approaches towards conservation tillage in Germany. In: CARTER, M.R. (Ed.), *Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems*, Lewis Publishers, Boca Raton, 141.
- 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., 1991: Wirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf gefügebabhängige 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., 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.
- ENACHE, A.J.; ILNICKI, R.D. (1993): *Subterranean Clover: Nitrogen Contribution*. Aus: Paoletti, M.; Foissner, W.; Coleman, D. (1993): *Soil Biota, nutrient cycling, and farming systems*. Lewis Publishers: Boca Raton.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. & JONES, C. A. (1997): *Growth and Mineral Nutrition of Field Crops*. Second edition. Marcel Dekker, Inc. New York
- FAL 2003: *Agrar-Umweltindikatoren. Machbarkeitsstudie für die Umsetzung in der Schweiz*. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau FAL Reckenholz.
- FINCK, A. (2007): *Pflanzenernährung und Düngung in Stichworten*. Verlag Gebr. Borntraeger, Stuttgart. 6. Auflage.
- FORTIN, M. C. (1992): Soil Temperature, Soil Water, and No-Till Corn Development Following In-Row Residue Removal. *Agronomy Journal* 85, 571-576.
- FRANCKSEN, T., G. GUBI & U. LATACZ-LOHMANN, 2007: Empirische Untersuchungen zum optimalen Spezialisierungsgrad ökologisch wirtschaftender Marktfruchtbetriebe - Agrarwirtschaft. Im Druck
- 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.
- FUCHS, R.; REHM, A. (2008): *Ökologischer Landbau – Sortenversuche zu Winterweizen*. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz: Freising.
- GALL, C.; SCHÜLE, T.; KÖLLER, K. (2009): Systemvergleich Direktsaat. *Landtechnik* 3/2009, 172-174.
- 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.
- GLEN, D.M. & O.C. SYMONDSON, 2003: Influence of soil tillage on slugs and their natural enemies. In: ADEL EL TITI (ed.): *Soil tillage in agro-ecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton, FL, 207-228.

- 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.
- 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, 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.
- GRUNDY, A. C. & A. MEAD, 1998: Modelling the effects of seed depth on weed seedling emergence, *Aspects Applied Biology* **51**, 75.
- GRUNWALD, N.J. & G.A. HOHEISEL, 2006: Hierarchical analysis of diversity, selfing, and genetic differentiation in populations of the oomycete *Aphanomyces euteiches*. *Phytopathology* **96**: 1134-1141.
- GUBI, G., 2006: Analyse der erfolgs- und effizienzbestimmenden Faktoren im ökologischen Landbau. Dissertation am Institut für Agrarökonomie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- 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. & 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., 1996: Klimaschutz: Klimarelevanz des Ökologischen Landbaus. In: Tagungsband der Tagung ‚Bioland im Gespräch‘ 30. Sept. 1996 in Kiel „Artenvielfalt und Ressourcenschutz durch Ökologischen Landbau“, 10-18.
- 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.
- HAEUPLER, H., 1982. Evenness als Ausdruck der Vielfalt in der Vegetation. *Cramer, Vaduz*. pp.268.
- 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.
- HEINZMANN, F., 1981: Assimilation von Luftstickstoff durch verschiedene Leguminosenarten und dessen Verwertung durch Getreidearten. Diss.agr. Universität Hohenheim.
- IRLA, E. (1995): Anbautechnik und Unkrautregulierung bei Ackerbohnen. *FAT-Berichte* **460**, 1-6.
- ISIP, 2007. Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion. ISIP e.V., Bad Kreuznach
- JOHNSON, M. D.; LOWERY B. (1984): Effect of Three Conservation Tillage Practices on Soil Temperature and Thermal Properties. *Soil Science Society of America Journal* **49**, 1547-1552.
- JOST, B. (2003): Untersuchungen und Kalkulationstabellen zur Schätzung der N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von *Lupinus albus* und *Lupinus luteus* in Reinsaat und von *Vicia faba* und *Pisum sativum* in Reinsaat und im Gemenge mit *Avena sativa*. Dissertation, Universität Göttingen.
- 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.
- KETTLER, T.A.; LYON, D.J.; DORAN, J.W.; POWERS, W.L.; STROUP, W.W (2000): Soil Quality Assessment after Weed-Control Tillage in a No-Till Wheat-Fallow Cropping System. *Soil Sci. Am. J.* **64**, 338-346.
- KHATTREE R. & D.N. NAIK, 2000: *Multivariate Data Reduction and Discrimination with SAS Software®*. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- KLATT, S. (2008): Der Beitrag heimischer Leguminosen zur Stickstoffversorgung artenreicher Wiesen im westlichen Hunsrück (Rheinland-Pfalz). 105-123, Cuvillier Verlag Göttingen
- 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. Der Landw.wiss. der DDR*, 64-72.

- KLÖBLE, U. & ZEHR, M. (2005): Ökologischer Landbau – Faustzahlen. [Organic Farming keynotes.] In: Faustzahlen für die Landwirtschaft. KTBL Darmstadt, Kapitel VI, 779-810
- KÖHNE, M. & O. KÖHN, 1998: Betriebsumstellung auf ökologischen Landbau – Auswirkungen der EU-Förderung in den neuen Bundesländern. Berichte der Landwirtschaft **76**, pp 329-365.
- KOLBE, H.; KARALUS, W.; HÄNSEL, M.; GRÜNBECK, A.; GRAMM, M.; ARP, B. & KRELLING, B. (2002): Körnerleguminosen im Ökologischen Landbau – Information für Praxis und Beratung. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
- 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. & 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 (ISOFAR), Modena, Italy 18-20 June 2008
- KÖPKE, U. (1996): Symbiotische Stickstoff-Fixierung und Vorfruchtwirkung von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.). Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau. Verlag Dr. Köster, Berlin.
- 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., 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.
- 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.
- KRUG, H.; LIEBIG, H.-P., STÜTZEL, H. (2002): Gemüseproduktion. Verlag Eugen Ulmer: Stuttgart.
- KTBL (2005): Faustzahlen für die Landwirtschaft. Landwirtschaftsverlag: Münster.
- KTBL, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (2009): Faustzahlen für die Landwirtschaft. KTBL Darmstadt (Hrsg.), 14. Auflage.
- KUNZEA, A.; KAISERA, M.; STRAŇÁKA, A. (1966): Einfluß der Lagerungsdichte des Bodens auf Keimung und Entwicklung von Sommergerste. Archives of Agronomy and Soil Science 10, 927-938.
- LEDGARD, S. F. & PEOPLES, M. B. (1988): Measurement of nitrogen fixation in the field. In: J. R. Wilson: Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems. Ed, CAB Int. Wallingford UK, 351-367
- LEDGARD, S. F.; SIMPSON, J. R.; FRENEY, J. R. & BERGERSEN, F. J. (1985): Field Evaluation of ¹⁵N-techniques for estimating nitrogen fixation in legume-grass associations. Aust. J. Agric. Res. 36, 247-258
- LESSITER, F., 2003: Without herbicides, no-till would disappear. No-till Farmer (JULY) 13.
- 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.
- MARSCHNER, H., 1995: Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition, Academic Press, London.
- MARTIN, P. & B. RADEMACHER, 1960b: Untersuchungen zur Frage der Wurzelallelopathie von Kulturpflanzen und Unkräutern. Beitr. Biolog. Pflanzenbau **35**, 213-237.
- MARTIN, P. & B. RADENACHER, 1960a: Studies on the mutual effects of weeds and crops. In: HARPER, J. L. (ed.), The biology of weeds, Blackwell, Oxford, 143-152.
- MASSUCATI, L.F.P. 2012: Dissertation, Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, in Vorbereitung
- 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., WINDISCH, E., TÄUFER, F. & KÖPKE, U 2009: Kontrolle von *Rumex* spp. mit Citronella-Öl im Organischen Landbau. In: Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Bonn. Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Bd. 1, 280-283, Berlin: Verlag Dr. Köster, http://orgprints.org/view/projects/int_conf_2009_wita.html
- 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.
- MILLER, A.J., 2002: Subset selection in regression. Monographs on statistics and applied probability 95, 2nd edition, CRC Press Company, Boca Raton, FL. USA.
- MOLISCH, H., 1937: Der Einfluß einer Pflanze auf die andere – Allelopathie. Fischer-Verlag, Jena.
- 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.
- MUNZERT, M. (1992): Einführung in das Pflanzenbauliche Versuchswesen. Verlag Paul Parey: Berlin und Hamburg.
- NEY, B.; DORE, T., SAGAN, M. (1997): The nitrogen requirement of major agricultural crops: grain legumes. Aus: LEMAIRE, G.: *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*. Springer Verlag: Berlin, 151-166.
- NIEBERG, H., 1997: Produktionstechnische und wirtschaftliche Folgen der Umstellung auf ökologischen Landbau – empirische Ergebnisse aus fünf Jahren ökonomischer Begleitforschung zum Extensivierungsprogramm. Arbeitsbericht des Instituts für Betriebswirtschaft der FAL Nr. 1/97, Braunschweig.
- NIEBERG, H., 2001: Unterschiede zwischen erfolgreichen und weniger erfolgreichen Ökobetrieben in Deutschland. *Agrarwirtschaft* **50**, 428-432.
- OFFERMANN, F. & H. NIEBERG, 1999: Economic performance of organic farms in Europe. *Organic farming in Europe: Economics and Policy*, Volume 5. University of Hohenheim: Stuttgart-Hohenheim.
- 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.
- 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 agro-ecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton, FL, 115-146.
- PEKRUN, C., H.-P. KAUL, & W. CLAUPEIN, 2003a.: Soil tillage for sustainable nutrient management. In: ADEL EL TITI (ed.): *Soil tillage in agro-ecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton, FL, 183-114.
- PEOPLES, M.B.; LADHA, J.K.; HERRIDGE, D.F. (1995): Enhancing legume N₂ fixation through plant and soil management. *Plant and Soil* **174**, 83-101.
- PLANCQUAERT, P. (?): Field Bean [Broadbean, Fababean] (*Vicia faba* L.). Institut Technique des Céréales et des Fourrages (ITCF), Paris, France. Contributors: A. F. A. Fawzi, M. M. El-Fouly, National Research Centre, Cairo, Egypt
- 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. NEUHOF, P. CORNISH, W. LOCKERETZ & H. WILLER (eds.) *Researching Sustainable Systems. Proceed. First Scientific Conference Int. Soc. Org. Agric. Res. (ISO FAR) Adelaide, South Australia 21-23, 2005*. International Society of Organic Agriculture Research (ISO FAR), Bonn, Germany, 26-30.
- PUTNAM, A. R. & J. DE FRANK, 1983: Use of phytotoxic plant residues on selective weed control. *Crop Protection* **2**, 173-181.
- PUTNAM, A. R., 1983: Exploitation of allelopathy for weed control in annual and perennial cropping systems. *Journal of Chemical Ecology* **9**, 1001-1010.
- REINHARD, H., A. CHERVET & W.G. STURNY, 2001: Mulchsaat im Praxisversuch – Erträge der Kulturen (1995-1999). *Agrarforschung* **8** (11), 4-5.
- 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.
- 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.
- RUMP, B., 2002: Untersuchung zur Bestimmung der Arbeitsqualität von Scheibensäscharen für die Mulchsaat. Cuvillier Verlag, Göttingen, 2002.
- SCHMIDTKE, K. (2005a): A model to predict the accuracy of measurements of legume N rhizodeposition using a split-root technique. *Soil Biology and Biochemistry* **37** (5), S. 829–836.
- SCHMIDTKE, K. (2005b): How to calculate nitrogen rhizodeposition: a case study in estimating N rhizodeposition in the pea (*Pisum sativum* L.) and grasspea (*Lathyrus sativus* L.) using a continuous ¹⁵N labelling split-root technique. *Soil Biology and Biochemistry* **37**, S. 1893–1897.

- SCHMIDTKE, K. (2011): Exaktversuche mit Direktsaattechnologie – erste praktische Erfahrungen mit dem „Cross-Slot“-Scharsystem. Tagungsband zur 42. DLG-Technikertagung in Soest, Arbeitsgruppe „Feldversuche“ des DLG-Ausschusses „Versuchswesen in der Pflanzenproduktion“, G. Stemann (Hrsg.), 91-94.
- SCHULZE PALS, L., 1994: Ökonomische Analyse der Umstellung auf ökologischen Landbau. Schriftenreihe des BEMLF, Landwirtschaftsverlag; Münster Hilstrup.
- SHEARER, G. & D.H. KOHL (1986): N₂ fixation in field settings: estimation based on natural ¹⁵N abundance. *Aust. J. Plant Physiol.* 13, 699-756.
- SHEARER, G. & KOHL, D. H. (1993): Natural abundance of ¹⁵N: Fractional contribution of two sources to a common sink and use of isotope discrimination. In: Nitrogen Isotope Techniques. Knowles, R. & Blackburn, T. H. eds. Academic Press, San Diego, 89-125
- 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.
- STONE, A.G., G.E. VALLAD, L.R. COOPERBAND, D. ROTENBERG, H.M. DARBY, R.V. JAMES, W.R. STEVENSON & R.M. GOODMAN, 2003: Effect of organic amendments on soilborne and foliar diseases in field-grown snap bean and cucumber. *Plant Disease* 87: 1037-1042.
- STREIT B., S.B. RIEGER, P. STAMP, W. RICHNER, 2003. Weed populations in winter wheat as affected by crop sequence, intensity of tillage and time of herbicide application in a cool and humid climate. *Weed Research*, 43: 20-32.
- STREIT, B. (2005): Optimierung von Direktsaatssystemen durch angepasste Saattechnik und Fruchtfolgen. Beitrag zum: Fachgespräch „Konservierende Bodenbearbeitung/Direktsaat“ am 03.11.2009 in Leipzig.
- STÜLPNAGEL, R. (1982): Schätzung der von Ackerbohnen symbiontisch fixierten Stickstoffmenge im Feldversuch mit der erweiterten Differenzmethode. *Z. Acker- u. Pflanzenbau* 151, 446-458.
- STÜLPNAGEL, R., (1982): Schätzung der von Ackerbohnen symbiontisch fixierten Stickstoffmenge im Feldversuch mit der erweiterten Differenzmethode. *Z. Acker- u. Pflanzenbau* 151, 446-458.
- TAUBE, F., R. LOGES, M. KELM, & U. LATACZ-LOHMANN, 2005: Vergleich des ökologischen und konventionellen Ackerbaus im Hinblick auf Leistungen und ökologische Effekte auf Hohertragsstandorten Norddeutschlands. *Berichte über Landwirtschaft Band 83* (2), August, 165-176.
- TEBRÜGGE, F. & A. BÖHRNSEN, 2000: Mulchsaat – Beurteilung durch Landwirte und Experten in der EU und Nebraska. *Landtechnik* 55 (1), 17-19.
- TEBRÜGGE, F. & H. EICHORN, 1992: Die ökologischen und ökonomischen Aspekte von Bodenbearbeitungssystemen. In: FRIEBE, B. (Hrsg.): Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden. Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Gießen 7-20.
- 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
- UNKOVICH, M.J. & J.S. PATE (2000): An appraisal of recent field measurements of symbiotic N₂ fixation by annual legumes. *Field Crops Res.* 65, 211-228.
- VERSCHWELE, A., 2004: Herbizide im Ökologischen Landbau? *Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* 396, 258.
- WICHMANN, S., R. LOGES & F. TAUBE (2006): Kornträge, N₂-Fixierleistung und N-Flächenbilanz von Erbsen, Ackerbohnen und Schmalblättrigen Lupinen in Reinsaat und im Gemenge mit Getreide. *Pflanzenbauwissenschaften* 10, 2-15.
- WICKS, G.A.; SMIKA, D.E.; HERGERT, G.W. (1988): Long-term effects of no-tillage in a winter wheat (*Triticum aestivum*)-sorghum (*Sorghum bicolor*)-fallow rotation. *Weed Science* 36, 382-393.
- WIMMER, M.A. & H. E. GOLDBACH, 1999: Influence of Ca²⁺ and pH on the stability of different boron fractions in intact roots of *Vicia faba* L. *Plant Biol.* 1, 632-637.
- YOUNG, S. L., 2004: Natural product herbicides for control of annual vegetation along roadsides. *Weed Technology* 18, 580-587.
- ZADOKS J.C., T.T. CHANG, C.F. KONZAK, 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14: 415-421.
- ZIHLMANN, U.; WEISSKOPF, P. (2006): Stickstoffdynamik im Boden bei Direktsaat und Pflug. *Agrarforschung* 13, 198-203.

9: Veröffentlichungen zum Projekt

- 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.
- MASSUCATI L.F.P., B. GEIB, U. KÖPKE, 2011. Effekte temporärer Direktsaat von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) auf die Segetalflora im ökologischen Landbau. In: G. Leithold *et al.* (Eds.), *Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau- Es geht ums Ganze: Forscher im Dialog von Wissenschaft und Praxis*. Gießen, 16.18. März 2011. Verlag Dr. Köster, Berlin, 1, pp. 294-297.
- MASSUCATI L.F.P., E. WINDISCH, F. TÄUFER, U. KÖPKE, 2009. Kontrolle von *Rumex spp.* mit Citronella-Öl im Organischen Landbau. In: J. Mayer *et al.* (Eds.), *Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau- Werte - Wege - Wirkungen: Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel*. Zürich, 11.-13. Februar 2009. Verlag Dr. Köster, Berlin, 1, pp. 280-283.
- MASSUCATI L.F.P., U. KÖPKE, 2009. Ackerbohnen in Festbodenmulchsystemen des Ökologischen Landbaus. In: C. Stumm (Ed.) *Versuchsbericht 2009*. Institut für Organischen Landbau (IOL), Bonn, pp. 14-17.
- MASSUCATI L.F.P., U. KÖPKE, 2010. Weed control with straw residues in occasional direct seeding of faba bean (*Vicia faba* L.) in organic agriculture. In: G. Ribes *et al.* (Eds.), *Proceedings of the european congress on conservation agriculture - Towards Agro-Environmental Climate and Energetic Sustainability*. Madrid/ Spanien, 4-7 September 2010. V.A. Impresores, S.A., 1, pp. 575-580.
- MASSUCATI L.F.P., U. KÖPKE, 2011. Faba bean (*Vicia faba* L.): response to occasional direct seeding into straw residues under temperate climate conditions. In: D. Neuhöf *et al.* (Eds.), *Proceedings of the 3rd scientific conference of ISOFAR- Organic is life - knowledge for tomorrow*. Namyangju/ Südkorea, 28. September - 01. Oktober 2011. ISOFAR 2011, pp. 198-201.
- MASSUCATI L.F.P., U. PERKONS, U. KÖPKE, 2010. Unkrautregulierung durch Mulchmanagement in Direktsaatverfahren von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) im Ökologischen Landbau. In: B. Märländer *et al.* (Eds.), *53. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V.- Koexistenz Grüne Gentechnik*. Hohenheim, 28.-30. September 2010. Verlag Liddy Halm, Göttingen, 22, pp. 83-84.
- STIEBER, J., SCHMIDTKE, K. (2010): Einfluss der Bodenbearbeitung und einer Untersaat mit Erdklee auf Ertragsbildung der Erbse. Mitteilung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 22, Verlag Liddy Halm: Göttingen, 79-80.
- STIEBER, J., SCHMIDTKE, K. (2011a): Einfluss der Bodenbearbeitung und einer Untersaat mit Erdklee auf Ertragsbildung und N₂-Fixierleistung der Körnererbse. Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Verlag Dr. Köster: Berlin, 213-216.
- STIEBER, J., SCHMIDTKE, K. (2011b): Einfluss einer differenzierten Grundbodenbearbeitung auf die Ertragsbildung im Fruchtfolgeglied Erbse- Winterweizen. Mitteilung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 23, Verlag Liddy Halm: Göttingen, 77-78.