

Department für Nutzpflanzenwissenschaften  
Abteilung Pflanzenzüchtung  
der  
Georg-August-Universität Göttingen

---

Züchterische Analyse von acht Winterackerbohnenengenotypen für den  
Gemengeanbau mit Winterweizen

Dissertation

Zur Erlangung des Doktorgrades  
der Fakultät für Agrarwissenschaften  
der Georg-August-Universität Göttingen

Vorgelegt von

Daniel Johannes Siebrecht-Schöll

geboren in Northeim

Göttingen, im Oktober 2018

D7

1. Referent: Prof. Dr. Wolfgang Link

2. Korreferent: Prof. Dr. Knut Schmidtke

Tag der mündlichen Prüfung: 15. November 2018

## Inhalt

1. Einleitung .....	1
1.1. Die (Winter-)Ackerbohne ( <i>Vicia faba</i> L.) .....	1
1.2. Der Gemengeanbau .....	3
1.3. Hypothesen.....	5
2. Material und Methoden .....	7
2.1. Feldversuche.....	7
2.2. Experimentelles Design und Versuchsdurchführung .....	9
2.3. Genetisches Material und Prüfgliedergruppen .....	11
2.4. Merkmalerfassung .....	14
2.4.1. Merkmale der Pflanzenentwicklung.....	14
2.4.2. Ertragsmerkmale .....	15
2.4.3. Berechnete Ertragsparameter .....	17
2.4.4. Symbiotische Stickstofffixierleistung .....	18
2.5. Statistische Auswertung .....	20
3. Kapitel A – Züchterische Analyse des Einflusses von Winterackerbohnen auf den Gemengeertrag und Gemengemehrertrag mit Winterweizen .....	27
3.1. Ergebnisse .....	27
3.1.1. Kornerträge .....	27
3.1.1.1. Winterackerbohnenenertrag in den Reinsaat.....	27
3.1.1.2. Winterackerbohnenkornerträge im Gemenge .....	29
3.1.1.3. Weizenkornerträge im Gemenge.....	34
3.1.1.4. Gesamtkornerträge im Gemenge.....	39
3.1.2. Ertragsvorteil von Gemengen.....	44
3.1.2.1. Vergleich von absoluten Erträgen der Reinsaat und der Gemenge .....	44
3.1.2.2. Absolute Kornertragsdifferenzen zwischen Reinsaat und Gemenge.....	48
3.1.2.3. Relativertrag der Winterackerbohnen .....	53
3.1.2.4. Relativertrag der Weizen.....	56
3.1.2.5. Relative Yield Total .....	58
3.1.2.6. Relativer Gemengeertrag.....	61
3.1.3. Korrelationen zwischen Kornerträgen.....	64
3.1.4. Korrelationen zwischen Erträgen und berechneten Ertragsparametern .....	68
3.1.5. Ertragsstabilität von Reinsaat und Gemengen.....	74
3.1.6. Stroh und oberirdischer Gesamtmähdruschertrag in Reinsaat und Gemenge .....	76
3.2. Diskussion zu Kapitel A.....	83
4. Kapitel B – Züchtung von Winterackerbohnen für den Anbau im Gemenge mit Winterweizen.....	95
4.1. Ergebnisse .....	95
4.1.1. Analyse der Hilfsmerkmale.....	95

4.1.1.1. Lager in Reinsaat und Gemenge .....	95
4.1.1.2. Blattflächenindex in Reinsaat und Gemenge .....	97
4.1.1.3. Wuchshöhe der Winterackerbohnen in Reinsaat und Gemenge .....	109
4.1.1.4. Wuchshöhe des Weizens in Reinsaat und im Gemenge.....	118
4.1.1.5. Wuchshöhendifferenz zwischen Winterackerbohnen und Weizen im Gemenge.....	119
4.1.2. Korrelation zwischen Hilfsmerkmalen und dem Mehrertrag im Gemenge .....	123
4.1.2.1. Korrelationen zwischen Hilfsmerkmalen und den Kornerträgen der Gemenge.....	123
4.1.2.2. Korrelationen zwischen Hilfsmerkmalen und $RY_{vf}$ , $RY_{Ta}$ und RYT sowie RGE .....	124
4.1.2.3. Korrelationen zwischen den Hilfsmerkmalen in Reinsaat und Gemenge (in den Gemengen mit dem Winterweizen Genius) .....	126
4.2. Übergreifende Diskussion von Kapitel A und B .....	127
5. Kapitel C - Stickstofffixierleistung der Winterackerbohnen genotypen in Reinsaaten und im Gemenge mit Winterweizen.....	137
5.1. Ergebnisse .....	137
5.1.1. Sprossmasseertrag in Winterackerbohnenreinsaaten und Gemengen mit Genius zur Vollblüte (BBCH65) .....	137
5.1.2. Sprossmasseertrag der Winterackerbohnenreinsaaten und der Gemenge mit Genius zur Mähdruschreife (BBCH89) .....	141
5.1.3. Anteil des Luftstickstoffs in der Sprossmasse der Winterackerbohnen in Reinsaat und Gemenge mit Genius zum Zeitpunkt der Vollblüte (BBCH65).....	146
5.1.4. Anteil des Luftstickstoffs in der Sprossmasse der Winterackerbohnen genotypen in Reinsaat und Gemenge mit Genius zum Zeitpunkt der Mähdruschreife (BBCH89) ...	150
5.1.5. Stickstofferträge der Prüfglieder .....	154
5.1.6. Stickstofferträge der Reinsaaten und der Gemenge mit Genius zum Zeitpunkt der Vollblüte.....	154
5.1.7. Stickstofferträge der Prüfglieder in Reinsaaten und Gemenge mit Genius zum Zeitpunkt der Mähdruschreife .....	163
5.2. Diskussion zu Kapitel C .....	173
6. Übergreifende Diskussion zu Kapitel A, B und C .....	179
7. Zusammenfassung und Fazit .....	186
8. Literaturverzeichnis.....	190
9. Anhang .....	I

# 1. Einleitung

## 1.1. Die (Winter-)Ackerbohne (*Vicia faba* L.)

Die Ackerbohne (*Vicia faba* L.) ist eine der wichtigsten Körnerleguminosen für die tierische und menschliche Ernährung. Mit einem Rohproteingehalt von ca. 30 % im Korn und einem Ertragspotential von  $> 50 \text{ dt ha}^{-1}$  bei guter Wasserversorgung ist sie eine attraktive Kulturpflanze für die Landwirtschaft (Link 2009). Den Ursprung hat die Ackerbohne in der Alten Welt und sie entstand vermutlich vor etwa zehntausend Jahren im Nordwesten Syriens an den Ufern des Euphrat (Tanno und Willcox 2006). Die weltweit größte Bedeutung hat der Anbau von Ackerbohnen in China, Äthiopien und Australien (FAOSTAT 2018). In Großbritannien sind Ackerbohnen, im Vergleich zu den restlichen Ländern Europas, mit einer Anbaufläche von  $> 88.000 \text{ ha}$  am stärksten verbreitet (Link und Bond 2011). In Deutschland wurden hingegen im Jahr 2017 lediglich ca. 46.000 ha Ackerbohnen angebaut, jedoch ist in den letzten Jahren ein Anstieg in der Anbaufläche zu verzeichnen (Bundessortenamt 2018).

Die Ackerbohne ist diploid mit sechs Chromosomenpaaren und ihr Genom ist 13.000 Mb groß (Torres et al. 2006). Sie ist partiell allogam mit einem intermediären Anteil (50 % mit großer Variation) an Fremd- bzw. Selbstbefruchtung und wird effektiver von der Gartenhummel (*Bombus hortorum*) als von der Honigbiene (*Apis mellifera*) bestäubt (Marzinzig et al. 2018). Die Ackerbohne kann in zwei Typen, die Sommerackerbohne und Winterackerbohne, unterteilt werden. Dabei ist die Trennung nicht so strikt wie bei Sommer- und Wintergetreiden, denn Winterackerbohnen blühen auch (wenn auch verspätet), wenn sie in Frühjahrsaat gesät werden und einige Sorten der Sommerackerbohne können nach Herbstsaat milde Winter überstehen, blühen normal und realisieren Kornerträge (vgl. Link et al. 2010, Ellies et al. 1988).

In Deutschland war der Anbau von Winterackerbohnen bislang völlig unbedeutend. In Nordwesteuropa werden Winterackerbohnen kultiviert, um die üblichen agronomischen Vorteile von winterannuellen gegenüber sommerannuellen Nutzpflanzen auszuschöpfen. Im Vergleich zu Sommerackerbohnen bieten Winterackerbohnen durch die Herbstsaat und die damit einhergehende Verlängerung ihrer Vegetationszeit ein höheres Ertragspotential (Guddat et al. 2014, Ghaouti 2007). Um dieses hohe Ertragspotential zu verwirklichen, ist eine ausreichende Winterhärte der Winterackerbohnen von enormer Bedeutung. Die Winterackerbohnen tolerieren Temperaturen von  $-12 \text{ °C}$  bis  $-15 \text{ °C}$  (Link et al. 2010). In Feldversuchen aus den 80er

Jahren des 20. Jahrhunderts von Hauser und Böhm (1984) sowie von Herzog (1989) zeigte sich, dass die bis dahin vorhandenen Winterackerbohnsorten aufgrund der unzureichenden Winterhärte für den Anbau in Deutschland ungeeignet sind. Bis heute muss mit Totalausfällen gerechnet werden, denn es besteht auch mit neueren Wintergenotypen noch immer ein Auswinterungsrisiko (Guddat et al. 2014). So überlebten im Winter 2002/2003 in Deutschland, Göttingen, bei Temperaturen von -16 °C und Ostwind, ohne geschlossene Schneedecke, die Winterackerbohnen nicht. Dagegen überlebten 60 % der Winterackerbohnenlinien im Winter 2009/2010 bei -15 °C bis -20 °C mit geschlossener Schneedecke (Link und Bond 2011).

Seit längerem und bis zum Jahr 2016 war in Deutschland nur die Winterackerbohnsorte Hiverna (1986) zugelassen. Erst im Jahr 2017 wurde dann die Winterackerbohnsorte GL Arabella von der Saatzucht Gleisdorf zugelassen und im Jahr 2018 wurde eine weitere und damit dritte Winterackerbohnsorte zugelassen. Es handelt sich hierbei um die synthetische Sorte Augusta von der Norddeutschen Pflanzenzucht (vgl. Bundessortenamt 2018). Neben dem höheren Ertragspotential ist ein weiterer Vorteil der Winterackerbohne gegenüber der Sommerackerbohne eine geringere Aussaatstärke. Diese resultiert aus einer höheren Bestockung der Wintertypen mit zwei oder mehr Seitentrieben; damit geht eine bessere Unkrautunterdrückung einher. Ein weiterer Vorzug ist die höhere Ertragsstabilität, da die Ertragsbildung - im Vergleich zu Sommerackerbohnen - vor dem Einsetzen von biotischen (Blattlaus- und Pilzbefall) und abiotischen (bspw. Frühjahrstrockenheit) Stressfaktoren meist abgeschlossen oder zumindest weit fortgeschritten ist (Roth und Link 2010). Zur Realisation dieser höheren Ertragsstabilität ist allerdings eine gute Überwinterung die Voraussetzung.

Unabhängig vom Sommer- oder Wintertyp der Ackerbohne gibt es eine Vielzahl von agronomischen Merkmalen, die in den letzten 60 Jahren durch die Pflanzenzüchtung optimiert wurden: synchrone Abreife von Korn und Stroh, Standfestigkeit, Platzfestigkeit der Hülsen, Ertragsstabilität, Frühzeitigkeit von Blüte und Abreife sowie Feldresistenzen gegenüber *Botrytis* ssp. und *Pernospora* ssp. (Link 2009). Ebenso wurden Qualitätsmerkmale wie die Tanninfreiheit und die Vicinarmut durch die Züchtungsarbeit an Ackerbohnen erreicht. Aktuell beschäftigen sich die wissenschaftliche Forschung und die praktische Pflanzenzüchtung mit der Integration der genetischen Vicin- und Convicinarmut in Winterackerbohnen genotypen (Tacke et al. 2018). Die Verringerung von Vicin und Convicin, die am stärksten in den Kotyledonen und in den Samenschalen von Ackerbohnen enthalten sind, steigert u.a. die Verdaulichkeit bei Geflügel (Link 2009). Jedoch war es bislang nicht möglich, die Proteinqualität von Sommer- und Winterackerbohnen durch pflanzenzüchterische Bearbeitung zu verbessern

(Link 2009), wodurch deutlich wird, dass die züchterischen Bemühungen hier fortgesetzt werden sollten.

Der Anbau von Ackerbohnen, speziell der Anbau von Winterackerbohnen, war bislang in den kontinentalen Regionen Europas wie Polen, Österreich und Deutschland durch die unzureichenden Winterhärte limitiert (Link und Arbaoui 2005). Aufgrund des aktuellen Zuchtfortschritts, der in der Zulassung von zwei neuen Winterackerbohnenarten resultierte (Bundessortenamt 2018), und aufgrund der durch den Klimawandel zukünftig milder zu erwartenden Winter (bspw. Link et al. 2010) könnte der Anbau von Winterackerbohnen in Europa in der praktischen Landwirtschaft zunehmend an Bedeutung gewinnen. Die Ackerbohne ist neben der Blauen Süßlupine (*Lupinus angustifolius* L.), der Erbse (*Pisum sativum* L.) und der Sojabohne (*Glycine max* L.) eine der wichtigsten Futterleguminosen (Bundessortenamt 2018, Fischer et al. 2018, Singh et al. 2013). Eine Steigerung des Anbaus von Ackerbohnen in Europa kann weiterhin dazu beitragen, den Import von Soja zu verringern und so heimische Futtermittel im landwirtschaftlichen Betrieb zu erzeugen und zu verwerten (Köpke und Nemecek 2010). Ein weiterer wichtiger Aspekt, der die (Winter-)Ackerbohne auszeichnet und bislang züchterisch noch kaum bearbeitet wurde, ist ihre legume Fähigkeit, der aus der Symbiose mit dem Knöllchenbakterium (*Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae*) gewonnenen Luftstickstoff zu akkumulieren. Die (Winter-)Ackerbohne ist in der Lage, abhängig von den Umweltbedingungen, bis zu 300 kg N ha<sup>-1</sup> zu fixieren (Schilling 2000). Diese sehr potente Eigenschaft macht die Winterackerbohne besonders für den Gemengeanbau mit Getreidearten, vor allem in der ökologischen Landwirtschaft, interessant (Jung und Rauber 2010, Jung und Rauber 2011, Rühlemann und Schmidtke 2015).

## **1.2. Der Gemengeanbau**

Der Gemengeanbau ist der gleichzeitige Anbau von zwei oder mehr Kulturarten auf derselben Ackerfläche (Andrews and Kassam 1976, Ofori and Stern, 1987). Der Anbau von Gemengen in der Agrarlandschaft ist keine neue Entwicklung, vielmehr ist es ein traditionelles Anbausystem. Es wird davon ausgegangen, dass der Gemengeanbau von Mais (*Zea mays* L.) und Stangenbohne (*Phaseolus vulgaris* L.), später ergänzt durch den Kürbis (*Cucurbita* spp.), schon etwa 5.000-3500 v. Chr. in Mesoamerika von indigenen Völkern praktiziert wurde (Landon 2008). Auch in Deutschland war der Anbau von Gemengen bis Mitte des 19. Jahrhunderts ein etabliertes System. Erst mit der Verbesserung von Sorten durch die Pflanzenzüchtung, der fortschreitenden Mechanisierung der Landwirtschaft sowie der Herstellung und

dem Einsatz von synthetischen Dünge- und Pflanzenschutzmitteln setzte sich fortlaufend der Anbau der landwirtschaftlich genutzten Kulturarten in Reinsaaten durch (Hof und Rauber 2003). Dies hatte zur Folge, dass die Agrarlandschaft in Deutschland starke Einbußen in der Biodiversität zu verzeichnen hatte, sowohl in den einzelnen Ackerschlägen als auch in den Fruchtfolgen. Es werden nur noch vergleichsweise wenige Hauptkulturarten in Reinbeständen in meist engen Fruchtfolgen angebaut (Stein und Steinmann 2018). Nach Becker (2011) werden in Deutschland auf 60 % der zur Verfügung stehenden Ackerfläche lediglich drei Hauptfrüchte in Reinsaat angebaut: Weizen (*Triticum aestivum* L.), Mais und Raps (*Brassica napus* L.). Dabei stehen dieser auf Reinsaaten ausgelegten Landwirtschaft viele Vorteile einer Diversifizierung der Agrarlandschaft gegenüber, wie die Resilienz von Beständen, die Steigerung der Ertragsstabilität, eine angemessene gesteigerte Produktivität bei verringerten Inputs von synthetischen Dünge- und Pflanzenschutzmitteln oder auch eine verbesserte Nutzung von Ressourcen und eine Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit sowie eine verbesserte Unkrautunterdrückung (Bilalis et al. 2010, Carton et al. 2018, Hauggaard-Nielsen et al. 2001a, Raseduzaman und Jensen 2017, Schmidtke et al. 2004, Theunissen 1997, Weißhuhn et al. 2017). Die Verbindung einer solchen diversen, nachhaltigen Lebensmittelproduktion mit steigendem Ertrag stellt die Landwirtschaft vor nie dagewesenen Chancen und Aufgaben (Tilman et al. 2002). Der Gemengeanbau verspricht eben diese Erhöhung der Diversität in der Landwirtschaft bei gesteigerter Produktivität und verbesserter Nutzung der zur Verfügung stehenden Ressourcen (Hauggaard-Nielsen et al. 2008; Hauggaard-Nielsen et al. 2011). Denn oftmals kommt es zwischen den beteiligten Spezies in einem Gemenge zur komplementären Nutzung von Wachstumsfaktoren (Rauber et al. 2001) wie: Licht, bspw. durch die unterschiedliche Pflanzenarchitektur der beteiligten Spezies (Hauggaard-Nielsen et al. 2008; Picasso et al. 2011); Wasser, durch räumliche und temporale Unterschiede in der Wurzelsystementwicklung (Berendse 1982, Morris und Garrity, 1993); Nährstoffen, durch temporale Unterschiede in der Nährstoffaufnahme der beteiligten Pflanzenarten (Bedoussac und Justes 2010, Ergon et al. 2016, Hauggaard-Nielsen und Jensen 2001, Zhang et al. 2017). Zu dieser komplementären Nutzung der Wachstumsfaktoren von Spezies in einem Gemenge kommt es dann, wenn die beteiligten Gemengepartner räumlich und zeitlich differenzierte Ansprüche an ihre Umwelt stellen. Somit dürfen die beteiligten Pflanzenarten zur Verwirklichung dieser Effekte nur wenig in Konkurrenz („competition“) miteinander treten. Folglich müssen sie sich innerhalb ihrer gemeinsamen Vegetationsperiode ergänzen und unterstützen („facilitation“). Somit könnte der Gemengeanbau bei der Lösung dieser Aufgaben eine Schlüsselfunktion einneh-



men. Schon seit den 1970er Jahren ist das wissenschaftliche Interesse am Gemengeanbau stark gestiegen (Geno und Geno 2001).

Prominente Beispiele für Gemenge, die diese positiven Charakteristika aufweisen, sind Leguminosen-Nichtleguminosen-Gemenge wie bspw. Linse (*Lens culinaris* L.) und Weizen (Loïc et al. 2018), Erbse (*Pisum sativum* L.) und Hafer (*Avena sativa* L.) (Tsialtas et al. 2018), Mais und Stangenbohne (Habte et al. 2016) sowie Ackerbohne und Weizen (Hof-Kautz et al. 2007).

Der wohl am häufigsten postulierte Vorteil von Gemengen ist die relative und absolute Ertragssteigerung im Vergleich zu den korrespondierenden Reinsaaten, insbesondere bei geringer Stickstoffverfügbarkeit in der Anbaufläche (De Witt 1960, Jensen et al. 2010, Nelson et al. 2018, Streit 2018, Telkar et al. 2018). In der Metanalyse von Raseduzzaman und Jensen (2017) zeigte sich, dass im Gemenge die Ertragsstabilität höher war als in den Reinsaaten. Neben Ertrag und Stabilität wurde in Studien von De Stefanis et al. (2017) und Hof-Kautz et al. (2007) festgestellt, dass die Qualität von Getreidekörnern aus einem Leguminosen-Nichtleguminosen-Gemenge gegenüber denen aus Reinsaaten gesteigert ist. Die Unkrautunterdrückung ist nach den Forschungsergebnissen von Banik et al. (2006) und Bialis et al. (2010) in Gemengen größer als in den Reinsaaten. Neben der gesteigerten Produktivität von Gemengen ist ein weiterer sehr wichtiger Vorteil, der sich durch den Anbau von Leguminosen mit Nichtleguminosen ergibt, dass die Leguminosen prozentual mehr Luftstickstoff akkumulieren als in ihren Reinsaaten und auch diesen zusätzlichen Stickstoff teilweise in den Boden eintragen können (Jung 2003, Neumann et al. 2003).

### **1.3. Hypothesen**

Der Anbau von Winterackerbohnen (und ebenso von Sommerackerbohnen) erfolgt generell in Reinsaat. Es deutet sich aber an, dass die Nutzung der Winterackerbohne im Gemenge mit Winterweizen eine Vielzahl von potentiellen Vorteilen für die Gestaltung einer nachhaltigproduktiven Landwirtschaft in Deutschland bietet. Aus pflanzenzüchterischer Sicht stellt sich damit aber die Frage, ob schon die Züchtung von Winterackerbohnen für den Anbau im Gemenge in der Gemengesituation, also unter entsprechenden Konkurrenzbedingungen, erfolgen sollte; oder ob die Auslese von Zuchtprodukten nach deren Reinsaatleistung für das Ziel „Gemengeanbau“ genügt. Zudem sollte dabei geprüft werden, ob eine Winterackerbohne im Gemenge mit z. B. Winterweizen besondere Ausprägungen von Merkmalen (wie bspw. eine bestimmte Wuchshöhe oder einen bestimmten Blattflächenindex) aufweisen sollte, um die

höchste Leistung eines solchen Gemenges hervorzubringen. Ferner sind bislang nur wenige Winterackerbohnen im Hinblick auf ihre Stickstofffixierleistung charakterisiert, obwohl die Ackerbohnen generell zu den Körnerleguminosen gehören, die eines der größten Potentiale in diesem Merkmal aufweisen (Schilling 2000). Aus diesen Gründen sollen in der von mir vorgelegten wissenschaftlichen Arbeit folgende grundlegenden Fragen und Hypothesen behandelt werden:

- A) Wird ein signifikanter Mehrertrag im Gemenge von Winterackerbohnen und Winterweizen im Vergleich zu ihren Reinsaaten erreicht? Wenn ja, haben die Winterackerbohnenotypen einen signifikanten Einfluss auf die Höhe des Gemengeertrags und des Mehrertrages? Wenn ja, welche Merkmale und Merkmalsausprägungen der Winterackerbohne sind statistisch mit dem Gemengeertrag und Mehrertrags assoziiert?
- B) Sind zur Züchtung von Winterackerbohnen für den Gemengeanbau mit Winterweizen andere bzw. zusätzliche Kriterien notwendig als zur Züchtung für Reinsaatbau? Führt die Züchtung von Winterackerbohnen für den Anbau in Reinsaat zu Sorten, die auch die höchsten Gemengeerträge mit Winterweizen erbringen?
- C) Unterscheiden sich die Winterackerbohnenotypen in Reinsaat in ihrer Stickstofffixierleistung voneinander? Unterscheiden sich die Stickstofffixierleistungen der Winterackerbohnen in den Reinsaaten signifikant von ihren Leistungen in den Gemengen und wenn ja, was könnte der Hintergrund solcher Unterschiede sein?

## 2. Material und Methoden

### 2.1. Feldversuche

Die Feldversuche wurden in den Vegetationsperioden (in der weiteren Arbeit als Jahre bezeichnet) 2014/15, 2015/16 und 2016/17 an zwei Standorten (Reinshof [S1] und Deppoldshausen [S2]) in Südniedersachsen durchgeführt (Tab. M1, Abb. M1). Das langjährige Mittel der Niederschläge für den Standort S1 liegt bei 645 mm und die langjährigen mittleren Temperaturen bei 8,7 °C und 7,7 °C (S1, S2). Die Böden am Standort S1 bestehen aus 68 % Schluff, 21 % Ton und 11 % Sand. Am Standort S2 aus 55 % Ton, 43 % Schluff und 2 % Sand. Die Aussaat der Versuche erfolgte über alle drei Versuchsjahre und Standorte zwischen dem 30. September und 29. Oktober (Tab. AI). Das Versuchssaatgut wurde nicht gebeizt. Die letzte Stickstoffdüngung der gesamten Versuchsfläche fand am Standort S1 und S2 im Jahr 2013 statt. Vor Versuchsanlage wurde auf der Versuchsfläche Winterweizen im konventionellen Verfahren angebaut. In dem Jahr vor Versuchsbeginn wurde am S1 und S2 unter konventionellen Bedingungen Raps angebaut. Während des gesamten Versuchszeitraumes wurde die Versuchsfläche nicht mit Stickstoff gedüngt. Die Flächen wurden an jedem Standort in vier Blöcke aufgeteilt und diese wiederum in vier Teilblöcke, um eine Rotation und eine Fruchtfolge innerhalb der Blöcke der Versuchsfläche zu ermöglichen. In den Jahren, an den die Versuchsfläche nicht auf einem Teilblock angelegt wurde, wurde Winterroggen als Vor- und Nachfrucht verwendet. Der Roggen wurde am Ende jeder Saison geerntet und das Erntegut abgefahren. Das Stroh verblieb auf den Flächen und wurde eingearbeitet. Fungizid- und Insektizid-Applikationen wurden nur bei drohendem Totalverlust der Bestände durchgeführt. Herbizide wurde im Voraufbau angewendet. Während der Vegetationsperiode erfolgte zusätzlich eine manuelle Unkrautbekämpfung (Vgl. Tab. AI – Tab. A IV.).

**Tab. M1:** Standortbeschreibung der Feldversuche (siehe Abb.1).

Standort	Jahr	H.ü.N.N [m] <sup>1</sup>	Breite <sup>2</sup>	Länge <sup>2</sup>	Nds. [mm] <sup>3</sup>	Temp. [°C] <sup>4</sup>
Reinshof	2014/15				622,2	10,0
Reinshof	2015/16	157	N 51°29' 5''	E 9°55'23''	601,0	10,5
Reinshof	2016/17				535,2	8,5
Deppoldshausen	2014/15				535,5	9,7
Deppoldshausen	2015/16	342	N 51°34'54''	E 9°58' 3''	581,5	9,8
Deppoldshausen	2016/17				710,2	8,2

<sup>1</sup>Höhe über Normal Null, <sup>2</sup>Koordinaten sowie die <sup>3</sup>Niederschlagssumme und <sup>4</sup>Temperaturmittel der beiden Versuchsstandorte innerhalb der Vegetationsperioden.

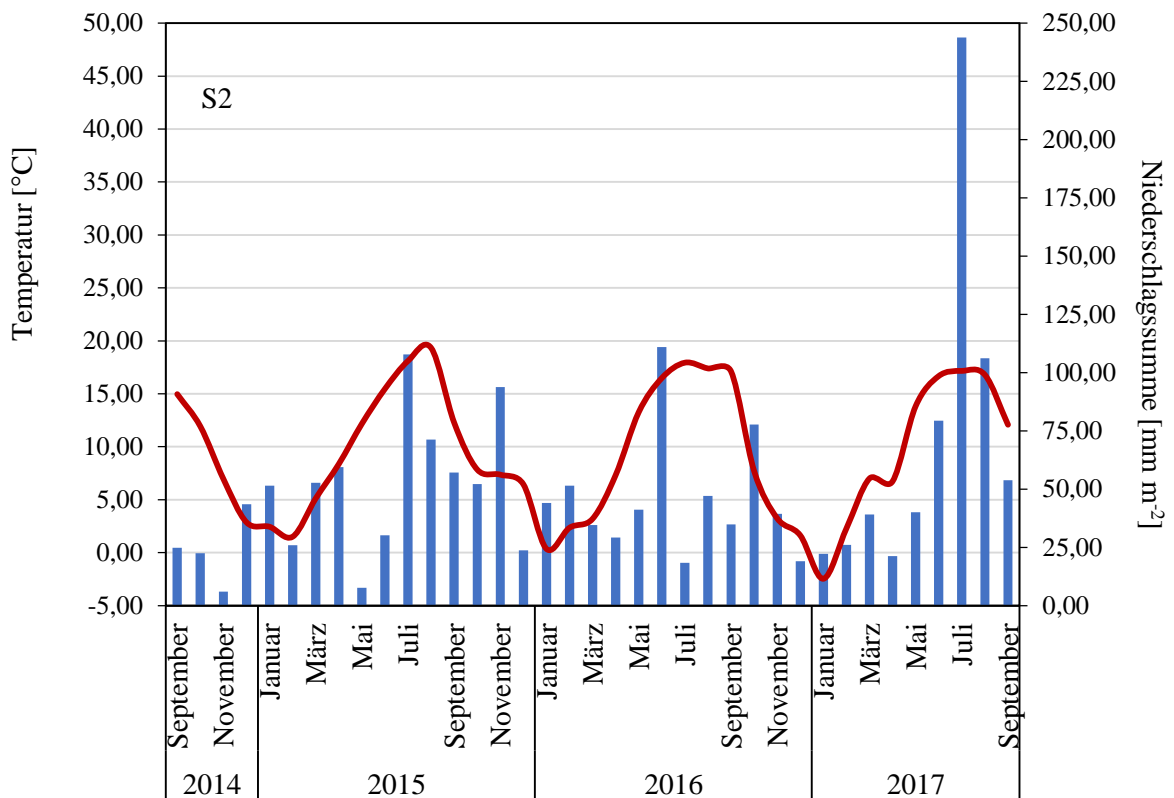
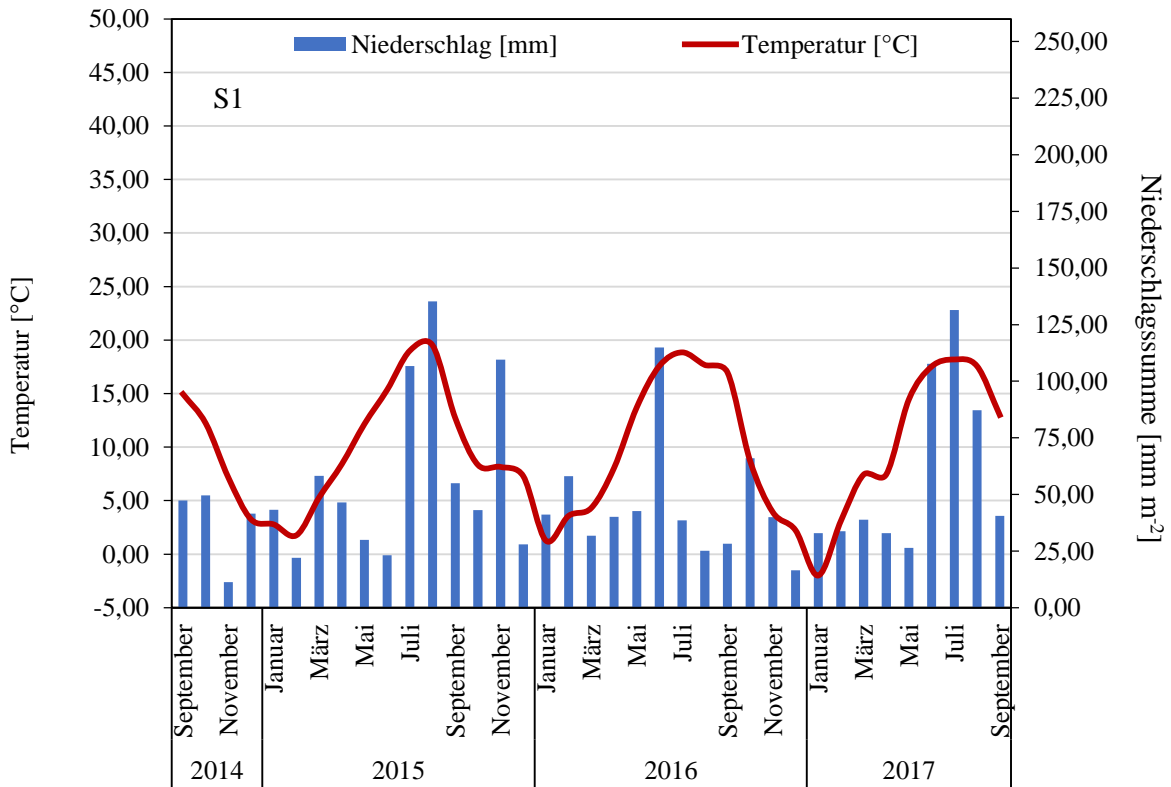


Abb. M1: Klima der Versuchsstandorte Reinshof (S1) und Deppoldshausen (S2). Die Daten von S1 (Sep. 2014 bis Juli 2015) stammen vom Deutschenwetterdienst (Wetterstation Geismar in Göttingen). Beginnend mit August 2015 stammen die Daten aus der versuchseigenen Wetterstation. Die Wetterdaten von S2 (Sep. bis 2014 bis Juni 2015) stammen vom DWD (Wetterstation experimenteller botanischer Garten an der Lutter, Göttingen) und ab Juli 2015 von der versuchseigenen Wetterstation. Gegeben sind Niederschlagssummen ( $\text{mm m}^{-2}$ ) und Temperaturmittel je Monat ( $^{\circ}\text{C}$ ).

## 2.2. Experimentelles Design und Versuchsdurchführung

Die Feldversuche waren Teil des fakultätsübergreifenden Verbundprojektes IMPAC<sup>3</sup> (<https://www.uni-goettingen.de/de/528191.html>). Die Feldversuche wurden als zweifaktorielle Spaltanlage mit R = 4 Wiederholungen pro Standort angelegt. Jede Wiederholung bestand dabei aus B = 8 Großteilstücken mit jeweils K = 5 Kleinteilstücken. Der Hauptfaktor Großteilstück war durch die acht Winterackerbohnen genotypen definiert. Der Hauptfaktor Kleinteilstück wurde durch die fünf Anbauformen pro Winterackerbohnen genotyp festgelegt. Die Kleinteilstücke (Anbauformen) beinhalteten eine Winterackerbohnen- und Winterweizenreinsaat, sowie drei Gemengevarianten des Winterackerbohnen genotyps mit jeweils einem der drei Winterweizen. Die drei Reinsaaten der Winterweizen wurden innerhalb einer Wiederholung ausbalanciert (Tab. M2).

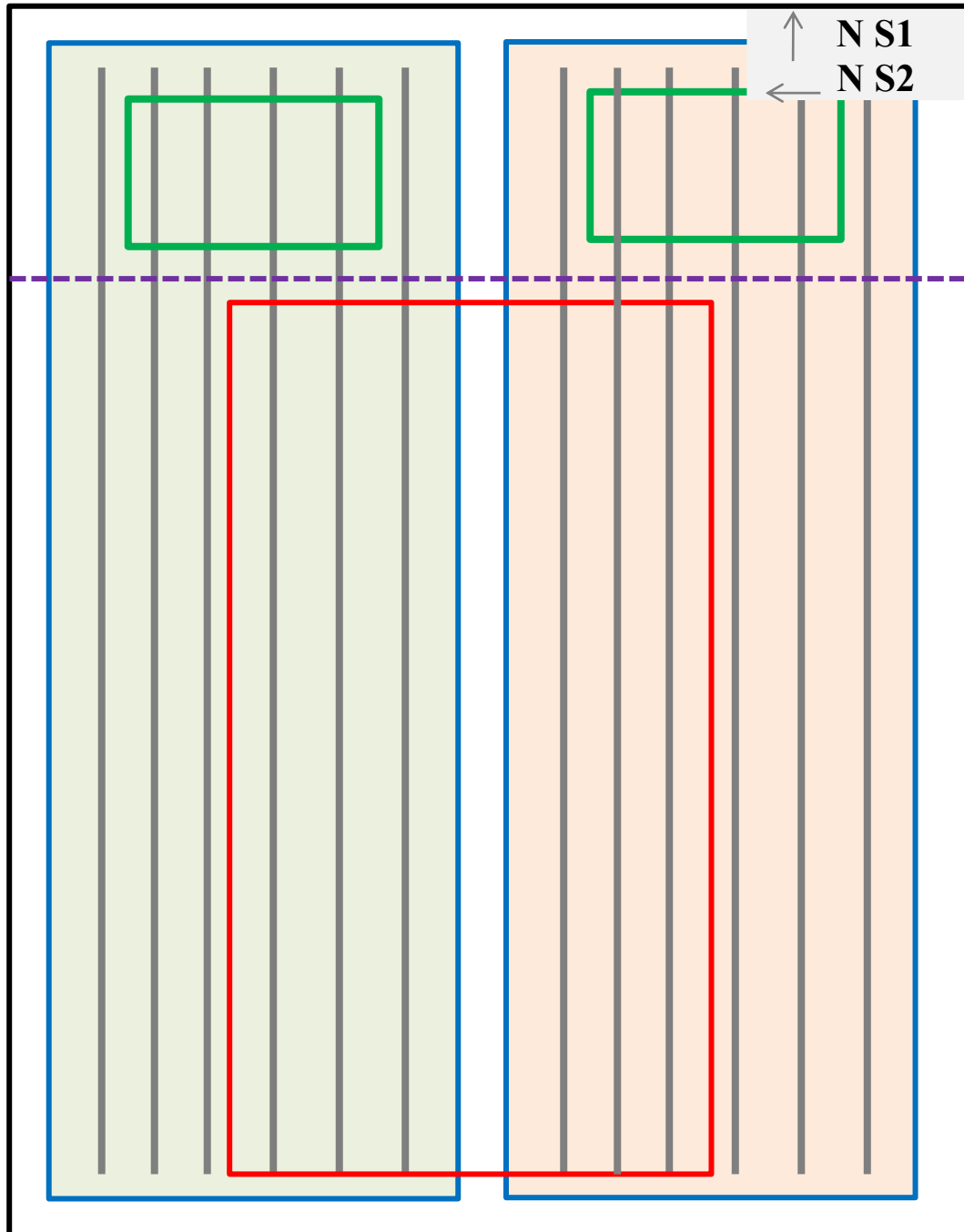
**Tab. M2:** Beispiel einer Wiederholung der zweifaktoriellen Spaltanlage. Vf1 bis Vf8 stehen für die acht Winterackerbohnen genotypen und Ta1, Ta2 und Ta3 stehen für die drei Winterweizensorten.

N = 8 Bohnen Genotypen (8 Großteilstücke)	Gemeinde von Vf1-Vf8 mit...						
	Reinsaat	Fünf Kleinteilstücke pro Großteilstück			Reinsaat Getreide		
		Ta1	Ta2	Ta3			
	1	2	3	4	5*		
	Vf1-Vf8				Ta1	Ta2	Ta3
Vf1	+	+	+	+	+		
Vf2	+	+	+	+	+		
Vf3	+	+	+	+	+		
Vf4	+	+	+	+	+		
Vf5	+	+	+	+		+	
Vf6	+	+	+	+		+	
Vf7	+	+	+	+			+
Vf8	+	+	+	+			+

\*Die Zuordnung von B1 bis B3 ist über die Wiederholungen ausbalanciert.

Die fünf Parzellen eines Großteilstücks wurden als sog. Großparzellen definiert. Diese Großparzellen wurden in Teilparzellen untergliedert. Der Aufbau der Großparzellen unterschied sich für Gemenge und Reinsaat nicht. Eine Großparzelle (27 m<sup>2</sup>) bestand insgesamt aus zwölf Saatreihen (22,5 cm Reihenabstand), die in zwei Saatparzellen (A und B: je 13,5 m<sup>2</sup>) mit jeweils sechs Saatreihen unterteilt waren. Der Kornertrag wurde mit dem Kerndruschverfahren in der Mähdruschparzelle (Saatreihen 4 bis 9 aus Saatparzelle A und B, 10,5 m<sup>2</sup>) erfasst, um

Randeffekte zu vermeiden. Biomassernten und destruktive Messungen wurden im 6 m<sup>2</sup> großen Teilerntebereichen bzw. in den Teilernteparzellen A und B (je 1 m<sup>2</sup>) durchgeführt (Abb. M2). Nicht destruktive Merkmalerfassungen wie Wuchshöhenmessungen und indirekte Blattflächenindexmessungen mit dem Ceptometer wurden in den Kerndruschparzellen durchgeführt.



**Abb. M2:** Schematische Darstellung einer Großparzelle (schwarz, 27 m<sup>2</sup>), zwei Saatparzellen (blau, A: grün hinterlegt, B: orange hinterlegt; je 13,5 m<sup>2</sup>), eine Mähdruschparzelle (rot, 10,5 m<sup>2</sup>), zwei Teilernteparzellen (grün, A: blau hinterlegt, B: orange hinterlegt). Die violette gestrichelte Linie teilt die Großparzelle in den Mähdrusch- und Teilerntebereich.

Für die Grundboden- und Saatbettbearbeitung wurde am Standort Reinshof gepflügt und anschließend zwei Mal gekreiselt. Am Standort Deppoldshausen musste aufgrund der Flachgründigkeit auf den Pflugeinsatz verzichtet werden. Hier wurde einmal gegrubbert und anschließend wurde der Boden gekreiselt. Die Aussaatstärke in den Winterbohnenreinsaaten betrug 40 keimfähige Samen  $\text{m}^{-2}$  und in den Weizenreinsaaten 320 keimfähige Samen  $\text{m}^{-2}$ . Anschließend wurde der Boden durch Anwalzen rückverfestigt. Die Gemenge wurden als substitutive Gemenge mit alternierenden Winterackerbohnen- und Winterweizenreihen angelegt. Die Aussaatstärke lag jeweils bei 50 % der Aussaatstärken der Reinsaaten (Winterbohne: 20 Samen  $\text{m}^{-2}$ , Winterweizen: 160 Samen  $\text{m}^{-2}$ ). Die Winterackerbohnen wurden in einer Tiefe von ca. 6 cm bis 8 cm, der Winterweizen in einer Tiefe von ca. 3 cm bis 5 cm abgelegt. Die Aussaat erfolgte mit einer Parzellendrillmaschine (Haltrup Sämaschine SB 25). Der zeitliche Ablauf und die detaillierte Vorgehensweise in der Feldversuchsführung sowie die Termine der Merkmalerfassung können aus dem Anhang entnommen werden (Tab. AI – Tab. AIV).

### **2.3. Genetisches Material und Prüfgliedergruppen**

Die Versuche wurden mit acht Winterackerbohnenengenotypen (*Vicia faba* L.; Vf) und drei zugelassenen Winterweizensorten (*Triticum aestivum* L., Ta) durchgeführt. Die Winterackerbohnen (experimentelle Inzuchtlinien) stammen aus dem experimentellen Zuchtmaterial des Departments für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenzüchtung der Georg-August-Universität Göttingen und gehen auf die Göttinger Winterackerbohnenpopulation zurück (Link und Arbaoui 2005). Die acht Winterackerbohnenengenotypen (Vf1-Vf8) wurden aufgrund ihrer statistisch signifikanten Unterschiede in den Merkmalen Wuchshöhe, Blühbeginn, Abreife und Ertragsleistung ausgewählt. Die drei Winterweizensorten (Ta1-Ta3) stammen aus europäischen Zuchtunternehmen, die allesamt Mitglieder der German Seed Alliance sind (Tab. M3). Genius (Ta1) und Boxer (Ta2) sind Liniensorten und Hybery (Ta3) ist eine Hybridsorte. Die drei Winterweizen wurden aufgrund ihrer guten Resistenz gegenüber Getreidekrankheiten wie Mehltau (*Blumeria graminis*), Fusarien (*Fusarium graminearum*) und Rosten (*Puccinia triticina*, *Puccinia striiformis*) ausgewählt. Zudem unterscheiden sich die Winterweizensorten in ihrer Wuchshöhe, in ihrem Samenproteingehalt und ihrem Stickstoffaneignungsvermögen (Bundessortenamt 2018). Die Prüfglieder wurden in drei verschiedene Prüfgliedergruppen unterteilt, da nicht alle Merkmale an jedem Prüfglied erfasst werden sollten. Das sogenannte A\_Set umfasste alle Reinsaaten (Winterbohne und Winterweizen) und alle Gemengekombinationen aus den N = 8 Winterbohnen und N = 3 Winterweizen. Das B\_Set bestand aus allen Winterackerbohnenreinsaaten, den Reinsaaten des Winterweizens Ta1 und

allen Gemengekombinationen zwischen diesen acht Winterackerbohnen und diesem Winterweizen. Das C\_Set umfasste alle Reinsaaten der Winterackerbohnen Vf1, Vf2, Vf3 und Vf6 sowie die Hälfte der Reinsaaten des Winterweizens Ta1 und alle Gemengekombinationen zwischen den vier Winterackerbohnen-Genotypen und Ta1.



**Tab. M3:** Name, Abkürzung und Beschreibung der (N = 8) Winterackerbohnen genotypen (Vf1 -Vf8), basierend auf Versuchsdaten der Reinsaat, sowie der drei zugelassenen Winterweizensorten (Ta1 – Ta3); (Beschreibende Sortenliste Hannover (2017); Feldebücher der Abteilung Pflanzenzüchtung, unpubliziert).

Spezies	Code	Name	Merkmalsausprägung
Winterackerbohne	Vf1	S_004	Mittlere Wuchshöhe, geringe Bestockung, später Blühbeginn, mittlere Abreife, hoher Ertrag
	Vf2	S_062	Kurze Wuchshöhe, hohe Bestockung, mittel-früher Blühbeginn, mittlere Abreife
	Vf3	S_069	Sehr lange Wuchshöhe, mittlere Bestockung, mittel-später Blühbeginn, mittlere Abreife, hoher Ertrag
	Vf4	S_265	Sehr lange Wuchshöhe, sehr hohe Bestockung, mittel-früher Blühbeginn, mittlere Abreife
	Vf5	Hiverna/2	Mittlere Wuchshöhe, geringe Bestockung, mittel-früher Blühbeginn, geringer Ertrag, reine Linie die aus der deutschen cv. Hiverna entwickelt wurde, sehr winterhart
	Vf6	Côte d'Or/1	Sehr lange Wuchshöhe, hohe Bestockung, später Blühbeginn, späte Abreife, sehr winterhart
	Vf7	WAB-Fam157	Mittlere Wuchshöhe, geringe Bestockung, früher Blühbeginn, frühe Abreife, hoher Ertrag,
	Vf8	WAB-EP98-267	Mittlere Wuchshöhe, mittlere Bestockung, später Blühbeginn, späte Abreife, hoher Ertrag, Schwesterlinie der cv. Nordica
Winterweizen	Ta1	cv. Genius	Mittlere Wuchshöhe, hoher Samenproteingehalt (E), ertragsstabil, resistent gegenüber Mehltau und Fusarien, hohes Stickstoffaufnahmevermögen.
	Ta2	cv. Boxer	Sehr lange Wuchshöhe, geringer Samenproteingehalt (C), späte Abreife, gut geeignet für eine späte Aussaat
	Ta3	cv. Hybery	Lange Wuchshöhe, mittlerer Samenproteingehalt (B), mittlerer Abreife, hoher Ertrag, hervorragende Resistenzen gegenüber allen Wurzel-, Blatt- und Ährenkrankheiten.

## 2.4. Merkmalerfassung

### 2.4.1. Merkmale der Pflanzenentwicklung

Die Wuchshöhe der Winterackerbohnen und des Winterweizens wurde im B\_Set in allen drei Jahren erfasst. Die Messung der Wuchshöhe erfolgte drei Mal innerhalb der Vegetationsperiode: zum Blühbeginn, zur Vollblüte und zum Blühende der Winterackerbohnen (Tab. AII bis Tab. AIV). An den Winterackerbohnen wurde der Haupttrieb bis zum jüngsten vollentwickelten Blatt gemessen. An den Winterweizenpflanzen wurde der Haupttrieb bis zur Blattspitze des jüngsten vollentwickelten Blattes bzw. bis zur Ährenspitze gemessen. Für die Wuchshöhenmessung wurden jeweils zehn Pflanzen ausgewählt, die repräsentativ für den Entwicklungszustand ihrer Großparzelle waren. Fünf der zehn Pflanzen wurden dabei in Saatreihe 3 (Saatparzelle A) und die anderen fünf in Saatreihe 9 (Saatparzelle B) in den Reinsaaten gemessen. In den Gemengen wurden Winterackerbohnen in Saatreihe 3 und Saatreihe 9 gemessen. Zudem wurden jeweils fünf Winterweizenpflanzen in Saatreihe vier und zehn unmittelbar neben den gemessenen Winterackerbohnen gemessen. Aus den jeweils zehn Einzelwerten pro Art und Großparzelle wurde für die anschließende statistische Auswertung ein Mittelwert berechnet. Der Blattflächenindex (BFI) wurde im B\_Set in allen drei Jahren, jeweils in der Saatparzelle A, an vier Zeitpunkten innerhalb der Vegetationsperiode erfasst (vor der Blüte, Blühbeginn, Vollblüte und Blühende der Winterackerbohnen). Der BFI wurde indirekt mit Hilfe des *Ceptometers Akku PAR Model LP-80* (Decagon Devices 2014) aufgenommen. Mit dem Ceptometer wird die fotosynthetisch aktive Strahlung (FAS) über 80 Fotodioden an einem Stabmeter gemessen und zu acht Mittelwerten akkumuliert. Die Grundlage der BFI-Berechnung bildet die Interzeption der fotosynthetisch aktiven Strahlung über dem Pflanzenbestand und unter dem Pflanzenbestand. Daher wird für die Berechnung des BFI immer ein Wertepaar bestehend aus einer FAS-Messung über und unter dem Pflanzenbestand benötigt. Die Umrechnung der FAS in den BFI erfolgt über einen Mikroprozessor im Ceptometer. Um den Stand der Sonne zur Erdoberfläche am jeweiligen Messtermin zu berücksichtigen, müssen vor der BFI-Messung, die Längen- und Breitengrade in das Ceptometer eingegeben werden. Um eine möglichst vertikale Sonneneinstrahlung zu gewährleisten, wurden die Messungen immer zwischen 10 Uhr und 14 Uhr, bei klarem Sonnenschein ( $FAS > 600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), durchgeführt. Das Ceptometer wurde vor Beginn der BFI Messung an jedem Standort, nach Anleitung des Herstellers, kalibriert (Decagon Devices 2014). Um die Blattverteilung der Arten Winterackerbohne und Winterweizen in den Reinsaaten und in den Gemengen zu berücksichtigen, musste der Parameter „Chi“ jeweils angepasst werden (Tab. M4). „Chi“ beschreibt

in diesem Fall den Blattwinkel innerhalb der Laubfläche in einem Pflanzenbestand (Decagon Devices 2014). Für die BFI Messungen der Winterackerbohnenreinsaaten wurde ein „Chi-Wert“ = 2,0 und für die Weizenreinsaaten der Wert 0,96 nach den Angaben des Herstellers angenommen (Decagon Devices 2014). Für die Gemenge aus Winterackerbohne und Weizen wurde hierfür der „Chi-Wert“ von 1,5 gewählt. Es wurden sechs Messungen im 90° Winkel zur Ausrichtung der Saatreihen in der Saatparzelle A pro Messtermin vollzogen. Davon wurden drei Messungen dicht über dem Pflanzenbestand und drei unter dem Pflanzenbestand, direkt über der Bodenoberfläche durchgeführt. Der resultierende Mittelwert aus diesen Messungen wurde pro Parzelle für die statistische Auswertung berechnet. Innerhalb einer Parzelle lagen zwischen den Messpunkten ca. 70 cm Abstand. Es wurde angenommen, dass die Blattwinkelstellung unter den drei Winterweizensorten und unter den acht Winterackerbohnen jeweils gleich war.

Die Lagerneigung wurde im A\_Set am Ende des Hülsenfüllens der Winterackerbohnen in allen drei Jahren bonitiert (0 = kein Lager; 9 = sehr starkes Lager, Pflanzen liegen gänzlich am Boden). Weitere Merkmale der Pflanzenentwicklung wie Blühbeginn, Blühende und Reife wurden erfasst, werden aber im Weiteren nicht dargestellt.

#### **2.4.2. Ertragsmerkmale**

Um die in der Literatur postulierte Steigerung der Produktivität von Gemengen gegenüber ihren Reinsaaten im Detail zu prüfen, sollte neben dem Kornertrag (zur Mähdruschreife) der Gemenge ebenso der gesamte oberirdische Sprossmasseertrag zu verschiedenen Zeitpunkten in der Vegetationsperiode untersucht werden. Hierfür wurde der oberirdische Sprossmasseertrag in jedem der drei Versuchsjahre im B\_Set zum Zeitpunkt der Vollblüte (2015, 2016 und 2017) und zur Mähdruschreife nur in den Jahren 2016 und 2017 erfasst. Es wurde zum jeweiligen Erntetermin der Vollblüte in den Teilernteparzellen ein Quadratmeter Sprossmasse per Hand geerntet. Zum Zeitpunkt der Mähdruschreife wurden aus den Saatparzellen B jeweils ein laufender Meter von zwei Saatreihen geerntet (entspricht 0,5 m<sup>2</sup>). Dabei wurden ganze Pflanzen direkt über der Bodenoberfläche abgeschnitten und in Säcke verpackt. Die Winterweizen- und Winterackerbohnenpflanzen aus den Gemengen wurden nach Kulturart sortiert und dann separat verpackt, um später den Sprossmasseertrag der beiden Gemengepartner getrennt zu erfassen. Die Frischmassen dieser Sprossmasseproben wurden mit einer Pflanzenwaage (Fa. Satorius; Typ BP 34000-P, ±0,1 g bis 0,5 g) erfasst. Anschließend wurden die sortierten Frischmasseproben mit einem Laborhäcksler (Wintersteiger, Hege 44) zerkleinert und homogenisiert, um für weitere Analysen repräsentative Stichproben gewinnen zu können.

Um den Sprossmasseertrag ( $\text{dt ha}^{-1}$ ) aus diesen Daten zu berechnen, wurde je Parzelle und Kultur ein Aliquot entnommen. Von diesem Aliquot (ca. 200 g Frischmasse) wurde ebenso die Frischmasse bestimmt (Fa. Satorius Typ BL 310,  $\pm 0,01$  g). Diese Proben wurden dann für 24 h bei 60 °C und danach bei 105 °C in Trockenschränken (Memmert Modell 800) bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Anschließend wurden diese getrockneten Proben abermals gewogen, die Trockenmasse bestimmt und schlussendlich der oberirdische Sprossmasseertrag ( $\text{dt ha}^{-1}$ ) berechnet. Ferner wurde von diesen Frischmasseproben zusätzlich je ein Aliquot für die Stickstoffgehalts- und Stickstoffisotopenbestimmung entnommen (siehe Kap. 2.4.4). Zum Zeitpunkt der Mähdruschreife wurden die Korn- und Stroherträge in allen drei Jahren im A\_Set mit einem Parzellenmähdrischer (Hege 160, Haldrupp) im Kerndruschverfahren erfasst. Es wurden lediglich die Mähdruschparzellen (7 m x 1,5 m = 10,5 m<sup>2</sup>), d.h. die Saatreihen 4 bis 9 geerntet, um Randeffekte zu vermeiden. Zur Ermittlung des Strohertrags wurde das gesamte Stroh der Mähdruschparzelle auf dem Feld mit einer Galgenwaage gewogen. Um daraus später den Strohertrag ( $\text{dt ha}^{-1}$ ) zu berechnen wurde wieder ein Aliquot entnommen, eingewogen und in den Trockenschränken zuerst für 24 h bei 60 °C und anschließend für weitere 24 h bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, zurück gewogen und in  $\text{dt ha}^{-1}$  umgerechnet. Der Strohertrag ist in dieser Arbeit definiert als der Ertrag, der bei der Mähdruschernte erfasst wird, ungeachtet der Verluste die durch diese technische Ernte auftreten. Der oberirdische Mähdruschertrag ist definiert als die Summe des gereinigten Kornertrags und des Strohertrags und wurde maschinell, mit dem Mähdrischer, erfasst. Er dient ebenso als weiteres Merkmal, welches die postulierte Produktivitätssteigerung von Gemengen gegenüber dem korrespondierenden Mittel der Reinsaatn prüfen soll. Die Daten der oberirdischen manuellen Sprossmassebehebung dienen hierbei lediglich der Berechnung des akkumulierten Stickstoffs zum Zeitpunkt der Vollblüte und zum Zeitpunkt der Mähdruschernte. Des Weiteren wurde während der Mähdruschernte der Kornertrag der Reinsaatn und Gemenge erfasst. Die Gemenge- und Reinsaatparzellen wurden dabei zum selben Zeitpunkt geerntet. Die Ernte der Gemenge erfolgte in einer Überfahrt, sodass die Gemengepartner zusammen geerntet wurden. Die Winterackerbohnen- und Weizenkörner einer Gemengeparzelle wurden zusammen im Feld abgesackt. Anschließend wurden die Mähdruschproben einige Tage auf einer Kaltlufttrocknung gelagert. Daraufhin wurde das Erntegut mit einer Labor-Saatreinigung (Mini-Petkus) gereinigt. Die Labor-Saatreinigung besteht aus einem Steigsichter und einer Schüttelrinne. Im Steigsichter wurden Staub, Spelzen und Unkrautsamen vom Erntegut getrennt. Die Schüttelrinne besteht aus zwei Sieben, die es ermöglichten das Erntegut von weiteren Verunreinigungen sowie von Bruchkorn zu trennen. Es war ebenso möglich die Winterackerboh-

nen- und Weizenkörner der Gemenge durch die entsprechende Siebkombination voneinander zu trennen (Tab. AXII). Durch das Obersieb wurden Hülsen, Hülsenanteile und weitere grobe Verunreinigungen von den Winterackerbohnen und Weizenkörnern getrennt. Das Untersieb trennte schlussendlich die Winterackerbohnen und Weizenkörner voneinander. Die Winterackerbohnen wurden über das Sieb durch Schüttelbewegungen in einen Behälter befördert. Der Weizen fiel durch das Untersieb hindurch und wurde wiederum in einem separaten Behälter aufgefangen. Bei der Aufbereitung der Reinsaatparzellen war lediglich das Separieren von Verunreinigungen und Erntegut nötig. Anschließend konnte so der anteilige Weizen- und Winterackerbohnenenertrag der Gemenge bestimmt werden. Der Gesamt-Gemengeertrag ergab sich dann aus der einfachen Addition der Weizen- und Bohnenerträge der Gemenge.

### **2.4.3. Berechnete Ertragsparameter**

Um einen adäquaten Vergleich zwischen den jeweiligen Gemengen und ihren entsprechenden Reinsaaten zu ermöglichen, wurde in dieser Arbeit oftmals der Mittelwert der korrespondierenden Reinsaaten herangezogen. Hierfür wurden für ein entsprechendes Merkmal die Werte der Reinsaaten addiert (Ackerbohne + Weizen) und durch Zwei dividiert. Durch Subtraktion der Mittel der Reinsaaten von dem Gesamtgemengeertrag konnte die absolute Ertragsdifferenz in  $\text{dt ha}^{-1}$  (für Korn-, Stroh- und für den gesamten oberirdischen Trockenmasseertrag zur Mähdruschreife) zwischen den jeweiligen Gemengen und dem Mittel der zugehörigen Reinsaaten berechnet werden. Fiel diese Differenz positiv aus, so wird in dieser Arbeit von einer Überlegenheit des Gemenges im Vergleich zu den korrespondierenden Reinsaaten gesprochen. Sofern dieser Wert negativ ausfiel, ist von einer Unterlegenheit des Gemenges gegenüber den korrespondierenden Reinsaaten auszugehen.

Die Überlegen- bzw. Unterlegenheit eines Gemenges im Vergleich zu seinen Reinsaaten muss nicht allein durch die absoluten Ertragsdifferenzen beschrieben werden. In dieser Arbeit wird zusätzlich der Relative Yield Total (RYT) und der relative Gemengeertrag (RGE) herangezogen, um die oft erwähnte (Li et al. 1999, Vandermeer 1989, Zhang et al. 2001) Überlegenheit der Gemenge mit diversen algebraischen Herangehensweisen zu prüfen und zu diskutieren.

Der Relative Yield Total (Formel 3) wurde gemäß De Witt (1960) und nach De Witt und van den Bergh (1965) im A\_Set für alle 24 möglichen Gemenge berechnet. Der Relative Yield Total ist die Summe der Relativerträge (Formel 1) der Winterackerbohnen  $\text{RY}_{\text{Vf}}$  (Formel 2) und des Winterweizens  $\text{RY}_{\text{Ta}}$ .

- (1)  $R_{YT} = R_{Y_{Vf}} + R_{Y_{Ta}}$
- (2)  $R_{Y_{Vf}} = Y_{Vf_{Gemenge}} / Y_{Vf_{Reinsaat}}$
- (3)  $R_{Y_{Ta}} = Y_{Ta_{Gemenge}} / Y_{Ta_{Reinsaat}}$

$Y_{Vf_{Gemenge}}$  und  $Y_{Ta_{Gemenge}}$  sind in diesem Fall Kornerträge der Winterackerbohne bzw. Winterweizens in den Gemengen und  $Y_{Vf_{Reinsaat}}$  und  $Y_{Ta_{Reinsaat}}$  stehen für die Kornerträge der Winterackerbohnen bzw. der Winterweizen in den zugehörigen Reinsaaten. Der RYT wurde parzellenweise berechnet. Für die Berechnung des  $R_{Y_{Ta}}$  wurde pro Wiederholung ein Mittelwert für den Nenner ( $Y_{Ta_{Reinsaat}}$ ) der entsprechenden Winterweizensorten berechnet (Genius; N = 4, Boxer und Hybery; N = 2, vgl. Tab. M2). Ein  $R_{YT} > 1$  drückt einen Ertragsvorteil der Gemenge verglichen mit ihren Reinsaaten aus.

Der relative Gemengeertrag (RGE; „Relative yield of mixtures“) nach Wilson (1988) ist ein weiterer Parameter, der den möglichen Ertragsvorteil von Gemengen gegenüber ihren Reinsaaten beschreibt. Auch er wurde für die 24 Gemenge des A\_Sets berechnet. Die Algebra des RGE (Formel 4) unterscheidet sich von der des RYT insofern, dass nicht für jeden Gemengepartner ein Quotient gebildet wird, sondern der Gesamt-Gemengeertrag durch das Mittel der zugehörigen Reinsaaten dividiert wird. Ein  $RGE > 1$  bedeutet ebenfalls einen Vorteil des Gemenges verglichen mit den korrespondierenden Reinsaaten.

$$(4) RGE = \frac{(Y_{Vf_{Gemenge}} + Y_{Ta_{Gemenge}})}{\left(\frac{Y_{Vf_{Reinsaat}} + Y_{Ta_{Reinsaat}}}{2}\right)}$$

#### 2.4.4. Symbiotische Stickstofffixierung

Um die symbiotische Stickstofffixierung von Leguminosen zu schätzen, steht eine Vielzahl von Methoden zur Verfügung. In dieser Arbeit wurde die symbiotische Stickstofffixierung der Winterackerbohnen-Genotypen in ihren Reinsaaten und in ihren Gemengen mit  $Ta_1$  (Genius) mittels der  $\delta^{15}N$ -Methode (natural  $^{15}N$  abundance method) geschätzt. Das für diese Methode benötigte Pflanzenmaterial stammt aus den Frischmasseproben des B\_Sets, deren Ermittlung und Aufbereitung im Kapitel 2.4.2 beschrieben wurde. Aus diesen Frischmasseproben wurden neben den erwähnten Aliquoten für die Trockenmassebestimmung ebenso Aliquote für die Inhaltsstoffanalyse (Gesamt-N-Gehalt,  $\delta^{15}N$ -Wert) entnommen. Diese wurden nach der Homogenisierung des Pflanzenmaterials in Polyethylenbeutel verpackt und für 48 h bei 60 °C getrocknet. Vor der weiteren Aufbereitung wurden diese Proben nochmals für 6 h bei 40 °C getrocknet. Anschließend mussten die Proben mit einer Ultrazentrifugal-

mühle (Fa. Retsch, ZM 200) auf eine Partikelgröße von  $\leq 0,20$  mm zerkleinert werden. Diese Proben wurden dann in Szintillations-Fläschchen gelagert. Nachfolgend wurden die gemahlten Proben mit einer Feinwaage (Fa. Sartorius; Typ M2P;  $\pm 0,001$  mg) in Zinnhülsen (Größe: 5 x 9 mm; Fa. IVA Analysetechnik) eingewogen (1,9 mg). Das Probenmaterial und die Zinnhülsen wurden zu einer Kapsel gepresst und in Probenracks gesetzt. Schlussendlich wurden diese Proben dem Kompetenzzentrum für Stabile Isotope (KOSI) in Göttingen übergeben. Die Proben wurden dort mit einem Massenspektrometer (MAT Delta Plus IRMS, Finnigan MAT GmbH, Germany) hinsichtlich ihres Gesamt-N-Gehalts und der Anteile der nichtradioaktiven und stabilen Stickstoffisotope  $^{15}\text{N}$  und  $^{14}\text{N}$  analysiert. Als Standard wurde Acetanilid benutzt. Die Menge des von der Leguminose akkumulierten Luftstickstoffs in der Biomasse kann so als Integral über die Zeit geschätzt werden. Die Grundlage dieser Schätzmethode beruht auf dem natürlichen Vorkommen der beiden Isotope  $^{15}\text{N}$  und  $^{14}\text{N}$  in der atmosphärischen Luft und dem damit einhergehenden weltweit konstanten Vorkommen von  $^{15}\text{N}$  (0,3663 atom %; Luftstandard) im molekularen Luftstickstoff (Junk & Svec 1958). Als  $\delta^{15}\text{N}$  versteht man das  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  Verhältnis (im natürlichen Vorkommen dieser beiden Isotope) und entspricht der tausendstel atom %  $^{15}\text{N}$ -Abweichung von diesem weltweit konstant vorkommende Luftstandard (Shearer und Kohl 1986). Die Einheit des  $\delta^{15}\text{N}$ -Werts wird daher in ‰ angegeben. Damit ist nach dieser Definition der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert des atmosphärischen Luftstickstoffs gleich Null. Während das Verhältnis dieser beiden Isotope in der atmosphärischen Luft konstant ist, weicht das Verhältnis dieser Isotope im pflanzenverfügbaren Stickstoff des Bodens häufig von dem Verhältnis der Luft ab. In den Ackerböden ist  $^{15}\text{N}$  meist aufgrund von Isotopendiskriminierung stärker angereichert als  $^{14}\text{N}$  (Hof-Kautz 2008).  $^{15}\text{N}$  hat ein höheres Molekulargewicht und ist reaktionsträger als  $^{14}\text{N}$ . Diese häufigen Unterschiede im Isotopenverhältnis zwischen dem pflanzenverfügbaren Stickstoff des Bodens und dem molekularen Stickstoff der Luft werden in der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode genutzt, um den Anteil des aus der Luft stammenden Stickstoffs (Ndfa: nitrogen derived from atmosphere) in der Biomasse der Leguminose zu bestimmen.

Um den %Ndfa zu bestimmen, ist es nötig, eine nicht-nodulierende Referenzpflanze zur gleichen Zeit (in Reinsaat), neben den zu untersuchenden Leguminosen anzubauen, um damit den  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert des Bodens abzubilden (Ledgard und Peoples 1988). In dieser Arbeit dient der Winterweizen Ta1 als Referenzpflanze, da dieser seinen Stickstoff ausschließlich aus dem Bodenstickstoff bezieht.

Bei der Berechnung wird als erstes das Verhältnis der Stickstoffisotope aus der Sprossmasse der Referenzpflanze und der Leguminose mit dem Isotopenverhältnis des Luftstandards (0,3663 atom %) in Beziehung gesetzt (Shearer und Kohl 1986):

$$(5) \text{‰ } \delta^{15}\text{N} = \left( \frac{\frac{^{15}\text{N}}{^{14}\text{N}} \textit{Probe}_{\textit{Ref oder Leg}}}{\frac{^{15}\text{N}}{^{14}\text{N}} \textit{Standard}} - 1 \right) * 1000\text{‰}$$

Im nächsten Schritt wird dann der %Ndfa berechnet (vgl. Shearer und Kohl 1986). Hierfür werden der mit Formel (5) berechnete  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert der Leguminose und der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert der zugehörigen Referenzpflanze ins Verhältnis gesetzt (vgl. Formel 6). Die verschiedenen Leguminosenarten unterscheiden sich artspezifisch in ihrer Isotopendiskriminierung. Daher muss diese artspezifische Isotopendiskriminierung bei der Berechnung des %Ndfa berücksichtigt werden. Dafür wird eine Korrektur mit dem sogenannten  $B_{\text{Wert}}$  vorgenommen. In dieser Arbeit wird der von Hof-Kautz (2008) ermittelte  $B_{\text{Wert}}$  von -0,3903 ‰ herangezogen. Dieser Korrekturwert wurde an der Winterackerbohnsorte Hiverna ermittelt:

$$(6) \text{‰Ndfa} = \left( \frac{\delta^{15}\text{N}_{\textit{Referenzpflanze}} - \delta^{15}\text{N}_{\textit{Leguminose}}}{\delta^{15}\text{N}_{\textit{Referenzpflanze}} - B_{\textit{Wert}}} \right) * 100 \%$$

Mit den Formeln (5) und (6) wird lediglich der prozentuale Anteil des aus der Luft stammenden Stickstoffs ermittelt. Um den Stickstoffertrag ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) des aus der Luft stammenden Stickstoffs zu berechnen, muss der %Ndfa mit den Trockenmassen pro Fläche ( $\text{dt ha}^{-1}$ ) und dem Stickstoffgehalt (%) dieser Biomasseerträge in Bezug gesetzt werden. Zuerst wurde dazu der Stickstoffertrag ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) durch Multiplikation von Trockenmasseertrag ( $\text{dt ha}^{-1}$ ) und Stickstoffgehalt (%) berechnet. Anschließend ergab die Multiplikation von %Ndfa mit der Gesamt-N-Menge der Biomasse ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) die symbiotisch fixierte N-Menge ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ).

## 2.5. Statistische Auswertung

Die Varianzanalysen (ANOVA) und die dazugehörigen F-Tests sowie die Korrelationsanalysen wurden mit der Software PLABSTAT (PLAnt Breeding STATistical program; Version: 3Awin, November 2004; Utz 2011) durchgeführt. In den ANOVA-Tabellen der Ergebniskapitel weist der Doppelpunkt auf die hierarchische Stellung des Faktors innerhalb der Faktorkombination hin. Für die Varianzanalysen wurden die im Folgenden dargestellten Modelle angewendet.



### Modell 1:

Um die Daten der Winterackerbohnenengenotypen ( $B = 8$ ) und Winterweizensorten ( $W = 3$ ) in ihren Reinsaaten zu analysieren wurden Daten, die in diesen Reinsaaten erhoben wurden, als Serie (Orte, Jahre) von vollständig randomisierten Blockversuchen ausgewertet:

$$Y_{ijwm} = \mu + s_i + o_j + so_{ij} + e_{(w)ij} + g_m + sg_{im} + og_{jm} + sog_{ijm} + f_{wijm}$$

$Y_{ijwm} =$	Beobachtungswert für den m-ten Winterackerbohnenengenotyp in der w-ten Wiederholung des i-ten Jahres am j-ten Standort
$\mu =$	Versuchsmittel
$s_i =$	Fester Haupteffekt des i-ten Jahres
$o_j =$	Fester Haupteffekt des j-ten Standortes
$so_{ij} =$	Interaktionseffekt zwischen i-tem Jahr und j-ten Standort
$e_{(w)ij} =$	Parzellenfehler (Effekt der w-ten Wiederholung hierarchisch innerhalb der Kombination eines i-ten Jahres und j-ten Standortes)
$g_m =$	Fester Haupteffekt des m-ten Winterackerbohnenengenotypen*
$sg_{im} =$	Interaktionseffekt des i-ten Jahres und des m-ten Winterackerbohnenengenotyps*
$og_{jm} =$	Interaktionseffekt des j-ten Standortes und des m-ten Winterackerbohnenengenotyps*
$sog_{ijm} =$	Interaktionseffekt des i-ten Jahres, j-ten Standortes und m-ten Winterackerbohnenengenotyp*
$f_{wijm} =$	Restfehler (Interaktionseffekt zwischen w-ter Wiederholung, i-tem Jahr, j-tem Standort und m-ten Winterackerbohnenengenotypen)

\*Dasselbe Modell wurde für die Varianzanalyse der Kornerträge der Winterweizenreinsaaten herangezogen, wobei dann  $W = 3$  Winterweizensorten analysiert wurden anstatt der  $B = 8$  Winterackerbohnenengenotypen.

## Modell 2:

Um Datensätze auszuwerten, die mehrere Kleinteilstücke betreffen, wurde für die ANOVAs und zugehörigen F-Tests ein Modell für eine Serie (Orte, Jahre) von einer zweifaktoriellen Spaltanlage (Spli-Plot) herangezogen. Die Kleinteilstückfaktoren wurden je nach Datensatz für die Analyse angepasst (K = 4; Anbauformen: Ackerbohnenreinsaat, Gemenge mit Ta1, Gemenge mit Ta2 und Gemenge mit Ta3. W = 3; Winterweizensorte: Gemenge mit Ta1, Gemenge mit Ta2 und Gemenge mit Ta3. K = 2 Winterackerbohnenreinsaat und Gemenge mit Ta1).

$$Y_{ijwlm} = \mu + s_i + o_j + so_{ij} + e_{(w)ij} + g_m + sg_{im} + og_{jm} + sog_{ijm} + f_{(w)mij} + k_l + sk_{il} + ok_{jl} + sok_{ijl} + gk_{ml} + sgk_{im} + ogk_{jml} + sogk_{ijml} + t_{ijwlm}$$

$Y_{ijwlm} =$	Beobachtungswert für die m-ten Winterackerbohnen genotyp in der w-ten Wiederholung des i-ten Jahres am j-ten Standort und des l-ten Kleinteilstücks
$\mu =$	Versuchsmittel
$s_i =$	Fester Haupteffekt des i-ten Jahres
$o_j =$	Fester Haupteffekt des j-ten Standorts
$so_{ij} =$	Interaktionseffekt zwischen i-tem Jahr und j-ten Standortes
$e_{(w)ij} =$	Fehler (Effekt der w-ten Wiederholung hierarchisch innerhalb der Kombination eines i-ten Jahres und j-ten Standortes)
$g_m =$	Haupteffekt des m-ten Winterackerbohnen genotyps
$sg_{im} =$	Interaktionseffekt des i-ten Jahres und des m-ten Winterackerbohnen genotyps
$og_{jm} =$	Interaktionseffekt des j-ten Standortes und des m-ten Winterackerbohnen genotyps
$sog_{ijm} =$	Interaktionseffekt des i-ten Jahres, j-ten Standortes und m-ten Winterackerbohnen genotyp
$f_{(w)mij} =$	Großteilstückfehler (Interaktionseffekt des m-ten Großteilstücks und der w-ten Wiederholung innerhalb des i-ten Jahres und j-ten Standorts)
$k_l =$	Fester Haupteffekt der l-ten Kleinteilstück
$sk_{il} =$	Interaktionseffekt des i-ten Jahres und der l-ten Kleinteilstück
$ok_{jl} =$	Interaktionseffekt des j-ten Standortes und der l-ten Kleinteilstück
$sok_{ijl} =$	Interaktionseffekt des i-ten Jahres, j-ten Standortes und l-ten Kleinteilstücks
$gk_{ml} =$	Interaktionseffekt des m-ten Winterackerbohnen genotyps und l-ten Kleinteilstücks
$sgk_{im} =$	Interaktionseffekt des i-ten Jahres, m-ten Winterackerbohnen genotyps und l-ten Kleinteilstücks
$ogk_{jml} =$	Interaktionseffekt des j-ten Standortes, m-ten Winterackerbohnen genotyps und l-ten Kleinteilstücks
$sogk_{ijml} =$	Interaktionseffekt des i-ten Jahres, j-ten Standorts, m-ten Winterackerbohnen genotyps und l-ten Kleinteilstücks
$t_{ijwlm} =$	Kleinteilstückfehler (Interaktionseffekt des i-ten Jahres, j-ten Standorts, w-ten Wiederholung, m-ten Winterackerbohnen genotyps und l-ten Kleinteilstücks)

### Modell 3:

Einige der erhobenen Merkmale konnten nicht in jedem Jahr an jedem Standort erhoben werden. Um bezüglich der Orte und Jahre unbalancierte Datensätze zu vermeiden, wurden Standorte und Jahre zu ( $U = 5$ ) Umwelten zusammengefasst. Für die Analyse der Reinsaaten wurde in diesen Fällen daher folgendes Modell herangezogen:

$$Y_{iwm} = \mu + u_i + u_{(w)i} + g_m + gu_{im} + f_{wim}$$

$Y_{iwm} =$  Beobachtungswert für den m-ten Winterackerbohnenengenotypen\* in der w-ten Wiederholung in der i-ten Umwelt

$\mu =$  Versuchsmittel

$u_i =$  Fester Haupteffekt der i-ten Umwelt

$u_{(w)i} =$  Fehler (Effekt der w-ten Wiederholung hierarchisch innerhalb der i-ten Umwelt)

$g_m =$  Fester Haupteffekt des m-ten Winterackerbohnenengenotyps

$gu_{im} =$  Interaktionseffekt der i-ten Umwelt und des m-ten Winterackerbohnenengenotyps

$f_{wim} =$  Restfehler (Interaktionseffekt der i-ten Umwelt, der w-ten Wiederholung und dem m-ten Winterackerbohnenengenotyp)

#### Modell 4:

Um Datensätze für Merkmale auszuwerten, die mehrere Kleinteilstücke betreffen, aber nicht in jedem Jahr an jedem der Standorte erfasst werden konnten, wurden die Jahre und Standorte zu  $U = 5$  Umwelten zusammengefasst und für die ANOVAs und zugehörigen F-Tests ein Modell für eine Serie (Umwelten) von zweifaktoriellen Spaltanlagen herangezogen. Die Kleinteilstückfaktoren wurden je nach Datensatz für die Analyse angepasst ( $K = 4$ ; Anbauformen: Ackerbohnenreinsaat, Gemenge mit Ta1, Gemenge mit Ta2 und Gemenge mit Ta3.  $W = 3$ ; Winterweizensorte: Gemenge mit Ta1, Gemenge mit Ta2 und Gemenge mit Ta3.  $K = 2$  Winterackerbohnenreinsaat und Gemenge mit Ta1 bzw.  $K = 9$  für die Reinsaat Ta1 und die Gemenge zwischen Ta1 mit den acht Winterackerbohnenotypen).

$$Y_{iwm} = \mu + u_i + u_{(w)i} + e_{(w)mi} + g_m + gu_{im} + f_{wim} + k_l + uk_{il} + gk_{ml} + ugk_{iml} + t_{iwm}$$

$Y_{iwm} =$	Beobachtungswert des m-ten Winterackerbohnenotyps, in der i-ten Umwelt, der w-ten Wiederholung, in dem l-ten Kleinteilstück
$\mu =$	Versuchsmittel
$u_i =$	Fester Haupteffekt der i-ten Umwelt
$u_{(w)i} =$	Effekt der w-ten Wiederholung hierarchisch innerhalb der i-ten Umwelt
$e_{(w)mi} =$	Fehler (Interaktionseffekt der w-ten Wiederholung innerhalb der i-ten Umwelt)
$g_m =$	Fester Haupteffekt des m-ten Winterackerbohnenotyps
$gu_{mi} =$	Interaktionseffekt zwischen dem m-ten Winterackerbohnenotypen und der i-ten Umwelt
$f_{i(w)m} =$	Großteilstückfehler (Interaktionseffekt zwischen dem m-ten Großteilstücks innerhalb der w-ten Wiederholung in der i-ten Umwelt)
$k_l =$	Fester Haupteffekt des l-ten Kleinteilstücks
$uk_{il} =$	Interaktionseffekt zwischen der i-ten Umwelt und dem l-ten Kleinteilstück
$gk_{ml} =$	Interaktionseffekt zwischen dem m-ten Winterackerbohnenotypen und dem l-ten Kleinteilstück
$ugk_{iml} =$	Interaktionseffekt zwischen dem m-ten Winterackerbohnenotypen, der w-ten Wiederholung, der i-ten Umwelt
$t_{iwm} =$	Kleinteilstückfehler (Interaktionseffekt der i-ten Umwelt, w-ten Wiederholung, m-ten Winterackerbohnenotyps und l-ten Kleinteilstücks)

In den statischen Modellen für die ANOVAs wurde der Hauptfaktor Winterackerbohne als fester Effekt angenommen, ebenso die Hauptfaktoren Ort und Jahr (nur die Wiederholungen wurden als zufällige Effekte betrachtet). Die beiden Anbau-Umwelten konnten nicht zufällig gewählt werden, sie waren vorgegeben. Das Wetter der drei Jahre ist zwar ohne versuchstechnischen Einfluss zustande gekommen, aber die geringe Anzahl erlaubt dennoch keine sinnvolle Extrapolation auf eine Grundgesamtheit (vgl. die Diskussion dazu bei Baker 1978). Dem Mittelquadrat, das die Genotyp-Unterschiede der Winterackerbohne abbildet, werden nicht Interaktionen mit Jahren oder Orten zugerechnet. Die entsprechende Varianzkomponente der acht Winterackerbohnen ist folglich nicht von solchen Interaktionen bereinigt. Aus diesem Grund wurde in dieser Arbeit keine Heritabilität für die Merkmale berechnet. Die für eine Heritabilität angewandte Algebra würde nur ein Maß der Wiederholbarkeit ergeben, im System der vorgegebenen Genotypen und Umweltverhältnisse. Die Diskussion der pflanzenbaulichen und züchterischen Resultate ist, was Verallgemeinerbarkeit betrifft, entsprechend zurückhaltend. Dennoch kann für speziell diese acht Winterackerbohnen in diesen Umwelten mit dem Parameter Wiederholbarkeit ( $h^2$ ) ein für feste Hauptfaktoren, passender Parameter betrachtet werden. Dieser Parameter wird wie folgt (Formel 7) aus den mittleren Abweichungsquadraten der Winterackerbohnen ( $MQ_B$ ) und den mittleren Abweichungsquadraten des Einzelparzellenfehlers ( $MQ_{Fehler}$ ; dieser ist Abhängig von der entsprechenden ANOVA;  $MQ_{BRSJ}$  oder  $MQ_{BR:U}$ ) der entsprechenden ANOVAs berechnet.

$$(7) h^2 = \frac{MQ_B - MQ_{Fehler}}{MQ_B}$$

Der Signifikanztest zwischen Reinsaat und dem Mittel der drei Gemengesituationen (orthogonalen Kontraste) für einige Merkmale erfolgte durch die Kombination der beiden ANOVAs resultierend aus Modell 2 mit  $K = 4$  und dem Modell 2 mit  $W = 3$ . Als weitereter Signifikanztest wurden die jeweils resultierenden Werte für den RYT daraufhin überprüft, ob sie signifikant vom Wert  $RYT = 1$  abwichen; entsprechend wurde mit Resultaten für RGM verfahren. Die Werte für RY (Ackerbohne oder Weizen) wurden gegen einen Wert von  $RY = 0,5$  getestet. Zudem erfolgten diese Tests, um die absoluten Ertragsdifferenzen (Korn, Stroh und Gesamtmähdruschertrag zur Mähdruschreife) gegen einen Wert von  $0 \text{ dt ha}^{-1}$  zu testen. Diese Tests wurden als Einstichproben-T-Tests mit der Null-Hypothese  $H_0: \Delta = 1; 0,5 \text{ oder } 0 \text{ dt ha}^{-1}$  durchgeführt. Dabei wurden die Tests jeder Gemengesituation (also alle Gemenge mit Ta1, Ta2 oder Ta3) separat im Mittel der acht Winterackerbohnen ( $FG = 7$ ) durchgeführt. Ferner wurden umweltbedingte Varianzen für den Varianzvergleich zwischen den Rein-

saatkornerträgen und den Erträgen der Gemenge berechnet (sog. phänotypische Stabilität, Roemer 1917, Becker und Leon, 1988), und zwar über je  $U = 6$  Umwelten ( $FG = 40$ ). Mit dem F-Test wurden diese Varianzen auf statistisch signifikante Unterschiede voneinander untersucht. Die Korrelationsanalyse zwischen den Merkmalen basiert auf Wertepaaren, die für jeden Winterackerbohnenotypen ( $N = 8$ ) als Mittel über die drei Jahre und die zwei Standorte ermittelt wurden ( $8 - 2 = 6$  FG). Zudem basieren einige Korrelationen zwischen Merkmalen auf Wertepaaren, die für jeden Winterackerbohnenotypen ( $N = 8$ ) als Mittel über die beiden Standorte eines jeden Versuchsjahres berechnet wurden. Dies ist an den entsprechenden Stellen angegeben.

In mehreren Fällen (z.B. Tab. C1; Zeile acht, Spalte drei bis fünf) ergaben in Tabellen gegebene Einzelresultate nicht exakt die ebenfalls angegebenen Gesamtergebnisse. Es fehlen im Roh-Datensatz einige wenige Datenpunkte, wodurch algebraische Operationen, wenn sie früher (z.B. für jede Wiederholung direkt) oder später (z.B. erst mit den Gesamtergebnissen) durchgeführt wurden nicht notwendigerweise zum selben Resultat führten. Daher lassen sich in Kapitel C nicht exakt aus den prozentualen Stickstofffixierleistungen der Tabelle die dort ebenfalls angegebenen Stickstoffträge berechnen.

Am Standort Deppoldshausen wurde im Jahr 2015 in der zweiten Wiederholung die Hälfte der Prüfglieder (Vf4, Vf5, Vf6, Vf8 sowie die zugehörigen Gemengekombinationen mit Ta1, Ta2 und Ta3,) nicht gegen Blattläuse behandelt. Der Blattlausbefall sollte hier von anderen Arbeitsgruppen des IMPAC<sup>3</sup>-Projekts ermittelt werden. Die Folge war, dass die Ertragsausfälle so enorm waren, dass die Kornertragsdaten für die statistische Analyse ausgeschlossen wurden. Da die Weizenreinsaaten nicht von Blattläusen befallen waren, wurden diese Daten beibehalten. Die Behandlung gegen Blattläuse fand am 26.06.2015 statt (Vgl. Tab. AI und Tab. AII). Zu diesem Zeitpunkt war die Merkmalerfassung für die in dieser Arbeit besprochen Merkmale weitestgehend abgeschlossen und haben somit keinen Effekt auf die hier gezeigten Resultate (wie Wuchshöhe und Blattflächenindex).

### **3. Kapitel A – Züchterische Analyse des Einflusses von Winterackerbohnen auf den Gemengeertrag und Gemengemehrertrag mit Winterweizen**

#### **3.1. Ergebnisse**

##### **3.1.1. Kornerträge**

Die Kornerträge wurden in drei Jahren und zwei Standorten im A\_Set mit dem Kerndruschverfahren erfasst. Dabei wurde für die Gemenge jeweils der Gesamtkornertrag erhoben (Ackerbohnenkornertrag + Winterweizenkornertrag) sowie der Winterackerbohnen- und Winterweizenkornertrag, getrennt voneinander. Der Fokus in diesem Kapitel liegt auf der Analyse der Kornerträge der Winterackerbohnenengenotypen (Vf) und dem Einfluss der Winterackerbohnen auf die Kornerträge der Winterweizen (Ta) im Gemenge. Ebenso wurden die Reinsaatserträge der Winterackerbohnen und des Winterweizens erfasst.

##### **3.1.1.1. Winterackerbohnenenertrag in den Reinsaaten**

Das allgemeine Versuchsmittel der Kornerträge der Ackerbohnen-Reinsaaten betrug  $35,6 \text{ dt ha}^{-1}$  (Tab. A1). Im Mittel über alle drei Versuchsjahre und beide Standorte erreichte Vf6 ( $32,6 \text{ dt ha}^{-1}$ ) den niedrigsten und Vf7 den höchsten Kornertrag ( $38,7 \text{ dt ha}^{-1}$ ) in ihren Reinsaaten. Im Mittel über beide Standorte und drei Jahre lag der Ertragsunterschied zwischen der ertragreichsten und ertragsschwächsten Winterackerbohne bei  $6,0 \text{ dt ha}^{-1}$  (Tab. A1). Im Jahr 2015 lag das mittlere Ertragsniveau in den Ackerbohnenreinsaaten deutlich höher ( $40,2 \text{ dt ha}^{-1}$ ) als in den Jahren 2016 ( $33,2 \text{ dt ha}^{-1}$ ) und 2017 ( $33,4 \text{ dt ha}^{-1}$ ; Tab. A1). Im Jahr 2015 lag das Ertragsniveau der Winterackerbohnenengenotypen am Standort Reinshof merklich höher als am Standort Deppoldshausen (Tab. A1). Die ANOVA über beide Standorte und drei Jahre zeigte, dass alle Hauptfaktoren (Tab. A2; Jahr = J, Standort = S, Bohnengenotyp = B) einen statistisch signifikanten Effekt auf den Ackerbohnenkornertrag in den Reinsaaten aufwiesen (Tab. A2;  $4,65^* < \text{F-Wert} < 7,94^{**}$ ). Die Ackerbohnenengenotyp-Jahres-Interaktionen (BJ) hatten ebenso einen statistisch signifikanten Effekt auf den Kornertrag in den Reinsaaten. Die Interaktionseffekte zwischen Jahr und Bohnengenotyp erklärten dabei einen deutlich größeren Anteil an der Gesamtvarianz als die Haupteffekte Jahr oder Ackerbohnenengenotyp (basierend auf den Varianzkomponenten dieser Variationsursachen; Tab. A2;  $\text{Var.Kp.: } 26,73 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2} > 13,91 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2} > 3,82 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2}$ ). Die Grenzdifferenz zwischen den drei Jahren betrug  $4,21 \text{ dt ha}^{-1}$  und zwischen den Winterackerbohnenengenotypen lag sie bei

2,81 dt ha<sup>-1</sup> (Tab. A2, P = 0,05; die Grenzdifferenz als Proxy für einen einschlägigen T-Test soll eine Einschätzung von Signifikanz der Unterschiede erlauben).

**Tab. A1:** Reinsaatkornträge (dt ha<sup>-1</sup>) der acht Winterackerbohnenengenotypen (Vf); aufgeschlüsselt nach Bohnengenotyp, Jahr und Standort. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

Hauptfaktor Vf	Jahr			Mittel
	2015	2016	2017	μ
Vf1	37,5	<b>28,2</b>	37,4	34,4
Vf2	36,5	39,5	<b>27,0</b>	34,4
Vf3	44,3	29,0	<b>40,4</b>	37,9
Vf4	42,4	33,2	33,4	36,3
Vf5	<b>34,2</b>	35,2	30,7	33,4
Vf6	40,8	30,0	27,1	<b>32,6</b>
Vf7	41,2	<b>43,2</b>	31,6	<b>38,7</b>
Vf8	<b>44,5</b>	27,2	39,1	36,9
μ	40,2	32,4	33,4	<u>35,6</u>
Hauptfaktor S				
μ Reinshof	43,9	32,5	35,7	37,3
μ Deppoldshausen	36,5	33,9	31,0	33,8

**Tab. A2:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den Reinsaatsertrag (dt ha<sup>-1</sup>) der acht Ackerbohnenengenotypen (B), erhoben an zwei Standorten (S) in drei Jahren (J) mit je vier Wiederholungen (R).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	1018,71	13,91	7,94**	4,21
S	1	596,37	4,88	4,65*	3,43
SJ	2	330,77	6,33	2,58ns	5,95
R:SJ	18	128,25	13,01	5,31**	4,86
B	7	115,56	3,82	4,80**	2,81
BJ	14	237,94	26,73	9,86**	4,86
BS	7	34,53	0,87	1,43ns	3,97
BSJ	14	81,79	14,41	3,39**	6,88
BR:SJ	122	24,14	24,14		
Total	187				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; \*: P < 0,05; ns: nicht signifikant.



### 3.1.1.2. Winterackerbohnenkornenerträge im Gemenge

Das Versuchsmittel der Ackerbohnenkornenerträge im Gemenge mit dem Weizen Ta1 (Genius) lag bei 24,5 dt ha<sup>-1</sup> (Tab. A3). Im Mittel über alle drei Versuchsjahre erzielte die Vf2 (S\_062) den geringsten Kornenertrag im Gemenge mit Ta1 (22,2 dt ha<sup>-1</sup>) und Vf7 (WAB-Fam157) erreichte in diesen Gemengen den höchsten Kornenertrag mit 27,2 dt ha<sup>-1</sup>. Das Ertragsniveau der Vf lag im Jahr 2017 deutlich unter dem Ertragsniveau der Jahre 2015 und 2016. In den Jahren 2016 und 2017 lag das Ertragsniveau der Vf am Standort Deppoldshausen höher als am Standort Reinshof (Tab. A3; 30,1 dt ha<sup>-1</sup> < 33,0 dt ha<sup>-1</sup>; 13,7 dt ha<sup>-1</sup> < 17,2 dt ha<sup>-1</sup>).

Das Versuchsmittel der Ackerbohnenenerträge in der Gemengesituation mit Ta2 (Boxer) lag bei 22,6 dt ha<sup>-1</sup> (Tab. A4) und somit niedriger als in den Gemengen mit Genius (Ta1). Die Vf2 (S\_062) erreichte den geringsten Kornenertrag und Vf7 erreichte den höchsten Kornenertrag in der Gemengesituation mit Ta2 (Tab. A4; 20,1 dt ha<sup>-1</sup> < 24,4 dt ha<sup>-1</sup>). Im Jahr 2016 erreichten die Winterackerbohnen einen mehr als doppelt so hohen Kornenertrag in den Gemengen mit Boxer als im Jahr 2017 (Tab A4; 13,8 dt ha<sup>-1</sup> < 31,1 dt ha<sup>-1</sup>). Mit Ausnahme des Jahres 2015 lag das Ertragsniveau der Vf im Gemenge mit Boxer (Ta2) am Standort Deppoldshausen höher als am Standort Reinshof (Tab. A4). Im Mittel über alle drei Jahre unterschied sich das Ertragsniveau der Ackerbohnenentypen an den beiden Standorten um 1,3 dt ha<sup>-1</sup> (Tab. A4).

Der mittlere Ackerbohnenenertrag über die Jahre und Standorte im Gemenge mit Ta3 (Hybery) lag bei 20,0 dt ha<sup>-1</sup> (Tab. A5) und war damit geringer als die Ackerbohnenenerträge in den Gemengen mit Genius oder Boxer (vgl. Tab. A3 und Tab. A4). Im Jahr 2016 erreichten die Vf einen fast dreimal so hohen Kornenertrag im Gemenge mit Ta3 wie im Jahr 2017 (Tab. A5; 11,5 dt ha<sup>-1</sup> < 29,4 dt ha<sup>-1</sup>). Der Ertragsunterschied zwischen den Standorten war im Jahr 2017 mit 5,9 dt ha<sup>-1</sup> am deutlichsten ausgeprägt.

Im Mittel über alle drei Gemengesituationen (Gemenge mit Ta1, Ta2 und Ta3), Jahre und Standorte war Vf2 (S\_062) die ertragsschwächste und Vf7 die ertragsstärkste Ackerbohne (Tab A6; 20,0 dt ha<sup>-1</sup> < 24,5 dt ha<sup>-1</sup>). Das Versuchsmittel der Ackerbohnenenerträge über die drei Gemengesituationen lag bei 22,4 dt ha<sup>-1</sup>. Im Mittel über alle Vf ließ die Gemengesituation mit Genius (Ta1) die höchsten und die Gemengesituation mit Hybery (Ta3) die geringsten Ackerbohnenenerträge zu (Tab. A6).

Die Hauptfaktoren Jahr (J = 3), Bohnengentyp (B = 8), und Winterweizensorte (definiert durch die Gemengesituation; W = 3) der ANOVA hatten einen statistisch signifikanten Effekt auf den Kornenertrag der Ackerbohnen in den Gemengen

(Tab. A7;  $11,80^{**} < F\text{-Wert} < 129,66^{**}$ ). Die Grenzdifferenz zwischen den Vf lag bei  $1,52 \text{ dt ha}^{-1}$  (Tab. A7;  $P = 0,05$ ). Nur der Hauptfaktor Standort (S) hatte keinen statistisch signifikanten Effekt auf den Kornertrag der Ackerbohnen im Mittel der drei Gemengesituationen (Tab. A7). Der Hauptfaktor Jahr erklärte mehr als 20-mal so viel der Gesamtvarianz wie der Hauptfaktor Ackerbohnen-genotyp (Tab. A7;  $\text{Var.Kp.: } 3,179 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2} < 72,386 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2}$ ). Die Ackerbohnen-genotyp-Jahres-Interaktion (BJ;  $F = 5,66^{**}$ ), sowie die Weizensorte-Jahres-Interaktionen (WJ;  $F = 15,76^{**}$ ) hatten einen signifikanten Effekt auf den Kornertrag der Ackerbohnen in den Gemengen (Tab. A7;). Im Gegensatz dazu hatte die Ackerbohnen-genotyp-Weizensorten-Interaktion keinen signifikanten Einfluss auf den Kornertrag der Ackerbohnen (Tab. A7).

**Tab. A3:** Kornerträge ( $\text{dt ha}^{-1}$ ) der acht Winterackerbohnen-genotypen (Vf) in den Gemengen mit Genius (Ta1), aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen-genotyp, Jahr und Standort. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

Hauptfaktor Vf	Jahr			Mittel
	2015	2016	2017	$\mu$
Vf1	24,4	<b>28,4</b>	14,7	22,5
Vf2	<b>21,5</b>	33,4	<b>11,8</b>	<b>22,2</b>
Vf3	<b>31,2</b>	30,9	17,3	26,5
Vf4	27,0	30,8	17,3	25,0
Vf5	24,5	33,2	15,0	24,2
Vf6	25,6	29,1	15,5	23,4
Vf7	27,1	<b>37,0</b>	<b>17,5</b>	<b>27,2</b>
Vf8	30,9	29,7	14,3	25,0
$\mu$	26,5	31,6	15,4	<u>24,5</u>
Hauptfaktor S				
$\mu$ Reinshof	29,3	30,1	13,7	24,4
$\mu$ Deppoldshausen	23,8	33,0	17,2	24,6

**Tab. A4:** Kornerträge (dt ha<sup>-1</sup>) der acht Winterackerbohnenengenotypen (Vf) in den Gemengen mit Bo-xer (Ta2), aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnenengotyp, Jahr und Standort. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor</b>		<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>	
Vf1	20,9	<b>26,7</b>	12,8	20,1	
Vf2	<b>18,9</b>	31,5	<b>9,9</b>	<b>20,1</b>	
Vf3	<b>28,5</b>	32,4	<b>18,5</b>	26,5	
Vf4	25,4	31,0	14,0	23,4	
Vf5	19,2	32,0	12,7	21,3	
Vf6	21,9	29,1	12,8	21,3	
Vf7	21,7	<b>35,7</b>	15,8	<b>24,4</b>	
Vf8	25,9	30,6	14,2	23,6	
μ	22,8	31,1	13,8	<u>22,6</u>	
<b>Hauptfaktor S</b>					
μ Reinshof	25,9	29,0	11,0	22,0	
μ Deppoldshausen	19,7	33,3	16,7	23,2	

**Tab. A5:** Kornerträge (dt ha<sup>-1</sup>) der acht Winterackerbohnenengenotypen (Vf) in den Gemengen mit Hy-bery (Ta3), aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnenengotyp, Jahr und Standort. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor</b>		<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>	
Vf1	18,7	27,4	9,6	18,6	
Vf2	<b>15,3</b>	30,3	<b>7,6</b>	<b>17,7</b>	
Vf3	<b>22,4</b>	30,5	<b>15,4</b>	<b>22,8</b>	
Vf4	20,8	28,1	11,8	20,2	
Vf5	16,9	30,7	11,7	19,8	
Vf6	17,8	28,0	11,2	19,0	
Vf7	18,4	<b>34,3</b>	12,7	21,8	
Vf8	22,6	<b>26,2</b>	11,9	20,2	
μ	19,1	29,4	11,5	<u>20,0</u>	
<b>Hauptfaktor S</b>					
μ Reinshof	20,9	28,0	8,6	19,0	
μ Deppoldshausen	17,6	30,9	14,4	21,0	

**Tab. A6:** Kornerträge (dt ha<sup>-1</sup>) der acht Winterackerbohnenengenotypen (Vf) im Mittel der Gemengen mit Genius (Ta1), Boxer (Ta2) und Hybery (Ta3) aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen genotyp, Winterweizensorte und Standort. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor</b>	<b>Hauptfaktor W</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>Ta1</b>	<b>Ta2</b>	<b>Ta3</b>	<b>μ</b>
Vf1	22,5	20,1	18,6	20,4
Vf2	<b>22,2</b>	<b>20,1</b>	<b>17,7</b>	<b>20,0</b>
Vf3	26,5	26,5	<b>22,8</b>	25,2
Vf4	25,0	23,4	20,2	22,9
Vf5	24,2	21,3	19,8	21,8
Vf6	23,4	21,3	19,0	21,2
Vf7	<b>27,2</b>	<b>24,4</b>	21,8	<b>24,5</b>
Vf8	25,0	23,6	20,2	22,9
μ	24,5	22,6	20,0	<u>22,4</u>
<b>Hauptfaktor S</b>				
μ Reinshof	24,4	21,9	19,0	21,8
μ Deppoldshausen	24,6	23,2	21,0	23,0

**Tab. A7:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den Gemengeertrag der acht Winterackerboh-nengenotypen (B=8) in drei Gemengen (W=3), erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit je vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	14093,19	72,386	72,23**	3,00
S	1	195,07	0,000	1,00ns	2,45
SJ	2	1359,74	12,132	6,97**	4,24
R:SJ	18	195,12	7,246	9,20**	2,63
B	7	250,12	3,179	11,80**	1,52
BJ	14	119,98	4,116	5,66**	2,63
BS	7	39,71	0,514	1,87+	2,15
BSJ	14	74,60	4,450	3,52**	3,72
BR:SJ	122	21,20	4,548	2,81**	4,42
W	2	979,87	5,064	129,66**	0,55
WJ	4	119,13	1,743	15,76**	0,96
WS	2	33,52	0,271	4,44*	0,78
WSJ	4	25,04	0,546	3,31*	1,35
WB	14	7,19	-0,153	0,95ns	1,56
WBJ	28	6,11	-0,181	0,81ns	2,71
WBS	14	11,80	0,353	1,56+	2,21
WBSJ	28	14,04	1,621	1,86**	3,83
WBRSJ	276	7,56	7,557		
Total	559				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; \*: P < 0,05; +: P < 0,1; ns: nicht signifikant.

### 3.1.1.3. Weizenkornenerträge im Gemenge

Das Versuchsmittel des Kornenertrags von Ta1 (Weizenkornenertrag im Gemenge) lag bei 15,7 dt ha<sup>-1</sup>. Im Mittel über die Versuchsjahre erreichte Genius (Ta1) im Gemenge mit Vf8 den geringsten und mit Vf2 den höchsten Weizenenertrag (Tab. A8; 14,0 dt ha<sup>-1</sup> < 20,0 dt ha<sup>-1</sup>). Das Ertragsniveau von Ta1 in den Gemengen lag in jedem der drei Jahre am Standort Reins- hof höher als am Standort Deppoldshausen, wobei der deutlichste Unterschied im Jahr 2017 mit einer Ertragsdifferenz von 12,8 dt ha<sup>-1</sup> zu sehen war. So lag im Mittel über die Ackerboh- nengenotypen und Jahre das Ertragsniveau von Ta1 am Standort Reinshof um 4,6 dt ha<sup>-1</sup> hö- her als am Standort Deppoldshausen (Tab. A8).

Das Versuchsmittel des Weizen-Kornenertrags von Ta2 (Boxer) lag mit 18,2 dt ha<sup>-1</sup> (Tab. A9) etwas höher als bei Genius. Seinen niedrigsten Weizenenertrag erreichte Ta2 in den Gemengen mit Vf6 (Côte d'Or/1) und seinen höchsten Weizenenertrag im Gemenge mit Vf2. Die drei Ver- suchsjahre führten für Boxer zu deutlich unterschiedlichen Weizen-Kornenerträgen: als Mittel aller Gemenge ergaben sich 7,8 dt ha<sup>-1</sup> (im Jahr 2016) bis hin zu 30,4 dt ha<sup>-1</sup> (im Jahr 2017). Im Jahr 2017 lag der Weizenkornenertrag von Boxer in den Gemengen mehr als doppelt so hoch wie im Jahr 2015 und mehr als fünf Mal so hoch wie im Jahr 2016 (Tab. A9). Im Mittel der Versuchsjahre übertraf der Ta2-Ertrag am Standort Reinshof den in Deppoldshausen um 6,6 dt ha<sup>-1</sup>.

Das Versuchsmittel der Weizenenerträge von Hybery (Ta3) in den Gemengen lag bei 24,6 dt ha<sup>-1</sup> (Tab. A10), und somit deutlich höher als für die anderen beiden Weizensorten. Im Mittel über Versuchsjahre und Standorte erreichte Ta3 in der Gemengesituation mit Vf8 den geringsten Kornenertrag mit 23,3 dt ha<sup>-1</sup> und im Gemenge mit Vf2 den höchsten Kornenertrag mit 29,2 dt ha<sup>-1</sup>. Der mittlere Weizenenertrag von Ta3 im Jahr 2016 betrug 12,1 dt ha<sup>-1</sup> und lag da- mit deutlich unter dem Jahresergebnis von 2017 (36,2 dt ha<sup>-1</sup>). Auch für diesen Weizen lag das Ertragsniveau im Jahr 2017 deutlich über dem Ertragsniveau der Jahre 2015 und 2016. Zudem lag das Ertragsniveau von Ta3 in den drei Versuchsjahren am Standort Reinshof höher als am Standort Deppoldshausen.

Im Mittel über alle drei Gemengesituationen (Gemenge mit Genius, Boxer oder Hybery) und auch über die drei Jahre und zwei Standorte wurden die geringsten Weizenenerträge in den Ge- mengen mit Vf6 (Côte d'Or/1) und die höchsten Weizenenerträge mit Vf2 (S\_062) erzielt (Tab. A11; 18,2 dt ha<sup>-1</sup> < 23,8 dt ha<sup>-1</sup>). Das Versuchsmittel der Weizenenerträge im Gemenge lag bei 19,5 dt ha<sup>-1</sup>. Im Mittel über alle Winterackerbohnen erreichte die Gemengesituation

mit Ta3 die höchsten und mit Ta1 die geringsten Weizenerträge (Tab. A11). Der maximale Unterschied zwischen den beiden Standorten zeigte sich in den Gemengen mit Ta3 (Hybery) und lag bei  $9,7 \text{ dt ha}^{-1}$ . Das Ertragsniveau im Mittel über die Winterackerbohnenengenotypen und Jahre lag am Standort Reinshof für alle drei Gemengesituationen höher (Tab. A11).

In der Varianzanalyse stellte sich heraus, dass die Hauptfaktoren Jahr ( $J = 3$ ), Standort ( $S = 2$ ), Winterackerbohnenenotyp ( $B = 8$ ) und Winterweizensorte ( $W = 3$ ) für die Gemenge einen statistisch signifikanten Effekt auf den Weizenertrag dieser Gemenge hatten (Tab. A12;  $12,95^{**} < \text{F-Wert} < 409,38^{**}$ ). Die Grenzdifferenz zwischen den Ackerbohnenengenotypen lag bei  $1,54 \text{ dt ha}^{-1}$  und zwischen den drei Gemengesituationen lag sie bei  $0,63 \text{ dt ha}^{-1}$  (Tab. A12;  $P = 0,05$ ). Das Jahr erklärte einen mehr als 30 Mal so großen Anteil an der Gesamtvarianz wie der Hauptfaktor Winterackerbohnenenotyp (Tab. A12; Var.Kp.:  $3,638 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2} < 120,079 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2}$ ). Zudem erklärte der Effekt des Hauptfaktors Weizensorte einen fast sechs Mal so großen Anteil der Gesamtvarianz wie der Hauptfaktor Winterackerbohnenenotyp (Tab. A12; Var.Kp.:  $21,057 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2} > 3,638 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2}$ ).

Die Ackerbohnenenotyp-Jahres-Interaktionen erklärten insgesamt einen kleineren Anteil an der Gesamtvarianz des Weizenertrags in den Gemengen als der Hauptfaktor Ackerbohnenenotyp (Tab. A12;  $2,692 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2} < \text{Var.Kp.} < 3,638 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2}$ ). Ebenso war der Einfluss der Standort-Jahres-Interaktion und der Winterweizensorte-Standort-Interaktion auf den Weizenkornenertrag in den Gemengen statistisch signifikant (Tab. A12;  $22,88^{**} < \text{F-Wert} < 32,64^{**}$ ). Diese Interaktionseffekte erklärten einen ähnlich hohen Anteil an der Gesamtvarianz wie der Anteil des Ackerbohnenengenotyps an der Gesamtvarianz des Weizenkornenertrags in ihren Gemengen (Tab. A12). Die Winterackerbohnenenotyp-Winterweizen-Interaktionen waren statistisch nicht signifikant. Somit ließen die Interaktionseffekte zwischen den Weizensorten und den drei Versuchsjahren bzw. zwei Standorten den Weizen-Kornenertrag im Gemenge stärker variieren als die Interaktionen mit den Ackerbohnenengenotypen.

**Tab. A8:** Kornerträge des Winterweizens Genius (Ta1) in den Gemengen mit den acht Winterackerbohnnengenotypen (Vf), aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnnengenotyp, Jahr und Standort. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor</b>		<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>	
Vf1	15,2	7,6	28,0	16,9	
Vf2	<b>17,0</b>	<b>11,1</b>	<b>32,0</b>	<b>20,0</b>	
Vf3	12,4	5,6	25,4	14,5	
Vf4	12,7	6,6	28,1	15,8	
Vf5	12,5	7,8	25,2	15,2	
Vf6	14,4	7,4	<b>22,4</b>	14,7	
Vf7	13,0	6,6	23,5	14,4	
Vf8	<b>11,4</b>	<b>3,9</b>	26,6	<b>14,0</b>	
μ	13,7	7,1	26,4	<u>15,7</u>	
<b>Hauptfaktor S</b>					
μ Reinshof	13,6	7,3	32,8	18,0	
μ Deppoldshausen	13,4	6,8	20,0	13,4	

**Tab. A9:** Kornerträge (dt ha<sup>-1</sup>) des Winterweizens Boxer (Ta2) in den Gemengen mit den acht Winterackerbohnnengenotypen (Vf), aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnnengenotyp, Jahr und Standort. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor Vf</b>		<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>	
Vf1	18,7	8,1	33,3	20,0	
Vf2	<b>19,4</b>	<b>11,8</b>	<b>35,7</b>	<b>22,3</b>	
Vf3	<b>13,6</b>	7,5	31,1	17,4	
Vf4	13,8	7,2	31,4	17,5	
Vf5	17,1	8,0	30,1	18,4	
Vf6	15,7	7,7	<b>23,7</b>	<b>15,7</b>	
Vf7	17,3	7,8	25,7	17,0	
Vf8	15,7	<b>4,3</b>	32,4	17,5	
μ	16,4	7,8	30,4	<u>18,2</u>	
<b>Hauptfaktor S</b>					
μ Reinshof	18,0	7,5	39,3	21,6	
μ Deppoldshausen	14,8	8,1	21,6	14,8	



**Tab. A10:** Kornerträge (dt ha<sup>-1</sup>) des Winterweizens Hybery (Ta3) in den Gemengen mit den acht Winterackerbohnen-Genotypen (Vf), aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen-Genotyp, Jahr und Standort. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor</b>		<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>	
Vf1	25,8	11,0	<b>41,6</b>	26,1	
Vf2	<b>28,3</b>	<b>19,4</b>	40,0	<b>29,2</b>	
Vf3	25,4	10,0	34,8	23,4	
Vf4	<b>21,9</b>	10,6	34,1	22,2	
Vf5	25,8	12,1	33,9	23,9	
Vf6	26,3	12,3	<b>33,6</b>	24,1	
Vf7	26,7	13,6	33,5	24,6	
Vf8	23,8	<b>7,9</b>	38,2	<b>23,3</b>	
μ	25,5	12,1	36,2	<u>24,6</u>	
<b>Hauptfaktor S</b>					
μ Reinshof	30,5	12,3	45,5	29,5	
μ Deppoldshausen	20,5	11,9	26,8	<i>19,7</i>	

**Tab. A11:** Kornerträge (dt ha<sup>-1</sup>) der drei Winterweizensorten Genius (Ta1), Boxer (Ta2) und Hybery (Ta3) in den Gemengen mit den acht Winterackerbohnen-Genotypen (Vf) aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen-Genotyp, Winterweizensorte und Standort. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor</b>	<b>Hauptfaktor W</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>Ta1</b>	<b>Ta2</b>	<b>Ta3</b>	<b>μ</b>
Vf1	16,9	20,0	26,1	21,0
Vf2	20,0	<b>22,3</b>	<b>29,2</b>	<b>23,8</b>
Vf3	14,5	17,4	23,4	18,4
Vf4	15,8	17,5	22,2	18,5
Vf5	15,2	18,4	23,9	19,2
Vf6	14,7	<b>15,7</b>	24,1	<b>18,2</b>
Vf7	14,4	17,0	24,6	18,6
Vf8	<b>14,0</b>	17,5	<b>23,3</b>	18,2
μ	15,7	18,2	24,6	<u>19,5</u>
<b>Hauptfaktor S</b>				
μ Reinshof	18,0	21,6	29,5	23,0
μ Deppoldshausen	13,4	14,8	19,7	<i>16,0</i>

**Tab. A12:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den Kornertrag der drei Winterweizensorten (W=3), in den Gemengen mit den acht Winterackerbohnenengenotypen (B=8), erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit je vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	23415,221	120,079	65,03**	4,07
S	1	7086,598	23,356	19,68**	3,32
SJ	2	3411,875	31,790	9,48**	5,75
R: SJ	18	360,050	14,089	16,42**	2,68
B	7	283,863	3,638	12,95**	1,54
BJ	14	86,539	2,692	3,95**	2,68
BS	7	41,534	0,545	1,89+	2,18
BSJ	14	46,304	2,031	2,11*	3,78
BR: SJ	122	21,927	4,009	2,21**	5,06
W	2	4052,745	21,057	409,38**	0,63
WJ	4	226,461	3,384	22,88**	1,09
WS	2	323,093	3,262	32,64**	0,89
WSJ	4	120,520	3,457	12,17**	1,55
WB	14	13,536	0,152	1,37ns	1,79
WBJ	28	11,869	0,246	1,20ns	3,10
WBS	14	10,641	0,062	1,07ns	2,53
WBSJ	28	8,945	-0,239	0,90ns	4,38
WBRSJ	276	9,900	9,900		
Total	559				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$ ; +:  $P < 0,1$ ; ns: nicht signifikant.

### 3.1.1.4. Gesamtkornerträge im Gemenge

Die Gesamtkornerträge entsprechen der Summe der Ackerbohnen- und der Weizenkornerträge aus den jeweiligen Gemengen. Das Versuchsmittel dieser Gesamtkornerträge in der Gemengesituation mit Ta1 betrug  $40,2 \text{ dt ha}^{-1}$ . Die im Sinne der Gesamtkornerträge (Gemenge) ertragsschwächste Winterackerbohne im Mittel der Versuchsjahre war Vf6 mit einem Gesamtkornertrag von  $38,1 \text{ dt ha}^{-1}$ . Vf2 war dagegen in der Gemengesituation mit Ta1 (Genius) die ertragsstärkste Winterackerbohne mit  $42,2 \text{ dt ha}^{-1}$ . Das Jahresmittel der Gesamtkornerträge war mit  $40,1 \text{ dt ha}^{-1}$  im Jahr 2015 sehr ähnlich zum Mittelwert von 2017 (Tab. A13;  $41,8 \text{ dt ha}^{-1}$ ).

Das Versuchsmittel der Gesamtkornerträge im Gemenge mit Ta2 (Boxer) lag bei  $40,8 \text{ dt ha}^{-1}$ ; damit übertrafen diese Gemenge knapp die Erträge der Gemenge mit Genius (Tab. A13 und Tab. A14). Im Mittel der Jahre und Standorte erreichte Vf6 in der Gemengesituation mit Ta2 die geringsten Gesamtkornerträge im Gemenge. Die Vf2 erreichte zusammen mit dem Weizen Ta2 den höchsten Gesamtkornertrag im Gemenge (Tab. A14;  $37,0 \text{ dt ha}^{-1} < 42,4 \text{ dt ha}^{-1}$ ). Die Gesamtkornerträge im Gemenge mit Ta2 waren im Jahr 2017 deutlich höher als in den Jahren 2015 und 2016.

Das Versuchsmittel der Gesamtkornerträge in der Gemengesituation mit dem Weizen Ta3 (Hybery) lag bei  $44,7 \text{ dt ha}^{-1}$  (Tab. A15). Im Mittel über alle drei Versuchsjahre erzielten die Gemenge mit Vf6 den geringsten Gesamtkornertrag mit diesem Weizen ( $43,1 \text{ dt ha}^{-1}$ ) und Vf2 erreichte im Gemenge mit diesem Weizen den höchsten Gesamtkornertrag mit  $46,9 \text{ dt ha}^{-1}$ . In den Jahren 2015 und 2016 lag das Ertragsniveau der Gemenge mit diesem Weizen am Standort Reinshof deutlich über dem Ertragsniveau des Standorts Deppoldshausen (Tab. A15; 2015:  $38,0 \text{ dt ha}^{-1} < 51,1 \text{ dt ha}^{-1}$ ; 2017:  $41,3 \text{ dt ha}^{-1} < 54,5 \text{ dt ha}^{-1}$ ).

Wie schon durch die vorangegangenen jahresweise betrachteten Mittelwerte ersichtlich, erzielten die Gemenge mit Vf6 im Mittel der drei Jahre und zwei Standorte die geringsten Gesamtkornerträge und die Gemenge mit Vf2 waren die ertragsstärksten Gemenge (Tab. A16;  $39,4 \text{ dt ha}^{-1} < 43,9 \text{ dt ha}^{-1}$ ). Das allgemeine Versuchsmittel der Gesamtkornerträge im Gemenge lag bei  $41,9 \text{ dt ha}^{-1}$ . Im Mittel über alle Winterackerbohnen erzielten die Gemenge mit Ta1 die geringsten und die Gemenge mit Ta3 die größten Gesamtkornerträge der Gemenge (Tab. A16;  $40,2 \text{ dt ha}^{-1} < 40,8 \text{ dt ha}^{-1} < 44,7 \text{ dt ha}^{-1}$ ). Die beiden Standorte unterschieden sich im Mittel um  $5,9 \text{ dt ha}^{-1}$ , wobei das Ertragsniveau für alle drei Gemengesituationen im Mittel über die Winterackerbohnen und Jahre am Standort Reinshof höher lag.

Die ANOVA zeigte, dass alle Hauptfaktoren einen statistisch signifikanten Effekt auf den Gesamtkornertrag im Gemenge hatten (Tab. A17;  $4,70^{**} < F\text{-Wert} < 86,46^{**}$ ). Der Hauptfaktor Standort hatte dabei einen acht Mal größeren Anteil an der Gesamtvarianz des Gesamtkornertrags im Gemenge verglichen mit dem Hauptfaktor Ackerbohnen-genotyp (Tab. A17;  $1,903 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2} < \text{Var.Kp.} < 16,468 \text{ dt ha}^{-2}$ ). Die Grenzdifferenz zwischen den Winterackerbohnen lag bei  $1,93 \text{ dt ha}^{-1}$ , zwischen den drei Gemengesituationen lag sie bei  $0,73 \text{ dt ha}^{-1}$  und zwischen den Standorten bei  $2,85 \text{ dt ha}^{-1}$  (Tab. A17;  $P = 0,05$ ). Die Standort-Jahres-Interaktionen hatten den merklich größten Anteil an der Gesamtvarianz (Tab. A17;  $\text{Var.Kp.}: 29,296 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2}$ ) des Gesamtkornertrags im Gemenge.

Hervorzuheben ist, dass die Ackerbohnen-genotyp-Weizensorten-Interaktion zwar einen statistisch signifikanten Effekt auf den Gesamtkornertrag im Gemenge hatte, aber nur einen geringen Anteil an der Gesamtvarianz für den Gesamtkornertrag im Gemenge erklärte (Tab A17;  $F\text{-Wert}: 1,81^*$ ,  $\text{Var.Kp.}: 0,446 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2}$ ). Diese Interaktion hatte weder auf den Weizen-ertrag im Gemenge noch auf den Ackerbohnen-ertrag im Gemenge einen statistisch signifikanten Einfluss (Tab. A7 und Tab. A12). Die Höhe des Gesamtkornertrags im Gemenge, wird auch von der spezifischen Kombination von Ackerbohnen-genotyp- und Winterweizensorte beeinflusst. Der Anteil der Varianz des Gesamtkornertrags in den Gemengen, der durch die Ackerbohnen-genotyp-Winterweizen-Interaktion erklärt wird, ist im Vergleich zu dem Anteil der Hauptfaktoren und dem der Interaktionen zwischen den Hauptfaktoren jedoch sehr gering (Tab. A17).

**Tab. A13:** Gesamtkornerträge (dt ha<sup>-1</sup>) im Gemenge mit Winterweizen Genius (Ta1) aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen genotype (Vf), Jahr und Standort. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor</b>	<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>
Vf1	39,6	35,9	42,7	39,4
Vf2	38,5	<b>44,4</b>	43,8	<b>42,2</b>
Vf3	<b>43,6</b>	36,5	42,7	41,0
Vf4	39,6	37,4	<b>45,4</b>	40,8
Vf5	<b>36,9</b>	41,0	40,3	39,4
Vf6	40,0	36,5	<b>37,8</b>	<b>38,1</b>
Vf7	40,0	43,6	41,0	41,5
Vf8	42,3	<b>33,6</b>	40,9	38,9
μ	40,1	38,6	41,8	<u>40,2</u>
<b>Hauptfaktor S</b>				
μ Reinshof	43,0	37,4	46,5	42,3
μ Deppoldshausen	37,1	39,8	37,1	38,0

**Tab. A14:** Gesamtkornerträge (dt ha<sup>-1</sup>) im Gemenge mit Winterweizen Boxer (Ta2) aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen genotype (Vf), Jahr und Standort. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor</b>	<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>
Vf1	39,6	<b>34,7</b>	46,2	40,2
Vf2	38,3	43,3	45,6	<b>42,4</b>
Vf3	<b>42,1</b>	39,9	<b>49,7</b>	43,9
Vf4	39,1	38,2	45,3	40,9
Vf5	36,3	39,9	42,9	39,7
Vf6	<b>37,6</b>	36,7	36,6	<b>37,0</b>
Vf7	39,0	<b>43,5</b>	<b>41,6</b>	41,4
Vf8	41,6	34,9	46,5	41,0
μ	39,2	38,9	44,3	<u>40,8</u>
<b>Hauptfaktor S</b>				
μ Reinshof	43,9	36,5	50,2	43,5
μ Deppoldshausen	34,5	41,4	38,3	38,0

**Tab. A15:** Gesamtkornerträge (dt ha<sup>-1</sup>) im Gemenge mit Winterweizen Hybery (Ta3) aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnenengenotyp (Vf), Jahr und Standort. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor</b>		<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>	
Vf1	44,5	38,4	<b>52,8</b>	45,2	
Vf2	43,5	49,6	47,6	<b>46,9</b>	
Vf3	<b>47,7</b>	40,5	50,2	46,1	
Vf4	42,6	38,7	45,8	42,4	
Vf5	<b>42,6</b>	<b>42,8</b>	45,6	43,7	
Vf6	44,1	40,3	<b>44,8</b>	<b>43,1</b>	
Vf7	45,1	47,9	46,4	46,5	
Vf8	46,3	<b>34,1</b>	50,0	43,5	
μ	44,6	41,5	47,9	<u>44,7</u>	
<b>Hauptfaktor S</b>					
μ Reinshof	51,1	40,3	54,5	48,6	
μ Deppoldshausen	38,0	42,8	41,3	40,7	

**Tab. A16:** Gesamtkornerträge (dt ha<sup>-1</sup>) im Gemenge mit dem Winterweizen Genius (Ta1), Boxer (Ta2) und Hybery (Ta3) aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnenengenotyp, Weizensorte und Standort. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor</b>	<b>Hauptfaktor W</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>Ta1</b>	<b>Ta2</b>	<b>Ta3</b>	<b>μ</b>
Vf1	39,4	40,2	45,2	41,6
Vf2	<b>42,2</b>	<b>42,4</b>	<b>46,9</b>	<b>43,9</b>
Vf3	41,0	43,9	46,1	43,7
Vf4	40,8	40,9	42,4	41,4
Vf5	39,4	39,7	43,7	40,9
Vf6	<b>38,1</b>	<b>37,0</b>	<b>43,1</b>	<b>39,4</b>
Vf7	41,5	41,4	46,5	43,1
Vf8	38,9	41,0	43,5	41,1
μ	40,2	40,8	44,7	<u>41,9</u>
<b>Hauptfaktor S</b>				
μ Reinshof	42,3	43,5	48,6	44,8
μ Deppoldshausen	38,0	38,1	40,7	38,9

**Tab. A17:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests der Gesamt-Gemenge-Erträge zwischen den acht Winterackerbohnen-Genotypen (B=8) und den drei Winterweizensorten (W=3), erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit je vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	1241,12	5,088	4,70*	3,49
S	1	5007,08	16,468	18,95**	2,85
SJ	2	3076,59	29,296	11,65**	4,93
R: SJ	18	264,20	9,587	7,74**	3,34
B	7	171,11	1,903	5,02**	1,93
BJ	14	236,68	8,440	6,94**	3,34
BS	7	52,50	0,511	1,54ns	2,73
BSJ	14	63,44	2,444	1,86*	4,72
BR: SJ	122	34,12	6,981	2,59**	5,83
W	2	1138,94	5,863	86,46**	0,73
WJ	4	77,60	1,007	5,89**	1,26
WS	2	163,90	1,570	12,44**	1,03
WSJ	4	68,30	1,723	5,19**	1,79
WB	14	23,88	0,446	1,81*	2,06
WBJ	28	13,60	0,053	1,03ns	3,57
WBS	14	18,47	0,441	1,40ns	2,92
WBSJ	28	10,06	-0,778	0,76ns	5,05
WBRSJ	275	13,17	13,172		
Total	558				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var. Kp, Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$ ; ns: nicht signifikant.

### 3.1.2. Ertragsvorteil von Gemengen

Der Ertragsvorteil von Gemengen kann mit Hilfe von diversen Parametern beschrieben werden. Im Folgenden wird der Ertragsvorteil der 24 möglichen Gemenge mit Hilfe von absoluten Ertragszahlen und mit Hilfe von absoluten Ertragsdifferenzen zwischen dem mittleren Ertrag der Reinsaat und dem Ertrag ihrer Gemenge beschrieben, sowie zusätzlich auch mit Hilfe des Relativertrags von Winterackerbohnen und der Winterweizen, dem Relative Yield Total und auch mit dem sogenannten relativen Gemengeertrag.

#### 3.1.2.1. Vergleich von absoluten Erträgen der Reinsaat und der Gemenge

Im Mittel über alle Gemengesituationen erreichten die Gemenge einen statistisch signifikant höheren Gesamtkornertrag verglichen mit dem Mittelwert ihrer Ackerbohnenreinsaat (Tab. A18; siehe F-Test für den orthogonalen Kontrast zwischen Reinsaat und den drei Gemengesituationen, R vs. K\*). Zudem unterschieden sich die Kornerträge der Reinsaatmittel statistisch signifikant von den Gesamtkornerträgen ihrer korrespondierenden Gemenge. Das Reinsaatmittel ist hierbei definiert als der Mittelwert der Reinsaatenerträge des entsprechenden Winterweizens und der Winterackerbohne. Die Gemenge (GTa1-3) erreichten im Versuchsmittel  $6,7 \text{ dt ha}^{-1}$  mehr als die dazugehörigen Reinsaat (vgl. Abb. A1).

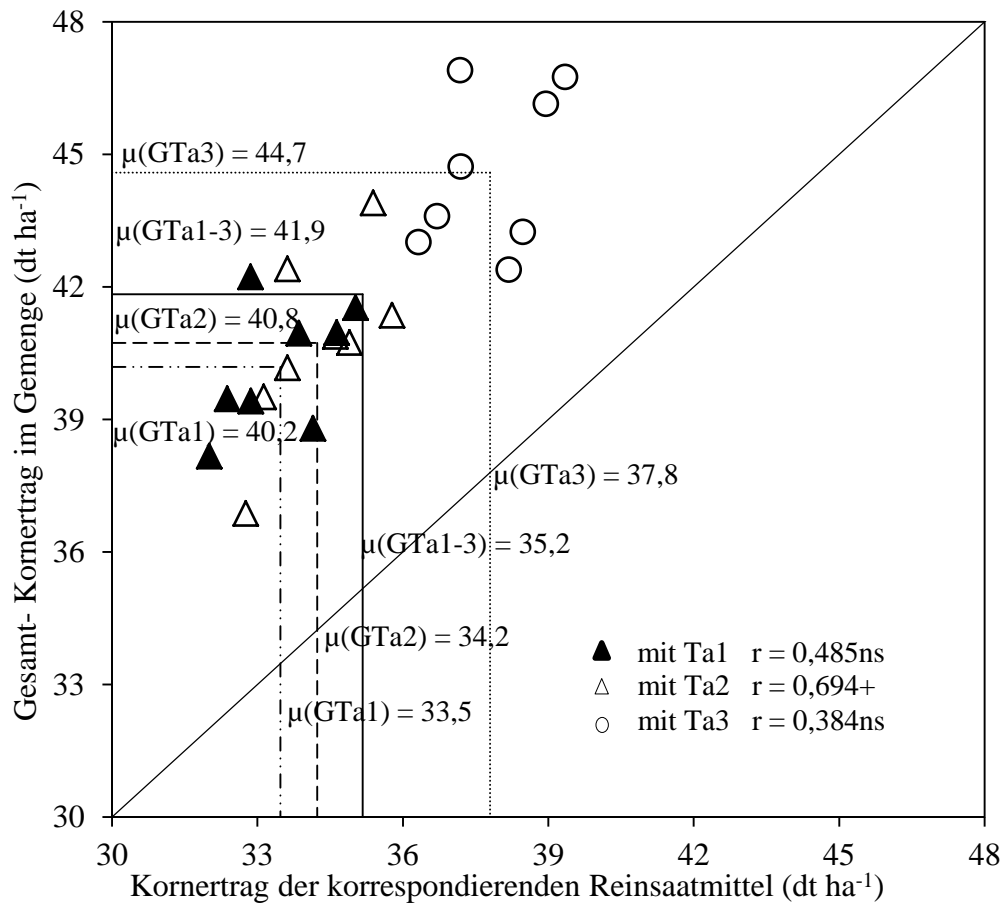
Im Mittel der drei Jahre und der beiden Standorte lagen die Kornerträge aller 24 Gemengekombinationen über dem jeweiligen Mittel ihrer Reinsaat. Das ist u. a. daran zu erkennen, dass alle Datenpunkte über der Winkelhalbierenden in Abb. A1 liegen. Die Gemenge mit Ta2 (GTa2) erreichten den geringsten Ertragsvorteil und die Gemenge mit Ta3 (GTa3) den höchsten Ertragsvorteil verglichen zu dem Mittel ihrer Reinsaat. Im Mittel der jeweiligen Gemengesituation lagen alle Gemengeerträge statistisch signifikant höher als die jeweiligen korrespondierenden Reinsaatmittel (Einstichproben-T-Test:  $P = 0,05$ ).

Die Korrelationen zwischen den Gesamtkornerträgen der Gemenge mit den acht Winterackerbohnen zu ihren Erträgen der Reinsaatmittel waren positiv; nur die Korrelation zwischen den Gesamtkornerträgen der Gemenge mit Ta2 mit den acht Winterackerbohnen zu ihren Erträgen der Reinsaatmittel waren statistisch signifikant (Abb. A1:  $0,384_{ns} < r < 0,694_{+}$ ). Diese Korrelationskoeffizienten beschreiben zugleich die Beziehung zwischen den Kornerträgen der Ackerbohnenreinsaat und den jeweiligen Gemengen mit einem der drei Winterweizen. Der Grund liegt darin, dass es sich bei der Mittelwertbildung aus den Reinsaatenerträgen (Winterackerbohne + Winterweizen) um eine lineare Transformation der Ackerbohnenreinsaatdaten handelt; zu jedem Ackerbohnenreinsaatenertrag wird innerhalb einer Gemengesituation (GTa1,



GTa2 oder GTa3) der gleiche, konstante Wert der Weizenreinsaat dazu addiert (und anschließend wird durch zwei dividiert).

Die ANOVA zeigte, dass alle Hauptfaktoren einen statistisch signifikanten Einfluss auf den Gesamtkornertrag, im Mittel über die jeweilige Reinsaat und die drei Gemengesituationen (Tab. A18;  $2,74+ < F\text{-Wert} < 176,31^{**}$ ) hatten. Dabei erklärte die Anbausituation (K=4, Ackerbohnenreinsaat oder Gemenge mit Ta1, Ta2, oder Ta3) mehr als fünf Mal so viel von der Gesamtvarianz wie der Ackerbohnen Genotyp (Tab. A18; Var.Kp.:  $2,077 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2}$  vs.  $13,832 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2}$ ). Der Hauptfaktor Standort und die Ackerbohnen Genotyp-Jahres-Interaktionen hatten einen ähnlich großen Anteil an der Gesamtvarianz wie die Anbausituation (Tab. A18; Var.Kp.:  $13,358 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2}$ ;  $12,107 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2}$ ; K=4). Den größten Anteil an der Gesamtvarianz hatte die Standort-Jahres-Interaktion mit einer Var.Kp. von  $22,323 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2}$ . Die Ackerbohnen Genotyp-Anbausituation-Interaktion hatte keinen statistisch signifikanten Einfluss auf den Gesamtkornertrag. Die Erträge in den Ackerbohnen-Reinsaaten unterschieden sich statistisch signifikant von den mittleren Gesamtkornerträgen der drei Gemengesituationen (R vs. K\*; Tab. A18). Zudem unterschieden sich die drei Gemengesituationen statistisch signifikant voneinander in ihren Gesamt-Gemengeerträgen (Tab. A18; F-Wert:  $75,19^{**}$ ).



**Abb. A1:** Zusammenhang zwischen den Gesamtkornerträgen der jeweiligen Gemengesituation (mit Ta1, Ta2 und Ta3) und den Kornerträgen ihrer korrespondierenden Reinsaatmittel (dt ha<sup>-1</sup>). Korrelationskoeffizienten, Mittelwerte und Grenzdifferenzen (GD 5%) sind gegeben.

**Tab. A18:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests der Gesamt-Gemenge-Erträge (dt ha<sup>-1</sup>) und der Kornenerträge der Winterackerbohnenreinsaat (K=4; K\*=3; R=Ackerbohnenreinsaat) mit den acht Winterackerbohnenengenotypen (B=8), erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit je vier Wiederholungen (W=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	982,03	2,434	2,74+	3,52
S	1	5488,42	13,358	15,29**	2,87
SJ	2	3216,30	22,323	8,96**	4,98
W: SJ	18	358,90	9,917	8,64**	3,19
B	7	240,98	2,077	5,80**	1,84
BJ	14	428,99	12,107	10,32**	3,19
BS	7	52,71	0,232	1,27ns	1,84
BSJ	14	115,68	4,633	2,78**	3,19
BR: SJ	122	41,56	6,6018	2,74**	2,60
K	3	2670,80	13,832	176,31**	4,51
K*	2	1138,94	-	75,19**	-
R vs. K*	1	5734,50	-	348,56**	-
KJ	6	467,62	7,070	30,87**	1,35
KS	3	170,90	1,622	11,28**	1,10
KSJ	6	121,03	3,309	7,99**	1,91
KB	21	35,08	0,831	2,32**	2,21
K*B	14	23,88	-	1,58+	-
R vs. K*B	7	57,48	-	3,79*	-
KBJ	42	24,68	1,190	1,63**	3,83
KBS	21	24,24	0,758	1,60*	3,12
KBSJ	42	18,20	0,764	1,20ns	5,41
KBRSJ	415	15,15	15,148		
Total	746				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; \*: P < 0,05; +: P < 0,10; ns: nicht signifikant.

### 3.1.2.2. Absolute Kornertragsdifferenzen zwischen Reinsaaten und Gemenge

Das Versuchsmittel der absoluten Kornertragsdifferenzen zwischen den Erträgen der Gemenge mit Genius (GTa1) und dem Mittel ihrer korrespondierenden Reinsaaten betrug  $6,8 \text{ dt ha}^{-1}$ . In allen Jahren erreichten die Gemenge mit Ta1 eine positive Ertragsdifferenz (Ertragsvorteil) gegenüber dem Mittel ihrer Reinsaaten. Die geringste Ertragsdifferenz entstand bei Vf8 im Gemenge mit Genius und die größte Ertragsdifferenz erreichte Vf2 im Gemenge mit diesem Weizen (Tab A19;  $4,7 \text{ dt ha}^{-1} < 9,4 \text{ dt ha}^{-1}$ ). Im Jahresmittel erreichten die Gemenge im Jahr 2015 die geringste absolute Ertragsdifferenz ( $5,3 \text{ dt ha}^{-1}$ ), während sie in den Jahren 2016 und 2017 ähnlich hohe Ertragsdifferenzen zu den Mittelwerten ihrer zugehörigen Reinsaaten erreichten (Tab. A19; 2016:  $7,9 \text{ dt ha}^{-1}$ , 2017:  $7,3 \text{ dt ha}^{-1}$ ). Die Ertragsdifferenzen fielen in allen drei Jahren am Standort Deppoldshausen höher aus als am Standort Reinshof.

In allen drei Jahren erreichten auch die Gemenge mit Boxer (Ta2) positive Ertragsdifferenzen (Ertragsvorteil) gegenüber den Mittelwerten ihrer Reinsaaten. Das allgemeine Versuchsmittel lag bei  $6,6 \text{ dt ha}^{-1}$ . Damit lagen die absoluten Ertragsdifferenzen der Gemenge mit Boxer höher als die der Gemenge von Genius (vgl. Tab. A19 und Tab. A20). Das Niveau der absoluten Kornertragsdifferenzen lag in jedem der drei Jahre im Mittel über alle acht Ackerbohnen- genotypen am Standort Deppoldshausen höher als am Standort Reinshof. Die beiden Standorte unterschieden sich im Mittel der drei Jahre um  $6,5 \text{ dt ha}^{-1}$  in den absoluten Kornertragsdifferenzen der Gemenge mit Boxer zu dem Mittelwert ihrer Reinsaaten.

Die Gemenge mit Hybery erreichten ebenso wie die anderen beiden Gemengesituationen in jedem der drei Jahre positive Ertragsdifferenzen zum Mittel ihrer Reinsaaten. Die Gemenge mit Vf2 erreichten die höchsten Ertragsdifferenzen, während die Gemenge mit Vf8 auch mit Hybery die geringsten absoluten Ertragsdifferenzen erreichten (Tab. A21;  $4,4 \text{ dt ha}^{-1} < 9,7 \text{ dt ha}^{-1}$ ). In den Jahren 2015 und 2017 lag das Niveau der absoluten Kornertragsdifferenz am Standort Deppoldshausen höher als am Standort Reinshof (Tab. A21;  $4,4 \text{ dt ha}^{-1} < 7,0 \text{ dt ha}^{-1}$ ;  $2,3 \text{ dt ha}^{-1} < 11,5 \text{ dt ha}^{-1}$ ). Das Jahr 2017 ließ in den Gemengen mit Hybery (Ta3) am Standort Reinshof ein höheres Niveau in den Ertragsdifferenzen zu als am Standort Deppoldshausen.

Im Mittel der drei Gemengesituationen (Gemenge mit Ta1, Ta2 und Ta3), Standorte und Jahre hatten die Gemenge mit Vf2 die größte positive Ertragsdifferenz. Die niedrigste absolute Ertragsdifferenz im Mittel der drei Gemengesituationen wurde in den Gemengen mit Vf8 erreicht (Tab. A22;  $5,2 \text{ dt ha}^{-1} < 9,3 \text{ dt ha}^{-1}$ ). Das Versuchsmittel lag bei  $6,8 \text{ dt ha}^{-1}$ . Im Mittel

über alle Winterackerbohnen ließ die Gemengesituation mit Hybery (Ta3) die höchsten und die Gemenge mit Boxer (Ta2) die geringsten absoluten Ertragsdifferenzen zu (Tab. A22;  $6,6 \text{ dt ha}^{-1} < 6,8 \text{ dt ha}^{-1} < 6,9 \text{ dt ha}^{-1}$ ). Die Standorte unterschieden sich im Mittel der absoluten Ertragsdifferenz um  $5,1 \text{ dt ha}^{-1}$ . Das Ertragsniveau lag in den drei Jahren für alle drei Gemengesituationen am Standort Deppoldshausen höher als am Standort Reinshof. Die Hauptfaktoren Jahr, Standort und Ackerbohnen-genotyp hatten einen statistisch signifikanten Effekt auf die absoluten Ertragsdifferenzen der Gemenge und dem Mittel ihrer Reinsaat (Tab. A23;  $3,31^{**} < \text{F-Wert} < 47,81^{**}$ ). Nur der Hauptfaktor Winterweizensorte hatte keinen statistisch signifikanten Effekt auf dieses Merkmal. Im Gegensatz dazu hatten die Winterweizen-Jahres- und die Winterweizen-Orts-Interaktionen einen statistisch signifikanten Einfluss auf die absoluten Kornertragsdifferenzen (Tab. A23;  $3,62^{**} < \text{F-Wert} < 3,87^*$ ). Dennoch war der Anteil dieser beiden Interaktionen an der Gesamtvarianz sehr gering. Zudem hatte die Ackerbohnen-genotyp-Winterweizen-Interaktion einen statistisch signifikanten Effekt auf die absolute Kornertragsdifferenz (Tab. A23). Die Einstichproben-T-Tests ergaben, dass für alle drei Gemengesituationen im Mittel über die acht Winterackerbohnen-genotypen statistisch signifikante Ertragsdifferenzen zwischen den Gemengen und dem Mittel der zugehörigen Reinsaat vorlagen ( $12,46^{**} < \text{T-Werte} < 14,66^{**}$ ).

**Tab. A19:** Absolute Ertragsdifferenzen ( $\text{dt ha}^{-1}$ ) zwischen den Gemengen mit dem Winterweizen Genius (Ta1) und dem Mittel ihrer Reinsaat aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen-genotyp (Vf), Jahr und Standort. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor</b>		<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b><math>\mu</math></b>	
Vf1	<b>5,8</b>	7,7	6,2	6,6	
Vf2	5,2	<b>10,5</b>	<b>12,4</b>	<b>9,4</b>	
Vf3	6,5	7,9	4,7	6,3	
Vf4	4,4	6,7	10,8	7,3	
Vf5	5,7	9,3	7,2	7,4	
Vf6	5,3	7,4	6,4	6,3	
Vf7	<b>4,4</b>	7,9	7,3	6,5	
Vf8	4,8	<b>5,9</b>	<b>3,5</b>	<b>4,7</b>	
$\mu$	5,3	7,9	7,3	<u>6,8</u>	
<b>Hauptfaktor S</b>					
$\mu$ Reinshof	1,7	3,9	6,4	4,1	
$\mu$ Deppoldshausen	8,8	11,9	8,2	9,5	

**Tab. A20:** Absolute Ertragsdifferenzen (dt ha<sup>-1</sup>) zwischen den Gemengen mit dem Winterweizen Bo-xer (Ta2) und dem Mittel ihrer Reinsaaten aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen-genotyp (Vf), Jahr und Standort. Die Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor</b>	<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>
Vf1	<b>5,4</b>	<b>5,7</b>	8,5	6,6
Vf2	4,6	8,7	<b>13,1</b>	<b>8,8</b>
Vf3	4,5	<b>10,5</b>	10,5	8,5
Vf4	3,1	6,7	9,7	6,5
Vf5	4,3	7,4	8,6	6,8
Vf6	<b>2,0</b>	6,9	<b>4,0</b>	<b>4,3</b>
Vf7	2,9	7,1	6,8	5,6
Vf8	3,3	6,4	8,0	5,9
μ	3,7	7,4	8,7	<u>6,6</u>
<b>Hauptfaktor S</b>				
μ Reinshof	1,3	2,4	6,5	3,4
μ Deppoldshausen	6,3	12,5	10,8	9,9

**Tab. A21:** Absolute Ertragsdifferenzen (dt ha<sup>-1</sup>) zwischen den Gemengen mit dem Winterweizen Hy-bery (Ta3) und dem Mittel ihrer Reinsaaten aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen-genotyp (Vf), Jahr und Standort. Die Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor</b>	<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>
Vf1	6,8	6,2	<b>11,1</b>	8,0
Vf2	6,3	<b>11,8</b>	11,0	<b>9,7</b>
Vf3	6,6	7,9	7,0	7,2
Vf4	<b>3,2</b>	3,9	<b>6,1</b>	<b>4,4</b>
Vf5	<b>7,2</b>	7,0	7,2	7,2
Vf6	5,1	7,3	8,2	6,9
Vf7	5,5	8,3	7,5	7,1
Vf8	4,6	<b>2,5</b>	7,4	4,9
μ	5,7	6,9	8,2	<u>6,9</u>
<b>Hauptfaktor S</b>				
μ Reinshof	4,4	2,3	7,7	4,7
μ Deppoldshausen	7,0	11,5	8,8	9,1

**Tab. A22:** Absolute Ertragsdifferenzen (dt ha<sup>-1</sup>) zwischen den Gemengen mit dem Winterweizen Genius (Ta1), Boxer (Ta2) und Hybery (Ta3) und dem Mittel ihrer Reinsaaten aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen-genotyp (Vf), Weizensorte und Standort. Die Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor</b>	<b>Hauptfaktor W</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>Ta1</b>	<b>Ta2</b>	<b>Ta3</b>	<b>μ</b>
Vf1	6,6	6,6	8,0	7,1
Vf2	<b>9,4</b>	<b>8,8</b>	<b>9,7</b>	<b>9,3</b>
Vf3	6,3	8,5	7,2	7,3
Vf4	7,3	6,5	<b>4,4</b>	6,1
Vf5	7,4	6,8	7,2	7,1
Vf6	6,3	<b>4,3</b>	6,9	5,8
Vf7	6,5	5,6	7,1	6,4
Vf8	<b>4,7</b>	5,9	4,9	<b>5,2</b>
μ	6,8	6,6	6,9	<u>6,8</u>
<b>Hauptfaktor S</b>				
μ Reinshof	4,0	3,4	5,1	4,2
μ Deppoldshausen	9,3	9,9	8,7	9,3

**Tab. A23:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für die absoluten Ertragsdifferenzen (dt ha<sup>-1</sup>) zwischen den Gemengen mit den Winterweizen (W=3) Genius (Ta1), Boxer (Ta2) und Hybery (Ta3) und dem Mittel ihrer Reinsaaten (B=8) und an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit je vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	535,95	2,324	5,97*	2,03
S	1	4288,89	14,581	47,81**	1,66
SJ	2	550,20	4,797	6,13**	2,87
R:SJ	18	89,71	2,325	2,64**	3,33
B	7	112,43	1,090	3,31**	1,92
BJ	14	33,57	-0,015	0,99ns	3,33
BS	7	80,65	1,298	2,38*	2,72
BSJ	14	39,71	0,482	1,17ns	4,71
BR:SJ	122	33,92	6,309	2,26**	6,22
W	2	4,69	-0,054	0,31ns	0,78
WJ	4	54,29	0,614	3,62**	1,35
WS	2	58,02	0,448	3,87*	1,10
WSJ	4	43,49	0,891	2,90*	1,91
WB	14	24,63	0,401	1,64+	2,20
WBJ	28	13,58	-0,177	0,91ns	3,81
WBS	14	17,94	0,245	1,20ns	3,11
WBSJ	28	10,13	-1,217	0,68ns	5,39
WBR SJ	275	14,99	14,995		
Total	558				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var. Kp, Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; \*: P < 0,05; +: P < 0,10; ns: nicht signifikant.



### 3.1.2.3. Relativertrag der Winterackerbohnen

Im Mittel über die drei Gemengesituationen (mit Genius, Boxer und Hybery) erreichten die Ackerbohnen einen Relativertrag ( $RY_{Vf}$ ) von 0,660 (Tab. A24). Damit lagen die Relativerträge über 0,5; dieser Wert wäre zu erwarten, wenn die Gemengesituation auf den Einzelpflanzenenertrag keine Auswirkung hätte. Den geringsten Relativertrag (Ackerbohne) erzielte die Vf2 mit 0,574 und den höchsten Relativertrag (Ackerbohne) erzielte die Vf3 (Tab. A24:  $RY_{Vf} = 0,725$ ). Im Mittel der acht Winterackerbohnen wurden die höchsten Relativerträge (Ackerbohne) in den Gemengen mit Genius (Ta1;  $RY_{Vf} = 0,719$ ) und die geringsten Relativerträge in den Gemengen mit Hybery (Ta3;  $RY_{Vf} = 0,594$ ) erzielt. Der Standort Deppoldshausen übertraf den Standort Reinshof in jedem der drei Versuchsjahre im Relativertrag der Ackerbohnen. Der deutlichste Unterschied zwischen den Standorten ergab sich im Jahr 2017 und lag bei 0,107 (Tab. A24). Der Standort Deppoldshausen zeigte im Mittel über alle Vf, Jahre und Standorte eine Überlegenheit des Relativertrags der Ackerbohne gegenüber dem Standort Reinshof (Tab. A24;  $RY_{Vf}: 0,716 > 0,604$ ). An dem Standort Deppoldshausen erreichten die Bohnen im Versuchsjahr 2016 im Mittel über alle Gemenge einen Relativertrag von mehr als 0,5.

Alle Hauptfaktoren hatten einen statistisch signifikanten Effekt auf den Relativertrag der Ackerbohnen (Tab. A25;  $3,50^{**} < F\text{-Wert} < 100,36^{**}$ ). Die Grenzdifferenz zwischen den Winterackerbohnenotypen lag bei 0,07 (Tab. A25;  $P = 0,05$ ). Ebenso hatten die Ackerbohnenotyp-Jahres-Interaktionen (BJ) einen statistisch signifikanten Effekt auf den Relativertrag der Ackerbohnen, sowie die Winterweizen-Jahres-Interaktion (Tab. A25; F-Wert:  $3,77^{**}, 9,46^{**}$ ). Der Haupteffekt Jahr erklärte mit einer Varianzkomponente von  $0,0752^2$  den deutlich größten Anteil an der Gesamtvarianz der Relativerträge der Ackerbohnen verglichen mit den übrigen Varianzursachen.

**Tab. A24:** Relativerträge der acht Winterackerbohnen genotypen (Vf) in den Gemengen mit Genius (Ta1), Boxer (Ta2) und Hybery (Ta3); aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen genotyp, Weizensorte und Ort. Die Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor</b>	<b>Hauptfaktor W</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>Ta1</b>	<b>Ta2</b>	<b>Ta3</b>	<b>μ</b>
Vf1	0,700	0,634	0,594	0,642
Vf2	0,647	0,579	0,495	<b>0,574</b>
Vf3	0,743	0,759	0,673	<b>0,725</b>
Vf4	0,718	0,671	0,582	0,657
Vf5	0,740	0,654	0,610	0,668
Vf6	0,754	0,682	0,624	0,687
Vf7	0,698	0,621	0,552	0,624
Vf8	0,756	0,723	0,625	0,701
μ	0,719	0,665	0,594	<u>0,660</u>
<b>Hauptfaktor S</b>				
μ Reinshof	0,669	0,607	0,535	0,604
μ Deppoldshausen	0,770	0,723	0,654	0,716

**Tab. A25:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests der Relativverträge der Winterackerbohnen-  
genotypen (B=8), in den Gemengen (W = 3), erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit je  
vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	14,653	0,0752	68,70**	0,10
S	1	1,791	0,0055	8,40**	0,08
SJ	2	0,516	0,0031	2,42ns	0,14
R: SJ	18	0,213	0,0069	4,61**	0,12
B	7	0,162	0,0016	3,50**	0,07
BJ	14	0,175	0,0053	3,77**	0,12
BS	7	0,177	0,0036	3,83**	0,10
BSJ	14	0,110	0,0053	2,37**	0,17
BR: SJ	122	0,046	0,0129	6,19**	0,14
W	2	0,752	0,0039	100,36**	0,02
WJ	4	0,071	0,0010	9,46**	0,03
WS	2	0,004	0,0000	0,54ns	0,02
WSJ	4	0,018	0,0003	2,35+	0,04
WB	14	0,009	0,0001	1,20ns	0,05
WBJ	28	0,007	0,0001	0,90ns	0,09
WBS	14	0,008	0,0000	1,03ns	0,07
WBSJ	28	0,012	0,0012	1,62*	0,12
WBRSJ	276	0,008	0,0075		
Total	559				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var. Kp, Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$ ; +:  $P < 0,10$ ; ns: nicht signifikant; die Varianzanalyse wurde auf Basis von mind. 4 Nachkommastellen durchgeführt.

### 3.1.2.4. Relativertrag der Weizen

Die drei Winterweizensorten erreichten im Mittel über Orte, Jahre und Bohnengenotypen einen Relativertrag von  $RY_{Ta} = 0,559$  (Tab. A26). Die geringsten Relativerträge der Weizen wurden in den Gemengen mit Vf8 und die höchsten Relativerträge mit Vf2 erzielt (Tab A26;  $RY_{Ta}: 0,515 < 0,681$ ). Im Mittel über alle Vf übertraf Hybery (Ta3), Boxer (Ta2) und Genius (Ta1) mit seinem Relativertrag (Tab. A26). Der Weizen Genius erreichte mit seinem Relativertrag genau 50 % seiner Reinsaaterträge und damit per Definition keinen Mehrertrag in den Gemengen mit den Ackerbohnenotypen. Die beiden Standorte unterschieden sich in den Relativerträgen (Weizen) maximal um 0,196 (Ta2), wobei das Niveau für alle drei Gemengesituationen im Mittel über die Ackerbohnen und Jahre am Standort Deppoldshausen höher lag als am Standort Reinshof.

Die ANOVA zeigte, dass alle Hauptfaktoren einen statistisch signifikanten Effekt auf den Relativertrag (Weizen) hatten (Tab. A27;  $12,48^{**} < F\text{-Wert} < 54,97^{**}$ ). Die Ackerbohnenotyp-Jahres-Interaktionen hatten einen statistisch signifikanten Effekt auf den Relativertrag der drei Winterweizensorten, nicht jedoch die Ackerbohnenotyp-Standorts-Interaktionen und die Ackerbohnenotyp-Weizen-Interaktionen.

**Tab. A26:** Relativerträge der drei Weizensorten (Ta1, Ta2, Ta3) in den Gemengen mit den acht Winterackerbohnenotypen; aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnenotyp (Vf), Weizensorte und Ort. Die Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

Hauptfaktor		Hauptfaktor W			Mittel
Vf	Ta1	Ta2	Ta3	$\mu$	
Vf1	0,527	0,622	0,648	0,599	
Vf2	<b>0,634</b>	<b>0,687</b>	<b>0,721</b>	<b>0,681</b>	
Vf3	0,469	0,543	0,579	0,530	
Vf4	0,498	0,544	<b>0,545</b>	0,529	
Vf5	0,492	0,574	0,604	0,556	
Vf6	0,481	<b>0,496</b>	0,598	0,525	
Vf7	0,461	0,541	0,619	0,540	
Vf8	<b>0,437</b>	0,534	0,575	<b>0,515</b>	
$\mu$	0,500	0,568	0,611	<u>0,559</u>	
Hauptfaktor S					
$\mu$ Reinshof	0,433	0,470	0,563	0,489	
$\mu$ Deppoldshausen	0,566	0,666	0,669	0,630	

**Tab. A27:** Ergebnisse Der ANOVA inklusive F-Tests der Relativerträge der Winterweizensorten (W=3), in den Gemengen mit den Winterackerbohnenengenotypen (B = 8), erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit je vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	12,105	0,0619	54,86**	0,10
S	1	2,877	0,0092	13,01**	0,08
SJ	2	0,364	0,0015	1,65ns	0,14
R: SJ	18	0,221	0,0085	12,39**	0,08
B	7	0,222	0,0028	12,48**	0,04
BJ	14	0,063	0,0019	3,53**	0,08
BS	7	0,013	-0,0001	0,72ns	0,06
BSJ	14	0,034	0,0013	1,88*	0,11
BR: SJ	122	0,018	0,0021	1,55**	0,17
W	2	0,604	0,0031	52,60**	0,02
WJ	4	0,180	0,0026	15,70**	0,04
WS	2	0,123	0,0012	10,70**	0,03
WSJ	4	0,067	0,0017	5,82**	0,05
WB	14	0,012	0,0000	1,01ns	0,06
WBJ	28	0,009	-0,0003	0,76ns	0,11
WBS	14	0,008	-0,0003	0,66ns	0,09
WBSJ	28	0,007	-0,0012	0,57ns	0,15
WBR SJ	276	0,012	0,0115		
Total	559				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var. Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; \*: P < 0,05; +: P < 0,10; ns: nicht signifikant, die Varianzanalyse wurde auf Basis von mind. vier Nachkommastellen durchgeführt.

### 3.1.2.5. Relative Yield Total

Das Versuchsmittel für den Relative Yield Total über alle Weizensorten, Ackerbohnen-  
genotypen, Jahre und Standorte lag bei 1,220 (Tab. A28). Im Mittel der Jahre, Standorte und Boh-  
nengenotypen lag der RYT bei 1,219 mit Genius, bei 1,233 mit Boxer und mit dem Weizen  
Hybery bei 1,207. Im Mittel über die drei Gemengesituationen erreichten die Gemenge mit  
den Ackerbohnen-  
genotypen Vf2 und Vf3 die höchsten RYT (Tab. A28; 1,255). Die Gemenge  
mit Vf7 erreichten mit 1,164 den deutlich geringsten RYT im Mittel über die drei Weizensor-  
ten.

In allen Versuchsjahren lag das Niveau des RYT am Standort Deppoldshausen höher als am  
Standort Reinshof. Am Standort Deppoldshausen lag der mittlere RYT bei 1,346 und am  
Standort Reinshof bei 1,094. Damit wurde am Standort Reinshof ein merklich geringerer  
Mehrertrag im Gemenge erzielt als am Standort Deppoldshausen (Tab. A23).

Die Ackerbohnen-  
genotypen hatten keinen statistisch signifikanten Effekt auf den RYT, dar-  
aus folgt, dass für diesen Parameter offenbar keine genetische Variation zwischen den geprüf-  
ten Ackerbohnen-  
genotypen besteht. Obwohl sich auf seine Quotienten, also der Relativertrag  
der Ackerbohnen und der Relativertrag der Weizensorten, jeweils der signifikante Effekt der  
Ackerbohnen-  
genotypen ausübte. Ebenso hatte die Winterweizensorte keinen signifikanten  
Effekt auf den RYT. Einzig der Hauptfaktor Standort hatte einen signifikanten Effekt auf den  
RYT (Tab. A28; F-Wert: 61,57\*\*). Die Ackerbohnen-  
genotyp-  
Standort-  
Interaktionen hatten einen signifikanten Einfluss auf den RYT (F-Wert: 2,62\*). Ebenso hatten die Weizen-  
Jahres-  
Interaktion und die Weizen-  
Standort-  
Interaktion einen signifikanten Einfluss auf den RYT (Tab. A29;  $7,61^{**} < \text{F-Wert} < 7,88^{**}$ ).

**Tab. A28:** Relativ Yield Total der acht Winterackerbohnen genotypen in den Gemengen mit den Weizen (Ta1, Ta2, Ta3); aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen genotyp (Vf), Weizensorte und Ort. Die Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor</b>		<b>Hauptfaktor W</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>Ta1</b>	<b>Ta2</b>	<b>Ta3</b>	<b>μ</b>	
Vf1	1,226	1,255	1,254	1,245	
Vf2	<b>1,281</b>	1,266	1,216	<b>1,255</b>	
Vf3	1,212	<b>1,302</b>	<b>1,252</b>	<b>1,255</b>	
Vf4	1,216	1,214	<b>1,127</b>	1,186	
Vf5	1,231	1,227	1,214	1,224	
Vf6	1,224	1,178	1,222	1,212	
Vf7	<b>1,158</b>	<b>1,162</b>	1,173	<b>1,164</b>	
Vf8	1,193	1,257	1,199	1,216	
μ	1,219	1,233	1,207	<u>1,220</u>	
<b>Hauptfaktor S</b>					
μ Reinshof	1,102	1,077	1,102	<i>1,094</i>	
μ Deppoldshausen	1,336	1,388	1,313	<i>1,346</i>	

**Tab. A29:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests der Relativ Yield Total der acht Winterackerbohnen (B=8), in den Gemengen mit den Winterweizensorten (W=3), erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit je vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	0,369	0,0012	2,50ns	0,08
S	1	9,144	0,0312	61,65**	0,07
SJ	2	0,105	-0,0005	0,71ns	0,12
R:SJ	18	0,149	0,0041	2,92**	0,13
B	7	0,077	0,0004	1,51ns	0,07
BJ	14	0,788	0,0012	1,55ns	0,13
BS	7	0,133	0,0023	2,62*	0,11
BSJ	14	0,108	0,0047	2,12*	0,18
BR:SJ	122	0,051	0,0113	3,01**	0,21
W	2	0,032	0,0001	1,88ns	0,03
WJ	4	0,128	0,0017	7,61**	0,05
WS	2	0,133	0,0012	7,88**	0,04
WSJ	4	0,076	0,0019	4,52**	0,06
WB	14	0,024	0,0003	1,43ns	0,07
WBJ	28	0,013	-0,0005	0,79ns	0,13
WBS	14	0,160	-0,0001	0,95ns	0,10
WBSJ	28	0,109	-0,0015	0,65ns	0,18
WBR SJ	275	0,168	0,0169		
Total	558				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var. Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$ ; ns: nicht signifikant, die Varianzanalyse wurde auf Basis von mind. 4 Nachkommastellen durchgeführt



### 3.1.2.6. Relativer Gemengeertrag

Im Mittel der drei Gemengesituationen (Gemenge mit Ta1, Ta2, und Ta3), Jahre und Standorte erreichte Vf2 (S\_062) den höchsten relativen Gemengeertrag und die Gemenge mit Vf8 (WAB-EP98-267) den geringsten relativen Gemengeertrag. (Tab. A30). Das Versuchsmittel der relativen Gemengeerträge lag über die drei Gemengesituationen bei 1,220 (Tab. A30). Damit war dieses Versuchsmittel für den relativen Gemengeertrag ebenso hoch wie das Versuchsmittel des Relative Yield Total (vgl. Tab. A28). Im Mittel über alle Vf ließen die Gemengesituationen mit Ta1 (Genius) die größten und die Gemenge mit Ta3 (Hybery) die geringsten relativen Gemengeerträge zu (Tab. A30;  $1,202 < 1,228 < 1,231$ ).

Die beiden Standorte unterschieden sich im Mittel über alle Vf und Gemengesituationen um 0,240 im Relativertrag der Gemenge (Tab. A30;  $1,100 < 1,340$ ). Das Niveau des relativen Gemengeertrags lag in allen drei Jahren für jede der drei Gemengesituationen am Standort Deppoldshausen höher als am Standort Reinshof.

Die ANOVA zeigte, dass alle Hauptfaktoren einen statisch signifikanten Effekt auf den relativen Gemengeertrag ausübten (Tab. A31). Wie auch schon bei dem Relative Yield Total hatte der Hauptfaktor Standort den deutlich größten Anteil an der Gesamtvarianz für das Merkmal relativer Gemengeertrag (Tab. A31; Var.Kp.:  $0,0284^2$ ). Der Hauptfaktor Winterackerbohnen-genotyp hatte einen größeren Anteil an der Gesamtvarianz für das Merkmal relativer Gemengeertrag als der Hauptfaktor Winterweizensorte ( $0,0008^2$  vs.  $0,0002^2$ ). Die Grenzdifferenz zwischen den Vf lag bei  $0,07 \text{ dt ha}^{-1}$ . Die Ackerbohnen-genotyp-Weizensorte-Interaktion hatte keinen statistisch signifikanten Effekt auf den relativen Gemengeertrag (Tab. A31). Somit wird der relative Gemengeertrag durchaus von dem Winterackerbohnen-genotyp und der Winterweizensorte beeinflusst, aber nicht durch die Interaktionseffekte zwischen den spezifischen Ackerbohnen-Weizen-Kombinationen.

**Tab. A30:** Relativer Gemengeertrag der acht Winterackerbohnenengenotypen (Vf1-Vf8) in den Gemeinden mit den Weizen (Ta1, Ta2, Ta3); aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnenengotyp, Weizensorte und Ort. Die Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor</b>	<b>Hauptfaktor W</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>Ta1</b>	<b>Ta2</b>	<b>Ta3</b>	<b>μ</b>
Vf1	1,220	1,213	1,233	1,222
Vf2	<b>1,321</b>	<b>1,300</b>	<b>1,268</b>	<b>1,296</b>
Vf3	1,207	1,272	1,205	1,228
Vf4	1,244	1,230	<b>1,131</b>	1,202
Vf5	1,256	1,240	1,228	1,241
Vf6	1,228	<b>1,170</b>	1,212	1,203
Vf7	<b>1,201</b>	1,178	1,188	1,189
Vf8	1,172	1,220	1,154	<b>1,182</b>
μ	1,231	1,228	1,202	<u>1,220</u>
<b>Hauptfaktor S</b>				
μ Reinshof	1,108	1,085	1,107	<i>1,100</i>
μ Deppoldshausen	1,354	1,371	1,297	<i>1,340</i>

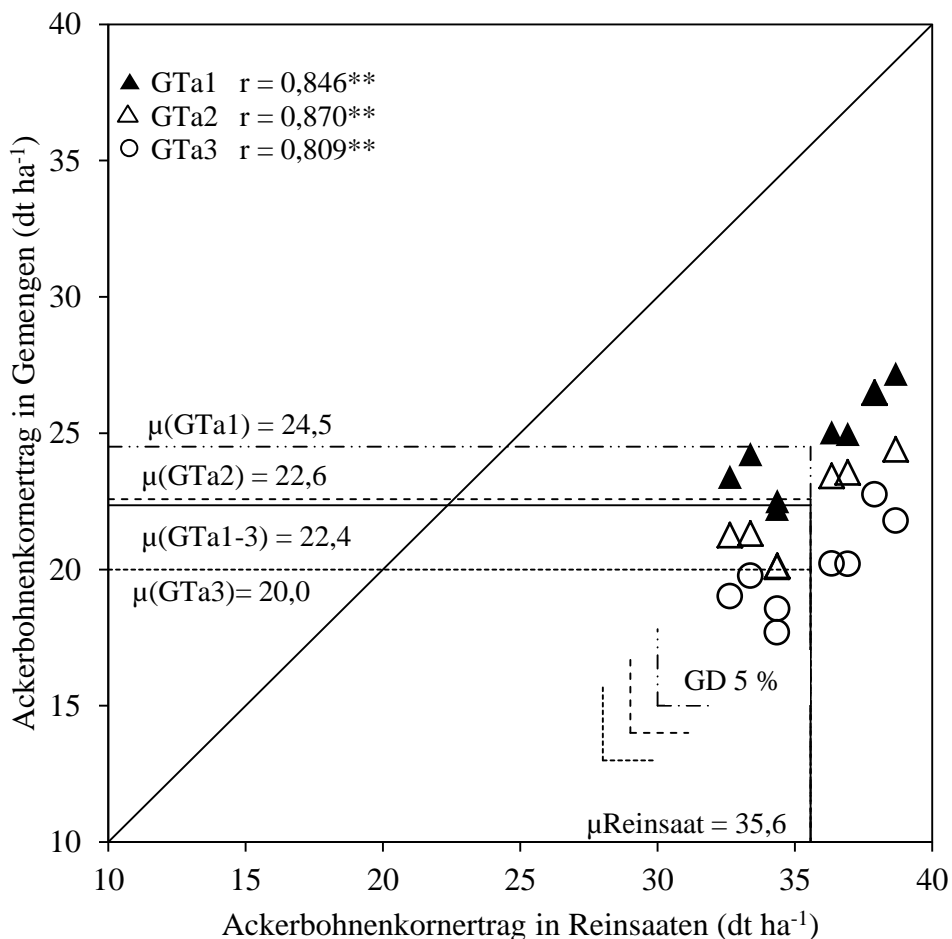
**Tab. A31:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests der relativen Gemengeerträge der acht Winterackerbohnen (B=8), in den Gemengen mit den Winterweizensorten (W=3), erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit je vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	0,5798	0,0023	4,34*	0,08
S	1	8,3068	0,0284	62,24**	0,06
SJ	2	0,3683	0,0024	2,76+	0,11
R: SJ	18	0,1335	0,0039	3,44**	0,11
B	7	0,0963	0,0008	2,48*	0,07
BJ	14	0,0470	0,0003	1,21ns	0,11
BS	7	0,0679	0,0008	1,75ns	0,09
BSJ	14	0,0695	0,0026	1,79*	0,16
BR: SJ	122	0,0388	0,0078	2,50**	0,20
W	2	0,0479	0,0002	3,08*	0,03
WJ	4	0,0696	0,0008	4,47**	0,04
WS	2	0,1124	0,0010	7,23**	0,04
WSJ	4	0,0535	0,0012	3,44**	0,06
WB	14	0,0221	0,0003	1,42ns	0,07
WBJ	28	0,0144	-0,0001	0,92ns	0,12
WBS	14	0,0162	0,0001	1,04ns	0,10
WBSJ	28	0,0114	-0,0011	0,73ns	0,17
WBR SJ	275	0,0156	0,0156		
Total	558				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var. Kp, Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$ ; +:  $P < 0,1$ ; ns: nicht signifikant, die Varianzanalyse wurde auf Basis von mindestens vier Nachkommastellen durchgeführt.

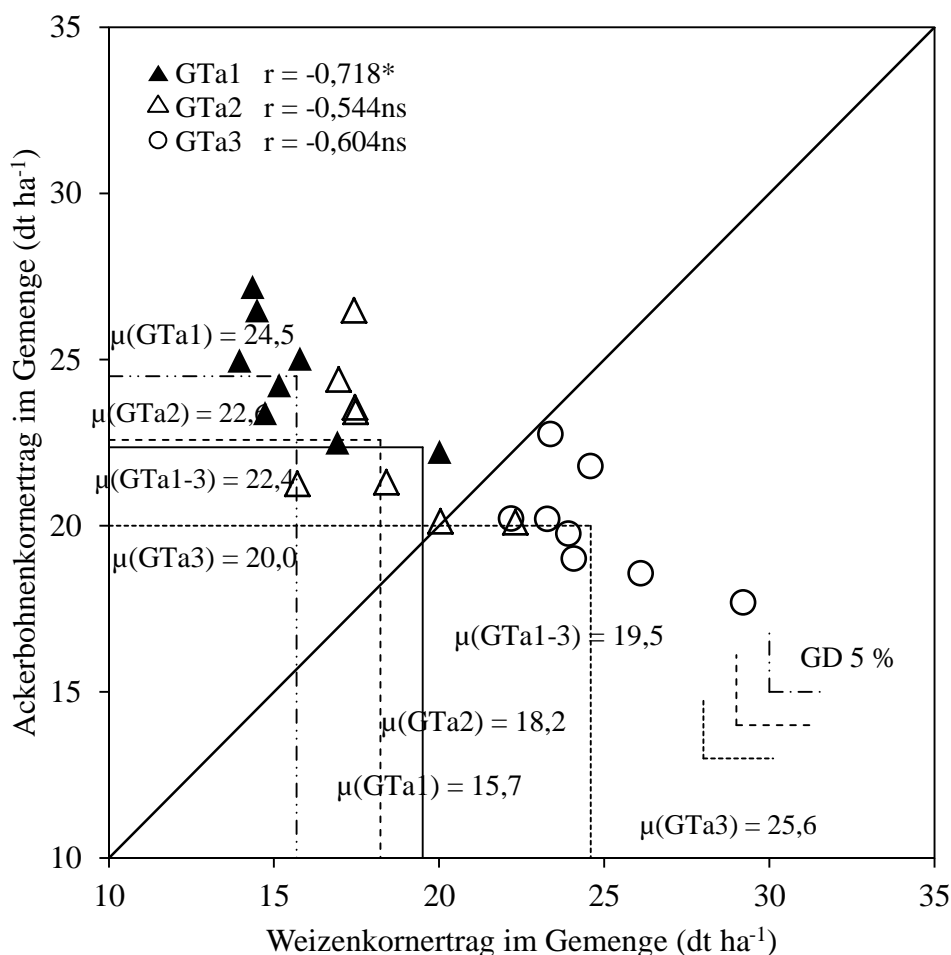
### 3.1.3. Korrelationen zwischen Kornerträgen

Die Korrelationen der mittleren Ackerbohnenkorntrage zwischen den drei jeweiligen Gemengesituationen waren in allen drei Fallen statistisch signifikant und positiv (Tab. AV;  $0,913^{**} < r < 0,957^{**}$ ). Die mittleren Ackerbohnenkorntrage in den Reinsaat und die mittleren Ackerbohnenkorntrage in den jeweiligen Gemengen korrelierten auch statistisch signifikant und positiv miteinander, wobei die Korrelationen weniger stark ausfielen (Abb. A2;  $0,809^{**} < r < 0,870^{**}$ ). Diese statistisch signifikanten und positiven Korrelationen der Ackerbohnenkorntrage zwischen den drei Gemengesituationen fielen bei den jahresweise durchgefuhrten Korrelationsanalysen ahnlich aus (Tab. AVI bis Tab. AVIII;  $0,807^* < r < 0,954^{**}$ ).



**Abb. A2:** Zusammenhang zwischen den mittleren Ackerbohnenkorntragen der drei Gemengesituationen (GTa1, GTa2, GTa3) und dem mittleren Reinsaatkorntrag der Ackerbohnen (N=8). Korrelationskoeffizienten, Mittelwerte und Grenzdifferenzen (GD 5 %) sind gegeben.

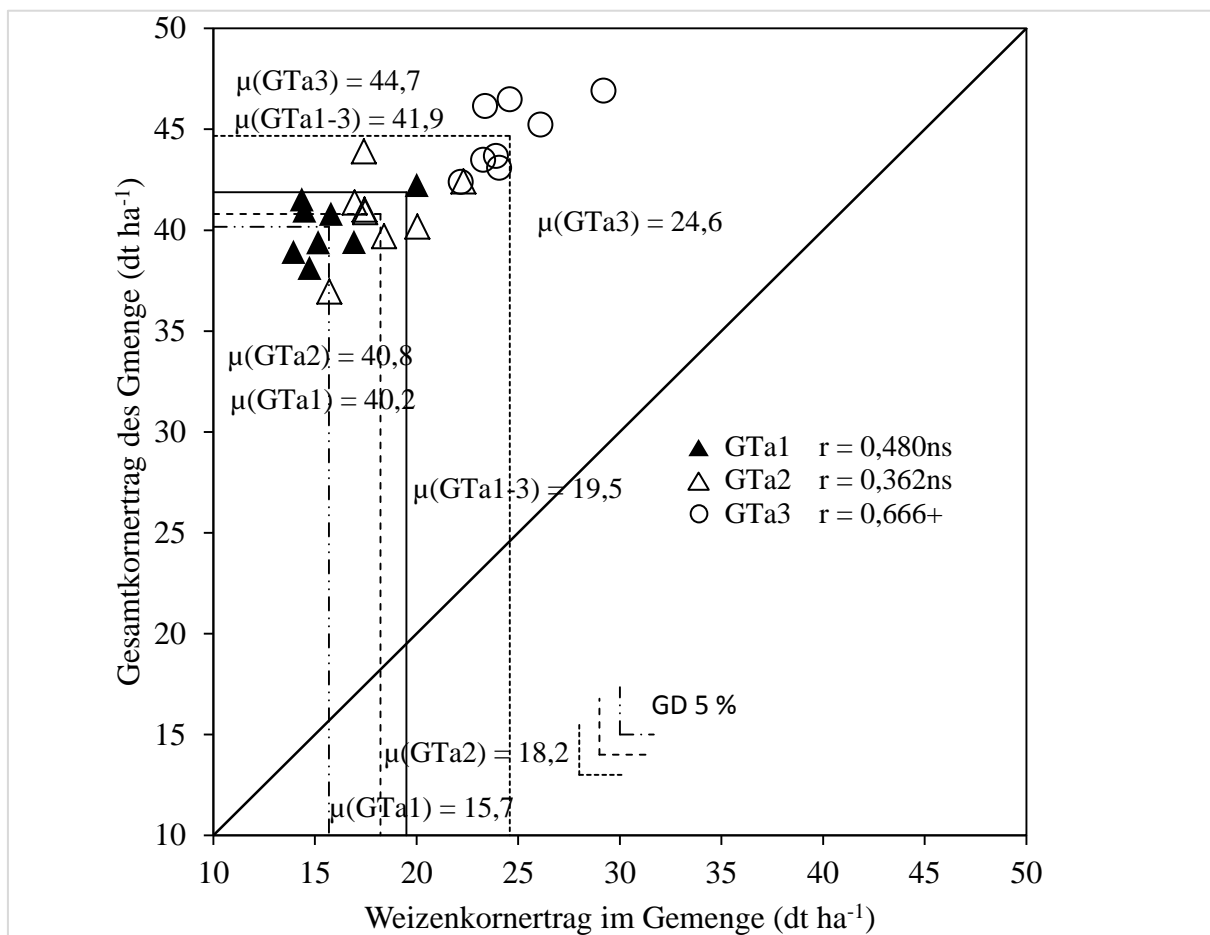
Die Winterackerbohnenkornenerträge der drei Gemenge GTa1, GTa2 und GTa3 waren mit ihren Winterweizenkornenerträgen negativ korreliert. Es war jedoch nur die Korrelation zwischen den acht Ackerbohnenenerträgen aus der Gemengesituation GTa1 mit den dazugehörigen Weizenerträgen statistisch signifikant und negativ (Abb. A3; GTa1:  $-0,718^*$ , GTa2:  $-0,544_{ns}$ , GTa3:  $-0,604_{ns}$ ). Die jahresweisen Korrelationen zwischen Ackerbohnen- und Weizenerträgen aus ihren Gemengen waren nur im Jahr 2015 für alle drei Gemengesituationen statistisch signifikant und negativ (Tab. AVI bis Tab. AVIII;  $-0,871^* < r < -0,751^*$ ). Im Vergleich dazu waren diese Korrelationen für das Jahr 2016 leicht positiv und für das Jahr 2017 wiederum negativ (aber in beiden Jahren statistisch nicht signifikant, Tab. AVII bis Tab. AVIII).



**Abb. A3:** Zusammenhang zwischen den mittleren Ackerbohnenenerträgen der drei Gemengesituationen (GTa1, GTa2, GTa3) und dem mittleren Weizenkornenertrag im Gemenge (N =8). Korrelationskoeffizienten, Mittelwerte und Grenzdifferenzen (GD 5 %) sind gegeben.

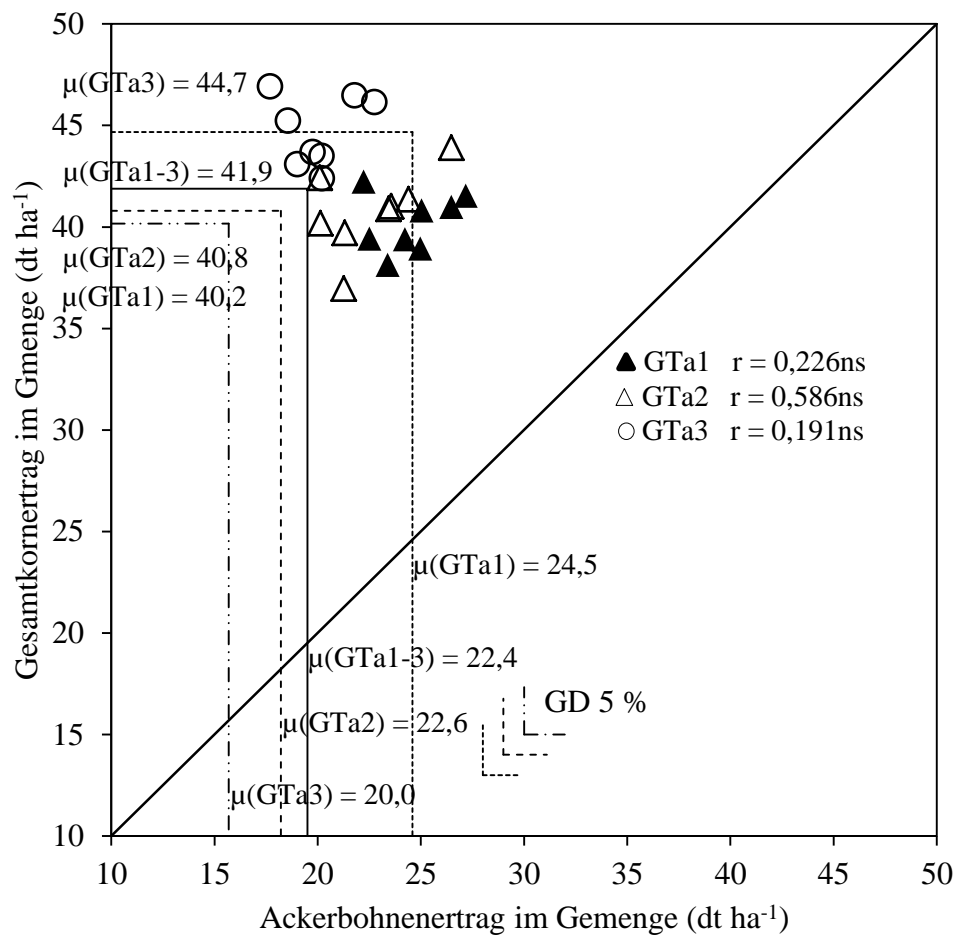
In der Korrelationsanalyse zwischen dem Gesamtkornertrag in den drei Gemengen (Ackerbohnen- + Weizenertag) und ihrem Weizenkornertrag ergaben sich positive und teilweise statistisch signifikante Korrelationen (Abb. A4:  $0,362_{ns} < r < 0,666_{+}$ ). Die stärksten Korrelationen ergaben sich zwischen den Erträgen von Hybery (Ta3) und seinem Gesamtgemengeerträgen.

Die Korrelationen zwischen den acht Weizenertägen der drei Gemengesituationen waren alle signifikant positiv und statistisch signifikant (Tab. AV;  $0,819^{*} < r < 0,906^{**}$ ). In den jahresweisen Korrelationsanalysen zeigte sich, dass die Weizenertägen von Genius (Ta1) und Boxer (Ta2) in ihren acht Gemengen in jedem der drei Jahre positiv und statistisch signifikant korrelierten (Tab. AVI bis Tab. AVIII;  $0,708^{*} < r < 0,962^{**}$ ).



**Abb. A4:** Zusammenhang zwischen den mittleren Gesamtkornertrag der drei Gemengesituationen (GTa1, GTa2, GTa3) und dem mittleren Weizenkornertrag im Gemenge (N=8). Korrelationskoeffizienten, Mittelwerte und Grenzdifferenzen (GD 5 %) sind gegeben.

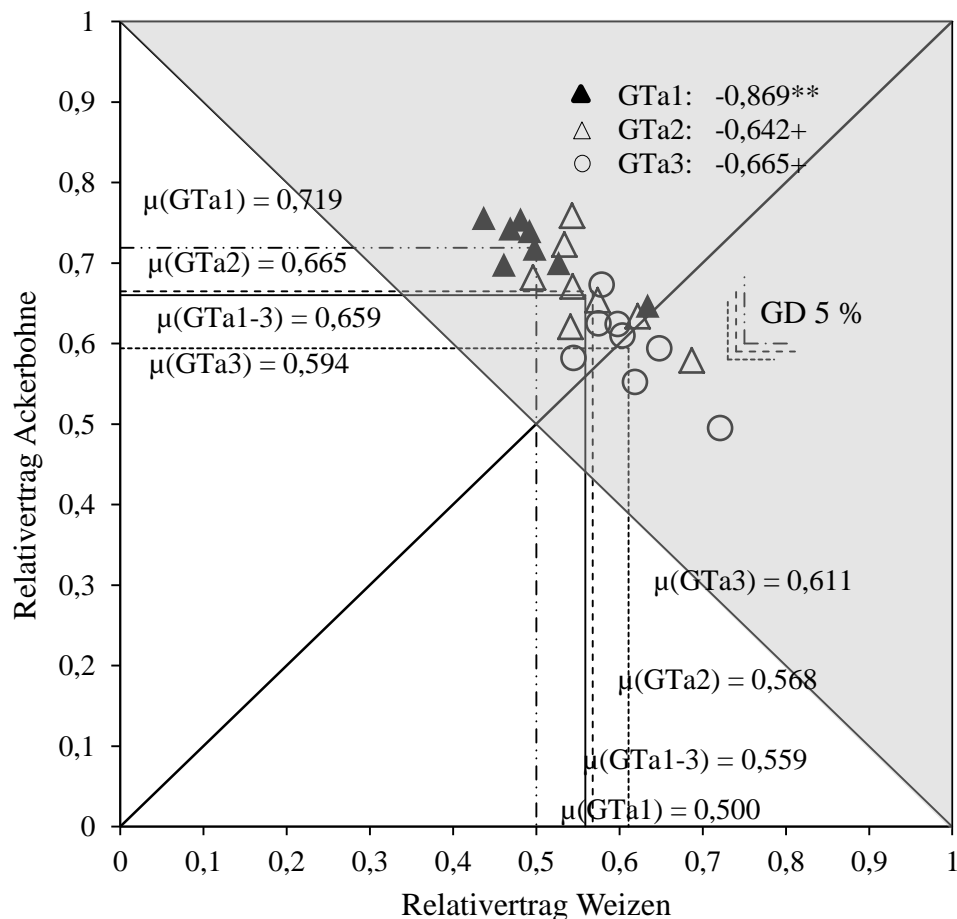
Der Gesamtkornerträge der drei Gemenge waren in allen drei Gemengesituationen positiv, aber statistisch nicht signifikant mit ihrem Ackerbohnenenertrag im Gemenge korreliert (Abb. A5;  $0,191_{ns} < r < 0,586_{ns}$ ). In der jahresweisen Korrelationsanalyse (für 2015 und 2016) waren die Gesamt-Gemengeerträge positiv und mit einer Ausnahme statistisch signifikant mit ihren Ackerbohnenenerträgen in dem Gemenge korreliert (Tab. AVI und Tab. AVII;  $0,631_{+} < r < 0,863_{**}$ ).



**Abb. A5:** Zusammenhang zwischen den mittleren Gesamtkornertrag der drei Gemengesituationen (GTa1, GTa2, GTa3) und dem mittleren Ackerbohnenkornertrag im Gemenge (N =8). Korrelationskoeffizienten, Mittelwerte und Grenzdifferenzen (GD 5 %) sind gegeben.

### 3.1.4. Korrelationen zwischen Erträgen und berechneten Ertragsparametern

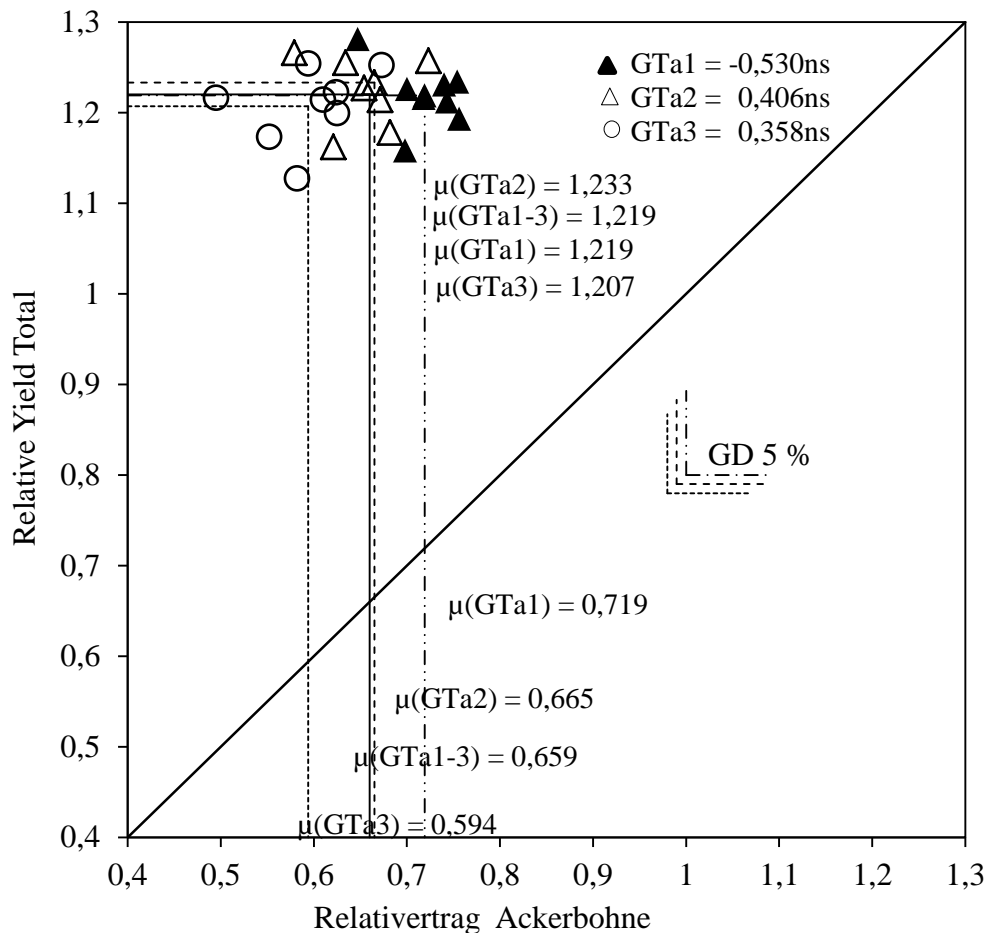
Die Relativträge der Ackerbohnen waren in allen drei Gemengesituationen negativ und signifikant mit den Relativträgen der Weizen korreliert (Abb. A6;  $-0,643+ < r < 0,869^{**}$ ). Dabei war die Korrelation zwischen den Relativträgen der Ackerbohnen und der Weizen aus den Gemengen mit Weizen Ta1 (Genius) am stärksten negativ korreliert (Abb. A6;  $r = 0,869^{**}$ ). Ebenso ergab die jahresweise (J=3) Korrelationsanalyse, dass der Relativtrag der Ackerbohnen und der Relativtrag der Weizen fast immer negativ und oftmals statistisch signifikant miteinander korrelierten (Tab. AVI bis Tab. AVIII;  $-0,580 < r < 0,902^{**}$ ). Im Jahr 2017 konnte in der Gemengesituation mit Genius eine Ausnahme festgestellt werden; hier war die Korrelation zwischen dem Relativtrag der Ackerbohnen und des Relativtrags des Weizens positiv, wenn auch niedrig (Tab. AVIII;  $r = 0,348_{ns}$ ).



**Abb. A6:** Zusammenhang zwischen den mittleren Relativtrag der Ackerbohnen und dem mittleren Relativtrag der Weizensorten je Gemengesituation (GTa1, GTa2, GTa3). Korrelationskoeffizienten, Mittelwerte und Grenzdifferenzen (GD 5 %) sind gegeben. Das graue Dreieck zeigt einen  $RYT > 1$ .



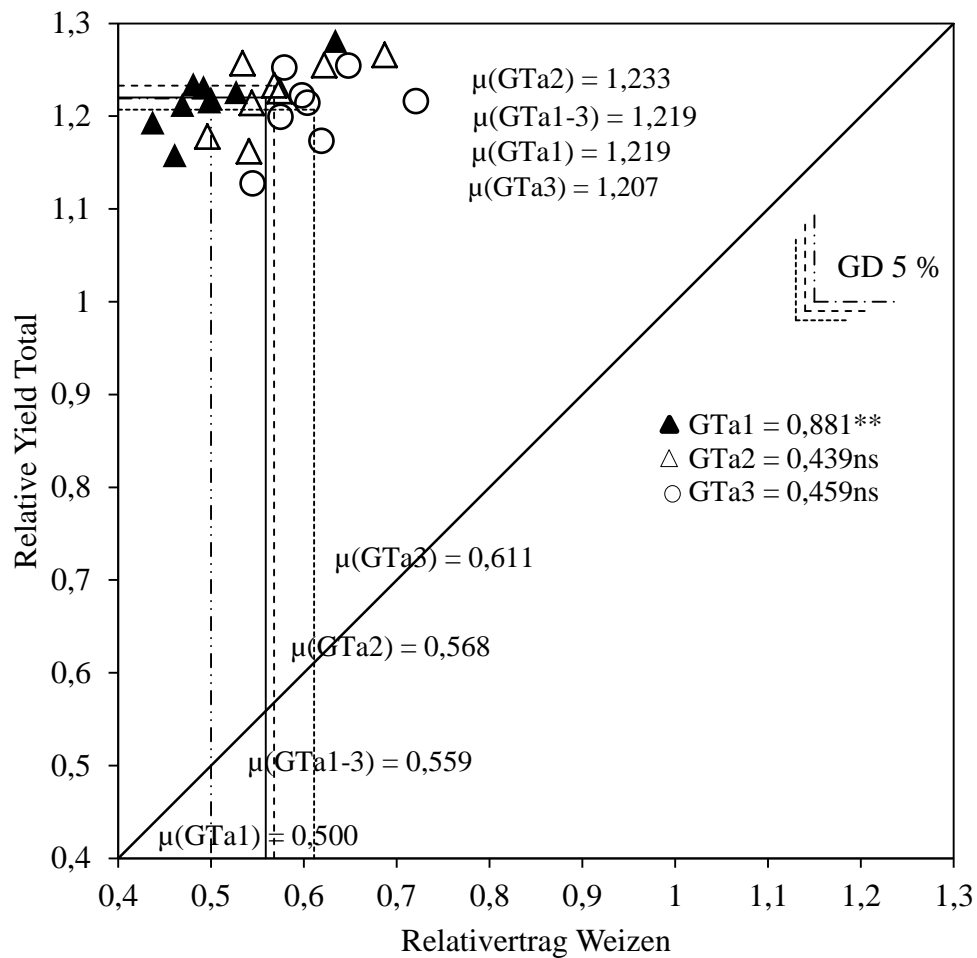
Die Korrelation zwischen dem Relative Yield Total und dem ersten seiner zwei Bausteine, dem Relativertrag der Ackerbohnen in den drei Gemengesituationen zeigte, dass die Korrelation in den Gemengen mit Genius (Ta1) negativ und nicht signifikant war (Abb. A7;  $r = -0,530_{ns}$ ). Im Kontrast dazu waren die Korrelationen zwischen den Relative Yield Totals und dem Relativertrag der Ackerbohnen für die Gemenge mit Boxer (Ta2) und Hybery (Ta3) positiv, allerdings statistisch nicht signifikant (Abb. A7;  $0,358_{ns} < r < 0,406_{ns}$ ).



**Abb. A7:** Zusammenhang zwischen dem Relative Yield Total und dem mittleren Relativertrag der Ackerbohnen je Gemengesituation (GTa1, GTa2, GTa3). Korrelationskoeffizienten, Mittelwerte und Grenzdifferenzen (GD 5 %) sind gegeben.

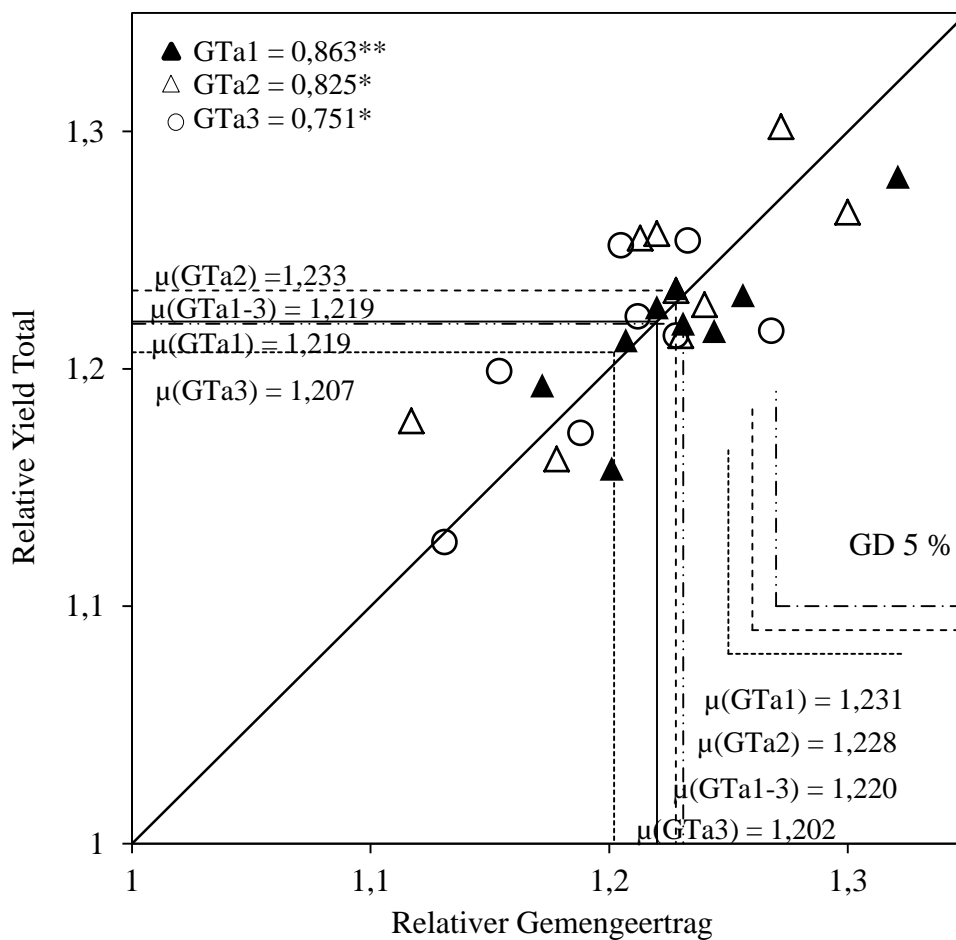
Der Relative Yield Total und der Relativertrag des Weizen Ta1 (Genius) waren positiv und statistisch signifikant miteinander korreliert (Abb. A8;  $r = 0,881^{**}$ ). Im Vergleich dazu waren die Korrelationen zwischen den RYT und den Relativerträgen der Weizen 2 und Weizen 3 ebenso positiv, aber statistisch nicht signifikant (Abb. A8;  $0,439_{ns} < r < 0,459$ ). Betrachtet man die Korrelationen jahresweise ( $J=3$ ), so wird deutlich, dass die Korrelationen zwischen

den jeweiligen RYT und der Relativerträge der dazugehörigen Weizen positiv und negativ ausfielen (Tab. AVI bis Tab. AVIII).



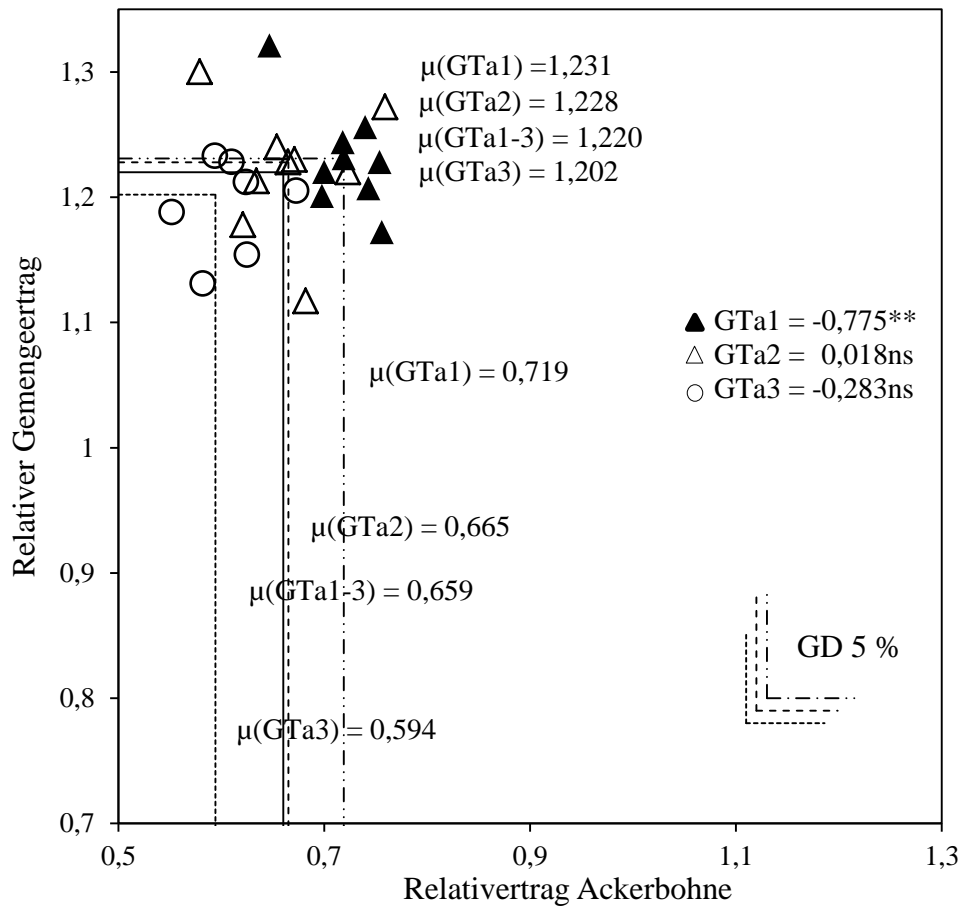
**Abb. A8:** Zusammenhang zwischen dem Relative Yield Total und den mittleren Relativerträgen der Weizen je Gemengesituation (GTa1, GTa2, GTa3). Korrelationskoeffizienten, Mittelwerte und Grenzdifferenzen (GD 5 %) sind gegeben.

Der RYT und der Relative-Gemengeertrag sind für alle drei Gemengesituationen positiv und statistisch signifikant miteinander korreliert (Abb. A9;  $0,751^* < r < 0,863^{**}$ ). Diese positiven statistisch signifikanten Korrelationen finden sich auch bei der Betrachtung der jahresweisen Korrelationsanalyse für die Jahre 2015 und 2017 wieder (Tab. AVI bis Tab. AVIII;  $0,752^{**} < r < 0,997^{**}$ ). Für das Jahr 2016 sind diese Korrelationen für die Gemenge mit Weizen 1 und Weizen 3 zwar positiv, aber statistisch nur signifikant bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $P = 0,10$  (Tab. AVI bis Tab. AVIII; GTa1:  $0,672^+$ , GTa3:  $0,624^+$ ).



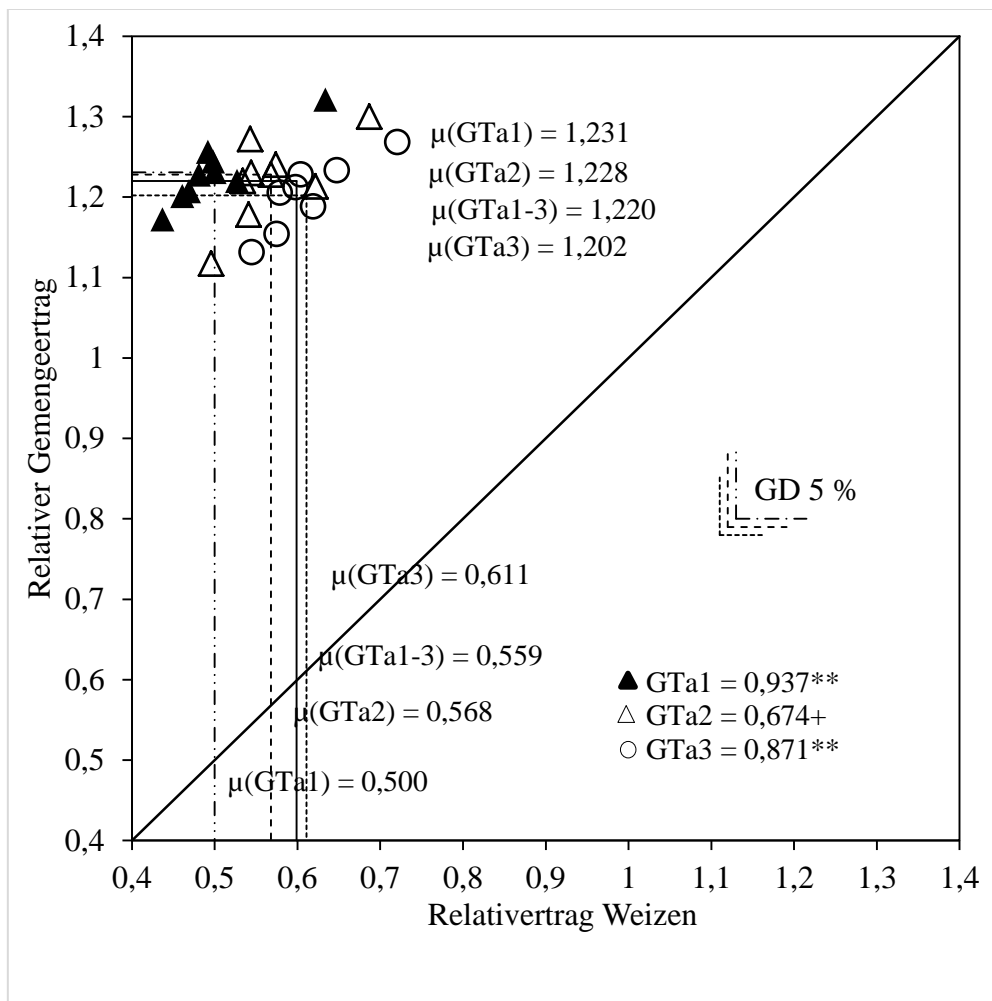
**Abb. A9:** Zusammenhang zwischen dem Relativ Yield Total und dem relativen Gemengeertrag der jeweiligen Gemengesituation (GTa1, GTa2, GTa3). Korrelationskoeffizienten, Mittelwerte und Grenzdifferenzen (GD 5 %) sind gegeben.

Die Korrelationen zwischen dem relativen Gemengeertrag und dem Relativertrag der Ackerbohnen fiel für die drei Gemengesituationen unterschiedlich aus. So war die Korrelation zwischen diesen beiden Merkmalen für die Gemenge mit Genius (Ta1) positiv und statistisch signifikant ( $r = 0,775^{**}$ ), mit Boxer (Ta2) nahe Null ( $r = 0,018^{ns}$ ) und für die Gemenge mit Hybery (Ta3) leicht negativ und statistisch nicht signifikant verschieden (Abb. A10;  $r = -0,283^{ns}$ ).



**Abb. A10:** Zusammenhang zwischen dem Relativen Gemengeertrag und dem Relativertrag der Ackerbohnen der jeweiligen Gemengesituation (GTa1, GTa2, GTa3). Korrelationskoeffizienten, Mittelwerte und Grenzdifferenzen (GD 5 %) sind gegeben.

Ein anders Bild ergab sich bei der Korrelationsanalyse zwischen den relativen Gemengeerträgen und den Relativverträgen der drei Weizen. Hier waren die Korrelationen zwischen diesen beiden Merkmalen für alle drei Gemengesituationen positiv korreliert (Abb. A11). Die Korrelationskoeffizienten reichten von  $r = 0,674+$  für die Gemenge mit Boxer (GTa2) über  $r = 0,871^{**}$  für die Gemenge mit Hybery (GTa3) bis hin zu  $r = 0,937^{**}$  für die Gemenge mit Genius (GTa1).

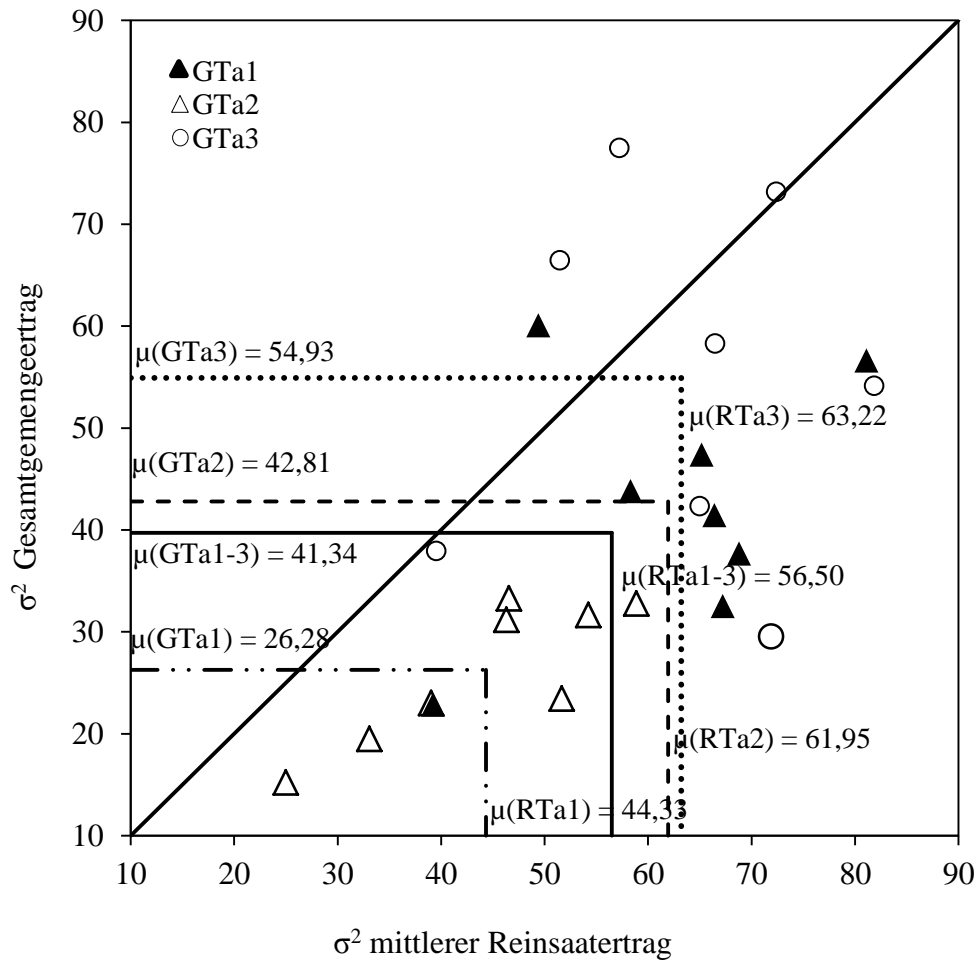


**Abb. A11:** Zusammenhang zwischen dem Relativen Gemengeertrag und dem Relativvertrag der Weizen der jeweiligen Gemengesituation (GTa1, GTa2, GTa3). Korrelationskoeffizienten, Mittelwerte und Grenzdifferenzen (GD 5 %) sind gegeben.

### 3.1.5. Ertragsstabilität von Reinsaaten und Gemengen

Um die Ertragsstabilität bzw. die durch Umweltunterschiede bedingte Variation von Kandidaten (hier Reinsaat- und in Gemengeerträge) zu vergleichen, gibt es eine Vielzahl von statischen Methoden. In dieser Arbeit soll der Vergleich der Ertragsstabilität anhand der direkten, umweltbedingten Varianz erfolgen. Dazu wurden die umweltbedingten Varianzen der mittleren Reinsaatkornenerträge (Mittelwerte je Umwelt aus  $W = 4$  Wiederholungen) für jeden Ackerbohnen genotyp über sechs Umwelten als Referenzgröße einzeln berechnet, um diese mit der Varianz der Gesamtkornenerträge ihrer Gemenge zu vergleichen. Ebenso wurden diese umweltbedingten Varianzen für den Gesamtkornenertrag im Gemenge (Ackerbohnen ertrag + Weizen ertrag) mit jedem der drei Winterweizen einzeln berechnet. Zudem wurden diese einzelnen Varianzen für Reinsaaten und Gemengesituation jeweils über die acht Bohnen und drei Gemengesituationen zur Mittelwertbildung herangezogen. (Abb. A12).

Die mittlere umweltbedingte Varianz der Reinsaatkornenerträge ( $dt^2 \text{ ha}^{-2}$ ) der acht Ackerbohnen genotypen betrug 56,50 und die mittlere umweltbedingte Varianz der Gesamt-Gemengeerträge aller drei Gemengesituationen lag bei 41,34 (Abb. A12). Somit lag die umweltbedingte Varianz in den mittleren Ackerbohnenreinsaat erträgen höher als in den Gesamt-gemengeerträgen. Betrachtet man die Varianzen der Gesamtkornenerträge für jede der drei Gemengesituationen einzeln, so zeigt sich, dass die Varianzen von 26,28 (GTa1) über 42,81 (GTa3) bis hin zu 54,93 (GTa3) variierten. Dagegen reichten die umweltbedingten Varianzen der mittleren Reinsaat erträge von 44,33 (RTa1) über 61,95 (RTa2) bis hin zu 63,22 (GTa3). Damit lagen alle Varianzen der mittleren Reinsaatkornenerträge über den Varianzen ihrer zugehörigen Gesamtkornenerträge der Gemenge (Abb. A12). Der F-Test zeigte, dass sich die umweltbedingte Varianz des mittleren Gesamtertrags im Gemenge ( $\sigma^2 = 41,34$ ) sich von der umweltbedingten Varianz des mittleren Korn ertrags der Reinsaaten ( $\sigma^2 = 56,50$ ) statistisch nicht signifikant unterschied (F-Wert: 1,37 ns;  $P = 0,05$ ).



**Abb. A12:** Varianzvergleich zwischen den Gesamtkornerträgen der jeweiligen Gemengesituation (mit Ta1, Ta2 und Ta3) und den Varianzen der Kornerträge ihrer Reinsaatzmittel ( $dt^2 ha^{-2}$ ) als Bezugsbasis. Mittlere Varianzen sind gegeben.

### 3.1.6. Stroh und oberirdischer Gesamtmähdruschertrag in Reinsaat und Gemenge

Die Stroherträge wurden bei der Mähdruschernte erfasst. Die Stroherträge der Gemenge setzen sich aus dem jeweiligen Ackerbohnen- und Weizenstroh zusammen und wurden nicht getrennt. Im Jahr 2017 wurde am Standort Deppoldshausen aufgrund von starker Verunkrautung der Parzellen auf eine Erhebung der Stroherträge verzichtet. Für diese Varianzanalyse wurden die übrigen Standorte und Jahre zu  $U = 5$  Umwelten zusammengefasst, um eine nach Standorten und Jahren unbalancierte Analyse zu vermeiden. Das Versuchsmittel der Ackerbohnenreinsaaten lag bei  $31,4 \text{ dt ha}^{-1}$ . Damit lagen sie  $3,7 \text{ dt ha}^{-1}$  unter dem Mittelwert der drei Gemengevarianten (Tab. A32). Im Mittel über die acht Ackerbohnen genotypen erreichten die Gemenge mit Ta3 (Hybery) die höchsten Stroherträge ( $36,4 \text{ dt ha}^{-1}$ ). Wie auch schon bei den Kornerträgen waren die Korrelationen zwischen dem mittleren Strohertrag der Reinsaaten (Ackerbohne und Weizen) zu ihren korrespondierenden Gemengesituation positiv und statistisch signifikant ( $0,76^* < r < 0,97^{**}$ ).

Die Varianzanalyse zeigte, dass die Gemenge einen statistisch signifikant höheren Strohertrag erzielten als die Ackerbohnen-Reinsaaten (Tab. A32 und Tab. A33;  $P \text{ vs. } K^*$ ). Alle Hauptfaktoren hatten einen statistisch signifikanten Effekt auf die Stroherträge (Tab. A33;  $10,58^{**} < F\text{-Wert} < 31,41^{**}$ ). Dabei erklärte die Anbauweise ( $K=4$ , Ackerbohnen-Reinsaat oder Gemenge mit Ta1, Ta2, oder Ta3) und Ackerbohnen genotyp einen ähnlich großen Anteil an der Gesamtvarianz. Ebenso unterschieden sich die drei Gemengesituationen untereinander statistisch signifikant in ihrem Strohertrag ( $K^*$ ; Tab: A33) voneinander. Die Anbauweise-Winterackerbohnen genotyp-Interaktionen hatten keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Stroherträge.

Die drei Winterweizensorten erreichten in ihren Reinsaaten einen mittleren Strohertrag von  $30,2 \text{ dt ha}^{-1}$  (Tab. AXVIII; Ta1:  $26,9 \text{ dt ha}^{-1}$ , Ta2:  $30,8 \text{ dt ha}^{-1}$ ; Ta3:  $32,7 \text{ dt ha}^{-1}$ ). Der Hauptfaktor Winterweizensorte hatte dabei einen signifikanten Einfluss auf den Strohertrag der Weizenreinsaaten (Tab. AXIX;  $F\text{-Wert: } 19,34^{**}$ ).



**Tab. A32:** Stroherträge (dt ha<sup>-1</sup>) zur Mähdruschernte der acht Winterackerbohnen genotypen (Vf1-Vf8) in den Reinsaat (VfR) und den Gemengen mit den Weizen (Ta1, Ta2, Ta3); aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen genotyp und Weizensorte. Die Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

Hauptfaktor		Hauptfaktor K			Mittel
Vf	VfR	Ta1	Ta2	Ta3	μ Ta
Vf1	31,0	33,4	36,2	36,6	35,4
Vf2	26,3	29,8	33,5	35,7	33,0
Vf3	30,7	32,1	36,8	37,2	35,4
Vf4	34,0	<b>35,8</b>	<b>39,7</b>	36,1	37,2
Vf5	30,0	32,2	34,0	34,9	33,7
Vf6	<b>38,0</b>	37,6	37,5	<b>38,5</b>	<b>37,9</b>
Vf7	<b>26,3</b>	<b>29,4</b>	<b>32,3</b>	<b>34,4</b>	<b>32,0</b>
Vf8	35,2	34,6	35,7	38,1	36,1
μ	31,4	33,1	35,7	36,4	<u>35,1</u>

**Tab. A33:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Test der Stroherträge der Gemenge und der Stroherträge der Ackerbohnenreinsaat (P) zur Mähdruschernte (K=4; K\*=3) mit den acht Winterackerbohnen genotypen (B=8), erhoben an fünf Umwelten (U=5) in je vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
U	4	13583,75	99,086	15,08**	8,00
R:U	15	900,76	26,678	19,13**	3,40
B	7	510,73	5,796	10,85**	2,15
BU	28	63,29	1,013	1,34ns	4,81
BR:U	105	47,08	4,841	1,70**	7,32
K	3	870,64	5,268	31,41**	1,16
K*	2	488,72	-	17,63**	-
P vs. K*	1	1634,47	-	58,96**	-
KU	12	413,69	12,062	14,92**	2,59
KB	21	49,34	1,081	1,78*	3,27
K*B	14	34,40	-	1,24ns	-
(P vs. K*)B	7	79,23	-	2,86**	-
KBU	84	33,68	1,490	1,21ns	7,32
KBRU	356	27,72	27,722		
Total	635				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var. Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; \*: P < 0,05; ns: nicht signifikant.

Der Gesamtmähdruschertrag zur Mähdruschreife ergibt sich aus der Summe des Strohertrags und bereinigten Kornertrags ( $\text{dt ha}^{-1}$ ). Im Mittel über alle fünf Umwelten erreichten die Winterackerbohnen genotypen in ihren Reinsaaten einen Gesamtmähdruschertrag von insgesamt  $67,8 \text{ dt ha}^{-1}$  (Tab. A34). Die Differenz zwischen dem ertragsschwächsten (Vf2) und dem ertragsstärksten (Vf6) Winterackerbohnen genotypen lag bei  $12 \text{ dt ha}^{-1}$ . Die Varianzanalyse zeigte, dass alle Hauptfaktoren einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Summe aus Korn- und Strohertrag zur Mähdruschreife der Ackerbohnenreinsaaten ausübten ( $4,40^{**} < \text{F-Wert} < 9,14^{**}$ ).

Im Mittel über alle Umwelten und die drei Gemengesituationen ergab sich ein Versuchsmittel für die Summe aus Korn- und Strohertrag in Höhe von  $77,6 \text{ dt ha}^{-1}$  (Tab. A34). Die drei Gemengesituationen erreichten einen Gesamtmähdruschertrag von  $74,1 \text{ dt ha}^{-1}$  (Ta1), über  $77,0 \text{ dt ha}^{-1}$ , bis hin zu  $81,4 \text{ dt ha}^{-1}$  (Ta3). Im Mittel über die drei Gemengesituationen erreichten die Gemenge von Vf3 den höchsten Gesamtmähdruschertrag. Die Varianzanalyse zeigte, dass die Gemenge eine statistisch signifikant höhere Summe an Korn- und Strohertrag erreichten als die Ackerbohnen-Reinsaaten (Tab. A34 und Tab. A35; P vs. K\*; F-Wert =  $193,75^{**}$ ). Alle Hauptfaktoren hatten einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Summe aus Korn und Stroh, im Mittel über die Reinsaaten und die drei Gemengesituationen (Tab. A35). Die drei Gemengesituationen unterschieden sich ebenso statistisch signifikant in ihrer Summe aus Korn- und Strohertrag zur Mähdruschernte (Tab. A35. F-Wert:  $42,00^{**}$ ).

Die drei Weizen erreichten in ihren Reinsaaten eine mittlere Summe aus Korn- und Stroh von  $64,0 \text{ dt ha}^{-1}$  (Tab. AXV; Ta1:  $56,6 \text{ dt ha}^{-1}$ , Ta2:  $64,2 \text{ dt ha}^{-1}$ ; Ta3:  $71,2 \text{ dt ha}^{-1}$ ). Der Hauptfaktor Winterweizensorte hatte hierbei einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Summe aus Korn- und Strohertrag der Weizenreinsaaten (Tab. AXXI; F-Wert:  $16,15^{**}$ ).

**Tab. A34:** Gesamtmährdruschertrag zur Mährdruschreife (dt ha<sup>-1</sup>) der acht Winterackerbohnenengenotypen (Vf1-Vf8) in den Reinsaat (VfR) und den Gemengen mit den Weizen (Ta1, Ta2, Ta3); aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnenengotyp und Weizensorte. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

Hauptfaktor		Hauptfaktor K			Mittel
Vf	VfR	Ta1	Ta2	Ta3	$\mu$ Ta
Vf1	64,8	73,2	76,7	82,1	77,3
Vf2	<b>61,4</b>	72,5	76,5	<b>84,3</b>	77,8
Vf3	69,2	73,5	<b>80,8</b>	84,0	<b>79,4</b>
Vf4	71,7	77,3	80,8	79,2	79,1
Vf5	64,4	72,6	<b>74,1</b>	79,0	75,2
Vf6	<b>73,4</b>	<b>77,7</b>	76,3	83,3	79,1
Vf7	66,1	<b>71,7</b>	74,4	81,9	<b>76,0</b>
Vf8	71,4	74,1	76,1	<b>81,2</b>	77,2
$\mu$	67,8	74,1	77,0	81,9	<u>77,6</u>

**Tab. A35:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests des Gesamtmährdruschertrags zur Mährdruschreife der Gemenge und der Winterackerbohnenreinsaat (K=4; K\*=3; Winterackerbohnenreinsaat=P) mit den acht Winterackerbohnenengenotypen (B=8), erhoben an fünf Umwelten (U=5) in je vier Wiederholungen (R= 4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
U	4	16547,40	112,31	7,62**	12,41
R:U	15	2171,27	63,55	15,76**	5,82
B	7	303,74	2,07	2,20*	3,68
BU	28	343,87	12,88	2,50**	8,23
BR:U	101	137,80	19,52	2,31**	10,75
K	3	5527,73	34,18	92,58**	1,70
K*	2	2507,61	15,36	42,00**	1,56
P vs. K*	1	11567,96	-	193,75**	-
KU	12	1380,64	41,28	23,12**	3,80
KB	21	122,11	3,12	2,05**	4,81
K*B	14	86,93	3,12	1,46ns	4,41
(P vs. K*)B	7	192,48	-	3,22**	-
KBU	84	74,23	3,63	1,24+	10,75
KBRU	341	59,71	59,71		
Total	616				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var. Kp, Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; \*: P < 0,05; +: P < 0,10; ns: nicht signifikant.

Die Strohertragsdifferenzen und die Differenzen des Gesamtmähdruschertrags zur Mähdruschernte wurden nach der gleichen Vorgehensweise wie die Korntragsdifferenzen berechnet. So zeigen auch in diesen Merkmalen positive Werte einen Ertragsvorteil der Gemenge gegenüber dem Mittelwert der korrespondierenden Reinsaaten.

Das Versuchsmittel der Strohertragsdifferenz zwischen den Gemengen und dem Mittelwert ihrer zugehörigen Reinsaaten lag bei 4,3 dt ha<sup>-1</sup> und der Summe aus Korn- und Strohertrag an Trockenmasse bei 11,7 dt ha<sup>-1</sup> (Tab. A36 und Tab. A38). Die Umwelt war der einzige Haupteffekt, der einen statistisch signifikanten Effekt auf die Strohertragsdifferenz zwischen den Gemengen und ihren Reinsaaten ausübte (Tab. A37). Dagegen hatten die Haupteffekte Umwelt, Winterackerbohnen-genotyp und Winterweizensorte einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Differenz der Gesamtmähdruscherträge zum Mähdruschzeitpunkt (Tab. A39; 2,04+ < F-Wert < 22,68\*\*).

Es handelt sich bei diesen Differenzen um einen Ertragsvorteil der Gemenge verglichen zum Mittel ihrer Reinsaaten. Dieser Ertragsvorteil war für jede der drei Gemengesituationen sowohl für den Stroh- als auch für die Summe aus Korn- und Stroh-Trockenmasseertrag statistisch signifikant und somit größer als Null (8,32\*\* < T-Werte < 24,11\*\*).

**Tab. A36:** Absolute Strohertragsdifferenz (dt ha<sup>-1</sup>) zwischen den Gemengen mit den Winterweizen (W=3) Genius (Ta1), Boxer (Ta2) und Hybery (Ta3) und dem Mittel ihrer Reinsaaten aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen-genotyp. Die Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

Hauptfaktor	Hauptfaktor K			Mittel
Vf	Ta1	Ta2	Ta3	μ
Vf1	4,5	5,3	4,8	4,8
Vf2	3,2	4,5	<b>6,1</b>	4,6
Vf3	3,3	6,1	5,5	5,0
Vf4	<b>5,6</b>	<b>6,8</b>	<b>2,7</b>	<b>5,0</b>
Vf5	4,0	3,5	3,7	3,7
Vf6	5,5	3,4	3,6	4,2
Vf7	<b>2,8</b>	3,8	4,9	3,8
Vf8	3,4	<b>2,3</b>	4,0	<b>3,3</b>
μ	4,0	4,4	4,4	<u>4,3</u>

**Tab. A37:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für die absolute Differenz der Stroherträge (dt ha<sup>-1</sup>) zur Mähdruschreife zwischen den Gemengen mit den Winterweizen (W=3) Genius (Ta1), Boxer (Ta2) und Hybery (Ta3) und dem Mittel ihrer Reinsaat (B=8) und an fünf Umwelten (U=5) mit je vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
U	4	354,53	2,85	4,39*	2,77
R:U	15	80,85	1,71	2,03*	3,62
B	7	26,04	-0,23	0,65ns	2,29
BU	28	50,07	0,85	1,26ns	5,11
BR:U	99	39,83	4,54	1,52**	8,24
K	2	8,02	-0,11	0,31ns	1,13
KU	8	58,91	1,02	2,25*	2,52
KB	14	33,63	0,37	1,28ns	3,19
KBU	56	31,70	1,37	1,21ns	7,13
KBRU	228	26,21	26,21		
Total	461				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*: P < 0,05; ns: nicht signifikant.

**Tab. A38:** Absolute Differenz der Gesamtmähdruscherträge (dt ha<sup>-1</sup>) zur Mähdruschreife zwischen den Gemengen mit den Winterweizen (W=3) Genius (Ta1), Boxer (Ta2) und Hybery (Ta3) und dem Mittel ihrer Reinsaat aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen-genotyp. Die Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

Hauptfaktor	Hauptfaktor K			Mittel
Vf	Ta1	Ta2	Ta3	μ
Vf1	12,5	12,2	14,7	13,1
Vf2	<b>13,6</b>	<b>13,7</b>	<b>18,0</b>	<b>15,1</b>
Vf3	10,6	14,1	13,8	12,8
Vf4	13,3	12,7	<b>7,8</b>	11,2
Vf5	12,8	9,8	11,1	11,2
Vf6	13,4	7,8	11,8	11,0
Vf7	10,3	9,2	13,3	11,0
Vf8	<b>10,1</b>	<b>4,7</b>	9,8	<b>8,2</b>
μ	12,1	10,5	12,5	<u>11,7</u>

**Tab. A39:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für die absolute Differenz der Gesamtmähdruscherträge (dt ha<sup>-1</sup>) zur Mähdruschernte zwischen den Gemengen mit den Winterweizen (W=3) Genius (Ta1), Boxer (Ta2) und Hybery (Ta3) und dem Mittel ihrer Reinsaat (B=8) und an fünf Umwelten (U=5) mit je vier Wiederholungen (R=4).

<b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>Var.Kp.</b>	<b>F-Wert</b>	<b>GD (5 %)</b>
U	4	3450,89	34,362	22,68**	3,79
R:U	15	152,17	1,320	1,26ns	6,29
B	7	245,26	2,079	2,04+	3,98
BU	28	154,78	2,857	1,28ns	8,89
BR:U	100	120,50	18,425	1,85**	12,99
K	2	173,62	0,678	2,66+	1,78
KU	8	85,17	0,624	1,31ns	3,98
KB	14	104,35	1,956	1,60ns	5,03
KBU	56	58,01	-1,802	0,89ns	11,25
KBRU	226	65,22	65,221		
Total	460				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; + P < 0,10; ns: nicht signifikant.

### 3.2. Diskussion zu Kapitel A

Die acht Winterackerbohnen genotypen unterschieden sich statistisch signifikant in ihrem Reinsaatkornenertrag im Mittel der drei Versuchsjahre und der zwei Versuchsstandorte (Tab. A2). Landry et al. 2016 konnten ebenfalls einen statistisch signifikanten Unterschied in den Kornträgen für die 20 von Ihnen untersuchten Winterackerbohnen genotypen nachweisen (darunter auch Hiverna/2). In gewisser Weise spiegelt diese Signifikanz die Bemühungen bei der Genotypenauswahl für das IMPAC<sup>3</sup>-Projekt wieder. Einerseits sollten für das Gemenge mit Winterweizen agronomisch taugliche und andererseits sehr unterschiedliche Winterackerbohnen genotypen ausgewählt werden, deren Variation die Aussagekraft im Hinblick auf die Hypothesen des IMPAC<sup>3</sup>-Projektes verspricht. Insbesondere vor dem Hintergrund des vergleichsweise engen Genpools von Winterackerbohnen ist der statistisch signifikante Unterschied im Korntrag der acht Winterackerbohnen genotypen für die Pflanzenzüchtung von Bedeutung. Aktuell steht nur Zuchtmaterial von drei Institutionen und Pflanzenzüchtern zur Verfügung: (1) das vom PBI Cambridge (Bond et al. 1986), welches mittlerweile von Wherrys und Sons in Großbritannien genutzt wird und (2) das Zuchtmaterial welches von Littmann entwickelt, von Herzog in Berlin untersucht und nun hauptsächlich von der NPZ Lembke in Hohenlieth und der Georg-August-Universität in Göttingen bearbeitet wird, sowie (3) das Zuchtmaterial von Agri-Obtentions in Frankreich, das hauptsächlich aus Arbeiten in Rennes (Berthelem 1970) und Dijon zurück geht (Link et al. 2010). Für dreißig Jahre war als einzige Winterackerbohne die Sorte Hiverna (1986) in Deutschland zugelassen. Seit dem Jahr 2017 ist nun auch die Sorte GL Arabella und seit dem Jahr 2018 die Sorte Augusta in Deutschland zugelassen. Demgegenüber stehen neun in Deutschland zugelassene Sommerackerbohnen sorten (Bundessortenamt 2018); diese Zahl war in den zurückliegenden Jahrzehnten sogar noch höher.

Im Mittel der drei Versuchsjahre erzielten die Winterweizensorten in ihren Reinsaatens lediglich einen Korntrag von 34,76 dt ha<sup>-1</sup> und auch das Ertragsniveau der Winterackerbohnen genotypen in den Reinsaatens war im Mittel meiner Versuche vergleichsweise niedrig mit 35,57 dt ha<sup>-1</sup> und lag damit eher auf dem Niveau von Sommerackerbohnen (vgl. Flores et al. 2013). Das Ertragsniveau von Winterackerbohne und Winterweizen in ihren Reinsaatens war also im Mittel sehr ähnlich. Der geringe Korntrag des Winterweizens ist mit großer Wahrscheinlichkeit durch die fehlende Stickstoffdüngung zu erklären. Das Ertragsniveau von Winterweizen lag im Mittel der Jahre (2015, 2016 und 2017) in Deutschland bei 77,6 dt ha<sup>-1</sup> (Statista, 2018), also mehr als doppelt so hoch wie der Reinsaatenertrag der Winterweizensorten in

den IMPAC<sup>3</sup>-Versuchen. Ein Grund für die niedrigen Kornerträge der Winterackerbohnen ist sicher die hohe Aussaatstärke der Ackerbohnen in ihren Reinsaaten, mit 40 keimfähigen Samen pro Quadratmeter, und die damit einhergehende hohe intraspezifische Konkurrenz in den Bohnenreinsaaten. Die optimale und in der landwirtschaftlichen Praxis empfohlene Aussaatstärke für Winterackerbohnen in den Reinsaaten beträgt zwischen 18 und 23 keimfähigen Samen pro Quadratmeter (Link et al. 2010, Guddat et al. 2014). Ein weiterer Grund wird wohl das späte und teilweise unterlassene Einsetzen von Fungiziden und Insektiziden sein. Die Vorgehensweise in der Bestandesführung des IMPAC<sup>3</sup>-Projektes war nicht auf Ertragsmaximierung der Pflanzenbestände, sondern auf die Provokation von Gemengevorteilen ausgerichtet. Zudem hatten die Jahresunterschiede einen enormen Effekt auf die Winterackerbohnen-erträge in den Reinsaaten (vgl. Tab. A2). So war das Jahr 2015 ein eher moderates Jahr, das Jahr 2016 ein eher nasses Jahr und das Jahr 2017 ein eher trockenes (vgl. Abb. M1). Das spiegelt sich auch in den Winterackerbohnen-genotyp-Jahres-Interaktionen wieder (Tab. A2). Basierend auf den Varianzkomponenten dieser Varianzursache zeigte sich, dass der größte Anteil an der Gesamtvarianz durch diese Interaktionen erklärt wurde und somit wurde der Ertrag der Winterackerbohnen-genotypen in Reinsaaten maßgeblich durch diese Interaktionen bestimmt. So hatte die Interaktion zwischen der Vf8 und dem Jahr 2015 einen positiven (Interaktionseffektgröße: +2,92 dt ha<sup>-1</sup>) und die Interaktion mit dem Jahr 2016 sehr negativen (Interaktionseffektgröße: -7,35 dt ha<sup>-1</sup>) Einfluss auf den Kornertrag dieser Winterackerbohne. Dagegen hatte die Interaktion zwischen der Vf2 und dem Jahr 2015 einen negativen Effekt (Interaktionseffektgröße: -2,45 dt ha<sup>-1</sup>) und mit dem Jahr 2016 einen sehr positiven (Interaktionseffektgröße: +7,56 dt ha<sup>-1</sup>). Die S\_062 (Vf2) ist eine sehr kurzwüchsige Winterackerbohne und zeigte vor allem im Jahr 2016 die geringste Lagerneigung, was diese sehr hohen positiven Interaktionseffekte plausibilisieren könnte (vgl. Kap. B). Pilbeam et al. 1990, berichteten ebenso, dass die Interaktionen mit den Jahren einen sehr großen Effekt auf den Kornertrag von Sommerackerbohnen in Reinsaaten hatten. López-Bellido et al. 2005 schreiben, dass die Variation der Kornerträge zwischen den Jahren unvorhersagbar sei. Hier wird deutlich, dass für die (Winter-) Ackerbohne im Hinblick auf ihre Ertragsstabilität noch weitere Züchtungsarbeit notwendig ist.

Es zeigte sich, dass auch signifikante genetische Variation zwischen den acht Winterackerbohnen bezüglich ihres Bohnenertrags in den Gemengen vorlag. In der Arbeit von Atuahene-Amankwa und Michaels 1997 fanden sich in ähnlicher Weise statistisch signifikante Unterschiede im Kornertrag von Stangenbohnen-genotypen im Gemenge mit Mais. Ebenso wie bei den Reinsaat-erträgen waren die Winterackerbohnen-genotyp-Jahres-Interaktionen sehr groß



(Tab. A7). Die Bohnenerträge der Gemenge lagen im Mittel der Versuche bei 22,36 dt ha<sup>-1</sup> (Tab. A6). Damit erreichten die Winterackerbohnen in ihren Gemengen bei halber Aussaatstärke ca. 63 % des Kornertrags bezogen zum Mittel ihrer Reinsaatserträge. Der Hauptfaktor Winterweizensorte hatte ebenso einen statistisch signifikanten Effekt auf die Resultate des Winterackerbohnenkornertrags und auf den Winterweizenkornertrag im Gemenge. Hauggaard-Nielsen und Jensen (2001) führten Gemengeversuche mit Gerste (*Hordeum Vulgare* L.) und Erbsen durch. In ihrer Arbeit konnte weder auf den Erbsen- noch auf den Gerstenertrag im Gemenge ein statistisch signifikanter Einfluss der Gerstensorte festgestellt werden. Damit scheinen die in den IMPAC<sup>3</sup>-Versuchen untersuchten drei Winterweizensorten untereinander diverser zu sein und zeigen entsprechend eine differenziertere Konkurrenzfähigkeit gegenüber den Winterackerbohnen als die bei Hauggaard-Nielsen und Jensen (2001) untersuchten Gerstensorten zu den dort verwendeten Erbsen. Auch dieses ist zu großen Teilen das Resultat der absichtlichen Auswahl von einerseits zwar mutmaßlich gemengeauglichen, andererseits aber im Phänotyp und Wüchsigkeit deutlich unterschiedlichen Weizensorten.

Es zeigte sich, dass die Winterackerbohnen, zusammen mit Genius im Gemenge angebaut, einen höheren Kornertrag erzielten als mit der Hybridweizensorte Hybery. Genius selbst erreichte in seinen Gemengen einen geringeren Kornertrag als Hybery. Daraus kann abgeleitet werden, dass Genius weniger konkurrenzstark gegenüber den Winterackerbohnen war als Hybery. Die Winterackerbohnen-Winterweizen-Interaktionen (Tab. A7 und Tab. A12) für den Winterackerbohnen- und den Winterweizenertrag der Gemenge war statistisch nicht signifikant. Damit ist je nach Ziel des Gemengeanbaus: (1) ein hoher Winterackerbohnenenertrag, (2) ein hoher Winterweizenertrag oder (3) ein hoher Gesamtgemengeertrag, das Erreichen des Ziels zum großen Teil schon allein durch die Wahl der beiden Gemengepartner bestimmt. So würde man nach diesen Versuchsergebnissen für das Ziel (1) die Kombination einer Bohne wie WAB-Fam157 (Vf7) mit Genius, jedoch für die Ziele (2) und (3) die Kombination einer Bohne wie die S\_062 (Vf2) mit Hybery vorziehen. Dennoch zeigte sich ein statistisch signifikanter Einfluss der Winterackerbohnen-Winterweizen-Interaktion im Gesamtgemengeertrag. Das wiederum spricht dafür, dass zumindest für den Gemengeertrag als Ganzes doch spezifische Interaktionen zwischen den acht Winterackerbohnen- und den drei Winterweizensorten zu erwarten sind, sodass eine Prüfung und züchterische Auslese der Winterackerbohnen für den Gesamtkornertrag im Gemenge mit diversen Winterweizensorten erfolgen müsste, da für den Gesamtertrag nicht oder nicht zuverlässig vom Gemenge mit einer Winterweizensorte auf die Gemenge mit weiteren Winterweizensorten geschlossen werden kann (vgl. Zimmermann 1996). Es sollte aber mit einbezogen werden, dass auch bei den Wintera-

ckerbohnen-genotyp-Winterweizeninteraktionen (BW) des Merkmals Gesamtgemengeertrag die Varianzkomponente im Vergleich zu den Varianzkomponenten der beiden Hauptfaktoren Winterackerbohnen-genotyp (B) und Winterweizensorte (W) sehr klein war (BW:  $0,446 \text{ kg}^2 \text{ ha}^{-2}$  < B:  $1,903 \text{ kg}^2 \text{ ha}^{-2}$  < W:  $5,863 \text{ kg}^2 \text{ ha}^{-2}$ ). Ferner sollte bei den Interpretationen der Nichtsignifikanz der Winterackerbohnen-Winterweizen-Interaktionen der Bohnenerträge und Weizenerträge bzw. der Signifikanz dieser Interaktionen für den Gesamtgemengeertrag in jedem Fall auch der Versuchsfehler mit betrachtet werden. Ein F-Wert, der ja ein Quotient ist, fällt nicht nur klein aus, wenn sein Zähler klein ist, sondern auch dann, wenn sein Nenner (Varianz des Versuchsfehlers) groß ist. Für diese Betrachtung eignet sich der Variationskoeffizient des Versuchsfehlers (Var.k). Der Variationskoeffizient des Versuchsfehlers lag für den Weizenertrag im Gemenge bei  $\text{Var.k} = 0,16$ ; für den Ackerbohnen-ertrag im Gemenge bei  $\text{Var.k} = 0,12$  und für den Gesamtkornertrag der Gemenge bei  $\text{Var.k} = 0,08$ . Damit zeigt sich, dass der relative Versuchsfehler, bezogen auf den Mittelwert des Gesamtgemengeertrags, deutlich geringer ausfällt als beim Ackerbohnen- oder Weizenertrag der Gemenge, ganz gleichsinnig mit dem Fehlen und Auftreten von Signifikanz.

Die Korrelationen zwischen dem Reinsaatkornertrag der Winterackerbohnen-genotypen und ihrem Ertrag in den drei Gemengen waren positiv, sehr hoch und statistisch signifikant. Je nach Gemengesituation lagen sie zwischen  $0,81^{***} < r < 0,87^{***}$ . Die Winterackerbohnen WAB-Fam157 (Vf7) und S\_069 (Vf3) waren in Bezug auf den Bohnenertrag sowohl in den Reinsaaten als auch im Gemenge die ertragsstärksten Bohnen (Tab. A1 und Tab. A6). Im Gegensatz dazu war die Winterackerbohne S\_062 in ihrer Reinsaat sowie im Gemenge die ertragsschwächste Winterackerbohne (wiederum Mittel über beide Standorte und die drei Versuchsjahre).

In den statischen Modellen für die ANOVAs wurde der Hauptfaktor Winterackerbohnen-genotyp als fester Hauptfaktor angenommen, daher soll in dieser Arbeit nicht zugleich aus der Perspektive von zufallsgewählten Genotypen auf Heritabilität für die einzelnen Merkmale geschlossen werden. Dennoch kann für speziell diese acht Winterackerbohnen-genotypen mit dem Parameter Wiederholbarkeit ein für feste Hauptfaktoren analoger, passender Parameter betrachtet werden (vgl. Kap. 2.4). So lag die Wiederholbarkeit für das Merkmal Bohnenreinsaat-ertrag bei  $h^2 = 79,2$  und für ihre Gemengeerträge, im Mittel der drei Winterweizen bei  $h^2 = 91,5$ . Die Wiederholbarkeit der Winterackerbohnen-erträge in den Reinsaaten sind also kleiner ausgefallen als die Wiederholbarkeit der Winterackerbohnen-erträge der Gemenge. Es ist also anscheinend so, dass die Gemengesituation die reproduzierbaren Unterschiede zwi-

schen den acht Ackerbohnen, für ihren eigenen Bohnenertrag, noch verstärkt. Dieses Ergebnis deckt sich mit dem Ergebnis aus der Arbeit von Zimmermann et al. 1984. Dort wurde beschrieben, dass die Selektion durch die höhere Heritabilität in den Gemengen für dieses Merkmal (*ceteris paribus*) einen größeren Selektionsgewinn mit sich bringt als eine Selektion von Kandidaten für den Kornertrag in den Bohnenreinsaat.

Betrachtet man die Wiederholbarkeit für den Kornertrag der acht untersuchten Winterackerbohnen genotypen zusammen mit den hohen Korrelationen zwischen Reinsaat- und Gemengeertrag der Bohnen, so lässt sich ableiten, dass Reinsaat-ertragsstarke Winterackerbohnen ihre Ertragsstärke (Bohnertrag) aufgrund ihres Genotyps beibehalten, unabhängig davon, mit welchem Winterweizen sie im Gemenge angebaut werden. Veränderungen in den Rängen der Winterackerbohnen in ihrem Reinsaat- und Gemengeertrag kommen dennoch vor. Dass in meiner Arbeit eine Selektion in Reinsaat aufgrund des Bohnenkornertrages zu den gleichen potentiellen Kandidaten führen würde wie eine Selektion im Gemenge mit Winterweizen ist ein grundsätzlicher Widerspruch zu dem was in vielen vorangegangenen Arbeiten postuliert wird. So heißt es bei Rauber et al. (2000), dass die Züchtung von Sorten (in diesem Fall Erbsen, *Pisum sativum* L.) für den Gemengeanbau im Gemenge oder unter sog. Konkurrenzbedingungen erfolgen muss. Es sei sehr wohl möglich, dass Sorten, die relativ hohe Reinsaaterträge erzielen, in Gemengen relativ ertragsschwächer sind als Sorten, die eher nur mittlere Erträge in Reinsaat erbringen. Dieses Phänomen nennt sich „Montgomery-Effekt“ (Montgomery, 1912). Im Widerspruch zum Montgomery-Effekt steht eine Anzahl an Studien, die ebenfalls positive und statistisch signifikante Korrelationen zwischen den Reinsaaterträgen und den Gemengeerträgen eines Gemengepartners aufzeigen, wie bspw. bei Francis et al. (1978). Aufgrund dieser Divergenz ist es für den allgemeinen Gemengeanbau wichtig, die Frage zu klären, ob, wenn das Ziel der Züchtung die Produktion im Gemenge ist, dann die Züchtung selbst schon im Gemenge unter den entsprechenden Konkurrenzbedingungen oder (weiterhin) in Reinsaat durchgeführt werden sollte.

In den wissenschaftlichen Arbeiten, die aufgrund ihrer Ergebnisse für die Notwendigkeit der Züchtung von Sorten im Gemenge für Gemengeanbau argumentieren, wird die Bedeutung der hohen Korrelationen (zwischen Reinsaat und Gemenge) damit entkräftet, dass selbst mit diesen hohen Korrelationen nicht perfekt vom Kornertrag einer Sorte in Reinsaat auf ihren Ertrag im Gemenge geschlossen werden könne (Zimmermann 1996); da die Korrelationen eben nicht  $r = 1$  beträgt. Dass aber der Korrelationswert von  $r = 1$  der sinnvolle Vergleich ist, ist meist eine unrealistische Unterstellung. Geht man von den Mittelwerten der Bohnenerträge in

Reinsaaten (N = 8 Bohnengenotypen) für jeden Standort in jedem Jahr aus (2 Standorte x 2 Jahre: N = 4 Experimente; das Jahr 2016 wurde aufgrund der extremen Wuchshöhe und das später eintretende Lager der Winterackerbohnen ausgeschlossen, vgl. Kap. B) und berechnet man die Korrelationen zwischen allen Paaren von Experimenten, so schwanken die Korrelationskoeffizienten zwischen den Bohnenreinsaatkornträgen von  $r = 0,29_{ns}$  bis  $r = 0,53_{ns}$  (im Mittel liegen die Korrelationen bei  $r = 0,42_{ns}$ ). Sie ist also selbst für dasselbe Merkmal, Reinsaatenertrag, niemals  $r = 1$ . Zum Vergleich betrachten wir nun aus derselben Perspektive die Korrelationen zwischen den Bohnenreinsaatenerträgen und ihren Gemengeerträgen, ebenfalls immer zwischen den vier verschiedenen Experimenten (ausgeschlossen sind die Korrelationen innerhalb desselben Experiments): im Mittel lag diese Korrelation bei  $r = 0,43_{ns}$  ( $-0,14_{ns} < r < 0,84^{**}$ ); die Korrelationen zwischen den Bohnenerträgen der Gemenge der vier Experimente lag im Mittel auch bei  $r = 0,42_{ns}$  ( $-0,06_{ns} < r < 0,95^{**}$ ). Die mittleren Korrelationskoeffizienten sind also gleich, die Aussagekraft ist dieselbe und die Voraussage des Bohnenertrags von Bohnenreinsaat zu Bohnenreinsaat, von Bohnenreinsaat zu Gemenge oder von Gemenge zu Gemenge ist praktisch gleich (und dennoch in keinem Fall  $r=1$ ).

Ein weiteres interessantes Ergebnis sind die durchweg negativen Korrelationen zwischen den Reinsaatenerträgen der Winterackerbohnen und den Weizenerträgen in ihren Gemengen (Tab. AV;  $-0,282_{ns} < r < -0,420_{ns}$ ). Hier wird deutlich, dass sich ein gewisser Anteil in der Variation der Weizenerträge der Gemenge schon als Spiegelbild der Variation der Winterackerbohnenenerträge ihrer Reinsaaten darstellen lässt.

Zusammenfassend zeigen die Resultate meiner Arbeit zum einen, dass der Selektionsgewinn (*ceteris paribus*) in dem Merkmal Bohnenkorntrag in den Gemengen aufgrund der höheren Wiederholbarkeiten vermutlich größer wäre (in dem hier gegebenen Material und Umwelten) als es bei einer Selektion in den Reinsaaten der Fall wäre (Zimmermann et al. 1984). Zum anderen ist es so, dass die Korrelationsanalysen zeigten, dass die ertragsstärksten Winterackerbohnen in Reinsaat zugleich die ertragsstärksten in ihren Gemengen waren, ungeachtet des Weizens mit dem sie angebaut wurden. In der Korrelationsanalyse zwischen den vier Experimenten stellte sich heraus, dass die Aussagekraft der Einzelexperimente im Bezug zum Bohnenkorntrag in Reinsaaten dieselbe ist, wie die Vorhersagekraft der Einzelexperimente für Gemenge basierend auf Reinsaaten.

Der Korntrag der Winterackerbohnen in ihren Gemengen war stets negativ mit dem Weizenertrag dieser Gemenge korreliert; mit den Gemengeerträgen von Genius war dieser konsistente Zusammenhang sogar statistisch signifikant (Tab. AV;  $-0,544_{ns} < r < -0,718^*$ ). Je höher

also der Kornertrag der Bohnen im Gemenge ausfiel, desto niedriger war der Weizenantrag dieser Gemenge. Der negative Zusammenhang zwischen den beiden Gemengepartnern zeigt sich auch in den Ergebnissen von Agegnehu et al. (2008). In dieser Studie ist es aber der Getreidepartner im Gemenge, der den deutlich größeren Anteil am Gesamtertrag des Gemenges ausmacht. Es liegt auf der Hand, dass die vergleichsweise hohen Aussaatstärken der Getreide und geringen Aussaatstärken der Ackerbohnen in der Arbeit von Agegnehu et al. (2008) zu diesen gegensätzlichen Ergebnissen führen. Dennoch bleibt der starke Eindruck von Kausalität bestehen; ein steigender Kornertrag des einen Gemengepartners bewirkt die Verringerung des Kornertrags des anderen Gemengepartners. Dieser Sachverhalt zeigt, dass es in einem Gemenge zu interspezifischer Konkurrenz zwischen den beiden Gemengepartnern kommt. In meiner Arbeit waren es die Winterackerbohnen, die im Mittel der drei Jahre und zwei Standorte in substitutiven Gemengen (bei einer relativen Aussaatstärke von 50:50) ertragsstärker waren ( $22,4 \text{ dt ha}^{-1}$ ) als ihr Gemengepartner Winterweizen ( $19,5 \text{ dt ha}^{-1}$ ), im direkten Vergleich der Erträge im Gemenge, andererseits auch verglichen mit den jeweiligen Reinsaaten ( $RY_{Vf} = 0,660$ ,  $RY_{Ta} = 0,559$ ). In der Arbeit von Pristeri et al. 2006 waren es u.a auch die Winterackerbohnen, die dem Weizen in seinen Gemengeerträgen überlegen waren; hier standen die Winterackerbohnen ebenso mit 40 Pflanzen pro Quadratmeter in ihren Reinsaaten und mit 20 Pflanzen pro Quadratmeter in ihren Gemengen mit Winterweizen.

Bei der Betrachtung der Mittelwerte über die beiden Versuchsstandorte je Versuchsjahr zeigte sich, dass (nur) im Jahr 2017 die Winterackerbohnenanträge im Gemenge geringer ausfielen als die Winterweizenanträge im Gemenge. Ein ganz offensichtlicher Grund dafür ist das trockene Frühjahr im Jahr 2017. Der Konkurrenzvorteil für den Weizen in diesem Jahr liegt auch an der für die Getreidearten typischen und in diesem Jahr relativ ausgeprägten raschen Jugendentwicklung und frühzeitigen Lichtinterzeption sowie an der sehr effektiven Wasser- und Nährstoffaneignung (Hof und Rauber 2003, Rauber et al. 2001). Zudem ist Winterweizen durch ein umfangreiches Wurzelsystem gekennzeichnet und erschließt schon schnell tiefe Bodenschichten (Kutschera et al. 2009), was ihm bei auftretender Frühjahrstrockenheit einen weiteren Konkurrenzvorteil gegenüber den Winterackerbohnen verschafft haben könnte. Die Ackerbohne kompensiert diese schnellere Jugendentwicklung des Winterweizens in späteren Entwicklungsstadien (Hof und Rauber 2003). Bei guter Wasserversorgung ist dieses Phänomen eines der Argumente, warum Gemenge produktiver seien als das Mittel ihrer Reinsaaten. Die unterschiedliche Entwicklung der Gemengepartner ermöglicht eine räumlich und zeitlich komplementäre Nutzung der Ressourcen im Gemenge (Lithourgidis et al. 2006). Bleibt die Wasserversorgung allerdings im weiteren Vegetationsverlauf mangelhaft, so ist bekannt, dass

Winterackerbohnen auf das Wasserdefizit mit Ertragsverlusten reagieren (Husain et al. 1990, Bond et al. 1994). Nach Beginn des Sommers unterschied sich das Jahr 2017 nicht mehr deutlich in der Regenmenge von den anderen beiden Jahren. Die Winterackerbohnen waren dennoch nicht mehr in der Lage, die Trockenheit des Frühjahrs im späteren Vegetationsverlauf zu kompensieren. In diesem Jahr wiesen alle drei Winterweizen einen Konkurrenzvorteil gegenüber den Winterackerbohnen auf. Es waren wieder die Gemenge mit Genius, die die größten und die Gemenge mit Hybery, die die geringsten Winterackerbohnenenerträge im Gemenge realisierten. Diese Resultate zeigen, dass selbst in einem für die Winterackerbohnen extremes Jahr die Rangierung der drei Winterweizen nach Konkurrenzstärke unverändert bleibt im Vergleich zu den anderen Jahren.

Der in der Literatur postulierte Mehrertrag von Gemengen gegenüber ihren korrespondierenden Reinsaaten konnte in den Merkmalen Kornertrag, Strohertrag und im gesamten oberirdischen Mähdruschertrag bestätigt werden. Es wurden statistisch signifikante und relevante Ertragsvorteile der Gemenge gegenüber ihren zugehörigen Reinsaaten durch den Relativertrag (Weizen und Ackerbohne), dem Relative Yield Total, dem relativen Gemengemehrertrag und im absoluten Mehrertrag beschrieben (vgl. Jensen 1996, Neumann et al. 2009, Sobkowicz 2006). Auch der orthogonale Kontrast zwischen dem Mittel der Reinsaaten und dem Mittel der drei Gemengesituationen zeigte, dass die Gesamtgemengeerträge statistisch signifikant höher lagen als die Bohnenreinsaatenerträge.

So wurden im Mittel über die drei Versuchsjahre und die beiden Standorte ein RYT von 1,220 erzielt (Tab. A28). Im Mittel der drei Gemengesituationen erreichten die S\_062 und die S\_064 höhere RYT (RYT: 1,225) als die Vf7 (RYT: 1,164). Damit sind per Definition des RYT die negativen Konkurrenzeffekte zwischen der S\_062 oder S\_064 und den drei Winterweizengenotypen im Gemenge geringer und eine komplementäre Nutzung der zur Verfügung stehenden Ressource größer als in den Gemengen von Vf7 und den drei Winterweizensorten.

Der RYT fiel in den drei Versuchsjahren am Standort Deppoldshausen (RYT = 1,346) deutlich größer aus als am Standort Reinshof (RYT = 1,094). Hof-Kautz und Rauber 2003 berichteten in ihrer Arbeit ähnliche Ergebnisse und fanden, dass der RYT an weniger fruchtbaren Standorten größer ausfällt als an fruchtbareren Standorten. Das bedeutet, dass die Reinsaaten unter abiotischen Stressfaktoren und ungünstigen Wachstumsbedingungen einen größeren Ertragsverlust erleiden als die korrespondierenden Gemenge. Für Leguminosen-Getreide-Gemenge ist leicht verständlich, dass der RYT an unfruchtbaren Standorten größer ist als an vergleichsweise fruchtbaren Standorten, insbesondere wenn diese Fruchtbarkeitsunterschiede

auch mit der N-Versorgung zusammenhängen sollten. Die Winterweizenpflanzen haben in ihrem Gemenge theoretisch mehr Bodenstickstoff zur Verfügung als in ihren Reinsaaten. Die interspezifische Konkurrenz um diese Ressource (Hof-Kautz und Rauber 2003) ist im Gemenge geringer als die intraspezifische Konkurrenz der Winterweizenpflanzen in ihren Reinsaaten, da die Winterackerbohnen den größten Teil ihres Stickstoffbedarfs über die symbiotische Stickstofffixierung decken (Hof-Kautz und Rauber 2003, vgl. Kapitel C). Somit steht dem Winterweizen pro Pflanze mehr Bodenstickstoff zur Verfügung als in seinen Reinsaaten und theoretisch kann der Winterweizen so einen höheren Ertrag pro Pflanze erzielen als in seinen Reinsaaten. Auch Hauggaard-Nielsen und Jensen (2001) stellten in ihren Gemengeversuchen mit Gerste und Erbse fest, dass der LER (Land Equivalent Ratio = Relative Yield Total; RYT) mit erhöhter Stickstoffverfügbarkeit geringer ausfällt.

In Zusammenhang mit abiotischen Stress (bspw. N-Mangel) kann man ein Gemenge aus zwei Gemengepartnern als Analogie zu der F<sub>1</sub>-Hybride aus der Kreuzung zweier Eltern betrachten und es kann ein Vergleich zu der Hybridzüchtung gezogen werden. In der Hybridzüchtung gibt es den sog. Heterosiseffekt (Überlegenheit der F<sub>1</sub>-Nachkommenschaft zum Mittel ihrer homozygoten Eltern in %; Becker 2011). Hier steigt die Heterosis der F<sub>1</sub>-Nachkommen unter zunehmenden Stressbedingungen (Betrán et al. 2003,). Die Berechnung der Heterosis erfolgt nach derselben algebraischen Formel wie die Berechnung des relativen Gemengeertrags. Dabei sind die Gemengepartner in ihren Reinsaaten als Analogie der Eltern der F<sub>1</sub>-Hybride zu sehen und die F<sub>1</sub>-Hybride selbst entspricht dem Gemenge (vgl. Becker 2011, Wilson 1988). Der Standort Deppoldshausen ist weniger tiefgründig; charakteristisch für Deppoldshausen sind die geringeren Nährstoffverfügbarkeiten im Vergleich zu dem im fruchtbaren Leinetal gelegenen Standort Reinshof (Lingner 2018). Dieses Resultat spricht dafür, dass generell der Anbau von substitutiven Gemengen von Winterackerbohnen und Winterweizen an Niederertragsstandorten zu relativ höheren Ertragsvorteilen von Gemengen führt als ihr Anbau auf Hohertragsstandorten.

Natürlich ist der RYT immer im Bezug zu den korrespondierenden Reinsaaten zu sehen, weswegen er auch kein adäquates Selektionskriterium darstellt. Er basiert auf Verhältnissen und nicht auf absoluten Zahlen (Davis und Woolley 1993). So erreichten Bohnenreinsaaten im Jahr 2016 die geringsten Kornerträge, verglichen mit den Jahren 2015 und 2017 (Tab. A1). In den Gemengen hingegen wurden die höchsten Kornerträge im Jahr 2016 erzielt, unabhängig davon, mit welchem Weizen sie angebaut wurden (Tab A3 bis Tab. A5). Somit wird bei der Berechnung des RYT (2016) ein relativ großer Zähler durch einen relativ kleineren Nen-

ner dividiert und der Quotient wird folglich größer. Somit waren im Jahr 2016 ( $\text{RYT} = 1,26$ ) die Werte für den RYT größer als die RYT-Werte für die anderen beiden Jahre (2015:  $\text{RYT} = 1,17$ ; 2017;  $\text{RYT} = 1,23$ ). Die absolute Ertragsüberlegenheit der Gemenge über dem Mittel ihrer korrespondierenden Reinsaaten im Jahr 2016 fiel nicht außergewöhnlich hoch aus, unabhängig davon, mit welchem Weizen die Bohnen im Gemenge angebaut wurden (Tab. A20 bis Tab A22), obwohl der RYT sehr groß ausfiel.

Der eben erwähnte RYT ist eine Summe aus zwei Quotienten. Er besteht aus dem Relativertrag des Winterweizens und dem Relativertrag der Winterackerbohne. Bei der Betrachtung der einzelnen Komponenten, also der einzelnen Relativerträge, ist grundsätzlich festzustellen, dass der Relativertrag der Bohnen an jedem der beiden Standorte über 0,5 lag, wobei er am Standort Deppoldshausen mit  $\text{RY}_{\text{vf}} = 0,716$  deutlich größer war als am Standort Reinshof mit  $\text{RY}_{\text{vf}} = 0,604$  (Tab. A24). Die Relativerträge der Weizen lagen nur am Standort Reinshof über 0,5 (Tab. A25), nicht aber in Deppoldshausen. Die Bohnen erreichten somit größere Relativerträge als die Winterweizensorten. In den Studien von Jensen (1996), Neumann et al. (2009) und Sobkowicz (2006) war jeweils das Getreide der Gemengepartner, welcher größere Relativerträge erzielte als die Leguminose. Hier sind wieder die auf der Getreideseite höheren Aussaatstärken zu nennen, die in diesen Studien angewandt wurden. Da in diesen Studien relativ mehr Getreide im Gemenge verglichen zum Anteil der Leguminose ausgesät wurde, ist es einfach zu verstehen, dass in den Gemengen mehr Winterweizenpflanzen vorhanden sind. Diese werden sehr wahrscheinlich eine größerer Konkurrenz auf die Leguminosen ausüben und resultierend (aus mehr Pflanzen pro Fläche und höherer Konkurrenzkraft gegenüber den Leguminosen), einen höheren Kornertrag erzielen als die beteiligten Leguminosen. An dieser Stelle zeigt es sich sehr gut, wie die pflanzenbauliche Anlage eines Gemenges zu sehr verschiedenen Resultaten führen kann. Die Resultate hängen sehr stark von der Art des Gemenges (additiv vs. substitutiv) und der Aussaatstärke, sowie dem Aussaatstärkenverhältnis der Gemengepartner ab (Neumann 2010). Ein limitierender Faktor für unsere Winterweizen könnte der im Boden nur begrenzt zur Verfügung stehende Stickstoff sein, da in dem gesamten Versuchszeitraum kein Stickstoff in Form von Düngung in das System eingebracht wurde und als Vorfrucht Winterroggen (ohne mineralische N-Gabe) stand (vgl. Kapitel 2). Folgt man diesem Argument, so müsste der Relativertrag der Weizen mit jedem Versuchsjahr ansteigen, da dem Weizen in den Gemengesituationen relativ mehr Stickstoff zur Verfügung steht als in seinen Reinsaaten, sofern noch verfügbarer Stickstoff im Boden vorhanden ist. In dieser Arbeit kann dieser erwartete mit jedem Versuchsjahr fortlaufend größer werdende Relativertrag des Weizens nicht vollständig bestätigt werden. Zwar war der Relativertrag des Weizens im



Jahr 2017 am stärksten ausgeprägt ( $RY = 0,79$ ), aber ebenso waren die Kornerträge in den Weizenreinsaaten in diesem Jahr am höchsten. Es war also eher der Jahreseffekt, der den Winterweizen in Reinsaat und gleichzeitig im Gemenge begünstigt, als die Bodenstickstoffsituation im Jahr 2017.

Die Varianzanalysen haben ergeben, dass die Winterackerbohnenotypen einen statistisch signifikanten Einfluss auf ihre Relativerträge und die Relativerträge der Winterweizensorten ausübten (Tab. A25, Tab. A27), jedoch nicht auf den Relative Yield Total (Tab. A29). Da es sich bei dem RYT um die Summe der Relativerträge von Winterackerbohne und Winterweizen handelt, liegt die Begründung für die fehlende Signifikanz des RYT in dem Zusammenhang der drei Parameter. Die negative Kovarianz (zwischen dem Relativertrag der Winterackerbohnen und Winterweizens) tragen dazu bei, dass sich nur eine kleine Varianz für den Parameter RYT ergibt und sich daher keine signifikanten Unterschiede zwischen den acht Winterackerbohnenotypen in dem Parameter RYT zwischen den Winterackerbohnen in diesem Versuch fanden (Abb. A7; vgl. Formel 8).

Die Varianz des RYT kann folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$(8) \sigma_{RYT}^2 = \sigma_{RY_{Vf}}^2 + \sigma_{RY_{Ta}}^2 + 2Cov_{(RY_{Vf},RY_{Ta})}$$

Die Kovarianz zwischen den beiden Relativerträgen war negativ und fast so groß wie die Summe der beiden Varianzen. Damit wird die Varianz des RYT sehr geschmälert, sodass die Unterschiede zwischen den Winterackerbohnenotypen statistisch nicht signifikant werden, obwohl sich signifikante Unterschiede zwischen den Winterackerbohnen in dem Relativerträge von Winterackerbohne und Winterweizen finden ließen.

Die Relativerträge der Winterackerbohne in den drei Gemengesituationen waren im Mittel der Jahre und Standorte stets negativ mit den drei Relativerträgen der drei Winterweizen korreliert. (Abb. A7;  $-0,641 < r < -0,869^{**}$ ). Wie auch schon bei der Betrachtung der Erträge der Winterweizen und Winterackerbohnenenerträge im Gemenge festgestellt, kommt es beim Anbau von Gemengen zwischen den beteiligten Spezies zu interspezifischer Konkurrenz. Dabei war die Winterackerbohne stets die Spezies, die die größten Relativerträge erbrachte ( $RY = 0,660$ ) und dem Winterweizen im Relativertrag ( $RY = 0,559$ ) der Gemenge überlegen war (Tab. A24 und Tab. A26). Pristeri et al. 2006 erreichten in ihren Versuchen Relativerträge der Winterackerbohne von  $RY_{Vf} = 0,82$  und Relativerträge beim Winterweizen von  $RY_{Ta} = 0,46$ . Um die Frage zu erörtern, welcher der beiden Relativerträge nun die Variation des RYT am meisten bestimmt, wurden Korrelationsanalysen durchgeführt. Dabei zeigte, sich

dass die Korrelationen zwischen dem RYT und dem Relativerträgen der beteiligten Weizen stärker ausfiel (Abb. A9:  $0,459_{ns} < r < 0,811^{**}$ ), als zwischen dem RYT und dem Relativerträgen der Winterackerbohnen in den drei Gemengen (Abb. A8:  $0,358_{ns} < r < 0,530_{ns}$ ). Aufgrund der größeren Variation des Relativertrags des Weizens im Vergleich zur geringeren Variation des Relativertrags der Winterackerbohnen genotypen kann abgeleitet werden, dass die Variation der RYT-Werte mehr durch die Variation des Relativertrags des Weizens bestimmt wird als durch die Variation des Relativertrags der Winterackerbohnen genotypen (Abb. A4 und Abb. A5). Natürlich zeigten sich ähnlich hohe Korrelationen zwischen den Gesamtkornerträgen der Gemeinde mit ihrem Weizen ertrag (Tab. A5;  $0,362_{ns} < r < 0,666^{+}$ ) und dem Winterbohnen ertrag im Gemeinde (Abb. A6:  $0,191_{ns} < 0,586_{ns}$ ). Wie bereits besprochen, waren die Winterackerbohnen ertragsstärker in den Gemengen als der Winterweizen. Dennoch zeigt sich in der Korrelationsanalyse, dass die Variation des RYT sowie die Variation der Gesamtgemengeerträge vielmehr durch die Variation der Winterweizen erträge im Gemeinde bestimmt wird als durch die Variation der Winterackerbohnen erträge im Gemeinde. Die Korrelation zwischen den beiden Parametern RYT und dem relativen Gemeindeertrag war positiv, sehr hoch und für jede der drei Gemengesituationen statistisch signifikant (Vgl. Abb. A9;  $0,751^{*} < r < 0,863^{**}$ ). Die Werte der beiden Parameter waren zudem auch absolut sehr ähnlich. Dies liegt an der ähnlichen Berechnungsweise der beiden Parameter (Vgl. Kap. 2). Dennoch konnte in den Varianzanalysen ein wichtiger Unterschied zwischen ihnen festgestellt werden. Es ergaben sich statistisch signifikante Unterschiede zwischen den acht Winterackerbohnen in ihren relativen Gemeindeerträgen, aber nicht für ihre RYT. Das bedeutet, dass eine erfolgreiche Selektion zwischen den Genotypen auf der Grundlage des RYT in diesem Versuch eher nicht möglich wäre, aber vermutlich doch auf der Grundlage ihres relativen Gemeindeertrags. Auf Grundlage des relativen Gemeindeertrages würde eine Selektion im Gemeinde mit allen der drei Winterweizensorten zu dem Kandidaten S\_062 führen. Im Vergleich dazu würde eine Selektion auf Grundlage des RYT in Abhängigkeit des Weizens zu den Kandidaten S\_062 (GTa1), S\_064 (GTa2) oder S\_004 (GTa3) führen (Vgl. Abb. A9)

## **4. Kapitel B – Züchtung von Winterackerbohnen für den Anbau im Gemenge mit Winterweizen.**

### **4.1. Ergebnisse**

#### **4.1.1. Analyse der Hilfsmerkmale**

Im Folgenden werden die Ergebnisse weiterer, züchterisch relevanter Merkmale (sog. Hilfsmerkmale) dargestellt. Zu Beginn wird das Merkmal Lager untersucht, da dieses Merkmal wie die Ertragsmerkmale der vorangegangenen Kapitel im A\_Set (alle Vf- bzw. Ta-Reinsaaten und alle Gemengevarianten zwischen den Vf und Ta1) aufgenommen wurde. Für die weiteren Hilfsmerkmale folgt dann ein Perspektivwechsel vom A\_Set zum B\_Set, da diese Hilfsmerkmale lediglich im B\_Set erfasst wurden.

##### **4.1.1.1. Lager in Reinsaat und Gemenge**

Im Jahr 2017 zeigte sich am Standort Deppoldshausen in dem Merkmal Lager keine Variation zwischen den Prüfgliedern (alle Lagerbonituren = 1), daher wurde dieser Standort aus der Varianzanalyse ausgeschlossen. Für diese ANOVA wurden die übrigen Standorte und Jahre zu  $U = 5$  Umwelten zusammengefasst; so wurde eine unbalancierte Analyse vermieden. Das Versuchsmittel ( $U = 5$ ) der Lagerneigung der Winterackerbohnenotypen in ihren Reinsaaten lag bei einer Boniturnote in Höhe von 3,89 (erfasst als Bonitur 1 – 9; 1: kein Lager, 9: starkes Lager). Im Mittel über die fünf Umwelten neigte Vf2 zu sehr geringem Lager und Vf8 neigte zum stärksten Lager (Tab. B1;  $1,80 < 5,35$ ). Die ANOVA über die fünf Umwelten zeigte, dass beide Hauptfaktoren (Umwelt = U, Ackerbohnenotyp = B) einen statistisch signifikanten Effekt auf das Lager der Winterackerbohnen in den Reinsaaten ausübten (Tab. B2;  $22,83^{**} < F\text{-Wert} < 39,37^{**}$ ).

Die Ackerbohnen lagerten im Mittel der drei Gemengesituationen weniger als die Ackerbohnen in den zuvor besprochenen Reinsaaten (Tab. B1 und Tab. B3; 3,89 vs. 2,89). Wie schon bei den Reinsaaten hatten auch in den Gemengen alle Hauptfaktoren einen signifikanten Effekt auf das Lager der Winterackerbohnenotypen (Tab. B4). Der Hauptfaktor Umwelt hatte dabei den deutlich größten Anteil an der Gesamtvarianz (Var.Kp.:  $2,423^2$ ) und die Grenzdifferenz lag bei 0,81. Im Vergleich dazu hatten die Hauptfaktoren Ackerbohnenotyp und Weizensorte vergleichsweise kleine Anteile an der Gesamtvarianz (Tab. B4;  $0,008^2 < \text{Var.Kp.} < 0,0414^2$ ).

**Tab. B1:** Lager (Bonitur 1 – 9; 1: kein Lager, 9: starkes Lager) der acht Winterackerbohnen-  
genotypen in den Reinsaaten; aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen-genotyp (Vf) und  
Umwelt. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor U</b>						
<b>Hauptfaktor Vf</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S1</b>	<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>
Vf1	2,75	1,75	6,75	5,75	3,25	4,05
Vf2	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>3,25</b>	<b>2,25</b>	<b>1,50</b>	<b>1,80</b>
Vf3	3,75	2,00	7,25	6,25	3,00	4,45
Vf4	<b>3,50</b>	1,50	7,00	5,25	3,25	4,10
Vf5	2,00	2,50	7,50	5,50	2,75	4,05
Vf6	2,75	1,50	7,50	4,25	2,75	3,75
Vf7	2,50	1,75	6,00	3,25	<b>4,25</b>	3,55
Vf8	3,25	<b>4,50</b>	<b>8,50</b>	<b>7,25</b>	3,25	<b>5,35</b>
μ	2,69	<b>2,06</b>	<b>6,72</b>	4,97	3,00	<u>3,89</u>

**Tab. B2:** Ergebnisse der ANOVA inklusive. F-Tests für das Lager der Winterackerbohnen-  
genotypen in den Reinsaaten (Bonitur 1 – 9; 1: kein Lager, 9: starkes Lager) der acht Wintera-  
ckerbohnen-genotypen (B=8), erhoben an fünf Umwelten mit jeweils vier Wiederholungen  
(R=4).

<b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>Var.Kp.</b>	<b>F-Wert</b>	<b>GD (5 %)</b>
U	4	117,947	3,592	39,37**	0,92
R:U	15	2,996	0,264	3,40**	0,93
B	7	20,125	0,962	22,83**	0,59
BU	28	2,636	0,439	2,99**	1,32
BRU	105	0,882	0,882		
Total	159				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD  
(5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01.

**Tab. B3:** Lager (Bonitur 1 – 9; 1: kein Lager, 9: starkes Lager) der acht Winterackerbohnen-  
genotypen in der jeweiligen Gemengesituation (Ta1, Ta2, Ta3); aufgeschlüsselt nach Winter-  
ackerbohnen-genotyp (Vf). Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

Hauptfaktor Vf	Hauptfaktor W			Mittel
Vf	Ta1	Ta2	Ta3	$\mu$
Vf1	3,20	3,10	3,10	3,13
Vf2	1,70	<b>1,55</b>	<b>1,55</b>	<b>1,60</b>
Vf3	<b>1,55</b>	3,20	3,25	3,25
Vf4	2,95	2,90	2,80	2,88
Vf5	2,75	2,80	2,60	2,72
Vf6	2,75	2,75	2,80	2,77
Vf7	3,00	2,75	2,75	2,83
Vf8	<b>4,35</b>	<b>3,85</b>	<b>3,60</b>	<b>3,93</b>
$\mu$	3,00	2,86	2,81	<u>2,89</u>

**Tab. B4:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Test des Lagers der Ackerbohnen-genotypen  
(B=8) in den drei Gemengesituationen (W=3) erhoben an fünf Umwelten (U=5) mit jeweils  
vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
U	4	239,430	2,423	34,91**	0,81
R:U	15	6,859	0,252	8,47**	0,52
B	7	25,628	0,414	31,65**	0,33
BU	28	4,433	0,302	5,47**	0,73
BR:U	105	0,810	0,188	3,28**	0,80
W	2	1,590	0,008	6,43**	0,11
WU	8	0,308	0,002	1,25ns	0,24
WB	14	0,337	0,005	1,36ns	0,31
WBU	56	0,327	0,020	1,32+	0,69
WBRU	240	0,247	0,247		
Total	479				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; +:  $P < 0,10$ ; ns: nicht signifikant.

#### 4.1.1.2. Blattflächenindex in Reinsaat und Gemenge

Die folgenden Hilfsmerkmale, wurden im B\_Set erfasst und damit in allen Vf- und in der Hälfte der Genius-Reinsaat und in den Gemengen zwischen den acht Vf und dem Ta1. Der Blattflächenindex (BFI;  $m^2 m^{-2}$ ) in den Reinsaat der Winterackerbohnen-genotypen zum Zeitpunkt vor der Blüte der Vf lag im Mittel bei 1,81, zum Blühbeginn bei 2,96, zur Vollblüte

bei 3,82 und zum Blühende der Winterackerbohnen bei 4,93 (Tab. B5 bis Tab. B9). An allen vier Messterminen lagen die BFI der Ackerbohnen am Standort Reinshof über denen am Standort Deppoldshausen. Die Vf7 bzw. Vf8 wiesen in diesen Reinsaaten an den jeweiligen Messterminen den größten Blattflächenindex auf und die Vf1 und Vf2 jeweils den geringsten Blattflächenindex (Tab. B5, Tab. B7, Tab. B9 und Tab. B11).

In den Varianzanalysen für den BFI in den Ackerbohnenreinsaaten zum Zeitpunkt vor der Blüte, Blühbeginn, Vollblüte und Blühende der Vf hatten der Hauptfaktor Ackerbohnen-genotyp je einen statistisch signifikanten Effekt auf ihren Blattflächenindex (Tab. B9 bis Tab. 12;  $5,53^* < F\text{-Wert} < 10,63^{**}$ ). Die Winterackerbohnen-genotypen erklärten für jeden ihrer vier BFI einen relativ geringen Anteil an der Gesamtvarianz. Die Jahre und Standorte unterschieden sich statistisch signifikant für jeden der vier Zeitpunkte der Erfassung des BFI.

**Tab. B5:** Blattflächenindex (BFI;  $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ ) zum Zeitpunkt vor der Blüte der acht Winterackerbohnen-genotypen (Vf) und des Weizens Genius (Ta1) in den Reinsaaten; für Vf aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen-genotyp; und für Jahr und Standort. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor Vf</b>		<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b><math>\mu</math></b>	
Vf1	<b>2,33</b>	1,56	0,65	<b>1,51</b>	
Vf2	2,58	1,41	0,64	1,54	
Vf3	2,96	2,01	0,79	1,92	
Vf4	<b>3,07</b>	1,54	0,71	1,77	
Vf5	3,06	<b>2,03</b>	1,22	<b>2,10</b>	
Vf6	2,83	1,53	<b>1,45</b>	1,93	
Vf7	2,87	2,02	1,40	<b>2,10</b>	
Vf8	2,93	<b>1,38</b>	<b>0,53</b>	1,61	
$\mu$	2,83	1,68	0,92	<u>1,81</u>	
<b>Hauptfaktor S</b>					
$\mu$ Reinshof	4,16	2,41	1,39	2,65	
$\mu$ Deppoldshausen	1,50	0,96	0,46	0,97	
<b>Ta1</b>	1,20	0,75	0,92	0,96	
<b>Hauptfaktor S</b>					
$\mu$ Reinshof	1,66	1,02	1,57	1,42	
$\mu$ Deppoldshausen	0,75	0,47	0,27	0,50	

**Tab. B6:** Blattflächenindex (BFI; m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) zum Zeitpunkt des Blühbeginns der acht Winterackerboh-nengenotypen (Vf) und des Weizen Genius (Ta1) in den Reinsaaten; aufgeschlüsselt für Vf nach Win-terackerbohnen-genotyp, Standort und Jahr. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor Vf</b>	<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>
Vf1	<b>3,00</b>	2,98	1,83	<b>2,60</b>
Vf2	3,44	2,64	1,71	<b>2,60</b>
Vf3	4,19	<b>3,71</b>	<b>1,67</b>	3,19
Vf4	3,82	2,93	1,94	2,89
Vf5	4,38	3,05	2,29	3,24
Vf6	3,87	<b>2,05</b>	2,31	2,74
Vf7	3,82	3,40	<b>2,54</b>	<b>3,26</b>
Vf8	<b>4,67</b>	2,94	1,87	3,16
μ	3,90	2,96	2,02	<u>2,96</u>
<b>Hauptfaktor S</b>				
μ Reinshof	4,33	3,93	2,44	3,56
μ Deppoldshausen	3,47	2,00	1,60	2,36
<b>Ta1</b>				
	1,35	1,22	1,71	1,43
<b>Hauptfaktor S</b>				
μ Reinshof	1,63	1,89	2,11	1,88
μ Deppoldshausen	1,08	0,53	1,31	0,97

**Tab. B7:** Blattflächenindex (BFI; m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) zur Vollblüte der acht Winterackerbohnenengenotypen (Vf) und des Weizen Genius (Ta1) in den Reinsaaten; aufgeschlüsselt für Vf nach Winterackerbohnenengenotyp; Standort und Jahr. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor Vf</b>	<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>
Vf1	<b>3,08</b>	4,82	<b>2,92</b>	3,61
Vf2	3,26	3,93	2,97	<b>3,39</b>
Vf3	3,65	<b>4,88</b>	3,27	3,93
Vf4	3,24	4,56	2,96	3,59
Vf5	3,98	4,49	3,21	3,89
Vf6	3,81	<b>3,44</b>	3,69	3,65
Vf7	3,69	4,58	3,36	3,88
Vf8	<b>4,83</b>	5,13	<b>3,89</b>	<b>4,62</b>
μ	3,69	4,48	3,29	<u>3,82</u>
<b>Hauptfaktor S</b>				
μ Reinshof	4,06	5,36	3,41	4,28
μ Deppoldshausen	3,32	3,60	3,16	3,36
<b>Ta1</b>				
	1,59	1,88	2,10	1,86
<b>Hauptfaktor S</b>				
μ Reinshof	2,00	2,27	2,54	2,27
μ Deppoldshausen	1,18	1,47	1,66	1,44



**Tab. B8:** Blattflächenindex (BFI; m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) zum Blühende der acht Winterackerbohnenengenotypen (Vf) und des Weizen Genius in den Reinsaat; aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnenenotyp; Standort und Jahr. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor Vf</b>		<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>	
Vf1	<b>2,93</b>	7,08	<b>3,90</b>	4,64	
Vf2	2,94	6,79	3,68	<b>4,47</b>	
Vf3	3,68	7,91	4,39	5,33	
Vf4	3,32	7,14	3,95	4,81	
Vf5	3,96	7,06	4,16	5,06	
Vf6	3,55	6,54	<b>4,63</b>	4,91	
Vf7	3,10	<b>5,83</b>	4,02	4,32	
Vf8	<b>4,47</b>	<b>8,39</b>	4,92	<b>5,93</b>	
μ	3,49	7,09	4,21	<u>4,93</u>	
<b>Hauptfaktor S</b>					
μ Reinshof	4,17	7,09	4,21	5,16	
μ Deppoldshausen	3,32	7,10	4,20	4,71	
<b>Ta1</b>					
	1,17	2,21	2,07	1,82	
<b>Hauptfaktor S</b>					
μ Reinshof	1,63	2,67	2,34	2,21	
μ Deppoldshausen	0,71	1,75	1,80	1,42	

**Tab. B9:** Ergebnisse der ANOVA inklusive. F-Tests für den Blattflächenindex (BFI; m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) vor Blühbeginn der Winterackerbohnenengenotypen (B=8) in den Reinsaat der acht Winterackerbohnenengenotypen, erhoben in drei Jahren (J=3) an zwei Standorten (S=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

<b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>Var.Kp.</b>	<b>F-Wert</b>	<b>GD (5 %)</b>
J	2	58,902	0,9092	82,30**	0,31
S	1	135,106	1,3999	188,78**	0,26
SJ	2	12,708	0,3748	17,76**	0,44
R:SJ	18	0,715	0,0778	7,70**	0,30
B	7	1,360	0,0528	14,62**	0,17
BJ	14	0,456	0,0454	4,90**	0,30
BS	7	0,253	0,0133	2,72*	0,25
BSJ	14	0,193	0,0250	2,08*	0,43
BRSJ	126	0,093	0,0930		
Total	191				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrat; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; \*: P < 0,05.

**Tab. B10:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den Blattflächenindex (BFI; m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) zum Blühbeginn der Winterackerbohnenengenotypen (B=8) in den Reinsaaten der acht Winterackerbohnenengenotypen, erhoben in drei Jahren (J=3) an zwei Standorten (S=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	56,523	0,854	31,26**	0,50
S	1	69,890	0,709	38,66**	0,41
SJ	2	6,177	0,137	3,42+	0,71
R:SJ	18	1,808	0,199	8,24**	0,46
B	7	1,957	0,072	8,91**	0,27
BJ	14	1,512	0,162	6,89**	0,46
BS	7	0,224	0,000	1,02ns	0,38
BSJ	14	0,131	-0,022	0,60ns	0,66
BRSJ	126	0,220	0,022		
Total	191				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; +: P < 0,10; ns: nicht signifikant.

**Tab. B11:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den Blattflächenindex (BFI; m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) zur Vollblüte der Winterackerbohnenengenotypen (B=8) in den Reinsaaten der acht Winterackerbohnenengenotypen, erhoben in drei Jahren (J=3) an zwei Standorten (S=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	23,569	0,3307	9,81**	0,58
S	1	40,068	0,3924	16,69**	0,47
SJ	2	9,466	0,2208	3,94*	0,81
R:SJ	18	2,401	0,2611	7,68**	0,55
B	7	3,322	0,1254	10,63**	0,32
BJ	14	1,257	0,1181	4,02**	0,55
BS	7	0,280	-0,0027	0,89ns	0,45
BSJ	14	0,345	0,0080	1,10ns	0,78
BRSJ	126	0,313	0,3126		
Total	191				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; \*: P < 0,05; ns: nicht signifikant.

**Tab. B12:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den Blattflächenindex (BFI; m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) zum Blühende der Winterackerbohnen genotypen (B=8) in den Reinsaaten der acht Winterackerbohnen genotypen, erhoben in drei Jahren (J=2) an zwei Standorten (S=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

<b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>Var.Kp.</b>	<b>F-Wert</b>	<b>GD (5 %)</b>
J	2	232,690	3,6079	130,53**	0,50
S	1	9,851	0,0840	5,53*	0,40
SJ	2	9,866	0,2526	5,53*	0,70
R: SJ	18	1,783	0,1946	7,90**	0,47
B	7	6,394	0,2570	28,35**	0,27
BJ	14	1,134	0,1135	5,03**	0,47
BS	7	0,825	0,0499	3,66**	0,38
BSJ	14	0,622	0,0992	2,76**	0,66
BRSJ	126	0,226	0,2255		
Total	191				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; \*: P < 0,05.

Im Folgenden werden die Blattflächenindices der Gemenge aus dem B\_Set betrachtet. Es handelt sich dabei um den gemeinsamen BFI, wie er sich bei den Ceptometer-Messungen der Gemenge ergibt. Dieser BFI setzt sich auf nicht näher bestimmte Weise aus den BFI der zwei Gemengekomponenten zusammen.

Die Versuchsmittel der BFI den Ackerbohnen-Weizen-Gemengen fielen zu allen vier Messterminen geringer aus als die BFI der Ackerbohnen-Reinsaaten (Tab. B13 – Tab. B16). Die Vf1 und Vf2 erreichten mit ihrem Gemengepartner Genius die geringsten BFI. In den Versuchsjahren 2016 und 2017 stieg mit jedem Messtermin der BFI kontinuierlich an, wohingegen der BFI in den Gemengen im Jahr 2015 zum Messtermin Blühbeginn einmalig abnahm (Tab. B13 – Tab. B16).

Die Jahre, Standorte, Ackerbohnen genotypen und die Anbauweisen (K=2; Reinsaat oder Gemenge) führten an jedem Messtermin zu statistisch signifikanten Unterschieden der BFI der Gemenge (Tab. B17 - Tab. B20;  $9,47^{**} < \text{F-Wert} < 288,56^{**}$ ). Die Grenzdifferenzen zwischen den Ackerbohnen genotypen lagen je nach Messtermin von 0,12 bis hin zu 0,22.

**Tab. B13:** Blattflächenindex (BFI; m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) zum Zeitpunkt vor der Blüte der acht Winterackerbohnen-  
genotypen in den Gemengen mit Genius (Ta1); aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen-genotyp (Vf),  
Standort und Jahr. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor Vf</b>	<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>
Vf1	1,89	1,19	0,88	1,32
Vf2	<b>1,88</b>	<b>1,11</b>	0,88	<b>1,29</b>
Vf3	2,30	1,38	0,97	1,55
Vf4	2,07	1,35	0,87	1,43
Vf5	2,07	1,46	1,21	1,58
Vf6	2,06	1,38	<b>1,26</b>	1,57
Vf7	2,23	<b>1,77</b>	1,25	<b>1,75</b>
Vf8	<b>2,42</b>	1,29	<b>0,79</b>	1,50
μ	2,12	1,37	1,01	<u>1,50</u>
<b>Hauptfaktor S</b>				
μ Reinshof	3,11	1,93	1,64	2,23
μ Deppoldshausen	1,13	0,80	0,39	<i>0,77</i>

**Tab. B14:** Blattflächenindex (BFI; m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) zum Blühbeginn der acht Winterackerbohnen-  
genotypen in den Gemengen mit Genius (Ta1); aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen-  
genotyp (Vf), Standort und Jahr. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor Vf</b>	<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>
Vf1	<b>2,50</b>	2,09	<b>1,65</b>	<b>2,08</b>
Vf2	2,54	<b>2,02</b>	1,83	2,13
Vf3	3,18	2,38	1,87	2,48
Vf4	2,72	2,12	1,81	2,22
Vf5	3,56	2,19	2,07	2,61
Vf6	2,77	2,05	2,05	2,29
Vf7	3,35	<b>2,55</b>	<b>2,35</b>	<b>2,75</b>
Vf8	<b>3,61</b>	2,28	1,75	2,55
μ	3,03	2,21	1,92	<u>2,39</u>
<b>Hauptfaktor S</b>				
μ Reinshof	3,58	3,00	2,32	2,94
μ Deppoldshausen	2,48	1,42	1,62	<i>1,84</i>

**Tab. B15:** Blattflächenindex (BFI; m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) zur Vollblüte der acht Winterackerbohnenengenotypen in den Gemengen mit Genius (Ta1); aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnenenotyp (Vf), Standort und Jahr. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor Vf</b>		<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>	
Vf1	2,29	3,52	<b>2,40</b>	<b>2,74</b>	
Vf2	<b>2,27</b>	3,66	2,74	2,89	
Vf3	2,72	<b>3,83</b>	2,45	3,00	
Vf4	2,58	3,50	2,56	2,88	
Vf5	2,70	3,70	3,01	<b>3,14</b>	
Vf6	2,39	<b>3,08</b>	2,93	2,80	
Vf7	2,63	3,62	<b>3,14</b>	3,13	
Vf8	<b>3,22</b>	3,50	2,57	3,10	
μ	2,60	3,55	2,73	<u>2,96</u>	
<b>Hauptfaktor S</b>					
μ Reinshof	2,48	4,25	2,86	3,20	
μ Deppoldshausen	2,72	2,85	2,59	2,72	

**Tab. B16:** Blattflächenindex (BFI; m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) zum Blühende der acht Winterackerbohnenengenotypen in den Gemengen mit Genius (Ta1); aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnenenotyp (Vf), Standort und Jahr. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor Vf</b>		<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>	
Vf1	<b>2,37</b>	6,04	<b>2,77</b>	3,73	
Vf2	2,49	5,83	2,78	<b>3,70</b>	
Vf3	2,96	<b>7,26</b>	2,90	4,37	
Vf4	2,89	5,98	3,08	3,98	
Vf5	3,23	5,93	3,09	4,08	
Vf6	2,84	5,70	<b>3,38</b>	3,97	
Vf7	2,87	<b>5,51</b>	3,35	3,91	
Vf8	<b>3,76</b>	7,24	2,91	<b>4,64</b>	
μ	2,93	6,19	3,03	<u>4,05</u>	
<b>Hauptfaktor S</b>					
μ Reinshof	3,70	6,66	3,12	4,49	
μ Deppoldshausen	2,16	5,71	2,94	3,60	

**Tab. B17:** Ergebnisse der Split-Plot-ANOVA inklusive F-Tests für den Blattflächenindex (BFI;  $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ ) vor der Blüte der Vf in den Reinsaaten und Gemengen (K=2) der acht Winterackerbohnen-  
genotypen (B=8), erhoben in drei Jahren (J=3) an zwei Standorten (S=2) mit jeweils vier Wiederholungen  
(R=4).

<b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>Var.Kp.</b>	<b>F-Wert</b>	<b>GD (5 %)</b>
J	2	74,0783	0,571	72,74**	0,27
S	1	235,9710	1,224	231,69**	0,22
SJ	2	14,0169	0,203	13,76**	0,37
R:SJ	18	1,0185	0,058	11,69**	0,21
B	7	1,7089	0,034	19,61**	0,12
BJ	14	0,5099	0,026	5,85**	0,21
BS	7	0,3646	0,012	4,18**	0,17
BSJ	14	0,3149	0,029	3,61**	0,29
BR:SJ	126	0,0871	0,008	1,24ns	0,52
K	1	9,4627	0,049	134,15**	0,05
KJ	2	5,1528	0,079	73,05**	0,09
KS	1	1,1594	0,011	16,44**	0,08
KSJ	2	2,0669	0,062	29,30**	0,13
KB	7	0,1902	0,005	2,70*	0,15
KBJ	14	0,1298	0,007	1,84*	0,26
KBS	7	0,0292	-0,003	0,41ns	0,21
KBSJ	14	0,0678	-0,001	0,96ns	0,37
KBRSJ	144	0,0705	0,071		
Total	383				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$ ; ns: nicht signifikant.

**Tab. B18:** Ergebnisse der Split-Plot-ANOVA inklusive F-Tests für den Blattflächenindex (BFI;  $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ ) zum Blühbeginn der Winterackerbohnen in den Reinsaaten und Gemengen (K=2) der acht Winterackerbohnen genotypen (B=8), erhoben in drei Jahren (J=3) an zwei Standorten (S=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

<b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>Var.Kp.</b>	<b>F-Wert</b>	<b>GD (5 %)</b>
J	2	72,065	0,532	18,35**	0,52
S	1	127,467	0,643	32,45**	0,42
SJ	2	9,189	0,082	2,34ns	0,74
R:SJ	18	3,928	0,232	18,15**	0,33
B	7	3,248	0,063	15,01**	0,19
BJ	14	1,547	0,083	7,15**	0,33
BS	7	0,150	-0,003	0,69ns	0,27
BSJ	14	0,235	0,002	1,09ns	0,46
BR:SJ	126	0,216	0,028	1,35*	0,79
K	1	31,625	0,164	196,99**	0,08
KJ	2	5,571	0,085	34,70**	0,14
KS	1	0,284	0,001	1,77ns	0,11
KSJ	2	0,756	0,019	4,71*	0,20
KB	7	0,118	-0,002	0,74ns	0,23
KBJ	14	0,402	0,030	2,51**	0,40
KBS	7	0,234	0,006	1,46ns	0,32
KBSJ	14	0,143	-0,004	0,89ns	0,56
KBRSJ	144	0,161			
Total	383				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$ ; ns: nicht signifikant.

**Tab. B19:** Ergebnisse der Split-Plot-ANOVA inklusive. F-Tests für den Blattflächenindex (BFI;  $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ ) zur Vollblüte der Winterackerbohnen in den Reinsaat und Gemengen (K=2) der acht Winterackerbohnen genotypen (B=8), erhoben in drei Jahren (J=3) an zwei Standorten (S=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	38,321	0,273	11,21**	0,49
S	1	46,294	0,223	13,55**	0,40
SJ	2	18,803	0,240	5,50*	0,69
R:SJ	18	3,417	0,195	11,40**	0,38
B	7	2,838	0,053	9,47**	0,22
BJ	14	1,461	0,073	4,88**	0,38
BS	7	0,112	-0,008	0,37ns	0,31
BSJ	14	0,306	0,001	1,02ns	0,54
BR:SJ	126	0,300	0,027	1,22ns	0,98
K	1	70,941	0,368	288,56**	0,10
KJ	2	2,394	0,034	9,74**	0,17
KS	1	4,614	0,046	18,77**	0,14
KSJ	2	2,071	0,057	8,42**	0,25
KB	7	1,057	0,034	4,30**	0,28
KBJ	14	0,388	0,018	1,58+	0,49
KBS	7	0,424	0,015	1,73ns	0,40
KBSJ	14	0,249	0,001	1,01ns	0,69
KBRSJ	144	0,246			
Total	383				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrat; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$ ; +:  $P < 0,10$ ; ns: nicht signifikant.



**Tab. B20:** Ergebnisse der Split-Plot-ANOVA inklusive F-Tests für den Blattflächenindex (BFI; m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) zum Blühende der Winterackerbohnen in den Reinsaat und Gemengen (K=2) der acht Winterackerbohnenengenotypen (B=8), erhoben in drei Jahren (J=3) an zwei Standorten (S=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	449,127	3,484	140,68**	0,47
S	1	43,412	0,210	13,60**	0,38
SJ	2	15,670	0,195	4,91*	0,66
R:SJ	18	3,193	0,182	11,46**	0,37
B	7	8,087	0,163	29,02**	0,21
BJ	14	2,501	0,139	8,97**	0,37
BS	7	0,871	0,025	3,12**	0,30
BSJ	14	0,774	0,062	2,78**	0,52
BR:SJ	126	0,279	0,006	1,04ns	1,02
K	1	74,913	0,389	280,39**	0,10
KJ	2	2,966	0,042	11,10**	0,18
KS	1	4,623	0,045	17,30**	0,15
KSJ	2	1,629	0,043	6,10**	0,26
KB	7	0,734	0,020	2,75*	0,29
KBJ	14	0,231	-0,005	0,87ns	0,51
KBS	7	0,272	0,000	1,02ns	0,42
KBSJ	14	0,162	-0,026	0,60ns	0,72
KBR SJ	144	0,267			
Total	383				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadratrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenz bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeiten; signifikant bei \*\*: P < 0,01; \*: P < 0,05; ns: nicht signifikant.

#### 4.1.1.3. Wuchshöhe der Winterackerbohnen in Reinsaat und Gemenge

Das Versuchsmittel der Wuchshöhe in den Reinsaat der Winterackerbohnenengenotypen zum Zeitpunkt vor der Blüte der Vf lag bei 28,0 cm, zum Blühbeginn bei 44,8 cm und zur Vollblüte der Vf bei 82,7 cm (Tab. B21 bis Tab. B23). Im Mittel über die drei Jahre war die Vf2 zum Blühbeginn und zur Vollblüte der Vf die kürzeste und Vf7 zum Zeitpunkt vor der Blüte und zur Vollblüte die längste Vf. Zu jedem Messtermin in allen drei Versuchsjahren, mit Ausnahme des Jahres 2015 zum Blühbeginn der Vf (Tab. B22) war die Wuchshöhe der Ackerbohnen in ihren Reinsaat am Standort Reinshof höher als am Standort Deppoldshausen. Die Differenz der Wuchshöhen der Ackerbohnen in den Reinsaat zwischen den Standorten nahm mit jedem Messtermin deutlich zu. Die Bohnen am Standort Reinshof waren zum ersten Messtermin nur 5,7 cm und zum Zeitpunkt der Vollblüte sogar um 23,6 cm länger als am Standort Deppoldshausen (Tab. B21 -Tab. B23).

Die ANOVAs zeigten, dass alle Hauptfaktoren, an jedem der drei Messtermine, einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Wuchshöhe der Ackerbohnen in ihren Reinsaaten ausübten (Tab. B24 – Tab. B26;  $35,87^{**} < F\text{-Wert} < 361,20^{**}$ ). Die Grenzdifferenzen zwischen den Winterackerbohnenengenotypen lagen zum Messtermin vor der Blüte bei 1,49 cm, zum Blühbeginn bei 1,72 cm und zum Zeitpunkt der Vollblüte der Vf bei 2,46 cm. Der Hauptfaktor Jahr erkläre zu jedem Messtermin den größten Anteil an der Gesamtvarianz (Tab. B24 - Tab. B26).

**Tab. B21:** Wuchshöhe (cm) zum Zeitpunkt vor der Blüte der acht Winterackerbohnenengenotypen in den Reinsaaten aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnenenotyp (Vf), Standort und Jahr. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor Vf</b>		<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>	
Vf1	39,5	27,1	10,8	25,8	
Vf2	<b>37,1</b>	<b>24,7</b>	9,6	23,8	
Vf3	43,8	29,1	10,3	27,7	
Vf4	47,1	31,3	11,9	30,1	
Vf5	46,7	<b>34,9</b>	12,7	31,4	
Vf6	42,0	28,9	<b>15,1</b>	28,7	
Vf7	<b>47,3</b>	37,1	14,4	<b>32,9</b>	
Vf8	39,1	23,1	<b>8,8</b>	<b>23,7</b>	
μ	42,8	29,5	11,7	<u>28,0</u>	
<b>Hauptfaktor S</b>					
μ Reinshof	43,6	35,9	13,06	30,8	
μ Deppoldshausen	42,0	23,1	10,34	25,2	

**Tab. B22:** Wuchshöhe (cm) zum Zeitpunkt zum Blühbeginn der acht Winterackerbohnenengenotypen in den Reinsaaten aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnenengotyp (Vf), Standort und Jahr. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor Vf</b>		<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>	
Vf1	52,0	50,6	21,0	41,2	
Vf2	<b>47,7</b>	47,4	20,4	<b>38,5</b>	
Vf3	57,8	53,6	22,4	44,6	
Vf4	<b>61,2</b>	56,9	25,0	47,7	
Vf5	60,2	60,6	28,9	49,9	
Vf6	55,4	50,2	29,8	45,1	
Vf7	60,5	<b>61,6</b>	<b>31,3</b>	<b>51,1</b>	
Vf8	54,7	<b>47,1</b>	<b>18,1</b>	40,0	
μ	56,2	53,5	24,6	<u>44,8</u>	
<b>Hauptfaktor S</b>					
μ Reinshof	53,6	64,7	29,1	<i>49,1</i>	
μ Deppoldshausen	58,7	42,4	20,2	<i>40,4</i>	

**Tab. B23:** Wuchshöhe (cm) zum Zeitpunkt zur Vollblüte der acht Winterackerbohnenengenotypen in den Reinsaaten aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnenengotyp (Vf), Standort und Jahr. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor Vf</b>		<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>	
Vf1	70,2	104,8	64,8	79,9	
Vf2	<b>61,3</b>	<b>89,3</b>	<b>58,0</b>	<b>69,5</b>	
Vf3	79,3	109,9	70,3	86,5	
Vf4	<b>80,7</b>	<b>111,8</b>	71,2	<b>87,9</b>	
Vf5	78,4	109,4	71,1	86,3	
Vf6	75,6	101,5	71,3	82,8	
Vf7	79,3	106,1	<b>73,7</b>	86,3	
Vf8	76,6	107,2	62,9	82,2	
μ	75,2	105,0	67,9	<u>82,7</u>	
<b>Hauptfaktor S</b>					
μ Reinshof	83,8	124,1	75,5	<i>94,5</i>	
μ Deppoldshausen	66,5	85,9	60,2	<i>70,9</i>	

**Tab. B24:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für die Wuchshöhe (cm) vor der Blüte der Winterackerbohnen in den Reinsaatensorten der acht Winterackerbohnen-Genotypen (B=8), erhoben in drei Jahren (J=3) an zwei Standorten (S=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	15578,600	242,742	361,20**	2,44
S	1	1547,010	15,665	35,87**	1,99
SJ	2	611,271	17,754	14,17**	3,45
R:SJ	18	43,130	4,544	6,36**	2,58
B	7	282,720	11,497	41,69**	1,49
BJ	14	34,766	3,498	5,13**	2,58
BS	7	19,142	1,030	2,82**	2,10
BSJ	14	11,082	1,075	1,63+	3,64
BRSJ	126	6,781	6,781		
Total	191				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$ ; +:  $P < 0,10$ ; ns: nicht signifikant.

**Tab. B25:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für die Wuchshöhe (cm) zum Blühbeginn der Winterackerbohnen in den Reinsaatensorten der acht Winterackerbohnen-Genotypen (B=8), erhoben in drei Jahren (J=3) an zwei Standorten (S=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	19575,440	304,436	213,91**	3,55
S	1	3607,067	36,620	39,42**	2,90
SJ	2	3008,166	91,146	32,87**	5,02
R:SJ	18	91,511	10,305	10,09**	2,98
B	7	516,672	21,150	56,96**	1,72
BJ	14	54,930	5,732	6,06**	2,98
BS	7	29,278	1,684	3,23**	2,43
BSJ	14	37,204	7,033	4,10**	4,21
BRSJ	126	9,071	9,071		
Total	191				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeiten; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ .

**Tab. B26:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für die Wuchshöhe (cm) zur Vollblüte der Winterackerbohnen in den Reinsaat der acht Winterackerbohnenotypen (B=8), erhoben in drei Jahren (J=3) an zwei Standorten (S=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	24771,70	382,667	88,14**	6,23
S	1	26739,03	275,604	95,14**	5,08
SJ	2	2579,33	71,821	9,18**	8,81
R: SJ	18	281,06	32,811	15,14**	4,26
B	7	870,69	35,505	46,89**	2,46
BJ	14	59,045	5,060	3,18**	4,26
BS	7	27,318	0,729	1,47ns	3,48
BSJ	14	34,873	4,076	1,88*	6,03
BRSJ	126	18,568	18,568		
Total	191				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$ ; ns: nicht signifikant.

Die Wuchshöhen der Vf in Gemengen wurden zu denselben Zeitpunkten wie die vorher besprochenen Wuchshöhen der Vf in den Reinsaat erfasst. Die allgemeinen Versuchsmittel lagen je nach Messtermin bei 28,4 cm (vor der Blüte), 43,7 cm (Blühbeginn) und bei 78,0 cm (Vollblüte). Damit waren die Bohnen in den Reinsaat nur zur Vollblüte kürzer als in ihren Gemengen mit Genius (Tab. B27 - Tab. B29). Die Vf2 war zum Blühbeginn und zur Vollblüte der kürzeste Bohnengenotyp und die Vf7 (vor der Blüte), die Vf5 (Blühbeginn) und die Vf4 (Vollblüte) die längsten Ackerbohnenotypen im Mittel der Jahre und Orte (Tab. B27 - Tab. B29). Die Wuchshöhen-Werte waren zu jedem Messtermin am Standort Reinshof stets größer als am Standort Deppoldshausen. Im Jahr 2016 waren die Bohnen sowohl in den Gemengen als auch den Reinsaat und besonders zum Zeitpunkt der Vollblüte sehr wüchsig; sehr beeindruckend war dieses am Standort Reinshof ausgeprägt (Tab. B29; B23).

Die Varianzanalysen für die Wuchshöhe der Ackerbohnen im Gemenge mit Ta1 zeigten, vergleichbar mit den Wuchshöhen der Reinsaat, dass alle Hauptfaktoren zu jedem der drei Messtermine einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Wuchshöhe der Ackerbohnen in den Gemengen mit Ta1 ausübten.

Der Hauptfaktor Ackerbohnenotyp hatte für die Merkmale Wuchshöhe der Ackerbohnen in den Gemengen zum Blühbeginn und zur Vollblüte einen größeren Anteil an der Gesamtvarianz als die Anbauweise Ackerbohnen-Reinsaat oder Gemenge mit Ta1 (Tab. B31;  $0,078 \text{ cm}^2 < \text{Var.Kp.} < 4,465 \text{ cm}^2$ , Tab. B32;  $0,480 \text{ cm}^2 < \text{Var.Kp.} < 7,944 \text{ cm}^2$ ). Die Grenzdifferenzen zwischen den Winterackerbohnenotypen lagen je nach Messtermin bei 0,21 cm, 1,14 cm und bei 1,54 cm (Tab. B30 - Tab. B32).

**Tab. B27:** Wuchshöhe (cm) zum Zeitpunkt vor der Blüte der acht Winterackerbohnenengenotypen in den Gemengen mit Ta1 aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnenengotyp (Vf), Standort und Jahr. Minima und Maxima sind fett gedruckt.

<b>Hauptfaktor Vf</b>		<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>	
Vf1	38,6	27,2	<b>10,9</b>	25,6	
Vf2	<b>38,4</b>	26,3	11,5	25,4	
Vf3	43,6	28,9	13,3	28,6	
Vf4	<b>45,7</b>	31,1	14,1	30,3	
Vf5	45,0	33,9	15,9	31,6	
Vf6	40,4	30,3	<b>16,4</b>	29,0	
Vf7	45,1	<b>34,3</b>	16,0	<b>31,8</b>	
Vf8	41,1	<b>23,4</b>	11,1	<b>25,2</b>	
μ	42,2	29,4	13,7	<u>28,4</u>	
<b>Hauptfaktor S</b>					
μ Reinshof	42,0	35,0	15,6	30,8	
μ Deppoldshausen	42,5	23,9	11,8	26,1	

**Tab. B28:** Wuchshöhe (cm) zum Zeitpunkt zum Blühbeginn der acht Winterackerbohnenengenotypen in den Gemengen mit Ta1 aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnenengotyp (Vf), Standort und Jahr. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt

<b>Hauptfaktor Vf</b>		<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>	
Vf1	48,8	46,6	24,1	39,8	
Vf2	<b>47,1</b>	46,9	23,8	<b>39,3</b>	
Vf3	54,1	49,8	26,3	43,4	
Vf4	<b>57,0</b>	54,5	30,2	47,2	
Vf5	55,1	<b>57,1</b>	31,0	<b>47,7</b>	
Vf6	51,6	49,7	31,8	44,3	
Vf7	56,0	54,3	<b>32,5</b>	47,6	
Vf8	53,3	<b>44,4</b>	<b>22,8</b>	40,2	
μ	52,9	50,4	27,8	<u>43,7</u>	
<b>Hauptfaktor S</b>					
μ Reinshof	49,4	59,8	33,5	47,5	
μ Deppoldshausen	56,3	41,1	22,1	39,8	

**Tab. B29:** Wuchshöhe (cm) zum Zeitpunkt zur Vollblüte der acht Winterackerbohnenengenotypen in den Gemengen mit Ta1 aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnenotyp (Vf), Standort und Jahr. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Hauptfaktor Vf</b>		<b>Jahr</b>			<b>Mittel</b>
<b>Vf</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>μ</b>	
Vf1	65,9	98,3	64,7	76,3	
Vf2	<b>59,6</b>	<b>86,4</b>	<b>60,4</b>	<b>68,8</b>	
Vf3	71,5	100,6	68,1	80,1	
Vf4	<b>76,0</b>	<b>104,8</b>	70,9	<b>83,9</b>	
Vf5	71,6	101,2	67,3	80,0	
Vf6	67,9	95,9	69,1	77,6	
Vf7	71,9	98,1	<b>71,1</b>	80,4	
Vf8	72,4	96,7	62,1	77,1	
μ	69,6	97,7	66,7	<u>78,0</u>	
<b>Hauptfaktor S</b>					
μ Reinshof	75,2	113,9	73,4	87,5	
μ Deppoldshausen	64,1	81,6	60,0	68,6	

**Tab. B30:** Ergebnisse der Split-Plot-ANOVA inklusive F-Tests für die Wuchshöhe (cm) vor der Blüte der Winterackerbohnenengenotypen (B=8) in Reinsaat und Gemengen (K=2) der acht Winterackerbohnenengenotypen, erhoben in drei Jahren (J=3) an zwei Standorten (S=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

<b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>Var.Kp.</b>	<b>F-Wert</b>	<b>GD (5 %)</b>
J	2	449,127	3,4839	140,68**	0,47
S	1	43,412	0,2095	13,60**	0,38
SJ	2	15,670	0,1950	4,91*	0,66
R: SJ	18	3,193	0,1821	11,46**	0,37
B	7	8,087	0,1627	29,02**	0,21
BJ	14	2,501	0,1389	8,97**	0,37
BS	7	0,871	0,0247	3,12**	0,30
BSJ	14	0,774	0,0619	2,78**	0,52
BR: SJ	126	0,279	0,0057	1,04ns	1,02
K	1	74,913	0,3888	280,39**	0,10
KJ	2	2,966	0,0422	11,10**	0,18
KS	1	4,623	0,0454	17,30**	0,15
KSJ	2	1,629	0,0426	6,10**	0,26
KB	7	0,734	0,0195	2,75*	0,29
KBJ	14	0,231	-0,0045	0,87ns	0,51
KBS	7	0,272	0,0004	1,02ns	0,42
KBSJ	14	0,162	-0,0264	0,60ns	0,72
KBRSJ	143	0,267			
Total	382				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$ ; ns: nicht signifikant.



**Tab. B31:** Ergebnisse der Split-Plot-ANOVA inklusive F-Tests für die Wuchshöhe (cm) zum Blühbeginn der Winterackerbohnen genotypen in den Reinsaaten und Gemengen (K=2) der acht Winterackerbohnen genotypen (B=8), erhoben in drei Jahren (J=3) an zwei Standorten (S=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

<b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>Var.Kp.</b>	<b>F-Wert</b>	<b>GD (5 %)</b>
J	2	28628,09	158,150	377,42**	2,29
S	1	2625,04	11,164	34,61**	1,87
SJ	2	1144,09	12,646	15,08**	3,23
R:SJ	18	75,85	1,500	9,58**	1,97
B	7	454,59	4,465	57,44**	1,14
BJ	14	51,54	1,141	6,51**	1,97
BS	7	25,79	0,508	3,26**	1,61
BSJ	14	14,18	0,639	1,79*	2,78
BR:SJ	126	7,91	0,562	1,73**	4,22
K	1	18,38	0,078	4,03*	0,43
KJ	2	57,52	0,636	12,61**	0,75
KS	1	19,26	0,164	4,22*	0,61
KSJ	2	23,74	0,525	5,20**	1,06
KB	7	9,89	0,196	2,17*	1,22
KBJ	14	5,36	0,246	1,18ns	2,11
KBS	7	6,68	0,266	1,46ns	1,72
KBSJ	14	5,98	0,545	1,31ns	2,99
KBRSJ	144	4,56			
Total	383				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$ ; ns: nicht signifikant.

**Tab. B32:** Ergebnisse der Split-Plot-ANOVA inklusive F-Tests für die Wuchshöhe (cm) zur Vollblüte der acht Winterackerbohnen-Genotypen (B=8) in den Reinsaat- und Gemengen (K=2) der acht Winterackerbohnen-Genotypen, erhoben in drei Jahren (J=3) an zwei Standorten (S=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	31345,25	173,160	218,84**	3,14
S	1	6437,01	27,375	44,94**	2,57
SJ	2	5733,37	63,349	40,03**	4,44
R:SJ	18	143,23	2,833	9,89**	2,66
B	7	808,83	7,944	55,86**	1,54
BJ	14	82,76	1,832	5,72**	2,66
BS	7	38,36	0,757	2,65*	2,17
BSJ	14	40,08	1,786	2,77**	3,77
BR:SJ	126	14,48	0,971	2,40**	4,85
K	1	112,88	0,480	18,72**	0,50
KJ	2	434,52	4,801	72,08**	0,86
KS	1	22,14	0,188	3,67+	0,70
KSJ	2	80,11	1,770	13,29**	1,21
KB	7	22,06	0,434	3,66**	1,40
KBJ	14	7,29	0,334	1,21ns	2,43
KBS	7	7,61	0,305	1,26ns	1,98
KBSJ	14	17,00	1,513	2,82**	3,43
KBRSJ	144	6,03	0,710		
Total	383				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$ ; +:  $P < 0,10$ ; ns: nicht signifikant.

#### 4.1.1.4. Wuchshöhe des Weizens in Reinsaat und im Gemenge

Die Wuchshöhe des Weizens wurde analog zu der Wuchshöhe der Winterackerbohnen-Genotypen zu drei Messzeitpunkten erfasst. Die Versuchsmittel der Wuchshöhe von Genius (Ta1) im Mittel seiner Gemenge erreichten von vor Blüte über Blühbeginn bis Vollblüte die Werte 34,3 cm, 45,8 cm und 69,6 cm (Tab. B33). Die Wuchshöhen von Genius lagen zu jedem Messzeitpunkt am Standort Reinshof höher als am Standort Deppoldshausen. Die Varianzanalysen ergaben, dass die Hauptfaktoren Jahre und Standorte einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Wuchshöhe von Genius zu den drei Messterminen ausübten. Dagegen hatten die Winterackerbohnen-Genotypen an allen drei Messterminen keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Wuchshöhe ihres Gemengepartner Genius (Tab. AXIII bis Tab. AXV). In seinen Reinsaat-erreichte Genius (Ta1) eine geringere Wuchshöhe als in seinen Gemengen (Tab. B33).

**Tab. B33:** Wuchshöhe (cm) der Winterweizensorte Genius (Ta1) zum Zeitpunkt, vor der Blüte, Blühbeginn und Vollblüte der acht Winterackerbohnenengenotypen aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnenengenotyp (Vf), Standort und Jahr, Gemenge und Reinsaat. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

<b>Messzeitpunkt</b>			
<b>Gemenge mit</b>	<b>Vor der Blüte</b>	<b>Blühbeginn</b>	<b>Vollblüte</b>
Vf1	34,0	<b>44,6</b>	<b>68,0</b>
Vf2	34,3	46,5	69,7
Vf3	34,0	45,7	70,3
Vf4	<b>35,0</b>	46,5	<b>70,7</b>
Vf5	34,2	<b>46,6</b>	69,7
Vf6	34,3	45,5	69,8
Vf7	34,3	45,8	69,1
Vf8	<b>34,0</b>	45,2	69,3
$\mu$	34,3	45,8	69,6
<b>Hauptfaktor S</b>			
$\mu$ Reinshof	38,1	50,4	75,5
$\mu$ Deppoldshausen	30,4	41,3	63,7
<b>Reinsaat</b>			
$\mu$ Ta1	32,9	42,1	63,7
<b>Hauptfaktor S</b>			
$\mu$ Reinshof	38,0	47,7	71,1
$\mu$ Deppoldshausen	27,8	36,4	56,2

#### 4.1.1.5. Wuchshöhendifferenz zwischen Winterackerbohnen und Weizen im Gemenge

Die Wuchshöhendifferenz (cm) zwischen Winterackerbohnenengenotypen und dem Winterweizen Genius in den Gemengen ergibt sich aus der Subtraktion der Wuchshöhe der Vf und Genius in den entsprechenden Gemengen. Da sich diese absoluten Differenzen aus den vorangegangenen Ergebnissen der Wuchshöhe von Ackerbohne und Weizen ergeben, werden im Folgenden nur die Versuchsmittel über Jahre und Standorte je Gemenge und Messtermin dargestellt (Tab. B34).

An den ersten beiden Messterminen waren die Ackerbohnen im Mittel aller Gemenge kleiner als der Gemengepartner Genius. Sie waren um 5,8 cm (vor der Blüte) und 2,1 cm (Blühbeginn) kleiner als Genius. Zum Messtermin der Vollblüte waren dagegen die Ackerbohnen im

Mittel um 8,8 cm größer als ihr Gemegepartner Genius. Zu diesem Termin war nur noch Vf2 (um 0,9 cm) kleiner als Genius in ihrem Gemege. Die Vf7 war dagegen mit 13,8 cm deutlich größer als ihr Gemegepartner Ta1 (Tab. B34). Zum Messtermin der Vollblüte waren die Ackerbohnen am Standort Reinshof um 12,0 cm größer als der Weizen, am Standort Deppoldshausen hingegen nur um 5,5 cm.

Der Hauptfaktor Ackerbohnen-genotyp hatte an jedem der drei Messtermine einen signifikanten Einfluss auf die Wuchshöhendifferenz zwischen Ackerbohnen-genotyp und Genius im Gemege (Tab. 35B - Tab. 37B;  $17,62^{**} < F\text{-Wert} < 28,00^{**}$ ); ebenso die Hauptfaktoren Standort und Jahr. Der Hauptfaktor Winterackerbohnen-genotyp hatte in dem Merkmal Wuchshöhendifferenz zwischen Ackerbohne und Weizen in den Gemegen zum Zeitpunkt der Vollblüte einen deutlich größeren Anteil an der Gesamtvarianz (Tab. B37; Var.Kp.:  $19,418\text{cm}^2$ ) als zu den Messterminen vor der Blüte und Blühbeginn der Vf.

**Tab. B34:** Wuchshöhendifferenz (cm) zwischen den acht Winterackerbohnen-genotypen und Genius (Ta1) zum Messzeitpunkt vor der Blüte, Blühbeginn und Vollblüte der Winterackerbohnen in den entsprechenden Gemegen. Aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen-genotyp (Vf), Standort und Jahr. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

Gemege mit	Messzeitpunkt		
	Vor der Blüte	Blühbeginn	Vollblüte
Vf1	-8,4	-4,8	8,3
Vf2	<b>-8,9</b>	<b>-7,3</b>	<b>-0,9</b>
Vf3	-5,4	-2,3	9,8
Vf4	-4,7	0,8	13,2
Vf5	-2,7	1,3	10,4
Vf6	-5,3	-1,2	7,8
Vf7	<b>-2,5</b>	<b>1,8</b>	<b>13,8</b>
Vf8	-8,8	-5,3	7,8
$\mu$	-5,8	-2,1	8,8
<b>Hauptfaktor S</b>			
$\mu$ Reinshof	-7,3	-2,8	12,0
$\mu$ Deppoldshausen	-4,4	-1,4	5,5

**Tab. B35:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für die Wuchshöhendifferenz (cm) zwischen Winterackerbohnen genotyp und Genius der Gemenge vor der Blüte der Winterackerbohnen in den Reinsaatensorten der acht Winterackerbohnen genotypen (B=8), erhoben in drei Jahren (J=3) an zwei Standorten (S=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	2895,666	44,791	99,74**	2,00
S	1	404,260	3,909	13,93**	1,63
SJ	2	87,822	1,837	3,03+	2,83
R:SJ	18	29,031	2,899	4,97**	2,39
B	7	163,573	6,572	28,00**	1,38
BJ	14	26,380	2,567	4,52**	2,39
BS	7	14,866	0,752	2,54*	1,95
BSJ	14	11,012	1,292	1,88*	3,38
BRSJ	126	5,842	5,842		
Total	191				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeiten; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$ ; +:  $P < 0,10$ .

**Tab. B36:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für die Wuchshöhendifferenz (cm) zwischen Winterackerbohnen genotyp und Genius der Gemenge zum Blühbeginn der Vf in den Reinsaatensorten der acht Winterackerbohnen genotypen (B=8), erhoben in drei Jahren (J=3) an zwei Standorten (S=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	2796,716	43,098	72,76**	2,3
S	1	92,984	0,568	2,42 ns	1,88
SJ	2	510,967	14,767	13,29**	3,26
R:SJ	18	38,435	3,249	3,09**	3,49
B	7	274,988	10,939	22,10**	2,02
BJ	14	29,005	2,070	2,33**	3,49
BS	7	21,182	0,728	1,70ns	2,85
BSJ	14	19,093	1,662	1,53ns	4,94
BRSJ	126	12,446	12,446		
Total	191				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeiten; Signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; ns: nicht signifikant.

**Tab. B37:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für die Wuchshöhendifferenz (cm) zwischen Winterackerbohnen genotyp und Genus der Gemeinde zur Vollblüte der Winterackerbohnen in den Reinsaat der acht Winterackerbohnen genotypen (B=8), erhoben in drei Jahren (J=3) an zwei Standorten (S=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

<b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>Var.Kp.</b>	<b>F-Wert</b>	<b>GD (5 %)</b>
J	2	10643,113	163,283	55,15**	5,16
S	1	2059,320	19,441	10,67**	4,21
SJ	2	228,160	1,099	1,18ns	7,30
R:SJ	18	192,996	20,619	6,88**	5,24
B	7	494,081	19,418	17,62**	3,03
BJ	14	45,309	2,158	1,62+	5,24
BS	7	44,063	1,335	1,57ns	4,28
BSJ	14	56,199	7,039	2,00*	7,41
BRSJ	126	28,042	28,042		
Total	191				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeiten; Signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$ ; +:  $P < 0,10$ ; ns: nicht signifikant.

#### **4.1.2. Korrelation zwischen Hilfsmerkmalen und dem Mehrertrag im Gemenge**

In den vorangegangenen Kapiteln zeigte sich, dass die im vorliegenden Versuch untersuchten Gemenge statistisch signifikante Mehrerträge erzielten. Zudem zeigte sich, dass statistisch signifikante genetische Variation zwischen den acht Winterackerbohnen-Genotypen bezüglich dieser Ertragsmerkmale und Mehrertrags-Parameter, sowie einiger zusätzlicher Hilfsmerkmale vorlag. Im folgenden Kapitel soll nun untersucht werden, ob statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen diesen Mehrerträgen oder Mehrertrags-Parametern mit den zusätzlich erhobenen Merkmalen vorliegen. Ziel ist es, den Mehrertrag nicht nur durch die Wahl der Gemengekomponenten, sondern durch gezielte pflanzenzüchterische Bearbeitung der zusätzlichen Merkmale zu optimieren und zu steigern. Die Daten für die Korrelationen zwischen den Erträgen bzw. Mehrertrags-Parametern und den Hilfsmerkmalen, die in den folgenden Kapiteln dargestellt werden, wurden allesamt im B-Set erhoben (die Lagerbonituren wurden im A\_Set durchgeführt).

##### **4.1.2.1. Korrelationen zwischen Hilfsmerkmalen und den Kornerträgen der Gemenge**

Die Korrelationen zwischen dem Ackerbohnenkornertrag im Gemenge und den Hilfsmerkmalen: Blattflächenindices der Gemenge, Wuchshöhen, Wuchshöhendifferenzen, Lager der Ackerbohnen im Gemenge, Lager der Weizen im Gemenge zu den verschiedenen Messterminen lagen zwischen  $r = -0,255_{ns}$  und  $r = 0,790^*$  (Tab. AIX). Der Blattflächenindex im Gemenge mit Ta1 zum Zeitpunkt des Blühbeginns, der Vollblüte und zum Blühende der Vf war positiv und statistisch signifikant mit dem Ackerbohnen-ertrag dieser Gemenge korreliert (Tab. AIX:  $r = 0,774^*$ ;  $r = 0,690_+$ ;  $r = 0,790^*$ ). Zudem war zum Zeitpunkt der Vollblüte die Wuchshöhe der Ackerbohnen in diesen Gemengen und die Wuchshöhendifferenz zum Weizen in diesen Gemengen positiv mit dem Ackerbohnen-ertrag dieser Gemenge korreliert und statistisch signifikant (Tab. AIX:  $0,682_+$ ;  $r = 0,731^*$ ).

Der Kornertrag der Weizensorte Genius im Gemenge war sowohl mit dem Lager der Ackerbohnen als auch mit seinem Lager negativ und statistisch signifikant korreliert (Tab. AIX;  $r = -0,763^*$ ,  $r = -0,773^*$ ). Es ist dabei anzumerken, dass die Korrelation zwischen dem Lager der Ackerbohnen und der Winterweizensorte Genius in ihrem Gemenge ebenso statistisch signifikant war. Der Korrelationskoeffizient lag bei  $r = 0,956^{**}$ . Insgesamt lagen die Korrelationen beim Merkmal Lager innerhalb und zwischen den drei Gemengesituationen von Ackerbohne und Weizen zwischen  $0,853^{**} < r < 0,988^{**}$ . Zudem lagen die Korrelationskoeffizienten des Weizen-ertrags (Genius) im Gemenge mit den Blattflächenindices dieser Gemenge

ge zum Zeitpunkt vor der Blüte, Blühbeginn und Blühende zwischen  $-0,708^* > r < -0,786^*$ . Zum Zeitpunkt der Vollblüte der Ackerbohnen waren die Wuchshöhen der Ackerbohnen und die Wuchshöhendifferenz zwischen Genius und den acht Winterackerbohnen in ihrem Gemenge ebenso statistisch signifikant negativ mit dem Weizenertrag im Gemenge korreliert ( $r = -0,744^*$  und  $r = -0,766^*$ ).

Im Gegensatz dazu lagen Korrelationen zwischen den Hilfsmerkmalen und den Gesamt-Gemengeerträgen allesamt nahe bei Null (Tab. AIX). Die Ausnahme bildet hier die Korrelation zwischen dem Gesamt-Gemengeertrag der Gemenge mit Genius und dem Lager dieses Weizens im Gemenge. Sie war negativ und statistisch signifikant ( $r = -0,656+$ ).

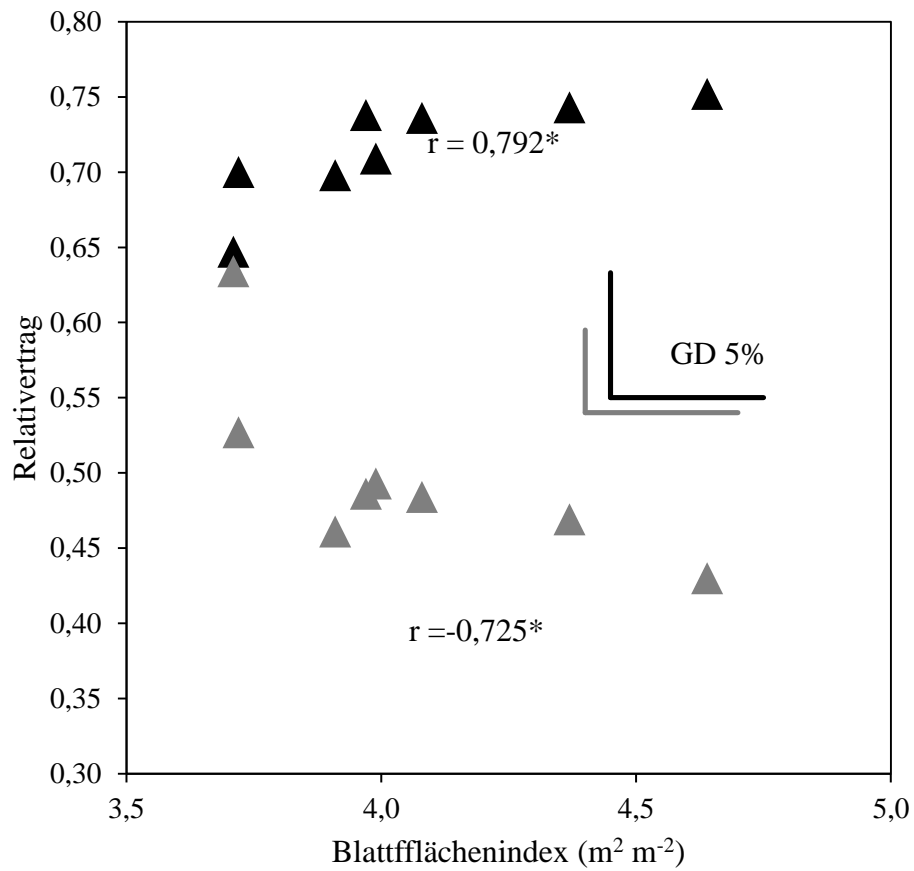
#### **4.1.2.2. Korrelationen zwischen Hilfsmerkmalen und $R\bar{Y}_{Vf}$ , $R\bar{Y}_{Ta}$ und $R\bar{Y}_T$ sowie $RGE$**

Das Lager der Ackerbohnen bzw. des Weizens aus den drei Gemengesituationen war stets negativ und statistisch signifikant mit dem Relativertrag des Weizens in selbigem Gemenge korreliert. Die Korrelationskoeffizienten reichten von  $-0,680+$  bis hin zu  $-0,837^{**}$  (Tab. AX). Im Gegensatz dazu waren die Relativerträge der Ackerbohnen und ihr Lager oder das Lager des Weizens positiv und statistisch signifikant korreliert (Tab. A IX). Hervorzuheben ist, dass das Lager der Ackerbohnen der Gemenge mit Ta1 als einzige Gemengesituation eine statistisch signifikante negative Korrelation zu ihrem Relative Yield Total aufwies ( $r = -0,721^*$ ). In den übrigen Gemengesituationen waren diese Korrelationen nahe Null.

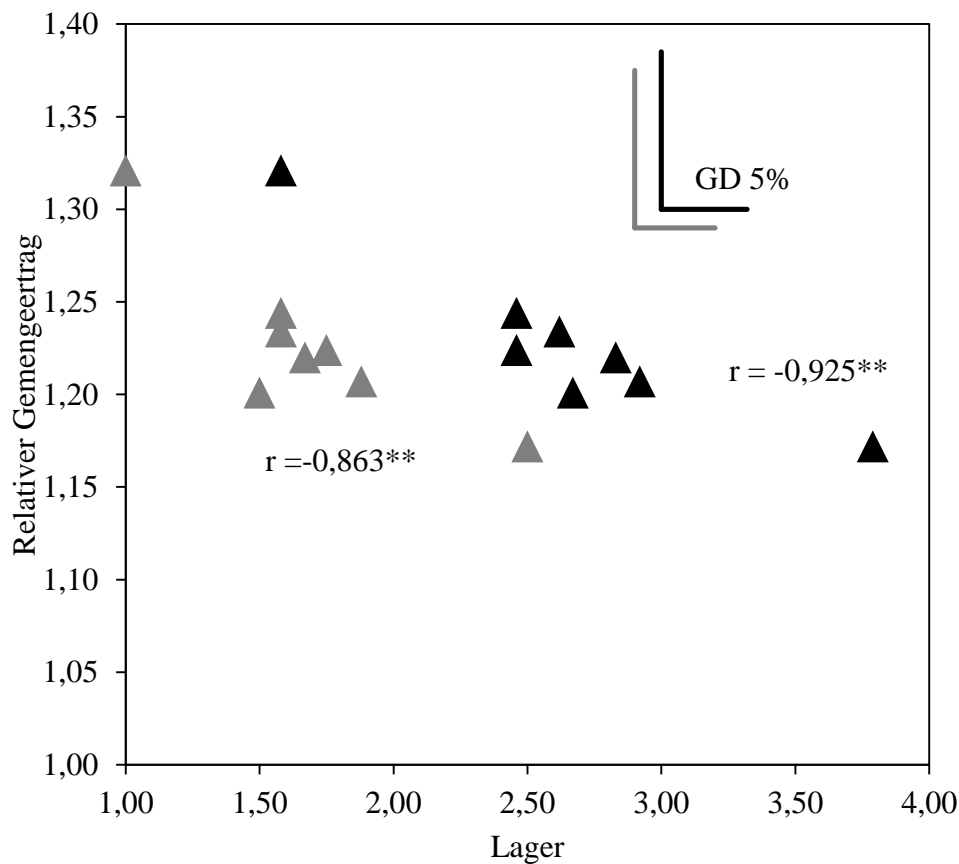
Der Blattflächenindex der Gemenge mit Weizen Ta1 war zum Blühende statistisch signifikant und negativ mit dem Relativertrag dieses Weizens und positiv mit dem Relativertrag der Ackerbohne dieser Gemenge korreliert (Abb. B1:  $r = -0,725^*$ ;  $r = 0,792^*$ ). Die Korrelation von diesen BFI zu den resultierenden RYT-Werten dieser Gemenge waren negativ und statistisch nicht signifikant ( $r = -0,482ns$ ). Betrachtet man die Korrelationen des BFI der Gemenge mit Ta1 vor der Blüte und Blühbeginn der Vf und des RYT der Gemenge mit Ta1, so zeigt sich, dass beide Korrelationen negativ und statistisch signifikant waren (Tab. AX:  $-0,755^* > r > -0,725^*$ ).

Ebenso zeigte sich in der Korrelationsanalyse, dass das Lager des Weizens und der Ackerbohnen in den Gemengesituationen mit Ta1 stärker (negativ) mit dem relativen Gemengeertrag korrelierte als mit den RYT dieser Gemenge (Abb. B2 und Tab. AX;  $-0,863^{**} < r < -0,925^{**}$ ). In den anderen beiden Gemengesituationen finden sich ähnliche Korrelationen, die weniger stark ausgeprägt waren, aber dennoch stärker und stets negativ mit dem relativen Gemengeertrag korrelierten als mit dem Relative Yield Total dieser Gemenge (Tab. AX).





**Abb. B1:** Zusammenhang zwischen den Blattflächenindices (m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) der Gemengesituation mit Ta1 zum Blühende der Winterackbohnen und dem Relativertrag der Winterackbohnen (schwarze Dreiecke) und dem Relativertrag des Weizens (graue Dreiecke) dieser Gemenge. Korrelationskoeffizienten und Grenzdifferenzen (GD 5%) sind gegeben.



**Abb. B2:** Zusammenhang zwischen dem Relativen Gemengeertrag der Gemengesituation mit Ta1 und dem Lager der Winterackerbohnen (schwarze Dreiecke) bzw. des Weizens (Genius, graue Dreiecke) dieser Gemenge. Korrelationskoeffizienten und Grenzdifferenzen (GD 5%) sind gegeben.

#### 4.1.2.3. Korrelationen zwischen den Hilfsmerkmalen in Reinsaat und Gemenge (in den Gemengen mit dem Winterweizen Genius)

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln Zusammenhänge zwischen Hilfsmerkmalen der Ackerbohnen und Erträgen von Reinsaat und Gemenge bzw. Mehrertragsparametern dargestellt wurden, sollen nun die Zusammenhänge innerhalb der Gruppe von Hilfsmerkmale (1) erfasst in Ackerbohnen-Reinsaaten und (2) erfasst in den Gemengesituationen mit Ta1 zueinander untersucht werden.

In der Korrelationsanalyse zeigte sich, dass die Wuchshöhe der Ackerbohnen (jeweils zum selben Termin erfasst) in Reinsaat positiv und statistisch signifikant mit ihrer Wuchshöhe im Gemenge mit Ta1 korrelierte. An jedem der drei Messtermine lag der Korrelationskoeffizient bei ca.  $r = 0,98^{**}$  (Tab. AXI). Zudem lagen die Korrelationen zwischen den Wuchshöhen der Ackerbohnen und den Wuchshöhendifferenzen zwischen Ackerbohnen und Weizen im Ge-

menge mit Ta1 zwischen  $0,956^{**} < r < 0,994^{**}$  (die Wuchshöhendifferenzen zu jedem der drei Messterminen waren untereinander im Gemenge mit Ta1 mindestens mit  $r = 0,726^*$  korreliert).

Ebenso lagen die Korrelationen zwischen den Blattflächenindices derselben Messtermine von Bohnenreinsaat zu den BFI der Gemenge mit Ta1 zwischen  $r = 0,646+$  und  $r = 0,942^{**}$ . Die Korrelationen zwischen dem Lager der Ackerbohnen in den Reinsaaten zu ihrem Lager in den drei Gemengesituationen waren sehr stark, positiv und statistisch signifikant ( $0,946^{**} < r < 0,988^{**}$ ). Ferner sind auch die Korrelationen zwischen dem Lager der Ackerbohne in den Reinsaaten zu dem jeweiligen Lager der Weizen innerhalb der Gemengesituationen zu nennen. Die Korrelationskoeffizienten lagen abhängig vom Weizen zwischen  $r = 0,916^{**}$  und  $r = 0,961^{**}$ .

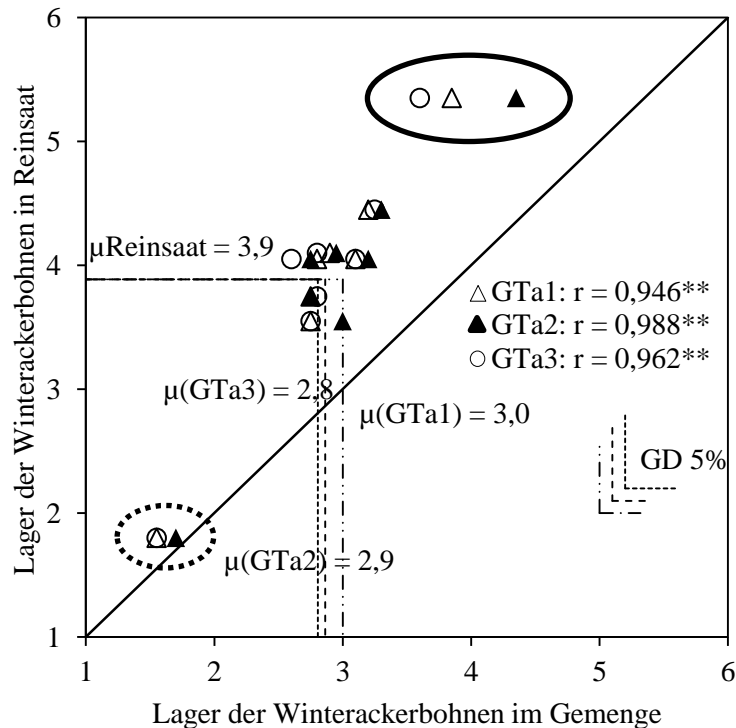
## **4.2. Übergreifende Diskussion von Kapitel A und B**

Die Standfestigkeit von (Winter-)Ackerbohnen ist eines der wichtigsten Merkmale, die in den letzten Jahren züchterisch bearbeitet wurde (Link et al. 2010). In meinem Versuch zeigte sich, dass statistisch signifikante genetische Variation in der Standfestigkeit der acht Winterackerbohnen sowohl in ihren Reinsaaten als auch im Gemenge vorlag. Die Wiederholbarkeit war mit  $h^2 = 95,6$  sehr hoch. Die S\_062 (Vf2) zeigte dabei im Mittel und in jeder Umwelt die geringste Lagerneigung; die WAB-EP98-267 (Vf8) zeigte die größte Lagerneigung in den Reinsaaten. Link et al. 2004 fanden heraus, dass die Lagerneigung zwischen 304 experimentellen Winterackerbohnen ebenfalls sehr divers war. Die Umwelten hatten in meinem Versuch einen gleichsinnigen und sehr großen Einfluss auf die Lagerneigung der Reinsaaten wie auch der Gemenge (vgl. Tab. B1 bis B4) der Winterackerbohnen. Im Jahr 2016 waren die Winterackerbohnen aufgrund der günstigen Witterung im Frühjahr sehr wüchsig. So waren die Winterackerbohnen in den Reinsaaten zum Zeitpunkt der Vollblüte im Mittel um ca. 30 cm länger als im Jahr 2015 und um 37 cm länger als im Jahr 2017. Am 24. Juni des Jahres 2016 gab es ein starkes Gewitter, welches zu sehr starkem Lager in den Ackerbohnen führte. Die Korrelation zwischen der Wuchshöhe der Winterackerbohnen und deren Lagerneigung war zum Zeitpunkt der Vollblüte positiv, deutlich und statistisch signifikant ( $r = 0,693+$ ). Es bestätigte sich die allgemeine Erfahrung, dass je hochwüchsiger eine Winterackerbohne ist, desto größer ist ihre Lagerneigung. Im Jahr 2016 betrug entsprechend die mittlere Lagerbonitur der Reinsaaten am Standort Reinshof 6,72 und in Deppoldshausen 4,97; die Spanne zwischen Vf2 und Vf8 (der standfestesten und der lageranfälligesten Winterackerbohne) betrug im selben Jahr

3,25 und 8,00. Diese Spanne fiel in den anderen beiden Jahren auf ein deutlich niedrigeres Niveau (von 1,00 bis 4,50; 2015) und 1,5 bis 4,5 im Jahr 2017 (Tab. B1). Es war somit das Jahr 2016, welches zu den deutlichen und signifikanten Wechselwirkungen im Merkmal Lager in den Bohnenreinsaaten zwischen Winterackerbohnen genotyp und Umwelt führte. Ein Ausschluss der beiden Umwelten in 2016 in der Varianzanalyse resultiert entsprechend in noch signifikanten aber wesentlich geringeren Winterackerbohnen-Umwelt-Interaktionen für das Merkmal Lager in Bohnenreinsaaten (Tab. AXVI). Zwischen den acht Winterackerbohnen lag genetische Variation im Merkmal Wuchshöhe in den Reinsaaten zu allen drei Messterminen vor (vgl. Tab. B24 bis Tab. B26). In den Arbeiten von Daur et al. (2010), Toker (2004) und bei Welna (2014) konnten ebenso genetische Variation für die Wuchshöhe zwischen den dort untersuchten Ackerbohnen festgestellt werden.

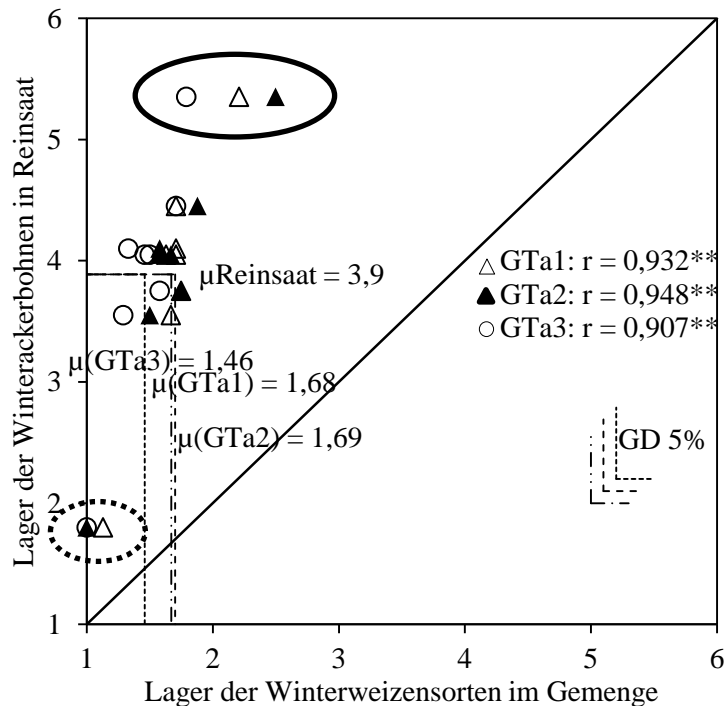
Die Wiederholbarkeit der Wuchshöhe der Winterackerbohnen in den Reinsaat lag je nach Messtermin bei  $97,6 < h^2 < 98,2$ . Diese Werte sind zunächst ganz erstaunlich hoch. Die hier gegebenen Wiederholbarkeitswerte stammen aus der Perspektive, dass die Winterackerbohnen genotypen und auch die Umwelten als feste Effekte in die Analyse eingehen. Somit enthält das Mittelquadrat der Genotypen erwartungsgemäß zwar einen Anteil des Parzellenfehlers, aber nicht der Winterackerbohnen-Umwelt-Interaktion. Die Wiederholbarkeit macht eine Aussage über die gegebenen Winterackerbohnen genotypen in den jeweils gegebenen Umwelten. Wären sowohl die acht Ackerbohnen als auch die zwei Umwelten zufällige Stichproben von Grundgesamtheiten, das heißt wären sie also als zufällige Effekte zu sehen, dann würde das Mittelquadrat der Genotypen erwartungsgemäß neben einem Anteil des Parzellenfehlers auch einen Anteil der Winterackerbohnen-Umwelt-Interaktion enthalten. Aus dieser Perspektive würde die Wiederholbarkeit, dann als Erblichkeit zu interpretieren, nur bei  $84,9 < h^2 < 94,1$  liegen. Diese Erblichkeit würde eine Aussage für den Genpool machen, aus dem die hier untersuchten Bohnen stammen, und für die Umwelten, aus denen die hier realisierten Umwelten eine Stichprobe waren. Diese Erblichkeitswerte wären immer noch recht hoch, aber niedriger als die berechneten Wiederholbarkeiten. Es kann also sehr wohl davon ausgegangen werden, dass die Wuchshöhe der Bohnen sehr stark vom Genotyp bestimmt wird. Bestätigt wird dieses Resultat in der Arbeit von Toker 2004. Er fand in seiner Arbeit an Ackerbohnen Erblichkeiten von  $h^2 = 83,0$  für die Wuchshöhe, jedoch keine statistisch signifikanten Interaktion zwischen Genotyp und Jahr. Für die in meiner Arbeit gefundenen Resultate kann abgeleitet werden, dass Wuchshöhe und Lagerneigung zum einen stark durch die Genotypen bestimmt werden, aber die konkrete Ausprägung der Merkmale in der einzelnen Umwelt hängt dennoch sehr stark von den entsprechenden Umwelten ab.

Häufig zeichnet sich ein Leguminosen-Getreide-Gemenge dadurch aus, dass die Getreidearten in solch einem Gemenge als Stützfrucht für die Leguminose fungieren und dadurch die Lagerneigung der Leguminose minimieren (Hof und Rauber 2003). Es handelt sich bei den im Gemenge beteiligten Leguminosen meist um rankende Arten wie Erbsen (Boland et al. 2017), Linsen (Gruber et al. 2011), Kichererbsen (Banik et al. 2006) oder Stangenbohnen (Starke 2018). Wichtig für das Getreide in einem solchen Gemenge ist, dass es die Leguminosen stützen kann, wenn es zum Lager kommt. Die Winterackerbohne besitzt keine Ranken und wird in der landwirtschaftlichen Praxis in Reinsaat angebaut. Anders als bei Linsen (Wang et al. 2012) oder Stangenbohnen (Rezende und Ramalho 1994) sind Winterackerbohnen in Reinsaaten sehr gut mähdruschfähig. In den IMPAC<sup>3</sup>-Versuchen lagerten die Winterackerbohnen in ihren Reinsaaten stärker als im Mittel ihrer Gemenge (Tab. AXVII; orthogonaler Kontrast zwischen P vs. K\*). Zudem hatte die Winterweizensorte, mit der die Winterackerbohnen im Gemenge angebaut wurden einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Lagerneigung der Winterackerbohnen (Tab. B4). So war die Lagerneigung der Winterackerbohnen, die mit Genius im Gemenge angebaut waren, größer als in den Gemengen mit den Weizen Boxer oder Hybery. Betrachtet man alle drei Winterweizensorten, angebaut mit der kurzen, sehr standfesten S\_062 (Vf2), so zeigt sich, dass alle drei Winterweizenpartner sehr wenig Lager aufwiesen. Im Kontrast dazu steht der Anbau mit der eher langen und wenig standfesten WAB-EP98-267 (Vf8; Abb. B3 und Abb. B4). Hier war das Lager des Weizens im Gemenge größer. So zeigten die Korrelationen, dass die Lagerneigung der Winterackerbohnen in den Reinsaaten sehr hoch mit ihrer Lagerneigung im Gemenge und mit der Lagerneigung ihres Winterweizengemengepartners korrelierte (vgl. Abb. B3 und Abb. B4). Aufgrund der hohen Korrelation zwischen dem Lager von Winterackerbohnenreinsaaten und den Winterackerbohnen bzw. Winterweizen im Gemenge können vier Punkte herausgearbeitet werden: (1) eine Winterackerbohne, die weniger standfest ist, wie beispielsweise die WAB-EP98-267 (Vf8), äußert dies unabhängig von der Anbauform und (2) durch das Lagern der Winterackerbohne in den Reinsaaten kann das Lagern des Gemengepartners Winterweizen zu einem großen Anteil vorausgesagt werden; (3) die Gemenge lagerten weniger als die Bohnenreinsaaten, da der Weizen selbst bei Winterackerbohnen als Stützfrucht fungiert; und (4) für ein Winterackerbohnen-Winterweizen-Gemenge, sollte daher ein standfester Winterweizen gewählt werden, der bei auftretendem Lager die Winterackerbohnen stützen kann. Selbstredend ist eine gute Standfestigkeit der Winterackerbohne selbst erstrebenswert.



**Abb. B4:** Korrelationen zwischen Lager (Bonitur: 1; kein Lager bis 9; sehr starkes Lager) der Winterackerbohnen genotypen in Reinsaat und dem Lagers der Winterackerbohnen genotypen im Gemenge (GTa1, GTa2, GTa3). Korrelationskoeffizienten, Mittelwerte und Grenzdifferenzen (GD 5%) sind gegeben. Der schwarze Kreis, kennzeichnet die Datenpaare der Vf8 und der gestrichelte Kreis kennzeichnet die Datenpaare der Vf2.

Ebenso zeigte sich, dass die Winterackerbohnenreinsaaten stärker lagerten als die Winterweizenreinsaaten. Somit ist es naheliegend, dass die Winterackerbohnen, in diesem Versuch, einen deutlich größeren Anteil an der Variation des Gemengelagers beitragen als die Winterweizensorten. Durch Pflanzenzüchtung kann es gelingen die Standfestigkeit der Winterackerbohnen in Reinsaaten und in der Konsequenz dann auch im Gemenge zu erhöhen. Heute sind bspw. Sommerackerbohnen merklich standfester (und auch kürzer) als noch vor 40 Jahren (Bundessortenamt 2018).



**Abb. B4:** Korrelationen zwischen dem Lager (Bonitur: 1; kein Lager bis 9; totales Lager) der Winterackerbohnen in Reinsaat und dem Lager der Winterweizensorten je Gemengesituation (GTa1, GTa2, GTa3). Korrelationskoeffizienten, Mittelwerte und Grenzdifferenzen (GD 5%) sind gegeben. Der schwarze Kreis, kennzeichnet die Datenpaare der Vf8 und der gestrichelte Kreis kennzeichnet die Datenpaare der Vf2.

Das Lager der Winterackerbohnen (Reinsaat und Gemenge) war im Mittel der drei Versuchsjahre und der beiden Standorte jeweils positiv, schwach und nicht signifikant mit ihrem Korn-ertrag korreliert (Tab. AIX). Erwartungsgemäß sollten die Korrelationen negativ sein. Lager führt dazu, dass die Hülsen der Winterackerbohne sehr nahe an der Bodenoberfläche liegen und somit die Körner nicht vollständig bei der maschinellen Ernte mit dem Mähdrescher erfasst werden können (Wang et al. 2012). Die Erklärung für diese überraschende, positive Korrelation kann indirekt mit dem Zusammenhang zwischen der Wuchshöhe und dem Lager einerseits und andererseits indirekt mit dem Zusammenhang zwischen der Wuchshöhe der Winterackerbohnen und ihrem Korn-ertrag gesucht werden. Die Korrelationen zwischen der Wuchshöhe der Winterackerbohnen (Reinsaat und Gemenge) und dem Korn-ertrag der Winterackerbohnen (Reinsaat und Gemenge) waren zu allen drei Messzeitpunkten positiv und lagen zwischen  $0,166_{ns} < r < 0,737_{**}$  (Tab. AIX). Bei Ackerbohnen werden die Blüten entlang der Blattachsen gebildet und blühen von unten nach oben hin nacheinander ab (Schuster et al. 1998). Diese oben genannten positiven Korrelationen lassen vermuten, dass längere Winterackerbohnen mehr Blüten entlang ihrer Stängel bilden als kurze Wuchstypen und damit am Ende der Vegetation mehr Hülsen oder Samen in den Hülsen ausbilden. Folglich könnten diese größere Korn-erträge hervorbringen. Hierfür ist aber Voraussetzung, dass die Wintera-

ckerbohnen nicht oder wenig lagern und der Kornertrag bei der Mähdruschernte tatsächlich erfasst werden kann. Den positiven Korrelationen zwischen der Wuchshöhe der Winterackerbohnen und ihrem Kornertrag im Gemenge stehen die negativen Korrelationen zwischen ihrer Wuchshöhe und dem Kornertrag des Weizens Genius in den Gemengen gegenüber. Diese letzteren Korrelationen lagen am ersten Messtermin noch bei  $r = -0,460_{ns}$  und zum Zeitpunkt des Blühendes der Vf dann bei  $r = -0,744^*$ . Diese Resultate zeigen also, dass mit zunehmender Wuchshöhe der Ackerbohnen ihr Kornertrag im Gemenge eher stieg, der Kornertrag des Gemengepartners Genius dagegen sank. Die wahrscheinliche Begründung liegt in den Unterschieden der Wuchsdynamik zwischen Winterackerbohne und Winterweizen im Gemenge. Bis zum Zeitpunkt vor der Blüte der Vf hatte der Winterweizen im Gemenge eine größere Wuchshöhe als die Winterackerbohnen. Für Weizen ist charakteristisch, dass er in frühen Entwicklungsstufen schneller und tiefer wurzelt als Körnerleguminosen und schon in diesen frühen Stadien einen größeren Stickstoffbedarf hat (Corre-Hellou und Crozat 2005; Fujita et al. 1992). Ferner investiert eine Leguminose in frühen Entwicklungsstadien einen großen Teil ihrer Energie in die Entwicklung von Knöllchen. Voisin et al. (2002) stellten fest, dass Erbsen während der Entwicklung von Knöllchen mit einer Reduktion des Pflanzenwachstums reagieren und in späteren Stadien oftmals ihren Getreide-Gemengepartner überwachsen. Zum Zeitpunkt der Vollblüte der Vf befanden sich die Winterweizensorten am Ende des Ährenschielens bzw. Ende des Ährenschiebens (BBCH49 bis BBCH59). Zu dieser Zeit ist das Fahnenblatt von Winterweizen voll ausgebildet. Das Fahnenblatt liefert 20 % bis 30 % der Assimilationsleistung. Wenn in dieser Zeit die Winterackerbohne den Weizen überwächst, wird das Fahnenblatt beschattet und der Weizen kann aufgrund dieser Beschattung nicht mehr die Menge an Assimilaten produzieren, die für hohe Kornerträge nötig sind. So kommt es sehr wahrscheinlich in den Gemengen zu erhöhter interspezifischer Konkurrenz zwischen den beiden Arten um die Ressource Licht; vor allem aber in den Umwelten, in denen die Winterackerbohnen sehr wüchsig sind. Es zeigte sich in meinen Ergebnissen, dass die Winterackerbohnen zum Zeitpunkt ihrer Vollblüte ihren Gemengepartner Genius überwachsen hatten. Das Mittel der Wuchshöhendifferenz lag bei 8,8 cm (Tab. B34). In diesem Merkmal unterschieden sich die acht Winterackerbohnen statistisch signifikant voneinander. Dieses Resultat ist wohl mehr ein Spiegelbild der genetischen und der umweltbedingten Variation der Wuchshöhe der acht Ackerbohnen im Gemenge als das der nur umweltbedingten Variation der Winterweizensorte Genius. So lag die Spanne der Wuchshöhe von Genius in den Gemengen mit den acht Winterackerbohnen vor der Blüte der Vf zwischen 34,0 cm und 35,0 cm, zum Zeitpunkt der Vollblüte zwischen 44,6 cm und 46,6 cm und zum Zeitpunkt des Blühendes der Vf zwischen



68,0 cm und 70,7 cm; die Wuchshöhen des Winterweizens in den Gemengen variierten praktisch nicht. Die Wuchshöhe von Genius im Gemenge übertraf die seiner Reinsaat am letzten Messtermin um 5,9 cm. Dagegen waren die Winterackerbohnen zum Zeitpunkt der Vollblüte in den Gemengen statistisch signifikant kürzer als in ihren Reinsaaten. Genius und die Ackerbohnen konkurrieren in den Gemengen also um die Ressource Licht; bei Genius äußerte sich dies mit seiner gesteigerten Wuchshöhe im Gemenge. Ähnliches berichteten Dordas et al. (2012), hier waren es jedoch Erbsen, die aufgrund der Beschattung durch das Getreide im Gemenge mit höherem Wuchs reagierten. Agegnehu et al. (2006a) berichteten ebenso, dass Gerste im Gemenge mit Ackerbohne länger war als in Reinsaat. Kommt es zur interspezifischen Konkurrenz um die Ressource Licht, werden die relativ konkurrenzschwächeren Gemengepartner in ihrem Wuchs länger als in ihren Reinsaaten (Dordas et al. 2012, Aqtbouz et al. 2016). In meinem Versuch zeigten sich durch die Unterschiede in der Wuchshöhe der Winterackerbohnen zwischen Reinsaat und Gemenge aber auch intraspezifische Konkurrenzeffekte zwischen den Ackerbohnenpflanzen in den Reinsaaten. Die Ackerbohnenpflanzen konkurrierten wahrscheinlich miteinander um die Ressource Licht und reagierten so mit einem gesteigerten Wuchs, im Vergleich zum Gemenge, um mehr Licht zu erfassen. Ebenso konnten in der Arbeit von Agegnehu et al. (2006a) statistisch signifikante Unterschiede in der Wuchshöhe von Ackerbohnen in Reinsaat und im Gemenge mit Gerste festgestellt werden. Je nach Aussaatdichte von Ackerbohnen und Weizen in diesen Gemengen waren die Ackerbohnen bei Agegnehu et al. (2006a) bis zu 15 cm länger in der Bohnenreinsaat als in den Gemengen mit Gerste. Es ist auch zu erwähnen, dass die Gerste in diesen Gemengen mit Ackerbohnen sogar etwas kürzer war als in ihren Reinsaaten. Dagegen berichten Agegnehu et al. (2006b), dass Zwerghirse (*Eragrostis tef* L.) angebaut mit Ackerbohnen im Gemenge bis zu 12 cm länger war als in ihrer Reinsaat. Auch in diesem Versuch waren die Ackerbohnen in den Gemengen kürzer als in ihren Reinsaaten (Agegnehu et al. 2006b). Diese teilweise unterschiedlichen Resultate in den Versuchsergebnissen ergeben sich sehr wahrscheinlich aus dem diversen Konkurrenzverhalten der beteiligten Spezies, die zur selben Zeit auf derselben Fläche angebaut werden (Dordas et al. 2012).

Im Merkmal Blattflächenindex (BFI) unterschieden sich die acht Winterackerbohnen gering statistisch signifikant voneinander, in den Reinsaaten und im Gemenge (Bohne + Weizen) (vgl. Tab. B9 bis Tab. 20). Für die Interpretation der BFI-Resultate soll an dieser Stelle angemerkt werden, dass es sich bei diesen BFI der Gemenge und Reinsaaten um abgeleitete Schätzwerte des entsprechend voreingestellten Ceptometers handelt (Vgl. Kap. 2). Für Winterackerbohnenreinsaat wurde zur Beschreibung des Blattstellwinkels ein Chi-Wert von 2,0

programmiert, für die Weizenreinsaat ein Wert von 0,96 (Decagon-Devices 2014). Für das Gemenge wurde der Chi-Wert von 1,5 angenommen (Nelson, 2015, pers. Mitteilung). Dieser angenommene Chi-Wert ist damit weniger gut belegt als die Chi-Werte des Herstellers für die Reinsaaten. Anstatt des so ermittelten BFI hätte alternativ auch die als Rohdaten vorliegende Lichttransmission dargestellt werden können. In diesem Fall hätte für keine der beiden Anbauformen ein Chi-Wert benutzt werden müssen. Eine kritische Analyse ergab, dass die Korrelationen zwischen Lichttransmission und dem abgeleiteten BFI der Reinsaaten negativ, sehr hoch und gleich ausfielen wie die Korrelationen der Lichttransmission und dem ableiteten BFI der Gemenge. Die hier gefundenen Aussagen im Zusammenhang mit dem BFI hängen damit für Reinsaaten und Gemenge kaum und nicht davon ab, ob der abgeleitete BFI oder die Lichttransmission dargestellt wird. Zudem wird der BFI für Gemenge und Reinsaaten auf Grundlage der Lichttransmission abgeleitet. Somit ist der abgeleitete BFI nur ein Spiegelbild der Lichttransmission (vgl. Decagon-Devices 2014).

Der BFI nahm erwartungsgemäß vom ersten Messtermin bis zum Zeitpunkt des Blühendes der Ackerbohnen zu (vgl. Fasheun und Dennett 1982, Grasshoff 1990). Der BFI zum Zeitpunkt des Blühendes der Vf war in den Gemengen stets minimal aber statistisch signifikant geringer als in den Winterackerbohnenreinsaaten. Da der BFI der Winterackerbohnen in ihren Reinsaaten zu diesem Messtermin im Mittel bei 4,93 lag und der BFI von Genius in seinen Reinsaaten bei 1,82 (Tab. B8), ist für die Gemenge ein unter 4,93 liegender Wert zu erwarten. Der tatsächliche Mittelwert des Gemenges betrug 4,05. Dieses Resultat ist sehr überraschend, da der erwartete BFI im Gemenge, bei halber Aussaatstärke von Bohnen und Weizen, dem algebraischem Mittelwert der Bohnen- und Weizenreinsaaten entsprechen sollte (BFI = 3,38). Damit liegt der tatsächliche Mittelwert der Gemenge, wie schon beim Kornertrag, exakt 20 % über der Erwartung als der algebraisch zu erwartende Mittelwert aus den Bohnen- und Weizenreinsaaten. Im Gegensatz dazu führen geringere Aussaatstärken in Reinsaaten zu einer Verringerung des BFI (Poulain et al. 1986, Tuttobene und Vagliasindi 1995, López-Bellido et al. 2005). In dieser Arbeit liegt der Fokus zwar auf der Betrachtung der Vf, dennoch kann an dieser Stelle angemerkt werden, dass Genius angebaut mit den Vf im Gemenge nicht zu einer Steigerung des BFI im Mittel der drei Versuchsjahre geführt hat. Winterackerbohnen die in bspw. Großbritannien angebaut wurden erreichten durchaus maximale BFI von 4, etwa sieben Monate nach der Aussaat (López-Bellido et al. 2005). In meiner Arbeit erreichten die Winterackerbohnen im Jahr 2017 zum letzten Messtermin einen BFI in den Reinsaaten von 7,1 und im Mittel und im Gemenge von 6,2. Im Mittel der drei Jahre war es ein BFI von 4,9 in den Reinsaaten und 4,05 in den Gemengen mit Genius. In der Varianzanalyse war es der Hauptef-

fekt Jahr, der den größten Anteil an der Gesamtvarianz für dieses Merkmal ausmachte (Vgl. Tab. B12). Die Korrelationen zwischen dem Blattflächenindex der Gemenge der acht Vf und dem Blattflächenindex ihrer Reinsaatens waren zu jedem der vier Messtermine positiv, sehr hoch und signifikant (Tab. AXI,  $0,646+ < r < 0,942^{**}$ ). Damit kann wie schon bei den Merkmalen Lager oder der Wuchshöhe der Winterackerbohnen aus der Variation der Vf in den Reinsaatens auf einen großen Teil der Variation der Vf auch im Merkmal Blattflächenindex geschlossen werden, zumindest für die Gemenge mit diesem Weizen, Genius.

Daur et al. (2011) zeigten in ihren Versuchen positive, hohe und statistisch signifikante Korrelationen zwischen dem Blattflächenindex und dem Kornertrag von Ackerbohnen. Dabei waren die Korrelationen in späteren Vegetationsstadien noch höher als in früheren Vegetationsstadien. Meine Resultate zeigten, dass der Blattflächenindex der Bohnen in ihren Reinsaatens positiv, gering und statistisch nicht signifikant mit dem Bohnenkornertrag in den Reinsaatens korrelierte (Tab. AIX). Ebenso ergaben sich positive Korrelationen zwischen den BFI der Gemenge und den Ackerbohnenenerträgen der Gemenge mit Ta1, für den Messtermin zum Zeitpunkt des Blühendes sogar statistisch signifikant (Tab. AIX,  $r = 0,792^{*}$ ). Interessant ist, dass die BFI der Gemenge negativ und je nach Messtermin auch statistisch signifikant mit dem Winterweizenertrag der Gemenge korrelierten. Diese BFI-Messungen wurden in den Gemengen mit Genius durchgeführt. Erstaunlich ist, dass diese BFI-Werte sogar im selben Sinne mit den Winterweizenkornerträgen von Boxer und Hybery in deren Gemengen negativ korrelierten. Diese negativen Korrelationen finden sich auch zwischen den BFI der Vf in Reinsaatens und den Winterweizenkornerträgen aller drei Gemengesituationen. Wie schon weiter oben erörtert, sind es wahrscheinlich in diesem Versuch die Vf, die die Variation des BFI in den Gemengen bestimmten. Es ist offensichtlich so, dass Bohnen mit einem hohen BFI dazu führen, dass der Weizen stark beschattet wird und dies wiederum resultiert in einen geringeren Weizenertrag. Überraschend ist es, dass sich dieser Zusammenhang auch durch die negativen Korrelationen zwischen den BFI der Ackerbohnen angebaut in Reinsaatens und dem Winterweizenertrag der Gemenge wiederfindet, sogar auch für die Weizen in deren Gemenge der BFI nicht erfasst wurde. Der negative statistisch signifikante Zusammenhang zwischen den BFI (Gemenge oder Winterackerbohnenreinsaat) und zum  $RY_{Ta}$  und dem RYT von Genius (Tab. AX;  $-0,243ns < r < -0,763^{*}$ ) erscheint logisch. Durch eine hohe Beschattung der Winterackerbohnen fällt der Weizenertrag des Gemenges geringer aus als durch eine geringe Beschattung, und bei der Berechnung des  $RY_{Ta}$  wird dann ein relativ kleiner Zähler durch den Nenner geteilt wird. Folglich fällt sogar der RYT insgesamt bei hoher Beschattung durch die Vf kleiner aus, die Winterackerbohnen scheinen im Gemenge diesen Ertragsverlust des Win-

terweizens nicht ausreichend kompensieren zu können. Wäre das der Fall, würden sich keine negativen Korrelationen zwischen den RYT und dem Blattflächenindex ergeben. Die Korrelationen zwischen dem Blattflächenindex der Bohnenreinsaat (zum Blühbeginn und zur Vollblüte der Vf) der Gemenge und dem RYT dieser Gemenge lagen bei  $r = -0,748^* < r < 0,763^*$ . Zudem lagen die Korrelationen zwischen den BFI der Gemenge vor der Blüte bzw. zum Blühbeginn der Ackerbohnen und dem RYT dieser Gemenge bei  $-0,725^* < r < -0,755^*$ . Diese negativen Korrelationen finden sich auch in den meist negativen Korrelationen zwischen dem  $RY_{Ta}$  und dem RYT der Gemenge von Boxer und Hybery wieder. Für die  $RY_{Ta}$  und den RYT von Genius kann also abgeleitet werden, dass 56,25 % ( $R^2 = (-0,75)^2 = 0,5625$ ) der Variation dieser beiden Parameter durch die Variation des Blattflächenindex der Gemenge und sogar der Ackerbohnenreinsaat vorausgesagt werden können. So würde sehr wahrscheinlich die Selektion von Ackerbohnen für geringere BFI zu einer Steigerung des RYT der Gemenge mit Genius führen.

Es können also folgende Schlüsse gezogen werden: (1) Die Variation des Blattflächenindex im Gemenge in diesen Versuchen war zu einem großen Teil durch die Winterackerbohnen bestimmt und (2) die Variation der BFI der Gemenge kann schon durch die Variation der BFI der Winterackerbohnen in ihren Reinsaat zu einem gewissen Anteil vorausgesagt werden und (3) um gesteigerte Weizenerträge sowie erhöhte RYT in Gemengen zu erzielen sollte Winterackerbohnenotypen gewählt werden, die einen geringeren BFI aufweisen.

## **5. Kapitel C - Stickstofffixierleistung der Winterackerbohnen- genotypen in Reinsaaten und im Gemenge mit Winterweizen**

### **5.1. Ergebnisse**

#### **5.1.1. Sprossmasseertrag in Winterackerbohnenreinsaaten und Gemengen mit Genius zur Vollblüte (BBCH65)**

Um die Leistung der Prüfglieder differenzierter nachzuvollziehen, wurden die Sprossmasseerträge außer bei der Reife auch schon zum Zeitpunkt der Vollblüte der Winterackerbohnen-  
genotypen in allen drei Versuchsjahren an beiden Standorten erfasst. Im Mittel über diese drei  
Jahre und zwei Standorte erreichten die Winterackerbohnen in den Reinsaaten einen Spross-  
masseertrag von 39,2 dt ha<sup>-1</sup> (Tab. C1). Damit erreichten die Winterackerbohnenreinsaaten  
einen unwesentlich größeren Sprossmasseertrag zum Zeitpunkt der Vollblüte als die Gemenge  
mit Ta1 im Gesamtsprossmasseertrag (Ackerbohne + Weizen; 38,9 dt ha<sup>-1</sup>). Die Winteracker-  
bohne S\_062 (Vf2) erreichte sowohl in Reinsaat (34,6 dt ha<sup>-1</sup>) als auch im Gemenge mit Ge-  
nius (17,7 dt ha<sup>-1</sup>) die geringsten Sprossmasseerträge, wohingegen die Winterackerbohne Vf6  
die geringsten Gesamtsprossmasseerträge (Ackerbohne + Weizen) im Gemenge mit  
36,4 dt ha<sup>-1</sup> erreichte. Die größten Sprossmasseerträge in Reinsaat und im Gemenge mit Geni-  
us erreichte die Winterackerbohne WAB-Fam157 (Tab. C1; Vf7). Ebenso erreichte diese  
Winterackerbohne zusammen mit dem Weizen Ta1 die größten Gesamtsprossmasseerträge.  
Ferner waren die Sprossmasseerträge am Standort Reinshof stets höher als am Standort  
Deppoldshausen.

Die Varianzanalyse der Sprosserträge der Ackerbohnen in Reinsaat ergab, dass alle Hauptfak-  
toren einen statistisch signifikanten Effekt auf den Sprossmasseertrag (BBCH65) ausübten  
(Tab. C2; 3,92\*\* < F-Wert < 45,35\*\*). Ebenso hatte die Winterackerbohnen-genotyp-Jahres-  
Interaktion einen statistisch signifikanten Effekt auf den Sprossmasseertrag der Winteracker-  
bohnen. Die Grenzdifferenz zwischen den Sprosserträgen der Winterackerbohnen lag bei  
4,1 dt ha<sup>-1</sup> (P = 0,05). Die Varianzkomponente der Winterackerbohnen lag bei 6,26 dt<sup>2</sup> ha<sup>-2</sup>  
(Tab. C2). Den merklich größten Anteil an der Gesamtvarianz hatte der Faktor Jahr.

Die Hauptfaktoren Jahr und Winterackerbohnen-genotyp hatten einen statistisch signifikanten  
Effekt auf den Sprossmasseertrag der Ackerbohnen im Gemenge mit Ta1 (Tab. C3). Zudem  
hatten die Hauptfaktoren Jahr und Standort einen statistisch signifikanten Einfluss auf den  
Sprossmasseertrag des Weizens in den Gemengen (Tab. C4), wohingegen der Hauptfaktor

Winterackerbohnen genotyp keinen signifikanten Effekt auf die Sprossmasseerträge von Genius in seinen Gemengen darstellte.

In der Split-Plot-ANOVA zeigte sich, dass die Hauptfaktoren Winterackerbohnen genotyp, Jahr und Standort einen statistisch signifikanten Effekt auf den (Gesamt-)Sprossmasseertrag im Mittel über die Winterackerbohnenreinsaat und die Gemenge mit Ta1 ausübten (Tab. C5;  $4,27^{**} < F\text{-Wert} < 49,91^{**}$ ). Lediglich der Hauptfaktor Anbauweise ( $K = 2$ , Reinsaat der Ackerbohnen oder Gemenge mit Ta1) hatte keinen statistisch signifikanten Effekt auf den (Gesamt-) Sprossmasseertrag. Somit unterschieden sich die Ackerbohnen in Reinsaat im Merkmal Sprossmasseertrag (BBCH65) nicht signifikant von ihrem Gesamtsprossmasseertrag in den Gemengen mit Ta1 (Ackerbohne + Weizen). Abermals hatte der Hauptfaktor Jahr den deutlich größten Anteil an der Gesamtvarianz, mit einer Varianzkomponente von  $104,38 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2}$ .

**Tab. C1:** Sprossmasseerträge ( $\text{dt ha}^{-1}$ ) der acht Winterackerbohnen genotypen in Reinsaat und Gemenge mit Genius (Ta1), sowie Gesamtsprossmasseertrag der Gemenge (Vf + Ta1) und Sprossmasseertrag von Genius in den Gemengen zum Zeitpunkt der Vollblüte der acht Winterackerbohnen genotypen (Vf) aufgeschlüsselt nach Ackerbohnen genotyp und Standort. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

Hauptfaktor	Reinsaat		Gemenge		
	Vf	Vf	Vf	Ta1	Vf + Ta1
Vf1		39,1	18,7	<b>20,0</b>	38,7
Vf2		<b>34,6</b>	<b>17,7</b>	19,7	37,4
Vf3		41,0	22,5	17,9	40,4
Vf4		39,0	20,4	19,3	39,8
Vf5		38,8	20,2	18,8	39,0
Vf6		35,8	19,2	17,5	<b>36,4</b>
Vf7		<b>43,0</b>	<b>23,7</b>	<b>17,1</b>	<b>40,8</b>
Vf8		42,1	21,0	17,4	38,4
$\mu$		39,2	20,4	18,5	<u>38,9</u>
<b>Hauptfaktor S</b>					
$\mu$ Reinshof		42,4	20,5	20,3	40,8
$\mu$ Deppoldshausen		35,9	20,3	16,6	36,9

(Für sich ergebende Abweichung der Nachkommastellen in dem Gesamt-Sprossmasseerträgen (Vf + Ta1) zu den Summen aus den dargestellten Sprossmasseerträgen von Vf und Ta1 der Gemenge: siehe Material und Methoden)

**Tab. C2:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den Sprossmasseertrag (dt ha<sup>-1</sup>) zum Zeitpunkt der Vollblüte (BBCH65) der acht Ackerbohnenengenotypen (B=8) in Reinsaat, erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	9035,65	138,07	45,35**	5,24
S	1	2020,68	18,97	10,14**	4,28
SJ	2	766,35	18,03	3,90*	7,41
R:SJ	18	199,26	18,48	3,87**	7,10
B	7	201,74	6,26	3,92**	4,10
BJ	14	278,86	28,43	5,42**	7,10
BS	7	44,09	-0,61	0,86ns	5,79
BSJ	14	42,36	-2,27	0,82ns	10,03
BRSJ	126	51,43	51,43		
Total	191				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; \*: P < 0,05; ns: nicht signifikant.

**Tab. C3:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den Ackerbohnen-Sprossmasseertrag (dt ha<sup>-1</sup>) zum Zeitpunkt der Vollblüte (BBCH65) der acht Ackerbohnenengenotypen (B=8) in den Gemengen, erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	6460,51	99,58	73,92**	3,47
S	1	2,42	-0,89	0,03ns	2,83
SJ	2	124,27	1,15	1,42ns	4,91
R:SJ	18	87,40	7,87	3,58**	4,89
B	7	94,50	2,92	3,87**	2,82
BJ	14	46,76	2,79	1,91*	4,89
BS	7	56,58	2,68	2,31*	3,99
BSJ	14	35,25	2,70	1,44ns	6,92
BRSJ	126	25,44	24,44		
Total	191				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; \*: P < 0,05; ns: nicht signifikant.

**Tab. C4:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den Weizen-Sprossmasseertrag (dt ha<sup>-1</sup>) des Winterweizen Genius zum Zeitpunkt der Vollblüte (BBCH65) der acht Ackerbohnenotypen (B=8) in den Gemengen, erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

<b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>Var.Kp.</b>	<b>F-Wert</b>	<b>GD (5 %)</b>
J	2	573,70	7,74	7,33**	3,28
S	1	655,26	6,01	8,38**	2,68
SJ	2	242,57	5,14	3,10+	4,65
R:SJ	18	78,22	7,15	3,72**	4,54
B	7	30,69	0,40	1,46ns	2,62
BJ	14	27,34	0,79	1,30ns	4,54
BS	7	8,04	-1,09	0,38ns	3,71
BSJ	14	36,02	3,74	1,71+	6,42
BRSJ	126	21,05	21,06		
Total	191				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; +: P < 0,10; ns: nicht signifikant.



**Tab. C5:** Ergebnisse der Split-Plot-ANOVA inklusive F-Test für den (Gesamt-) Sprossmasseertrag (dt ha<sup>-1</sup>) zum Zeitpunkt der Vollblüte in den Ackerbohnenreinsaaten und der Gemenge mit Ta1 (K=2) der acht Ackerbohnenengenotypen (B=8), erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit je vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	13633,54	104,38	49,91**	4,34
S	1	2537,18	11,79	9,29**	3,54
SJ	2	1156,54	13,80	4,23*	6,14
R:SJ	18	273,15	13,93	5,43**	4,96
B	7	214,66	3,42	4,27**	2,87
BJ	14	206,22	9,74	4,10**	4,96
BS	7	49,43	-0,04	0,98ns	4,05
BSJ	14	46,67	-0,46	0,93ns	7,02
BR:SJ	126	50,33	4,75	1,23ns	12,63
K	1	12,25	-0,15	0,30ns	1,29
KJ	2	486,37	6,96	11,91**	2,23
KS	1	174,27	1,39	4,27*	1,82
KSJ	2	50,81	0,31	1,24ns	3,16
KB	7	44,71	0,16	1,10ns	3,65
KBJ	14	106,36	8,19	2,60**	6,32
KBS	7	37,11	-0,31	0,91ns	5,16
KBSJ	14	26,39	-3,61	0,65ns	8,93
KBRSJ	143	40,83	40,83		
Total	382				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; \*: P < 0,05; ns: nicht signifikant.

### 5.1.2. Sprossmasseertrag der Winterackerbohnenreinsaaten und der Gemenge mit Genius zur Mähdruschreife (BBCH89)

Die Sprossmasseerträge zum Zeitpunkt der Mähdruschreife wurden in den Jahren 2016 und 2017 an beiden Versuchsstandorten erfasst. Zum Zeitpunkt der Mähdruschreife (BBCH89) war es der Ackerbohnen genotyp Vf4, der in den Reinsaaten im Mittel über diese zwei Jahre und zwei Standorte den größten Sprossmasseertrag mit 103,4 dt ha<sup>-1</sup> erreichte. Die Winterackerbohnenreinsaaten erreichten im Mittel über die beiden Jahre und die zwei Standorte einen Sprossmasseertrag, der um 2,1 dt ha<sup>-1</sup> höher lag als in den Gemengen (vgl. Tab. C6). Dabei lag der höchste Sprossmasseertrag der Winterackerbohnen in den Gemengen mit Vf6, dage-

gen wurde der höchste Sprossmasseertrag des Winterweizens in dem Gemenge mit dem Ackerbohnen genotyp Vf2 erreicht. Ebenso erreichten die Gemenge mit dem Ackerbohnen genotyp Vf2 die höchsten Gesamtsprossenmasseerträge zum Zeitpunkt der Mähdruschreife. Die geringsten Gesamtsprossmasseerträge wurden dagegen mit dem Ackerbohnen genotyp Vf7 erreicht (Tab. C6). Das Ertragsniveau lag stets am Standort Reinshof höher als am Standort Deppoldshausen.

Die ANOVA ergab, dass alle Hauptfaktoren einen statistisch signifikanten Effekt auf den Sprossmasseertrag der Winterackerbohnen in ihren Reinsaaten ausübten (Tab. C7;  $2,79^* < F\text{-Wert} < 54,55^{**}$ ). Dabei lag die Grenzdifferenz zwischen den Winterackerbohnen genotypen bei  $15,34 \text{ dt ha}^{-1}$ . Der Anteil der Gesamtvarianz, der durch den Versuchsfehler erklärt wurde, war für das Merkmal Winterackerbohnen sprossmasseertrag in Reinsaat (BBCH89) sehr hoch (Tab. C7; Var.Kp.:  $476,34 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2}$ ).

Das Versuchsmittel der Sprossmasseerträge der Winterackerbohnen lag in ihren Gemengen bei  $51,0 \text{ dt ha}^{-1}$  und damit über den theoretisch erwarteten 50 % im Vergleich zu ihren Reinsaaten. In der Varianzanalyse zeigte sich, dass weder der Hauptfaktor Standort noch der Hauptfaktor Winterackerbohnen genotyp einen statistisch signifikanten Effekt auf den Sprossmasseertrag der Winterackerbohnen im Gemenge mit Ta1 ausübte (Tab. C8). Dennoch hatten die Hauptfaktoren einen statistisch signifikanten Effekt auf den Sprossmasseertrag des Winterweizens im Gemenge (Tab. C9;  $2,83^* < F\text{-Wert} < 22,16^{**}$ ). Die Grenzdifferenz zwischen den Winterackerbohnen genotypen lag bei  $7,39 \text{ dt ha}^{-1}$ . Der Anteil an der Gesamtvarianz, der durch die Winterackerbohnen genotypen erklärt wurde lag bei  $12,67 \text{ dt}^2 \text{ ha}^{-2}$ . In der Split-Plot-ANOVA ( $K=2$ ) für den Gesamtsprossmasseertrag der Gemenge zum Zeitpunkt der Mähdruschreife zeigte sich, dass nur die Hauptfaktoren Standort und Jahr einen statistisch signifikanten Effekt auf dieses Merkmal ausübten (Tab. C10;  $17,03^{**} < F\text{-Wert} < 31,78^{**}$ ).

**Tab. C6:** Sprossmasseerträge (dt ha<sup>-1</sup>) der acht Winterackerbohnenengenotypen in Reinsaat und Gemenge mit Genius (Ta1), sowie Gesamtsprossmasseertrag der Gemenge (Vf + Ta1) und Sprossmasseertrag von Genius in den Gemengen zum Zeitpunkt der Mähdruschreife der acht Winterackerbohnenengenotypen (Vf) aufgeschlüsselt nach Ackerbohnenengotyp und Standort. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

Hauptfaktor	Reinsaat		Gemenge		
	Vf	Vf	Vf	Ta1	Vf + Ta1
Vf1		83,3	<b>46,0</b>	38,6	84,6
Vf2		<b>73,9</b>	47,3	<b>43,8</b>	<b>91,1</b>
Vf3		91,6	55,8	31,3	87,1
Vf4		<b>103,4</b>	53,0	34,4	87,4
Vf5		97,4	46,5	36,4	82,9
Vf6		83,7	<b>60,9</b>	<b>29,6</b>	90,5
Vf7		88,6	48,0	33,7	<b>81,6</b>
Vf8		85,9	50,3	35,4	85,8
μ		88,5	51,0	35,4	86,4
<b>Hauptfaktor S</b>					
μ Reinshof		103,5	52,7	44,6	97,3
μ Deppoldshausen		73,4	49,3	26,2	75,5

**Tab. C7:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den Sprossmasseertrag (dt ha<sup>-1</sup>) zum Zeitpunkt der Mähdruschreife der acht Ackerbohnenengenotypen (B=8) in den Reinsaaten, erhoben an zwei Standorten (S=2) in zwei Jahren (J=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	1	72952,98	1118,99	54,55**	14,09
S	1	28933,64	431,19	21,63**	14,09
SJ	1	13394,49	376,78	10,02**	19,92
R: SJ	12	1337,38	107,63	2,81**	21,70
B	7	1328,93	53,29	2,79*	15,34
BJ	7	729,94	31,70	1,53ns	21,70
BS	7	536,22	7,49	1,13ns	21,70
BSJ	7	757,15	70,20	1,59ns	30,69
BRSJ	84	476,34	476,34		
Total	127				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; \*: P < 0,05; ns: nicht signifikant.

**Tab. C8:** Ergebnisse der ANOVA inkl. F-Tests für den Sprossmasseertrag (dt ha<sup>-1</sup>) zum Zeitpunkt der Mähdruschreife der acht Ackerbohnenengenotypen (B=8) in den Gemengen, erhoben an zwei Standorten (S=2) in zwei Jahren (J=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	1	76998,40	1179,27	50,48**	15,04
S	1	366,96	-18,10	0,24ns	15,04
SJ	1	1807,42	8,81	1,18ns	21,27
R:SJ	12	1525,37	155,74	5,46**	16,62
B	7	445,13	10,36	1,59ns	11,75
BJ	7	150,83	-16,07	0,54ns	16,62
BS	7	175,73	-12,96	0,63ns	16,62
BSJ	7	399,11	29,92	1,43ns	23,51
BRSJ	84	279,42	279,42		
Total	1237				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; ns: nicht signifikant.

**Tab. C9:** Ergebnisse der ANOVA inkl. F-Tests für den Sprossmasseertrag (dt ha<sup>-1</sup>) des Winterweizen Genius zum Zeitpunkt der Mähdruschreife der acht Ackerbohnenengenotypen (B=8) in den Gemengen, erhoben an zwei Standorten (S=2) in zwei Jahren (J=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	1	21521,12	321,10	22,16**	12,00
S	1	10866,14	154,61	11,19**	12,00
SJ	1	1988,02	31,78	20,50ns	16,97
R:SJ	12	970,67	107,55	8,78**	10,45
B	7	313,20	12,67	2,83*	7,39
BJ	7	131,44	2,61	1,19ns	10,45
BS	7	198,87	11,04	1,80+	10,45
BSJ	7	150,63	10,02	1,36ns	14,78
BRSJ	84	110,54	110,54		
Total	1237				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; \*: P < 0,05; +: P < 0,10 ns: nicht signifikant.

**Tab. C10:** Ergebnisse der Split-Plot-ANOVA inklusive F-Test für den (Gesamt-)Sprossmasseertrag ( $\text{dt ha}^{-1}$ ) zum Zeitpunkt der Mähdruschreife in den Ackerbohnenreinsaaten und der Gemenge mit Tal ( $K=2$ ) der acht Ackerbohnen genotypen ( $B=8$ ), erhoben an zwei Standorten ( $S=2$ ) in zwei Jahren ( $J=2$ ).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	1	80353,65	608,01	31,78**	13,69
S	1	43069,91	-316,73	17,03**	13,69
SJ	1	6459,42	61,42	2,55ns	19,37
R:SJ	12	2528,56	130,35	5,71**	14,80
B	7	544,52	3,18	1,23ns	10,46
BJ	7	569,38	7,91	1,29ns	14,80
BS	7	689,19	15,39	1,56ns	14,80
BSJ	7	480,59	4,71	1,09ns	20,93
BR:SJ	84	442,89	28,74	1,15ns	38,97
K	1	277,29	-0,85	0,72ns	4,87
KJ	1	9704,06	145,61	25,18**	6,89
KS	1	1090,53	11,02	2,83+	6,89
KSJ	1	6939,37	204,81	18,01**	9,74
KB	7	964,82	36,21	2,50*	13,78
KBJ	7	375,38	-1,25	0,97ns	19,48
KBS	7	210,19	-21,90	0,55ns	19,48
KBSJ	7	622,68	59,32	1,62ns	27,56
KBRSJ	96	385,41	385,41		
Total	255				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungssquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$ ; +:  $P < 0,10$  ns: nicht signifikant.

### **5.1.3. Anteil des Luftstickstoffs in der Sprossmasse der Winterackerbohnen in Reinsaat und Gemenge mit Genius zum Zeitpunkt der Vollblüte (BBCH65)**

Aus der Stickstoffisotopenanalyse ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) der Sprossmasse kann der prozentuale Anteil des Stickstoffs, der von den Winterackerbohnen aus der Luft (Ndfa) aufgenommen wurde und entsprechend auch der Anteil des Stickstoffs, der von den Winterackerbohnen aus dem Boden (Ndfs) aufgenommen wurde, berechnet (d.h. rechnerisch geschätzt) werden. Im Folgenden wird genauer auf den Ndfa [%] eingegangen.

Das Versuchsmittel des Ndfa der Ackerbohnen in Reinsaat zum Zeitpunkt der Vollblüte lag bei 73,4 % und in ihren Gemengen mit Genius sogar bei 88,0 % (Tab. C11). Damit haben die Winterackerbohnen in den Gemengen mit Ta1 einen größeren Teil ihres insgesamt aufgenommenen Stickstoffs symbiotisch fixiert als in ihren Reinsaaten. Im Mittel über die Standorte und Jahre war der Ndfa in den Reinsaaten mit 78,2 % bei der Vf3 am höchsten und bei Vf2 mit 70,0 % am geringsten. Dagegen war der Anteil des aus der Luft fixierten Stickstoffs von Vf3 im Gemenge am höchsten und von Vf7 am geringsten (Tab. C11; 85,9 % < 92,0 %). Im Mittel über die drei Versuchsjahre war der Unterschied zwischen den beiden Versuchstandorten für den Ndfa der Ackerbohnen Reinsaaten und für den Ndfa der Ackerbohnen aus Gemengebau sehr gering.

Die Winterackerbohnenengenotypen unterschieden sich statistisch signifikant in ihrem Ndfa zum Zeitpunkt der Vollblüte in ihren Reinsaaten. Der Hauptfaktor Jahr hatte ebenso einen statistisch signifikanten Effekt auf den Anteil des aus der Luft aufgenommenen Stickstoffs der Winterackerbohnenengenotypen (Tab. C12; F-Wert: 2,96\*\* < F-Wert < 37,00\*\*). Der Hauptfaktor Standort hatte auf dieses Merkmal keinen statistisch signifikanten Effekt.

In der Split-Plot ANOVA zeigte sich, dass der Hauptfaktor Winterackerbohnen Genotyp einen statistisch signifikanten Effekt auf den Ndfa (im Mittel über Anbauweise, Jahr und Standort) aufwies (Tab. C13). Die Grenzdifferenz zwischen den Winterackerbohnenengenotypen lag hierbei bei 3,15 % ( $P = 0,05$ ). Der Ndfa der Winterackerbohnenengenotypen war in den Gemengen statistisch signifikant höher als in ihren Reinsaaten (Tab. C11 und Tab. C13; F-Wert: 511,23\*\*). Die Grenzdifferenz zwischen Reinsaat und Gemenge mit Ta1 lag bei 1,27 % Ndfa. Zudem hat der Hauptfaktor Anbauweise den größten Anteil an der Gesamtvarianz (Tab. C13; Var.Kp.: 105,87 %<sup>2</sup>).

**Tab. C11:** Anteil des aus der Luft akkumulierten Stickstoffs (% Ndfa) der acht Winterackerbohnen-  
genotypen zum Zeitpunkt der Vollblüte aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen-genotyp (Vf), Stand-  
ort, Jahr und Anbauform. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

	2015		2016		2017		Mittel	
Hauptfak- tor Vf	Rein- saat	Ge- menge	Rein- saat	Ge- menge	Rein- saat	Ge- menge	Rein- saat	Ge- menge
Vf1	76,6	88,0	87,6	91,8	61,5	83,7	75,2	87,8
Vf2	73,7	86,8	86,8	92,7	<b>49,5</b>	81,6	<b>70,0</b>	87,0
Vf3	76,8	<b>92,0</b>	<b>92,5</b>	<b>97,8</b>	65,5	86,3	<b>78,2</b>	<b>92,0</b>
Vf4	78,2	89,0	83,7	92,6	48,6	<b>87,6</b>	70,2	89,7
Vf5	72,3	90,8	83,6	90,5	64,2	80,9	73,4	87,4
Vf6	74,4	89,0	<b>83,1</b>	93,1	<b>70,6</b>	<b>79,4</b>	76,0	87,2
Vf7	<b>70,4</b>	<b>83,3</b>	84,7	93,3	64,4	81,1	73,2	<b>85,9</b>
Vf8	<b>78,3</b>	88,7	80,0	<b>87,9</b>	55,0	83,6	71,1	86,7
μ	75,1	88,4	85,2	92,5	60,0	83,0	<u>73,4</u>	<u>88,0</u>
<b>Hauptfak- tor S</b>								
μ S1	72,3	87,5	85,7	92,7	62,0	86,2	73,3	88,3
μ S2	78,1	89,3	84,7	92,2	57,8	79,9	73,5	87,1

**Tab. C12:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den Anteil des aus der Luft akkumulierten Stickstoffs (% Ndfa) zum Zeitpunkt der Vollblüte (BBCH65) der acht Ackerbohnenengenotypen (B=8) in den Reinsaaten, erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

<b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>Var.Kp.</b>	<b>F-Wert</b>	<b>GD (5 %)</b>
J	2	10163,77	154,52	37,00**	6,16
S	1	9,27	-2,77	2,03ns	5,03
SJ	2	424,06	4,67	1,54ns	8,71
R: SJ	18	274,72	25,71	3,98**	8,23
B	7	204,50	5,64	2,96**	4,75
BJ	14	228,71	19,95	3,31**	8,23
BS	7	16,02	-4,42	0,23ns	6,72
BSJ	14	56,36	-3,18	0,82ns	11,63
BRSJ	124	69,08	69,08		
Total	189				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; ns: nicht signifikant.



**Tab. C13:** Ergebnisse der Split-Plot-ANOVA inklusive F-Tests für den Anteil des aus der Luft aufgenommenen Stickstoffs (% Ndfa) der Winterackerbohnenengenotypen (B=8) in Reinsaat und ihren Gemenge mit Ta1 (K=2) zum Zeitpunkt der Vollblüte, erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	9772,28	73,54	27,23**	4,98
S	1	51,84	-1,60	0,14ns	4,06
SJ	2	673,71	4,92	1,88ns	7,04
R: SJ	18	358,93	18,64	5,92**	5,45
B	7	213,11	3,18	3,51**	3,15
BJ	14	116,97	3,52	1,93*	5,45
BS	1	33,18	-1,15	0,55ns	4,45
BSJ	14	48,11	-1,57	0,79ns	7,71
BR: SJ	124	60,68	10,47	1,52**	12,48
K	1	20367,55	105,87	511,23**	1,27
KJ	2	2060,53	31,57	51,72**	2,21
KS	1	88,93	0,51	2,23ns	1,80
KSJ	2	44,27	0,14	1,11ns	3,12
KB	7	89,16	2,05	2,24*	3,60
KBJ	14	164,94	15,64	4,14**	6,24
KBS	7	20,50	-1,61	0,51ns	5,10
KBSJ	14	36,95	-0,72	0,93ns	8,83
KBKSJ	138	39,84	39,84		
Total	375				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$ ; ns: nicht signifikant.

#### **5.1.4. Anteil des Luftstickstoffs in der Sprossmasse der Winterackerbohnen- genotypen in Reinsaat und Gemenge mit Genius zum Zeitpunkt der Mäh- druschreife (BBCH89)**

Im Mittel über die beiden Versuchsjahre 2016 und 2017 und die beiden Versuchsstandorte akkumulierten die Winterackerbohnen-  
genotypen vom Auflaufen bis zum Zeitpunkt der Erfas-  
sung bei der Mähdruschernte in ihren Reinsaaten 77,9 % und in ihren Gemengen mit Genius  
(Ta1) 86,7 % ihres Stickstoffes aus der Luft (Tab. C14). In den Reinsaaten erreichte der Win-  
terackerbohnen-  
genotyp Vf1 den größten Ndfa mit 85,5 % und der Genotyp Vf2 den gerings-  
ten Ndfa mit 71,0 %. Ebenso erreichte der Winterackerbohnen-  
genotyp Vf2 in den Gemengen  
mit Genius den geringsten Ndfa mit 83,0 %, während der Winterackerbohnen-  
genotyp Vf3 den  
höchsten Anteil mit 92,7 % aufwies. Im Mittel über beide Versuchsjahre fixierten die Winter-  
ackerbohnen-  
genotypen in Reinsaat am Standort Deppoldshausen geringfügig höhere Anteile  
ihrer N-Aufnahme als am Standort Reinshof aus der Luft (Tab. C14). Ein Vergleich zwischen  
den beiden Versuchsstandorten zeigt dagegen, dass die Winterackerbohnen-  
genotypen im Ge-  
menge mit Genius am Standort Reinshof einen größeren Anteil Stickstoff an der Gesamtstick-  
stoffaufnahme aus der Luft akkumulierten als am Standort Deppoldshausen (Tab. C14;  
83,7 % < 89,8 %).

Die Varianzanalyse der Winterackerbohnenreinsaaten für das Merkmal Ndfa (BBCH89) zeig-  
te, dass die Hauptfaktoren Winterackerbohnen-  
genotyp und Jahr einen statistisch signifikanten  
Effekt auf den Ndfa der Winterackerbohne ausübten (Tab. C15 6,77\*\* > F-Wert > 4,48\*\*).  
Die Grenzdifferenz (P = 0,05) lag zwischen den Winterackerbohnen-  
genotypen bei 2,09-  
Prozentpunkten. Die Varianzkomponente der Winterackerbohnen-  
genotypen lag bei 15,22 %<sup>2</sup>  
und die der Jahre bei 43,53 %<sup>2</sup>.

Die Winterackerbohnen-  
genotypen übten einen statistisch signifikanten Effekt auf den Ndfa  
im Mittel über die jeweilige Winterackerbohnen-  
reinsaat, ihre Gemenge mit Ta1, Jahre und  
Standorte aus (Tab. C16; F-Wert: 7,71\*\*). Ebenso hatten die Hauptfaktoren Jahr und Anbau-  
weise einen statistisch signifikanten Effekt auf den Ndfa zur Mähdruschernte der Winter-  
ackerbohnen-  
genotypen (Tab. C16; 14,35\*\* < F-Wert < 57,61\*\*). Die Grenzdifferenz zwischen  
den Winterackerbohnen-  
genotypen lag bei 3,58-Prozentpunkten und zwischen den Anbauwei-  
sen bei 2,33-Prozentpunkten. Zudem erklärte die Anbauweise einen großen Anteil an der Ge-  
samtvarianz (Tab. C16; Var.Kp.: 38,72 %<sup>2</sup>).

**Tab. C14:** Anteil des aus der Luft akkumulierten Stickstoffs (% Ndfa) der acht Winterackerbohnen-  
genotypen zum Zeitpunkt der Mähdruschreife, aufgeschlüsselt nach Winterackerbohnen-genotyp (Vf),  
Standort, Jahr und Anbauform. Minima und Maxima sind **fett** gedruckt.

	2015		2016		2017		Mittel	
Hauptfak- tor Vf	Rein- saat	Ge- menge	Rein- saat	Ge- menge	Rein- saat	Ge- menge	Rein- saat	Ge- menge
Vf1	-	-	82,2	94,5	<b>89,5</b>	82,4	<b>85,8</b>	88,4
Vf2	-	-	81,0	91,1	<b>61,0</b>	<b>74,8</b>	<b>71,0</b>	<b>83,0</b>
Vf3	-	-	<b>87,8</b>	<b>94,9</b>	74,3	<b>90,4</b>	81,0	<b>92,7</b>
Vf4	-	-	83,0	<b>88,6</b>	74,8	82,9	78,9	85,7
Vf5	-	-	84,6	89,4	67,3	78,9	76,0	84,2
Vf6	-	-	80,8	92,0	72,7	81,0	76,8	86,5
Vf7	-	-	85,1	91,0	76,3	83,0	80,7	87,0
Vf8	-	-	<b>79,8</b>	91,0	65,8	82,0	72,8	86,5
μ B	-	-	83,0	91,6	72,7	81,9	<u>77,9</u>	<u>86,7</u>
<b>Hauptfak- tor S</b>	-	-						
μ S1	-	-	84,9	91,6	70,0	88,0	77,4	89,8
μ S2	-	-	81,2	91,5	75,4	75,8	78,3	83,7

-: Daten wurden im Jahr 2015 nicht erhoben, siehe Kap. 2

**Tab. C15:** Ergebnisse der ANOVA inkl. F-Tests für den Anteil des aus der Luft akkumulierten Stickstoffs (% Ndfa) zum Zeitpunkt der Mähdruschreife der acht Bohnengenotypen (B=8) in den Reinsaat, erhoben an zwei Standorten (S=2) in zwei Jahren (J=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

<b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>Var.Kp.</b>	<b>F-Wert</b>	<b>GD (5 %)</b>
J	1	3268,97	43,53	6,77**	2,75
S	1	76,41	-6,35	0,16ns	2,75
SJ	1	796,85	9,81	1,65ns	3,89
R:SJ	12	483,01	51,64	6,91**	2,96
B	7	313,40	15,22	4,48**	2,09
BJ	7	316,03	30,77	4,52**	2,96
BS	7	194,09	15,53	2,78*	2,96
BSJ	7	365,17	73,82	5,23**	4,18
BRSJ	76	69,88	69,88		
Total	119				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$ ; ns: nicht signifikant.

**Tab. C16:** Ergebnisse der Split-Plot-ANOVA inkl. F-Test für den Anteil des aus der Luft aufgenommenen Stickstoffs (% Ndfa) der Winterackerbohnenengenotypen (B=8) in ihren Reinsaaten und ihren Gemenge mit Ta1 (K=2) zum Zeitpunkt der Mähdruschreife, erhoben an zwei Standorten (S=2) in zwei Jahren (J=2).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	1	6384,10	46,40	14,35**	5,74
S	1	448,12	0,03	1,01ns	5,74
SJ	1	35,66	-6,39	0,08ns	8,12
R: SJ	12	444,76	24,56	8,59**	5,06
B	7	398,84	10,85	7,71**	3,58
BJ	7	178,18	7,90	3,44**	5,06
BS	7	189,61	8,62	3,66**	5,06
BSJ	7	246,06	24,29	4,75**	7,16
BR: SJ	82	51,76	-17,89	0,59ns	18,62
K	1	5043,78	38,72	57,61**	2,33
KJ	1	7,14	-1,26	0,08ns	3,29
KS	1	781,42	10,84	8,93**	3,29
KSJ	1	1825,42	54,30	20,85**	4,66
KB	7	104,27	1,04	1,19ns	6,58
KBJ	7	157,23	8,71	1,80+	9,31
KBS	7	124,80	4,66	1,43ns	9,31
KBSJ	7	193,06	26,38	2,27+	13,17
KBRSJ	80	87,55	87,55		
Total	237				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; +:  $P < 0,10$  ns: nicht signifikant.

### 5.1.5. Stickstoffträge der Prüfglieder

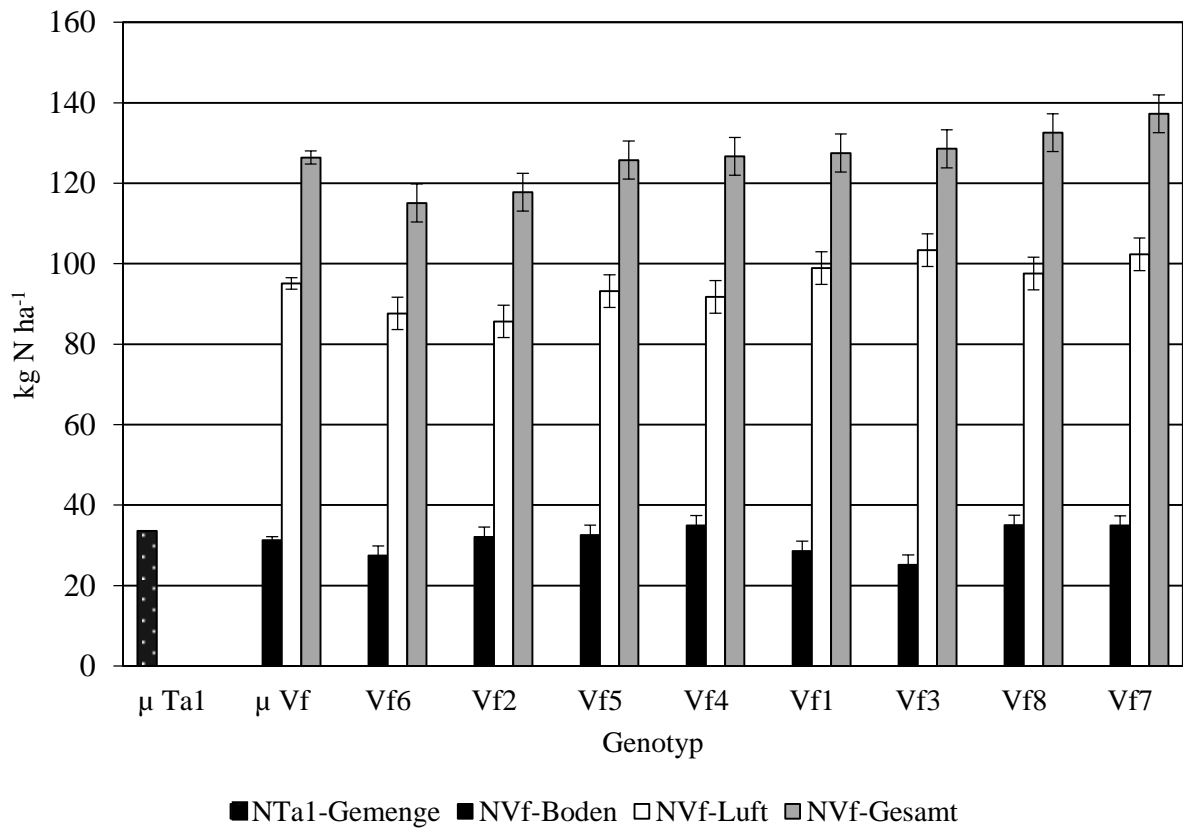
Aus den zuvor besprochenen Sprossmasseerträgen und den Ndfa-Anteilen (BBCH65; BBCH89) der Winterackerbohnenengenotypen, die sich aus den Ergebnissen der Stickstoff- bzw. Isotopenanalysen ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) ergaben, ließen sich die Stickstoffträge ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) der Prüfglieder ermitteln. Es wird dabei zwischen dem Gesamtstickstofftrag der Winterackerbohnen ( $N_{\text{Vf-Gesamt}}$ ), dem Anteil des Stickstofftrags, den die Winterackerbohnen aus der Luft fixierten ( $N_{\text{Vf-Luft}}$ ) und dem Anteil des Stickstofftrags, den die Winterackerbohnen aus dem Boden aufgenommen haben ( $N_{\text{Vf-Boden}}$ ) unterschieden. Zudem wird der Stickstoffgesamtertrag der Gemenge (Ackerbohne + Weizen =  $N_{\text{Gemenge}}$ ) dargestellt, sowie der Stickstofftrag des Winterweizens in Reinsaat und im Gemenge ( $N_{\text{Ta1}}$  bzw.  $N_{\text{Ta1-Gemenge}}$ ). In den Abbildungen (Abb. C1 bis Abb. C4) sind die Winterackerbohnenengenotypen aufsteigend nach ihrem Gesamtstickstofftrag in Reinsaat zum Zeitpunkt der Vollblüte (BBCH65) sortiert.

### 5.1.6. Stickstoffträge der Reinsaaten und der Gemenge mit Genius zum Zeitpunkt der Vollblüte

Im Mittel über alle drei Versuchsjahre erreichten die Winterackerbohnenengenotypen in Reinsaat einen  $N_{\text{Vf-Gesamt}}$  von  $126,5 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Abb. C1), davon wurden im Mittel über alle Winterackerbohnenengenotypen  $95,1 \text{ kg N ha}^{-1}$  aus der symbiotischen Stickstofffixierung ( $N_{\text{Vf-Luft}}$ ) und  $31,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  aus dem Boden aufgenommen. Der Ackerbohnen genotyp Vf7 enthielt zu diesem Zeitpunkt den meisten  $N_{\text{Vf-Gesamt}}$  in seiner Sprossmasse mit  $137,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  und der Ackerbohnen genotyp Vf6 mit  $115,1 \text{ kg N ha}^{-1}$  den geringsten  $N_{\text{Vf-Gesamt}}$ . Der Ackerbohnen genotyp Vf3 akkumulierte mit  $103,9 \text{ kg N ha}^{-1}$  den meisten Stickstoff aus der Luft ( $N_{\text{Vf-Luft}}$ ) und der Ackerbohnen genotyp Vf2 am wenigsten (Abb. C1). Aus dem Boden stammten hierbei  $35,0 \text{ kg N ha}^{-1}$  Stickstoff beim Genotyp Vf8 und  $25,2 \text{ kg N ha}^{-1}$  Stickstoff beim Ackerbohnen genotyp Vf3. Im Mittel über alle Winterweizenreinsaaten zum Zeitpunkt der Vollblüte erreichte der Winterweizen einen Gesamtstickstofftrag von  $33,6 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Abb. C1).

In den Varianzanalysen zeigte sich, dass alle Hauptfaktoren einen statistisch signifikanten Effekt auf den  $N_{\text{Vf-Gesamt}}$  und auch auf den  $N_{\text{Vf-Luft}}$  in den Reinsaaten ausübten (Tab. C17 und Tab. C18). Die Grenzdifferenz zwischen den Winterackerbohnenengenotypen lag bei  $N_{\text{Vf-Gesamt}}$  bei  $13,20 \text{ kg N ha}^{-1}$  und im Merkmal  $N_{\text{Vf-Luft}}$  bei  $11,35 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Bei beiden Merkmalen wurde der größte Anteil an der Gesamtvarianz von dem Hauptfaktor Jahr erklärt (Tab. C17 und Tab. C18). In dem Merkmal  $N_{\text{Vf-Boden}}$  hatten nur die Hauptfaktoren Jahr und Winterackerbohnen genotyp einen statistisch signifikanten Effekt in den Reinsaaten (Tab. C19). In allen drei

Merkmale wiesen die Winterackerbohnen-genotyp-Jahres-Interaktionen einen statistisch signifikanten Effekt auf.



**Abb. C1:** Stickstofferträge (kg N ha<sup>-1</sup>) der acht Winterackerbohnen-genotypen (Vf) und des Winterweizens (Ta1; schwarz mit weißen Punkten) in Reinsaat (BBCH65). Für die Winterackerbohnen aufgeschlüsselt in die Menge an Stickstoff, den sie aus dem Boden (N<sub>Vf-Boden</sub>; schwarz) und aus der Luft (N<sub>Vf-Luft</sub>, weiß) aufgenommen haben und den Gesamtstickstoffertrag der Winterackerbohnen (Summe aus N<sub>Vf-Boden</sub> + N<sub>Vf-Luft</sub> = N<sub>Vf-Gesamt</sub>; grau). Gezeigt sind Mittelwerte über drei Jahre und zwei Standorte mit jeweils vier Wiederholungen, sowie der Standardfehler der Mittelwerte.

**Tab. C17:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den Gesamtstickstoffertrag ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) in der Sprossmasse ( $N_{\text{VF-Gesamt}}$ ) zum Zeitpunkt der Vollblüte der acht Ackerbohnen genotypen (B=8) in den Reinsaaten, erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit jeweils vier Wiederholungen (R).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	63460,98	963,79	35,68**	15,66
S	1	12279,79	109,39	6,90*	12,79
SJ	2	3070,12	40,36	1,73ns	22,15
R:SJ	18	1778,67	155,66	3,33**	22,86
B	7	1260,21	30,28	2,36*	13,20
BJ	14	2184,04	206,33	4,09**	22,86
BS	7	520,89	-1,04	0,98ns	18,66
BSJ	14	351,28	-45,53	0,66ns	32,32
BRSJ	124	533,40	533,40		
Total	189				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$  ns: nicht signifikant.

**Tab. C18:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den akkumulierten Luftstickstoffertrag ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) in der Sprossmasse ( $N_{\text{VF-Luft}}$ ) zum Zeitpunkt der Vollblüte der acht Ackerbohnen genotypen (B=8) in Reinsaaten, erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	95788,28	1476,38	73,70**	13,39
S	1	6082,09	49,82	4,68*	10,93
SJ	2	560,73	-23,09	0,43ns	18,94
R:SJ	18	1299,70	113,17	3,30**	19,65
B	7	1061,57	27,80	2,69*	11,35
BJ	14	2226,86	229,07	5,65**	19,65
BS	7	336,33	-4,83	0,85ns	16,05
BSJ	14	198,04	-49,07	0,50ns	27,79
BRSJ	124	394,31	394,31		
Total	189				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$  ns: nicht signifikant.



**Tab. C19:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den aus dem Boden aufgenommenen Stickstoff ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) in der Sprossmasse ( $N_{\text{Vf-Boden}}$ ) zum Zeitpunkt der Vollblüte der acht Ackerbohnen- genotypen (B=8) in Reinsaaten, erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

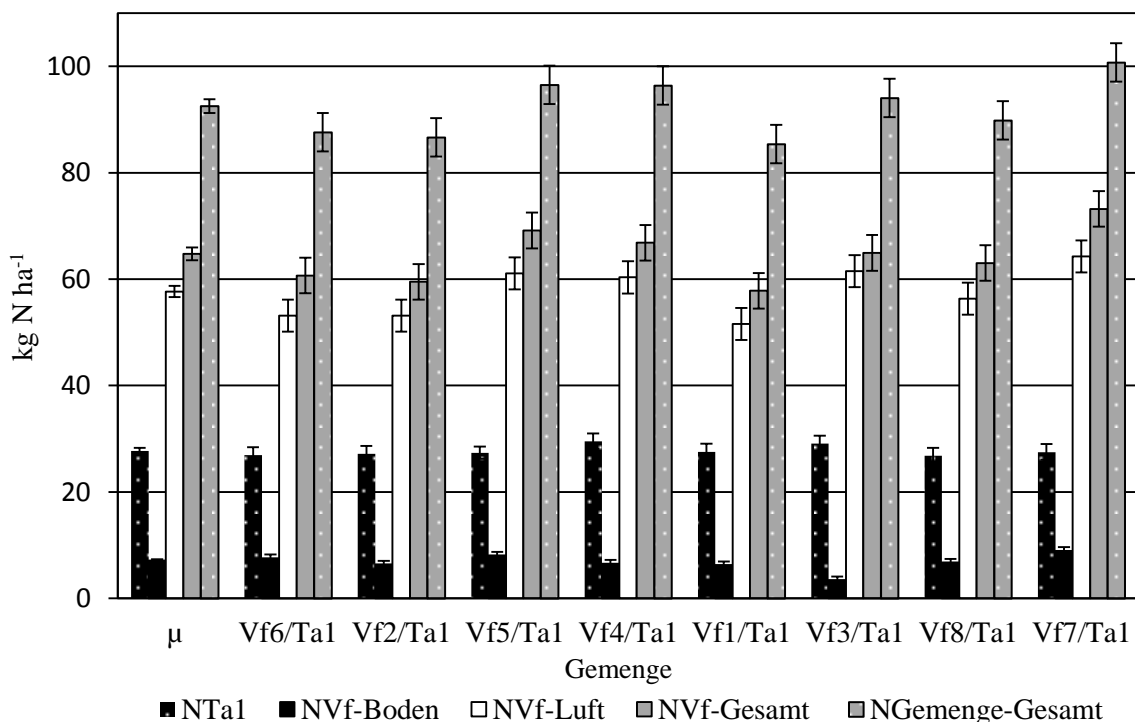
Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	4352,83	60,58	9,16**	8,10
S	1	1077,58	6,27	2,27ns	6,61
SJ	2	1201,43	22,69	2,53ns	11,45
R:SJ	18	475,45	41,62	3,34**	11,81
B	7	350,62	8,67	2,46*	6,82
BJ	14	201,86	7,42	1,42ns	11,81
BS	7	36,62	-8,82	0,26ns	9,64
BSJ	14	100,15	-10,58	0,70ns	16,71
BRSJ	124	142,47	-142,47		
Total	189				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,5$  ns: nicht signifikant.

Das allgemeine Versuchsmittel der Winterackerbohnen- genotypen in den Gemengen mit Ta1 im  $N_{\text{Vf-Gesamt}}$  lag bei  $65,5 \text{ kg N ha}^{-1}$  und damit knapp über den theoretisch erwarteten 50 % des Mittelwertes der Reinsaaten. Davon wurden im Mittel über die Winterackerbohnen- genotypen  $58,2 \text{ kg N ha}^{-1}$  aus der Luft ( $N_{\text{Vf-Luft}}$ ) und  $6,7 \text{ kg N ha}^{-1}$  ( $N_{\text{Vf-Boden}}$ ) aus dem Boden aufgenom- men. In den drei Merkmalen  $N_{\text{Vf-Gesamt}}$ ,  $N_{\text{Vf-Luft}}$  und  $N_{\text{Vf-Boden}}$  war es der Ackerbohnen- genotyp Vf7 (WAB-Fam157), der die höchsten Stickstoff- erträge aufwies (Abb. C2;  $N_{\text{Vf-Gesamt}}$ :  $73,2 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $N_{\text{Vf-Boden}}$ :  $8,9 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $N_{\text{Vf-Luft}}$ :  $64,3 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Der Ackerbohnen- genotyp Vf1 (S\_004) hingegen erreichte in den Merkmalen  $N_{\text{Vf-Gesamt}}$  und  $N_{\text{Vf-Luft}}$  die geringsten Stickstoff- erträge (vgl. Abb. C2;  $N_{\text{Vf-Gesamt}}$ :  $57,8 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $N_{\text{Vf-Luft}}$ :  $51,6 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Die Vf3 erreichte den geringsten Stickstoff- ertrag im Merkmal  $N_{\text{Vf-Boden}}$  mit  $3,4 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Im Mittel der drei Versuchsjahre und der beiden Standorte erreichte der Winterweizen in den Gemengen einen Stickstoff- ertrag von  $27,8 \text{ kg N ha}^{-1}$  ( $N_{\text{Ta1-Gemenge}}$ ). Damit lag der Stickstoff- ertrag über den the- oretisch erwarteten 50 % des Stickstoff- ertrags der Reinsaaten von  $16,8 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Vgl. Abb. C1 und Abb. C2). Das Versuchsmittel der Gemenge lag für die Gesamtstickstoff- erträge bei  $92,7 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

Die Varianzanalysen zeigten, dass der Hauptfaktor Winterackerbohnen- genotyp einen statis- tisch signifikanten Effekt auf den  $N_{\text{Vf-Gesamt}}$ ,  $N_{\text{Vf-Luft}}$ ,  $N_{\text{Vf-Boden}}$  und  $N_{\text{Gesamt-Gemenge}}$ , jedoch nicht

auf den  $N_{\text{Ta1-Gemenge}}$  ausübte (Tab. C20 bis Tab. C24). Der Hauptfaktor Standort übte nur auf die Merkmale  $N_{\text{Ta1-Gemenge}}$  und  $N_{\text{Gesamt-Gemenge}}$  einen statistisch signifikanten Effekt aus (Tab. C23 und Tab. C24;  $3,73+ < F\text{-Wert} < 19,55^{**}$ ). Der Hauptfaktor Jahr hatte einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Merkmale  $N_{\text{Vf-Gesamt}}$ ,  $N_{\text{Vf-Luft}}$  und  $N_{\text{Gesamt-Gemenge}}$  (Tab. C20, Tab. C21 und Tab. C24;  $56,24^{**} < F\text{-Wert} < 65,48^{**}$ ). In der Split-Plot-ANOVA zeigte sich, dass alle Hauptfaktoren einen statistisch signifikanten Effekt auf den  $N_{\text{Gesamt-Gemenge}}$  bzw.  $N_{\text{Vf-Gesamt}}$  ausübten (Tab. C25;  $4,36^{**} < F\text{-Wert} < 267,96^{**}$ ). Die Ackerbohnenreinsaaten erzielten statistisch signifikant höhere Stickstoffgesamterträge als die Gemenge (Tab. C25; F-Wert:  $267,96^{**}$ ). Die Grenzdifferenz zwischen den Ackerbohnen genotypen lag bei  $8,45 \text{ kg N ha}^{-1}$  und die Grenzdifferenz zwischen den Anbauformen ( $K = 2$ ) lag bei  $3,99 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Ebenso unterschieden sich die Gemenge und die Reinsaaten erwartungsgemäß in den Merkmalen  $N_{\text{Vf-Luft}}$ ,  $N_{\text{Vf-Boden}}$  und  $N_{\text{Vf-Gesamt}}$  statistisch signifikant zum Zeitpunkt der Vollblüte aufgrund der unterschiedlichen Aussaatdichte der Ackerbohnen im Gemenge und in Reinsaat (Tab. AXXII). Die Reinsaaten der Ackerbohnen genotypen erzielten in jedem der Merkmale höhere Stickstofferträge als ihre Gemenge.



**Abb. C2:** Stickstofferträge ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) der Gemenge aus den Winterackerbohnen genotypen zusammen mit Ta1 (BBCH 65). Der Stickstoffertrag des Weizens ( $N_{\text{Ta1}}$ : Schwarz mit weißen Punkten). Für Winterackerbohnen aufgeschlüsselt in den Stickstoff, der aus dem Boden aufgenommen wurde ( $N_{\text{Vf-Boden}}$ : schwarz), den sie aus der Luft aufgenommen haben ( $N_{\text{Vf-Luft}}$ : weiß) und der Gesamtstickstoffertrag der Winterackerbohnen genotypen ( $N_{\text{Vf-Boden}} + N_{\text{Vf-Luft}} = N_{\text{Vf-Gesamt}}$ : grau) und der Stickstoffertrag, den das gesamte Gemenge ( $N_{\text{Ta1}} + N_{\text{Vf-Gesamt}} = N_{\text{Gemenge-Gesamt}}$ : grau mit weißen Punkten). Dargestellt sind die Mittelwerte aus drei Jahren an zwei Standorten mit je vier Wiederholungen sowie der Standardfehler der Mittelwerte.

**Tab. C20:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den Gesamtstickstofftrag ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) in der Sprossmasse ( $N_{\text{VF-Gesamt}}$ ) zum Zeitpunkt der Vollblüte der acht Ackerbohnen genotypen (B=8) in den Gemengen mit Ta1, erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	60973,03	938,05	64,99**	11,38
S	1	120,45	-8,52	0,13ns	9,29
SJ	2	1372,11	13,56	1,46ns	16,09
R:SJ	18	938,14	83,65	3,49**	16,23
B	7	617,02	14,50	2,29*	6,37
BJ	14	543,18	34,28	2,02*	16,23
BS	7	318,01	4,09	1,18ns	13,25
BSJ	14	262,30	-1,66	0,98ns	22,95
BRSJ	126	268,95	268,95		
Total	191				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$  ns: nicht signifikant.

**Tab. C21:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den akkumulierten Luftstickstofftrag ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) in der Sprossmasse ( $N_{\text{VF-Luft}}$ ) zum Zeitpunkt der Vollblüte der acht Ackerbohnen genotypen (B=8) in den Gemengen mit Ta1, erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	56251,75	865,51	65,48**	10,89
S	1	127,67	-7,62	0,15ns	8,89
SJ	2	1594,87	22,99	1,86ns	15,39
R:SJ	18	859,09	79,95	3,91**	14,67
B	7	704,04	20,19	3,21**	8,47
BJ	14	406,63	23,39	1,85*	14,67
BS	7	338,45	9,91	1,54ns	11,98
BSJ	14	251,14	7,91	1,14ns	20,74
BRSJ	120	219,51	219,51		
Total	185				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$  ns: nicht signifikant.

**Tab. C22:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den aus dem Boden aufgenommenen Stickstoff ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) in der Sprossmasse ( $N_{\text{Vf-Boden}}$ ) zum Zeitpunkt der Vollblüte der acht Ackerbohnen- genotypen (B=8) in den Gemengen mit Ta1, erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	10,25	-0,57	0,22ns	2,55
S	1	12,26	-0,36	0,26ns	2,08
SJ	2	103,78	1,77	2,21ns	3,60
R:SJ	18	47,01	4,39	3,94**	3,42
B	7	23,98	0,88	2,77**	1,97
BJ	14	50,51	4,82	4,24**	3,42
BS	7	8,63	-0,27	0,72ns	2,79
BSJ	14	15,88	0,99	1,33ns	4,83
BRSJ	120	11,92	11,92		
Total	185				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; ns: nicht signifikant.

**Tab. C23:** Ergebnisse der ANOVA inkl. F-Tests für den aus dem Boden aufgenommenen Stickstoff ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) in der Sprossmasse des Winterweizens (Ta1;  $N_{\text{Ta1-Gemenge}}$ ) zum Zeitpunkt der Vollblüte in den Gemengen mit den acht Ackerbohnen- genotypen (B=8), erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	461,48	2,71	1,60ns	6,30
S	1	5626,70	55,61	19,55**	5,14
SJ	2	100,47	-5,85	0,35ns	8,91
R:SJ	18	287,74	29,67	5,72**	7,02
B	7	24,63	-1,07	0,49ns	4,05
BJ	14	111,46	7,64	2,21*	7,02
BS	7	24,02	-2,19	0,48ns	5,73
BSJ	14	81,02	7,67	1,61+	9,93
BRSJ	123	50,34	50,34		
Total	188				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; \*:  $P < 0,05$ ; +:  $P < 0,10$  ns: nicht signifikant.

**Tab. C24:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den Gesamtstickstoffertrag ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) in der Sprossmasse der Gemenge (Ackerbohne plus Weizen;  $N_{\text{Gesamt-Gemenge}}$ ) zum Zeitpunkt der Vollblüte der acht Ackerbohnenotypen (B=8) im Gemenge mit Ta1, erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

<b>Varianzursache</b>	<b>FG</b>	<b>MQ</b>	<b>Var.Kp.</b>	<b>F-Wert</b>	<b>GD (5 %)</b>
J	2	52790,38	810,18	56,24**	11,38
S	1	3503,20	26,71	3,73+	9,29
SJ	2	573,42	-11,42	0,61ns	16,09
R: SJ	18	938,70	78,30	3,01**	17,49
B	7	634,14	13,41	2,03+	10,10
BJ	14	510,68	24,80	1,64+	17,49
BS	7	394,44	6,85	1,26ns	14,28
BSJ	14	215,81	-24,12	0,69ns	24,73
BRSJ	125	312,29	312,29		
Total	190				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; +:  $P < 0,10$  ns: nicht signifikant.

**Tab. C25:** Ergebnisse der Split-Plot-ANOVA inkl. F-Tests für den Gesamtstickstofftrag (kg N ha<sup>-1</sup>) den Ackerbohnenreinsaaten und den Gemengen mit Ta1 (K=2; Ackerbohne plus Weizen: N<sub>Gesamt-Gemenge</sub>) der Winterackerbohnen genotypen (B=8) zum Zeitpunkt der Vollblüte, erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3).

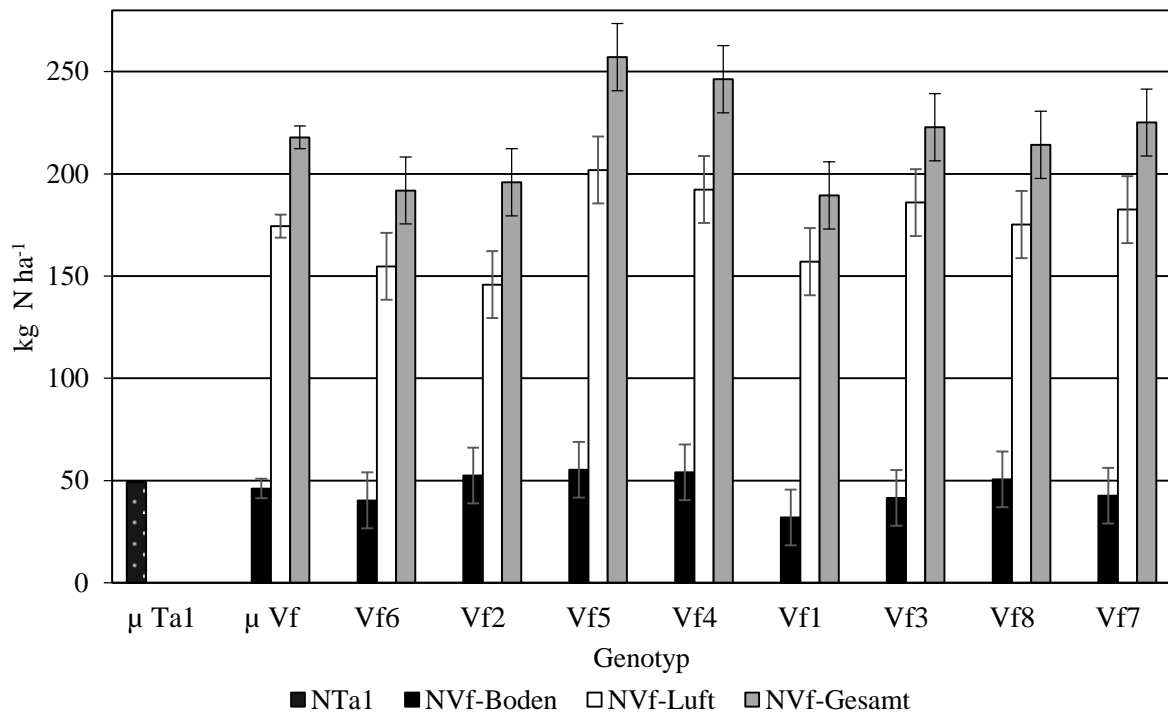
Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	120812,60	925,16	50,49**	12,85
S	1	15243,40	66,93	6,37*	10,49
SJ	2	3006,97	9,60	1,26ns	18,17
R:SJ	18	2392,66	122,18	5,47**	14,64
B	7	1909,19	30,66	4,36**	8,45
BJ	14	1968,83	95,69	4,50**	14,64
BS	7	817,88	15,84	1,87+	11,95
BSJ	14	341,01	-12,09	0,78ns	20,70
BR:SJ	126	437,73	23,74	1,12ns	39,05
K	1	104572,94	542,62	267,96**	3,99
KJ	2	115,35	-4,30	0,30ns	6,90
KS	1	1164,83	8,07	2,98+	5,64
KSJ	2	560,92	5,33	1,44ns	9,76
KB	7	305,95	-3,51	0,78ns	11,27
KBJ	14	774,51	48,03	1,98*	19,53
KBS	7	238,18	-12,67	0,61ns	15,94
KBSJ	14	299,49	-22,69	0,77ns	27,62
KBRSJ	141	390,26	390,26		
Total	380				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; \*: P < 0,05; +: P < 0,10 ns: nicht signifikant.

### 5.1.7. Stickstoffträge der Prüfglieder in Reinsaaten und Gemenge mit Genius zum Zeitpunkt der Mähdruschreife

Zum Zeitpunkt der Mähdruschreife erreichten die Winterackerbohnen genotypen in Reinsaat im Mittel über die Jahre 2016 und 2017 und die beiden Standorte einen  $N_{Vf-Gesamt}$  von  $217,8 \text{ kg N ha}^{-1}$ , einen  $N_{Vf-Luft}$  von  $174,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  und einen  $N_{Vf-Boden}$  von  $46,1 \text{ kg N ha}^{-1}$  in ihrer Sprossmasse. Der Ackerbohnen genotyp Vf5 war die Winterackerbohne mit den höchsten Stickstoffträgen in den drei Merkmalen zur Mähdruschreife (vgl. Abb. C3;  $N_{Vf-Gesamt}$ :  $257,1 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $N_{Vf-Luft}$ :  $201,9 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $N_{Vf-Boden}$ :  $55,2 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Die geringsten Stickstoffträge erreichten hier die Winterackerbohnen genotypen Vf1 ( $N_{Vf-Gesamt}$ :  $189,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $N_{Vf-Boden}$ :  $31,9 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) und Vf2 ( $N_{Vf-Luft}$ :  $145,8 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Der Winterweizen Genius erreichte in seinen Reinsaaten zum Zeitpunkt der Mähdruschreife einen Stickstofftrag von  $49,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  in seiner Sprossmasse und damit nur  $15,7 \text{ kg N ha}^{-1}$  mehr als zum Zeitpunkt der Vollblüte.

Die Varianzanalysen zu diesen drei Merkmalen zum Zeitpunkt der Mähdruschreife ergaben, dass wie schon zum Zeitpunkt der Vollblüte der Hauptfaktor Winterackerbohnen genotyp sich statistisch signifikant auf den  $N_{Vf-Gesamt}$ ,  $N_{Vf-Luft}$  und den  $N_{Vf-Boden}$  auswirkte (Tab. C26 bis Tab. C28;  $1,81+ < F\text{-Wert} < 2,34^*$ ). Die Hauptfaktoren Jahr und Standort wirken sich ebenso statistisch signifikant auf diese Merkmale aus, wobei der Hauptfaktor Jahr keinen statistisch signifikanten Effekt auf den  $N_{Vf-Boden}$  hatte. Die Grenzdifferenzen zwischen den Winterackerbohnen lagen für  $N_{Vf-Gesamt}$  bei  $46,1 \text{ kg N ha}^{-1}$ , im Merkmal  $N_{Vf-Luft}$  bei  $38,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  und im Merkmal  $N_{Vf-Boden}$  bei  $17,2 \text{ kg N ha}^{-1}$ .



**Abb. C3:** Stickstofferträge ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) der acht Winterackerbohngengenotypen (Vf) und des Winterweizens (Ta1; schwarz mit weißen Punkten) in Reinsaat (BBCH89). Für die Winterackerbohnen aufgeschlüsselt in die Menge des Stickstoffs, den sie aus dem Boden ( $N_{\text{Vf-Boden}}$ ; schwarz) und aus der Luft ( $N_{\text{Vf-Luft}}$ ; weiß) aufgenommen haben und den Gesamtstickstofftrag der Winterackerbohnen (Summe aus  $N_{\text{Vf-Boden}} + N_{\text{Vf-Luft}} = N_{\text{Vf-Gesamt}}$ ; grau). Gezeigt sind Mittelwerte über zwei Jahre und zwei Standorte mit jeweils vier Wiederholungen, sowie der Standardfehler der Mittelwerte.



**Tab. C26:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den Gesamtstickstofftrag (kg N ha<sup>-1</sup>) in der Sprossmasse (N<sub>Vf-Gesamt</sub>) zum Zeitpunkt der Mähdruschreife der acht Ackerbohnen- genotypen (B=8) in den Reinsaaten, erhoben an zwei Standorten (S=2) in zwei Jahren (J=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	1	3345564,47	5038,50	27,65**	42,37
S	1	190378,44	2785,59	15,73**	42,37
SJ	1	55080,91	1343,14	4,55+	59,92
R:SJ	12	12100,53	974,18	2,81**	65,25
B	7	10070,25	360,20	2,34*	46,14
BJ	7	4111,27	-24,48	0,95ns	65,25
BS	7	2945,02	-170,26	0,68ns	65,25
BSJ	7	5038,48	182,84	1,17ns	92,28
BRSJ	84	43,07	4307,12		
Total	127				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; \*: P < 0,05; +: P < 0,10 ns: nicht signifikant.

**Tab. C27:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den akkumulierten Luftstickstofftrag (kg N ha<sup>-1</sup>) in der Sprossmasse (N<sub>Vf-Luft</sub>) zum Zeitpunkt der Mähdruschreife der acht Ackerbohnen- genotypen (B=8) in den Reinsaaten, erhoben an zwei Standorten (S=2) in zwei Jahren (J=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	1	324838,50	4975,97	50,95**	30,76
S	1	110056,14	1620,00	17,26**	30,76
SJ	1	77841,40	2233,29	12,21**	43,49
R:SJ	12	6376,16	425,10	2,14*	54,24
B	7	6352,68	211,08	2,14*	38,35
BJ	7	4889,06	239,21	1,64ns	54,24
BS	7	1645,65	-166,21	0,55ns	54,24
BSJ	7	2935,73	-9,90	0,99ns	76,70
BRSJ	84	2975,34	2975,34		
Total	127				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; \*: P < 0,05; ns: nicht signifikant.

**Tab. C28:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den aus dem Boden aufgenommenen Stickstoff ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) in der Sprossmasse ( $N_{\text{Vf-Boden}}$ ) zum Zeitpunkt der Mähdruschreife der acht Ackerbohnenengenotypen (B=8) in Reinsaaten, erhoben an zwei Standorten (S=2) in zwei Jahren (J=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	1	34,42	-34,44	0,02ns	18,22
S	1	6982,11	74,12	3,12+	18,22
SJ	1	440,48	-56,19	0,20ns	25,77
R:SJ	12	2238,57	205,17	3,75**	24,34
B	7	1081,26	30,25	1,81+	17,21
BJ	7	878,62	35,18	1,47ns	24,34
BS	7	820,11	27,86	1,37ns	24,34
BSJ	7	1245,12	161,98	2,08+	34,42
BRSJ	76	597,22	597,22		
Total	119				

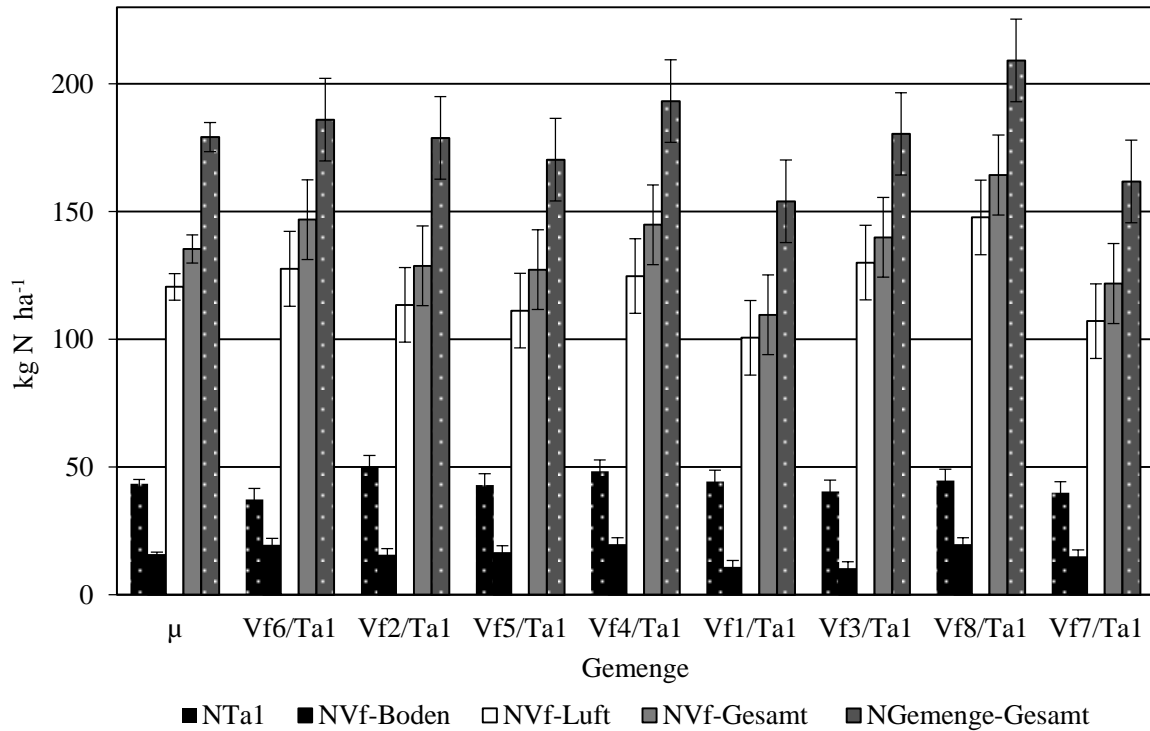
FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; +:  $P < 0,10$  ns: nicht signifikant.

Das allgemeine Versuchsmittel für die Stickstoffträge der Winterweizensprossmasse ( $N_{\text{Ta1-Gemenge}}$ ) zum Zeitpunkt der Mähdruschreife (BBCH89) der Gemenge lag bei  $43,6 \text{ kg N ha}^{-1}$  und damit nur  $5,7 \text{ kg N}$  weniger als in seinen Reinsaaten. Für den Stickstofftrag, den die Winterackerbohnenengenotypen aus der Luft akkumulierten ( $N_{\text{Vf-Luft}}$ ) lag der Wert bei  $120,6 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Der Anteil den die Winterackerbohnen aus dem Boden aufgenommen haben ( $N_{\text{Vf-Boden}}$ ) lag dagegen im Mittel über beide Jahre und Standorte lediglich bei  $15,7 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Der Gesamtstickstofftrag der Winterackerbohnen ( $N_{\text{Vf-Gesamt}}$ ) lag bei  $135,5 \text{ kg N ha}^{-1}$  und der Mittelwert der Gesamtstickstoffträge der Gemenge ( $N_{\text{Gesamt-Gemenge}}$ ) lag bei  $179,2 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Abb. C4). Die ertragsstärkste Winterackerbohne für  $N_{\text{Gesamt-Gemenge}}$  ( $209,2 \text{ kg N ha}^{-1}$ ),  $N_{\text{Vf-Gesamt}}$  ( $164,3 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) und  $N_{\text{Vf-Luft}}$  ( $147,8 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) war die Vf8 (Abb. C4). Der ertragsschwächste Winterackerbohnenotyp bezüglich dieser Stickstoffträge war Vf1. Vf3 nahm am wenigsten Stickstoff aus dem Boden auf und Vf4 am meisten (Abb. C4;  $10,1 \text{ kg N ha}^{-1} < 19,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Genius, im Gemenge mit dem Ackerbohnenotyp Vf6 angebaut, erzielte die höchsten Stickstoffträge; im Gemenge mit dem Ackerbohnenotyp Vf2 angebaut dagegen nur  $37,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Abb. C4;  $37,3 \text{ kg N ha}^{-1} < 50,1 \text{ kg N ha}^{-1}$ ).

Der Hauptfaktor Winterackerbohnenotyp hatte zum Zeitpunkt der Mähdruschreife (BBCH89) auf die Merkmale  $N_{\text{Vf-Gesamt}}$ ,  $N_{\text{Vf-Luft}}$ ,  $N_{\text{Vf-Boden}}$ ,  $N_{\text{Ta1-Gemenge}}$  und  $N_{\text{Gesamt-Gemenge}}$  in

den Gemengen mit Ta1 keinen statistisch signifikanten Effekt (Tab. C29 bis Tab. C33). Die Anteile der Varianzen der Versuchsfehler an der Gesamtvarianz dieser Merkmale waren alle- samt sehr hoch. Mit Ausnahme des Merkmals  $N_{Vf-Boden}$  hatte der Hauptfaktor Jahr stets einen statistisch signifikanten Effekt auf die übrigen Stickstoffertragsmerkmale in den Winteracker- bohnen-Winterweizen-Gemengen. Der Hauptfaktor Standort hatte nur einen statistisch signi- fikanten Effekt auf den Stickstoffertrag von Genius im Gemenge mit den acht Winteracker- bohnen-Genotypen ( $N_{Ta1-Gemenge}$ ; Tab. C32).

Alle Hauptfaktoren hatten in der Split-Plot-ANOVA einen statistisch signifikanten Effekt auf den Gesamtgemengestickstoffertrag (Tab. C34;  $1,90+ < F\text{-Wert} < 28,43^{**}$ ). Die Gemenge erreichten wie schon zum Zeitpunkt der Vollblüte, statistisch signifikant niedrigere Stick- stoffgesamterträge als die Ackerbohnenreinsaat (Tab. C34; F-Wert:  $24,04^{**}$ ). Zwischen den Winterackerbohnen-Genotypen lag die Grenzdifferenz bei  $33,00 \text{ kg N ha}^{-1}$  und zwischen den Anbausituationen ( $K=2$ ) lag sie bei  $15,63 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Ebenso unterschieden sich die Ge- menge und die Reinsaat wie auch schon zum Zeitpunkt der Vollblüte statistisch signifikant in den Merkmalen  $N_{Vf-Luft}$ ,  $N_{Vf-Boden}$ ,  $N_{Vf-Gesamt}$  zum Zeitpunkt der Mähdruschreife (Tab. AXXII). Die Reinsaat erzielte in jedem der drei Merkmale höhere Stickstofferträge als ihre Gemenge mit Ta1.



**Abb. C4:** Stickstoffträge ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) der Gemenge aus den Winterackerbohnen genotypen zusammen mit Ta1 zur Mähdruschreife (BBCH89). Der Stickstofftrag des Weizens ( $N_{\text{Ta1}}$ : schwarz mit weißen Punkten). Für Winterackerbohnen aufgeschlüsselt in: Stickstoff, der aus dem Boden aufgenommen wurde ( $N_{\text{Vf-Boden}}$ : schwarz), den sie aus der Luft aufgenommen haben ( $N_{\text{Vf-Luft}}$ : weiß) und der Gesamtstickstofftrag der Winterackerbohnen genotypen ( $N_{\text{Vf-Boden}} + N_{\text{Vf-Luft}} = N_{\text{Vf-Gesamt}}$ : grau) und der Stickstofftrag den das gesamte Gemenge ( $N_{\text{Ta1}} + N_{\text{Vf-Gesamt}} = N_{\text{Gemenge-Gesamt}}$ : grau mit weißen Punkten) erbrachte. Dargestellt sind die Mittelwerte aus drei Jahren an zwei Standorten mit je vier Wiederholungen sowie der Standardfehler der Mittelwerte.

**Tab. C29:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den Gesamtstickstoffertrag ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) in der Sprossmasse ( $N_{\text{VF-Gesamt}}$ ) zum Zeitpunkt der Mähdruschreife der acht Ackerbohnen genotypen (B=8) in den Gemengen mit Ta1, erhoben an zwei Standorten (S=2) in zwei Jahren (J=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	1	508704,63	7740,79	38,27**	44,41
S	1	545,17	-199,20	0,04ns	44,41
SJ	1	5215,84	-252,44	0,39ns	62,80
R:SJ	12	13293,87	1173,91	03,41**	62,11
B	7	4655,86	47,08	1,19ns	43,92
BJ	7	4135,45	29,11	1,06ns	62,11
BS	7	3561,22	-42,67	0,91ns	62,11
BSJ	7	3029,00	-218,93	0,78ns	87,84
BRSJ	84	3902,57	3902,57		
Total	127				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; ns: nicht signifikant.

**Tab. C30:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den Luftstickstoffertrag ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) in der Sprossmasse ( $N_{\text{VF-Luft}}$ ) zum Zeitpunkt der Mähdruschreife der acht Ackerbohnen genotypen (B=8) in den Gemengen mit Ta1, erhoben an zwei Standorten (S=2) in zwei Jahren (J=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	1	463059,22	7070,39	43,87**	39,57
S	1	33,51	-164,39	0,00ns	39,57
SJ	1	1824,98	-272,80	0,17ns	55,96
R:SJ	12	10554,46	892,44	3,09**	58,22
B	7	3679,06	16,51	1,08ns	41,17
BJ	7	3608,21	24,16	1,06ns	58,22
BS	7	2875,16	-67,47	0,84ns	58,22
BSJ	7	1801,80	-403,28	0,53ns	82,33
BRSJ	74	3414,93	3414,93		
Total	117				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; ns: nicht signifikant.

**Tab. C31:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den aus dem Boden aufgenommenen Stickstoff ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) in der Sprossmasse ( $N_{\text{VF-Boden}}$ ) zum Zeitpunkt der Mähdruschreife der acht Ackerbohnenengenotypen (B=8) in den Gemengen mit Ta1, erhoben an zwei Standorten (S=2) in zwei Jahren (J=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	1	399,74	-0,45	0,93ns	7,97
S	1	992,19	8,81	2,32ns	7,97
SJ	1	1368,76	23,39	3,20+	11,27
R: SJ	12	428,22	37,00	3,24**	11,46
B	7	227,41	5,95	1,72ns	8,10
BJ	7	164,98	4,10	1,25ns	11,46
BS	7	192,90	7,59	1,46ns	11,46
BSJ	7	175,46	10,82	1,33ns	16,20
BRSJ	74	132,20	132,20		
Total	117				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; +:  $P < 0,10$  ns: nicht signifikant.

**Tab. C32:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den aus dem Boden aufgenommenen Stickstoff ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) in der Sprossmasse des Winterweizens (Ta1;  $N_{\text{Ta1-Gemenge}}$ ) zum Zeitpunkt der Mähdruschreife in den Gemengen mit den acht Ackerbohnenengenotypen (B=8), erhoben an zwei Standorten (S=2) in zwei Jahren (J=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	1	24243,30	309,51	12,42**	17,02
S	1	40273,28	513,93	20,63**	17,02
SJ	1	5606,24	144,89	2,87ns	12,07
R: SJ	12	1952,09	92,41	6,38**	17,40
B	7	298,55	9,27	0,98ns	12,30
BJ	7	494,83	29,74	1,62ns	17,40
BS	7	307,45	19,04	1,00ns	17,40
BSJ	7	404,90	49,14	1,32ns	24,60
BRSJ	83	305,97	46,93		
Total	126				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; ns: nicht signifikant.

**Tab. C33:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für den Gesamtstickstoffertrag ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) in der Sprossmasse der Gemenge (Ackerbohne + Weizen =  $N_{\text{Gesamt-Gemenge}}$ ) zum Zeitpunkt der Mähdruschreif der acht Ackerbohnen genotypen (B=8) im Gemenge mit Ta1, erhoben an zwei Standorten (S=2) in zwei Jahren (J=2) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	1	307962,21	4596,77	22,37**	45,19
S	1	32372,07	290,86	2,35ns	45,19
SJ	1	27,49	429,42	0,00ns	63,92
R: SJ	12	13768,84	1199,60	3,30**	64,23
B	7	4929,07	47,31	1,18ns	45,42
BJ	7	4375,30	25,41	1,05ns	64,23
BS	7	2686,30	-185,72	0,64ns	64,23
BSJ	7	3741,50	-107,64	0,90ns	90,84
BRSJ	83	4172,06	4172,06		
Total	126				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; ns: nicht signifikant.

**Tab. C34:** Ergebnisse der Split-Plot-ANOVA inklusive F-Tests für den Gesamtstickstoffertrag ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) den Ackerbohnenreinsaaten und den Gemengen mit Ta1 (K=2; Ackerbohne + Weizen:  $N_{\text{Gesamt-Gemenge}}$ ) der Winterackerbohnenengenotypen (B=8) zum Zeitpunkt der Mähdruschreife, erhoben an zwei Standorten (S=2) in zwei Jahren (J=2).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	1	642801,14	4845,22	28,43**	40,95
S	1	189580,85	1304,44	8,38**	40,95
SJ	1	26435,04	59,72	1,17ns	57,92
R:SJ	12	22613,07	1137,88	5,13**	46,67
B	7	8353,17	123,32	1,90+	33,00
BJ	7	6250,89	115,25	1,42ns	46,67
BS	7	3153,59	-78,34	0,72ns	46,67
BSJ	7	3471,51	-116,93	0,79ns	66,01
BR:SJ	84	4406,95	219,54	1,11ns	125,05
K	1	95381,72	714,17	24,04**	15,63
KJ	1	264,20	-57,87	0,07ns	22,11
KS	1	32995,34	453,55	8,32**	22,11
KSJ	1	28668,50	771,89	7,23**	31,26
KB	7	6635,74	166,74	1,67ns	44,21
KBJ	7	2198,00	-221,23	0,55ns	62,53
KBS	7	2497,80	-183,76	0,63ns	62,53
KBSJ	7	5334,95	341,77	1,34ns	88,43
KBRSJ	95	3967,87	3967,87		
Total	254				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungssquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeiten; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ ; +:  $P < 0,10$ ; ns: nicht signifikant.



## 5.2. Diskussion zu Kapitel C

Um die biologische Stickstofffixierleistung der Winterackerbohnen und darauffolgend die Stickstofferträge in Reinsaat mit den Stickstofferträgen der Gemenge zu vergleichen, wurden Sprossmasseerträge außer zum Zeitpunkt der Mähdruschreife (BBCH89) zusätzlich zum Zeitpunkt der Vollblüte (BBCH65) der Winterackerbohnen erfasst. Vor allem aber die Sprossmasseerträge, die zum Zeitpunkt der Mähdruschreife erfasst wurden, beruhen auf einer völlig anderssinnigen Datengrundlage als der Gesamtmähdruschertrag (gereinigter Korn- + Strohertrag), der beim Mähdrusch erfasst wurde. So stammen die Sprossmasseerträge aus einer Handernte, bei der die Pflanzen eines Quadratmeters im Feld direkt über der Bodenoberfläche abgeschnitten wurden. In Kapitel 2 wurde diesbezüglich die Einteilung einer Großparzelle im Detail erklärt. Die Mähdruschernte fand in der Mähdruschparzelle statt (10,5 m<sup>2</sup>), die Sprossmasseernte zum Zeitpunkt der Vollblüte in der Teilernteparzelle (1 m<sup>2</sup>), und die Sprossmasseernte zur Mähdruschreife wurde in äußeren Reihen der Mähdruschparzelle (0,5 m<sup>2</sup>) durchgeführt. Im Folgenden wurden diese Biomasseproben nach der Aufbereitung (vgl. Kap. 2) auf die Einheit dt ha<sup>-1</sup> umgerechnet. Bei dieser Art der Handernte entstehen wesentlich geringere Ernteverluste als bei der maschinellen Ernte; die Resultate erlauben entsprechend eine recht zutreffende Beschreibung der gesamten oberirdischen Sprossmasse. Die Resultate des Mähdrusches, die Gesamtmähdruscherträge, erlauben dies nicht. Es liegt auf der Hand, dass diese beiden Herangehensweisen der Beprobungen verschiedene Ziele verfolgen und verschiedene Vor- und Nachteile haben. Während bei der Handernte nahezu verlustfrei die gesamte Sprossmasse erfasst werden kann, ist die beprobte Fläche typischerweise und auch hier relativ gering. Entsprechend ist der Versuchsfehler erwartungsgemäß größer. Dagegen ist die Stichprobe an Pflanzen, die mit dem Mähdrusch auf der größeren Fläche erfasst wird größer und hat daher einen kleineren Versuchsfehler. Sie erlaubt aber nur eine Darstellung des vom Feld abführbaren Kornertrages und Strohertrages, nicht jedoch eine Schätzung der insgesamt aufgewachsenen Sprossmasse. Die Mähdruschresultate sind damit keine Basis, um die real erwachsenen Stickstofferträge im Bestand zu berechnen. Dieses Phänomen kann in gewisser Weise, auf größerem Skalenniveau, mit den bekannten Unterschieden zwischen Ertragsergebnissen aus Leistungsprüfungen von Sorten auf Basis von Versuchspartzen und Ergebnissen von Erträgen in der praktischen Landwirtschaft verglichen werden (vgl. Laidig et al. 2014).

Die acht Winterackerbohnenengenotypen unterschieden sich zu beiden Beprobungsterminen statistisch signifikant in ihrem manuell geernteten Sprossmasseertrag. Zum Zeitpunkt der

Mähdruschernte waren diese Unterschiede merklich größer. Der Mittelwert der Ackerbohnenreinsaaten (BBCH65) im Sprossmasseertrag lag dabei zum Zeitpunkt der Blüte bei  $39,2 \text{ dt ha}^{-1}$  und somit im üblichen Bereich der oberirdischen Sprossmasseerträge von Winterackerbohnen in Deutschland (vgl. Hof und Schmidtke 2006, Menke 2011). Erwartungsgemäß gab es zwischen den beiden Terminen einen Ertragszuwachs und dieser betrug im Mittel 125,7 %. Die Gemenge mit Genius erreichten zu beiden Ernteterminen keinen statistisch signifikanten höheren Sprossmasseertrag als die Ackerbohnenreinsaaten (Tab. C5 und Tab. C10). Im Kontrast dazu stehen die Ergebnisse von Eskandari und Ghanbari (2010); in deren Experiment erzielte das Gemenge stets statistisch signifikant höhere Sprossmasseerträge als die Ackerbohnenreinsaat. An beiden Messterminen im IMPAC<sup>3</sup>-Versuch hatte der Hauptfaktor Winterackerbohne in den Gemengen mit dem Weizen Genius einen statistisch signifikanten Einfluss auf den Sprossmasseertrag der Winterackerbohnen und auf den des Weizens. Getreide gilt aufgrund seines starken Wurzelsystems im Vergleich zu Leguminosen als sehr starker Konkurrent (Hauggard-Nielsen et al. 2001b, Gregory et al. 1995, Gregory und Eastham 1996). In den Gemengen meiner Versuche äußerte sich diese starke Konkurrenzkraft nicht in den Sprossmasseerträgen des Weizens Genius. Genius erreichte in seinen Gemengen zur Mähdruschreife der Vf niedrigere Sprossmasseerträge (Tab. C6;  $35,4 \text{ dt ha}^{-1}$ ) als seine Gemengepartnerin, die Ackerbohne (Tab. C6;  $51,0 \text{ dt ha}^{-1}$ ). Somit hatte die Winterackerbohne in diesen Merkmalen eine größere Konkurrenzfähigkeit als der Winterweizen Genius. Ebenso berichtete Helenius (1990), dass die Ackerbohnen im Gemenge in zwei von drei Experimenten höhere oberirdische Sprossmasseerträge erzielten als ihr Gemengepartner Hafer.

Die symbiotische Stickstofffixierleistung von Leguminosen kann, indem sie eine Reduktion der mineralischen Stickstoffeinträge durch Düngung in der Agrarlandschaft bewirkt, dazu beitragen, die Landwirtschaft nachhaltiger zu gestalten (Amanuel et al. 2000, Exener et al. 1999, Gresshof et al. 2015, Neugschwandter et al. 2015). Um die symbiotischen Stickstofffixierleistungen aber effizient in der Landwirtschaft nutzen zu können ist es notwendig, das Potential und Unterschiede in diesem Potential der Stickstofffixierleistung einerseits zwischen legumen Arten und andererseits von Sorten innerhalb einer legumen Art zu charakterisieren. Unterschiede in der Stickstofffixierleistung von Körnerleguminosen innerhalb einer Art wurden schon in vorangegangenen Studien wie bspw. an Sojabohnen (Amargar et al. 1979), Erbsen (Hobbs und Mahon 1982) und Ackerbohnen (Duc et al. 1988) beschrieben. In meiner Arbeit wurde die Stickstofffixierleistung mit der natürlichen Delta-<sup>15</sup>N-Abundanzmethode ermittelt. Es zeigte sich, dass die Winterackerbohnen genotypen in ihren Reinsaaten, zum Zeitpunkt ihrer Vollblüte und Mähdruschernte, sich deutlich in ihrem prozentualen Anteil des aus

der Luft akkumulierten Stickstoffs (in ihrer oberirdischen Sprossmasse) unterschieden (Tab. C11 bis Tab. C12 und Tab. C14 bis Tab. C15). So lagen die prozentualen Anteile des aus der Luft akkumulierten Stickstoffs zwischen 70 % und 78 % (BBCH65) und zwischen 71 % und 85,8 % (BBCH89). In der Arbeit von Duc et al. (1988) konnte ebenso genetische Variation zwischen Ackerbohnen in ihrer Stickstofffixierleistung festgestellt werden. Die prozentualen Anteile lagen dort, gemessen für das Kornerntegut, allerdings nur zwischen 40 % und 80 %. Die Spanne der Ergebnisse von Duc et al. 1988 ist größer und das Niveau fällt geringer aus als die von mir gefundenen Werte. In der Arbeit von Brunner und Zapata (1984) konnten prozentuale Anteile des aus der Luft aufgenommenen Stickstoffs von 82 % bis 93 % ermittelt werden. Diese prozentualen Werte liegen in einer ähnlichen Größenordnung wie im hier vorliegenden Versuch. Eine Erklärung für die von Duc et al. 1988 ermittelte größere Spanne der prozentualen Anteile könnte das dort sehr diverse Ackerbohnenmaterial gewesen sein. Ferner könnte es daran liegen, dass in der Arbeit von Duc et al. (1988) nur der Stickstofftrag des Kornernteguts der Ackerbohnen berücksichtigt wurde und nicht in der gesamten Sprossmasse.

In vielen Fällen fixieren Leguminosen, die mit einem Getreide im Gemenge angebaut wurden, prozentual mehr Stickstoff als in ihren Reinsaaten (Danso et al. 1987, Fan et al. 2006, Haugaard-Nielsen et al. 2009, Trydeman Knudsen et al. 2004). In meinem Versuch konnte diese Erfahrung bestätigt werden. Zum Zeitpunkt der Vollblüte und zum Zeitpunkt der Mähdruschreife der Vf fixierten die Winterackerbohnen genotypen im Mittel der drei Versuchsjahre in ihren Gemengen deutlich und statistisch signifikant prozentual mehr Stickstoff als in ihren Reinsaaten. In den Reinsaaten wurden jeweils im Mittel 73,4 % (BBCH65) bzw. 77,9 % (BBCH89) Stickstoff symbiotisch fixiert und im Gemenge mit Genius sogar 88,0 % (BBCH65) bzw. 86,7 % (BBCH89). Es können mehrere wahrscheinliche Gründe für diese geringere relative Stickstofffixierleistung in den Ackerbohnenreinsaaten herangezogen werden. Jensen 1996 berichtete, dass mit zunehmender Konkurrenz um Licht, ausgehend vom Gemengepartner, die prozentuale Stickstofffixierleistung der Ackerbohnen verringert wird. Wie in Kapitel B erörtert kam es in den hier vorliegenden Versuchen allerdings zwischen den Ackerbohnenpflanzen in ihren Reinsaaten zu höherer (intraspezifischer) Konkurrenz um Licht als zu (interspezifischer) Konkurrenz in ihren Gemengen. Demzufolge könnte ein hoher Blattflächenindex (hier als Maß für die intraspezifische Beschattung in den Ackerbohnenreinsaaten) negativ mit dem prozentualen Anteil des aus der Luft stammenden Stickstoffs korreliert sein. In der entsprechenden Korrelationsanalyse ergaben sich aber keine einschlägigen Resultate, die diese Vermutung stützen könnten (Tab. C35).

**Tab. C35:** Korrelationskoeffizienten zwischen dem prozentualen Anteil des aus der Luft fixierten Stickstoffs (%Ndfa) zum Zeitpunkt der Vollblüte und Mähdruschreife der Winterackerbohnen genotypen und dem Blattflächenindex (BFI), erfasst zu unterschiedlichen Entwicklungsstadien der Winterackerbohnen genotypen in den Reinsaat. ns: nicht signifikant.

Merkmal	%Ndfa	%Ndfa
	Vollblüte	Mähdruschreife
BFI vor der Blüte	0,340ns	0,176ns
BFI Blühbeginn	0,122ns	0,377ns
BFI Vollblüte	-0,004ns	0,143ns
BFI Blühende	0,098ns	-0,161ns

Eine weitere, wahrscheinlichere Erklärung für die erhöhte prozentuale Stickstofffixierleistung von Winterackerbohnen im Gemenge mit Winterweizen ist in der komplementären Nutzung des im Boden zur Verfügung stehenden Stickstoffs der beiden Arten zu finden. Diese Beobachtung wird ausführlich in den Arbeiten von Danso et al. (1987), Izaurrealde et al. (1992), Tobita et al. (1994), Xiao et al. (2004) und Fan et al. (2006) beschrieben. Der Getreidepartner im Gemenge nimmt (ausschließlich) den im Boden zur Verfügung stehenden Stickstoff auf. Als Konsequenz sinkt der Stickstoffgehalt des Bodens, auch in der Rhizosphäre der Leguminose. Als Reaktion auf diesen einsetzenden Stickstoffmangel akkumuliert die Leguminose mehr Stickstoff aus der Luft. Hier wird deutlich, dass (interspezifische) Konkurrenz („competition“) und Förderung oder Begünstigung („facilitation“) zwei gleichzeitig auftretende Aspekte derselben Interaktion sein können (Zhang und Li 2003).

Die acht Winterackerbohnen genotypen unterschieden sich in ihren Reinsaat (BBCH65 und BBCH89) neben der oben erwähnten prozentualen Stickstofffixierleistung ebenso statistisch signifikant in ihren Gesamtstickstofftrag ( $N_{Vf-Gesamt}$ ) wie in ihrem Stickstofftrag, der aus der Luft stammt ( $N_{Vf-Luft}$ ) und in dem Stickstofftrag, den sie aus dem Boden aufgenommen haben ( $N_{Vf-Boden}$ ). Ebenso wie hier unterschieden sich die in der Arbeit von Duc et al. (1988) untersuchten Winterackerbohnen in dem Stickstofftrag (Korn), den die Ackerbohnen aus der Luft akkumulierten. Dagegen konnte bei Neugschwandtner et al. (2015) keine genetische Variation im dort untersuchten Winterackerbohnenmaterial in dem Merkmal  $N_{Vf-Luft}$  zum Zeitpunkt der Mähdruschreife festgestellt werden; diese Ackerbohnen fixierten im Mittel  $141 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Im IMPAC<sup>3</sup>-Versuch fixierten die Winterackerbohnen dagegen bis zu ihrer Mähdruschreife im Mittel  $174,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  und damit mehr als in der Arbeit von Neugschwandtner et al. (2015), wo unter anderem die Winterackerbohnen sorten Husky und Hiver-na in zwei Jahren, an jeweils einen Standort mit  $N = 4$  Wiederholungen auf ihre Stickstofffi-

xierleistung untersucht wurden. Jensen (1986) berichtet passend hierzu von  $N_{Vf-Luft}$  in einer Spanne von  $136 \text{ kg N ha}^{-1}$  und  $186 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

Der Stickstoffertrag der Leguminose wird üblicherweise nicht als solcher bestimmt, er ergibt sich als Produkt aus Sprossmasseertrag und Stickstoffgehalt. So waren bspw. die Korrelationen zwischen dem  $N_{Vf-Luft}$  und dem Sprossmasseertrag erwartungsgemäß positiv, hoch und statistisch signifikant (BBCH65:  $r = 0,899^{**}$ ; BBCH89:  $r = 0,904^{**}$ ). Auf Grund dieser simplen Berechnung ist es leicht zu verstehen, dass die Winterackerbohnen, die sich durch einen hohen Wert in der prozentualen Stickstofffixierleistung auszeichnen, nicht zwangsläufig diejenigen sind, die den größten  $N_{Vf-Luft}$  hervorbringen. So war es die S\_004 (Vf1), die mit 85,8 % den größten Anteil des Stickstoffs aus der Luft akkumulierte; wohingegen der Winterackerbohnen genotyp *Hiverna/2* (Vf5) mit einem wesentlich geringeren prozentualen Stickstoffanteil aus der Luft von 76,0 % den größten Stickstoffertrag  $N_{Vf-Luft}$  von  $201,9 \text{ kg N ha}^{-1}$  erreichte. Nach Shantharam und Mattoo (1997) spiegelt sich eine erhöhte Stickstofffixierleistung (%Ndfa) in der Verringerung der Sprossmassebildung wieder, da die legume Stickstofffixierung ein sehr energieaufwendiger Prozess ist. In der vorliegenden Arbeit waren die Korrelationen zwischen dem Sprossmasseertrag der Ackerbohnen und dem prozentualen Anteil des aus der Luft fixierten Stickstoffs leicht positiv (dabei statistisch nicht signifikant; BBCH65:  $r = 0,161_{ns}$ ; BBCH89:  $r = 0,219_{ns}$ ). Daraus kann abgeleitet werden, dass eine züchterische Selektion auf erhöhte %Ndfa-Werte unzureichend wäre, um den Stickstoffertrag der Leguminosen, den sie aus der Luft beziehen zu steigern (vgl. Van Kessel und Hartley 2000). Vielmehr könnte eine züchterische Steigerung der Sprossmasseproduktion dazu führen, diesen Luftstickstoffertrag leichter zu maximieren (vgl. Herridge und Rose 2000). Dennoch sollte an dieser Stelle angemerkt werden, dass keine negativen Korrelationen vorlagen und somit kein genetisches Hindernis für eine parallele Erhöhung von N-Ertrag und dem %Ndfa vorliegt.

Zum Zeitpunkt der Vollblüte der Vf zeigte sich statistisch signifikante genetische Variation zwischen den acht Winterackerbohnen genotypen in den Merkmalen  $N_{Vf-Gesamt}$ ,  $N_{Vf-Luft}$ ,  $N_{Vf-Boden}$ ,  $N_{Gesamt-Gemenge}$ , aber nicht im  $N_{Tal-Gemenge}$ . Dagegen war der Einfluss des Hauptfaktors Winterackerbohnen genotyp zum Zeitpunkt der Mähdruschreife auf alle diese Merkmale statistisch nicht signifikant. Zum Zeitpunkt der Mähdruschreife erreichten die Gemenge im Mittel einen Gesamtstickstoffertrag von  $179,2 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Damit liegen die Gemenge lediglich  $38,6 \text{ kg N ha}^{-1}$  unter dem mittleren Gesamtstickstoffertrag der Winterackerbohnenreinsaat und erreichen weit mehr als die theoretisch erwarteten 50 % ihrer Reinsaat. Der Anteil, den

die Winterackerbohnen in ihrem Gemenge mit Tal aus der Luft akkumulierten lag bei  $135,5 \text{ kg N ha}^{-1}$  und damit deutlich unter den  $175,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  den sie in ihren Reinsaaten fixierten. Auch in diesem Stickstofftrag wurden dennoch mehr als die theoretisch erwarteten 50 % der Reinsaaten erreicht. Diese Ergebnis deckt sich mit den Ergebnissen von Fan et al. (2006). Sie berichten, dass die Ackerbohnen zusammen angebaut mit Weizen geringere  $N_{\text{Vf. Luft}}$  erbringen als in ihren Reinsaaten aber mehr als die erwarteten 50 %. Zudem stellten sie fest, dass Ackerbohnen angebaut mit Mais im Gemenge fast doppelt so viel Stickstoff fixieren ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) als die Ackerbohnen angebaut in Reinsaat und begründen dies u.a mit der unterschiedlichen Wuchshöhendynamik zwischen Ackerbohne und Mais bzw. Weizen. Als weiteren Grund nennen sie Unterschiede bezüglich der Interaktionen auf Wurzelebene zwischen den Gemengepartnern Ackerbohne und Mais verglichen mit den Gemengepartnern Ackerbohne und Weizen. Li et al. (2016) berichten, dass beim Gemengeanbau von Mais und Ackerbohne durch die Wurzelexudate des Mais die Nodulation und damit die Stickstofffixierleistung ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) der Ackerbohnen gesteigert wird.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse zeigt sich, dass zum Zeitpunkt der Mähdruschreife die Variationskoeffizienten der Versuchsfehler für alle Stickstofftragsmerkmale im Gemenge sehr groß sind. Ein möglicher Grund könnte sein, dass der variable Stickstofftrag der Blätter, die im Laufe der Vegetationsperiode bis zur Mähdruschreife abfallen, nicht berücksichtigt wurde. Für Sommerackerbohnen zeigte sich, dass die Stickstoffträge in den herabfallenden Blättern zwischen  $18 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Kaul et al. 1996) oder sogar  $44 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Aufhammer et al. 1994) erreichen können.

In Hinblick auf die Betrachtung der in dieser Arbeit ermittelten absoluten Stickstoffträge ist die Wahl des B-Wertes maßgeblich für die Treffsicherheit der mit der Delta- $^{15}\text{N}$ -Abundanzmethode erzielten Resultate (López-Bellido et al. 2010). Für die acht untersuchten Winterackerbohnen genotypen wurden keine sortenspezifischen B-Werte ermittelt, um gegebenenfalls eine sortenspezifische Isotopendiskriminierung ( $^{14}\text{N} / ^{15}\text{N}$ ) der Winterackerbohnen zu berücksichtigen. Es wurde stattdessen der von Hof-Kautz (2008) ermittelte B-Wert von  $-0,3903 \text{ ‰}$  herangezogen, der dort für die Winterackerbohnen sorte Hiverna ermittelt und verwendet wurde. Unkovich und Pate (2000) weisen darauf hin, dass nur bei %Ndfa-Werten unter 85% (die hier allerdings mehrfach überschritten werden) der Einfluss des gewählten B-Wertes auf die Resultate mutmaßlich klein ist. In der Arbeit von López-Bellido et al. 2010 an Ackerbohnen zeigte sich, dass sich der B-Wert derselben Sorte im Laufe der Vegetationszeit ändert und sogar von den analysierten Pflanzenorganen abhängt. Neben der Wahl des B-

Werts hängen die ermittelten Resultate der Stickstofffixierleistung natürlich auch von der Wahl der Referenzpflanze und des  $^{14}\text{N} / ^{15}\text{N}$  Isotopenverhältnisses des Bodens ab (Ledgard et al. 1985a, Ledgard et al. 1985b). Daher sollte die Validität der hier vorliegenden Ergebnisse in weiteren Feldversuchen geprüft werden.

## 6. Übergreifende Diskussion zu Kapitel A, B und C

Der in der Literatur postulierte Mehrertrag von Gemengen gegenüber ihren zugehörigen Reinsaaten konnte im Rahmen dieser Arbeit bestätigt werden. So wurden bspw. statistisch signifikante Mehrerträge im Korn-, Stroh- und im gesamten oberirdischen Mähdruschertrag (Summe aus gereinigtem Korn + Stroh) erreicht. Die relative Ertragsüberlegenheit eines Gemenges gegenüber der Reinsaaten, kann mit dem sogenannten Relative Yield Total (RYT) ausgedrückt werden (De Witt 1960, De Witt und Van den Bergh 1965). Der RYT ist die Summe aus dem Relativertrag (RY) des einen Gemegepartners und dem Relativertrag des anderen Gemegepartners (in dieser Arbeit:  $\text{RY}_{\text{Vf}}$  = Relativertrag der Winterackerbohnenengenotypen und  $\text{RY}_{\text{Ta}}$  = Relativertrag der Winterweizensorten). Im Mittel der drei Jahre und Standorte wurde in den Gemengen der vorliegenden Versuche ein RYT von 1,220 erreicht. Per Definition bedeutet ein RYT größer 1, dass es in den Gemengen zu einem Ertragsvorteil verglichen mit den zugehörigen Reinsaaten gekommen ist (Berendse 1981). Die zur Verfügung stehenden Ressourcen wurden von Winterackerbohnenengenotypen und Winterweizensorten in diesen Gemengen komplementär genutzt und die sogenannten Komplementäreffekte haben die Konkurrenzeffekte überwogen (Snaydon und Satorre 1989).

Es stellt sich aber die Frage, ob der RYT ein geeignetes Selektionskriterium für die Züchtung und Auslese von Winterackerbohnenengenotypen für den Gemengeanbau sein könnte bzw. ob er ein sinnvoller Ansatz sein könnte, Merkmale und deren Ausprägungen zu identifizieren, die zu einer Steigerung dieser RYT führen. Im Folgenden soll exemplarisch an dem Zusammenhang zwischen dem RYT und Blattflächenindex versucht werden, diese Frage zu beantworten. In Kapitel B zeigte sich, dass die Variation des Blattflächenindex (BFI) der Gemenge mit Winterweizen Ta1 zum Zeitpunkt vor der Blüte und zum Blühbeginn der Vf deutlich negativ und statistisch signifikant mit dem RYT dieser Gemenge korrelierte (Tab. AX;  $-0,725^* < r < -0,755^*$ ). Ferner zeigte sich, dass die Variation des BFI der Gemenge maßgeblich durch die Variation des BFI der Winterackerbohnenreinsaaten vorausgesagt werden konnte (Tab. AXI  $0,646+ < r < 0,942^{**}$ ). Eine mögliche Schlussfolgerung kann sein, dass ein geringerer Blattflächenindex der Winterackerbohnen (der in den Reinsaaten erfasst werden kann) zu einer

Steigerung des RYT führt (vgl. Übergreifende Diskussion Kapitel A und B). Dies könnte ein wichtiges Ergebnis sein, wenn der RYT ein Selektionskriterium wäre. Auf Grundlage meiner Ergebnisse wäre der RYT allerdings kein geeignetes Selektionskriterium, da zwischen den Winterackerbohnen genotypen im Mittel der drei Gemengesituationen nur sehr geringe und statistisch nicht signifikante genetische Variation für ihren RYT vorlag (Tab. A29). Die Wiederholbarkeit fiel entsprechend sehr gering aus ( $h^2 = 33,95$ ). Damit ist eine erfolgreiche züchterische Auslese aufgrund des RYT auf Grundlage dieser Versuchsergebnisse nahezu unmöglich und die Identifizierung von Hilfsmerkmalen, die Einfluss auf den RYT nehmen, wie der BFI, für pflanzenzüchterische Arbeiten von geringem Interesse.

Überraschenderweise ergab sich in dem Merkmal relativer Gemengeertrag nach Wilson (1988) statistisch signifikante genetische Variation zwischen den acht Winterackerbohnen genotypen im Mittel der drei Gemengesituationen (Tab. A31). Es ist ein unerwartetes Ergebnis, da der relative Gemengeertrag algebraisch ähnlich berechnet wird, wie der RYT (vgl. Kap. 2). Der Unterschied zwischen der algebraischen Berechnung dieser beiden Parameter ist, dass der Relative Yield Total die Summe zweier Quotienten ist, während der relative Gemengeertrag ein Quotient aus dem Gesamtgemengeertrag und dem Mittel der beiden korrespondierenden Reinsaaten ist (vgl. Kap. 2). Nun ist die allgemeine Erfahrung die, dass mit zunehmender Anzahl algebraischer Schritte in der Berechnung eines Parameters der Versuchsfehler zunimmt (Weigelt und Jolliffe 2003). Die Ergebnisse zeigten, dass der Variationskoeffizient des Versuchsfehlers (Var.k) des Parameters RYT bei  $\text{Var.k} = 0,106$  und der des relativen Gemengeertrags bei  $\text{Var.k} = 0,102$  lag. Somit wird deutlich, dass der relative Versuchsfehler bezogen auf den Mittelwert (der für beide Parameter mit 1,220 identisch war) und die Werte der acht Ackerbohnen des relativen Gemengeertrags minimal geringer ausfällt als beim RYT. Dieses Resultat und die in Diskussion A im Detail erläuterten Zusammenhänge zwischen den Varianzen des RYT und seinen Summanden  $\text{RY}_{\text{Ta1}}$  und  $\text{RY}_{\text{Vf}}$ , sowie die negative Kovarianz zwischen den Summanden  $\text{RY}_{\text{Vf}}$  und  $\text{RY}_{\text{Ta}}$  könnten eine mögliche Erklärung dafür sein, dass sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Winterackerbohnen genotypen in dem Merkmal RYT ergaben. Die drei Korrelationen zwischen dem RYT und dem relativen Gemengeertrag der drei Gemengevarianten sind allesamt positiv, hoch und statistisch signifikant ( $0,751^* < r < 0,825^{**}$ ). Mit diesen Korrelationen zeigt sich, dass die beiden Parameter doch sehr ähnlich variieren und zu sehr ähnlichen Aussagen führen. Somit könnte abschließend der relative Gemengeertrag als mögliches Selektionskriterium anstatt des RYT genutzt werden. Da die Korrelationen aber ungleich 1 sind, muss davon ausgegangen werden, dass der RYT und der relative Gemengeertrag eben nicht exakt zu denselben Resultaten führen,



was bei der Interpretation dieser Resultate beachtet werden sollte. Dennoch würde in der vorliegenden Arbeit eine Selektion auf Grundlage des RYT oder des relativen Gemengeertrags zu denselben Kandidaten führen.

Die Prüfung und Auslese von Genotypen für den Anbau im Gemenge geschieht meistens unter Reinsaatbedingungen (Davis und Woolley 1993). Ob eine Züchtung von Genotypen aber schon im Gemenge unter Konkurrenzbedingungen erfolgen sollte, wurde schon in einer Vielzahl von Studien diskutiert (vgl. Zimmermann 1996) und noch ist man zu keiner klaren allgemeingültigen Beantwortung dieser Frage gekommen. Es liegt aber auf der Hand, dass die Frage, ob eine Züchtung von Winterackerbohnen für den Anbau in Reinsaat zu derselben Auslese von Kandidaten führt, die auch im Gemenge die höchsten Leistungen erbringen, ganz von dem Ziel des Gemengeanbaus abhängt: (1) ob ein hoher Bohnenertrag im Gemenge oder (2) ein hoher Weizenertrag im Gemenge oder (3) ein hoher Gesamtertrag im Gemenge erreicht werden soll. Es ergab sich in der detaillierten Korrelationsanalyse (vgl. Abb. A2), dass ein großer Anteil der Variation der Winterackerbohnenkornträge der Gemenge durch die Variation der Winterackerbohnenkornträge in den Reinsaat vorhergesagt werden konnte. Die Korrelationskoeffizienten lagen je nach Gemengesituation bei  $0,809^{**} < r < 0,870^{**}$ . Dieses Resultat zeigt also, dass zum Erreichen des Ziels (1) eine Prüfung und Auslese der Winterackerbohnen in ihren Reinsaat aufgrund des Merkmals Winterackerbohnenkorntrag praktisch zu denselben potentiellen Kandidaten führen würde, wie eine Prüfung im Gemenge mit Winterweizen unter Konkurrenzbedingungen (vgl. Francis et al. 1978). Zudem zeigte die zugehörige Varianzanalyse für das Merkmal Winterackerbohnenkorntrag im Gemenge, dass es zu keinen statistisch signifikanten Interaktionen zwischen den Winterackerbohnen genotypen und Winterweizensorten gekommen ist (Tab. A7). Dagegen hatten die Hauptfaktoren Winterackerbohnen genotyp und Winterweizensorte einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Winterackerbohnenkornträge. Demzufolge wird offensichtlich die Rangierung der Winterackerbohnenkornträge im Gemenge mit Winterweizen schon maßgeblich durch die Wahl des Vf-Gemengepartners bestimmt und eine Prüfung im Gemenge mit weiteren Weizensorten wäre nicht notwendig.

Die Korrelationen zwischen dem Winterackerbohnenkorntrag der Reinsaat und dem Winterweizenertrag der drei Gemenge waren negativ, gering, statistisch nicht signifikant und lagen je nach Gemengesituation bei  $-0,282^{ns} < r < -0,420^{ns}$ . Daraus kann abgeleitet werden, dass ein geringer Teil der Variation der Weizenkornträge im Gemenge schon durch die Variation der Winterackerbohnenkornträge in den Reinsaat vorhergesagt werden kann, aber

eben wesentlich weniger verlässlich als bei den vorangegangenen Winterackerbohnenenerträgen der Gemenge. In der entsprechenden Varianzanalyse für die Winterweizenkornenerträge zeigte sich, dass die Hauptfaktoren Winterackerbohnen genotyp und Winterweizensorte einen statistisch signifikanten Effekt auf den Winterweizenkornenertrag in den Gemengen ausübten. Wie schon bei der Analyse der Winterackerbohnenkornenerträge ergaben sich keine spezifischen Winterackerbohnen-Winterweizen-Interaktionen für das Merkmal Winterweizenkornenertrag im Gemenge (Tab. A12). Somit kann auch das Erreichen des zweiten Ziels, ein hoher Winterweizenertrag im Gemenge, ebenso zum großen Teil durch die Wahl der beiden Gemengepartner beeinflusst werden. Ein sehr hoher Weizenertrag im Gemenge ist allerdings nicht zielführend, im Hinblick auf die Auslese von ertragsstarken Winterackerbohnen. Auf Grundlage dieser Versuchsdaten, sollte für die höchsten Winterweizenkornenerträge im Gemenge ein Winterackerbohnen genotyp gewählt werden, der selbst die geringsten Kornenerträge im Gemenge hervorbringt. Im vorliegenden Fall ist dies der Winterackerbohnen genotyp S\_062 (Vf2). Dieser Winterackerbohnen genotyp erreichte auch in seinen Reinsaatkornenerträgen, bei einer Rangierung der acht untersuchten Winterackerbohnen genotypen nur den Rang 5.

In der Korrelationsanalyse zwischen dem Winterackerbohnenkornenertrag der Reinsaaten und dem Gesamtgemengeertrag lagen die Korrelationen je nach Gemengesituation zwischen  $0,384_{ns} < r < 0,694_{+}$ . Damit kann nur teilweise von dem Winterackerbohnenkornenertrag in den Reinsaaten auf den Gesamtgemengeertrag geschlossen werden. Bestärkt werden diese Schlussfolgerungen noch durch die Ergebnisse der ANOVA des orthogonalen Kontrasts (siehe hierzu F-Test für die Interaktion des orthogonalen Kontrasts zwischen Reinsaat und den drei Gemengen mit dem Hauptfaktor Winterackerbohnen genotyp (Tab. A18; F-Wert (R vs. K\*)xB = 3,79\*)). Hier wird ersichtlich, dass der orthogonale Kontrast zwischen Bohnenreinsaat ertrag und Gesamtgemengeertrag (in diesem Fall die mittlere Ertragsüberlegenheit der Gemenge von  $6,8 \text{ dt ha}^{-1}$  gegenüber den Bohnenreinsaaten) statistisch signifikant mit dem Hauptfaktor Winterackerbohnen genotyp interagiert. Somit kann aufgrund dieser Interaktionen eben nicht zuverlässig von dem Winterackerbohnenreinsaat ertrag auf den Gesamtgemengeertrag geschlossen werden. So könnte für dieses Merkmal eine Prüfung und Auslese der Winterackerbohnen genotypen im Gemenge effizienter sein als eine Züchtung in Reinsaaten. Ebenso waren die Winterackerbohnen-Winterweizen-Interaktionen (K = 3; also ohne die Variante Reinsaat, nur innerhalb der drei Gemengesituationen) statistisch signifikant. Das spricht dafür, dass eine züchterische Prüfung und Auslese von Winterackerbohnen für den Gesamtgemengeertrag zusätzlich noch mit diversen Winterweizen erfolgen sollte, da nachweislich für den Gesamtgemengeertrag nicht zuverlässig vom Gemenge mit einem Winterweizen auf das

Gemenge mit anderen Winterweizensorten geschlossen werden kann (vgl. Zimmermann 1996). Die hier diskutierten Korrelationen zwischen Leistung in Reinsaat und Leistung im Gemenge (bzw. Leistung des Gemenges) und genannten Erblichkeiten bzw. Wiederholbarkeiten aus den Diskussionen der Kapitel A und Kapitel B sind keine vollständige Liste der zu berücksichtigenden Aspekte für diese Diskussion. Weitere Punkte sind z.B. die Unterschiede in den Kosten der Züchtung im Gemenge und die realen Anbauflächen für Reinsaat und für Gemenge. Ein Gemengeanbau, der nur eine sehr kleine ökonomische Nische darstellt, wird in keinem Fall ein speziell dafür ausgerichtetes Zuchtprogramm tragen können (vgl. Davis und Woolley 1993).

Die Optimierung der in dieser Arbeit diskutierten drei Ziele des Gemengeanbaus: (1) ein hoher Bohnenertrag im Gemenge oder (2) ein hoher Weizenenertrag im Gemenge oder (3) ein hoher Gesamtertrag im Gemenge ließe sich auch durch pflanzenbauliche Maßnahmen erreichen. So könnte beispielsweise die Zusammensetzung der Gemengebestandesdichten und die Aussaatstärken variiert werden. In einem Vorversuch zu dem IMPAC<sup>3</sup>-Projekt wurden Gemenge mit unterschiedlicher Gemengebestandesdichte durchgeführt. Als Normalsaat wurden für die Ackerbohnen von 25 Samen m<sup>-2</sup> und für Winterweizen von 200 Samen m<sup>-2</sup> in den Reinsaaten ausgegangen. Es zeigte sich in diesem Vorversuch, dass die optimale Gemengebestandesdichte mit den höchsten Kornerträgen im Gemenge beim 1,6-Fachen dieser Bestandesdichte lag. Bezogen auf die Reinsaaten bedeutet das eine Aussaatstärke von 40 Ackerbohnen m<sup>-2</sup> und 320 Winterweizensamen m<sup>-2</sup>. Zudem ließ sich eine optimale Zusammensetzung für die Versuche im Rahmen des IMPAC<sup>3</sup>-Projektes von Ackerbohnen und Weizen im Gemenge von 50:50, bezogen auf ihre Reinsaaten, ableiten (Röper 2015). Eine weitere pflanzenbauliche Optimierung der Gemenge, um die Erträge und Ertragszusammensetzung zu lenken, könnte aber auch durch die Anpassung der Reihenabstände innerhalb der Gemenge erfolgen (vgl. Hof-Kautz 2008).

Ein weiterer, oftmals beschriebener Vorteil eines Leguminosen-Getreide-Gemenges ist eine verbesserte Stickstoffnutzung. Die Fähigkeit von Leguminosen atmosphärischen Stickstoff aus der Symbiose mit Knöllchenbakterien zu fixieren gerät immer mehr in den Fokus zur Etablierung einer nachhaltig geführten Landwirtschaft. So ist es möglich auf umweltschonendere Weise Stickstoff in die agrarisch genutzten Böden einzutragen (Hauggaard-Nielsen et al. 2009). Es ist bekannt, dass die Stickstoffmenge, die eine Leguminose im Laufe ihrer Vegetationszeit aus der Luft fixieren kann, von den Umweltbedingungen beeinflusst wird. Sie hängt aber auch merklich von der Leguminosenart und von dem Genotypen innerhalb dieser Art ab

(Amarger et al. 1979, Hobbs und Mahon 1982). Dieses Wissen ist von enormer Bedeutung, wenn der Legume, aus der Luft fixierter Stickstoff nachhaltig in der Landwirtschaft genutzt werden soll. Der Stickstoffertrag ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) wird sehr stark von der Sprossmasse beeinflusst. Der Stickstoffertrag ist das Produkt aus dem Sprossmasseertrag und dem Stickstoffgehalt. In der vorliegenden Arbeit zeigte sich, dass statistisch signifikante genetische Variation zwischen den acht untersuchten Winterackerbohnen-Genotypen (1) im prozentualen Anteil des Luftstickstoffs (%Ndfa) und (2) in dem aus der Luft stammenden Stickstoffertrag ( $N_{\text{Vf-Luft}}$ ) ihrer oberirdischen Sprossmasse in den Reinsaaten vorlag (BBCH65, BBCH89). Im Mittel fixierten die Winterackerbohnen-Genotypen je nach Messtermin in den Reinsaaten 73,4 % ( $95,1 \text{ kg N ha}^{-1}$ ; BBCH65), bzw. 77,9 % ( $174,4 \text{ kg N ha}^{-1}$ ; BBCH89). Duc et al. (1988) zeigten in ihrer Arbeit an Ackerbohnen, dass sich die dort untersuchten Genotypen ebenso statistisch signifikant in ihrer %Ndfa und in ihrem  $N_{\text{Vf-Luft}}$  der Samen (BBCH89) unterschieden. Allerdings wurden diese Untersuchungen an den geernteten Samen der Ackerbohnen durchgeführt, was bei dem Vergleich der Ergebnisse berücksichtigt werden sollte. Ferner lag statistisch signifikante genetische Variation im Gesamtstickstoffertrag ( $N_{\text{Vf-Gesamt}}$ ) der acht Winterackerbohnen-Genotypen und sogar in ihrem Stickstoffertrag des aufgenommenen Bodenstickstoffs ( $N_{\text{Vf-Boden}}$ ) vor (Reinsaaten; BBCH65 und BBCH89). Wenn die Stickstofffixierleistung (bzw. der potentielle Stickstoffertrag) einzelner Winterackerbohnen-Sorten bekannt wäre, könnte dieses Wissen bei der Düngeplanung in der praktischen Landwirtschaft einfließen und so der Einsatz von mineralischem Stickstoff entsprechend reduziert werden. Natürlich sollte nachfolgend, aufbauend auf diesen Versuchsergebnissen, eine genauere Differenzierung der Sprossmasse dieser acht und weiterer Winterackerbohnen-Genotypen, in einzelne Pflanzenorgane erfolgen (vgl. López-Bellido et al. 2010). So muss der Anteil des Stickstoffertrags der nach der Mähdruschernte durch die Abfuhr des Ernteguts dem System entzogen wird, von dem Stickstoffertrag, der in Form von Stroh auf dem Acker verbleibt, subtrahiert und entsprechend in die Düngeplanung der Landwirte einbezogen werden. Gerade vor dem Hintergrund der aktuellsten Novellierung der Düngemittelverordnung und den daraus folgenden zunehmenden Restriktionen der Stickstoffausbringung in der Landwirtschaft können diese Resultate beim gezielten Anbau von Winterackerbohnenreinsaaten in der praktischen Landwirtschaft genutzt werden.

Es zeigte sich, dass die Winterackerbohnen prozentual mehr Stickstoff in den Gemengen mit Winterweizen fixierten als in ihren Reinsaaten (Kap. C). Sie fixierten in ihren Gemengen mit Genius zum Zeitpunkt der Vollblüte 14,6 % und zum Zeitpunkt der Mähdruschreife 8,8 % mehr Stickstoff als in ihren Reinsaaten. Diese Ergebnisse decken sich mit Resultaten aus vo-

rangegangenen Experimenten (Danso et al. 1987, Fan et al. 2006). Die wahrscheinlichste Erklärung dafür ist, dass der Weizen, weil er ausschließlich Bodenstickstoff aufnimmt, als Konsequenz den Bodenstickstoffgehalt in der Rhizosphäre der Winterackerbohnen absenkt. Der dadurch bei den Leguminosen einsetzende Stickstoffmangel führt wiederum dazu, dass die Winterackerbohnen verstärkt Luftstickstoff fixieren. Der Winterweizen angebaut im Gemenge mit Winterackerbohnen erreichte im Mittel ca. 82,7 % bzw. 88,4 % des Stickstoffertrags seiner Reinsaaten. Damit wurden die theoretisch erwarteten 50 % weit übertroffen. Hier wird deutlich, dass interspezifische Konkurrenz- und Komplementäreffekte im Gemenge durchaus zwei Aspekte derselben Interaktion sein können.

Diese verbesserte Nutzung der natürlichen Stickstoffressourcen im Gemenge wird vor dem Hintergrund der steigenden gesellschaftlichen Ansprüche an eine nachhaltige landwirtschaftliche Produktion zunehmend an Bedeutung gewinnen. Dennoch besteht hier weiterer Forschungsbedarf, um eine Implementierung des Gemengeanbaus in der Praxis zu erreichen. In den vorliegenden Versuchen konnte eine absolute Vorteilhaftigkeit der Gemenge in Bezug auf die Stickstofffixierleistung gegenüber ihren korrespondierenden (N-)ungedüngten Reinsaaten bestätigt werden. In der Praxis erfolgt der Anbau von Winterweizen aktuell jedoch ausschließlich unter Nutzung organischer oder mineralischer Stickstoffdünger. In dem hier vorliegenden Versuch wurde auf eine Stickstoffdüngung gänzlich verzichtet. Dieses Herangehensweise erlaubte einen Vergleich zwischen Gemenge und Reinsaaten unter gleichen Bedingungen. Es ist davon auszugehen, dass zumindest die Winterweizenreinsaaten, möglicherweise auch die Gemenge, bei einer praxisüblichen Stickstoffdüngung höhere Kornerträge hervorgebracht hätten. Die unter Stickstoffdüngung erreichten Resultate über eine mögliche Vorteilhaftigkeit der Gemenge gegenüber den Reinsaaten in Hinblick auf die Kornerträge (absolut oder mittels RYT) hätten Antworten auf andere als die hier gestellten Fragen gegeben. Die hier gewonnen Erkenntnisse über die Vorteilhaftigkeit der Gemenge gegenüber ihren Reinsaaten betreffen die Situation, dass Stickstoff einen limitierenden Faktor im Anbau darstellt, was spezifisch für Leguminosen-Nichtleguminosen-Gemenge relevant ist. Ein Vergleich zwischen Reinsaaten und Gemenge unter Einbezug von mineralischer oder organischer Stickstoffdüngung würde zu eher praxisrelevanten Resultaten führen, die weniger die Aufklärung der Kausalität von Mehrerträgen sondern mehr die landwirtschaftliche Beratung zum Ziel hätten.

## 7. Zusammenfassung und Fazit

Im Rahmen des IMPAC<sup>3</sup>-Projektes wurden in der sogenannten Domäne „Ackerland“ acht Winterackerbohnenengenotypen (experimentelle Inzuchtlinien) und drei in Deutschland zugelassenen Winterweizensorten in Reinsaat und in substitutiven Gemengen in drei Jahren an zwei kontrastierenden Standorten, unter Ausschluss von Stickstoffdüngung angebaut. Es sollte untersucht werden: (A) ob der Anbau von Winterackerbohnen und Winterweizen im Gemenge zu nennenswerten Mehrerträgen im Vergleich zu ihren Reinsaaten führt (absolut und mit Hilfe des RYT); und wenn ein solcher Mehrertrag besteht, sollte geprüft werden, ob die einzelnen Winterackerbohnenengenotypen einen Einfluss auf diesen Mehrertrag haben, außerdem auch, welche Merkmale der Winterackerbohne gegebenenfalls einen Einfluss auf diesen Mehrertrag ausüben. Zudem (B) sollte untersucht werden, ob die Züchtung von Winterackerbohnenengenotypen, wenn die Züchtung in Reinsaat durchgeführt wird und somit auf beste Reinsaatleistung zielt, zu Kandidaten führt, die auch im Gemenge mit Winterweizen höchste Leistungen erbringen. Des Weiteren (C) sollte ermittelt werden, ob nachweisbare und nennenswerte genetische Variation zwischen den Winterackerbohnenengenotypen im Hinblick auf ihre symbiotische Stickstofffixierleistung existiert und ob sich diese Leistung in den Reinsaaten nennenswert und statistisch signifikant von der Leistung in den Gemengen unterscheidet.

Beim Anbau von Winterackerbohnen und Winterweizen im Gemenge kam es zu deutlichen Mehrerträgen im Kornertrag, Strohertrag und Gesamtmähdruschertrag. So lag der sogenannte Relative Yield Total (RYT) und der relative Gemengeertrag der Kornerträge im Mittel bei 1,220. Ebenso lag die absolute Kornertragsdifferenz zwischen dem Gesamtgemengeertrag und dem zugehörigem Reinsaatmittel bei +6,8 dt ha<sup>-1</sup> (Ertragsvorteil der Gemenge). Es zeigte sich, dass der Relativertrag im Mittel der acht Winterackerbohnenengenotypen ( $RY_{Vf} = 0,660$ ) in den Gemengen größer war als der mittlere Relativertrag der drei Winterweizen ( $RY_{Ta} = 0,559$ ). Die Winterackerbohnenengenotypen hatten einen statistisch signifikanten Effekt auf die Merkmale: Winterackerbohnen-, Winterweizen und Gesamtkornertrag der Gemenge, die absolute Kornertragsdifferenz zwischen den Gemengen und dem Mittel der zugehörigen Reinsaaten, den  $RY_{Vf}$  und den  $RY_{Ta}$  sowie auf den relativen Gemengeertrag, nicht jedoch auf den RYT. Ebenso hatten die Winterweizensorten einen statistisch signifikanten Einfluss auf dieselben Merkmale, mit Ausnahme der absoluten Kornertragsdifferenz. Ferner kam es lediglich in den Merkmalen Gesamtkornertrag der Gemenge und in der absoluten Kornertragsdifferenz zu spezifischen Winterackerbohnen-Winterweizen-Interaktionen, sodass die Variation der vorher genannten Ertragsmerkmale und Parameter zu einem großen Anteil schon durch die Wahl der

beiden Gemengepartner bestimmt wurden. Somit ließe sich, je nach Ziel des Gemengeanbaus: (1) ein hoher Winterackerbohnenenertrag im Gemenge, (2) ein hoher Winterweizenertrag im Gemenge oder (3) ein hoher Gesamtgemengeertrag, das jeweilige Ziel schon durch die Festlegung des Bohnen-Gemengepartners oder aber beider am besten zum Ziel passenden Gemengepartner realisieren. Somit würde auf der Grundlage dieser Versuchsergebnisse die Wahl der Winterackerbohne WAB-Fam157 zum Ziel (1) passen, jedoch die Wahl der Winterackerbohne wie die S\_062 zum Erreichen des Ziels 2 und zusammen mit Winterweizen Hybery zum Ziel 3 zu wählen sein. Es konnte festgestellt werden, dass die Variation der Winterackerbohnenkornenerträge der Gemenge schon zu einem großen Anteil durch die Variation der Winterackerbohnenkornenerträge aus ihren Reinsaaten vorhergesagt werden konnte, ungeachtet davon, mit welchem Weizen die Winterackerbohnen genotypen im Gemenge angebaut wurden. Das könnte bedeuten, dass auf Grundlage der vorliegenden Daten, eine Züchtung von Winterackerbohnen in Reinsaaten auf einen hohen Winterackerbohnenkornenertrag zu denselben Kandidaten führen würde, wie eine Züchtung von Winterackerbohnen, die unter Konkurrenzbedingungen mit Winterweizen getestet werden. Dennoch wäre durch die aufgetretenen Winterackerbohnen-Winterweizeninteraktionen für das Merkmal und Zuchtziel Gesamtkornenertrag des Gemenges in Betracht zu ziehen, die Prüfung und züchterische Auslese von Winterackerbohnen genotypen im Gemenge mit diversen Winterweizensorten durchzuführen. In der detaillierten Korrelationsanalyse der Hilfsmerkmale untereinander konnte festgestellt werden, dass die Variation der Wuchshöhe der Winterackerbohnen genotypen und die Variation des Lagers von Winterweizen und Winterackerbohne im Gemenge schon zu sehr großen Anteilen aus der Variation dieser Merkmale in den Winterackerbohnenreinsaaten vorausgesagt werden konnte. Ebenso konnte festgestellt werden, dass die Variation des Blattflächenindex (BFI) der Gemenge schon durch die Variation des BFI der Winterackerbohnenreinsaaten vorhersehbar war. Zum Erreichen höchster Leistungen im Gemenge sollten daher Winterackerbohnen genotypen gewählt werden, die (1) einen eher kurzen Wuchs aufweisen, damit der Gemengepartner Winterweizen wenig überwachsen und beschattet wird; (2) im Gemenge wie auch im Anbau in Reinsaaten sehr standfest sind, was tendenziell mit einem kürzeren Wuchs einhergeht. Sollte (3) das Ziel des Gemengeanbaus sein, einen eher hohen Weizenanteil im Gesamtgemengeertrag oder ein hoher  $RY_{Ta}$  bzw.  $RYT$  zu erreichen, dann sollte ein Wintersackerbohnen genotyp gewählt werden, der einen geringeren BFI aufweist.

Die acht untersuchten Winterackerbohnen genotypen unterschieden sich in den Reinsaaten statistisch signifikant in ihrer prozentualen Stickstofffixierleistung. In den Gemengen, mit dem Winterweizen Genius, war der prozentuale Anteil der Stickstofffixierleistung deutlich

höher als in den Bohnen Reinsaat. Zudem konnte festgestellt werden, dass der Gesamtstickstofftrag ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) der Gemenge statistisch signifikant unter dem Gesamtstickstofftrag der Ackerbohnenreinsaat lag. Die züchterische Optimierung des Stickstofftrags der Winterackerbohnen in Reinsaat und im Gemenge sollte aufgrund der positiven und merklich hohen Korrelationen zwischen Sprossmasseertrag und dem aus der Luft akkumulierten Stickstofftrag der Winterackerbohnen, also eher durch die Steigerung der Sprossmasseproduktion als durch die Steigerung der prozentualen Stickstofffixierungen erfolgen.

## **Fazit**

Es kam in den Gemengen zu Konkurrenz und Komplementäreffekten zwischen den beiden Spezies Winterackerbohne und Winterweizen. Unter dem hier gegebenen Ausschluss von Stickstoffdüngung wurden statistisch signifikante Mehrerträge in den Gemengen erreicht und damit überwogen im Mittel aller Gemengekombinationen die komplementäre Nutzung der zur Verfügung stehenden Ressourcen. Die acht Winterackerbohnen-Genotypen erwiesen sich als konkurrenzstärkerer Gemengepartner, verglichen mit den drei Winterweizensorten. Der Blattflächenindex, die Wuchshöhe und die Lagerneigung von Winterackerbohnen scheinen agronomische Merkmale zu sein, deren Variation sich auf den Mehrertrag oder die Ertragszusammensetzung der Gemenge deutlich und wiederholbar auswirkt. Die Variation dieser Merkmale im Gemenge kann erkennbar durch die Variation der Merkmale in den Winterackerbohnenreinsaat vorausgesagt werden, sodass eine Züchtung für den Gemengeanbau weiterhin in der Reinsaat erfolgen könnte. Dennoch besteht weiterer Forschungsbedarf, da es bspw. in dem Merkmal Gesamtgemengeertrag zu Winterackerbohnen-Winterweizen-Interaktionen gekommen ist, die naturgemäß für jeden neuen Genotyp (insbesondere Winterweizengenotyp) sehr schwer vorhersehbar sein würden. Das spricht wiederum dafür, dass für dieses Merkmal die Prüfung und züchterische Auslese von Winterackerbohnen mit diversen Winterweizensorten oder gegebenenfalls im Gemenge mit mehr als einer Weizensorte durchgeführt werden müsste. Es konnte eben für den Gesamtkornertrag nicht zuverlässig vom Gemenge mit einer Winterweizensorte auf den Gesamtkornertrag die Gemenge mit anderen Winterweizensorten geschlossen werden.

Unter den acht getesteten Winterackerbohnen-Genotypen zeichnete sich vor allem die S\_062 (Vf2) durch einen kürzeren Wuchs, damit einhergehende geringe Lagerneigung und einen relativ geringen BFI aus. Zudem erreichte die S\_062 im Mittel der drei Gemengesituationen (angebaut mit Genius, Boxer oder Hybery) die höchsten Gesamtgemengeerträge, die höchsten



Weizenkornenerträge im Gemenge, den höchsten absoluten Ertragsvorteil und den höchsten  $RY_{Ta}$  sowie den höchsten RYT. Damit ließe sich die S\_062 als gemengetauglichste der acht Winterackerbohnen identifizieren, wenn man den Anteil des Ackerbohnenkornenertrags am Gesamtgemengeertrag vernachlässigt, sondern lediglich einen hoher Weizenertrag und ebenso ein hoher Gesamtgemengeertrag das Ziel des Gemengeanbaus sein soll. Bei Rangierung nach ihrem Reinsaatenertrag allerdings erreichte diese Linie nur den Rang fünf von acht möglichen.

## 8. Literaturverzeichnis

- Agegnehu G., Ghizaw A. & W. Sinebo (2006a): Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. *European Journal of Agronomy*, 25(3): 202-207. DOI: [/10.1016/j.eja.2006.05.002](https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.05.002)
- Agegnehu G., Ghizaw A. & W. Sinebo (2006b): Crop productivity and land-use efficiency of a teff/faba bean mixed cropping system in a tropical highland environment. *Experimental Agriculture*, 42(4): 495-504. DOI: [/10.1017/S0014479706003863](https://doi.org/10.1017/S0014479706003863)
- Agegnehu G., Ghizaw A. & W. Sinebo (2008): Yield potential and land-use efficiency of wheat and faba bean mixed intercropping. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(2): 257-263. DOI: [/10.1051/agro:2008012](https://doi.org/10.1051/agro:2008012)
- Amanuel G., Kühne R. F., Tanner D. G. & P. L. G. Vlek (2000): Biological nitrogen fixation in faba bean (*Vicia faba* L.) in the Ethiopian highlands as affected by P fertilization and inoculation. *Biology and Fertility of Soils*, 32(5): 353-359. DOI: [/10.1007/s003740000258](https://doi.org/10.1007/s003740000258)
- Amarger N., Mariotti A., Mariotti F., Durr J. C., Bourguignon C. & B. Lagacherie (1979): Estimate of symbiotically fixed nitrogen in field grown soybeans using variations in 15 N natural abundance. *Plant and Soil*, 52(2): 269-280. DOI: [/10.1007/BF02184565](https://doi.org/10.1007/BF02184565)
- Andrews D. J. & A. H. Kassam (1976): The importance of multiple cropping in increasing world food supplies. In: Stelly, M. (ed.): Multiple cropping. ASA Special Publication Nr. 27: 1-10, Madison, Wisconsin.
- Aqtbouz N., Ghaouti L., Belqadi L. & W. Link (2016): Analyse de la tolérance des populations locales de fève (*Vicia faba* L.) à la sécheresse au stade juvénile. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 4(1): 51-65.
- Atuahene-Amankwa G. & T. E. Michaels (1997): Genetic variances, heritabilities and genetic correlations of grain yield, harvest index and yield components for common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in sole crop and in maize/bean intercrop. *Canadian Journal of Plant Science*, 77(4): 533-538. DOI: [/10.4141/P96-168](https://doi.org/10.4141/P96-168)
- Aufhammer W., Fiegenbaum A. & E. Kübler (1994): Zur Problematik der Stickstoffrückstände von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.). Teil 1: Stickstoffakkumulation und Stickstoffrückstände von Ackerbohnen. *Die Bodenkultur*, 45(3): 239-251.
- Baker R. J. (1978): Issues in diallel analysis. *Crop Science*, 18(4): 533-536. DOI: [/10.2135/cropsci1978.0011183X001800040001x](https://doi.org/10.2135/cropsci1978.0011183X001800040001x)
- Banik P., Midy A., Sarkar B. K. & S. S. Ghose (2006): Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: advantages and weed smothering. *European Journal of Agronomy*, 24(4): 325-332. DOI: [/10.1016/j.eja.2005.10.010](https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.10.010)
- Becker H. C. (2011): Pflanzenzüchtung. 2. Auflage, 368 S., Ulmer, Stuttgart.

- Becker H. C. & J. Léon (1988): Stability analysis in plant breeding. *Plant breeding*, 101(1): 1-23. DOI: [/10.1111/j.1439-0523.1988.tb00261.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1988.tb00261.x)
- Bedoussac L. & E. Justes (2010): The efficiency of a durum wheat-winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth. *Plant and Soil*, 330(1-2): 19-35. DOI: [/10.1007/s11104-009-0082-2](https://doi.org/10.1007/s11104-009-0082-2)
- Berendse F. (1981): Competition between plant populations with different rooting depths. II. Pot experiments. *Oecologia*, 48(3): 334-341. DOI: [/10.1007/BF00346491](https://doi.org/10.1007/BF00346491)
- Berendse F. (1982): Competition between plant populations with different rooting depths. III. Field experiments. *Oecologia*, 53(1): 50-55. DOI: [/10.1007/BF00377135](https://doi.org/10.1007/BF00377135)
- Berthelem P. (1970): Rapport d'activite' de la station d'Ame'lioration des Plantes de Rennes. Institut National de la Recherche Agronomique, Rennes, France.
- Bertrán F. J., Ribaut J. M., Beck D. & D. Gonzales de León (2003): Genetic diversity, specific combining ability, and heterosis in tropical maize under stress and nonstress environments. *Crop Science*, 43(3): 797-806. DOI: [/10.2135/cropsci2003.7970](https://doi.org/10.2135/cropsci2003.7970)
- Bilalis D., Papastylianou P., Konstantas A., Patsiali S., Karkanis A. & A. Efthimiadou (2010): Weed-suppressive effects of maize-legume intercropping in organic farming. *International Journal of Pest Management*, 56(2): 173-181. DOI: [/10.1080/09670870903304471](https://doi.org/10.1080/09670870903304471)
- Boland E., Zikeli S. & S. Gruber (2017): Der Anbau von Linsen und Erbsen im Gemenge. In: Wolfrum, S., Heuwinkel H., Reents H. J. et al. (Hrsg.): Ökologischen Landbau weiterdenken – Verantwortung übernehmen – Vertrauen stärken. Beiträge der 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 07.-10. März 2017, Freising-Weihenstephan, Verlag Dr. Köster, Berlin.
- Bond D. A., Jellis G. J., Hall J. A., Brown S. J., Pope M. & M. H. E. Clarke (1986): Field beans. In: Green J.L. (ed.): Annual Report, Plant Breeding Institute, Cambridge. 41-46.
- Bond D. A., Jellis G. J., Rowland G. G., Le Guen J., Robertson L. D., Khalil S. A. & L. Li-Juan (1994): Present status and future strategy in breeding faba beans (*Vicia Faba* L.) for resistance to biotic and abiotic stresses. *Euphytica* 73(1-2): 151-166. DOI: [/10.1007/BF00027191](https://doi.org/10.1007/BF00027191)
- Brunner H. & F. Zapata (1984): Quantitative assessment of symbiotic nitrogen fixation in diverse mutant lines of field bean (*Vicia faba minor*). *Plant and Soil*, 82(3): 407-413. DOI: [/10.1007/BF02184278](https://doi.org/10.1007/BF02184278)
- Bundessortenamt (2018): Beschreibende Sortenliste – Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben (2018). 335 S., Bundessortenamt, Hannover.
- Bundessortenamt (1978): Beschreibende Sortenliste – Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben (1978). Bundessortenamt, Hannover.

- Carton N., Naudin C., Piva G., Baccar R. & G. Corre-Hellou (2018): Differences for traits associated with early N acquisition in a grain legume and early complementarity in grain legume-triticale mixtures. *AoB PLANTS*, 10(1): ply001, 17p. DOI: [/10.1093/aobpla/ply001](https://doi.org/10.1093/aobpla/ply001)
- Corre-Hellou G. & Y. Crozat (2005): N<sub>2</sub> 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(4): 449-458. DOI: [/10.1016/j.eja.2004.05.005](https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.05.005)
- Danso S. K. A., Zapata F. & G. H. Hardarson (1987): Nitrogen fixation in faba beans as affected by plant population density in sole or intercropped systems with barley. *Soil Biology and Biochemistry*, 19(4): 411-415. DOI: [/10.1016/0038-0717\(87\)90031-9](https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90031-9)
- Daur I., Sepetoğlu H., Marwat K. B. & M. N. Geverek (2010): Nutrient removal, performance of growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 42(5): 3477-3484.
- Daur I., Septeoğlu H. & B. Sindel (2011): Dynamics of faba bean growth and nutrient uptake and their correlation with grain yield. *Journal of Plant Nutrition*, 34(9): 1360-1371. DOI: [/10.1080/01904167.2011.580878](https://doi.org/10.1080/01904167.2011.580878)
- Davis J. H. C. & J. N. Woolley (1993): Genotypic requirement for intercropping. *Field Crops Research*, 34(3-4): 407-430. DOI: [/10.1016/0378-4290\(93\)90124-6](https://doi.org/10.1016/0378-4290(93)90124-6)
- Decagon Devices (2014): AccuPAR PAR/LAI Ceptometer Model LP-80, Operator's Manual.
- De Stefanis E., Sgrulletta D., Pucciarmati S., Ciccoritti R. & F. Quaranta (2017): Influence of durum wheat-faba bean intercrop on specific quality traits of organic durum wheat. *Biological Agriculture & Horticulture*, 33(1): 28-39. DOI: [/10.1080/01448765.2016.1178598](https://doi.org/10.1080/01448765.2016.1178598)
- De Wit C. T. (1960): On competition. *Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen* 66: 1-82.
- De Wit C. T & J. P. van den Bergh (1965): Competition between herbage plants. *The Journal of Agricultural Science*, 13: 212-221.
- Dordas C. A., Vlachostergios D. N. & A. S. Lithourgidis (2012): Growth dynamics and agronomic-economic benefits of pea-oat and pea-barley intercrops. *Crop and Pasture Science*, 63(1): 45-52. DOI: [/10.1071/CP11181](https://doi.org/10.1071/CP11181)
- Duc G., Mariotti A. & N. Amarger (1988): Measurements of genetic variability for symbiotic dinitrogen fixation in field grown faba bean (*Vicia faba* L.) using a low level <sup>15</sup>N-tracer technique. *Plant and Soil*, 106(2): 269-276. DOI: [/10.1007/BF02371223](https://doi.org/10.1007/BF02371223)
- Ellis R. H., Roberts E. H. & R. J. Summerfield (1988): Photothermal time for flowering in faba bean (*Vicia faba*) and the analysis of potential vernalization responses. *Annals of Botany*, 61(1): 73-82. DOI: [/10.1093/oxfordjournals.aob.a087529](https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087529)

- Ergon Å., Kirwan L., Bleken M. A., Skjelvåg A. O., Collins R. P. & O. A. Rognli (2016): Species interactions in a grassland mixture under low nitrogen fertilization and two cutting frequencies. 1. dry-matter yield and dynamics of species composition. *Grass and Forage Science*, 71(4): 667-682. DOI: [/10.1111/gfs.12250](https://doi.org/10.1111/gfs.12250)
- Eskandari H. & A. Ghanbari (2010): Effect of different planting pattern of wheat (*Triticum aestivum*) and bean (*Vicia faba*) on grain yield, dry matter production and weed biomass. *Notulae Scientia Biologicae*, 2(4): 111-115. DOI: [/10.15835/nsb244824](https://doi.org/10.15835/nsb244824)
- Exner D. N., Davidson D. G., Ghaffarzadeh M. & R. M. Cruse (1999): Yields and returns from strip intercropping on six Iowa farms. *American Journal of Alternative Agriculture*, 14(2): 69-77. DOI: [/10.1017/S0889189300008092](https://doi.org/10.1017/S0889189300008092)
- Fan F., Zhang F., Song Y., Sun J., Bao X., Guo T. & L. Li (2006): Nitrogen fixation of faba bean (*Vicia faba* L.) interacting with a non-legume in two contrasting intercropping systems. *Plant and Soil*, 283(1-2): 275-286. DOI: [/10.1007/s11104-006-0019-y](https://doi.org/10.1007/s11104-006-0019-y)
- FAOSTAT (2018): Crops. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Letzter Zugriff: 02.10.2018.
- Fasheun A. & M. D. Dennett (1982): Interception of radiation and growth efficiency in field beans (*Vicia Faba* L.). *Agricultural Meteorology*, 26(3): 221-229. DOI: [/10.1016/0002-1571\(82\)90033-4](https://doi.org/10.1016/0002-1571(82)90033-4)
- Fischer K., Rudloff E., Roux S. R., Dieterich R., Wehling P., Friedt W. & B. Ruge- Wehling (2018): Generating genetic variation in narrow- leafed lupin (*Lupinus angustifolius* L.) for plant architecture by ethyl methanesulfonate mutagenesis. *Plant Breeding*, 137(1): 73-80. DOI: [/10.1111/pbr.12558](https://doi.org/10.1111/pbr.12558)
- Flores F., Hybl M., Knudsen J. C., Marget P., Muel F., Nadal, S., Narits L., Raffiot B., Sass O., Solis I., Winkler J., Stoddard F. L. & D. Rubiales (2013): Adaptation of spring faba bean types across European climates. *Field Crops Research*, 145: 1-9. DOI: [/10.1016/j.fcr.2013.01.022](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.01.022)
- Francis C., Prager M., Laing D. R. & C. A. Flor (1978): Genotype X Environment Interactions in Bush Bean Cultivars in Monoculture and Associated with Maize. *Crop Science*, 18(2): 237-242. DOI: [/10.2135/cropsci1978.0011183X001800020011x](https://doi.org/10.2135/cropsci1978.0011183X001800020011x)
- Fujita K., Ofosu-Budu K. G., & S. Ogata (1992): Biological nitrogen fixation in mixed legume-cereal cropping systems. *Plant and Soil*, 141(1-2): 155-175. DOI: [/10.1007/BF00011315](https://doi.org/10.1007/BF00011315)
- Geno L. M. & B. J. Geno (2001): Polyculture production: principles, benefits and risks of multiple cropping land management systems for Australia: a report for the rural industries research and development corporation. Rural Industries Research and Development Corporation.

- Ghaouti L. (2007): Comparison of pure line cultivars with synthetic cultivars in local breeding of faba bean (*Vicia faba* L.) for organic farming. Dissertation, 141 S., Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
- Grasshof C. (1990): Effect of pattern of water supply on *Vicia faba* L. 1. Dry matter partitioning and yield variability. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 38(1): 21-44.
- Gregory P. J. & J. Eastham (1996): Growth of shoots and roots, and interception of radiation by wheat and lupin crops on a shallow, duplex soil in response to time of sowing. *Australian Journal of Agricultural Research*, 47(3): 427-447. DOI: [/10.1071/AR9960427](https://doi.org/10.1071/AR9960427)
- Gregory P. J., Palta J. A. & G. R. Batts (1995): Root systems and root: mass ratio-carbon allocation under current and projected atmospheric conditions in arable crops. *Plant and Soil*, 187(2): 221-228. DOI: [/10.1007/BF00017089](https://doi.org/10.1007/BF00017089)
- Gresshoff P. M., Hayashi S., Biswas B., Mirzaei S., Indrasumunar A., Reid D., Samuel S., Tollenaere A., van Hameren B., Hastwell A., Scott P. & B. J. Ferguson (2015): The value of biodiversity in legume symbiotic nitrogen fixation and nodulation for biofuel and food production. *Journal of Plant Physiology*, 172: 128-136. DOI: [/10.1016/j.jplph.2014.05.013](https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.05.013)
- Gruber S., Wang L., Zikeli S., Mammel W. & W. Claupein (2011): Entwicklung von Anbausystemen für Linsen im ökologischen Landbau. In: Leithold G., Becker K., Brock C., et al. (Hrsg.): Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis. Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 15-18. März 2011, Gießen, Verlag Dr. Köster, Berlin.
- Guddat C., Wölfel S. & R. Götz (2014): Fachinformation zum Anbau von Winterackerbohnen. 4 S., Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena.
- Habte A., Kassa M. & A. Sisay (2016): Maize (*Zea mays* L.) -Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping response to population density of component crop in Wolaita Zone Southern Ethiopia. *Journal of Natural Science Research*, 6(15): 69-74.
- Haugaard-Nielsen H., Ambus P. & E. S. Jensen (2001a): Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. *Field Crops Research*, 70(2): 101-109. DOI: [/10.1016/S0378-4290\(01\)00126-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00126-5)
- Haugaard-Nielsen H., Ambus P. & E. S. Jensen (2001b): Temporal and spatial distribution of roots and competition for nitrogen in pea-barley intercrops – a field study employing 32P technique. *Plant and Soil*, 236(1): 63-74. DOI: [/10.1023/A:1011909414400](https://doi.org/10.1023/A:1011909414400)
- Haugaard-Nielsen H., Gooding M., Ambus P., Corre-Hellou G., Crozat Y., Dahlmann C., Dibet A., von Fragstein P., Pristeri A., Monri M. & E. S. Jensen (2009): Pea-barley intercropping for efficient symbiotic N<sub>2</sub> -fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field Crops Research*, 113(1): 64-71. DOI: [/10.1016/j.fcr.2009.04.009](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.04.009)

- Hauggaard-Nielsen H. & E. J. Jensen (2001): Evaluating pea and barley cultivars for complementarity in intercropping at different levels of soil N availability. *Field Crops Research*, 72(3): 185-196. DOI: [/10.1016/S0378-4290\(01\)00176-9](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00176-9)
- Hauggaard-Nielsen H., Jørnsgaard B., Kinane J. & E. S. Jensen (2008): Grain legume-cereal intercropping: The practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 23(1): 3-12. DOI: [/10.1017/S1742170507002025](https://doi.org/10.1017/S1742170507002025).
- Hauggaard-Nielsen H., Peoples M. B. & E. J. Jensen (2011): Faba bean in cropping systems. *Grain Legumes*, 56: 32-33.
- Hauser S. & W. Böhm (1984): Erfahrungen und Ergebnisse mit dem Anbau von Winterackerbohnen. *Kali-Briefe (Büntehof)*, 17: 39-52.
- Helenius J. (1990): Plant size, nutrient composition and biomass productivity of oats and faba bean in intercropping, and the effect of controlling *Rhopalosiphum padi* (Hom., Aphididae) on these properties. *Agricultural and Food Science*, 62(1): 21-31. DOI: [/10.23986/afsci.72921](https://doi.org/10.23986/afsci.72921)
- Herridge D. & I. Rose (2000): Breeding for enhanced nitrogen fixation in crop legumes. *Field Crops Research*, 65(2-3): 229-248. DOI: [/10.1016/S0378-4290\(99\)00089-1](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00089-1)
- Herzog H. (1989): Freezing resistance and performance of faba bean populations during winter seasons in Northern Germany. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 162(4): 225-235. DOI: [/10.1111/j.1439-037X.1989.tb00711.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1989.tb00711.x)
- Hobbs S. L. A. & J. D. Mahon (1982): Heritability of N<sub>2</sub> (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) fixation rates and related characters in peas (*Pisum sativum* L.). *Canadian Journal of Plant Science*, 62(2): 265-276. DOI: [/10.4141/cjps82-043](https://doi.org/10.4141/cjps82-043)
- Hof-Kautz C. (2008): Ursachen höherer Backqualität von Winterweizen (*Triticum aestivum* L.) im Gemenge mit Winterackerbohne (*Vicia faba* L.) oder Wintererbse (*Pisum sativum* L.). Dissertation, 337 S., Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
- Hof-Kautz C., Hochmuth C., Schmidtke K. & R. Rauber (2007): Wirkung des Gemengeanbaus mit Winterkörnerleguminosen sowie der Standraumzuteilung auf Kornertrag und Backqualität von Winterweizen. In: Kaufmann E., Dabbert S., Zikeli S., et al. (Hrsg.): Zwischen Tradition und Globalisierung. Beiträge der 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 20.-23. März 2007, Hohenheim, Verlag Dr. Köster, Berlin.
- Hof C. & R. Rauber (2003): Anbau von Gemengen im ökologischen Landbau. 55 S., Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
- Hof C. & K. Schmidtke (2006): Erzeugung von Weizen hoher Backqualität durch Gemengeanbau mit Winterackerbohne und Wintererbse im ökologischen Landbau. Abschlussbe-

- richt, 297 S.. Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Georg-August-Universität Göttingen, Dresden und Göttingen.
- Husain M. M., Reid J. B., Othman H. & J. N. Gallagher (1990): Growth and water use of faba beans (*Vicia faba*) in a sub-humid climate I. Root and shoot adaptations to drought stress. *Field Crops Research*, 23(1): 1-17. DOI: [/10.1016/0378-4290\(90\)90093-Q](https://doi.org/10.1016/0378-4290(90)90093-Q)
- Izaurrealde R. C., McGill W. B and N. G. Juma (1992): Nitrogen fixation efficiency, interspecies N transfer, and root growth in barley-field pea intercrop on a Black Chernozemic soil. *Biology and Fertility of Soils*, 13(1): 11-16. DOI: [/10.1007/BF00337231](https://doi.org/10.1007/BF00337231)
- Jensen E. S. (1986): Symbiotic N<sub>2</sub> fixation in pea and field bean estimated by <sup>15</sup>N fertilizer dilution in field experiments with barley as a reference crop. *Plant and Soil*, 92(1): 3-13. DOI: [/10.1007/BF02372260](https://doi.org/10.1007/BF02372260)
- Jensen E. S. (1996): Grain yield, symbiotic N<sub>2</sub> fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops. *Plant and Soil*, 182(1): 25-38. DOI: [/10.1007/BF00010992](https://doi.org/10.1007/BF00010992)
- Jensen E. S, Peoples M. B. & H. Hauggaard-Nielsen (2010): Faba bean in cropping systems. *Field Crops Research*, 115(3): 203-216. DOI: [/10.1016/j.fcr.2009.10.008](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.10.008)
- Jung R. (2003): Stickstoff-Fixierleistung von Luzerne (*Medicago sativa* L.), Rotklee (*Trifolium pratense* L.) und Persischem Klee (*Trifolium resupinatum* L.) in Reinsaat und Gemenge mit Poaceen - Experimentelle Grundlagen und Kalkulationsverfahren zur Ermittlung der Stickstoff-Flächenbilanz. Dissertation, 350 S., Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
- Jung R. & R. Rauber (2010): Anbau von Ackerbohnen unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus bei differenzierter Bodenbearbeitung - Ergebnisse zur symbiotischen Stickstoff-Fixierung. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, 22: 179-180.
- Jung R. & R. Rauber (2011): Möglichkeiten zur Steigerung der symbiotischen Stickstoff-Fixierleistung beim Anbau von Ackerbohnen. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, 23: 208.
- Junk G. & H. J. Svec (1958): The absolute abundance of the nitrogen isotopes in the atmosphere and compressed gas from various sources. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 14(3): 234-243. DOI: [/10.1016/0016-7037\(58\)90082-6](https://doi.org/10.1016/0016-7037(58)90082-6)
- Kaul H.-P., Aufhammer W. & W. Wägner (1996): Dry matter and nitrogen accumulation and residues of oil and protein crops. *European Journal of Agronomy*, 5(1-2): 137-147. DOI: [/10.1016/S1161-0301\(96\)02018-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(96)02018-7)
- Köpke U. & T. Nemecek (2010): Ecological services of faba bean. *Field Crops Research*, 115(3): 217-233. DOI: [/10.1016/j.fcr.2009.10.012](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.10.012)



- Kutschera L., Lichtenegger E. & M. Sobotnik (2009): Wurzelatlas der Kulturpflanzen gemäßigter Gebiete mit Arten des Feldgemüsebaues. 550 S., DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Laidig F., Piepho H. P., Drobek T. & U. Meyer (2014): Genetic and non-genetic long-term trends of 12 different crops in German official variety performance trials and on-farm yield trends. *Theoretical and Applied Genetics*, 127(12): 2599-2617. DOI: [/10.1007/s00122-014-2402-z](https://doi.org/10.1007/s00122-014-2402-z)
- Landon A. J. (2008): The "how" of the three sisters: The origins of agriculture in Mesoamerica and the human niche. *Nebraska Anthropologist*, 40: 110-124.
- Landry E. J., Coyne C. J., McGee R. J. & J. Hu (2016): Adaptation of autumn-sown faba bean germplasm to southeastern Washington. *Agronomy Journal*, 108(1): 301-308. DOI: [/10.2134/agronj2015.0028](https://doi.org/10.2134/agronj2015.0028)
- Ledgard S. F. & M. B. Peoples (1988): Measurement of nitrogen fixation in the field. In: Wilson J. R. (ed.): *Advances in Nitrogen Cycling in Agricultural Ecosystems*. 351-367, CAB International, Wallingford.
- Ledgard S. F., Simpson J. R., Freney J. R. & F. J. Bergersen (1985a): Field evaluation of <sup>15</sup>N techniques for estimating nitrogen fixation in legume-grass associations. *Australian Journal of Agricultural Research*, 36(2): 247-258. DOI: [/10.1071/AR9850247](https://doi.org/10.1071/AR9850247)
- Ledgard S. F., Simpson J. R., Freney J. R. & F. J. Bergersen (1985b): Effect of reference plant on estimation of nitrogen fixation by subterranean clover using <sup>15</sup>N methods. *Australian Journal of Agricultural Research*, 36(5): 663-676. DOI: [/10.1071/AR9850663](https://doi.org/10.1071/AR9850663)
- Li B., Li Y.-Y., Wu H.-M., Zhang F.-F., Li C.-J., Li X.-X., Lambers H. & L. Li (2016): Root exudates drive interspecific facilitation by enhancing nodulation and N<sub>2</sub> fixation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(23): 6496-6501. DOI: [/10.1073/pnas.1523580113](https://doi.org/10.1073/pnas.1523580113)
- Li L., Yang S., Li X., Zhang F. & P. Christie (1999): Interspecific complementary and competitive interactions between intercropped maize and faba bean. *Plant and Soil*, 212(2): 205-214. DOI: [/10.1023/A:1004656205144](https://doi.org/10.1023/A:1004656205144)
- Lingner A. (2018): Water use efficiency of arable and grassland crops in legume-based intercropping systems. Dissertation, *eingereicht im Juni 2018*, Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
- Link W. (2004): Entwicklung von Winter-Ackerbohnen für den ökologischen Landbau - Teilprojekt 2. Abschlussbericht, 13 S., Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
- Link W. (2009): Züchtungsforschung bei der Ackerbohne: Fakten und Potentiale. *Journal für Kulturpflanzen*, 61(9): 341-347.

- Link W. & M. Arbaoui (2005): Neues von der Göttinger Winter-Ackerbohne. In: HBLFA Raumberg-Gumpenstein (Hrsg.): Bericht über die 56. Tagung 2005 der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, Irdning, Österreich.
- Link W., Balko C. & F. L. Stoddard (2010): Winter hardiness in faba bean. Physiology and breeding. *Field Crops Research*, 115(3):287-296. DOI: [/10.1016/j.fcr.2008.08.004](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.08.004)
- Link W. & D. Bond (2011): Resistance to freezing in winter faba beans. *Grain Legumes*, 56: 19-20.
- Lithourgidis A. S., Vasilakoglou I. B., Dhima K. V., Dordas, C. A. & M. D. Yiakoulaki (2006): Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research*, 99(2-3): 106-113. DOI: [/10.1016/j.fcr.2006.03.008](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.03.008)
- Loïc V., Laurent B., Etienne-Pascal J. & J. Eric (2018): Yield gap analysis extended to marketable grain reveals the profitability of organic lentil-spring wheat intercrops. *Agronomy for Sustainable Development*, 38: 39. DOI: [/10.1007/s13593-018-0515-5](https://doi.org/10.1007/s13593-018-0515-5)
- López-Bellido F. J., López-Bellido L. O. & R. J. López-Bellido (2005): Competition, growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *European Journal of Agronomy*, 23(4): 359-378. DOI: [/10.1016/j.eja.2005.02.002](https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.02.002)
- López-Bellido F. J., López-Bellido R. J., Redondo R. & L. López-Bellido (2010): B value and isotopic fractionation in N<sub>2</sub> fixation by chickpea (*Cicer arietinum* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.). *Plant and Soil*, 337(1-2): 425-434. DOI: [/10.1007/s11104-010-0538-4](https://doi.org/10.1007/s11104-010-0538-4)
- Marzinzig B., Brünjes L., Biagioni S., Behling H., Link W. & C. Westphal (2018): Bee pollinators of faba bean (*Vicia faba* L.) differ in their foraging behaviour and pollination efficiency. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 264(1): 24-33. DOI: [/10.1016/j.agee.2018.05.003](https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.05.003)
- Menke C. A. (2011): Evaluierung von Winterzwischenfrüchten in einem Zweikultur-Nutzungssystem mit Mais für die Biogaserzeugung. 4 S., Cuvillier Verlag, Göttingen.
- Montgomery E. G. (1912): Competition in cereals. *Journal of Heredity*, 7(1): 118-127. DOI: [/10.1093/jhered/os-7.1.118](https://doi.org/10.1093/jhered/os-7.1.118)
- Morris R. A. & D. P. Garrity (1993): Resource capture and utilization in intercropping: water. *Field Crops Research*, 34(3-4): 303-317. DOI: [/10.1016/0378-4290\(93\)90119-8](https://doi.org/10.1016/0378-4290(93)90119-8)
- Nelson W. C. D. (2015): Konfiguration des Ceptometers. Persönliche Mitteilung.
- Nelson W. C. D., Hoffmann M. P., Vadez V., Roetter R. P. & A. M. Whitbread (2018): Testing pearl millet and cowpea intercropping systems under high temperatures. *Field Crops Research*, 217: 150-166. DOI: [/10.1016/j.fcr.2017.12.014](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.12.014)

- Neugschwandtner R., Ziegler K., Kriegner S., Wagentristl H. & H. P. Kaul (2015): Nitrogen yield and nitrogen fixation of winter faba beans. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 65(7): 658-666. DOI: [/10.1080/09064710.2015.1042028](https://doi.org/10.1080/09064710.2015.1042028)
- Neumann A. (2010): Einfluss von Aussaatstärke, Bodenbearbeitung und Anbaumuster auf den Ertrag von Erbsen-Hafer-Gemengen. Dissertation, 91 S., Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
- Neumann A., Hof C., Schmidtke K. & R. Rauber (2003): Ertragsbildung und symbiotische Stickstoff-Fixierung der Linse (*Lens culinaris* Medik.) in Reinsaat und Gemenge mit Nacktgerste (*Hordeum vulgare* ssp. *nudum* L.). *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, 15: 99-101.
- Neumann A., Werner J. & R. Rauber (2009): Evaluation of yield–density relationships and optimization of intercrop compositions of field-grown pea–oat intercrops using the replacement series and the response surface design. *Field Crops Research*, 114(2): 286-294. DOI: [/10.1016/j.fcr.2009.08.013](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.08.013)
- Ofori F. & W. R. Stern (1987): Cereal-legume intercropping system. *Advances in Agronomy*, 41: 41-90. DOI: [/10.1016/S0065-2113\(08\)60802-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60802-0)
- Pilbeam C. J., Duc G. & P. D. Hebblethwaite (1990): Effects of plant population density on spring-sown field beans (*Vicia faba*) with different growth habits. *The Journal of Agricultural Science*, 114(1): 19-33. DOI: [/10.1017/S0021859600070957](https://doi.org/10.1017/S0021859600070957)
- Picasso V. D., Brummer E. C., Liebman M., Dixon P. M. & B. J. Wilsey (2011): Diverse perennial crop mixtures sustain higher productivity over time based on ecological complementarity. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 26(4): 317-27. DOI: [/10.1017/S1742170511000135](https://doi.org/10.1017/S1742170511000135)
- Pristeri A., Dahlmann C., von Fragstein P., Gooding M. J., Hauggaard-Nielsen H., Kasyanova E. & M. Monti (2006): Yield performance of faba bean-wheat intercropping on spring and winter sowing in European organic farming system. Poster: Joint Organic Congress, 30.-31. May 2006, Odense, Denmark.
- Poulain D., Keller S. & J. Le Guen (1986): Canopy development and efficiency of foliar light interception in winter faba bean. *Fabis Newsletter*, 16: 13-19.
- Raseduzzaman M. & E. S. Jensen (2017): Does intercropping enhance yield stability in arable crop production? A meta-analysis. *European Journal of Agronomy*, 91: 25-33. DOI: [/10.1016/j.eja.2017.09.009](https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.009)
- Rauber R., Schmidtke K. & H. Kimpel-Freund (2000): Konkurrenz und Ertragsvorteile in Gemengen aus Erbsen (*Pisum Sativum* L.) und Hafer (*Avena Sativa* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 185(1): 33-47. DOI: [/10.1046/j.1439-037X.2000.00413.x](https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2000.00413.x)
- Rauber R., Schmidtke K. & H. Kimpel-Freund (2001): The performance of pea (*Pisum sativum* L.) and its role in determining yield advantages in mixed stands of pea and oat

- (*Avena sativa* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 187(2): 137-144. DOI: [/10.1046/j.1439-037X.2001.00508.x](https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2001.00508.x)
- Rezende G. D. S. P. & M. A. P. Ramalho (1994): Competitive ability of maize and common bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars intercropped in different environments. *The Journal of Agricultural Science*, 123(2): 185-190. DOI : [/10.1017/S0021859600068441](https://doi.org/10.1017/S0021859600068441)
- Roemer T. (1917): Sind die ertragsreichen Sorten ertragssicherer? *DLG Mitteilungen*, 32(1): 87-89.
- Röper K. (2015): Einfluss von Anbauvariante und Weizengenotyp auf die agronomische Leistungsfähigkeit von Winterackerbohnen-Winterweizen-Gemengen. Masterarbeit, 37 S., Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
- Roth F. & W. Link (2010): Selektion auf Frosttoleranz von Winterackerbohnen (*Vicia faba* L.): Methodenoptimierung und Ergebnisse. In: Ruckenbauer P., Brandstetter A., Geppner M. et al. (Hrsg.): Züchtung und Genressourcen gegen abiotische Stressfaktoren – Markergestützte Selektion in der Praxis. Tagungsband der 60. Jahrestagung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 24.-26. November 2009, Raumberg-Gumpenstein.
- Rühlemann L. & K. Schmidtke (2015): Evaluation of monocropped and intercropped grain legumes for cover cropping in no-tillage and reduced tillage organic agriculture. *European Journal of Agronomy*, 65: 83-94. DOI: [/10.1016/j.eja.2015.01.006](https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.01.006)
- Schilling G. (2000): Pflanzenernährung und Düngung, 464 S., Ulmer, Stuttgart.
- Schmidtke K., Neumann A., Hof C. & R. Rauber (2004): Soil and atmospheric nitrogen uptake by lentil (*Lens culinaris* Medik.) and barley (*Hordeum vulgare* ssp. nudum L.) as monocrops and intercrops. *Field Crops Research*, 87(2-3): 245-256. DOI: [/10.1016/j.fcr.2003.11.006](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.11.006)
- Schuster W. H., Alkämper J., Stählin A. & L. Stählin (1998): Leguminosen zur Kornnutzung. Justus-Liebig-Universität, Gießen.
- Shearer G. & D. H. Kohl (1986): N<sub>2</sub>-fixation in field settings: estimations based on natural <sup>15</sup>N abundance. *Functional Plant Biology*, 13(6): 699-756. DOI: [/10.1071/PP9860699](https://doi.org/10.1071/PP9860699)
- Shantharam S. & A. K. Mattoo (1997): Enhancing biological nitrogen fixation: An appraisal of current and alternative technologies for N input into plants. *Plant and Soil*, 194(1-2): 205-216. DOI: [/10.1023/A:1004234315999](https://doi.org/10.1023/A:1004234315999)
- Singh A. K., Bharati R. C. & A. Pedpati (2013): An assessment of faba bean (*Vicia faba* L.) current status and future prospect. *African Journal of Agricultural Research*, 8(50): 6634-6641.
- Snaydon R. W. & E. H. Satorre (1989): Bivariate diagrams for plant competition data: Modifications and interpretation. *Journal of Applied Ecology*, 26(3): 1043-1057.

- Sobkowicz P. (2006): Competition between triticale (*Triticosecale* Witt.) and field beans (*Vicia faba* var. *minor* L.) in additive intercrops. *Plant, Soil and Environment*, 52(2): 47-56.
- Starke M. (2018): Selektion von Stangenbohnsorten (*Phaseolus vulgaris* L.) für den Mischanbau mit Mais. Dissertation, 169 S., Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
- Statista (2018): Ertrag je Hektar Anbaufläche von Getreide in Deutschland nach Art in den Jahren 1960 bis 2017 (in Dezitonnen).  
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/28888/umfrage/hektarertrag-von-getreide-in-deutschland-seit-1960/> Letzter Zugriff: 04.09.2018.
- Stein S. & H.-H. Steinmann (2018): Identifying crop rotation practice by the typification of crop sequence patterns for arable farming systems – A case study from Central Europe. *European Journal of Agronomy*, 92: 30-40. DOI: [/10.1016/j.eja.2017.09.010](https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.010)
- Streit J. (2018): Biomass, root distribution and overyielding potential of faba bean/wheat and white clover/ryegrass mixtures. Dissertation, *eingereicht im September 2018*, Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
- Tacke R., Angra D., O’Sullivan D. & W. Link (2018): High-resolution map fragment of the genomic vicinity of the VC-locus, harbouring a major allele for very low vicine and convicine seed content in seeds of faba bean (*Vicia faba* L.). Poster: German Plant Breeding Conference, 28. Februar -02. März 2018, Wernigerode.
- Tanno K. & G. Willcox (2006): The origins of cultivation of *Cicer arietinum* L. and *Vicia faba* L.: Early finds from Tell el-Kerkh, north-west Syria, late 10<sup>th</sup> millennium B.P.. *Vegetation History and Archaeobotany*, 15(3): 197-204. DOI: [/10.1007/s00334-005-0027-5](https://doi.org/10.1007/s00334-005-0027-5)
- Telkar S. G., Singh A. K. & K. Kant (2018): Determination of effective spatial arrangement for intercropping of maize+ soybean using dry matter yield and competition interaction. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(4): 2239-2245.
- Theunissen J. (1997): Application of Intercropping in Organic Agriculture. *Biological Agriculture & Horticulture*, 15(1-4): 250-259. DOI: [/10.1080/01448765.1997.9755200](https://doi.org/10.1080/01448765.1997.9755200)
- Tilman D., Cassman K. G., Matson P. A., Naylor R. & S. Polasky (2002): Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418: 671-677. DOI: [/10.1038/nature01014](https://doi.org/10.1038/nature01014)
- Tobita S., Ito O., Matsunaga R., Rao T. P., Rego T. J., Johansen C. & T. Yoneyama (1994): Field evaluation of nitrogen fixation and use of nitrogen fertilizer by sorghum/pigeonpea intercropping on an Alfisol in the Indian semi-arid tropics. *Biology and Fertility of Soils*, 17(4): 241-248. DOI: [/10.1007/BF00383976](https://doi.org/10.1007/BF00383976)

- Toker C. (2004): Estimates of broad-sense heritability for seed yield and yield criteria in faba bean (*Vicia faba* L.). *Hereditas*, 140(3): 222-225. DOI: [/10.1111/j.1601-5223.2004.01780.x](https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.2004.01780.x)
- Torres A. M., Roman B., Avila C. M., Satovic Z., Rubiales, D., Sillero, J. C., Cubero J. I. & M. T. Moreno (2006): Faba bean breeding for resistance against biotic stresses: towards application of marker technology. *Euphytica*, 147(1-2): 67-80. DOI: [/10.1007/s10681-006-4057-6](https://doi.org/10.1007/s10681-006-4057-6)
- Trydeman Knudsen M., Hauggaard-Nielsen H., Jørnsgård B. & E. S. Jensen (2004): Comparison of interspecific competition and N use in pea-barley and lupin-barley intercrops grown at two temperate locations. *The Journal of Agricultural Science*, 142(6): 617-627. DOI: [/10.1017/S0021859604004745](https://doi.org/10.1017/S0021859604004745)
- Tsialtas I. T., Baxevanos D., Vlachostergios D. N., Dordas C. & A. Lithourgidis (2018): Cultivar complementarity for symbiotic nitrogen fixation and water use efficiency in pea-oat intercrops and its effect on forage yield and quality. *Field Crops Research*, 226: 28-37. DOI: [/10.1016/j.fcr.2018.07.005](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.07.005)
- Tuttobene R. & C. Vagliasindi (1995): Effects of plant density on flowering characteristics, growth and yield in “Sikelia” a new faba bean genotype (*Vicia faba* L.) recently released. In: AEP (ed.): Proceeding of Second European Conference on Grain Legumes, 09.-13. July 1995, Copenhagen, Denmark.
- Unkovich M. J. & J. S. Pate (2000): An appraisal of recent field measurements of symbiotic N<sub>2</sub> fixation by annual legumes. *Field Crops Research*, 65(2-3): 211-228. DOI: [/10.1016/S0378-4290\(99\)00088-X](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00088-X)
- Utz H. F. (2011): PLABSTAT: A computer program for statistical analysis of plant breeding experiments. 44 S., Institute for Plant Breeding, Seed Science and Population Genetics, University of Hohenheim, Stuttgart.
- Vandermeer J. (1989): The ecology of intercropping. 237 S., Cambridge University Press, New York.
- Van Kessel C. & C. Hartley (2000): Agricultural management of grain legumes: Has it led to an increase in nitrogen fixation? *Field Crops Research*, 65(2-3): 165-181. DOI: [/10.1016/S0378-4290\(99\)00085-4](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00085-4)
- Voisin A.-S., Salon C., Munier-Jolain N. G. & B. Ney (2002): Quantitative effects of soil nitrate, growth potential and phenology on symbiotic nitrogen fixation of pea (*Pisum sativum* L.). *Plant and soil*, 243(1): 31-42. DOI: [/10.1023/A:1019966207970](https://doi.org/10.1023/A:1019966207970)
- Wang L., Gruber S. & W. Claupein (2012): Optimizing lentil-based mixed cropping with different companion crops and plant densities in terms of crop yield and weed control. *Organic Agriculture*, 2(1): 79-87. DOI: [/10.1007/s13165-012-0028-5](https://doi.org/10.1007/s13165-012-0028-5)

- Weigelt, A., & Jolliffe, P. (2003): Indices of plant competition. *Journal of ecology*, 91(5), 707-720. DOI: [/10.1046/j.1365-2745.2003.00805.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2003.00805.x)
- Weißhuhn P., Reckling M., Stachow U. & H. Wiggering (2017): Supporting Agricultural Ecosystem Services through the Integration of Perennial Polycultures into Crop Rotations. *Sustainability*, 9(12): 2267. DOI: [/10.3390/su9122267](https://doi.org/10.3390/su9122267)
- Welna G. C. (2014): Genetische Analysen für eine markergestützte Verbesserung der Trockenstresstoleranz von Winterackerbohnen. Dissertation, 136 S., Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
- Wilson J. B. (1988): Shoot competition and root competition. *Journal of Applied Ecology*, 25(1): 279-296.
- Xiao Y., Li L. & F. Zhang (2004): Effect of root contact on interspecific competition and N transfer between wheat and faba bean using direct and indirect <sup>15</sup>N techniques. *Plant and Soil*, 262(1-2): 45-54. DOI: [/10.1023/B:PLSO.0000037019.34719.0d](https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000037019.34719.0d)
- Zhang F. & L. Li (2003): Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant and Soil*, 248(1-2): 305-312. DOI: [/10.1023/A:1022352229863](https://doi.org/10.1023/A:1022352229863)
- Zhang F. S., Li L. & J. H. Sun (2001): Contribution of above- and below-ground interactions to intercropping. In: Horst W. J., Schenk M. K, Bürkert A., et al. (eds): *Plant Nutrition. Developments in Plant and Soil Sciences*, 92: 978-979. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. DOI: [/10.1007/0-306-47624-X\\_476](https://doi.org/10.1007/0-306-47624-X_476)
- Zhang W. P., Liu G. C., Sun J. H., Fornara D., Zhang L. Z., Zhang F. F. & L. Li (2017): Temporal dynamics of nutrient uptake by neighbouring plant species: Evidence from intercropping. *Functional Ecology*, 31(2): 469-479. DOI: [/10.1111/1365-2435.12732](https://doi.org/10.1111/1365-2435.12732)
- Zimmermann M. J. (1996): Breeding for yield, in mixtures of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and maize (*Zea mays* L.). *Euphytica*, 92(1-2):129-134. DOI: [/10.1007/BF00022837](https://doi.org/10.1007/BF00022837)
- Zimmermann M. J., Rosielle A. A. & J. G. Waines (1984): Heritabilities of grain yield of common bean in sole crop and in intercrop with maize. *Crop Science*, 24(4): 641-644. DOI: [/10.2135/cropsci1984.0011183X002400040004x](https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400040004x)

## 9. Anhang

**Tab. AI:** Pflanzenbauliche Maßnahmen in den Feldversuchen an den Standorten Reinshof (S1) und Deppoldshausen (S2) über alle drei Versuchsjahre.

Reinshof

Datum	Arbeitsschritt	Datum	Arbeitsschritt	Datum	Arbeitsschritt
01.10.14	Pflügen	29.09.15	Pflügen	30.09/04.10.16	Pflügen
06.10.14	Kreiseln	01.10.15	Kreiseln	10./11.10.16	Kreiseln
21.10.14	Kreiseln	05.10.15	Kreiseln	11./12.10.16	Aussaat
28.10.14	Aussaat	05/06.10.15	Aussaat	14.10.16	Anwalzen
30.10.14	Anwalzen	08.10.15	Anwalzen		
03.11.14	PSM-Maßnahme: Stomp Aqua (2 l ha <sup>-1</sup> ) Boxer (3l ha <sup>-1</sup> )			17.10.16	PSM-Maßnahme: Stomp Aqua (2 l ha <sup>-1</sup> ) Boxer (3l ha <sup>-1</sup> )
26.06.15	PSM Maßnahme: Pirimor (200 mg ha <sup>-1</sup> ) Carate Zeon (75 ml ha <sup>-1</sup> )				



## Deppoldshausen

---

25.09.14	Grubbern	27.09.15	Kreiseln	29.09.16	Grubbern
30.09.14	Kreiseln	29.09.15	Kreiseln	05./07.16	Kreiseln
29.10.14	Aussaat	30.09.15	Aussaat	06./07.16	Aussaat
		01.10.15	Aussaat		
30.10.14	Anwalzen	06.10.15	Anwalzen	14.10.16	Anwalzen
03.11.14	PSM-Maßnahme: Stomp Aqua (2 l ha <sup>-1</sup> ) Boxer (3 l ha <sup>-1</sup> )	08.10.15	PSM-Maßnahme: Stomp Aqua (2 l ha <sup>-1</sup> ) Boxer (3 l ha <sup>-1</sup> )	14.10.16	PSM-Maßnahme: Stomp Aqua (2l ha <sup>-1</sup> ) Boxer (3l ha <sup>-1</sup> )
26.06.15	PSM Maßnahme: Pirimor (200 mg ha <sup>-1</sup> ) Carate Zeon (75 ml ha <sup>-1</sup> )				

---

**Tab. AII:** Zeitlicher Plan der Merkmalerfassung in dem Versuchsjahr 2014/15 am Standort Reinshof (S1) und Deppoldshausen (S2).

Reinshof					Deppoldshausen				
Datum	Arbeitsschritt	WDH	Set	Saatparzelle	Datum	Arbeitsschritt	WDH	Set	Saatparzelle
07.01.2015	Bonitur Stand vor Winter	1 bis 4	A	A+B	07.01.2015	Bonitur Aufgang, Stand vor Winter	1 bis 4	A	A+B
25.03.2015	Bonitur Aufgang	1 bis 4	A	A+B	08.04.2015	Bonitur Stand nach Winter	1 bis 4	A	A+B
07.04.2015	Bonitur Stand nach Winter	1 bis 4	A	A+B	Ab 05.2015	Bonitur Blühbeginn	1 bis 4	A	A+B
Ab 05.2015	Bonitur Blühbeginn	1 bis 4	A	A+B	22.05.2015	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B
15.05.2015	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B	28.05.2015	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B
21.05.2015	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B	04.06.2015	Biomasseernte	1 bis 4	B	B
22.05.2015	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B	05.06.2015	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B
27.05.2015	Biomasseernte	1+ 1/2 2	B	A	05.06.2015	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B
28.05.2015	Biomasseernte	1/2 2 +3	B	A	04.06.2015	Nmin Beprobung	1 bis 3	B	B
29.05.2015	Biomasseernte	4	B	A	05.06.2015	Nmin Beprobung	4	B	B
29.05.2015	Nmin Beprobung	1	B	A	17.06.2015	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B
30.05.2015	Nmin Beprobung	2+3	B	A	17.06.2015	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B
31.05.2015	Nmin Beprobung	4	B	A	24.06.2015	Biomasseernte	1 bis 4	B	A
02.06.2015	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B	04.07.2015	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B
05.06.2015	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B	08.07.2015	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B
17.06.2015	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B	31.07.2015	Bonitur Lager, Reife	1 bis 4	A	A+B
17.06.2015	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B	07.08.2015	Bonitur Lager, Reife	1 bis 4	A	A+B
18.06.2015	Biomasseernte	1 bis 4	B	B	20.08.2015	Mähdruschernte + Meterernte	1 bis 4	A	B
04.07.2015	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B	21.08.2015	Ganzpflanzenernte, Nmin Beprobung	1 bis 4	A	A
10.07.2015	Bonitur Lager, Reife	1 bis 4	A	A+B					
07.08.2015	Meterernte	1 bis 3	A	B					
10.08.2015	Ganzpflanzenernte	1 bis 3	A	B					
10.08.2015	Mähdruschernte	1 bis 2	A	A+B					
12.08.2015	Meterernte, Ganzpflanzenernte, Mähdruschernte	4	A	B					
13.08.2015	Nmin Beprobung	1 bis 4	A	A+B					

**Tab. AIII:** Zeitlicher Plan der Merkmalerfassung in dem Versuchsjahr 2015/16 am Standort Reinshof (S1) und Deppoldshausen (S2).

Reinshof					Deppoldshausen				
Datum	Arbeitsschritt	WDH	Set	Saatparzelle	Datum	Arbeitsschritt	WDH	Set	Saatparzelle
27.11.2015	Bonitur Stand vor Winter	1 bis 4	A	A+B	08.12.2015	Bonitur Stand vor Winter, Aufgang	1 bis 4	A	A+B
27.11.2015	Bonitur Aufgang	1 bis 4	A	A+B	24.03.2016	Bonitur Blattflecken	1 bis 4	A	A+B
04.03.2016	Bonitur Stand nach Winter	*	*	*	21.04.2016	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B
24.03.2016	Bonitur Blattflecken	1 bis 4	A	A+B	04.05.2016	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B
20.04.2016	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B	05.05.2016	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B
29.04.2016	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B	09.05.2016	Bonitur Blühbeginn	1 bis 4	A	A+B
05.05.2016	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	B	11.05.2016	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B
07.05.2016	Bonitur Blühbeginn	1 bis 4	A	A+B	12.05.2016	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B
11.05.2016	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B	27.05.2016	Bonitur Vollblüte	1 bis 4	A	A+B
12.05.2016	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	A+B	31.05.2016	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B
12.05.2016	Bonitur Vollblüte	2 bis 4	B	A+B	06.06.2016	Biomasseernte	1 + 2	B	A
23.05.2016	Biomasseernte	1 + 1/2 2	B	A	06.06.2017	Nmin Beprobung	1 + 2	B	A
25.05.2016	Biomasseernte	1/2 2 + 3	B	A	07.06.2016	Biomasseernte	3 + 4	B	A
25.05.2016	Nmin Beprobung	1 + 2	B	A	07.06.2016	Nmin Beprobung	3 + 4	B	A
26.05.2016	Biomasseernte	4	B	A	20.06.2017	Biomasseernte	1 bis 4	B	B
26.05.2016	Nmin Beprobung	3 + 4	B	A	20.06.2017	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B
02.06.2016	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B	27.06.2016	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B
07.06.2016	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B	27.06.2016	Bonitur Lager, Blattflecken	1 bis 4	A	A+B
13.06.2016	Biomasseernte	1 bis 4	B	A	18.07.2016	Bonitur Reife	1 bis 4	A	A+B
20.06.2016	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B	27.07.2016	Bonitur Reife	1 bis 4	A	A+B
03.08.2016	Einzelpflanzen + Meterernte	1	A	A	15.08.2016	Einzelpflanzen + Meterernte	1/2 1	A	B
04.08.2016	Einzelpflanzen + Meterernte	2	A	A	16.08.2016	Einzelpflanzen + Meterernte	2 + 3	A	B
05.08.2016	Einzelpflanzen + Meterernte	3 + 4	A	A	16.08.2016	Mähdruschernte	2 bis 4	A	A+B
09.08.2016	Mähdruschernte	1 bis 4	A	A+B	17.08.2016	Einzelpflanzen + Meterernte	1/2 1	A	B
11.08.2016	Nmin Beprobung	1 bis 4	A	A+B	17.08.2016	Mähdruschernte	1	A	A+B
					18.08.2016	Nmin Beprobung	1 bis 4	B	A+B

**Tab. AIV:** Zeitlicher Plan der Merkmalerfassung in dem Versuchsjahr 2016/17 am Standort Reinshof (S1) und Deppoldshausen (S2).

Reinshof					Deppoldshausen				
Datum	Arbeitsschritt	WDH	Set	Saatparzelle	Datum	Arbeitsschritt	WDH	Set	Saatparzelle
22./23.11.2016	Bonitur Aufgang	1 bis 4	A	A+B	22.11.2016	Bonitur Aufgang	1 bis 4	A	A+B
23./29.11.2016	Bonitur Stand vor Winter	1 bis 4	A	A+B	29.12.2016	Bonitur Stand vor Winter	1 bis 4	A	A+B
23.03.2017	Bonitur Stand nach Winter	1 bis 4	A	A+B	27.03.2017	Bonitur Stand nach Winter	1 bis 4	A	B
27.04.2017	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B	03.05.2017	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B
10.05.2017	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B	10.05.2017	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B
12.05.2017	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B	12.05.2017	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B
16.05.2017	Bonitur Blühbeginn	1 bis 4	A	A+B	18.05.2017	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B
18.05.2017	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B	19.05.2017	Bonitur Blühbeginn	1 bis 4	A	A+B
29.05.2017	Biomasseernte	1 bis 4	B	A	01.06.2017	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B
31.05.2017	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	B	01.06.2017	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B
01.06.2017	Bonitur Blühende	1 bis 4	A	A+B	07.06.2017	Biomasseernte	1 bis 4	B	A
01.06.2017	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B	12.06.2017	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B
12.06.2017	Blattflächenindexmessung	1 bis 4	B	B	13.06.2017	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B
14.06.2017	Biomasseernte	1 bis 4	B	B	21.06.2017	Biomasseernte	1 bis 4	B	B
03.07.2017	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	B	04.07.2017	Wuchshöhenmessung	1 bis 4	B	A+B
04.07.2017	Bonitur Krankheit	1 bis 4	A	A+B	04.07.2017	Bonitur Lager	1 bis 4	A	A+B
04.07.2017	Bonitur Lager	1 bis 4	A	A+B	04.07.2017	Bonitur Krankheit	1 bis 4	A	A+B
21.07.2017	Bonitur Reife	1 bis 4	A	A+B	31.07.2017	Bonitur Reife	1 bis 4	A	A+B
31.07.2017	Bonitur Reife	1 bis 4	A	A+B	08.08.2017	Einzelpflanzen + Meterernte	1 bis 4	A	A+B
03.08.2017	Einzelpflanzen + Meterernte	1 bis 4	A	A+B	17.08.2017	Mähdruschernte	1 bis 4	A	A+B
09.08.2017	Mähdruschernte	1 bis 4	A	A+B					

















**Tab. AXII:** Art und Größe der Reinigungssiebe des Mini-Petkus für die Erntegut-Reinigung.

Erntegut	Langlochsieb	Größe der Sieböffnung (mm) im Erntejahr		
	Lage	2015	2016	2017
Gemenge	Oben	1000	900	900
	Unten	375	350	500
Ta-Reinsaat	Oben	500	500	1000
	Unten	100	225	400
Vf-Reinsaat	Oben	1000	900	500
	Unten	300	350	200

**Tab. AXIII:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für die Wuchshöhe des Weizens Genius vor dem Blühbeginn der Winterackerbohnen in den Gemengen mit den acht Winterackerbohnenotypen (B=8) im Mittel der drei Jahre (J=3) und den zwei Standorten (S=2).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	3751,55	57,93	85,08**	2,47
S	1	2833,61	29,06	64,26**	2,01
SJ	2	202,83	4,96	4,60*	3,49
R:SJ	18	44,09	4,98	10,40**	2,04
B	7	2,63	-0,07	0,62	1,18
BJ	14	4,12	-0,01	0,97	2,04
BS	7	6,19	0,16	1,46	1,66
BSJ	14	5,52	0,32	1,30	2,88
BRSJ	126	4,24	4,24		
Total	191				

**Tab. AXIV:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für die Wuchshöhe des Weizens Genius zum Blühbeginn der Winterackerbohnen in den Gemengen mit den acht Winterackerbohnenotypen (B=8) im Mittel der drei Jahre (J=3) und den zwei Standorten (S=2).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	3661,01	56,16	54,99**	3,03
S	1	3956,70	40,52	59,44**	2,47
SJ	2	1001,35	29,21	15,04**	4,29
R:SJ	18	66,57	7,27	7,90**	2,87
B	7	11,46	0,13	1,36	1,66
BJ	14	9,31	0,11	1,11	2,87
BS	7	5,69	-0,23	0,68	2,34
BSJ	14	5,47	-0,74	0,65	4,06
BRSJ	126	8,42	8,42		
Total	191				

**Tab. AXV:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für die Wuchshöhe des Weizens Genius zur Vollblüte der Winterackerbohnen in den Gemengen mit den acht Winterackerbohnenotypen (B=8) im Mittel der drei Jahre (J=3) und den zwei Standorten (S=2).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
J	2	1462,51	21,32	14,97**	3,67
S	1	6627,84	68,02	67,82**	3,00
SJ	2	1118,15	31,89	11,44**	5,19
R:SJ	18	97,73	10,85	8,94**	3,27
B	7	15,63	0,20	1,43	1,89
BJ	14	15,24	0,54	1,39	3,27
BS	7	10,86	-0,01	0,99	2,67
BSJ	14	13,78	0,71	1,26	4,63
BRSJ	125	10,93	10,93		
Total	190				

**Tab. AXVI:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Tests für das Lager der Winterackerbohnenotypen in den Reinsaaten (Bonitur 1 – 9; 1: kein Lager, 9: starkes Lager) der acht Winterackerbohnenotypen (B=8), erhoben an drei Umwelten (S1 und S2 in 2015 und S1 in 2017) mit jeweils vier Wiederholungen (R).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
U	2	7,292	0,1784	4,61*	0,71
R:U	9	1,583	0,0754	1,62ns	0,99
B	7	5,952	0,4144	6,07**	0,81
BU	14	2,077	0,2743	2,12*	1,40
BRU	63	0,980	0,9802		
Total	95				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*:  $P < 0,01$ , ns = nicht signifikant.

**Tab. AXVII:** Ergebnisse der ANOVA inklusive F-Test des Lagers (Bonitur: 1: kein Lager, 9: sehr starkes Lager) der Bohnen in Reinsaat und im Gemenge (K=4; K\*=3; P=Ackerbohnenreinsaat) mit den acht Winterackerbohnen-Genotypen (B=8), erhoben an zwei Standorten (S=2) in drei Jahren (J=3) mit je vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	(5%)
U	4	348,10	2,6527	40,71**	0,78
R:U	15	8,55	0,2344	8,14**	0,51
B	7	43,40	0,5293	41,31**	0,32
BU	28	5,88	0,3018	5,60**	0,72
BR:U	105	1,05	0,1611	2,59**	0,89
K	3	40,89	0,2530	100,70**	0,14
K*	2	1,59	0,0084	3,91*	0,11
P vs. K*	1	119,50	-	294,26**	-
KU	12	3,30	0,0904	8,12**	0,31
KB	21	1,00	0,0302	2,49**	0,40
K*B	14	0,34	-	0,83ns	-
(P vs. K*)B	7	2,35	-	5,80**	-
KBU	84	0,61	0,0520	1,51**	0,89
KBRU	360	0,41	0,4061		
Total	639				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01, \*: P < 0,05, ns = nicht signifikant.

**Tab. AXVIII:** Stroherträge (dt ha<sup>-1</sup>) der drei Winterweizensorten aufgeschlüsselt nach Umwelt und Winterweizensorte (Genius: Ta1, Boxer: Ta2, Hybery: Ta3). Gegeben sind Mittelwerte.

Hauptfaktor U							
Hauptfaktor	15S1	15S2	16S1	16S2	17S1	17S2	μ
Ta							
Ta1	27,7	15,4	35,5	20,7	35,5	-	26,9
Ta2	35,2	18,1	37,7	20,1	43,1	-	30,8
Ta3	37,1	17,2	40,0	18,6	50,4	-	32,7
μ	33,3	16,9	37,8	19,8	43,0	-	<u>30,2</u>

(-; fehlende Daten) In der Umwelt 17S2 wurde aufgrund starker Verunkrautung keine Stroherträge erfasst.

**Tab. AXIX:** Ergebnisse der ANOVA inklusive. F-Tests für die Stroherträge (dt ha<sup>-1</sup>) der Winterweizensorten (W=3) in den Reinsaaten, erhoben an fünf Umwelten (U=5) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
U	4	1545,59	123,19	22,95**	7,14
R:U	15	67,34	19,51	7,64**	4,95
W	2	170,55	8,09	19,34**	1,92
WU	8	45,80	9,27	5,20**	4,29
WRU	30	8,81	8,81		
Total	59				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01

**Tab. AXX:** Gesamtmährdruscherträge (dt ha<sup>-1</sup>) der drei Winterweizensorten aufgeschlüsselt nach Umwelt und Winterweizensorte (Genius: Ta1, Boxer: Ta2, Hybery: Ta3). Gegeben sind Mittelwerte.

Hauptfaktor U							
Hauptfaktor	15S1	15S2	16S1	16S2	17S1	17S2	μ
Ta							
Ta1	66,37	36,9	70,1	42,7	66,8	-	56,6
Ta2	76,62	38,6	73,5	43,9	88,6	-	64,2
Ta3	86,65	43,5	83,6	47,3	95,0	-	71,2
μ	76,55	39,7	75,7	44,6	83,5	-	64,0

(-; fehlende Daten) In der Umwelt 17S2 wurde aufgrund starker Verunkrautung keine Stroherträge erfasst, sodass eine Berechnung des Gesamtmährdruschertrags nicht möglich war.

**Tab. AXXI:** Ergebnisse der ANOVA inklusive. F-Tests für die Stroherträge (dt ha<sup>-1</sup>) der Winterweizensorten (W=3) in den Reinsaaten, erhoben an fünf Umwelten (U=5) mit jeweils vier Wiederholungen (R=4).

Varianzursache	FG	MQ	Var.Kp.	F-Wert	GD (5 %)
U	4	4920,98	383,09	15,19**	15,66
R:U	15	323,91	85,90	4,89**	13,57
W	2	1069,76	50,18	16,15**	5,26
WU	8	120,07	13,46	1,81ns	11,75
WRU	30	66,20	66,20		
Total	59				

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01; ns: nicht signifikant.

**Tab. AXXII:** Auszüge der ANOVAS und zugehörige F-Tests für den Hauptfaktor Anbauweise (K=2; Reinsaat oder Gemenge mit Ta1) für die Stickstofftrag (kg ha<sup>-1</sup>) N<sub>Vf-Luft</sub> (Stickstofftrag den die Winterackerbohnen genotypen aus der Luft fixierten), N<sub>Vf-Boden</sub> (Stickstofftrag der von den Winterackerbohnen genotypen aus dem Boden aufgenommen wurde und N<sub>Vf-Gesamt</sub> (Gesamtstickstofftrag der Winterackerbohnen), in ihrer oberirdischen Sprossmasse, zum Zeitpunkt der Vollblüte (BBCH65) und Mähdruschreife (BBCH89) der Winterackerbohnen.

<b>Varianzursache</b>	<b>Messtermin</b>	<b>Merkmal</b>	<b>DF</b>	<b>MQ</b>	<b>Var.Kp.</b>	<b>F-Wert</b>	<b>GD (5%)</b>
K	BBCH65	N <sub>Vf-Luft</sub>	1	57552,31	299,34	723,98**	1,80
		N <sub>Vf-Boden</sub>	1	132194,08	686,88	422,85**	3,57
		N <sub>Vf-Gesamt</sub>	1	357134,93	1857,94	896,03**	4,09
	BBCH89	N <sub>Vf-Luft</sub>	1	185602,52	1426,63	61,99**	13,58
		N <sub>Vf-Boden</sub>	1	64378,53	499,33	138,50**	5,36
		N <sub>Vf-Gesamt</sub>	1	434392,00	3361,90	106,78**	15,83

FG, Freiheitsgrade; MQ, mittlere Abweichungsquadrate; Var.Kp., Varianzkomponenten; GD (5 %), Grenzdifferenzen bei 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit; signifikant bei \*\*: P < 0,01.



## **Danksagung**

Herzlichst danken möchte ich Prof. Dr. Wolfgang Link für die großartige Betreuung während meiner Promotion, seine enorme Geduld mit mir und die langen Sitzungen (gerade zum Beginn und zum Ende meiner Promotionszeit) in seinem Büro. An diese Sitzungen werde ich mich noch lange zurück erinnern und natürlich, an die gemeinsame Zeit in Portugal. Es ist sehr erfreulich einen dritten (Doktor-)Vater wie ihn, an meiner Seite zu haben.

Prof. Dr. Knut Schmidtke danke ich für die Übernahme des Korreferats und seine sehr hilfreichen Anmerkungen zu meiner Dissertation.

Ein ganz besonderer Dank geht an Regina Martsch für ihren unermüdlichen Einsatz bei der Betreuung meiner Feldversuche. In Regina habe ich eine sehr gute Freundin gefunden. Sie ist weit mehr als eine Technische Assistentin für mich. Die gemeinsamen Stunden, die wir im Feld verbracht haben, gehören nun zu den schönsten Erinnerungen meiner Promotionszeit. Ich freue mich, dass Tina Tietz nun zu der AG Ackerbohne gehört und das Erbe von IMPAC<sup>3</sup> noch ein Jahr weiterführt.

Dem gesamten Feldpersonal und den Mitarbeitern des DNPW, die mich bei meiner Arbeit unterstützt haben, gilt mein herzlicher Dank. Ohne euch wäre eine Versuchsdurchführung wie die des IMPAC<sup>3</sup>-Projektes nicht umzusetzen. Vor allem aber Doris und Reinhold, die immer ein offenes Ohr für mich hatten und ordentlich zupackten, wenn es nötig war.

Bente, Stefanie, Lena, Justus und Daria möchte ich für die gute und produktive Zusammenarbeit während der Durchführung der Versuche danken.

Vor allem möchte ich mich aber bei Vanessa bedanken, die jetzt selber im Rahmen des IMPAC<sup>3</sup>-Projekts einen Platz zum Promovieren gefunden hat. Danke vielmals, für die vielen Stunden, die wir gemeinsam an deinem Schreibtisch und in den IMPAC<sup>3</sup>-Versuchen, hier in Göttingen und in Hohenlieth, verbracht haben. Danke auch für eine wundervolle Zeit in Göttingen, lange vor IMPAC<sup>3</sup> und hoffentlich auch danach.

Rosi, die stetig liebe Worte für mich fand und wohl einer der kreativsten Menschen in unserer Abteilung ist, danke ich herzlich.

Dem IMPAC<sup>3</sup>-Team danke ich für die komplementäre Nutzung von Wissen, Zeit und Engagement rund um das IMPAC<sup>3</sup>-Projekt. Vielen Dank auch an Prof. Dr. Johannes Isselstein und

Dr. Horst-Henning Steinmann für die Leitung und Koordination des IMPAC<sup>3</sup>-Projektes, ohne das meine Doktorarbeit nicht möglich gewesen wäre.

Dr. Antje Schierholt, Prof. Dr. Heiko Becker, Dr. Rüdiger Jung, Christiane und Dirk danke ich vielmals für die kompetente Beratung wenn ich fachliche Hilfe brauchte.

Danke an meine aktuellen und ehemaligen Mitdoktoranden, besonders: Nils, Mareile, Ariana, Luisa, Mathias, Rebecca, Lisa, Eva und Munem möchte ich für eine unvergessliche Zeit in Göttingen danken. Unsere gemeinsamen Exkursionen werden für mich in grandioser Erinnerung bleiben. Ich freue mich auch über die Zeit in Göttingen hinaus auf zahlreiche Stammtischabende.

Jan möchte ich ganz besonders Danken. In dem schönsten Büro des DNPW haben wir unser letztes Jahr gemeinsam verbracht. Danke für deine Hilfe, deinen Ehrgeiz und dein Engagement, mir R näher bringen zu wollen. Danke auch für die langen Diskussionen, während und nach Konferenzaufenthalten.

Mein besonderer Dank gilt natürlich auch meinen Eltern Gabi, Johannes und Horst, für die viele Unterstützung gerade in den letzten drei Jahren, wo sich doch so viel getan hat. Es war nicht leicht aber wir haben alles geschafft. Danke dafür, dass ihr diese turbulente Zeit ertragen und ausgehalten habt und mich so enorm, in all meinen Entscheidungen, unterschützt habt.

Bedanken möchte ich mich vor allem auch bei Sara und Melanie, Björn, Alina und Arian. Jeder einzelne von euch, hat auf seine ganz eigene Weise etwas zu dieser Arbeit beigetragen und dafür möchte ich euch herzlich Danke sagen. Besonders Sara, die mir immer wieder das Gute in allem zeigte, vor allem dann, wenn der Weg nicht geradeaus verlief.

Danke, mein lieber Daniel, denn *Du* hast den größten Teil dieser Arbeit getragen.

## Eidesstattliche Erklärung

1. Hiermit erkläre ich, dass diese Arbeit weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits anderen Prüfungsbehörden vorgelegen hat.

Weiter erkläre ich, dass ich mich an keiner anderen Hochschule um einen Doktorgrad beworben habe

Göttingen, den 15.10.2018

.....

(Daniel Siebrecht-Schöll)

2. Hiermit erkläre ich eidesstattlich, dass diese Dissertation selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt wurde

Göttingen, den 15.10.2015

.....

(Daniel Siebrecht-Schöll)

# Curriculum Vitae

## Persönliche Daten

---

Name: Daniel Johannes Siebrecht-Schöll  
Geburtsort: Northeim  
Geburtsdatum: 13.11.1989  
Nationalität: deutsch

## Schulische Ausbildung und Studium

---

2015-2018 PhD Programm für Agrarwissenschaften (PAG) an der Georg-August-Universität Göttingen

2013-2015 Studium der Agrarwissenschaften an der Georg-August-Universität Göttingen mit dem Schwerpunkt Nutzpflanzenwissenschaften, Abschluss mit dem Master of Science

2010-2013 Studium der Agrarwissenschaften an der Georg-August-Universität Göttingen mit dem Schwerpunkt Nutzpflanzenwissenschaften, Abschluss mit dem Bachelor of Science

2009 Abitur  
Kooperative Gesamtschule Moringen

---