

Justus-Liebig-Universität Gießen  
Fachbereich 09  
Agrarwissenschaften, Ökotropologie und Umweltmanagement  
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II  
Professur für Organischen Landbau

# **Bachelorarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades  
„Agrarwissenschaften, Bachelor of Science“

## **Saatbeigaben zu Soja: Auswirkungen auf Keimung und Jugendentwicklung unter kühlen Bedingungen**

Erstbetreuer: Herr Prof. Dr. Günter Leithold

Zweitbetreuerin: Frau Beatrice Tobisch

Bezugsmodul: BP B03 Nutzpflanzen im organischen Landbau (neu: BP 006)

Eingereicht von: Aila Elisa von Rohden

Matrikelnummer: 4040185

Gießen, den 11.04.2017

## **Inhaltsverzeichnis**

A. Abkürzungsverzeichnis.....	III
B. Abbildungsverzeichnis.....	IV
Zusammenfassung .....	1
1. Einleitung .....	2
1.1. Sojaanbau in Deutschland .....	2
1.2. Ausgangshypothesen und Ziel der Arbeit .....	3
2. Wissenschaftlicher Kenntnisstand .....	5
2.1. Soja ( <i>Glycine max</i> (L.) MERR.) .....	5
2.1.1. Biologie und Anbaubedingungen .....	5
2.1.2. Herausforderungen der Jugendentwicklung .....	5
2.2. Strategien für den Sojaanbau bei kühlen Temperaturen im Hinblick auf die Jugendentwicklung .....	6
2.2.1. Züchterische Maßnahmen .....	6
2.2.2. Pflanzenbauliche Maßnahmen .....	7
2.3. Saatbeigaben.....	8
2.3.1. Überblick .....	8
2.3.2. Genistein und Daidzein.....	8
2.3.3. <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> .....	10
3. Material und Methoden .....	12
3.1. Versuchsanlage.....	12
3.1.1. Aufbau .....	12
3.1.2. Material .....	13
3.1.3. Vorbereitungen .....	14
3.1.3.1. Material .....	14
3.1.3.2. Saatbeigaben.....	15
3.2. Versuchsablauf und Datenerhebung .....	16

3.2.1.	Überblick über die erfassten Parameter .....	16
3.2.2.	Tägliche Bonitur .....	17
3.2.3.	Ernte und Erhebung der weiteren Parameter .....	17
3.3.	Datenauswertung .....	18
4.	Ergebnisse .....	19
4.1.	Auflaufrate und Wachstumsgeschwindigkeit .....	19
4.2.	Pflanzenhöhe .....	25
4.3.	Frisch- und Trockenmasse .....	25
4.4.	Größe und Anzahl der Knöllchen .....	28
5.	Diskussion .....	30
5.1.	Einfluss der Saatbeigaben auf Auflaufrate und Wachstumsgeschwindigkeit	30
5.2.	Einfluss der Saatbeigaben auf die Pflanzenhöhe .....	33
5.3.	Einfluss der Saatbeigaben auf Frisch- und Trockenmasse .....	34
5.4.	Einfluss der Saatbeigaben auf Größe und Anzahl der Knöllchen .....	35
6.	Schlussfolgerungen .....	38
7.	Literaturverzeichnis .....	40
8.	Anhang .....	44
	Eidesstattliche Erklärung .....	56
	Dank .....	57

## A. Abkürzungsverzeichnis

FM	Frischmasse
„G“	Variante mit Isoflavonoidbehandlung (zusätzlich zur Rhizobienimpfung mit <i>Genistein Soy Complex Powder</i> behandelt)
„G+R“	Kombinationsvariante (zusätzlich zur Rhizobienimpfung mit <i>Genistein Soy Complex Powder</i> und <i>RhizoVital</i> behandelt)
„K“	Kontrollvariante (keine Behandlung außer Rhizobienimpfung)
LfL	Landesanstalt für Landwirtschaft Bayern
PGPR	Plant Growth Promoting Rhizobacteria
„R“	PGPR-Variante (zusätzlich zur Rhizobienimpfung mit <i>RhizoVital</i> behandelt)
TM	Trockenmasse
VAM	Vesikulär-arbuskuläre Mykorrhiza

## **B. Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Pflanzenanzahl in den BBCH-Stadien 09 (Auflaufrate) und 12. ....	19
Abbildung 2a-c: Sojapflanzen am letzten Versuchstag.....	20
Abbildung 3: mittlere Dauer in Tagen bis zum Erreichen der BBCH-Stadien 09, 10, 11.....	21
Abbildung 4: Dauer bis BBCH 09 in Tagen. ....	23
Abbildung 5: Dauer bis BBCH 10 in Tagen. ....	24
Abbildung 6: Dauer bis BBCH 11 in Tagen. ....	24
Abbildung 7: Pflanzenhöhe am Auswertungstag (6.1.2017).....	25
Abbildung 8: Frischmasse Spross in g direkt nach der Ernte (6.1.2017). ....	26
Abbildung 9: Trockenmasse Spross in g. ....	26
Abbildung 10: Frischmasse Wurzel in g direkt nach der Ernte (6.1.2017). ....	27
Abbildung 11: Trockenmasse Wurzel in g.....	28
Abbildung 12: Gesamtanzahl der Knöllchen pro Pflanze .....	29
Abbildung 13: Mittelwerte der Knöllchendurchmesser an der Hauptwurzel in mm. ..	29

## Zusammenfassung

Für den Sojaanbau in Deutschland ist besonders die Jugendentwicklung eine kritische Phase: Kühle Temperaturen wirken sich einschränkend auf Keimrate und die Ausbildung der Symbiose mit den spezifischen Knöllchenbakterien (*Bradyrhizobium japonicum*) aus. Beikräuter<sup>1</sup>, die sich ebenfalls negativ auf den späteren Ertrag auswirken, können während der Jugendphase mechanisch kaum bekämpft werden. Im Fokus dieser Bachelorarbeit stand darum die Frage, ob die Jugendentwicklung der Sojabohne unter kühlen Temperaturen durch Saatbeigaben verkürzt werden kann. Es wurden zwei Saatbeigaben bei 15°C im Gefäßversuch getestet: Eine der gewählten Saatbeigaben (*Genistein Soy Complex Powder*, eigentlich aus dem medizinischen Bereich) enthielt die Isoflavonoide Genistein und Daidzein, deren positive Wirkung auf die Knöllchenbildung und N<sub>2</sub>-Fixierung schon durch zahlreiche Studien belegt ist. Die zweite Saatbeigabe (*RhizoVital*, ein bereits für den ökologischen Landbau zugelassenes Mikroorganismenpräparat) basierte auf dem Bakterium *Bacillus amyloliquefaciens*. Der durchgeführte Versuch konnte die erwartete positive Wirkung der Saatbeigaben auf verschiedene Parameter der Symbiose und der Pflanzenentwicklung kaum bestätigen. Eine insgesamt sehr geringe Auflafrate von knapp 23 % schränkte die statistische Aussagekraft der Ergebnisse stark ein. Eine eindeutig positive Tendenz konnte für die Wirkung der Isoflavonoide auf die Wachstumsgeschwindigkeit der Sojapflanzen festgestellt werden. Die nur mit dem Mikroorganismenpräparat behandelte Variante lief überhaupt nicht auf, die Anwendung dieser Saatbeigabe lässt sich also unter den gegebenen Bedingungen nicht empfehlen. Für die insgesamt geringe Auflafrate gibt es viele mögliche Ursachen, eine eindeutige Fehlerquelle ließ sich jedoch nicht feststellen. In jedem Fall ist für etwaige Folgeversuche eine vorangehende Qualitätsprüfung des Saatguts zu empfehlen, weitere Faktoren wie die Wasserzuführung könnten optimiert werden. Die niedrige Temperatur als Hemmfaktor kann ebenfalls nicht ausgeschlossen werden, war aber Teil des Versuchskonzeptes.

---

<sup>1</sup> Mit "Beikräutern" sind in der vorliegenden Arbeit sowohl Beikräuter als auch Beigräser gemeint (Ausnahme: Beide Begriffe werden im gleichen Satz genannt).

## 1. Einleitung

### 1.1. Sojaanbau in Deutschland

Die Sojabohne (*Glycine max* (L.) MERR.) ist eine aus subtropischen Verhältnissen stammende Leguminose. Sie wurde erstmals 1000 v. Chr. in China beschrieben, fand seit dem Ende des 19. Jahrhunderts jedoch auch in Amerika und Europa Verbreitung (LIEBEREI et al. 2012). Wegen ihres hohen ernährungsphysiologischen Wertes wird die Sojabohne sowohl als Nahrungs- als auch als Futterpflanze angebaut (LIEBEREI et al. 2012; ZIMMER et al. 2016). Sie hat sowohl hohe Öl- als auch hohe Eiweißgehalte und wird darum unter anderem als Öl, Bindemittel, Eiweißnahrung und v.a. als Futtermittel in Form von Sojaschrot vielfältig genutzt. Potenzial besteht außerdem im pharmazeutischen Bereich (RAMOS-SOLANO et al. 2010). Die Sojabohne ist ursprünglich eine Kurztagpflanze. Heute gibt es jedoch dank züchterischer Weiterentwicklung auch tagneutrale Sorten (LIEBEREI et al. 2012). Die klimatischen Ansprüche der Sojabohne ähneln denen von Mais und Wein. Hohe Temperaturen und mittelhohe Niederschläge sind im Sommer und Herbst und insbesondere während der Blüte und Samenbildung von Bedeutung (LIEBEREI et al. 2012). Die optimalen Anbautemperaturen für Soja liegen zwischen 25 und 30°C (ZHANG und SMITH 1996).

Typisch für Leguminosen ist die Symbiose mit Knöllchenbakterien, die in der Lage sind, Luftstickstoff zu fixieren. Im Falle der Sojabohne handelt es sich um eine Symbiose mit Bakterien der Art *Bradyrhizobium japonicum* (LIEBEREI et al. 2012).

Die Sojaanbaufläche betrug laut HAHN und MIEDANER (2013) im Jahr 2013 weltweit über 100 Millionen Hektar, rund 80 % des weltweiten Anbaus geschieht heute mit gentechnisch veränderten Sorten. In Deutschland wurden im Jahr 2012 auf rund 6000 ha Sojabohnen angebaut, 2015 waren es nach Schätzungen des Sojaförderrings bereits 17000 ha (SOJAFÖRDERRING 2016). Weitere 4,5 Millionen Tonnen werden jährlich importiert (HAHN und MIEDANER 2013). Größte Anbauländer für Soja sind die USA, Brasilien und Argentinien (HAHN und MIEDANER 2013).

In Zentraleuropa befindet sich der Sojaanbau noch relativ am Anfang. Dementsprechend ist auch die Züchtung im Hinblick auf frühreife Sorten mit Kühletoleranz, die den Gegebenheiten des mitteleuropäischen Klimas genügen können, laut ZIMMER et al. (2016) noch im Anfangsstadium. Die bisher eingeschränkte Auswahl züchterischer und pflanzenbaulicher Maßnahmen im Hinblick auf die hiesigen Klimabedingungen hat dabei durchaus Relevanz für den Anbauerfolg und die

Ertragshöhe: Geringe Bodentemperaturen wirken sich laut ZHANG und SMITH (1996) negativ auf die Auflaufrate eines Sojabestandes aus und werden von ZHANG et al. (1996) aufgrund eigener und anderer hinzugezogener Studien als einschränkender Faktor für Knöllchenbildung und Stickstofffixierung identifiziert. Auch SCHMIDT et al. (2015) stellen geringe Temperaturen im Wurzelraum in ihrem Review als Einschränkung für Keimung, Ausprägung der Symbiose mit Mikroorganismen und Pflanzenwachstum dar.

## **1.2. Ausgangshypothesen und Ziel der Arbeit**

„Die Sojabohne ist gegenüber Beikräutern/-gräsern konkurrenzschwach, daher wäre eine schnellere Jugendentwicklung, vor allem bei ungünstigeren klimatischen Bedingungen, wünschenswert, um einen rascheren Bestandesschluss zu erreichen.“ Mit dieser Aussage bringen HAHN und MIEDANER (2013) die Thematik auf den Punkt, die auch Ausgangspunkt für die vorliegende Arbeit ist. Aus der mangelnden Konkurrenzfähigkeit von Soja gegenüber Beikräutern und der Tatsache, dass mechanische Beikrautbekämpfung zwischen Blindstriegeln im Voraufbau und dem Erscheinen des ersten Laubblattpaares nicht ohne Schädigung der Sojapflanzen möglich ist (HAHN und MIEDANER 2013), ergibt sich die Vorteilhaftigkeit einer schnelleren Jugendentwicklung. Die in Deutschland Ende April vorherrschenden Temperaturen (WETTERKONTOR.DE 2016) befinden sich unterhalb der für Soja optimalen 25-30°C und können somit als „ungünstige klimatische Bedingungen“ bezeichnet werden. Kühltoleranz ist hinsichtlich der Gefahr von Spätfrösten und niedrigen Nachttemperaturen zur Blütezeit ein wichtiges Zuchtziel für den deutschen Sojaanbau (SOJAFÖRDERRING 2016). WILBOIS et al. (2014) empfehlen darüber hinaus „pflanzenbauliche Maßnahmen zur Verfrühung der Jugendentwicklung“. SCHMIDT et al. (2015) haben die Potenziale der Anwendung von Rhizobien, „Plant Growth Promoting Rhizobacteria“ (PGPR) und vesikulär-arbuskulären Mykorrhiza (VAM) als Wachstumsförderer für den Sojaanbau im gemäßigten Klima in einem Review zusammengetragen. Aufgrund verschiedener Studien können sie vor allem positive Wirkungen auf Knöllchenbildung und Stickstofffixierung belegen. Die Saatgutbehandlung stellen sie als die bisher üblichste Anwendungsmethode dar, diese sei vor allem in Bezug auf Rhizobienimpfmittel bereits verbreitet.



Der dieser Bachelorarbeit zugrunde liegende Versuch beschäftigte sich mit der Möglichkeit einer Beschleunigung der Jugendentwicklung von Soja durch Saatbeigaben.

Das Isoflavonoid Genistein hat eine maßgebliche Bedeutung als Botenstoff in der Symbiose zwischen Sojapflanze und Bakterium (ZHANG und SMITH 1996). Bei geringen Temperaturen werden durch die Pflanze jedoch reduzierte Mengen an Genistein und Daidzein produziert (SCHMIDT et al. 2015). SCHMIDT et al. (2015) weisen in ihrem Review auf mehrere Studien hin, die eine positive Wirkung der exogenen Zugabe von Signalstoffen wie z.B. Genistein und Daidzein im Hinblick auf Symbiose und Stickstofffixierung belegen. Die exogene Zugabe könne eine reduzierte endogene Produktion kompensieren und ggf. Umwelteinflüsse ausgleichen.

Auch Mikroorganismen können sich positiv auf das Wachstum und die Entwicklung junger Sojapflanzen auswirken. Studien zur kombinierten Anwendung von Phytohormonen und PGPR sind laut SCHMIDT et al. (2015) bisher nur in geringer Zahl vorhanden. Bereits untersuchte positive Auswirkungen der Zugabe verschiedener Bakterienkulturen auf Knöllchenbildung, Stickstofffixierung und Ertrag werden aber durch SCHMIDT et al. (2015) zusammenfassend dargestellt.

In der vorliegenden Arbeit soll darum die Wirkung einer exogenen Zugabe sowohl von Genistein und Daidzein als Vertreter der Isoflavonoide als auch von *Bacillus amyloliquefaciens* als PGPR-Produkt auf die Jugendentwicklung von Sojapflanzen unter kühlen Temperaturbedingungen untersucht werden.

Dabei liegen folgende Hypothesen zugrunde:

*1) Die verwendeten Saatbeigaben verkürzen die Jugendentwicklung der Sojapflanzen.*

Das beste Ergebnis ist hierbei von der reinen Isoflavonoidvariante zu erwarten. Bisher am wenigsten untersucht sind Kombinationsvarianten (SCHMIDT et al. 2015).

*2) Die verwendeten Saatbeigaben wirken sich positiv auf Knöllchenbildung und andere Parameter der Pflanzenentwicklung aus.*

## **2. Wissenschaftlicher Kenntnisstand**

### **2.1. Soja (*Glycine max* (L.) MERR.)**

#### **2.1.1. Biologie und Anbaubedingungen**

Die Sojabohne (*Glycine max* (L.) MERR.) ist eine einjährige Leguminose und kann eine Höhe von bis zu 100 cm erreichen. Ihr Stängel ist dünn und stark behaart, die Blätter sind langstielig und dreiteilig, die Anzahl der Seitentriebe ist abhängig von der gewählten Bestandesdichte. Die Sojabohne hat weiße oder lila Blüten. Die daraus entstehenden Hülsen sind borstig und behaart und erreichen eine Länge von ca. drei bis vier cm. Pro Hülse entstehen ein bis drei Samen. Die Sojapflanze ist ein Selbstbefruchter. Je nach Reifegruppe der jeweiligen Sorte ist die Vegetationszeit 150-180 Tage lang (SPERBER et al. 1988).

Die Sojapflanze bevorzugt warme Klimabereiche, sie benötigt eine Temperatursumme von 1500-2000°C auf der Basis von 6°C. Der Anbau empfiehlt sich auf lockerem, gut durchlüftetem Boden mit hoher Wasserhaltefähigkeit und einem pH-Wert von etwa 6,5-7,5. Die ideale Saattiefe beträgt drei bis vier cm, ausgesät wird ab einer Bodentemperatur von 10°C, zwischen Mitte April und Anfang Mai. Die Sojabohne zeigt epigäisches Keimverhalten. Vor allem vom Blühbeginn bis zur Samenbildung ist die Pflanze sehr trockenheitsempfindlich, die Ernte kann in der Regel zwischen Ende September und Ende Oktober erfolgen (SPERBER et al. 1988). Laut dem SOJAFÖRDERRING (2016) ist in Deutschland derzeit eine dreijährige Anbaupause für Soja innerhalb der Fruchtfolge üblich.

Die Sojabohne hat durch die Zusammensetzung ihrer Inhaltsstoffe einen hohen ernährungsphysiologischen Wert und enthält in hohen Mengen sowohl Eiweiß (37 %) als auch Öl (18-20 %) (LIEBEREI et al. 2012). Für die Nutzung als Futtermittel muss jedoch oft eine Wärmebehandlung (z.B. Toasten) erfolgen, um die antinutritiven Trypsinhemmstoffe zu deaktivieren (SPERBER et al. 1988).

#### **2.1.2. Herausforderungen der Jugendentwicklung**

Der Saattermin für Sojabohnen liegt in Deutschland in der Regel zwischen Mitte April und Mitte Mai. Die Konkurrenzfähigkeit gegenüber Beikräutern ist bei Soja eher gering ausgeprägt. Eine zügige Jugendentwicklung und somit ein schneller Bestandesschluss sind also vorteilhafte Merkmale im Sojaanbau (HAHN und MIEDANER 2013).

Auch Kühltoleranz wird von HAHN und MIEDANER (2013) als notwendige Bedingung für den Sojaanbau dargestellt. ZHANG und SMITH (1996) untersuchen den Einfluss kühler Temperaturen auf Keimung und Ausbildung der Symbiose: Temperaturen von unter 15°C im Wurzelraum bis Anfang Juni und weiterhin unter 20°C bis Mitte Juli verringern in ihren Versuchen die Auflaufrate und verlangsamen die Etablierung der Symbiose zwischen Sojapflanze und Knöllchenbakterien.

## **2.2. Strategien für den Sojaanbau bei kühlen Temperaturen im Hinblick auf die Jugendentwicklung**

### **2.2.1. Züchterische Maßnahmen**

Um Soja auch bei kühlen Temperaturen erfolgreich anbauen zu können und eine zügige Jugendentwicklung zu ermöglichen, kommen sowohl züchterische als auch pflanzenbauliche Maßnahmen zum Einsatz:

VOLLMANN und MENKEN (2011) fassen in einem Review zusammen: "Konkurrenzfähigkeit gegenüber Beikräutern kann sich in Form von Beikrauttoleranz zeigen, d.h. Kulturpflanzen erreichen ihren Ertrag auch unter Beikrautdruck. Solch eine Eigenschaft [Beikrauttoleranz; Anm. der Autorin] wäre nützlich in ökologischen Produktionssystemen, in denen die Beikrautbekämpfung am Anfang der Saison abhängig von Wetterbedingungen ist, die eine frühe Bodenbearbeitung nicht immer erlauben."<sup>2</sup> Als zweite Möglichkeit, eine höhere Konkurrenzfähigkeit gegenüber Beikräutern zu erreichen, stellen sie der Beikrauttoleranz die tatsächliche Beikrautunterdrückung gegenüber: Sojapflanzen könnten u.a. durch schnelleres Wachstum und die daraus folgende Bodenbeschattung das Beikrautwachstum eindämmen, Beikräuter durch effektivere Nutzung von Bodennährstoffen und Wasser unterdrücken oder ggf. allelopathische Effekte nutzen. Als konkrete Empfehlung für die Züchtung halten VOLLMANN und MENKEN (2011) fest, dass eine höhere Fähigkeit zur Beikrautunterdrückung oder Beikrauttoleranz für ökologische Anbausysteme, zumindest als sekundäres Merkmal nach den qualitativen Anforderungen, von sehr vorteilhafter Bedeutung wäre.

---

<sup>2</sup> Originalzitat: „Weed competitiveness can be expressed as tolerance to weeds, where crops maintain yield under weed pressure. Such a trait would be of use in organic production systems where early season weed control is subject to weather conditions that do not guarantee early tillage.“ (VOLLMANN und MENKEN 2011)

VOLLMANN et al. (2010) untersuchen den Einfluss verschiedener Genotypen auf Beikrauttoleranz und Beikrautunterdrückungsfähigkeit. Sie weisen auf einige Parameter hin, die bereits in anderen Studien als Einflussfaktoren auf die Fähigkeit der Pflanze zur Beikrautunterdrückung identifiziert wurden (z.B. Bodenbedeckung, frühes Auflaufen). Die Autoren stellen jedoch für diese Parameter, im Gegensatz zu anderen charakteristischen Merkmalen der Pflanzenentwicklung (z.B. Pflanzenhöhe, Abreifezeit) keine signifikanten Unterschiede zwischen verschiedenen Genotypen fest. Sie schließen daraus auf eine eingeschränkte genetische Variabilität dieser Parameter. Um die Relevanz charakteristischer Pflanzenmerkmale für die Fähigkeit der Gesamtpflanze zur Beikrautunterdrückung eindeutig feststellen zu können und konkurrenzstärkere Genotypen zu identifizieren, weisen VOLLMANN et al. (2010) auf die Notwendigkeit einer erweiterten genetischen Variationsbreite dieser Merkmale hin.

WILBOIS et al. (2014) erläutern einige Maßnahmen für die Sojazüchtung. Im Rahmen ihres Sojaforschungsprojektes haben sie erfolgreich kühletolerante Sojasorten und Einzelpflanzen selektiert. Für die Selektion auf Beikrauttoleranz haben sie ein System aufgebaut. Die Autoren stellen außerdem die Bedeutung der Selektion auf Blattquantität und Blattform, insbesondere für den ökologischen Landbau, heraus. Beides wirke sich vorteilhaft auf den Beikrautbesatz des Bestandes aus. WILBOIS et al. (2014) weisen darüber hinaus auf die Möglichkeit hin, auf sogenannte „Striegeltoleranz“ zu züchten, wie es bei Weizen bereits Realität ist. Auch die Selektion auf Kühletoleranz der Symbiosepartner wird als möglicherweise relevant dargestellt.

### **2.2.2. Pflanzenbauliche Maßnahmen**

Pflanzenbaulich gibt es laut WILBOIS et al. (2014) verschiedene Möglichkeiten, die Jugendentwicklung von Soja unter kühlen Temperaturen zu beschleunigen. Zum einen können Verfrühungsmaßnahmen angewandt werden, die bei anderen Kulturen bereits Standard sind, beispielsweise die Nutzung von Vlies oder Folie wie im Kartoffelbau. Auch der Dammanbau eignet sich unter Umständen als Maßnahme. Darüber hinaus ist laut WILBOIS et al. (2014) das Vorquellen als Verfrühungsmaßnahme interessant, es gibt aber bisher noch keine abgeschlossenen Untersuchungen zur Anwendung dieses Verfahrens bei Soja.

Als pflanzenbauliche Maßnahme mit wesentlicher Bedeutung, vor allem im ökologischen Sojaanbau, stellen WILBOIS et al. (2014) außerdem die (mechanische) Beikrautregulierung heraus.

An ein laufendes Forschungsprojekt zur Verfrühung und Stärkung der Jugendphase bei Sojabohnen durch Saatgutpriming und Beigabe von Mikroorganismen sowie Isoflavonoiden zur Saat (TOBISCH et al. 2015) gliedert sich auch die vorliegende Bachelorarbeit an.

## **2.3. Saatbeigaben**

### **2.3.1. Überblick**

SCHMIDT et al. (2015) geben einen Überblick über verschiedene Mikroorganismen, deren Einsatz sich positiv auf Wachstum und Produktivität der Sojapflanze auswirken kann. Die Autoren nehmen dabei eine Unterteilung vor in Rhizobien, vesikulär-arbuskuläre Mykorrhiza (VAM) und Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR). Im Fokus steht deren fördernde Wirkung auf das Pflanzenwachstum unter gemäßigten Klimabedingungen. Zusammenfassend wird allen drei Gruppen eine positive Wirkung auf das Wachstum von Soja zugeschrieben. Insbesondere Rhizobien, PGPR und bestimmte Phytohormone können dabei, wie die Autoren zusammenfassen, auch die wachstumshemmenden Effekte von Kältestress verringern.

Die meistübliche Anwendungsmethode von Mikroorganismen besteht laut SCHMIDT et al. (2015) in der Saatgutbehandlung vor der Aussaat, vor allem die Impfung mit Rhizobien ist bereits weit verbreitet. Die Autoren merken an, dass es bisher aber wenige Produkte mit weiteren PGPR zusätzlich zu Rhizobien gebe, auch VAM seien in Form von Impfmitteln eher unüblich. Kombinierte Präparate werden als wirkungsvoll, aber schwer herstellbar, dargestellt. Die Wirkung von kombinierten Präparaten ist laut SCHMIDT et al. (2015) teilweise schwierig abzuschätzen und die Herstellung einer Formulierung mit mehreren PGPR-Stämmen komplexer als die Formulierung eines einzelnen Stammes.

### **2.3.2. Genistein und Daidzein**

SUBRAMANIAN et al. (2006) zeigen mittels gene-silencing die wesentliche Bedeutung endogener Isoflavonoide wie Genistein und Daidzein zur Knöllchenbildung bei Soja. Isoflavonoide werden ebenfalls als Regulatoren im Auxintransport identifiziert, wobei

die Autoren nicht klar herausstellen können, ob diese Funktion für die Ausbildung der Wurzelknöllchen von Bedeutung ist. SUBRAMANIAN et al. (2006) unterscheiden in ihrer Arbeit ausdrücklich zwischen der Effektivität endogener und exogener Isoflavonoide. Bei Pflanzen, deren natürliches Isoflavonoid-Level durch das Stilllegen der für die endogene Synthese zuständigen Gene reduziert ist, kann laut den Autoren durch die Zugabe von (exogenen) Isoflavonoiden zum *B. japonicum*-Impfmittel oder durch Wurzelbehandlung mit Isoflavonoiden nicht die Knöllchenanzahl des unbehandelten Pflanzentyps erreicht werden. Die exogene Zugabe von Isoflavonoiden kann also, laut den beschriebenen Untersuchungen, endogenes Fehlen dieser Botenstoffe nicht kompensieren.

Die Bedeutung von Genistein und Daidzein zur Knöllchenbildung wird auch von ZHANG und SMITH (1996) herausgestellt, allerdings wird hier, anders als bei SUBRAMANIAN et al. (2006), auch der exogenen Zugabe von Genistein eine positive Wirkung zugewiesen. Genistein und Daidzein fungieren laut ZHANG und SMITH (1996) als Botenstoffe zwischen Pflanze und Bakterium und veranlassen die Expression der „nodulation genes“, d.h. der für die Knöllchenbildung verantwortlichen Gene. Ein höherer Ertrag kann laut den Autoren sowohl durch Vorbehandlung des *B. japonicum*-Impfmittels mit Genistein als auch bei direkter Anwendung des Genisteins in der Saatfurche erreicht werden.

Die Autoren verweisen auf frühere Versuche, in denen sie einen höheren Effekt der Vorbehandlung von *B. japonicum* mit Genistein unter kühlen Temperaturbedingungen festgestellt haben. Der Effekt der Vorbehandlung auf Knöllchenanzahl und N<sub>2</sub>-Fixierung sank dabei mit steigenden Temperaturen. Bei ZHANG und SMITH (1996) führt die Vorbehandlung von *B. japonicum* mit Genistein zu einem zwei bis drei Tage früheren Start der N<sub>2</sub>-Fixierung. Generell wird ein größerer Effekt der Vorbehandlung unter (N)-Stressbedingungen festgestellt.

Der positive Effekt der Genisteinzugabe auf Knöllchenbildung und N<sub>2</sub>-Fixierung der Sojapflanze kann, wie ZHANG und SMITH (1996) aufgrund eigener und zusätzlich herangezogener Studien schließen, mehrere Gründe haben. Zum einen führen die Autoren den direkten Effekt von Genistein als maßgeblichem Auslöser der „nodulation genes“ an. Zum anderen heben sie auch weitere Eigenschaften des Genisteins als mögliche Ursachen hervor: Isoflavonoide fungieren als Beteiligte in der Schädlings-

und Krankheitsabwehr, als Regulatoren im Auxin-Transport und als Stimulantien anderer nützlicher Mikroorganismen im Boden.

Die Wechselwirkungen zwischen Isoflavonoiden in der Rhizosphäre und der Zusammensetzung der mikrobiellen Masse im Wurzelraum werden auch von Guo et al. (2011) erläutert. Die Autoren stellen hier einen Zusammenhang fest zwischen dem Gehalt an Daidzein in der Rhizosphäre und den umgebenden Bodenpilzen. Bezüglich des Genisteinlevels wird eine positive Korrelation sowohl in Bezug auf das Vorhandensein von Bodenpilzen als auch von Bodenbakterien festgestellt. Sowohl Genistein als auch Daidzein können in hohem Ausmaß in der Rhizosphäre von Sojapflanzen nachgewiesen werden.

MIRANSARI und SMITH (2008) stellen fest, dass suboptimale Temperaturen im Wurzelraum aufgrund verschiedener Effekte auf den Signalprozess zwischen Bakterium und Pflanze einen negativen Einfluss auf Parameter wie Blatt-, Spross- und Wurzelmasse sowie Knöllchenmasse und -anzahl haben. Die Zugabe von Genistein kann jedoch laut MIRANSARI und SMITH (2008) diese durch Kühlestress hervorgerufenen Reaktionen teilweise ausgleichen.

### **2.3.3. Bacillus amyloliquefaciens**

MASCIARELLI et al. (2014) haben die Pflanzenentwicklung nach Impfung des Sojasaatguts mit *B. japonicum* und *B. amyloliquefaciens* jeweils einzeln und in Kombination untersucht. Die Ergebnisse belegen eine mögliche positive Auswirkung auf das frühe Wachstum der Sojapflanzen, vor allem jedoch eine verstärkte Knöllchenbildung bei Impfung mit einem oder beiden der genannten PGPR-Präparate. SAINI et al. (2015) kommen aufgrund ihrer Untersuchungen mit Kichererbsen zu dem Schluss, dass über 70 % der endophytischen Wurzelbakterien in mehr oder weniger großem Ausmaß eine wachstumsfördernde Wirkung haben. Als wirksamste Stämme werden dabei die Bakterienstämme *Bacillus subtilis* CNE 1036 und *Bacillus amyloliquefaciens* LRE 3 befunden.

RAMIREZ und KLOEPPER (2010) stellen ebenfalls eine wachstumsfördernde Wirkung von *B. amyloliquefaciens* fest. Sie begründen diese Wirkung vor allem mit der Phytase-

Aktivität von PGPR. Die Bakterien fördern das Pflanzenwachstum laut RAMIREZ und KLOPPER (2010) wohl hauptsächlich durch die Mobilisation von Phosphor aus dem Boden, Studien zu diesem Zusammenhang gibt es bisher aber nur in geringer Anzahl. Die Autoren schließen außerdem auf einen direkten Effekt, der nicht vom Boden abhängig ist: *B. amyloliquefaciens* sei in der Lage, das Auxin IAA (indole-3-acetic acid) zu produzieren, welches als Wachstumshormon fungiert.

Auch ASARI et al. (2017) diskutieren die wachstumsfördernde Wirkung von *B. amyloliquefaciens* (subsp. *plantarum* UCMB5113). Sie beschreiben in Versuchen mit *Arabidopsis thaliana* eine stärkere Ausprägung der Seitenwurzelentwicklung (bei gleichzeitigem Rückgang des Hauptwurzelwachstums) und der Wurzelhaarbildung, ein höheres Gesamtwurzelvolumen und auch eine größere Trockenmasse des Sprosses durch Behandlung mit *B. amyloliquefaciens*.



### **3. Material und Methoden**

#### **3.1. Versuchsanlage**

##### **3.1.1. Aufbau**

Der Versuch wurde mit insgesamt 48 Pflanztöpfen als randomisierter Gefäßversuch angelegt. Dabei gab es jeweils zwölf Wiederholungen der gleichen Variante (inklusive Kontrolle). Im Test waren die Varianten „G“ (*Genistein Soy Complex Powder*), „R“ (*RhizoVital*), „G+R“ (*Genistein Soy Complex Powder* und *RhizoVital* in Kombination) und „K“ (Kontrolle). Alle Varianten wurden geimpft, bei den Varianten „G“ und „G+R“ wurde das Isoflavonoidpulver dem Impfmittel beigemischt. Die Applikation von *RhizoVital* bei den Varianten „R“ sowie „G+R“ erfolgte durch Übergießen der Samen vor der Impfung. Die Randomisierung der verschiedenen Varianten wurde durch die zufällige Kombination von Gefäßnummer (1-48) und Variantenbezeichnung („G“, „R“, „G+R“, „K“) mit Wiederholung (jeweils 1-12) gewährleistet (Liste im Anhang). Die Aufstellung der Gefäße am Versuchsort erfolgte dann in vier Reihen in der Reihenfolge der Gefäßnummern. Um Nebeneffekte durch Lichtverhältnisse, Belüftung oder minimale Temperaturunterschiede zu vermeiden, wurde die Aufstellung der Gefäße täglich variiert (Wechsel der ersten Gefäßreihe nach hinten). Versuchsort war die Klimakammer Nr. 13 im Biotechnikum/Interdisziplinäres Forschungszentrum der Justus-Liebig-Universität Gießen.

Die für den Versuch ausgewählten Klimabedingungen sollten ein möglichst praxisnahes Bild ergeben und orientierten sich deshalb an der in der Praxis üblichen Aussaatzeit Ende April (AIGNER 2014; SOJAFÖRDERRING 2016). Anhand der Klimadaten für Frankfurt/Main (WWW.TIMEANDDATE.DE 2016) wurde ein Rhythmus von 15 h Dunkelheit und 9 h Tageslicht festgelegt. Die Temperatur betrug konstant 15°C (Ausnahme: einmalige Störung der Klimakammer am 30.12.16, die für mehrere Stunden zu einer Erwärmung auf 17°C führte). Die Luftfeuchtigkeit wurde auf den üblichen Standard von 60 % festgelegt.

Der Versuch wurde am 25.11.2016 angelegt und dauerte sechs Wochen. Die Ernte der Pflanzen erfolgte am 06.01.2017, zu diesem Zeitpunkt befand sich der Großteil der aufgelaufenen Pflanzen im Übergang zum BBCH-Stadium 12.

### 3.1.2. Material

Als Gefäße wurden kleine schwarze Pflanztöpfe verwendet (Höhe und Durchmesser etwa 10 cm). Die Pflanztöpfe kamen aus dem Bestand des Instituts und wurden vor der Verwendung gründlich gespült. Das verwendete Substrat war eine Mischung aus Feldboden vom ökologischen Versuchsbetrieb Gladbacherhof (Schlag „Schöne Aussicht“, phosphorarm) und Kristall-Quarzsand „Dorsilit“ der Firma Gebrüder Dörfner GmbH & Co. KG. Das verwendete Saatgut kam ebenfalls vom Gladbacherhof und stammte aus der Ernte des vorherigen Jahres (2015). Um eine gute Vergleichbarkeit und eine ausreichend hohe Wiederholungsanzahl der verschiedenen Varianten zu gewährleisten, wurde nur eine Sorte für die Durchführung des Versuchs verwendet: Die frühreife Sorte „Merlin“ gilt als bewährte Sorte, ist ertragsstabil und kühetolerant (WILBOIS et al. 2014).

Alle Versuchsvarianten wurden mit dem *B. japonicum*-Impfmittel *HiStick Soy* der Firma BASF geimpft (BASF 2015). *HiStick* als kommerziell verfügbares Impfmittel wurde von Zimmer et al. (2016) neben *Biodoz* u.a. für die Anwendung unter kühlen Klimabedingungen in Deutschland als geeignet befunden. Das PGPR-Produkt *RhizoVital 42 fl.* (ABITEP GMBH 2015) ist bereits im ökologischen Landbau zugelassen (FiBL 2017) und wurde direkt vom Hersteller bezogen. Es enthält Bodenbakterien der Art *Bacillus amyloliquefaciens*. Genistein wurde nicht in Form des Reinstoffs, sondern als „*Genistein Soy Complex Powder*“ der Firma Source Naturals verwendet (eigentlich ein medizinisches Produkt). Dieses Testprodukt ist ein aus Sojabohnen hergestelltes Pulver und enthält neben Genistein auch die Isoflavonoide Daidzein und Glycitein. Es wurde bereits in vorangegangenen Versuchen innerhalb des Projektes „Verbesserung der Jugendentwicklung von Sojabohnen durch Priming und Saatgutbeigaben“ (TOBISCH et al. 2015) eingesetzt. Alle Saatbeigaben wurden direkt vor dem Versuch bestellt bzw. geöffnet, hatten ein gültiges Haltbarkeitsdatum und wurden gekühlt gelagert.

Für die tägliche Bonitur und Betreuung des Versuchs standen eine Waage und destilliertes Wasser in einer täglich frisch befüllten Spritzflasche bereit. Für die Dokumentation gab es vorbereitete Boniturlisten.

### **3.1.3. Vorbereitungen**

#### **3.1.3.1. Material**

Bereits einige Wochen vor Versuchsbeginn wurde mit dem zur Verfügung stehenden Saatgut ein Keimfähigkeitstest nach ISTA (ISTA 2015) durchgeführt. Der Test erfolgte auf Papier („between paper“) und bei 22°C. Da nach ISTA für den Keimtest bei Soja (*Glycine max*) eine Temperatur von 25°C (konstant) oder ein Wechsel von 30°C (Tag) und 20°C (Nacht) empfohlen ist, die Möglichkeiten des Teststandortes aber nur konstante 22°C ermöglichten, erfolgte auch die Auszählung der Keimlinge nicht nach den empfohlenen fünf und acht Tagen, sondern nach sechs bzw. zehn Tagen. Bei insgesamt 100 getesteten Samen (zwei Boxen mit je 50 Samen) ergaben sich hierbei 89 % bzw. 94 % „normale“ Keimlinge nach ISTA-Definition. Das Saatgut wurde also wie geplant für den Versuch verwendet.

Einige Tage vor Versuchsbeginn wurde das benötigte Material zum Versuchsort gebracht und die Gefäße wurden befüllt. Hierzu wurden Sand und Feldboden im Verhältnis 2:1 und unter Zugabe von 100 mL Wasser auf 3 kg Substrat per Hand gemischt. Die Versuchsgefäße wurden zunächst mit Filterpapier ausgelegt. Dann wurden sie mit jeweils 330 g Substrat gefüllt.

Zeitgleich mit der Vorbereitung der Versuchsgefäße am Versuchsstandort wurde auch die Wasserhaltekapazität der Versuchsgefäße bestimmt. Angewandt wurde die Standardmethode des Labors (Beschreibung im Anhang). Bei einer für die Versuchsdurchführung geplanten Wasserversorgung in Höhe von 60 % der maximalen Wasserhaltekapazität ergab sich hieraus das Sollgewicht von etwa 393 g pro Gefäß (vgl. Anhang), auf das während der Versuchslaufzeit täglich aufgegossen wurde.

Am Tag der Versuchsanlage wurden je Topf ca. 30 mL Wasser zugegeben und mit einem gekennzeichneten Handschuh wurde ein 3 cm tiefes Pflanzloch vorbereitet. Dies erfolgte zeitgleich mit der Vorbereitung der Saatbeigaben, sodass nach Fertigstellung die Einsaat erfolgen konnte.

### 3.1.3.2. Saatbeigaben

Vor der eigentlichen Versuchsdurchführung wurden die benötigten Mengen der Saatbeigaben berechnet und mehrfach getestet. Für Umrechnungen der Aufwandmengen pro ha wurde, unter anderem angelehnt an Empfehlungen des Sojaförderrings (SOJAFÖRDERRING 2016), die Menge von 65 Körnern pro m<sup>2</sup> bzw. 650 000 Körnern pro ha zugrunde gelegt. Die Berechnungen beruhten darüber hinaus auf folgenden Werten:

- a) Für das Impfmittel: auf den Erfahrungen der Feldversuche des Projektes „Verbesserung der Jugendentwicklung von Sojabohnen durch Priming und Saatgutbeigaben“ (TOBISCH et al. 2015) 2016 sowie auf den Herstellerangaben für *Biodoz Soja* (Hersteller De Sangosse), das im ursprünglichen Versuchsplan als Impfmittel angedacht war. Die Dosierungsangaben von *Biodoz Soja* und *HiStick* (dem schließlich verwendeten Impfmittel) unterscheiden sich jedoch nur geringfügig, sodass die berechneten Mengen übernommen wurden.
- b) Für das isoflavonoidhaltige *Genistein Soy Complex Powder*: auf den Werten der vorangegangenen Gefäßversuche des Projektes „Verbesserung der Jugendentwicklung von Sojabohnen durch Priming und Saatgutbeigaben“ (TOBISCH et al. 2015)
- c) Für *RhizoVital*: auf den Herstellerangaben zur empfohlenen Konzentration beim Tauchen des Saatgutes.

Am Tag der Aussaat wurden die Saatbeigaben nach einer während der vorangegangenen Testläufe angefertigten Anleitung (vgl. Anhang) in folgender Reihenfolge angesetzt und angewandt: Als Erstes wurden *RhizoVital* und *HiStick* mit den jeweils benötigten Wassermengen im Becherglas angesetzt. Dann wurden zunächst die Behandlungsvarianten „G“ und „G+R“ hergestellt. Das Saatgut für die Variante „G+R“ wurde mit *RhizoVital* übergossen und konnte dann einige Minuten abtropfen. Das *Genistein Soy Complex Powder* wurde mit der pro Variante benötigten Menge an Impfmittel (*HiStick*) vermischt, sodass sich eine dickflüssige Paste ergab. Jeweils zwölf unbehandelte bzw. vorher mit *RhizoVital* übergossene Samen wurden

dann in die vorbereiteten Bechergläser gegeben und unter leichtem Rühren mit den Saatbeigaben vermischt. Der Variante „G“ wurden zur besseren Mischbarkeit einige Tropfen destilliertes Wasser zugegeben. Die Bechergläser mit den Varianten wurden mittels Etiketten eindeutig beschriftet. Im Folgenden wurden die Varianten „R“ und „K“ vorbereitet. Variante „R“ wurde wie Variante „G+R“ zunächst mit *RhizoVital* übergossen und nach kurzem Abtropfen im Becherglas mit dem vorbereiteten Impfmittel vermischt. Variante „K“ wurde ohne vorherige Behandlung geimpft, zur besseren Mischbarkeit wurden auch hier einige Tropfen Wasser zugegeben. Nach gründlichem Einrühren des Saatgutes und kurzem Antrocknen aller Varianten erfolgte die Einsaat.

### **3.2. Versuchsablauf und Datenerhebung**

#### **3.2.1. Überblick über die erfassten Parameter**

Um die Jugendentwicklung der verschiedenen Versuchsvarianten untereinander und mit der Kontrolle vergleichen zu können, wurden verschiedene Parameter erfasst: Die **Auflaufrate** als Messwert zeigt zum einen die generelle Keimfähigkeit bzw. Triebkraft des Saatgutes unter den gegebenen Versuchsbedingungen und lässt zum anderen Vergleiche zwischen den verschiedenen Versuchsvarianten zu.

Die aufgelaufenen Pflanzen wurden täglich bonitiert. So konnte jeweils die **Dauer in Tagen** vom Saatzeitpunkt bis zum Erreichen der BBCH-Stadien 09, 10, 11 und 12 festgestellt werden. Die hier errechneten Werte geben Aufschluss über die Wachstumsgeschwindigkeit der Einzelpflanze und der jeweiligen Variante in der Jugendphase. Da Striegeln zur Beikrautbekämpfung in der Praxis nur als Blindstriegeln vor Erreichen des BBCH-Stadiums 09 oder wieder ab BBCH-Stadium 11 empfehlenswert ist (HAHN und MIEDANER 2013), wäre auch ein möglichst homogenes Auflaufen der Pflanzen in Kombination mit einer möglichst kurzen Dauer der „striegelfreien“ Zeit für eine erfolgreiche Beikrautbekämpfung aus praktischer Sicht wünschenswert.

Als weitere Parameter der Pflanzenentwicklung zum Erntezeitpunkt wurden **Pflanzenhöhe, Frisch- und Trockenmasse der Pflanzenwurzeln** sowie **Frisch-**

**und Trockenmasse der Sprosse** erfasst. Anhand dieser Parameter kann das vegetative Wachstum innerhalb der Varianten und mit der Kontrolle verglichen werden. Auch **Anzahl und Durchmesser der Wurzelknöllchen** am Erntetag wurden erfasst. Im Versuch zur vorliegenden Bachelorarbeit ging es zwar nicht um direkte Parameter der Ertragsbildung bei Sojabohnen. Die erfolgreiche Ausbildung der Symbiose mit *B. japonicum* wurde jedoch unter anderem aufgrund des Einflusses auf Proteinertrag und Tausendkorngewicht (vgl. ZIMMER et al. 2016) als wichtiger Parameter der Pflanzenentwicklung eingestuft.

Des Weiteren wurde die Pflanzenentwicklung während des Versuchszeitraums durch gelegentliche Photographien von Einzelpflanzen und Varianten festgehalten (vgl. Kapitel 4).

### **3.2.2. Tägliche Bonitur**

Die Versuchsgefäße wurden jeden Vormittag auf das Sollgewicht von 393 g gegossen, gleichzeitig wurde das jeweilige BBCH-Stadium der sichtbaren Pflanzen erfasst. Die Versuchsbetreuung erfolgte immer ungefähr zur gleichen Tageszeit und durch die gleichen Personen. Aus den entstandenen Boniturlisten konnten Auflauftrate sowie die Dauer in Tagen bis zum Erreichen der verschiedenen BBCH-Stadien ermittelt werden. Nur die innerhalb der ersten drei Versuchswochen aufgelaufenen Pflanzen wurden bei späteren Berechnungen berücksichtigt. An einigen Tagen wurden außerdem Fotos angefertigt, auf denen Besonderheiten sowie die Entwicklung der verschiedenen Behandlungsvarianten sichtbar sind (vgl. Kapitel 4). Keimende Beikräuter wurden während der Versuchsperiode von Hand entfernt.

### **3.2.3. Ernte und Erhebung der weiteren Parameter**

Am 06.01.2017 wurde der Versuch beendet. Wie geplant wurden weitere Parameter zur Pflanzenentwicklung erhoben: Nach feststellen der Auflauftrate wurde bei allen aufgelaufenen Pflanzen die Höhe in cm gemessen. Dies erfolgte mithilfe eines Lineals, gemessen wurde von der Substratoberfläche bis zum höchsten Punkt der Pflanze. Die höchsten Blätter wurden hierbei nicht manuell nach oben gelegt.

Die Frischmasse wurde zunächst vom Spross bestimmt. Hierzu wurden die Pflanzen direkt oberhalb der Bodenoberfläche mit der Schere abgeschnitten und gewogen. Für

die spätere Bestimmung der Trockenmasse wurde jeder Spross mitsamt einem eindeutig beschrifteten Zettel in eine Aluminiumschale gelegt.

Die Wurzeln wurden zuerst gewaschen. Hierzu wurden Siebe in wassergefüllte Schüsseln getaucht, das Pflanzsubstrat konnte nach kurzer Einweichzeit vorsichtig von den Wurzeln entfernt werden. Die gewaschenen unterirdischen Pflanzenteile wurden ebenfalls in Aluminiumschalen platziert und nach kurzem Trocknen zuerst bezüglich ihrer Knöllchenentwicklung bonitiert. Erfasst wurden die Knöllchenanzahl an Haupt- und Nebenwurzel sowie der Durchmesser aller Knöllchen, die größer als 1 mm waren. Letzteres erfolgte mit einer Schiebelehre. Aus den erfassten Werten konnten spätere durchschnittliche Knöllchenmengen und –durchmesser sowohl für die Einzelpflanze als auch für jede Variante ermittelt werden.

Zuletzt wurde die Frischmasse der Wurzeln erfasst: Die unterirdischen Pflanzenteile jeder Einzelpflanze wurden gewogen und dann für die Trockenmassebestimmung wie die Sprosssteile mit vorbereiteten Beschriftungszetteln in Aluminiumschalen gelegt.

### **3.3. Datenauswertung**

Die Versuchsdaten wurden zunächst mit Microsoft Excel 2013 erfasst. Für die weitere Auswertung wurde eine bereinigte Version der Daten erstellt, die nur diejenigen Pflanzen enthält, die innerhalb der ersten drei Versuchswochen aufgelaufen sind (vgl. Anhang). Mithilfe von Excel wurden verschiedene Mittelwerte sowie Varianz und Standardabweichung berechnet (vgl. Anhang) und einige Diagramme erstellt (vgl. Kapitel 4).

Eine weitere statistische Auswertung wurde, in Ansätzen, mit IBM SPSS Statistics 24 vorgenommen. Dabei wurden die Unterschiede zwischen den Varianten mittels einfaktorieller Anova-Analyse bzw. Mediantest auf statistische Signifikanz geprüft. Für die Darstellung der Daten in der vorliegenden Arbeit wurden Streudiagramme gewählt, da diese hinsichtlich der geringen verwertbaren Datenmenge eindeutiger erscheinen als Boxplots.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Auflaufrate und Wachstumsgeschwindigkeit

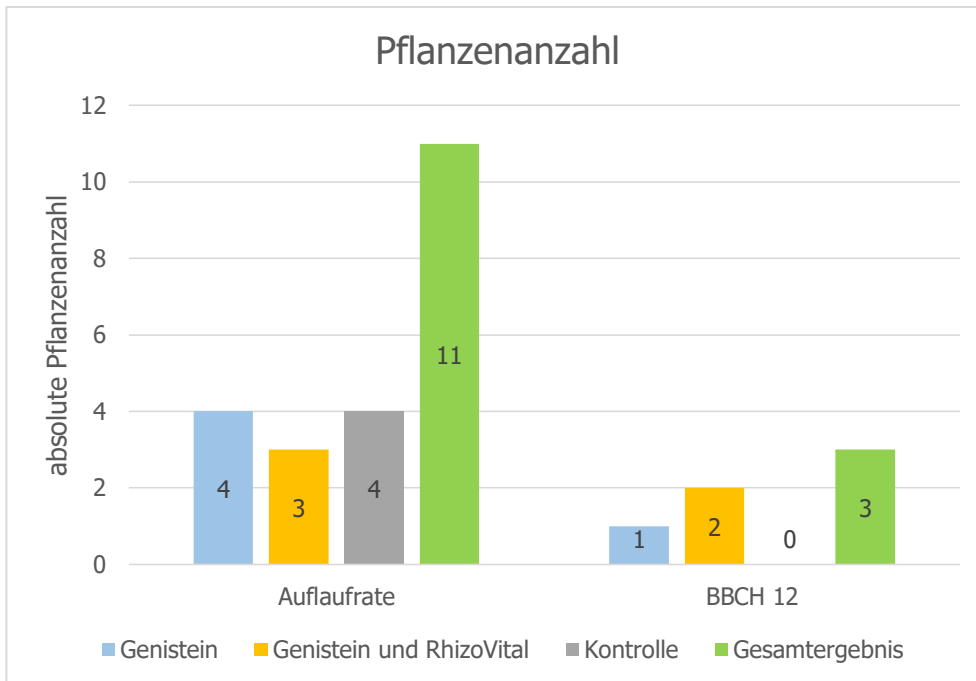


Abbildung 1: Pflanzenanzahl in den BBCH-Stadien 09 (Auflaufrate) und 12.

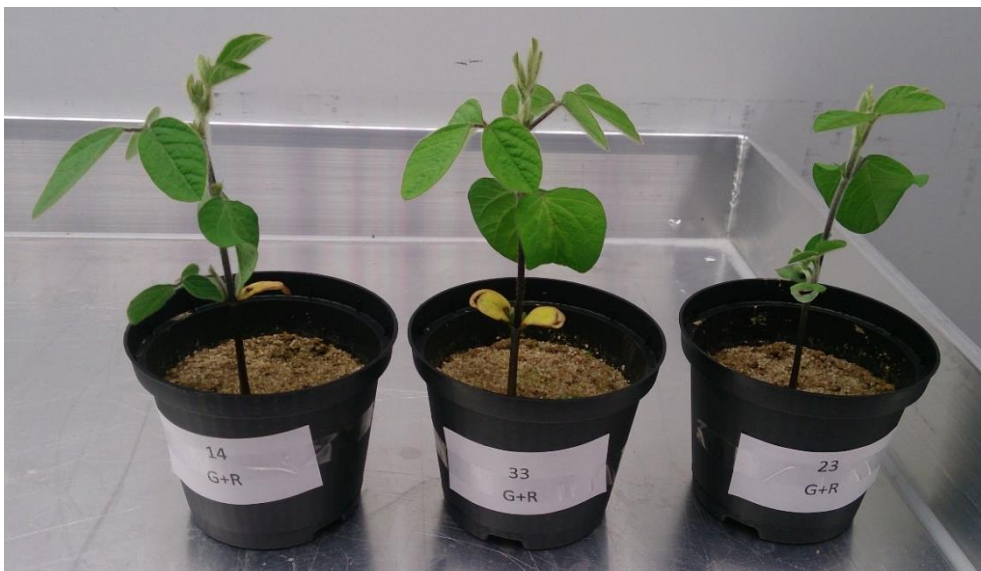
Absolute Pflanzenanzahl. Angaben nach Variante. Pflanzen der Variante RhizoVital sind nicht aufgelaufen und in der Abbildung nicht enthalten. Die Pflanzenanzahl blieb bis einschließlich BBCH 11 unverändert.

Innerhalb der ersten drei Versuchswochen liefen insgesamt elf von 48 Pflanzen auf. Später keimende Pflanzen wurden für die Auswertung des Versuchs nicht berücksichtigt. In Abbildung 1 ist sichtbar, wie viele Pflanzen dabei pro Variante aufgelaufen sind: vier Pflanzen der Variante „G“, drei der Variante „G+R“ und vier der Kontrollvariante „K“. Drei der elf aufgelaufenen Pflanzen erreichten innerhalb des sechswöchigen Versuchszeitraums das zweite Laubblattstadium, eine davon gehörte zur Variante „G“, zwei zur Variante „G+R“. Die übrigen Pflanzen befanden sich zum Erntezeitpunkt im ersten Laubblattstadium oder im Übergang zum zweiten (BBCH 12).





a) Kontrollvariante



b) Variante "G+R"



c) Variante "G"

Abbildung 2a-c: Sojapflanzen am letzten Versuchstag

Die Abbildungen 2a bis c zeigen die elf entwickelten Pflanzen am letzten Versuchstag. Viele Keimblätter waren zu diesem Zeitpunkt gelb oder bereits abgefallen. Einzelne Pflanzen zeigten weitere Zeichen einer anormalen Entwicklung wie z.B. die Ausbildung nur eines Laubblattes am ersten Nodium. Zur normalen Entwicklung der Laubblattpaare am zweiten Nodium kann aufgrund des Erntezeitpunktes keine endgültige Aussage gemacht werden.

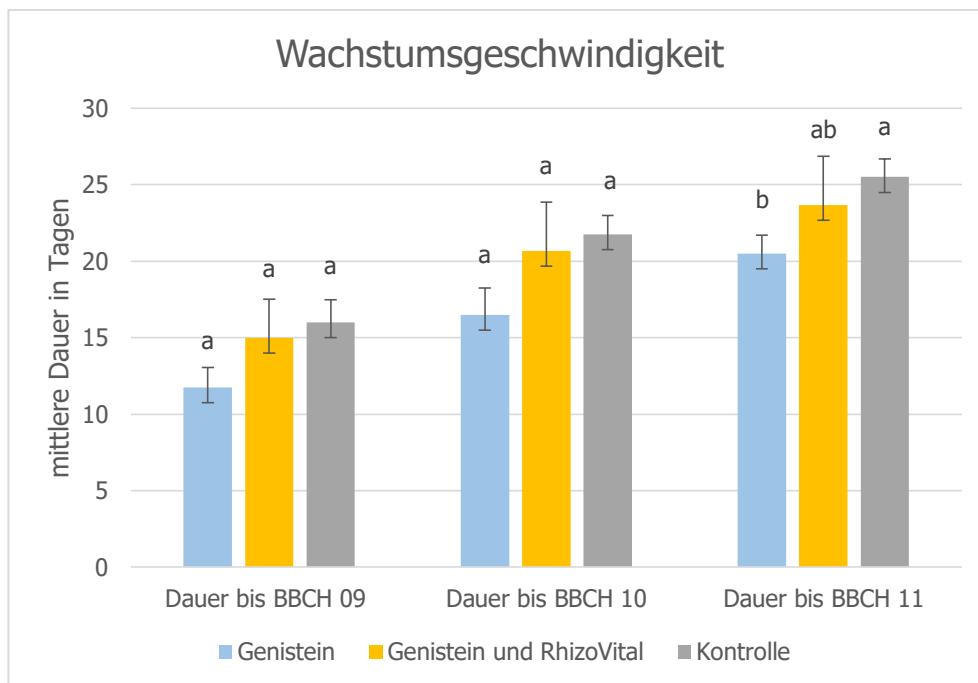


Abbildung 3: mittlere Dauer in Tagen bis zum Erreichen der BBCH-Stadien 09, 10, 11.

Mittelwerte der Varianten. Pflanzen der Variante RhizoVital sind nicht aufgelaufen und in der Abbildung nicht enthalten. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $\alpha=0,05$ ) zwischen den Varianten. Die verschiedenen Zeitpunkte wurden nicht gegeneinander getestet. Die Fehlerbalken geben jeweils den mittleren Fehler des dargestellten Mittelwertes an (gerundete Werte).

Abbildung 3 zeigt anhand der mittleren Dauer in Tagen bis zum Erreichen der dokumentierten BBCH-Stadien 09, 10 und 11 die Wachstumsgeschwindigkeit der Versuchspflanzen. Dabei zeigen die Säulen die Mittelwerte der jeweiligen Variante. Beim Betrachten der Graphik muss jedoch beachtet werden, dass die Stichproben der jeweiligen Varianten jeweils nur aus drei („G+R“) bzw. vier Pflanzen („G“, „K“) bestehen. Bei Variante „G+R“ sind zudem die Abweichungen vom Mittelwert am größten (vgl. Abbildung 3 und Tabelle A 9: Standardabweichungen im Anhang).

Variante „G“ zeigt insgesamt die schnellste Wachstumsgeschwindigkeit: Die BBCH-Stadien 09 bis 11 erreichten die Pflanzen dieser Variante durchschnittlich am schnellsten. Der Vorsprung zu den durchschnittlichen Werten der Variante „G+R“ sowie zur Kontrollvariante betrug dabei etwa drei bis fünf Tage. Die Variante „G+R“ wies ebenfalls im Vergleich zur Kontrolle eine höhere Wachstumsgeschwindigkeit auf. Die Anwendung des Mediantests in IBM SPSS Statistics ergab nur für die Dauer bis zum BBCH-Stadium 11 signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten. Signifikant unterschiedlich waren dabei die Varianten „G“ und „K“, d.h. mit *Genistein Soy Complex Powder* vorbehandelte Pflanzen erreichten das erste Laubblattstadium in einem signifikant kürzeren Zeitraum als die Kontrollvariante. Die statistischen Auswertungsmöglichkeiten waren jedoch aufgrund der geringen Auflauftrate sehr eingeschränkt.

Da nur drei der elf Pflanzen das BBCH-Stadium 12 innerhalb des Versuchszeitraumes erreichten, wurde dieses Stadium in Abbildung 3 nicht mit aufgeführt. Es konnte jedoch festgestellt werden, dass eine Pflanze der Variante „G“ sowie zwei Pflanzen der Variante „G+R“ und keine Pflanze aus der Kontrollvariante (sowie kein Exemplar der generell nicht aufgelaufenen Variante „R“) das zweite Laubblattstadium bis zum Auswertungstag erreichten.

Die Abbildungen 4 bis 6 zeigen ebenfalls die Wachstumsgeschwindigkeit der Sojapflanzen, geordnet nach Varianten. Im Gegensatz zu Abbildung 3 sind hier nicht die Mittelwerte, sondern die Werte der Einzelpflanzen dargestellt. Variante „G“ lief nach neun bis 14 Tagen auf (BBCH 09), erreichte nach 13 bis 20 Tagen das BBCH-Stadium 10 und nach 18 bis 23 Tagen das erste Laubblattstadium (BBCH 11). Variante „G+R“ erreichte das BBCH-Stadium 09 nach zwölf bis 20 Tagen, das BBCH-Stadium 10 nach 17 bis 27 Tagen und das BBCH-Stadium 11 nach 20 bis 30 Tagen. Die Kontrollvariante brauchte jeweils 13 bis 20, 19 bis 25 und 24 bis 29 Tage.

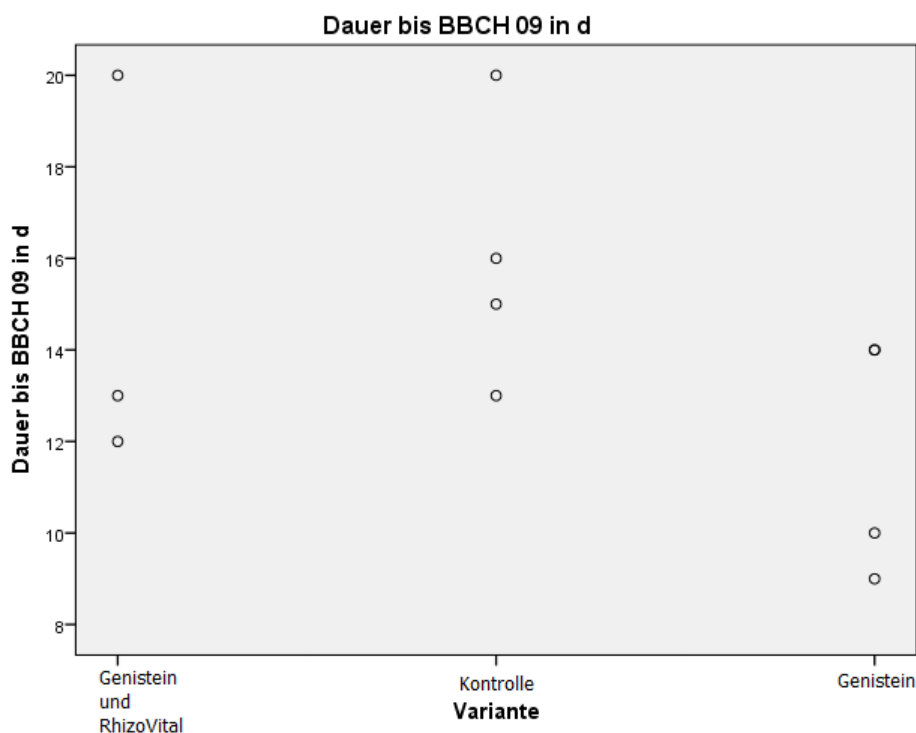


Abbildung 4: Dauer bis BBCH 09 in Tagen.

Streuung der aufgelaufenen Varianten. Jeder Punkt steht für eine Einzelpflanze.

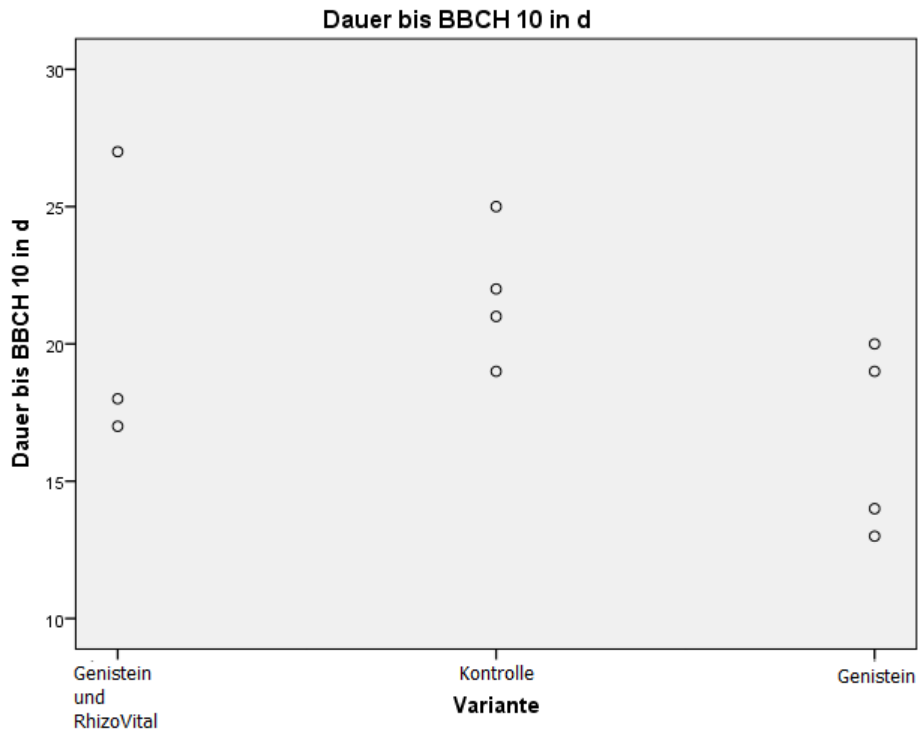


Abbildung 5: Dauer bis BBCH 10 in Tagen.

Streuung der aufgelaufenen Varianten. Jeder Punkt steht für eine Einzelpflanze.

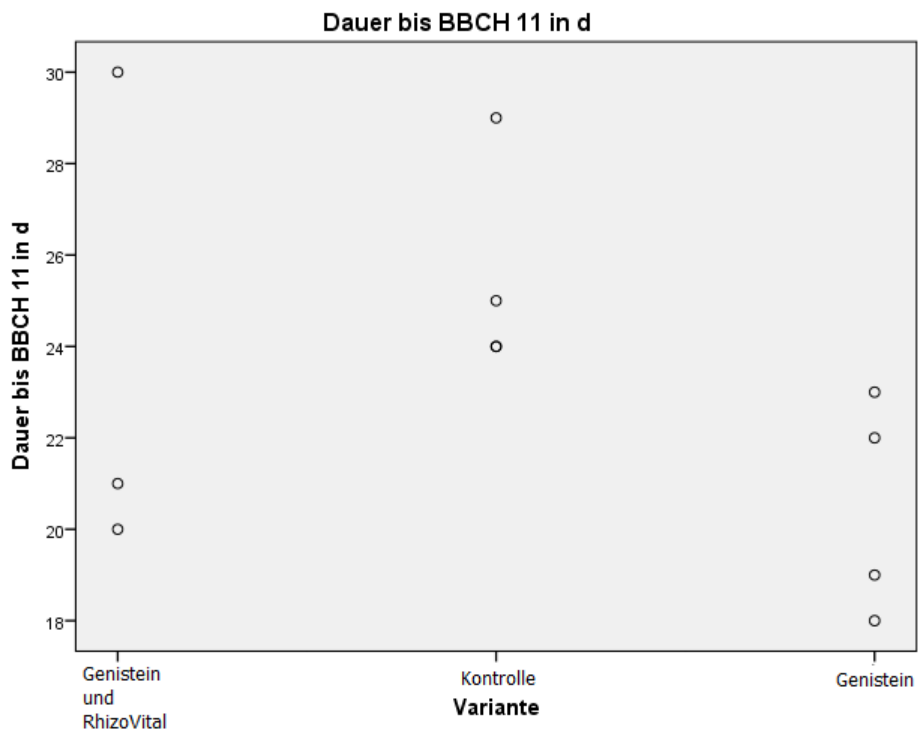


Abbildung 6: Dauer bis BBCH 11 in Tagen.

Streuung der aufgelaufenen Varianten. Jeder Punkt steht für eine Einzelpflanze.

## 4.2. Pflanzenhöhe

Abbildung 7 zeigt die am Auswertungstag bestimmten Höhen der Einzelpflanzen, geordnet nach Varianten. Alle Messwerte liegen im Bereich zwischen elf und 16 cm, signifikante Unterschiede zwischen den Varianten gibt es laut der mit IBM SPSS Statistics durchgeführten einfaktoriellen Anova-Analyse jedoch nicht.

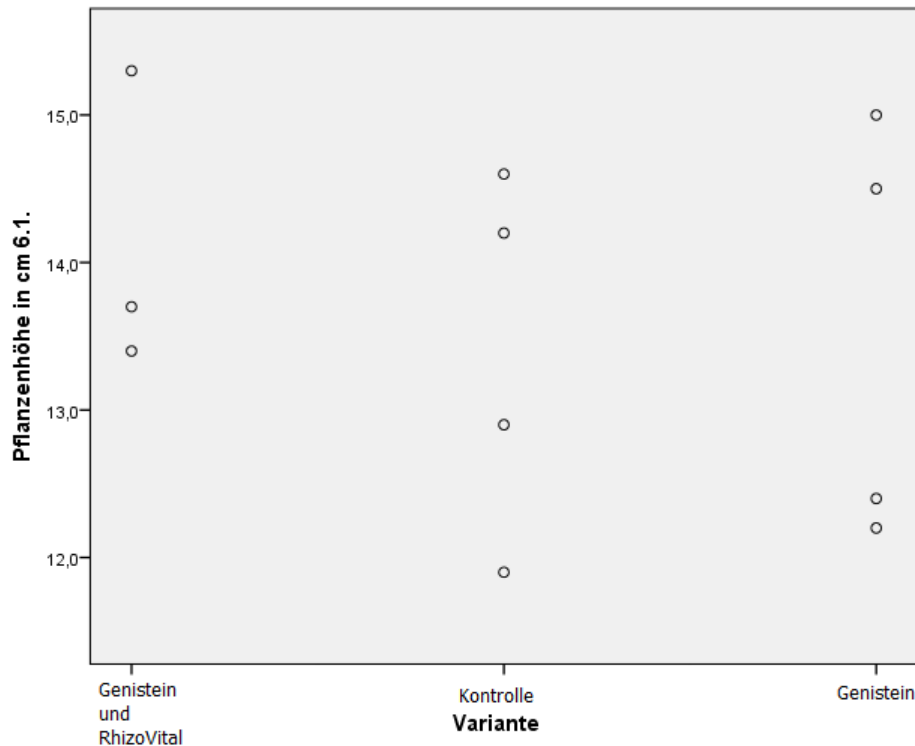


Abbildung 7: Pflanzenhöhe am Auswertungstag (6.1.2017).

Messung bis zum höchsten Punkt, ohne Anlegen der Blätter. Darstellung der Streuung nach Varianten. Jeder Punkt steht für eine Einzelpflanze.

## 4.3. Frisch- und Trockenmasse

Auch für die Frisch- und Trockenmasse von Spross und Wurzel ergeben sich laut der Anova-Analyse mit IBM SPSS Statistics keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Bei der Betrachtung der Sprossmasse (Abbildung 8 und Abbildung 9) fällt auf, dass die Kontrollvariante sowohl bei Frisch- als auch bei Trockenmasse die geringste Streuung zeigt. Die erfassten Werte bewegen sich für diese Variante zwischen 12,73 g und 13,63 g bei der Frischmasse und zwischen 0,4 g und 0,45 g bei der Trockenmasse. Bei Variante „G“ bewegen sich die Werte der Frischmasse im Bereich von 1,08 bis 2,56 g,

die der Trockenmasse von 0,32 g bis 0,69 g. Variante „G+R“ variiert bzgl. der Frischmasse von 1,69 g bis 2,27 g und bzgl. der Trockenmasse von 0,33 g bis 0,65 g.

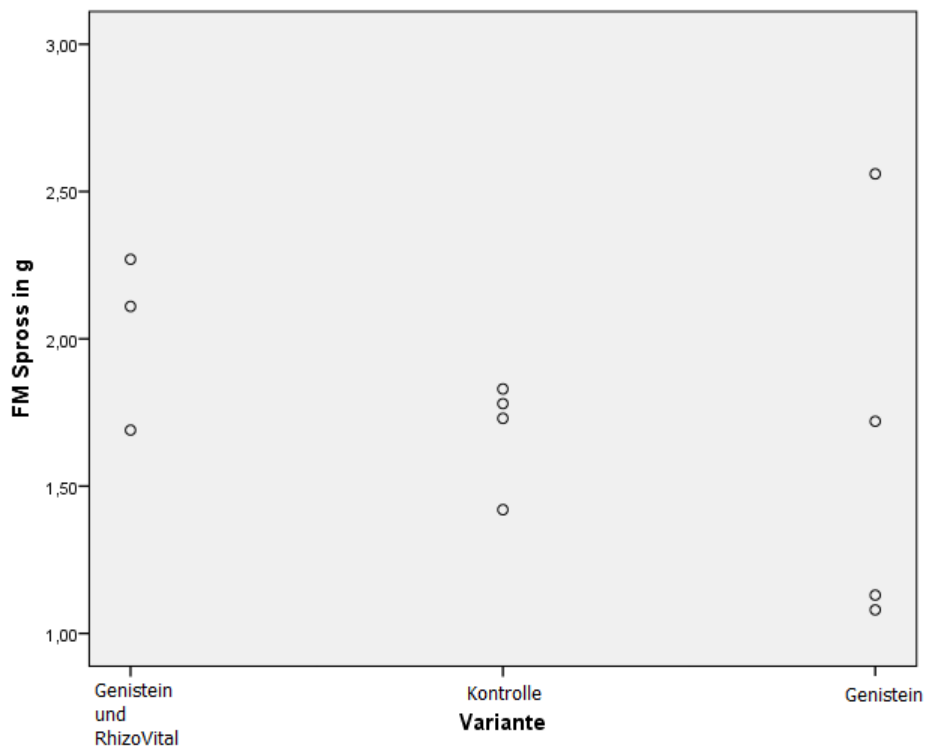


Abbildung 8: Frischmasse Spross in g direkt nach der Ernte (6.1.2017).

Streuung nach Varianten

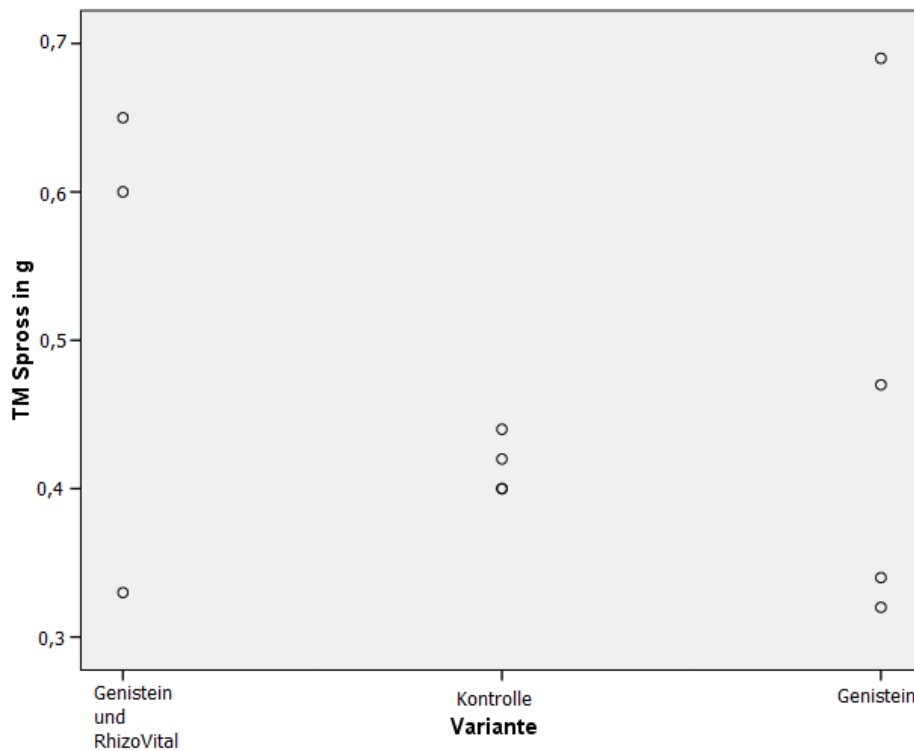


Abbildung 9: Trockenmasse Spross in g.

Trocknung 48 h bei 105°C im Trockenschrank. Darstellung der Streuung nach Varianten.

Betrachtet man die Wurzelmasse (Abbildung 10 und Abbildung 11), so findet sich ebenfalls die geringste Streuung bei der Kontrollvariante. Hier gibt es jedoch auch bei der Kontrolle ein Spektrum von 1,01 g bis 1,42 g Frischmasse und von 0,18 g bis 0,23 g Trockenmasse. Variante „G“ bewegt sich im Bereich von 1,19 g bis 2,19 g Frischmasse und 0,17 g bis 0,29 g Trockenmasse, Variante „G+R“ weist Werte zwischen 0,8 g und 2,17 g für die Frischmasse und zwischen 0,15 g und 0,29 g für die Trockenmasse auf.

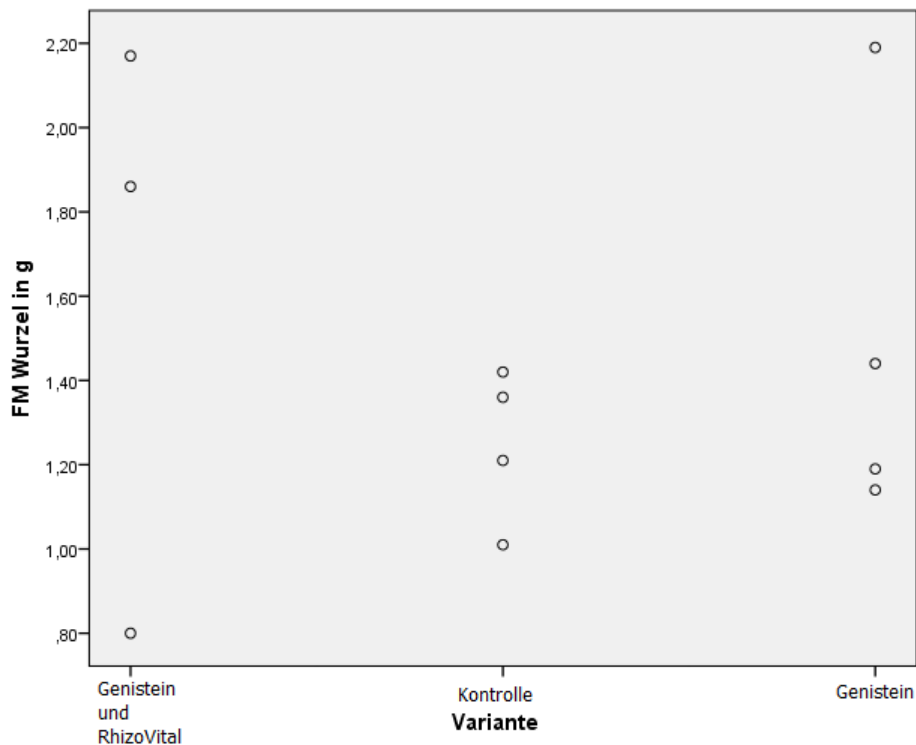


Abbildung 10: Frischmasse Wurzel in g direkt nach der Ernte (6.1.2017).  
Darstellung der Streuung nach Varianten.



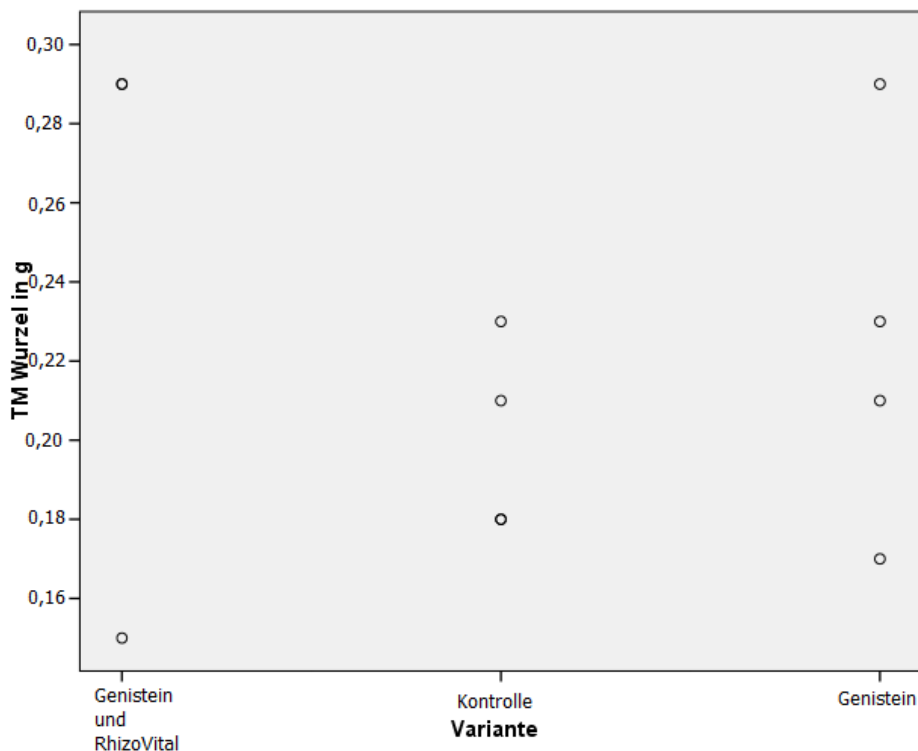


Abbildung 11: Trockenmasse Wurzel in g.

Trocknung 48 h bei 105°C im Trockenschrank. Darstellung der Streuung nach Varianten.

#### 4.4. Größe und Anzahl der Knöllchen

Auch bezüglich der Größe und Anzahl der Knöllchen ergibt die Anova-Analyse in IBM SPSS Statistics keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten. Die Gesamtknöllchenzahl pro Pflanze bewegt sich in einem Bereich von 25 bis 72 Knöllchen und ist innerhalb aller Varianten relativ breit gestreut (vgl. Abbildung 12). Auch für den mittleren Knöllchendurchmesser der Hauptwurzelknöllchen (vgl. Abbildung 13) lassen sich kaum eindeutige Aussagen treffen. Die geringste Streuung der mittleren Knöllchendurchmesser (in Bezug auf diejenigen Knöllchen an der Hauptwurzel, die größer als 1 mm waren) weist die Variante „G+R“ auf, die Durchmesser bewegen sich hier im Bereich von 1,75 mm bis 1,94 mm. Der größte mittlere Knöllchendurchmesser tritt mit 2,27 mm bei der Variante „G“ auf, der kleinste mit 1,23 mm bei der Kontrollvariante.

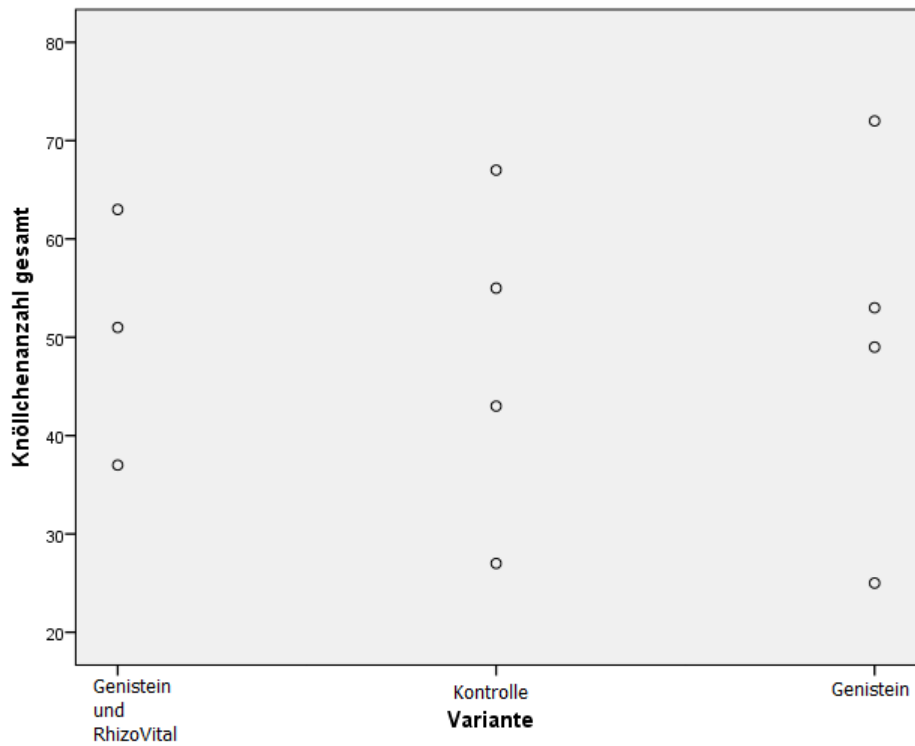


Abbildung 12: Gesamtanzahl der Knöllchen pro Pflanze

Streuung nach Varianten. Jeder Punkt repräsentiert die absolute gesamte Knöllchenanzahl einer Einzelpflanze.

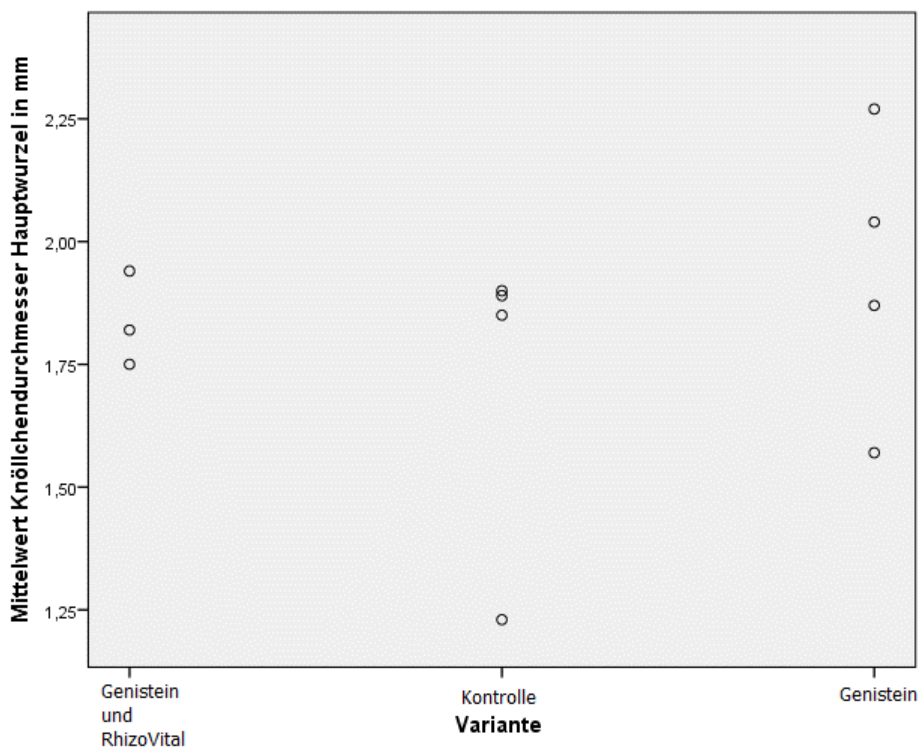


Abbildung 13: Mittelwerte der Knöllchendurchmesser an der Hauptwurzel in mm.

Streuung nach Varianten. Ein Punkt entspricht dem Mittelwert der Knöllchendurchmesser (Hauptwurzel) einer Einzelpflanze. Bestandteil der Messung waren nur diejenigen Knöllchen, deren Durchmesser größer als 1 mm war.

## 5. Diskussion

### 5.1. Einfluss der Saatbeigaben auf Auflaufrate und Wachstumsgeschwindigkeit

Die **Auflaufrate** war mit insgesamt elf von 48 Pflanzen, was ca. 22,92 % entspricht, deutlich geringer als erwartet. Variante „R“ lief innerhalb der ersten drei Versuchswochen überhaupt nicht auf und lieferte somit ein schlechteres Ergebnis als die Kontrollvariante. Die Applikation von *RhizoVital* durch Übergießen des Sojasaatguts ist somit, unter den gegebenen Umständen, als ineffektiv einzustufen. Andere Anwendungsarten können aufgrund des durchgeführten Versuchs nicht bewertet werden. Variante „R“ wird in der folgenden Diskussion nicht weiter berücksichtigt. Verschiedene potenzielle Fehlerquellen sind als Ursachen für die insgesamt geringe Auflaufrate möglich:

Als eine potenzielle Fehlerquelle wurde das verwendete *Saatgut* in Betracht gezogen. Es stammte aus dem Jahr 2015 und war somit bei der Einsaat (Ende November 2016) mehr als ein Jahr gelagert worden. Sowohl die geringe Auflaufrate als auch fleckenartige Symptome auf den Blättern aufgelaufener Pflanzen ließen eine beeinträchtigte Saatgutqualität vermuten. Um Klarheit zu bekommen, wurde noch während der Versuchslaufzeit eine Saatgutprobe an die Landesanstalt für Landwirtschaft Bayern (LfL) geschickt und dort überprüft. Diese Prüfung ergab eine Keimfähigkeit von 79 % und eine Triebkraft<sup>3</sup> von 74 %. Das Wachstum der Pflanzen war laut den zuständigen Mitarbeitern der LfL normal und ohne Auffälligkeiten. Anormale Keimlinge hatten Wurzelschäden, was laut LfL nicht ungewöhnlich ist und sich auf Druschschäden zurückführen lässt. Die im eigens vor Versuchsbeginn durchgeführten Keimtest ermittelte höhere Keimfähigkeit könnte durch einen ungünstig gewählten Auswertungszeitpunkt bedingt gewesen sein: Bei zu früher Auswertung ist eine sichere Unterscheidung zwischen normalen und anormalen Keimlingen laut Mitarbeitern der LfL nicht möglich. Die Testergebnisse der LfL sprechen gegen das verwendete Saatgut als Fehlerquelle. Trotzdem lässt sich nicht ausschließen, dass kürzer gelagertes Saatgut eine höhere Auflaufrate gezeigt hätte. Eine Qualitätsprüfung des Saatguts vor Versuchsbeginn ist für Folgeversuche in jedem

---

<sup>3</sup> Triebkrafttest: eine Woche bei 10°C in der Kühlzelle, danach eine Woche bei 25°C und 90 % Luftfeuchtigkeit in der Klimakammer. Testergebnis kommt, laut Mitarbeitern der LfL, dem tatsächlichen Feldaufgang sehr nahe.

Fall empfehlenswert. Die Übertragbarkeit der im verwendeten Test ermittelten Keimrate auf die Auflauftrate im Gefäßversuch ist jedoch, zumindest aufgrund der Erfahrungen des hier beschriebenen Versuchs, nicht gewährleistet.

Um weitere potenzielle Ursachen für die schlechte Auflauftrate darzustellen, werden im Folgenden verschiedene Umstände des Versuchsaufbaus diskutiert:

Mehrere Unsicherheitsfaktoren bringt das verwendete *Substrat* mit sich: Prinzipiell könnte Feldboden mit bodenbürtigen Schaderregern belastet sein. Das ist allerdings in diesem Fall eher unwahrscheinlich, da der gleiche Boden vom Gladbacherhof bereits in Vorgängerversuchen des Forschungsprojektes „Verbesserung der Jugendentwicklung von Sojabohnen durch Priming und Saatgutbeigaben“ (TOBISCH et al. 2015) verwendet wurde und sich dabei nicht die gleiche schlechte Auflauftrate und die Symptome an den Blättern zeigten. Anders als im Vorversuch war der für die Substratmischung verwendete Sand. Dieser wurde jedoch abgepackt gekauft und kann somit ebenfalls kaum als Überträger von bodenbürtigen Krankheitserregern fungiert haben. Gegebenenfalls könnte ein Nährstoffmangel im Substrat (z.B. Schwefelmangel) erklären, warum auch die aufgelaufenen Pflanzen keine ideale Entwicklung zeigten. Das Substrat wurde keinen Laborversuchen zur Klärung dieser Frage unterzogen. Allerdings kann auch diesbezüglich auf das Fehlen ähnlicher Symptome in vorangegangenen Versuchen verwiesen werden.

Eine weitere mögliche Fehlerursache könnte die Art und Weise der *Einsaat* gewesen sein: Die Durchführenden waren nicht professionell ausgebildet und die Einsaat wurde direkt nach vorheriger Befeuchtung des Pflanzsubstrats, ohne erneute Rücktrocknung, durchgeführt. Dies wurde von erfahrenem Personal am Versuchsort kritisch angemerkt, da dieses Vorgehen ggf. Verschlammungsgefahr bergen könnte. Fehler aufgrund wechselnder Aufgaben der beteiligten Personen können hingegen ausgeschlossen werden: Die Rollenverteilung blieb innerhalb des Einsaatprozesses gleich und klar geregelt. Auch Konzentrationsschwäche der Beteiligten ist als maßgebliche Ursache auszuschließen, da die Einsaat nach sorgfältiger Planung zügig und reibungslos durchgeführt werden konnte. Für die Vermutung, dass im Pflanzsubstrat ein gewisses Maß an Verschlammung entstand, spricht die Tatsache,

dass bei teilweise umgegrabenen Versuchsgefäßen z.T. Samen gefunden wurden, die unterirdisch gekeimt waren, aber innerhalb der ersten dreieinhalb Versuchswochen bzw. innerhalb des gesamten Versuchszeitraums nicht die Bodenoberfläche durchbrachen. Diese Entdeckung könnte jedoch auch mit mangelnder Triebkraft begründet werden und war kein Massenphänomen: Der überwiegende Teil der nicht gekeimten Samen war am Ende des Versuchszeitraums verfault; zum Zustand am Anfang der Versuchszeit kann keine Aussage getroffen werden.

Auch bezüglich der *Wasserversorgung* gibt es einige mögliche Fehlerursachen: Beispielsweise wurde zum Gießen eine Spritzflasche verwendet, was im Vergleich zu einer Gießkanne mit Tülle eine höhere Gefahr der Bodenverschlämmung birgt (vgl. Ausführungen zur Einsaat unter 5.1). Auch die Genauigkeit der Waage war für exaktes Aufgießen auf Sollgewicht nicht ideal, da die Anzeige teilweise sehr langsam reagierte. Es bestand somit eher die Gefahr, zu viel zu gießen. Das Aufgießen auf etwa 60 % der Wasserhaltekapazität bewegte sich im grundsätzlich üblichen Bereich und kann als solches nicht als Ursache für ggf. zu feuchtes Substrat angesehen werden. Das regelmäßige Gießen im Tagesabstand als Ursache für zu viel Feuchtigkeit und Luftausschluss und daraus folgende suboptimale Pflanzenentwicklung ist jedoch nicht auszuschließen.

Als Ursache für die schlechte Keimrate ebenfalls nicht auszuschließen ist die *Versuchstemperatur*. Die gewählten 15°C liegen deutlich unterhalb der optimalen Keimtemperatur für Soja von 25-30°C (ZHANG und SMITH 1996). Auch hier kann jedoch darauf verwiesen werden, dass ein vorangegangener Versuch innerhalb des gleichen Forschungsprojektes (TOBISCH et al. 2015) bei 15°C eine höhere Keimrate zeigte und auch für andere Studien, wie z.B. von ZHANG und SMITH (1995) bereits erfolgreich Versuche bei 15°C bzw. 17,5°C durchgeführt wurden. Auch ZHANG und SMITH (1997) berichten von verzögertem Auflaufen der Keimlinge bei niedrigen Temperaturen (unter 15°C bis Juni, unter 20°C bis Juli), allerdings unter Freilandbedingungen. Die Versuchstemperatur kann somit durchaus als einschränkender oder verzögernder Faktor für erfolgreiches Auflaufen angesehen werden. Ob sie jedoch den hohen Anteil von fast 77 % nicht aufgelaufener Pflanzen erklären kann, ist fraglich.

Auch innerhalb der als Versuchsstandort gewählten *Klimakammer* selbst gab es einige Faktoren, die als Fehlerursache zwar fraglich sind, aber nicht vollständig ausgeschlossen werden können: Zur Aufrechterhaltung der Temperatur lief beispielsweise dauerhaft die Lüftung. Das erzeugte Raumklima war also niemals vollkommen „windstill“. Außerdem gab es in der Kammer eine neue Lichtanlage, mit der noch keine langjährige Erfahrung besteht. Da zumindest die Keimung der Sojapflanzen allerdings auch lichtunabhängig funktionieren müsste, kann das fehlende Auflaufen hiermit jedoch nicht begründet werden. Einflüsse des Kammerklimas wurden außerdem durch die Aufstellung der Gefäße bewusst minimiert (vgl. Kapitel 3.1.1): Die Einzelpflanzen waren per Los randomisiert und danach durchnummeriert, die Gefäße wurden täglich rotiert (Umstellung der ersten Reihe nach hinten).

Zur **Wachstumsgeschwindigkeit** können aufgrund der geringen Auflauftrate kaum Aussagen von statistischer Bedeutsamkeit getroffen werden. Dennoch waren einige Tendenzen sichtbar: Variante „G“ zeigte im Durchschnitt die schnellste Wachstumsgeschwindigkeit, Variante „R“ jedoch überhaupt keine aufgelaufenen Pflanzen. Der Vorsprung von „G+R“ gegenüber der Kontrolle war dementsprechend vermutlich auf den Effekt des *Genistein Soy Complex Powder* zurück zu führen. Zum Einfluss von Genistein und anderen Isoflavonoiden auf die Wachstumsgeschwindigkeit liegen zwar keine Studien vor. Der positive Einfluss lässt sich jedoch gut durch die an anderer Stelle erläuterten Auswirkungen auf Knöllchenbildung, N<sub>2</sub>-Fixierung, Trockenmasse und Gesamtertrag der Pflanzen erklären bzw. in Zusammenhang bringen. Positive Einflüsse von Genistein auf Knöllchenanzahl und N<sub>2</sub>-Fixierung, wie sie beispielsweise ZHANG und SMITH (1995) erläutern, wirken sich beispielsweise wiederum auf die weitere Pflanzenentwicklung aus und könnten dementsprechend auch eine schnellere Wachstumsgeschwindigkeit unterstützen. Die Wachstumsgeschwindigkeit im hier betrachteten Versuch war jedoch auch innerhalb der Varianten nicht einheitlich.

## **5.2. Einfluss der Saatbeigaben auf die Pflanzenhöhe**

Die **Pflanzenhöhe** war zwischen den Varianten nicht signifikant unterschiedlich, was mit den Ergebnissen von BELKHEIR et al. (2000) und ZHANG und SMITH (1996) zur Wirkung von Genistein übereinstimmt. Im Allgemeinen gibt es allerdings nicht viele Ausführungen zur Auswirkung ähnlicher Saatbeigaben auf die Pflanzenhöhe.

Da die Pflanzen im hier betrachteten Versuch nicht homogen aufgelaufen sind, können Unterschiede ggf. auch auf den zeitlichen Vorsprung von Einzelpflanzen zurückgeführt werden. Die Stichprobe der aufgelaufenen Pflanzen war zu klein, um eindeutige Tendenzen hinsichtlich der Pflanzenhöhe – sowohl innerhalb der Varianten als auch zwischen den Varianten – auszumachen.

### **5.3. Einfluss der Saatbeigaben auf Frisch- und Trockenmasse**

Angelehnt an Untersuchungen und Zusammenfassungen von RODRÍGUEZ-NAVARRO et al. (2011) wären positive Auswirkungen der Inokulation mit *Bacillus*-Stämmen auf die Pflanzenmasse zu erwarten gewesen. Die durchgeführte Gießbehandlung mit *RhizoVital* führte nicht zum erwarteten Ergebnis, stattdessen liefen Pflanzen, die (zusätzlich zur regulären Impfung) nur mit *RhizoVital* behandelt wurden, im hier dargestellten Versuch gar nicht auf. Nicht auszuschließen ist jedoch eine höhere Effektivität des *Bacillus amyloliquefaciens* enthaltenden Produktes bei anderer Anwendungsart.

DOLATABADIAN et al. (2012) führten Versuche mit Soja unter Salzstress durch. Sie konnten eine wachstumsfördernde Wirkung der Vorbehandlung des *B. japonicum*-Impfmittels mit Genistein nachweisen und stellten ebenfalls einen signifikanten Effekt dieser Maßnahme auf das Wurzelvolumen der Sojapflanzen fest. MIRANSARI und SMITH (2008) stellten ebenfalls eine z.T. höhere Frisch- und Trockenmasse von Spross und Wurzel durch Genisteinzugabe fest. Sie belegten darüber hinaus aber auch die Abhängigkeit der Wurzelmasse von der Bodenart. Im eigenen Versuch konnten die positiven Auswirkungen der Genisteinzugabe auf **Frisch- und Trockenmasse** der Sojapflanzen nicht eindeutig bestätigt werden.

Das ungleichmäßiger erscheinende Wachstum der Varianten „G“ sowie „G+R“ im Vergleich zur Kontrollvariante könnte eventuell durch ungleichmäßige Verteilung des *Genistein Soy Complex Powder* auf die Samen der damit behandelten Varianten zurück zu führen sein. Eine gute Benetzung des Saatguts mit der Mischung aus Impfmittel und *Genistein Soy Complex Powder* wurde zwar, soweit möglich, sichergestellt. Aufgrund der relativ kleinen verwendeten Mengen kann die Gleichmäßigkeit der

Verteilung jedoch in Bezug auf die Streuung der Ergebnisse durchaus in Frage gestellt werden.

Die Streuung bei Betrachtung der **Wurzelfrischmasse** kann ggf. auf das Auswertungsverfahren zurückgeführt werden: Die Wurzeln wurden, nach Abschneiden des oberirdischen Sprosses, zunächst gewaschen, um die Knöllchenbonitur zu ermöglichen. Obwohl die gewaschenen Wurzeln erst nach der Knöllchenbonitur und Trocknung an der Luft gewogen wurden, können Einflüsse der durch das Waschen bedingten Feuchtigkeit auf das Gewicht der Wurzeln nicht ganz ausgeschlossen werden.

#### **5.4. Einfluss der Saatbeigaben auf Größe und Anzahl der Knöllchen**

Laut ZHANG und SMITH (1995) „verlangsamen suboptimale Temperaturen im Wurzelraum die Knöllchenentwicklung, insbesondere Temperaturen unter 17°C<sup>4</sup>. Die Vorbehandlung von *B. japonicum* mit Genestein wirkt sich, laut ZHANG und SMITH (1995) bei suboptimalen Temperaturen jedoch positiv auf Merkmale der N<sub>2</sub>-fixierenden Symbiose aus: verkürzte Zeit bis zur Krümmung der Wurzelhaare [wie in SCHUBERT (2011: 119–124) überblicksweise dargestellt, ist die Wurzelhaarkrümmung einer der Schritte im Infektionsprozess zwischen Pflanze und Bakterium], eine frühere N<sub>2</sub>-Fixierung, höhere Knöllchenanzahl und –größe sowie eine größere Gesamtmenge an fixiertem Stickstoff waren die Folgen. Diese positive Wirkung der Genesteinzugabe wiesen ZHANG und SMITH (1995) allerdings nur für suboptimale, nicht für optimale, Temperaturen nach.

DOLATABADIAN et al. (2012) konnten ebenfalls eine höhere Knöllchenzahl und höheres Knöllchengewicht durch die Vorbehandlung von *B. japonicum* mit Genestein feststellen. Zum gleichen Ergebnis kamen auch MIRANSARI und SMITH (2008), deren Untersuchungen jedoch darüber hinaus einen Zusammenhang zwischen der Bodenart und der Wirksamkeit von Genestein feststellten. In Lehm- und Tonböden war der Einsatz von Genestein effektiver als in Sandböden.

---

4 Originalzitat: “[...] suboptimal root zone temperatures (RZTs) slow nodule development, especially at temperatures below 17°C [...]” (ZHANG und SMITH 1995)



Die oben aufgeführten Studien ließen für den hier behandelten Versuch, bei der Versuchstemperatur von 15°C, eine höhere Knöllchenanzahl für die mit Genistein vorbehandelten Varianten „G“ sowie „G+R“ erwarten. Die Trockenmasse der Knöllchen wurde im durchgeführten Versuch nicht erfasst, stattdessen spielte der Knöllchendurchmesser als Parameter eine Rolle. Aufgrund des Kenntnisstandes zu Knöllchenanzahl und –trockenmasse wäre auch ein höherer Knöllchendurchmesser für die mit *Genistein Soy Complex Powder* behandelten Varianten zu erwarten gewesen. Entgegen der Erwartungen gab es jedoch bezüglich **Größe und Anzahl der Knöllchen** keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten. Auch innerhalb der Varianten war eine relativ breite Streuung der Knöllchenanzahl festzustellen. Der höchste Mittelwert der Knöllchendurchmesser der Hauptwurzel (Einzelpflanze) trat bei Variante „G“ auf, der niedrigste bei der Kontrollvariante. Diese Feststellung passt tendenziell zu den Erwartungen, das Gesamtergebnis erscheint jedoch nicht repräsentativ für allgemeine Rückschlüsse. Ein möglicher Grund, warum Unterschiede nicht gut zu erkennen sind, könnte theoretisch der relativ frühe Messzeitpunkt sein. Allerdings wurde auch in anderen wissenschaftlichen Versuchen teilweise ein ähnlicher Messzeitpunkt gewählt:

DOLATABADIAN et al. (2012) und auch MIRANSARI und SMITH (2008) bonitierten die Knöllchen fünf Wochen nach der Aussaat. ZIMMER et al. (2016) maßen zweifach, sechs Wochen nach der Aussaat und zur Blüte, BELKHEIR et al. (2000) wählten unterschiedliche Boniturzeitpunkte. HARRIS et al. (2005) führten ebenfalls eine Knöllchenbonitur sechs Wochen nach der Aussaat durch, das entsprach jedoch bei den dort durchgeführten Versuchen schon der Blütezeit. Da aus den genannten Versuchen eindeutigere Rückschlüsse bezüglich der Knöllchenentwicklung gezogen werden konnten als aus dem für diese Bachelorarbeit durchgeführten Versuch, kann der Wachstumszeitraum bis zur Bonitur allein nicht ausschlaggebend sein. Von größerer Bedeutung ist jedoch wahrscheinlich der in diesem Zeitraum erreichte Status der Pflanzenentwicklung.

Der oben erwähnte Zusammenhang zwischen der Bodenart und der Effektivität von Genistein (MIRANSARI und SMITH 2008) könnte im hier durchgeführten Versuch ebenfalls als Ursache für einen weniger deutlichen Vorsprung der Varianten „G“ sowie „G+R“

verantwortlich sein. Das verwendete Substrat bestand zu zwei Dritteln aus Sand, also aus der laut MIRANSARI und SMITH (2008) weniger vorteilhaften Bodenart. Allerdings kann auf keine weiteren Studien verwiesen werden, die diese These bestätigen würden.

Ausgehend von Untersuchungen von MASCIARELLI et al. (2014) hätte auch die Inokulation des Saatguts mit *B. amyloliquefaciens* zusätzlich zur *B. japonicum*-Impfung im hier betrachteten Versuch zu einer, im Vergleich zur Kontrolle, erhöhten Anzahl an Knöllchen führen müssen. Variante „R“ konnte diese Erwartung nicht bestätigen, sie lief gar nicht auf. Die mit drei Pflanzen aufgelaufene Kombinationsvariante „G+R“ unterschied sich hinsichtlich der Knöllchenparameter nicht signifikant von den anderen Varianten.

## 6. Schlussfolgerungen

Zusammenfassend können in Bezug auf die Ausgangshypothesen folgende Aussagen getroffen werden:

Hypothese 1, dass die Jugendentwicklung von Soja durch die verwendeten Saatbeigaben verkürzt werden kann, ist teilweise wahr. Aufgrund der begrenzten Auflauftrate von rund 23 % sind zwar keine statistisch abgesicherten Rückschlüsse möglich. Es gab jedoch eine sichtbare Tendenz zu einer verkürzten Jugendentwicklung der Sojapflanzen durch die Zugabe von Isoflavonoiden (das verwendete *Genistein Soy Complex Powder* enthält Genistein, Daidzein und Glycitein). An einer Stelle (Dauer bis zum BBCH-Stadium 11) war der sichtbare absolute Unterschied auch statistisch signifikant.

Hypothese 2, dass die verwendeten Saatbeigaben sich positiv auf Knöllchenbildung und andere Parameter der Pflanzenentwicklung auswirken, kann aufgrund des durchgeführten Versuchs nicht bestätigt werden. Die beiden Varianten „G“ sowie „G+R“ weisen im Gegensatz zur Kontrolle außerdem eine teilweise größere Streuung auf, sodass selbst das Feststellen von Tendenzen in Richtung eines besseren oder unveränderten Verhaltens der Parameter schwierig ist.

In Bezug auf die gesetzten Zielstellungen und Untersuchungsfragen war der durchgeführte Gefäßversuch insgesamt nur mäßig erfolgreich. Die Ausgangshypothesen konnten anhand der Versuchsergebnisse nur begrenzt überprüft werden, da die unerwartet niedrige Gesamtauflauftrate (ca. 23 %) zu einer Wiederholungsanzahl zwischen null und vier statt geplanten 12 Wiederholungen pro Variante führte. Die Ursache der niedrigen Auflauftrate konnte nicht einwandfrei festgestellt werden. Wie bereits ausführlich diskutiert, gibt es diverse potenzielle Fehlerquellen in Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung, keiner dieser Faktoren konnte jedoch als ausschlaggebende Fehlerquelle identifiziert werden. Für etwaige Folgeversuche bieten sich allerdings verschiedene Möglichkeiten der Verbesserung an.

In jedem Fall sollte die Saatgutqualität vor der Versuchsdurchführung geprüft werden. Zwar ergab auch die nachträgliche Prüfung des hier verwendeten Saatguts durch die

LfL eine Keimfähigkeit von 79 % und eine Triebkraft von 74 %. Da sich diese Angaben jedoch nicht in den Versuchsergebnissen widerspiegeln, sind für Versuche unter den hier gewählten Bedingungen ggf. eine noch höhere Keimfähigkeit und Triebkraft sowie eine Prüfung auf Krankheitserreger vor der Aussaat vonnöten. Um die Übertragbarkeit von Ergebnissen der Gefäßversuche auf den Feldanbau einschätzen zu können, würde sich außerdem eine parallele (zeitgleiche) Durchführung von Feld- und Gefäßversuchen anbieten, unter Verwendung des gleichen Saatguts. Um auch bei geringer Auflauftrate eine höhere Wiederholungszahl für statistisch verwertbare Aussagen zur Verfügung zu haben, könnte in Folgeversuchen auch eine insgesamt höhere Anzahl eingesäter Samen sinnvoll sein. Bei Verwendung des gleichen Versuchsaufbaus würde das allerdings einen erheblichen Mehraufwand bedeuten. Die Einsaat von zwei bis drei Samen pro Gefäß bei gleicher Gefäßanzahl wäre ggf. die leichteste Variante. Allerdings müsste hier ein weiterer Arbeitsschritt stattfinden: das Vereinzeln. Und zum anderen wäre dann zwar möglicherweise der Effekt der Saatbeigaben besser überprüfbar; die Gesamtauflauftrate wäre aber, aufgrund der Selektion der konkurrenzstärksten Pflanzen beim Vereinzeln, erst recht nicht mit dem natürlichen Feldaufgang vergleichbar. Ähnlich verhält es sich, sowohl bezüglich der Übertragbarkeit in die Praxis als auch bezüglich dem Mehraufwand an Arbeit, mit der Verwendung vorgezogener Pflanzen.

Weitere Faktoren, die möglicherweise in ihrer Umsetzung überdacht werden könnten, sind die Zusammensetzung des Pflanzsubstrates und die Art und Häufigkeit der Wasserzuführung. Die Einstellung einer höheren Temperatur würde sich vermutlich ebenfalls positiv auf die Auflauftrate auswirken, würde jedoch auch den zugrunde liegenden praktischen Kontext (Sojaanbau in Deutschland, mitteleuropäische Klimabedingungen) verändern.

Idealerweise sollten etwaige Folgeversuche außerdem am gleichen Versuchsstandort (Klimakammer im Biotechnikum/Interdisziplinäres Forschungszentrum der Justus-Liebig-Universität Gießen) durchgeführt werden, um eine Vergleichbarkeit der Gefäßversuche untereinander zu gewährleisten und bei der Suche nach möglichen Fehlerquellen nicht den Wechsel des Versuchsortes und der damit verbundenen Ablauf- und Bedingungsänderungen berücksichtigen zu müssen.

## 7. Literaturverzeichnis

- ABITEP GMBH (2015): Produktinformation RhizoVital42 liquid. Internet: <http://www.abitep.de/de/rhizovital.html> (13.03.2017).
- AIGNER, A. (2014): Wann soll die Bohne in den Boden? Soja: Die Gratwanderung zwischen zu früh und zu spät säen bewältigen. In: Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt (13/2014): 50–51.
- ASARI, S., D. TARKOWSKÁ, J. ROLČÍK, O. NOVÁK, D. V. PALMERO, S. BEJAI und J. MEIJER (2017): Analysis of plant growth-promoting properties of *Bacillus amyloliquefaciens* UCMB5113 using *Arabidopsis thaliana* as host plant. In: *Planta* 245 (1): 15–30.
- BASF (2015): Gebrauchsanweisung HiStick Soy. Internet: [https://www.agrar.basf.de/agroportal/de/de/produkte\\_/produktempfehlung/product\\_details\\_227136.html](https://www.agrar.basf.de/agroportal/de/de/produkte_/produktempfehlung/product_details_227136.html) (13.03.2017).
- BELKHEIR, A. M., X. ZHOU und D. L. SMITH (2000): Response of Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] Cultivars to Genistein-Preincubated *Bradyrhizobium japonicum*: Nodulation and Dry Matter Accumulation under Canadian Short-Season Conditions. In: *Journal of Agronomy and Crop Science* 185 (3): 167–175.
- DOLATABADIAN, A., S. SANAVY, F. GHANATI und P. M. GRESSHOFF (2012): Morphological and physiological response of soybean treated with the microsymbiont *Bradyrhizobium japonicum* pre-incubated with genistein. In: *South African Journal of Botany* 79: 9–18.
- FiBL (2017): FiBL Betriebsmittelliste -Startseite. Internet: [http://www.betriebsmittelliste.de/de/bml\\_startseite.html](http://www.betriebsmittelliste.de/de/bml_startseite.html) (15.02.2017).
- GUO, Z.-Y., C.-H. KONG, J.-G. WANG und Y.-F. WANG (2011): Rhizosphere isoflavones (daidzein and genistein) levels and their relation to the microbial community structure of mono-cropped soybean soil in field and controlled conditions. In: *Soil Biology and Biochemistry* 43 (11): 2257–2264.
- HAHN und MIEDANER (2013): Sojaanbau in der EU: Lohnender Anbau ohne GVO. Frankfurt am Main: DLG Verlag

- HARRIS, D., W. A. BREESE und J. V. D. K. K. RAO (2005): The improvement of crop yield in marginal environments using 'on-farm' seed priming: nodulation, nitrogen fixation, and disease resistance. In: Australian Journal of Agricultural Research 56 (11): 1211–1218.
- ISTA (1999): International Rules for Seed Testing. Zürich: ISTA
- LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT BAYERN (LfL): mündliche und schriftliche Mitteilungen (Januar bis März 2017)
- LIEBEREI, R., C. REISDORFF und W. FRANKE (2012): Nutzpflanzen. 8., überarbeitete Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag
- MASCIARELLI, O., A. LLANES und V. LUNA (2014): A new PGPR co-inoculated with Bradyrhizobium japonicum enhances soybean nodulation. In: Microbiological Research 169 (7–8): 609–615.
- MIRANSARI, M. und D. SMITH (2008): Using signal molecule genistein to alleviate the stress of suboptimal root zone temperature on soybean-Bradyrhizobium symbiosis under different soil textures. Internet: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17429140802160136> (16.9.2016).
- RAMIREZ, C. A. und J. W. KLOPPER (2010): Plant growth promotion by Bacillus amyloliquefaciens FZB45 depends on inoculum rate and P-related soil properties. In: Biology and Fertility of Soils 46 (8): 835–844.
- RAMOS-SOLANO, B., E. ALGAR, A. GARCÍA-VILLARACO, J. GARCÍA-CRISTÓBAL, J. A. LUCAS GARCÍA und F. J. GUTIERREZ-MAÑERO (2010): Biotic Elicitation of Isoflavone Metabolism with Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Early Stages of Development in Glycine max var. Osumi. In: Journal of Agricultural and Food Chemistry 58 (3): 1484–1492.
- RODRÍGUEZ-NAVARRO, D. N., I. MARGARET OLIVER, M. ALBAREDA CONTRERAS und J. E. RUIZ-SAINZ (2011): Soybean interactions with soil microbes, agronomical and molecular aspects. In: Agronomy for Sustainable Development 31 (1): 173–190.

- SAINI, R., V. KUMAR, S. S. DUDEJA und D. V. PATHAK (2015): Beneficial effects of inoculation of endophytic bacterial isolates from roots and nodules in chickpea. In: Int J Curr Microbiol App Sci 4 (10): 207–221.
- SCHMIDT, J., M. MESSMER und K.-P. WILBOIS (2015): Beneficial microorganisms for soybean (*Glycine max* (L.) Merr), with a focus on low root-zone temperatures. In: Plant and Soil 397 (1–2): 411–445.
- SCHUBERT, S. (2011): Pflanzenernährung. 2. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer
- SOJAFÖRDERRING (2016): Sojaförderring. Internet: <https://www.sojafoerderring.de/anbauratgeber/aussaat/saatzeitpunkte/> (05.12.2016).
- SPERBER, J., R. BARISICH, E. EDINGER und W. WEIGL (1988): Öl- und Eiweisspflanzen: Anbau, Kultur, Ernte. Wien: Österreichischer Agrarverlag
- SUBRAMANIAN, S., G. STACEY und O. YU (2006): Endogenous isoflavones are essential for the establishment of symbiosis between soybean and *Bradyrhizobium japonicum*. In: The Plant Journal 48 (2): 261–273.
- TOBISCH, B., G. LEITHOLD, J. SCHMIDT und K.-P. WILBOIS (2015): Verbesserung der Jugendentwicklung von Sojabohnen durch Priming und Saatgutbeigaben. In: Tagungsband Soja-Tagung 2015: 91–93.
- VOLLMANN, J. und M. MENKEN (2011): 12 Soybean: Breeding for Organic Farming Systems. In: LAMMERTS VAN BUEREN, E. T. und J. R. MYERS (Hrsg.) (2011): Organic Crop Breeding. UK: Wiley-Blackwell. Kap. 12
- VOLLMANN, J., H. WAGENTRISTL und W. HARTL (2010): The effects of simulated weed pressure on early maturity soybeans. In: European Journal of Agronomy 32 (4): 243–248.
- WETTERKONTOR.DE (2016): Klima Frankfurt am Main, Deutschland - Klimadiagramm, Klimatabelle - WetterKontor. Internet: <http://www.wetterkontor.de/de/klima/klima2.asp?land=de&stat=10637> (05.12.2016).

- WILBOIS, K.-P., A.-K. SPIEGEL, L. ASAM, C. BALKO, H. BECKER, E. BERSSET, A. BUTZ, T. HAASE, A. HABEKUß, V. HAHN und andere (2014): Ausweitung des Sojaanbaus in Deutschland durch züchterische Anpassung sowie pflanzenbauliche und verarbeitungstechnische Optimierung. Internet: <http://orgprints.org/28484/> (19.08.2016).
- WWW.TIMEANDDATE.DE (2016): Sonnenuntergang und Sonnenaufgang in Frankfurt am Main, April 2016. Internet: <https://www.timeanddate.de/sonne/deutschland/frankfurt-am-main?month=4> (05.12.2016).
- ZHANG, F., T. C. CHARLES, B. PAN und D. L. SMITH (1996): Inhibition of the expression of Bradyrhizobium japonicum nod genes at low temperatures. In: Soil Biology and Biochemistry 28 (12): 1579–1583.
- ZHANG, F. und D. L. SMITH (1995): Preincubation of Bradyrhizobium japonicum with Genistein Accelerates Nodule Development of Soybean at Suboptimal Root Zone Temperatures. In: Plant Physiology 108 (3): 961–968.
- ZHANG, F. und D. L. SMITH (1996): Inoculation of soybean (Glycine max. (L.) Merr.) with genistein-preincubated Bradyrhizobium japonicum or genistein directly applied into soil increases soybean protein and dry matter yield under short season conditions. In: Plant and Soil 179 (2): 233–241.
- ZHANG, F. und D. L. SMITH (1997): Application of genistein to inocula and soil to overcome low spring soil temperature inhibition of soybean nodulation and nitrogen fixation. In: Plant and Soil 192 (1): 141–151.
- ZIMMER, S., M. MESSMER, T. HAASE, H.-P. PIEPHO, A. MINDERMAN, H. SCHULZ, A. HABEKUß, F. ORDON, K.-P. WILBOIS und J. HEß (2016): Effects of soybean variety and Bradyrhizobium strains on yield, protein content and biological nitrogen fixation under cool growing conditions in Germany. In: European Journal of Agronomy 72: 38–46.



## 8. Anhang

Tabelle A 1: Boniturliste bereinigt, Teil 1.....	45
Tabelle A 2: Boniturliste bereinigt, Teil 2.....	46
Tabelle A 3: Boniturliste bereinigt, Teil 3.....	47
Tabelle A 4: Boniturliste bereinigt, Teil 4.....	48
Tabelle A 5: Anmischanleitung für Impfung und Saatbeigaben (Einsaattag) .....	49
Tabelle A 6: Methode zur Bestimmung der Wasserhaltekapazität.....	51
Tabelle A 7: Bestimmung des Sollgewichtes der Versuchsgefäße .....	52
Tabelle A 8: Stichprobenvarianz .....	53
Tabelle A 9: Standardabweichungen.....	54
Tabelle A 10: Zuordnung von Gefäßbezeichnung/Variante/Wiederholung Teil 1.....	55
Tabelle A 11: Zuordnung von Gefäßbezeichnung/Variante/Wiederholung Teil 2.....	55

Tabelle A 1: Boniturliste bereinigt, Teil 1.

(enthält nur Daten, der innerhalb der ersten drei Versuchswochen aufgelaufenen Pflanzen)

Bezeichnung	Variante	Wiederholung	Start	26.11.16	27.11.16	28.11.16	29.11.16	30.11.16	1.12.16	2.12.16	3.12.16	4.12.16	5.12.16	6.12.16	7.12.16	8.12.16	9.12.16	10.12.16		
7	K2		25.11.2016			Bemerkung 1											8	8	9	
9	K4		25.11.2016																	9
14	G+R3		25.11.2016										8	8						9
23	G+R10		25.11.2016			1 Laubblatt an 11														
28	G9		25.11.2016												8	8	8	8	9	9
31	K9		25.11.2016																	8
32	G11		25.11.2016								8	8	8	9	9	9	9	10	10	10
33	G+R5		25.11.2016											8	8	8	9	9	9	9
38	K3		25.11.2016			1 Laubblatt an 11														8
47	G12		25.11.2016												8	8	8	8	9	9
48	G6		25.11.2016								8	8	9	9	9	9	10	10	10	10
1) Samen lag obenauf, neu in Loch gesetzt (mit Handschuh wie beim Einsaattag).																				
Bezeichnung	Variante	Wiederholung	11.12.16	12.12.16	13.12.16	14.12.16	15.12.16	16.12.16	17.12.16	18.12.16	19.12.16	20.12.16	21.12.16	22.12.16	23.12.16	24.12.16	25.12.16	26.12.16		
7	K2		9	9	9	9	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	
9	K4					8	8	9	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	
14	G+R3		9	9	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
23	G+R10				8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	11	11	
28	G9		9	9	9	9	9	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
31	K9		9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11	
32	G11		10	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
33	G+R5		9	9	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	
38	K3		8	8	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11	
47	G12		9	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11	
48	G6		10	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	

Tabelle A 2: Boniturliste bereinigt, Teil 2

Bezeichnung	Variante	Wiederholung	27.12.16	28.12.16	29.12.16	30.12.16	31.12.16	1.1.17	2.1.17	3.1.17	4.1.17	5.1.17	Auflaufrate	Datum BBCH09	Dauer bis BBCH09 in d	Datum BBCH10	Dauer bis BBCH10 in d	Datum BBCH11
7	K2		11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	1	10.12.16	15	14.12.16	19	19.12.16
9	K4		11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	1	15.12.16	20	20.12.16	25	24.12.16
14	G+R3		11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	1	07.12.16	12	13.12.16	18	15.12.16
23	G+R10		11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	1	15.12.16	20	22.12.16	27	25.12.16
28	G9		11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	1	09.12.16	14	15.12.16	20	17.12.16
31	K9		11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	1	11.12.16	16	16.12.16	21	20.12.16
32	G11		11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	1	05.12.16	10	09.12.16	14	14.12.16
33	G+R5		11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	1	08.12.16	13	12.12.16	17	16.12.16
38	K3		11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	1	08.12.16	13	17.12.16	22	19.12.16
47	G12		11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	1	09.12.16	14	14.12.16	19	18.12.16
48	G6		11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	1	04.12.16	9	08.12.16	13	13.12.16
Bezeichnung	Variante	Wiederholung	Dauer bis BBCH11 in d	Datum BBCH12	Dauer bis BBCH12 in d	Pflanzenhöhe in cm BBCH11	Pflanzenhöhe in cm BBCH12	Pflanzenhöhe in cm 6.1.	m in g (Spross) Aluschale	FM Spross (inkl. Aluschale)	FM Spross in g (exkl. Aluschale)	TM Spross in g (exkl. Becherglas)	% TM Spross	m in g Aluschale (Wurzel)	FM Wurzel (inkl. Aluschale)	FM Wurzel in g (exkl. Aluschale)	TM Wurzel in g (exkl. Becherglas)	% TM Wurzel
7	K2		24			7,8		14,6	11,31	12,73	1,42	0,40	28,12%	11,22	12,23	1,01	0,23	22,53%
9	K4		29			7,5		14,2	11,23	12,96	1,73	0,40	23,03%	11,75	12,96	1,21	0,18	14,98%
14	G+R3		20	03.01.17	39	7,2	13,0	13,7	11,68	13,79	2,11	0,60	28,24%	11,74	13,6	1,86	0,29	15,76%
23	G+R10		30			7,9		13,4	11,77	13,46	1,69	0,33	19,76%	11,67	12,47	0,8	0,15	18,25%
28	G9		22			6,0		12,2	11,72	12,85	1,13	0,34	30,14%	11,18	12,37	1,19	0,21	17,29%
31	K9		25			6,0		12,9	11,85	13,63	1,78	0,44	24,48%	11,26	12,62	1,36	0,21	15,15%
32	G11		19			6,0		12,4	11,72	12,8	1,08	0,32	29,94%	11,77	12,91	1,14	0,17	15,11%
33	G+R5		21	29.12.16	34	8,0	10,7	15,3	11,86	14,13	2,27	0,65	28,84%	11,25	13,42	2,17	0,29	13,58%
38	K3		24			6,0		11,9	11,73	13,56	1,83	0,42	22,79%	11,68	13,1	1,42	0,18	12,91%
47	G12		23			7,8		14,5	11,86	13,58	1,72	0,47	27,50%	11,76	13,2	1,44	0,23	15,85%
48	G6		18	04.01.17	40	8,7	12,5	15,0	11,74	14,3	2,56	0,69	26,82%	11,26	13,45	2,19	0,29	13,42%

Tabelle A 3: Boniturliste bereinigt, Teil 3

Bezeichnung	Variante	Knöllchena zahl	1. Knöllchen durchmesser		2. Knöllchen durchmesser		3. Knöllchen durchmesser		4. Knöllchen durchmesser		5. Knöllchen durchmesser		6. Knöllchen durchmesser		7. Knöllchen durchmesser		8. Knöllchen durchmesser		9. Knöllchen durchmesser		10. Knöllchen durchmesser		11. Knöllchen durchmesser		12. Knöllchen durchmesser		13. Knöllchen durchmesser		14. Knöllchen durchmesser		15. Knöllchen durchmesser	
			Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm
7	K2	20	2,27	1,30	2,88	1,38	2,90	1,74	1,96	1,39	1,50	1,16	2,54	1,32	1,90																	
9	K4	16	1,74	1,20	1,24	1,43	1,07	1,28	1,11	1,04	1,28	1,01	1,13	1,35	1,20																	
14	G+R3	14	1,39	1,53	1,28	1,44	2,01	2,31	2,59	2,46	2,12	1,70	2,37	1,94																		
23	G+R10	25	1,27	1,21	1,21	1,80	1,57	1,91	1,68	1,68	2,61	2,74	2,58	2,30	1,61																	
28	G9	32	1,15	1,19	1,10	1,39	1,32	1,61	1,53	1,89	1,05	1,07	1,47	1,50	1,36																	
31	K9	17	1,26	1,19	1,19	1,82	2,79	3,04	2,51	2,80	1,16	1,71	1,04	1,28																		
32	G11	16	1,72	1,39	1,11	1,95	1,77	3,41	2,52	2,49	2,10	2,70	2,39	1,76																		
33	G+R5	23	1,79	1,23	1,47	1,15	1,40	1,39	1,57	1,50	1,91	3,69	2,09	2,39	1,76																	
38	K3	18	1,05	1,32	2,12	1,63	2,04	1,95	1,33	2,31	2,24	1,54	1,69	2,51	1,44																	
47	G12	23	2,34	1,69	1,52	1,41	1,29	1,34	2,12	1,74	1,78	1,65	2,52	1,37	1,44																	
48	G6	22	1,23	1,92	1,18	1,17	1,90	1,42	2,47	2,44	3,32	3,06	3,46																			
Bezeichnung	Variante	Knöllchen zahl	16. Knöllchen durchmesser		17. Knöllchen durchmesser		18. Knöllchen durchmesser		19. Knöllchen durchmesser		20. Knöllchen durchmesser		21. Knöllchen durchmesser		22. Knöllchen durchmesser		23. Knöllchen durchmesser		24. Knöllchen durchmesser		25. Knöllchen durchmesser		26. Knöllchen durchmesser		27. Knöllchen durchmesser		28. Knöllchen durchmesser		29. Knöllchen durchmesser		30. Knöllchen durchmesser	
			Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm	Hauptwurze   in mm	Wiederholung   in mm		
7	K2	20	2,26	2,49	1,88																											
9	K4	16	1,19																													
14	G+R3																															
23	G+R10																															
28	G9	1,60	1,09	1,13	1,54	2,51	2,14	1,63	2,64	1,57	40	1,66	1,39	1,04	1,05	1,02																
31	K9									1,89	10	1,12																				
32	G11									2,04	9	1,09	1,19																			
33	G+R5									1,82	14	1,72	1,46	1,58	1,52	1,26																
38	K3									1,85	25	1,62	1,88	1,09	1,45	1,94																
47	G12	1,82	2,46	2,55	2,56	2,29				1,87	26	1,49	1,10	2,10	1,37	1,86																
48	G6									2,27	31	1,05	1,12	1,04	1,36	1,08																

Tabelle A 4: Boniturliste bereinigt, Teil 4

Bezeichnung	Variante	6.		7.		8.		9.		10.		11.		12.		13.		14.		15.		16.		17.		18.		19.		20.		21.	
		Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel		
7	K2	1,11	1,12	1,12	1,24	1,03	1,09	1,15																									
9	K4		1,02	1,11																													
14	G+R3	1,51	1,42	1,26	1,36	1,71	1,52	1,43	1,46	1,01	1,15	1,28	1,42	1,13	1,47	1,30	1,39	1,59	1,53	1,38	1,30	1,85	1,53	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	
23	G+R10		1,09	1,08	1,53																												
28	G9	1,00	1,15	1,01	1,36	1,19	1,22	1,00	1,20	1,17	1,00																						
31	K9																																
32	G11																																
33	G+R5	1,26	1,61	1,40	1,28	1,31	1,24																										
38	K3	1,72	1,69	1,18																													
47	G12	1,29	1,33	1,17	1,25	1,32	1,23	1,06	1,24	1,38	1,30	1,85	1,53	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	
48	G6	1,47	1,48	1,38	1,04	1,05																											
Bezeichnung	Variante	22.		23.		24.		25.		26.		MW		Knöllchena zahl		MW		Median		Median		Median		Besonderhe iten/Bemer kungen									
		Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel	Knöllchen- urchmesser	Nebenwurzel		
7	K2						1,19	55	1,08	67	1,12	1,12	1,93	1,39	1,11	1,11	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12		
9	K4						1,08	67	1,18	1,10	1,10	1,20	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15		
14	G+R3	1,61	1,57	1,28	1,09		1,30	63	1,53	1,29	2,01	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	
23	G+R10						1,16	51	1,55	1,13	1,65	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	
28	G9						1,16	72	1,41	1,16	1,50	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	
31	K9						1,12	27	1,84	1,12	1,82	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	
32	G11						1,14	25	1,90	1,14	2,03	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	
33	G+R5						1,42	37	1,65	1,41	1,67	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	
38	K3						1,57	43	1,75	1,62	1,95	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	
47	G12	1,34	1,29	1,67	1,24	1,53	1,42	49	1,61	1,34	1,78	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	
48	G6						1,21	53	1,81	1,12	2,46	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	

*Tabelle A 5: Anmischanleitung für Impfung und Saatbeigaben (Einsaattag)*

### **Anmischanleitung**

Benötigtes Material:

Biodoz/HiStick

RhizoVital

Genistein Soy Complex Powder

Wasser+Spritzflasche

Waage

Bechergläser: 1x 500 mL, 4 mittelgroße, 1 zum Auffangen von RhizoVital

Sieb

Pinzetten (idealerweise 4)

Löffel und Rührstäbe (idealerweise 4)

Papiertücher zum Ablegen der Geräte

Pipetten: 1 große (25 mL Fassungsvermögen), 1 kleine (1 mL Fassungsvermögen)

Pipettenball

Listen: Etiketten, Ersatzetiketten, Edding, vorbereitete Variantenzettel,

#### **Vorgehen:**

Zuerst: alles bereitstellen, Handschuhe zum Säen fertig machen

1. RhizoVital ansetzen:

a. 0,5 L Wasser und 1 mL RhizoVital

2. Biodoz ansetzen:

a. 8 g Wasser und 4 g Biodoz

3. Variante G+R und Variante G fertig machen

a. 24 Körner mit RhizoVital übergießen und abtropfen lassen

- b. Becherglas mit 2 g Biodoz (angemischt aus 2.a) und 0,6 g Genistein anmischen
- c. Von der Mischung aus 3.b je 0,52 g in zwei neue Bechergläser einwiegen
- d. Variante G+R: Abgetropftes Saatgut in Becherglas aus 3.c füllen und gut einrühren
- e. Eindeutig beschriften (vorbereitete Zettel)
- f. Variante G: unbehandeltes Saatgut (24 Körner) in das zweite Becherglas einrühren, ggf. ca 0,3 g Wasser dazu
- g. Eindeutig beschriften (vorbereitete Zettel)

#### 4. Variante R fertig machen

- a. 24 Körner mit RhizoVital übergießen und abtropfen lassen
- b. Becherglas mit 0,4 g Biodoz (angemischt aus 2.a) einwiegen
- c. Abgetropfte Körner in Becherglas aus 4.b einfüllen und gut einrühren
- d. Eindeutig beschriften (vorbereitete Zettel)

#### 5. Variante K fertig machen

- a. Becherglas mit 0,4 g Biodoz (angemischt aus 2.a) einwiegen
- b. unbehandeltes Saatgut (24 Körner) in das Becherglas einrühren, ggf. ca 0,3 g Wasser dazu
- c. eindeutig beschriften

- zur Einsaat mit der Pinzette je 12 unbeschädigte Körner pro Variante entnehmen
- nach Einsaat einer Variante sofort eindeutig beschriften (eine Person klebt entsprechende Etiketten)
- nach Einsaat aller Varianten Aufstellung/Ordnung aufsteigend von 1-48

### **Bestimmung der Wasserhaltekapazität**

(Dauer: 72 h)

#### 1. Bestimmung des Leergewichts der Gefäße und Befüllen der Testgefäße mit Substrat

Drei Versuchsgefäße (ausgelegt mit Filter und einer Lage Toilettenpapier) wurden zunächst leer gewogen und dann mit jeweils 133 g Feldboden und 267 g Sand (insgesamt 400 g Substrat im Mischungsverhältnis 1:2) befüllt. Diese 400 g Substrat wurden beim Rechnen der Trockenmasse gleichgesetzt, da die Bestimmung der Trockensubstanz im Trockenschrank (105°C, 48 h) einen Anteil der Trockensubstanz am Gesamtsubstrat von 99,128 % ergab.

#### 2. Tauchen der Gefäße (24 h)

Die befüllten Gefäße wurden in eine Wanne gestellt und getaucht, d.h. die Wanne wurde bis zur Oberkante der Gefäße mit Wasser gefüllt.

#### 3. Entnahme der Gefäße und abtropfen lassen (24 h)

Ca. einen Tag (24 h) später wurden die Gefäße aus dem Wasser genommen und zum Abtropfen stehen gelassen (24 h).

#### 4. Rückwaage der Gefäße und Berechnung der Wasserhaltekapazität

Weitere 24 h später wurden die Gefäße gewogen. Aus der Trockenmasse und der Masse des wassergesättigten Substrates konnte die durchschnittliche maximale Wasserhaltekapazität der Versuchsgefäße bestimmt werden.




Tabelle A 7: Bestimmung des Sollgewichtes der Versuchsgefäße

Name	Tara Gefäß inkl. Filter in g	Trockengewicht Substrat in g	Endgewicht ((nach tauchen (> 12 h) und abtropfen (24 h))	Gewicht Wasser in g	% Wasser am Gesamtgewicht	
nr. 140	11,25	400	545,2	133,95	33,4875	
nr. 146	11,33	400	540,42	129,09	32,2725	
nr. 130	11,38	400	540,14	128,76	32,19	
Durchschnitt	11,32	400	541,92	130,60	32,65	
durchschnittliches Gewicht Versuchsgefäße inkl. Filter: 11,32 g						
Name	Gewicht Substrat Versuchsgefäße in g (ohne Gefäß)	Substratgewicht Versuchsgefäße (abzügl. Der Wasserrzugabe zum mischen) in g (ohne Gefäß)	Gewicht Wasser bei max. FK Versuchsgefäße	Gewicht Wasser bei 60% FK Versuchsgefäße in g	Sollgewicht mit 60% FK in g	gerundetes Sollgewicht in g inkl. Gefäß und Filter
nr. 140	330	319	106,825125	64,095075	394,415075	394
nr. 146	330	319	102,949275	61,769565	392,089565	392
nr. 130	330	319	102,68861	61,61166	391,93166	392
Durchschnitt	<b>330</b>	319	104,1535	62,4921	392,8121	<b>393</b>
						d.h. Zugabe zur Einsaat ca. 50 mL

Tabelle A 8: Stichprobenvarianz

Werte	Variante <sup>TM</sup>				
	G	G+R	K	K	Gesamtergebnis
Anzahl von Auflauftrate	4	3	4	11	
Varianz (Stichprobe) von Dauer bis BBCH 09 in d	6,91667	19,00000	8,66667	12,36364	
Varianz (Stichprobe) von Dauer bis BBCH 10 in d	12,33333	30,33333	6,25000	17,67273	
Varianz (Stichprobe) von Dauer bis BBCH 11 in d	5,66667	30,33333	5,66667	14,56364	
Varianz (Stichprobe) von Dauer bis BBCH 12 in d	#DIV/0!	12,50000		10,33333	
Varianz (Stichprobe) von Pflanzenhöhe in cm BBCH 11	1,82250	0,19000	0,92250	0,99418	
Varianz (Stichprobe) von Pflanzenhöhe in cm BBCH 12	#DIV/0!	2,64500		1,46333	
Varianz (Stichprobe) von Pflanzenhöhe in cm 6.1.	2,04917	1,04333	1,52667	1,38273	
Varianz (Stichprobe) von FM Spross in g(exkl. Aluschale)	0,86037	0,85370	0,70168	0,75651	
Varianz (Stichprobe) von TM Spross in g (exkl. Becherglas)	0,02812	0,02913	0,00031	0,01665	
Varianz (Stichprobe) von % TM Spross	0,00029	0,00257	0,00060	0,00112	
Varianz (Stichprobe) von FM Wurzel in g (exkl. Aluschale)	0,23500	0,51610	0,03340	0,20783	
Varianz (Stichprobe) von TM Wurzel in g (exkl. Becherglas)	0,00264	0,00729	0,00048	0,00275	
Varianz (Stichprobe) von % TM Wurzel	0,00026	0,00055	0,00178	0,00074	
Varianz (Stichprobe) von Knöllchenanzahl Hauptwurzel	43,58333	34,33333	2,91667	26,87273	
Varianz (Stichprobe) von MW Knöllchendurchmesser Hauptwurzel in mm	0,08786	0,00862	0,10709	0,06999	
Varianz (Stichprobe) von Knöllchenanzahl Nebenwurzel	169,66667	316,33333	296,91667	206,41818	
Varianz (Stichprobe) von MW Knöllchendurchmesser Nebenwurzel in mm	0,01573	0,01683	0,05036	0,02395	
Varianz (Stichprobe) von Knöllchenanzahl gesamt	372,91667	169,33333	292,00000	234,41818	
Varianz (Stichprobe) von MW Knöllchendurchmesser gesamt in mm	0,04726	0,00445	0,08446	0,04281	

Tabelle A 9: Standardabweichungen

Werte	Variante 				Gesamtergebnis
	G	G+R	K	K	
Anzahl von Auflaufrate	4	3	4	11	
Standardabweichung (Stichprobe) von Dauer bis BBCH 09 in d	2,62995564	4,358898944	2,943920289	3,516196292	
Standardabweichung (Stichprobe) von Dauer bis BBCH 10 in d	3,511884584	5,507570547	2,5	4,203894298	
Standardabweichung (Stichprobe) von Dauer bis BBCH 11 in d	2,380476143	5,507570547	2,380476143	3,816233269	
Standardabweichung (Stichprobe) von Dauer bis BBCH 12 in d	#DIV/0!	3,535533906		3,214550254	
Standardabweichung (Stichprobe) von Pflanzenhöhe in cm BBCH 11	1,35	0,435889894	0,960468636	0,997086665	
Standardabweichung (Stichprobe) von Pflanzenhöhe in cm BBCH 12	#DIV/0!	1,626345597		1,209683154	
Standardabweichung (Stichprobe) von Pflanzenhöhe in cm 6.1.	1,431491064	1,021436896	1,235583533	1,175894244	
Standardabweichung (Stichprobe) von FM Spross in g(exkl. Aluschale)	0,927558923	0,923958464	0,837662693	0,869773466	
Standardabweichung (Stichprobe) von TM Spross in g (exkl. Becherglas)	0,167675888	0,170675638	0,017637933	0,129035827	
Standardabweichung (Stichprobe) von % TM Spross	0,02	0,05	0,02	0,03	
Standardabweichung (Stichprobe) von FM Wurzel in g (exkl. Aluschale)	0,484767986	0,718401002	0,182756669	0,455880766	
Standardabweichung (Stichprobe) von TM Wurzel in g (exkl. Becherglas)	0,051375829	0,085393852	0,021798547	0,052444409	
Standardabweichung (Stichprobe) von % TM Wurzel	0,02	0,02	0,04	0,03	
Standardabweichung (Stichprobe) von Knöllchenanzahl Hauptwurzel	6,601176744	5,859465277	1,707825128	5,183891132	
Standardabweichung (Stichprobe) von MW Knöllchendurchmesser Hauptwurzel in mm	0,296404294	0,092827802	0,32724306	0,264560382	
Standardabweichung (Stichprobe) von Knöllchenanzahl Nebenwurzel	13,02561579	17,7857621	17,23127002	14,36726076	
Standardabweichung (Stichprobe) von MW Knöllchendurchmesser Nebenwurzel in mm	0,125433914	0,129738094	0,224399775	0,154766398	
Standardabweichung (Stichprobe) von Knöllchenanzahl gesamt	19,31105038	13,0128142	17,08800749	15,31072114	
Standardabweichung (Stichprobe) von MW Knöllchendurchmesser gesamt in mm	0,217382257	0,066677986	0,290626865	0,206905309	

*Tabelle A 10: Zuordnung von Gefäßbezeichnung/Variante/Wiederholung Teil 1*

<b>Bezeichnung</b>	<b>Variante</b>	<b>Wiederholung</b>
1	R	2
2	K	1
3	R	8
4	G	5
5	R	12
6	R	10
7	K	2
8	G	7
9	K	4
10	G	2
11	G+R	4
12	R	3
13	R	5
14	G+R	3
15	G+R	8
16	G+R	6
17	G	1
18	K	11
19	R	4
20	R	9
21	G+R	1
22	R	1
23	G+R	10
24	G	8
25	K	10
26	G+R	7
27	K	7

*Tabelle A 11: Zuordnung von Gefäßbezeichnung/Variante/Wiederholung Teil 2*

<b>Nummerierung</b>	<b>Variante</b>	<b>Wiederholung</b>
28	G	9
29	R	6
30	G	3
31	K	9
32	G	11
33	G+R	5
34	K	12
35	G+R	9
36	G	4
37	K	5
38	K	3
39	G+R	2
40	K	6
41	K	8
42	R	11
43	G+R	11
44	G	10
45	G+R	12
46	R	7
47	G	12
48	G	6

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich versichere, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Ausführungen, die anderen Arbeiten wörtlich oder sinngemäß entnommen sind, sind kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch in keinem anderen Studiengang als Prüfungsleistung verwendet. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass die vorliegende Arbeit mit einer Anti-Plagiatssoftware überprüft wird.

Gießen, den 11.04.2017

---

Aila Elisa von Rohden

## **Dank**

Mein herzlicher Dank geht an:

Beatrice Tobisch, für die fürsorgliche Begleitung von der ersten Planung bis zur Fertigstellung meiner Bachelorarbeit.

Herrn Prof. Leithold für die Bereitschaft, in der Umbruchphase der Professur ein weiteres Mal die Aufgaben eines Prüfers zu übernehmen.

Meine fleißigen Korrekturleserinnen.

Die vielen lieben Menschen, die mir während der stressigen Phasen der letzten Monate Mut zugesprochen haben.