

Department für Nutzpflanzenwissenschaften
Abteilung Pflanzenzüchtung

Einfluss von kälteinduzierten Fleckungen der Samenschale auf die Viabilität von Sojabohnen

Masterarbeit

Eingereicht von

Bettina Schaudy, Bachelor of Science

Universität für Bodenkultur
Wien

Betreuer

Ao. Univ. Prof. DI Dr. Johann Vollmann

2016



Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Die Arbeit wurde ausschließlich an der Universität für Bodenkultur Wien zur Beurteilung vorgelegt.

.....

Datum

.....

Unterschrift

Danksagung

Bedanken möchte ich mich vor allem bei meinem Betreuer Prof. Dr. Johann Vollmann, der mich während meiner Arbeit stets unterstützte und motivierte.

Zudem bedanke ich mich bei Ing. Martin Pachner für seine Hilfe bei der Durchführung der Versuche, sowie für die Beratung in technischen Fragen.

Abstract

Kühle Temperaturen während der Entwicklung der Sojabohnen können zu Anthocyanbildung und somit zu Flecken auf der Schale reifer Bohnen führen. Diese Verfärbungen werden als Qualitätsmangel gesehen und können auch dazu führen, dass Saatgut nicht anerkannt wird. Im Rahmen der Arbeit wurde untersucht, ob Sojabohnen ihre Viabilität gemäß demselben Verlauf wie andere Pflanzen verlieren und ob der Erhalt der Lebensfähigkeit der Samen durch die Fleckung beeinträchtigt ist. Proben aus insgesamt 9 Jahren wurden auf Basis ihrer Fleckung bonitiert, gemäß Fleckung getrennt, erneut bonitiert und bei 12°C bzw. 23°C angekeimt. Anschließend wurde der Anteil an lebensfähigen Samen bestimmt.

Der Verlauf der Viabilitätskurve ist mit dem Keimfähigkeitskurvenverlauf von *Vicia sativa* L. vergleichbar. Im Hinblick auf die Viabilität gibt es signifikante Unterschiede zwischen gefleckten und ungeflechten Samen bei beiden getesteten Keimtemperaturen. Die gefleckten Samen weisen eine höhere Viabilität auf. Somit ist davon auszugehen, dass die Verfärbungen keinen negativen Einfluss auf die Qualität des Saatgutes haben, sondern sogar als vorteilhaft anzusehen sind.

Schlagworte: Anthocyane, Verfärbungen, Qualität, Saatgut, Sojabohne, Glycine max

Abstract Englisch

Cool temperatures during early development of soybean seeds can induce anthocyanin formation in the seed coat, which causes visible discoloration of the seed coat of mature soybeans. This is considered as quality impairment which may prevent seed certification. The trend of the viability of soybeans has been compared with the preservation of other plants, which led to the insight, that soybeans are losing their viability in a similar fashion compared to other legumes of related size.

Samples covering 9 years were rated based on their discoloration, separated subject to their discoloration, rated again and germinated at 12°C 23°C, respectively. Afterwards the percentage of viable seeds has been determined.

The trend of the viability-curve is similar to *Vicia sativa* L.. Concerning viability there are significant differences between discoloured and non-discoloured seeds at both germination temperatures. Discoloured seeds hold a higher viability. This would suggest that discolourations don't affect the quality of the seeds in a negative way, but are to be viewed as beneficial.

Keywords: Anthocyanines, Discolourations, Quality, Seeds, Soybean, Glycine max

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Herkunft	1
1.2	Verwendung	1
1.3	Produktion	2
1.3.1	Weltweit	2
1.3.2	Europa und Österreich	2
1.3.3	Nischenmärkte: GVO-Freie Produkte und Donau Soja	3
1.4	Sorten	4
2	Keimung und Keimfähigkeit	6
2.1	Viabilität und Keimfähigkeit	6
2.2	Keimung	7
2.2.1	Phasen der Keimung	7
2.2.2	Faktoren, die den Erhalt der Keimfähigkeit beeinflussen	8
2.2.3	Keimfähigkeitserhalt	10
3	Samenschalenflecken	13
3.1	Geographische Eingrenzung	13
3.2	Farbgebende Substanzen	14
3.3	Genetischer Hintergrund	15
3.4	Ursachen der Verfärbungen	16
3.4.1	Viren	17
3.4.2	Kälte	17
3.4.3	Sortentypisches Erscheinungsbild	18
3.5	Einfluss der Verfärbungen	18
4	Fragestellungen	20
5	Material und Methoden	21
5.1	Bonitur	21
5.2	Experimente	23
5.2.1	Experiment 1	25
5.2.2	Experiment 2	26
5.2.3	Experiment 3	26
5.3	Datenbearbeitung und Datenauswertung	26
6	Ergebnisse	27
6.1	Experiment 1	27
6.2	Experiment 2	32
6.3	Experiment 3	36
6.4	Zusammenfassung der Analyse der paarweisen t-Tests	36
7	Diskussion	37
7.1	Allgemeine Diskussion	37

7.2 Experiment 1.....	40
7.3 Experiment 2.....	43
7.4 Experiment 3.....	45
8 Schlussfolgerung.....	46
9 Literaturverzeichnis.....	47

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vergleich der in Österreich zur Nahrungs- und Futtermittelherstellung verwendeten Sojamengen (Statistik Austria, 2016)	3
Abbildung 2: Keimfähigkeit von Kulturpflanzen nach kontrollierter Alterung (nach Bernal-Lugo & Leopold, 1998)	11
Abbildung 3: Germinationskurve von <i>Vicia sativa</i> L. (Nagel & Börner, 2010).....	11
Abbildung 4: Germinationskurve von <i>Pisum sativum</i> L. (Nagel & Börner, 2010).....	12
Abbildung 5: Verlauf des ‚Glassy States‘ und der Keimfähigkeit im Zusammenhang mit zunehmender kontrollierter Alterung des Saatguts von Sojabohnen (Sun & Leopold, 1993 zit. nach Sun & Leopold, 1994)	12
Abbildung 6: Weltkarte (Wetterdienst, s.a.)	14
Abbildung 7: Lebensfähige Samen.....	25
Abbildung 8: Samenviabilität Boxplot 23°C	28
Abbildung 9: Viabilitätskurve des bei 23°C durchgeführten Versuchs	29
Abbildung 10: Viabilitätsvergleich der Mittelwerte der Paare des bei 23°C durchgeführten Versuchs	29
Abbildung 11: Boniturmittelwerte aller Proben bei 23°C	30
Abbildung 12: Korreltaionsanalyse der Bonitur- und Viabilitätsdifferenzen (23°C).....	30
Abbildung 13: Korrelationsanalyse der Boniturmittelwerte und der mittleren Julitemperatur	31
Abbildung 14: Korrelation der Auswertungszeit mit der mittleren Viabilität (23°C)	31
Abbildung 15: Samenviabilität Boxplot 12°C	33
Abbildung 16: Vergleich der Mittelwerte der Paare des bei 12°C durchgeführten Versuchs	33
Abbildung 17: Korrelationsanalyse der Boniturmittelwerte und der mittleren Julitemperatur (12°C).....	34
Abbildung 18: Gesamtboniturwerte des bei 12°C durchgeführten Versuches	34
Abbildung 19: Boniturwerte der Paare des bei 12°C durchgeführten Versuches	35
Abbildung 20: Korrelationsanalyse der Differenz der Viabilität und der Differenz der Fleckenbonitur (12°C).....	35

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Allele, die einen Einfluss auf die Anfälligkeit gegenüber Verfärbungen haben (Benitez et al., 2004; Morrison et al., 1998; Takahashi, 1997 und Takahashi & Abe, 1999)	16
Tabelle 2: Aufschlüsselung des verwendeten Boniturschemas mit Beispielen	22
Tabelle 3: Übersicht über das für die Experimente verwendete Saatgut.....	24
Tabelle 4: Überblick über den bei 23°C durchgeführten Versuch	28
Tabelle 5: Überblick über den bei 12°C durchgeführten Versuch	32
Tabelle 6: Vergleich des Anbauversuches „2010 GQ4X-nn-myc“ über alle durchgeführten Versuche	36
Tabelle 7: Zusammenfassung des paarweisen t-Tests.....	36

Abkürzungsverzeichnis

AMA Agrarmarkt Austria

AGES Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit

BAES Bundesamt für Ernährungssicherheit

BPMV Bean Pod Mottle Virus

FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations

GVO Gentechnisch veränderte Organismen

KF Keimfähigkeit

SMV Sojabohnen Mosaik Virus

TKG Tausendkorngewicht

1 Einleitung

Die zu den Leguminosen zählende Sojabohne (*Glycine max* (L.) Merr.) gehört weltweit zu den bedeutendsten Kulturpflanzen. Dementsprechend vielseitig und umfangreich ist auch das Wissen über die Pflanze. Im folgenden Kapitel sind Informationen zu Herkunft, Verwendung und zur Produktion, gefolgt von einem kurzen Einblick in die Sortenvielfalt, enthalten.

1.1 Herkunft

Neben der Kulturform existiert auch noch die Wildform (*Glycine soja* Sieb. & Zucc.) in Asien, eine Kreuzung der beiden Formen ist möglich (Qiu & Chang, 2010). Es ist als gesichert anzusehen, dass die Wildform aus dem heutigen China stammt und auch die Inkulturnahme dort erfolgte. Gestützt wird dies unter anderem dadurch, dass neben der höchsten genetischen Diversität in besagtem Gebiet auch 3700 Jahre alte Aufzeichnungen auf Knochen und Schildkrötenpanzern vorhanden sind, die die Pflanze thematisieren (Qiu & Chang, 2010). Auch verkohlte Sojabohnenreste, die auf ein Alter von rund 3000 Jahren datiert wurden, konnten im entsprechenden Gebiet nachgewiesen werden (Qiu & Chang, 2010).

1.2 Verwendung

Im Gegensatz zu den meisten anderen Leguminosen wird die Sojabohne nicht nur als Eiweißquelle, sondern auch als Ölpflanze genutzt. Sie findet in der Ernährung von Mensch und Tier Verwendung und ist in Teilen Asiens seit Langem Bestandteil traditioneller Speisen. Die zahlreichen Verarbeitungs- und Zubereitungsarten zeugen von der Relevanz und Vielseitigkeit der Pflanze. China, Japan, Korea, Indonesien, Indien und Nepal sind die Ursprungsländer von Soja-basierten Speisen, wie Tofu, Edamame, Natto, Danbei und Kinema (Qiu & Chang, 2010). Im Gegensatz dazu konnten sich Soja und Sojaprodukte außerhalb Asiens lange Zeit großteils nur als Zutaten etablieren, die beispielsweise als Emulgator oder Proteinquelle ein Schattendasein in Lebensmitteln fristeten. Neben Produkten, die Sojabestandteile enthalten, um bestimmte Eigenschaften zu erzielen oder Verarbeitungsschritte zu ermöglichen, werden jedoch seit einiger Zeit zunehmend Nahrungsmittel angeboten, deren bedeutendste Zutat Soja in unterschiedlicher Form ist. Auch Unternehmen aus Österreich stellen Lebensmittel aus den vielseitigen Samen her, die zumeist in Österreich kultiviert werden.

Abgesehen von Fettsäuren und Aminosäuren hoher Qualität, die in der Ernährung wertbestimmend sind, enthält Soja auch Stoffe, deren positive Effekte auf Zivilisationskrankheiten, wie Diabetes und Herzerkrankungen, in Studien nachgewiesen wurden (Hartmann, West & Herman, 2011). Ein gesundheitlicher Nutzen wird auch bei der Senkung des LDL-Cholesterinspiegels bestätigt (Jenkins et al., 2010), zudem wird ein hoher

Sojakonsum bei Frauen mit einem geringerem Brustkrebsrisiko in Verbindung gebracht (Wu, Yu, Tseng & Pike, 2008).

1.3 Produktion

Die nachgefragte Menge wird trotz steigender Beliebtheit als Lebensmittel und der positiven Effekte auf die menschliche Gesundheit vor allem durch die Verwendung als Futtermittel bestimmt. Andere Nutzungen spielen dem gegenüber global nur eine untergeordnete Rolle, die jedoch, wenn man einzelne Länder betrachtet, durchaus von Relevanz sind.

1.3.1 Weltweit

Die USA, sowie Brasilien und Argentinien sind weltweit führend, was die Quantität in der Produktion betrifft (Food and Agriculture Organization of the United States - Statistic division, 2015). Gemeinsam mit in diesem Bereich weniger bedeutsamen Ländern Nord- und Südamerikas summierte sich die Produktion der beiden Kontinente im Jahr 2014 auf 77% der weltweiten Ernte (FAO Stat, 2015). Die restliche Produktion findet auf anderen Erdteilen statt.

In Asien sind China und Indien die führenden Produktionsländer, wobei die Diskrepanz zwischen produzierter und nachgefragter Menge in China Importe erforderlich macht (FAO Stat, 2015). In Indien hingegen konnten in den vergangenen Jahren zunehmend Überschüsse für den Export erwirtschaftet werden (FAO Stat, 2015). Weniger als ein Prozent der Welternte ist afrikanischen Ursprungs (FAO Stat, 2015), allerdings wird auf diesem Kontinent großes Potential gesehen (Qiu & Chang, 2010).

1.3.2 Europa und Österreich

Auch in Europa werden die vielseitig einsetzbaren Hülsenfrüchte kultiviert. Flächen in der Ukraine, Italien, Rumänien, Serbien, Kroatien und Frankreich haben lokal bedeutsame Ausmaße erreicht (Qiu & Chang, 2010). Österreich liegt in Punkto Erntemengen deutlich hinter diesen Ländern zurück, gehört aber zu den europäischen Ländern mit für den inländischen Markt relevanten Sojaanbauflächen. Trotz der Bemühungen, den Eigenbedarf zu decken, befindet sich die EU nach wie vor in der Rolle eines Netto-Importeurs von bedeutendem Ausmaß (FAO Stat, 2015). Die in der EU-28 produzierte Menge betrug im Jahr 2015 2.441.900 Tonnen (Eurostat, 2016).

Laut AgrarMarkt Austria (2015) wurden im Jahr 2015 in Österreich auf 56.867 Hektar Sojabohnen kultiviert. EU-weit liegt Österreich, was die Erntemenge betrifft, im Jahr 2015 mit 136,200 Tonnen an sechster Stelle (Eurostat, 2016). Italien führt die Reihung an, gefolgt von Frankreich, Rumänien, Kroatien und Ungarn (Eurostat, 2016).

In Bezug auf den Hektarertrag, nahm Österreich EU-weit im Jahr 2015 hinter Italien, Griechenland, Spanien und Frankreich den fünften Platz ein (Eurostat, 2016). Österreichweit sind die größten Anbauflächen im Burgenland, Niederösterreich und Oberösterreich zu finden

(AMA, 2015). Auf Flächen und Erntemengen bezogen nimmt der Anbau zu, was durch die hohe Nachfrage im Lebens- und Futtermittelbereich bedingt ist. Im Jahr 2015 stieg die Anbaufläche im Vergleich zum Vorjahr um 30% auf fast 57.000 ha an (AMA, 2015). Die Steigerung der Menge im Lebensmittelbereich erfolgt seit Jahren kontinuierlich und erreichte 2014/2015 19.000 Tonnen (Statistik Austria, 2016). Abbildung 1 zeigt den Verlauf der in Österreich verbrauchten Mengen ab dem Jahr 2009/2010. Klar zu erkennen ist der, wenn auch auf vergleichsweise niedrigem Niveau, kontinuierliche Anstieg im Lebensmittelbereich, wohingegen sich der Futtermittelverbrauch nach einem starken Einbruch wieder erholt. Diese Daten inkludieren ebenfalls den biologischen Anbau, der in den vergangenen Jahren, ungeachtet der Einbrüche im konventionellen Bereich, stetig anstieg und im Jahr 2015 mehr als 13.000 ha betrug (AMA, 2016).

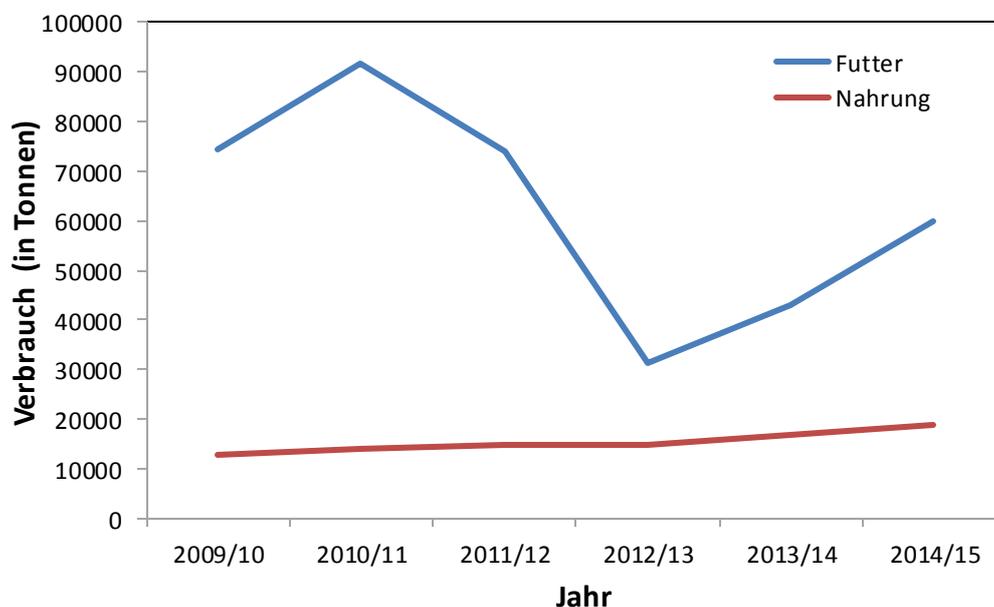


Abbildung 1: Vergleich der in Österreich zur Nahrungs- und Futtermittelherstellung verwendeten Sojamengen (Statistik Austria, 2016)

Der Selbstversorgungsgrad liegt bei beachtlichen 70% (Statistik Austria, 2016). Der übrige Bedarf wird durch den Import von Futtermitteln aus den Hauptproduktionsländern ausgeglichen.

1.3.3 Nischenmärkte: GVO-Freie Produkte und Donau Soja

Der ohnehin schon kleine Teil an der weltweiten Produktion, der für die Humanernährung bestimmt ist, weist weitere Sparten auf, die aus globaler Sicht als Nischenmärkte zu bezeichnen sind. Gentechnisch veränderte Sojabohnen machen den Großteil der weltweiten Ernte aus (GMO-Compass, 2014). Somit ist es durchaus möglich, mit dem Verzehr von tierischen Produkten, wenn auch auf indirektem Wege, Pflanzen zu konsumieren, deren

Erbgut verändert wurde. Vor allem Produkte aus den mengenmäßig führenden Produktionsländern sind betroffen. Die Bevölkerung Österreichs steht dieser Tatsache kritisch gegenüber und GVO-freie Produkte haben sich bereits etabliert. Ihre Herkunft lässt darauf schließen, ob für ein Produkt gentechnisch veränderte Rohstoffe verwendet werden. Die Österreichische Rechtslage gibt hier für inländische Produkte Sicherheit, da in Österreich Anbauverbote für kommerzielle Zwecke bestehen (Umweltbundesamt, 2016a). Dies inkludiert auch die wenigen für den Anbau in der EU zugelassenen Pflanzen (Umweltbundesamt, 2016a).

Vor allem wenn Soja direkt konsumiert wird, ist GVO-Freiheit für die Kaufentscheidung von Relevanz. Im EU-Raum müssen Lebensmittel, die GVOs enthalten, mit Wortlauten, wie „enthält genetisch veränderte Organismen“, gekennzeichnet werden (Umweltbundesamt, 2016b). Auch tierische Produkte, für deren Erzeugung keine gentechnisch veränderten Pflanzen verfüttert wurden, haben an Bedeutung zugenommen. Europäische Herkunft und somit auch GVO-Freiheit wird als Qualitätsmerkmal angesehen.

Das Streben nach einem möglichst hohen Anteil an Sojabohnen, die diesen Kriterien entsprechen, führte im Jahr 2012 zur Gründung des Vereins „Donau Soja“. Sein Ziel ist die Förderung der Versorgung mit gentechnikfreien Produkten aus dem Donau-Raum und umliegenden Gebieten (Donau Soja, 2016). Die mit dem „Donau Soja“- bzw. „Danube Soy“-Logo gekennzeichneten Produkte beinhalten entweder zu 100% Soja aus den entsprechenden Ländern bzw. Gebieten, oder die tierischen Produkte entstammen einer Produktion mit Futtersoja von Donau-Soja-Partnern (Donau Soja, 2016).

1.4 Sorten

Die zahlreichen Nutzungen und Anbauggebiete erfordern eine breite Palette an verfügbaren Sorten.

Allein in Österreich sind 64 Sorten zugelassen, die den Reifegruppen 0000 bis 0 zugeteilt wurden (Bundesamt für Ernährungssicherheit, 2016). Den größten Anteil machen 0000- und 000-Sorten mit 37 Eintragungen aus (BAES, 2016), was auch die klimatische Situation in Österreich widerspiegelt. Lediglich drei Sorten gehören der Reifegruppe 0 an (BAES, 2016).

Die Reifezeit kann zwischen 26 und 54 Tagen liegen, wie in Versuchen ermittelt wurde, bei denen der 31. Juli den Stichtag für den Beginn der Zählung darstellt (Schrank, 2015). Auch Öl- sowie Proteingehalt unterliegen einer großen Variabilität. Bei Feldversuchen lag der Ölgehalt in der Trockensubstanz zwischen 146,2 g/kg und 248,6 g/kg, die Erhebung des Proteingehalts ergab Werte zwischen 358,8 g/kg und 463,5 g/kg in der Trockensubstanz (Schrank, 2015). Ein noch größeres Spektrum bietet der Blick auf das mögliche Tausendkorngewicht, das zwischen 108g und 281g liegen kann (Schrank, 2015).

Soja gehört wie auch Reis (*Oryza sativa*) zu den weltweit häufig konsumierten Kulturpflanzen, die vergleichsweise viel Cadmium akkumulieren können. Das Schwermetall wird in der Leber und den Nieren eingelagert und kann abhängig von der Belastung zu gesundheitlichen Schäden führen (Dekant, Popa-Henning & Vamvakas, 2005). Die Halbwertszeit beträgt ungefähr 30 Jahre (Dekant et al., 2005). Aufgrund dessen spielt für Menschen, die regelmäßig Sojaprodukte, sowie Reis konsumieren, der Cadmiumgehalt in diesen Nahrungsmitteln eine Rolle. Im Gegensatz zu dem in Reis eingelagerten Element, kann das in den Leguminosensamen nachweisbare Schwermetall jedoch auch indirekt aufgenommen werden, da die Pflanze eine wichtige Eiweißquelle in der Fütterung von Nutztieren darstellt. Insbesondere Speisen mit Leber und Nieren können beträchtliche Mengen enthalten und so zur Gesamtbelastung von Menschen beitragen.

Auf züchterischer Ebene wird allerdings gegengesteuert, sodass Sorten erhältlich sind, deren Samen verhältnismäßig wenig Cadmium einlagern. Aktuell sind 18 Sorten, die auch in Österreich zugelassen sind, unter denen, die auf ihre Cadmium-Akkumulationsfähigkeit hin untersucht wurden (BAES, 2016; Vollmann, Lošák, Pachner, Watanabe, Musilová & Hlušek, 2015). Von diesen Sorten weisen lediglich fünf (Petrina, ES Mentor, Christine, Flavia und Josefine) die genetischen Voraussetzungen auf, die für einen niedrigen Cadmiumgehalt in den Samen Ausschlag gebend sein können.

2 Keimung und Keimfähigkeit

Ein Großteil der Pflanzen breitet sich über Samen aus. Diese Strategie macht es erforderlich, dass das Saatgut unwirtliche Bedingungen übersteht und erst keimt, wenn der Zeitpunkt günstig ist.

Um in aktive Phasen übergehen zu können, müssen direkte bzw. indirekte Reize im Ruhestadium wahrgenommen werden können. Dieser Zustand, in dem Samen längere Zeit überdauern können, wird als glassy state, vitrified state oder glasiger Zustand bezeichnet (Sun & Leopold, 1994). Er zeichnet sich durch hohe Viskosität des Cytoplasmas aus, was dazu führt, dass Reaktionen im und durch das Cytoplasma verlangsamt ablaufen (Sun & Leopold, 1994). Mit den Stoffwechselfunktionen werden somit auch Alterungsvorgänge gebremst. Es wird daher vermutet, dass die Lagerbarkeit von Samen mitunter davon abhängt, ob durch die gegebenen Bedingungen der glasige Zustand aufrecht erhalten werden kann (Sun & Leopold, 1994).

2.1 Viabilität und Keimfähigkeit

Um zu ermitteln, ob Saatgut für den Anbau geeignet ist, ist es essentiell, dieses zu testen. Dies beinhaltet, ob auf direktem oder indirektem Wege, die Bestimmung der Viabilität und/oder Keimfähigkeit. Diese Begriffe sind nicht synonym zu verwenden, obgleich sie auf den ersten Blick synonym verwendbar erscheinen.

Unter Viabilität wird in diesem Zusammenhang die Lebensfähigkeit der Samen verstanden, sie liegt der Keimfähigkeit zu Grunde, für deren Ermittlung sich die Pflanze erst weiter entwickeln muss. Liegt ein Unterschied zwischen Viabilität und Keimfähigkeit vor, ist es immer die Keimfähigkeit, die den niedrigeren Wert aufweist.

Keimlinge können mittels genau festgelegter Kriterien bewertet werden, um international vergleichbare Werte der Saatgutqualität zu ermitteln (Don, 2003). So verfügt ein normaler Sämling laut den Kriterien der ISTA (Don, 2003) über das Potential der Entwicklung zu einer passablen Pflanze, sofern diese in qualitativ gutem Substrat und unter günstigen Bedingungen (Feuchtigkeit, Temperatur und Licht) kultiviert wird. Im Zuge von Keimfähigkeitstests kann, sofern diese direkt ablaufen, bereits in frühen Stadien die Viabilität bestimmt werden. Sie zu testen, ist somit weniger zeitaufwändig als eine Überprüfung der Keimfähigkeit. Unterschiede zwischen Viabilität und Keimfähigkeit zuungunsten der Keimfähigkeit sind zu erwarten, da Keimlinge zwischen beiden Auswertungszeitpunkten absterben können, bzw. die Kriterien, gemäß derer eine Keimung als erfolgreich bewertet wird, unter Umständen nicht erfüllen können. Die Viabilität lässt sich auch indirekt mit Hilfe von Tests, wie dem Tetrazolium Chlorid (TZ)-Test, näherungsweise bestimmen (20/20Seedlabs, 2010). Innerhalb von 24-48 Stunden liegt ein Ergebnis vor, bei dem allerdings nur mit einer Kombination von chemischen und optischen Analysemethoden eine Aussage getroffen werden kann (20/20Seedlabs, 2010).

Pilzinfektionen und chemischer Schaden am Saatgut haben keinen Einfluss auf das Testergebnis (20/20 Seedlabs, 2010). Somit tendieren auch bei diesem Test die Werte dazu, im Gegensatz zu zeitaufwändigeren Verfahren, Ergebnisse zu liefern, die auf eine hohe Keimfähigkeit schließen lassen.

2.2. Keimung

Die Keimung tritt dann ein, wenn der Ruhezustand eines Samens gebrochen wird. Der zuvor auf ein Minimum reduzierte Stoffwechsel wird aktiv und dem bis dahin ruhenden Embryo werden organische Substanzen und Ionen bereitgestellt (Wild & Schmitt, 2012).

Die Versorgung aus gespeicherten Stoffen muss reichen, bis erfolgreich Photosynthese betrieben werden kann (Wild & Schmitt, 2012).

Fabaceen, zu denen auch die Sojabohne gehört, lagern die für die ersten Entwicklungsschritte benötigten Nährstoffe in den Kotyledonen ein (Wild & Schmitt, 2012). Das Speichergewebe ist somit im Embryo inkludiert und erscheint bei der epigäischen Keimung der Sojabohne in Form von Keimblättern, die, ebenso wie echte Blätter, zur Photosynthese fähig sind (Wild & Schmitt, 2012).

Crocker und Barton (1953) nennen die Keimtemperatur als kritischen Faktor für eine erfolgreiche Keimung. Je nach Kultur können im Tagesverlauf schwankende Temperaturen die Keimung positiv beeinflussen, zudem ist auch das vorhandene Maß an Wärme ausschlaggebend (Crocker & Barton, 1953). Bereiche von 15-30°C bzw. 20-30°C können, ebenso wie Temperaturen von unter 10°C, für manche Arten günstige Verhältnisse darstellen (Crocker & Barton, 1953).

2.2.1. Phasen der Keimung

Die Keimung lässt sich in drei Phasen unterteilen: Die Quellphase, das aktive Wachstum des Embryos und der Abbau der Speicherstoffe (Wild & Schmitt, 2012).

In der Quellphase nehmen die Samen Wasser auf und legen daher an Größe zu, dieser Prozess ist bis zum Eintreten der zweiten Keimphase reversibel, ohne mit einem Verlust der Keimfähigkeit einher zu gehen (Wild & Schmitt, 2012). Eine erfolgte Quellung lässt nicht auf die Vitalität der Samen schließen, da der Prozess rein physikalisch ist und auch bei bereits toten Samen gleichermaßen abläuft (Wild & Schmitt, 2012).

Die zweite Phase besteht im aktiven Wachstum des Embryos, das durch den Austritt der Keimwurzel aus der Schutzhülle sichtbar wird, dieser Prozess ist nicht reversibel (Wild & Schmitt, 2012).

Bis zu diesem Zeitpunkt hat der Embryo noch nicht auf die gespeicherten Reserven zurückgegriffen (Wild & Schmitt, 2012). Der Abbau der Speicherstoffe erfolgt erst in der

dritten und letzten Phase der Keimung (Wild & Schmitt, 2012). In dieser Phase platzt die Schutzhülle durch Ausdehnung des Keimlings auf, die gespeicherten Stoffe werden mobilisiert und dem Keimling zugeführt (Wild & Schmitt, 2012). Ist die junge Pflanze photoautotroph und somit fähig sich selbst zu ernähren, ist das letzte Stadium der Keimung abgeschlossen (Wild & Schmitt, 2012).

Kulturarten gehen in der Regel ohne Dormanz von der ersten in die zweite Phase der Keimung über. Züchterisch nicht bearbeitete Pflanzen benötigen oft einen zusätzlichen Stimulus, um das aktive Wachstum des Embryos einzuleiten (Wild & Schmitt, 2012). So können Sperrschichten in Samen vorhanden sein, die erst verrotten müssen (Wild und Schmitt, 2012). Auch chemische Barrieren, Temperatur und Licht, können auf den Zeitpunkt der Keimung Einfluss haben (Wild & Schmitt, 2012).

2.2.2. Faktoren, die den Erhalt der Keimfähigkeit beeinflussen

Die Grundlage für die Keimfähigkeit der Samen wird schon während der generativen Phase der Mutterpflanze gelegt. Stress, wie Wassermangel während der Kornfüllungsphase, kann die Keimfähigkeit verringern (Dornbos & Mullen, 1991). Ebenso betroffen ist die Vitalität, die durch Umweltstress abnehmen kann (Dornbos & Mullen, 1991).

Zudem spielen die Bedingungen eine Rolle, die bereits am Feld zwischen Reife und Ernte der Samen vorherrschen (Bhatia et al., 2010). Diese als „field weathering“ bezeichnete Beeinflussung tritt vor allem auf, wenn die Samen nach Abschluss ihrer physiologischen Reife hohen Temperaturen ausgesetzt sind (Bhatia et al., 2010). Dementsprechend wurde das Problem in Regionen Indiens mit tropischem Klima beobachtet, in denen auch Soja kultiviert wird.

Auch die Erntebedingungen können Einfluss auf die Keimfähigkeit der Samen haben. Bei einer falschen Einstellung der Erntemaschine kann das geerntete Saatgut beschädigt werden, was den Eintritt von Mikroorganismen ermöglicht und somit Infektionen fördert, oder den Embryo direkt schädigen kann. Der Erntezeitpunkt im Tagesverlauf spielt ebenso eine Rolle, da Samen, die überaus trocken sind, leichter brechen. Der Einfluss von Tau oder anderer Feuchtigkeit kann Gewebe, das unter anderen Umständen brüchig ist, elastischer und somit weniger empfindlich gegenüber mechanischen Belastungen machen.

Als wesentliche Faktoren, welche die Keimfähigkeit beeinflussen, können Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt genannt werden. Auch die Zusammensetzung der Umgebungsluft kann erfolgsentscheidend sein, da die meisten Arten zur Keimung Sauerstoff benötigen (Don, 2003). Ein erhöhter Gehalt an CO₂ hemmt die Keimung (Don, 2003). Einige Arten benötigen zudem Licht für die ersten Phasen ihres Lebens, andere wiederum werden durch dieselben Umstände in der Keimung gehemmt (Don, 2003). Sun (1997) fasste zusammen, dass

Trockenheit die Lebensdauer von Samen bis zu einem gewissen Grad verlängert. Sinkt der Feuchtigkeitsgehalt von Samen jedoch auf unter 5-8%, ist dies für den Erhalt der Lebensfähigkeit von Nachteil (Sun, 1997). Als normaler Wassergehalt für Saatgut wird 10% angegeben (Wild & Schmitt, 2012).

Crocker und Barton (1953) konnten in ihren Keimversuchen nachweisen, dass die Keimfähigkeit von Karotten, Auberginen und Tomaten nach fünf Jahren Lagerung mit einer Feuchtigkeit von 5,4; 5,2 bzw. 5% noch immer der von frischem Saatgut entspricht. Bei Tomaten kann der Wert bei gleicher Feuchtigkeit sogar über sieben Jahre hinweg gehalten werden (Crocker & Barton, 1953). Nach 10 Jahren liegt die Keimfähigkeit fast aller Spezies noch deutlich über 60%, lediglich Saatgut einer der Gattung *Capsicum* zugehörigen Nutzpflanze keimte nur noch mit einer Rate von 20% (Crocker & Barton, 1953). Die Samen wurden keiner speziellen Kühlung unterzogen, sondern in einem Labor gelagert und zum Entzug von Feuchtigkeit mit Calciumoxid vermengt.

Werden die Samen mit einem rund doppelt so hohen Feuchtigkeitsgehalt eingelagert, kann keine derart lange Phase des Keimfähigkeitserhalts beobachtet werden (Crocker & Barton, 1953). Die Keimfähigkeit geht nach fünf bis sieben Jahren komplett verloren und kann auch bereits im dritten Jahr nur noch im einstelligen Bereich liegen (Crocker & Barton, 1953).

Der Ölgehalt der Samen hat ebenfalls einen Einfluss auf die Keimfähigkeit. Je mehr Öl das Saatgut enthält, desto kurzlebiger ist es in der Regel, wogegen ein hoher Stärke- bzw. Eiweißgehalt keinen Effekt hat (Nagel & Börner, 2010). Ghiasvand Ghiasi (2007) fasste zusammen, dass vor allem das in den Kotyledonen und im Achsensystem eingelagerte Öl die Samenalterung beeinflusst. Da die Kotyledonen den Großteil eines Soja-Samenskorns ausmachen (Wild & Schmitt, 2012), spielt dies hier, wie auch bei anderen Leguminosen, eine entscheidende Rolle.

Die Größe der Samen wirkt sich ebenfalls auf die Viabilität und die Keimfähigkeit aus, wie Versuche von Hoy und Gamble (1985), Rezapour, Kazemi-arbat, Yarnia und Zafarani-Moattar (2013), sowie Dornbos und Mullen (1991) zeigen. In einem Experiment von Hoy und Gamble (1985) wiesen die größten Samen die schlechteste Keimfähigkeit auf, jedoch hatten auch extrem kleine Samen eine geringe Viabilität.

Andere Versuche sprechen dafür, dass bei mittelgroßen Samen mit den höchsten Germinationsraten zu rechnen ist (Rezapour et al., 2013). Dieses Ergebnis ist jedoch nicht signifikant. Werden die Durchschnittswerte betrachtet, weisen die größten Samen die höchste Keimrate auf, sofern nur Beobachtungen der ersten vier Versuchstage die Datengrundlage bilden (Rezapour et al., 2013). Danach holen auch andere Saatgutgrößen auf (Rezapour et al., 2013). Allzu große Samen könnten speziell bei Ölfrüchten dazu führen, dass die absolute

Ölmenge, die im Verhältnis zur Samengröße ebenfalls zunimmt und, dass die Keimfähigkeit somit leidet (Rezapour et al., 2013). Kleine Samen haben wiederum weniger Reservestoffe, weshalb mit mittleren Sortierungen verhältnismäßig gute Keimraten erzielt werden (Rezapour et al., 2013).

Die Größe der Samen ist nicht nur sortenabhängig, sondern unterliegt auch Umwelteinflüssen, wie Dornbos und Mullen (1991) ausführen. Doch entgegen der Vermutung, dass unter Stress stehende Pflanzen ausschließlich kleine Samen produzieren, wird beobachtet, dass bei Wasserknappheit durchaus noch relativ große Samen gebildet werden können, wenn auch deren Anzahl gering ist (Dornbos & Mullen, 1991). Unter den gleichen Bedingungen können auch kleine Samen mit einer Schale gebildet werden, die die Quellung negativ beeinflusst (Dornbos & Mullen, 1991).

2.2.3 Keimfähigkeitserhalt

Selbst wenn das Saatgut einen optimalen Feuchtigkeitsgehalt aufweist und die Umgebungstemperatur niedrig genug ist, um die Lebensfähigkeit der Samen lange zu erhalten, lässt die Keimfähigkeit früher oder später nach. Die von Bernal-Lugo und Leopold (1998), sowie von Nagel und Börner (2010) erstellten Keimfähigkeits- bzw. Überlebenskurven diverser Kulturen lassen zwei Abschnitte erkennen, die ein Plateau und einen sigmoiden Verlauf darstellen. Das Plateau, das nicht zwingend vorhanden ist, kennzeichnet einen Zeitraum, in dem kein, oder nur ein geringer Verlust der Keimfähigkeit erkennbar ist. Die Kurve schließt mit einem sigmoiden Verlauf ab, sofern das verwendete Saatgut alt genug ist, um die Keimfähigkeit bzw. die Überlebensfähigkeit gegen Null gehen zu lassen.

Bei einigen Arten ist zunächst ein Plateau erkennbar, das früher oder später in einen sigmoiden Verlauf übergeht, der, wenn auch in unterschiedlicher Länge, allen untersuchten Arten gemein war (Bernal-Lugo & Leopold, 1998). Beispiele werden in Abbildung 2 dargestellt. Zu beachten ist hier, dass das Saatgut nicht über längere Zeit gelagert wurde, sondern einer kontrollierten Alterung ausgesetzt wurde, im Zuge derer Luftfeuchtigkeit und Temperatur erhöht wurden.

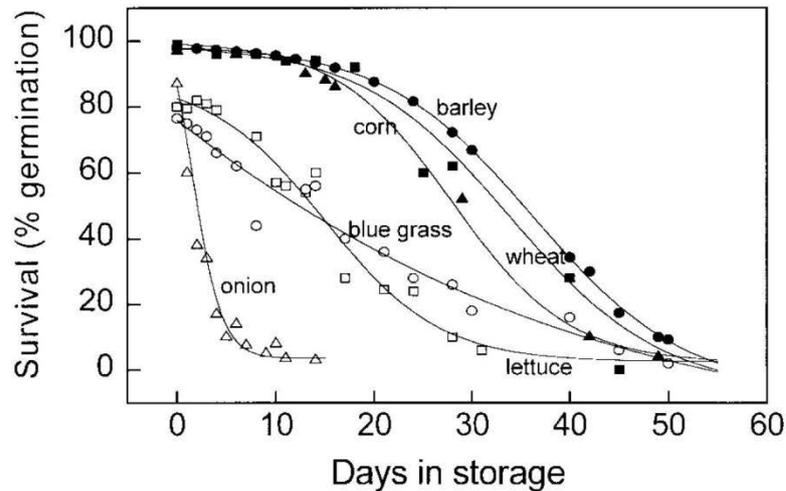


Abbildung 2: Keimfähigkeit von Kulturpflanzen nach kontrollierter Alterung (nach Bernal-Lugo & Leopold, 1998)

Zu den Arten mit einem deutlichen Plateau gehören gemäß den Darstellungen von Bernal-Lugo und Leopold (1998) Tomaten (*Solanum lycopersicum* L.), Gerste (*Hordeum vulgare* L.), Weizen (*Triticum* L.) und Mais (*Zea mays* L.).

Die Versuche von Nagel und Börner (2010) zeigten bei Kulturarten, wie Hafer (*Avena sativa* L.), Roggen (*Secale cereale* L.), Mais (*Zea mays* L.) oder Raps (*Brassica oleracea* L.), einen sigmoiden Verlauf der Germinationskurven, der, je nach Spezies, zwischen gestauchter und somit generell kurzem Keimfähigkeitserhalt und lang gezogener Form variiert (Nagel & Börner, 2010). Die Spezies *Zea mays* L., *Pisum sativum* L. und *Vicia sativa* L. weisen beim Experiment von Nagel und Börner (2010) einen Verlauf auf, der ein Plateau erkennen lässt, bevor die Keimfähigkeit rapide nachlässt und anschließend mit einem sigmoiden Verlauf jeweils nach über 20 Jahren gegen null geht, wie in Abbildung 3 und Abbildung 4 dargestellt wird.

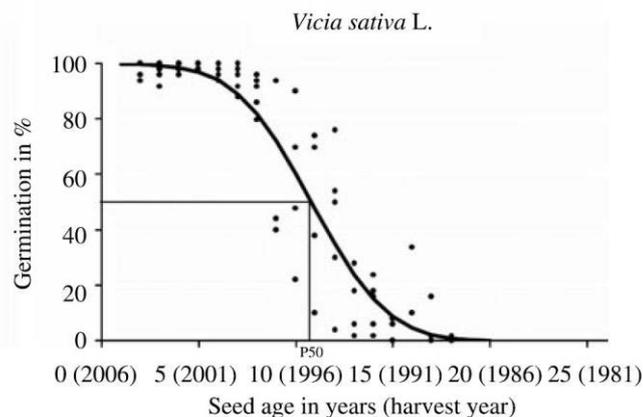


Abbildung 3: Germinationskurve von *Vicia sativa* L. (Nagel & Börner, 2010)

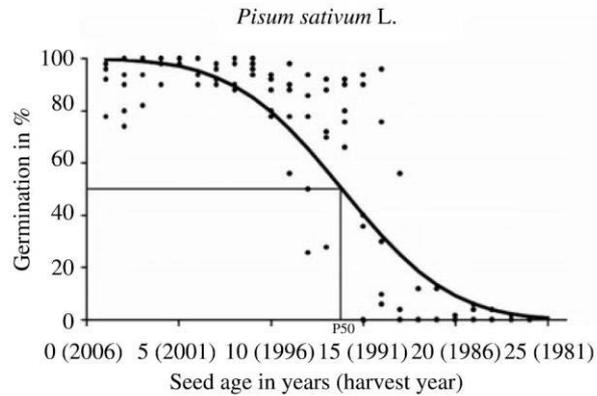


Abbildung 4: Germinationskurve von *Pisum sativum* L. (Nagel & Börner, 2010)

In diesem Kontext ist es auch interessant, erneut den ‚Glassy State‘ zu betrachten, auf den zuvor bereits eingegangen wurde. Sojabohnen, die den glassy state verlieren, büßen deutlich an Keimfähigkeit ein (Sun & Leopold, 1994). Teil A der Abbildung 5 zeigt deutlich den Verlust des glassy states im Zuge kontrollierter Saatgutalterung. Die graphische Darstellung der Keimfähigkeit von beschleunigt gealterten Sojabohnen in Teil B der Abbildung 5 weist einen ähnlichen Verlauf wie zuvor besprochene Abbildungen auf, da auch hier ein Plateau und eine starke Abnahme erkennbar sind (Bernal-Lugo & Leopold, 1998; Nagel & Börner, 2010).

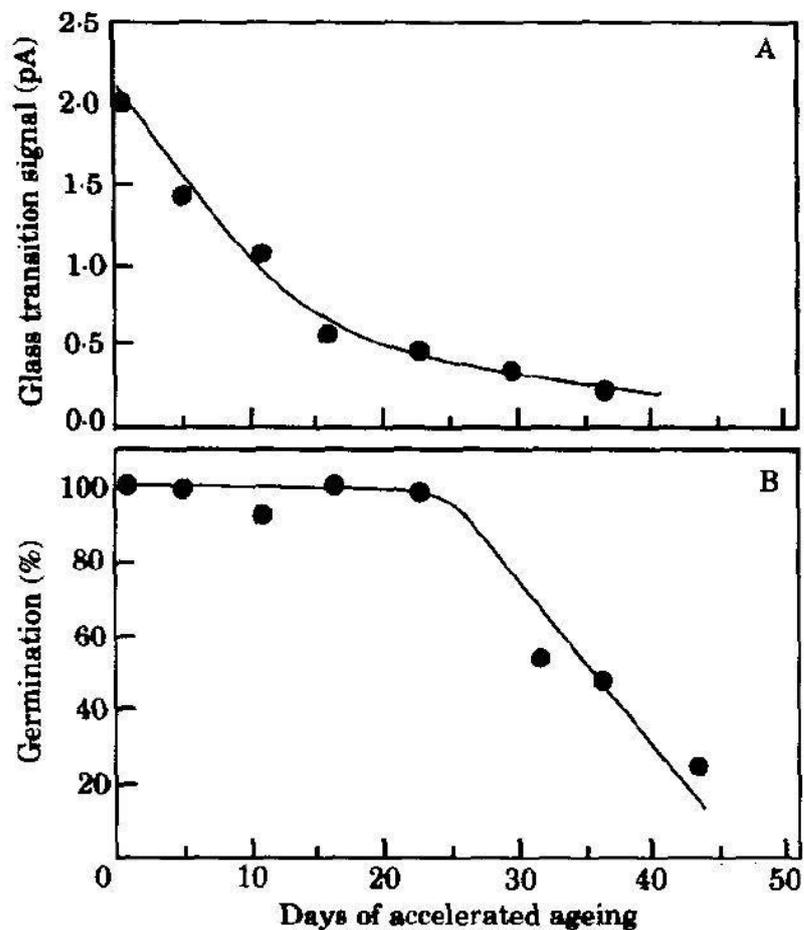


Abbildung 5: Verlauf des ‚Glassy States‘ und der Keimfähigkeit im Zusammenhang mit zunehmender kontrollierter Alterung des Saatguts von Sojabohnen (Sun & Leopold, 1993 zit. nach Sun & Leopold, 1994)

3 Samenschalenflecken

Abgesehen von Züchtungen mit einer breiten Palette an Inhaltsstoffen, herrscht auch große Variabilität, was das Aussehen der Bohnen angeht. Beispielsweise wurden basierend auf der Verwendung verschiedene Größen gezüchtet, Variationen der Samenschalenfärbung sind ebenso vorhanden. Reife Sojabohnen, die beispielsweise auch auf Produkten abgebildet werden und somit das Bild der „normalen“ Sojabohne mitformen, sind jedoch in der Regel elfenbeinfarben bis gelblich und einheitlich gefärbt. Streifen, Flecken oder ein dunkler Nabel sind nicht präsent.

Diese Darstellung entspricht auch den Anforderungen, die an hochpreisige Ware gestellt werden. Nischenmärkte, wie die Produktion von speziellen Nahrungsmitteln, stellen hohe Ansprüche an Kriterien wie Hilumfarbe, Eiweißgehalt, oder Zuckergehalt (Bilyeu, Ratnaparkhe & Kole 2010). So ist die präferierte Hilumfarbe für die Rohstoffe zur Erzeugung bestimmter Speisen in Japan aus rein optischen Gründen gelb (Benitez, Funatsuki, Kaneko, Matsuzawa, Bang & Takahashi 2004; Takahashi & Abe, 1994).

Doch nicht nur Nischenmärkte fordern, dass das Aussehen der Rohstoffe dem Abbild auf der Packung des verkaufsfertigen Produkts entspricht. Benitez et al. (2004) geben eine einheitlich helle Samenfärbung als Qualitätskriterium an und Grgić (2015) bezeichnet Verfärbungen des Hilums als unerwünscht. Bei der Übernahme von Ware in Bioqualität wird das Aussehen der Samen kontrolliert und Anlieferungen nach Nabelfarbe (dunkel bzw. hell) getrennt übernommen und gelagert (Lagerhaus, 2016). Dies ist bereits ein Hinweis darauf, dass in der Praxis eine einheitliche Färbung nicht immer erzielbar ist. Abgesehen von der Sortenwahl können auch unbeeinflussbare Umstände zu Flecken bzw. Streifen auf den reifen Samen führen, wie später aus Unterpunkt

3.4 Ursachen der Verfärbungen hervorgeht. Die Eignung für Speisezwecke kann durch diese Färbungen in Frage gestellt werden (Vollmann, 2006).

Die Samen werden jedoch in der Regel geschält, bevor sie zu Lebensmitteln weiterverarbeitet werden. Verfärbungen betreffen nur die Samenschale und nicht die darunterliegenden Kotyledonen (Morrison, Pietrzak & Voldeng, 1998). Die farbgebenden Stoffe sind zwar wasserlöslich, jedoch erfolgt der Schälprozess ohne Zugabe von Wasser, sondern durch Wärmezufuhr, was zum Ablösen der Schale führt (Börner & Henneberg, 2010). Somit ist ein Abfärben der Schale auf die Kotyledonen als unwahrscheinlich anzusehen, was eine Einfärbung des Endprodukts verhindert.

3.1 Geographische Eingrenzung

In den vergangenen Jahren hat sich aufgrund von Erfolgen in der Züchtung das für Sojabohnen geeignete Anbaugebiet nach Norden verschoben. Die wärmeliebende Pflanze kann nun auch in Ländern wie Kanada und Schweden, sowie kühlen Regionen, wie Sibirien

und Hokkaido kultiviert werden (Funatsuki & Ohnishi, 2009). Dabei wurde sogar der 50. nördliche Breitengrad überschritten, wie Abbildung 6 entnehmbar ist.



Abbildung 6: Weltkarte (Wetterdienst, s.a.)

In Folge dieser Entwicklung besteht die Möglichkeit, dass die Pflanzen während und nach der Blüte kühlen Temperaturen ausgesetzt sind. Sorten, deren Schalen unter warmen Anbaubedingungen eine einheitliche Färbung zeigen, können so Flecken aufweisen, die auch einen hohen Prozentsatz der Schale einnehmen können. So wurden beispielsweise auf der japanischen Insel Hokkaido gefleckte Bohnen geerntet (Srinivasan & Arihara, 1994), an in Kroatien kultivierten Sojabohnen wurden ebenfalls Verfärbungen dokumentiert (Takahashi & Abe, 1999). Auch in Österreich wurden Bohnen geerntet, die Verfärbungen des Hilums und der Samenschale aufwiesen, wobei beobachtet wurde, dass der Fleckungsgrad von Jahr zu Jahr variiert und temperaturabhängig ist (Grgić, 2015).

Das Auftreten von Flecken scheint in Österreich kein Sonderfall zu sein, da das Bundesamt für Ernährungssicherheit (2016) in den beschreibenden Sortenlisten bei Sojabohnen die Neigung zu Samenschalenflecken separat anführt. Betrachtet man die durchschnittliche Samenschalenfleckungsanfälligkeit der Reifegruppen, fällt auf, dass spätreife Sorten im Schnitt eine geringere Fleckungsneigung aufweisen (BAES, 2016). Dabei ist allerdings zu beachten, dass nur bei der Hälfte der angeführten Sorten der Reifegruppe 00 eine Bewertung der Samenschalenflecken angegeben wird.

3.2. Farbgebende Substanzen

Die farbgebenden Stoffe sind unterschiedliche phenolische Bestandteile, die in der Samenschale akkumuliert werden (Morrison et al., 1998). Neben Melanin bzw. Catechol

Melanin (Takahashi & Abe, 1994; Takahashi & Akiyama, 1993) sind auch Anthocyane als Flecken sichtbar (Kumar, Rani, Dixit, Pratap & Bhatnagar, 2010; Lee, Kim J.B., Choi, Ha, Kang & Kim D.S., 2015; Vollmann, 2006)

Anthocyane werden von Pflanzen gebildet. Sie kommen nicht nur im Gewebe von Früchten und Blüten vor, sondern sind auch in Wurzeln, Sprossen und Blättern nachweisbar (Chalker-Scott, 1999). Unter anderem hat der pH-Wert der Lösung einen Einfluss auf die Farbe der in ihr befindlichen wasserlöslichen Anthocyane. Das Farbspektrum umfasst blassrosa ebenso wie tiefblau und violett, sowie Zwischenstufen (Sonnefeld, 2014).

Zu den bisher in den Samenschalen von Sojabohnen nachgewiesenen Anthocyanen zählen Delphinidin-3-O- β -glucoside (D3G), Cyanidin-3-O- β -glucoside (C3G) und Petunidin-3-O- β -glucoside (Pt3G) (Lee et al., 2015). Für die Färbung der Blüten und Stängel von Sojabohnen, die, abhängig von der Sorte, auch lila sein können, sind ebenfalls Anthocyane verantwortlich. Ein Großteil der in Österreich zugelassenen Sorten weist lila Blüten auf (BAES, 2016). Die Wirkung von Anthocyanen als Radikalfänger ist allgemein bekannt. Für Pflanzen ist dies essentiell, da sie dem Einfluss von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) ausgesetzt sind, deren vielseitige Angriffspunkte ebenso vielseitige Abwehrmechanismen erforderlich machen (Bhatia, Yadav, Jumrani & Guruprasad, 2010). Konkret reduzieren Anthocyane beispielsweise den oxidativen Stress von Pflanzen, indem sie diese vor UV-Strahlen schützen (Kost, 2014).

3.3 Genetischer Hintergrund

Die Verfärbungen der Sojabohnenschalen werden durch mehrere Gene gesteuert, deren Aufgabe sich jedoch nicht nur darauf beschränkt. Gene, die einen Einfluss auf den Reifezeitpunkt haben, können gleichzeitig die genetische Basis für Samenschalenverfärbungen bilden (Benitez et al., 2004; Githiri, Yang, Khan, Xu, Komatsuda & Takahashi, 2007; Takahashi, 1997), wobei diese nur wahrnehmbar sind, wenn die Pflanzen im entscheidenden Zeitraum kühlen Temperaturen ausgesetzt wurden (Takahashi & Abe, 1999). Liegt die entsprechende genetische Basis vor, kann auch die Dauer der Kälteexposition den Verfärbungsgrad bestimmen (Morrison et al., 1998). Die Intensität der Verfärbungen hängt vom vorhandenen Allel bzw. der Allelkombination ab (Benitez et al., 2004; Githiri et al., 2007), zudem können auch Risse („Cracking“) in der Samenschale auftreten (Benitez et al., 2004).

Die Wirkung von rezessiven und dominanten Allelen lässt sich hier nicht verallgemeinern, so führt *e3* zu verstärkter Pigmentierung und Rissbildung, wogegen *e4* auf beide Merkmale mildernd wirkt (Benitez et al., 2004). Eine Kombination der beiden rezessiven Allele in derselben Pflanze führt zu einer mittelstarken Ausprägung der untersuchten Zustände (Benitez et al., 2004).

T unterdrückt die Ausbildung von Verfärbungen der Hilumregion und zum Teil die Rissbildung (Benitez et al., 2004).

Ein Überblick über für Färbungen verantwortliche Allele und deren Besonderheiten ist in Tabelle 1 zusammengefasst, wobei in der Literatur der Fokus auf verfärbungshemmende Allele gelegt wurde und somit nicht alle genannten Allele genau beschrieben werden können.

Tabelle 1: Allele, die einen Einfluss auf die Anfälligkeit gegenüber Verfärbungen haben (Benitez et al., 2004; Morrison et al., 1998; Takahashi, 1997 und Takahashi & Abe, 1999)

Allel	dominant/rezessiv	Einfluss auf		Besonderheiten in Bezug auf Verfärbungen und Rissbildung
		Färbung	Rissbildung	
E1	dominant	stark verringert	stark verringert	
e1	rezessiv			
E2	dominant	leicht verringert	verringert	
e2	rezessiv	Kein Effekt		
E3	dominant	verringert	verringert	wirkt additiv in Kombination mit e4 und E4
e3	rezessiv	verstärkt	verstärkt	wirkt additiv in Kombination mit e4 und E4
E4	dominant			wirkt additiv in Kombination mit e3 und E3
e4	rezessiv	leicht verringert	stark verringert	wirkt additiv in Kombination mit e3 und E3
E5	dominant	stark verringert	stark verringert	
e5	rezessiv			
E7	dominant	verringert	verringert	
e7	rezessiv			
T	dominant	völlig verringert	teilw. verringert	T hat auch mit ii einen sehr starken Effekt
t	rezessiv			hat Einfluss auf Flavonoid Biosynthese wirkt auch alleine mit tt, jedoch weniger stark
I	dominant	verringert	verringert	
i	rezessiv			

Neben der Beeinflussung des Reifezeitpunkts und der Pigmentierung können die in Tabelle 1 aufgezählten Allele auch an anderer Stelle in das Leben der Pflanzen eingreifen. So kann die Reaktion auf lange Tage im Zusammenhang mit der Blüte beeinflusst werden (Benitez et al., 2004).

I beeinflusst die Verteilung der Samenschalenfarbe und wirkt zudem ähnlich, wenn auch nicht so stark, wie T (Benitez et al., 2004). Jedoch scheint ein bestimmtes Maß an Kältestress die Funktion von I zu beeinträchtigen, sodass trotz der prinzipiell unterdrückenden Wirkung von I Verfärbungen und Risse nachgewiesen werden können (Takahashi, 1997).

3.4 Ursachen der Verfärbungen

Für das Auftreten von Verfärbungen bei Sojabohnen kann es mehrere Gründe geben. Im Wesentlichen lassen sich die Ursachen auf drei Möglichkeiten einschränken:

- Die Pflanzen wurden mit Viren infiziert.
- Färbungen bzw. Fleckungen wurden durch Kälteeinwirkung hervorgerufen.
- Es handelt sich um sortentypische Färbungen bzw. Fleckungen.

3.4.1 Viren

Zum einen kann eine Infektion mit Virose, wie zum Beispiel dem Gurkenmosaikvirus oder dem Sojamosaikvirus, Flecken auf der Samenschale verursachen (Kasai et al., 2009). Auch die AGES (2015) nennt Virusbefall mit dem Sojabohnenmosaikvirus als Grund für das inhomogene farbliche Erscheinungsbild von Sojabohnen. Die Arbeit von Hobbs et al. (2003) bestätigt, dass der Befall mit dem Sojabohnenmosaikvirus (SMV) und dem Bean Pod Mottle Virus (BPMV) Fleckungen der reifen Samen hervorrufen kann. Das SMV, sowie das BPMV sind über tierische Vektoren übertragbar (Tolin & Lacy, 2004). Zudem spielt auch die rein mechanische Übertragung, beispielsweise durch landwirtschaftliche Geräte, durch die gesunde Pflanzen in Kontakt mit infektiösem Pflanzensaft kommen können, eine Rolle (Tolin & Lacy, 2004). Eine Übertragung über das Saatgut ist beim BPMV relativ unwahrscheinlich, das SMV hingegen kann mit einer Wahrscheinlichkeit von 2-75% die nächste Generation infizieren (Tolin & Lacy, 2004). Hobbs et al. (2003) merken jedoch auch an, dass infizierte Pflanzen nicht gezwungenermaßen gefleckte Samen hervorbringen und dass auch Pflanzen mit Negativbefund in der Lage sind, uneinheitlich gefärbte Bohnen zu tragen. Als Erklärung für das Erscheinungsbild der gesunden Samen wird Kälteeinwirkung angegeben (Hobbs et al., 2003).

In Kombination mit Kälteeinwirkung wird auch beobachtet, dass schon bei Temperaturen von 20°C infizierte Pflanzen eine hohe Neigung haben, Flecken zu entwickeln, sofern sie dieser Temperatur während der frühen Entwicklungsphase der Hülsen ausgesetzt sind (Ross, 1970). Erst ab einer Temperatur von 30°C wird eine Reduktion der Verfärbungen festgestellt (Ross, 1970). Die Temperaturen tragen lediglich zum Sichtbarwerden der Infektionen auf den Samen bei, ein Einfluss auf die Virusübertragung kann nicht bestätigt werden (Ross, 1970). Die Verfärbungen können auch nicht als Indikator für die tatsächlich erfolgte Übertragung betrachtet werden (Ross, 1970).

3.4.2 Kälte

Nicht nur die Kombination aus einer oder mehreren Virusinfektionen und Kälteeinwirkung kann Verfärbungen hervorrufen, die Temperatur allein kann auch ausschlaggebend sein. Temperaturen von rund 15°C nach bzw. während der Blüte der Pflanzen können zu den unerwünschten Verfärbungen führen (Benitez et al., 2004), entsprechende Beobachtungen wurden bereits in Japan und Österreich dokumentiert (Grgić, 2015; Kasai et al., 2009). Hierbei wurde über keinerlei Erkrankungen der Pflanzen berichtet.

Auch Morrison et al. (1998) geben eine Tagesminimumtemperatur von 15°C während der Samenentwicklung als kritische Grenze für Verfärbungen an. Versuche lassen darauf schließen, dass die Ausprägung der Verfärbung mit dem Entwicklungsstadium der Blüten in Verbindung steht (Githiri et al., 2007). Die Sensibilität hängt von einer Reihe von Genen ab, auf die in Punkt 3.3 Bezug genommen wird.

Bis zu acht Tage nach der Blüte sind die sich entwickelnden Hülsen sensibel gegenüber Kälte

und können, unter kühlen Bedingungen und bei entsprechender genetischer Voraussetzung, Samen mit inhomogener Färbung entwickeln (Funatsuki & Ohnishi, 2009). Starke Effekte sind bereits ab dem vierten Tag nach Blühbeginn bei entsprechenden Temperaturen nachweisbar (Githiri et al., 2007). Takahashi und Abe (1994) setzten zwei Sorten vier bis acht Tage nach der Blüte einer Temperatur von 15°C aus, woraufhin die Sorten mit unterschiedlich starker Fleckenbildung auf den reifen Samen reagierten.

Die auftretenden Flecken können auf die Bildung und Einlagerung von Anthocyanen zurückgeführt werden (Grgić, 2015). Der Effekt wird durch warme Herbsttemperaturen verstärkt, sofern die entscheidende Phase kühl genug war, um die Anthocyanbildung hervorzurufen (Grgić, 2015). Grgić (2015) beobachtete zudem einen Zusammenhang zwischen der Durchschnittstemperatur im Juli und den von ihm vergebenen Boniturwerten, wobei betreffende Boniturwerte umso höher ausfielen, je kühler der Juli im Schnitt war. Die durchschnittlichen Temperaturen der Monate Mai, Juni und August korrelieren nicht mit den vergebenen Boniturwerten (Grgić, 2015). Abgesehen davon können auch warme Temperaturen Ende August bis Mitte September zu einer stärkeren Ausprägung von Flecken führen, deren Grundlage zuvor durch niedrige Temperaturen geschaffen wurde (Grgić, 2015).

3.4.3 Sortentypisches Erscheinungsbild

Gemeinsam ist den beiden bereits genannten Möglichkeiten, dass die Pflanzen lediglich auf einen äußeren Faktor reagieren. Abseits der fleckigen Verfärbungen, deren Auftreten von äußeren Einflüssen abhängt, gibt es zahlreiche Sorten, die unter optimalen Anbaubedingungen teilweise oder gänzlich von dem klassischen Bild der einheitlich hellen Sojabohne abweichen. Die Vielfalt reicht hier von Sorten, die auch ohne Kälteeinwirkung einen dunklen Nabel aufweisen, bis zu völlig schwarz oder braun gefärbten Züchtungen.

Eine dunkle Färbung der Samenschale kann auch unter kontrollierten Bedingungen mittels Gamma-Strahlung hervorgerufen werden (Lee et al., 2015). Nachkommen mit durch Mutation hervorgerufener dunkler Schale weisen im Gegensatz zu ihren Eltern drei zuvor nicht messbare Anthocyane auf (Lee et al., 2015). Lee et al. (2015) stellten bei der Messung der Aktivität von zwei Radikalen signifikante Unterschiede zwischen mutierten und unmutierten Samen fest, wobei dunkle Samen eine deutlich geringere Radikal-Aktivität aufwiesen. Diese neu entstandenen Sorten werden aufgrund ihrer Anthocyane als relevant für die Züchtung von Konsum-Soja eingeschätzt (Lee et al., 2015). Bei anderen Sorten mit vom klassischen Bild abweichender Färbung, die zum Teil bereits wesentlich länger kultiviert werden, spielt die Färbung bei der zgedachten Verwendung keine Rolle, oder sie ist sogar erwünscht.

3.5 Einfluss der Verfärbungen

Die Anwesenheit von Flecken hat keinen signifikanten Einfluss auf das Tausendkorngewicht der Samen, wobei ungefleckte Bohnen im Schnitt jedoch bei allen untersuchten Sorten

trotzdem etwas schwerer sein können (Grgić, 2015). Es wurde zudem ein Zusammenhang zwischen der Pigmentierung der Samenschalen und Rissen in eben dieser festgestellt (Benitez et al., 2004), wie auch in Tabelle 1 angeführt ist. Für die Gene I und T gibt es signifikante Zusammenhänge betreffend Pigmentierung und Rissbildung der Samenschale (Takahashi, 1997). Auch Takahashi und Abe (1994) beobachteten mit zunehmender Fleckung eine gesteigerte Neigung zu Rissen in der Schale. Die entstandenen Risse sind in der Nähe des Hilums vor allem an verfärbten Stellen zu finden (Srinivasan & Arihara, 1994).

Im Handel gilt eine einheitlich helle Färbung der Samen als Qualitätskriterium (Benitez et al., 2004), obwohl die Färbung keinen negativen Einfluss auf das Tausendkorngewicht hat (Grgić, 2015). Die Verfärbung des Hilums gilt als unerwünschtes Merkmal (Grgić, 2015) und wird zusammen mit der Neigung zu Samenflecken unter anderem in der beschreibenden Sortenliste der AGES als Bewertungskriterium angeführt (BAES, 2016). Sorten mit dunkelbrauner und schwarzer Nabelfärbung sind ebenso unter den zugelassenen Sorten zu finden, wie Sorten mit deutlicher Neigung zu Samenflecken (BAES, 2016). Somit kann davon ausgegangen werden, dass Verfärbungen als visuell erkennbares Qualitätskriterium herangezogen werden und daher Einfluss auf den Verkaufspreis haben.

In von Santos, Póla, Barros & Prete (2007) durchgeführten Experimenten beträgt der Unterschied in der Viabilität bzw. der Keimfähigkeit zwischen gelben, also ungefleckten, und gefleckten Sojabohnen im Mittel bis zu 13%. Die Daten wurden mittels eines Tetrazolium Chlorid (TZ)-Tests und Keimtests (mit und ohne beschleunigter Saatgualterung) generiert, untersucht wurde das Saatgut von drei Sorten (Santos et al., 2007). Im Mittel sind die gefleckten Samen den ungefleckten bis auf eine Ausnahme überlegen. In einem Fall erzielten beide untersuchte Gruppen denselben Wert, in allen anderen Fällen beträgt die Differenz zwischen den Mittelwerten 3 – 13% (Santos et al., 2007). Auch in den von Grgić (2015) durchgeführten Versuchen zeigt sich dieselbe Tendenz, wenn auch der Spitzenwert der Unterschiede nicht dermaßen hoch ausfällt.

4 Fragestellungen

Lässt sich die Viabilität von Sojabohnen in Abhängigkeit vom Alter durch einen sigmoiden Kurvenverlauf bzw. ein Plateau mit anschließendem sigmoiden Kurvenverlauf beschreiben, wie er auch bei anderen Leguminosen der Fall ist?

Diese Frage begründet sich aus der Notwendigkeit, das zur Verfügung stehende Saatgut einschätzen zu können. Für die Beantwortung der zentralen Frage wird vorausgesetzt, dass das verwendete Saatgut hinsichtlich seiner Viabilität einen typischen Verlauf ausweist. Viabilitäts- bzw. Germiationskurven von Nagel und Börner (2010), sowie Bernal-Lugo und Leopold (1998) dienen hierfür als Vergleich. Starke Abweichungen könnten ein Zeichen für Einflüsse sein, die die Lagerbarkeit der Samen im Allgemeinen negativ beeinflussen, was die Vergleichbarkeit der in den Viabilitätsversuchen generierten Daten mit anderen Viabilitätsdaten erschweren oder gar unmöglich machen würde.

Wie wirkt sich die Fleckung von Sojabohnen auf deren Viabilität aus?

Die Basis für die zentrale Frage liefert ein Versuch von Grgić (2015), bei dem die Keimfähigkeit von 15 Probenpaaren ermittelt wurde. Die gefleckten Bohnen wiesen hierbei durchwegs eine höhere Keimfähigkeit auf als die ungeflechten, die Unterschiede waren signifikant (Grgić, 2015).

Unterschiede zwischen zwei auf Basis ihrer Farbe getrennten Gruppen konnten auch Santos et al. (2007) feststellen, wobei ebenfalls die gefleckten Sojabohnen eine höhere Viabilität bzw. Keimfähigkeit aufwiesen.

Dass das von Grgić (2015) verwendete Saatgut Rückstellmustern der AGES aus dem Jahr 2012 entstammt, lässt die Vermutung zu, dass bereits nach wenigen Jahren Viabilitätsunterschiede feststellbar sein könnten. Die Auswirkungen von kälteinduzierten Samenschalenverfärbungen könnten aber auch bei einer längeren Lagerdauer eine Rolle spielen. In den für diese Arbeit durchgeführten Versuchen wird daher die Viabilität von diversen Sorten und Züchtungslinien mit einem Alter und somit einer Lagerdauer von bis zu 12 Jahren unter dem Einfluss von zwei Keimtemperaturen untersucht. Zudem wird mit größeren Stichproben als in vorangegangenen Experimenten gearbeitet.

5 Material und Methoden

Die Versuche wurden in Tulln am Department für Nutzpflanzenwissenschaften durchgeführt und dauerten von Mai 2015 bis September 2015.

Die Generierung der Daten in den Versuchen basiert auf Viabilitätstests, denen die Bonitur der Samenschalenfleckung voraus ging. Sämtliche Versuche fanden in Tulln unter kontrollierten Bedingungen statt. Zur Versuchsdurchführung standen ein Raum mit einer Temperatur von rund 23°C, sowie ein Incubator (Memmert Klimaschrank, Memmert, Schwabach, Deutschland) zur Verfügung.

5.1 Bonitur

Für die visuelle Fleckenbonitur wurde ein 9-stufiges Bewertungsschema erstellt. Als Orientierung diente die von Grgić (2015) erstellte Einteilung.

Die Zuteilung einer Boniturstufe erfolgte aufgrund des Anteils gefleckter Samenschalen einer Probe. Die Intensität der Färbung war nicht ausschlaggebend, sodass hellbraune Flecken, die einen großen Teil der Samenschale färbten, gleich wie ein ebenso großer Anteil an dunklen Flecken mit einer entsprechend hohen Boniturstufe bewertet wurden.

Das Boniturschema versah ungefleckte Bohnen mit dem Boniturwert „1“ und sehr stark gefleckte Bohnen mit dem Boniturwert „9“. Die Proben wurden immer der höchstmöglichen Boniturstufe zugeordnet. Beispiele für die der Bewertung zu Grunde liegenden Boniturstufen bzw. Boniturnoten sind in Tabelle 2 angeführt.

Tabelle 2: Aufschlüsselung des verwendeten Boniturschemas mit Beispielen

	<p>Boniturnote 1 :</p> <p>Keine Verfärbung der Samenschale, eine evtl. vorhandene sortenbedingte Verfärbung des Hilums wird nicht berücksichtigt</p>
	<p>Boniturnote 2:</p> <p>Hilum ist verfärbt, die leichten, davon ausgehenden Verfärbungen bedecken max. 10% der über die Probe gemittelten Samenoberfläche</p>
	<p>Boniturnote 3:</p> <p>Hilum ist verfärbt, die davon ausgehenden Verfärbungen bedecken max. 20% der über die Probe gemittelten Samenoberfläche</p>
	<p>Boniturnote 4:</p> <p>Hilum ist verfärbt, die davon ausgehenden Verfärbungen bedecken max. 35% der über die Probe gemittelten Samenoberfläche</p>
	<p>Boniturnote 5:</p> <p>Hilum ist verfärbt, die davon ausgehenden Verfärbungen bedecken max. 50% der über die Probe gemittelten Samenoberfläche</p>
	<p>Boniturnote 6:</p> <p>Hilum ist verfärbt, die davon ausgehenden Verfärbungen bedecken maximal 65% der über die Probe gemittelten Samenoberfläche</p>
	<p>Boniturnote 7:</p> <p>Hilum ist verfärbt, die davon ausgehenden Verfärbungen bedecken maximal 75% der über die Probe gemittelten Samenoberfläche</p>

	<p>Boniturnote 8: Maximal 90% der über die Probe gemittelten Samenoberfläche ist verfärbt.</p>
	<p>Boniturnote 9: Mehr als 90% der über die Probe gemittelten Samenoberfläche ist verfärbt</p>

5.2 Experimente

Das verwendete Saatgut stammte aus den Jahren 2003 bis 2014 und wies zum Versuchsbeginn eine Lagerdauer zwischen einem und zwölf Jahren auf.

Sämtliches Saatgut wurde seit 2011 in einem auf rund 6°C gekühlten Raum gelagert. Älteres Saatgut wurde zuvor unter weniger kontrollierten Bedingungen aufbewahrt, bevor es ebenfalls im gleichen Kühlraum eingelagert wurde. Die Begutachtung des Versuchsmaterials lässt eine große Vielfalt an Samenfarben und -größen festhalten. Neben Varietäten, die augenscheinlich temperaturunabhängig eine braune oder schwarze Samenschale aufwiesen, bot sich auch hinsichtlich der Fleckenmuster, des Farbtons und dessen Intensität eine große Vielfalt, wie aus den Beispielbildern aus Tabelle 2 hervorgeht. Eine Auflistung des für die Experimente verwendeten Saatguts ist in Tabelle 3 ersichtlich.

Tabelle 3: Übersicht über das für die Experimente verwendete Saatgut

Jahr	Namen der Probensets	Experiment
2003	Kti	1 2
2003	S early	1
2005	G Prot.scr. 2	1
2005	promisc nod	1
2007	Arche Noah	1
2008	S early	1 2
2010	Low oil	1 2
2010	GQ4X-nn-myc	1 2 3
2011	div. Verm	1
2011	Low oil	1 2
2012	nod_nil_mycorr	1 2
2013	Arche Noah	1
2013	Low oil	1
2014	GT8X-10X hi suc	1

Die Entnahme der Proben erfolgte nach visueller Beurteilung einiger Stichproben eines Versuches.

Konnte während der Durchführung der ersten beiden Experimente bei einer Probe zumindest die Gesamtboniturnote 3 vergeben werden, wurde abgeschätzt, ob genug gefleckte und ungeflechte Samen vorhanden waren, um die Teilung der Probe vorzunehmen. Hierfür waren zumindest 50 ganze Samen der jeweils benötigten farblichen Ausprägung erforderlich. Proben, die mit einem geringeren Gesamtboniturnote beschrieben wurden, wurden ebenfalls in die Versuche mit aufgenommen, es wurden jedoch teilbare Proben bevorzugt. Die Aufnahme von unteilbaren Proben in die Versuche begründet sich aus dem Ziel, eine möglichst breite Datenbasis zur Erstellung einer Germinationskurve zur Verfügung zu haben.

Die Samen wurden in rund 17x11x7cm großen Plastikbehältern („Boxen“) mit Deckeln zum Keimen gebracht, wobei die Deckel nur lose aufgelegt wurden, um minimalen Luftaustausch, sowie einfachere Kontrollen und Auswertungen zu ermöglichen.

Pro Behälter wurden 50 Samen auf mehrere Schichten saugfähige Papierhandtücher platziert, die mit Leitungswasser durchtränkt wurden, bevor die Samen im Behälter verteilt wurden.

Zur Benetzung, nachträglichen Wässerung und Hemmung der Entwicklung von niederen Pilzen wurden die Proben mit einer 1%igen Chinosol-Leitungswasser-Lösung besprüht. Bei Experiment 1 wurden während der Keimung die Behälter in einen Raum mit einer Temperatur von rund 23°C platziert.

Für Experiment 2 wurde ein Incubator verwendet, um das Saatgut bei 12°C keimen zu lassen. Der Alarmpunkt des Gerätes wurde auf 13°C gesetzt.

Die Durchführung des dritten Experiments erforderte das Platzieren der Plastikbehälter bei

rund 23°C, sowie die Benützung des Incubators, der gleich eingestellt wurde wie im zweiten Experiment.

In regelmäßigen Abständen wurden bereits gekeimte Samen entfernt, die Gesamtzahl der gekeimten Samen wurde indirekt über die Anzahl der ungekeimten Samen ermittelt. Bei Behältern, in denen sich eine niedrige Viabilitätsrate bereits zu Versuchsbeginn abzeichnete, wurde schon beim Entfernen der wenigen früh bestimmbar vitalen Keimlinge deren Zahl dokumentiert, um im späteren Verlauf Fehler bei der Auszählung zu vermeiden.

In den beiden ersten Experimenten wurde ein Keimling als lebensfähig gewertet, wenn er eine gesunde Wurzel ausbilden konnte und die beiden Kotyledonen intakt waren. Abbildung 7 zeigt Samen, die als viabel gewertet wurden.



Abbildung 7: Lebensfähige Samen

Die Keimlinge des dritten Experiments wurden anhand anderer Kriterien beurteilt, die unter 5.2.3 Experiment 3 angeführt werden.

5.2.1 Experiment 1

Der erste Versuch umfasste 445 Boxen mit jeweils 50 Sojabohnen, die aus insgesamt 14 Anbauversuchen stammten. Das Saatgut stammte aus den Jahren 2003 bis 2014, wobei die in dem Experiment inkludierten Versuchsjahre nicht den ganzen Zeitraum abdecken und einige Jahre mit mehreren Versuchen vertreten waren, wie in Tabelle 3 angeführt. Die hohe Zahl an Saatgut-Versuchsjahren leitet sich von der ersten Fragestellung ab, für deren Beantwortung eine breite Datenbasis von Nöten ist.

Während der Keimung wurden die Behälter in einen Raum mit einer Temperatur von rund 23°C gestellt. In regelmäßigen Abständen wurden bereits gekeimte Samen entfernt, die Gesamtzahl der gekeimten Samen wurde meist indirekt über die Anzahl der ungekeimten Samen ermittelt. Es wurde nicht gewartet, bis die Keimblätter sich entfalten, die Vitalität der keimenden Samen wurde bereits vorher visuell beurteilt.

5.2.2 Experiment 2

Wie im ersten Versuch wurde auch hier jede Box mit 50 Samen befüllt. In Summe wurden 184 Behälter mit Saatgut aus sechs Anbauversuchen bestückt, die zwischen 2003 und 2012 stattfanden, wobei auch hier nicht jedes Jahr dieses Zeitraumes vertreten war.

Die Keimung der Sojabohnen erfolgte in einem Incubator bei 12°C, der Alarmpunkt des Gerätes wurde auf 13°C gesetzt. Wie im ersten Experiment wurden Samen, die bereits als lebensfähig angesehen werden konnten, entfernt und die Anzahl der vitalen Keimlinge meist durch Auszählen der nicht lebensfähigen Samen ermittelt.

Auch bei diesem Experiment wurde nicht gewartet, bis sich Keimblätter zeigen, sondern ebenfalls die Vitalität visuell beurteilt.

5.2.3 Experiment 3

Das letzte Experiment umfasste 20 Behälter mit Saatgut aus einem Versuch aus dem Jahr 2010. Hier erfolgte keine Teilung von gefleckten und ungefleckten Bohnen, jedoch war jede Plot-Nummer zweimal vertreten, um den Einfluss der beiden in den vorherigen Experimenten vorherrschenden Keimtemperaturen unterscheiden zu können. Jeweils 10 Boxen wurden in einem Incubator und in einem rund 23°C warmen Raum platziert. Folglich unterschieden sich die Komponenten eines Probenpaares lediglich, was die Temperatur anging, der sie ausgesetzt waren. Im Gegensatz zu den vorangegangenen Experimenten war es das Ziel, die Entwicklung der Samen bis zum Keimblattstadium zuzulassen.

Dieses Experiment diente dazu, einen Vergleich zwischen der in anderen Versuchen mit derselben Saatgutherkunft ermittelten Viabilität und der Überlebensrate bis zum Keimblattstadium zu ziehen.

5.3 Datenbearbeitung und Datenauswertung

Die Daten aller Versuche wurden mit den Programmen Quattro Pro, SPSS, Sigma Plot und Microsoft Excel 2010 ausgewertet. Dies inkludiert auch graphische Darstellungen der Ergebnisse. Es wurden paarweise t-Tests und Korrelationsanalysen durchgeführt, sowie Mittelwerte und Mediane berechnet.

Tabellen wurden in Microsoft Excel 2010, bzw. Microsoft Word 2010 erstellt.

Die Bearbeitung der im Zusammenhang der Versuche aufgenommenen Fotos erfolgte mit IrfanView 4.38.

6 Ergebnisse

Alle durchgeführten Versuche konnten ausgewertet werden. Die Ergebnisse beruhen auf bereinigten Daten. Bei der Auswertung wurde aufgrund der in der Literatur vorliegenden Ergebnisse zum Teil über die zur Beantwortung der Fragestellungen erforderlichen Auswertungen hinausgegangen.

6.1 Experiment 1

Bei der Auswertung der Daten wurden Probenpaare mit starkem Schimmelpilzbefall gemeinsam eliminiert, auch wenn nur eine Box betroffen war, da ein Vergleich der beiden Behälter hinsichtlich ihrer Viabilität nicht mehr durchgeführt werden konnte. Das zur Verfügung stehende Saatgut beinhaltete wenige Versuche, in denen vermutlich eine Aufspaltung stattfand, die nicht die Bildung eines Probenpaares, sondern eines Probenrios erforderlich gemacht hätte. Betreffende Proben wurden nicht bei allen Auswertungen berücksichtigt. Zudem konnten Vermischungen und sonstige Fehler bei einigen Proben nicht ausgeschlossen werden, was zu deren Ausschluss aus der Datenbasis führte.

Von den ursprünglich bestückten 445 Boxen bilden somit 411 die Grundlage für die statistischen Auswertungen. 72 Paare, also 144 Boxen dienten als Basis für die Paarvergleiche. Die Boxen wurden abhängig von ihrer Entwicklung nach zwei bis 14 Tagen ausgewertet, im Mittel war eine Wartezeit von mehr als sieben Tagen bis zur Auswertung erforderlich.

Tabelle 4 fasst die Ergebnisse, unterteilt nach Versuchsbezeichnungen, zusammen. Aus den Anbaujahren 2009, 2006 und 2004 liegen keine Daten vor, da kein Saatgut aus diesen Jahren miteinbezogen wurde. Ersichtlich sind die Probenanzahl, sowie die Anzahl der Probenpaare. Mittelwerte und Mediane der Viabilitäts- und Boniturwerte basieren auf Daten, in denen jede Plot-Nummer nur einmal aufscheint, um die Vergleichbarkeit von Versuchen und Versuchsjahren mit unterschiedlich hoher Paaranzahl zu ermöglichen. Viabilitätswerte werden in % angegeben. Die Dauer bis zur Auswertung wurde auf ganze Tage gerundet und stellt jeweils den Mittelwert der für eine Versuchsbezeichnung ermittelten Werte dar.

Tabelle 4: Überblick über den bei 23°C durchgeführten Versuch

Versuchsbezeichnung	Proben-Anzahl	Anzahl der Proben-paare	Mittelwert Viabilität	Median Viabilität	Mittelwert Bonitur	Median Bonitur	Tage bis zur Auswertung
2003 Kti 0	33	6	13,85	8	2,41	2	10
2003 s. early	10	4	42,00	44	3,17	3	10
2005 G Prot Scr.	10	0	89,40	92	1,40	1	9
2005 promisc nod	50	1	94,90	96	1,51	1	10
2007 Arche Noah	20	0	89,68	92	1,58	2	9
2008 s. early	26	8	94,67	98	2,94	2	10
2010 Low oil	85	13	99,61	100	2,39	2	6
2010 GQ4X-nn-myc	42	12	99,27	100	2,43	2	5
2011 G div.Verm	18	9	89,40	90	4,00	4	9
2011 Low Oil	22	4	99,38	100	2,75	2	5
2012 nod_nil_mycorr	29	8	97,71	98	2,86	2	6
2013 Arche Noah	29	4	95,84	98	1,88	2	5
2013 Low Oil	19	1	98,82	100	1,76	2	6
2014 GT8X-10X hi suc	18	2	88,25	89	1,44	1	9

Ein graphisch dargestellter Überblick über die ermittelten Viabilitätswerte ist mit Abbildung 8 gegeben. Jeder Boxplot repräsentiert ein Jahr, aus dem Versuchsmaterial stammt. Wurden mehrere Versuche eines Jahres ausgewertet, wurden diese zusammengefasst. Die Daten beinhalten Probenpaare, sowie ungeteilte Proben. Auch hier ist ersichtlich, dass kein Saatgut aus den Jahren 2009, 2006 und 2004 getestet wurde. Der rechte Bereich der Darstellung ist durch die Ergebnisse der Auswertung von 43 bzw. 60 der insgesamt 411 Boxen geprägt.

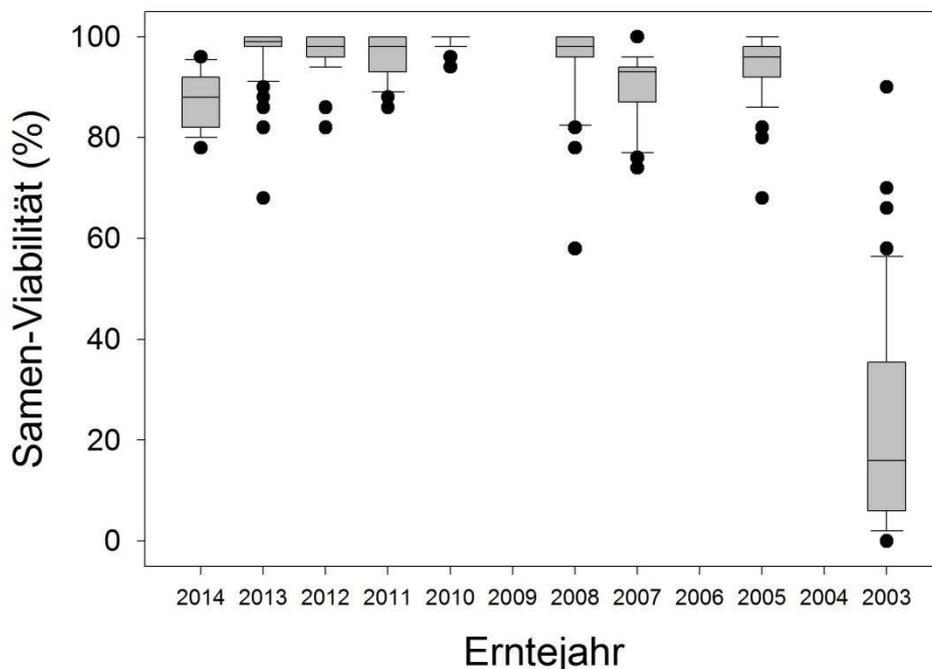


Abbildung 8: Samenviabilität Boxplot 23°C

Aus den Mittelwerten der für Abbildung 8 verwendeten Datenbasis lässt sich eine Viabilitätskurve ableiten, wie sie in Abbildung 9 zu sehen ist. Hier werden jedoch keine Mediane, sondern Viabilitäts-Mittelwerte, getrennt nach Versuchsjahren, dargestellt.

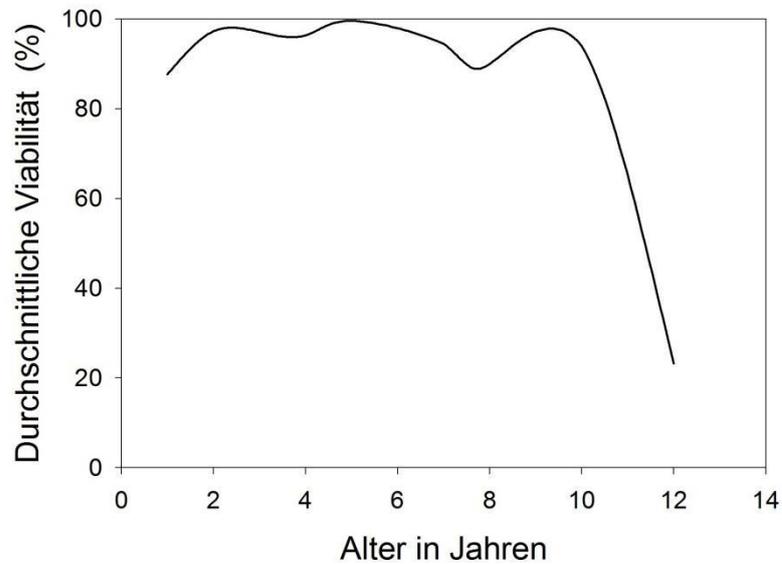


Abbildung 9: Viabilitätskurve des bei 23°C durchgeführten Versuchs

Die Unterschiede der Viabilitätsmittelwerte zwischen der hellen bzw. ungefleckten und der gefleckten Probenfraktion jedes Versuchs sind Abbildung 10 entnehmbar.

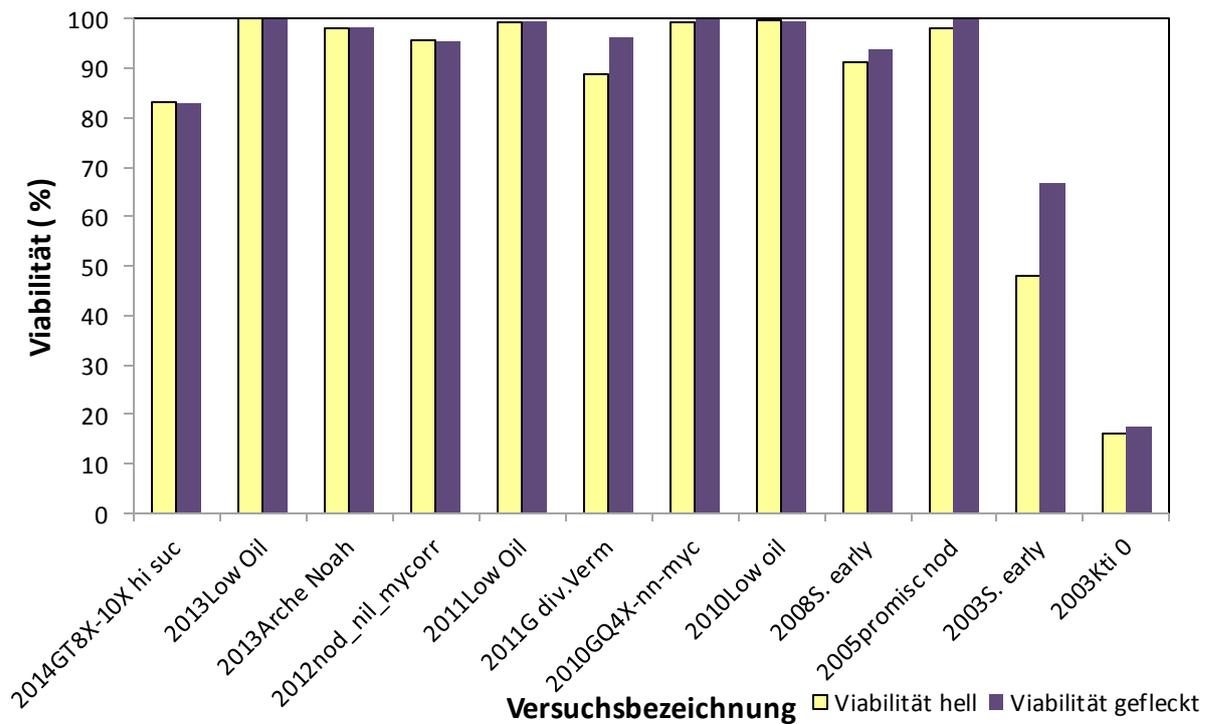


Abbildung 10: Viabilitätsvergleich der Mittelwerte der Paare des bei 23°C durchgeführten Versuchs

Neben der Viabilität der Proben wurden auch Boniturwerte ausgewertet. Betrachtet man die Boniturmittelwerte der Teilerperimente des ersten Versuches in der Abbildung 11, liegen die Werte zwischen 1,4 und 4,0. Da die Gesamtbonitur vor der Teilung vergeben wurde, wurde auch nur ein Wert pro Probenpaar zur Berechnung des Mittelwertes herangezogen.

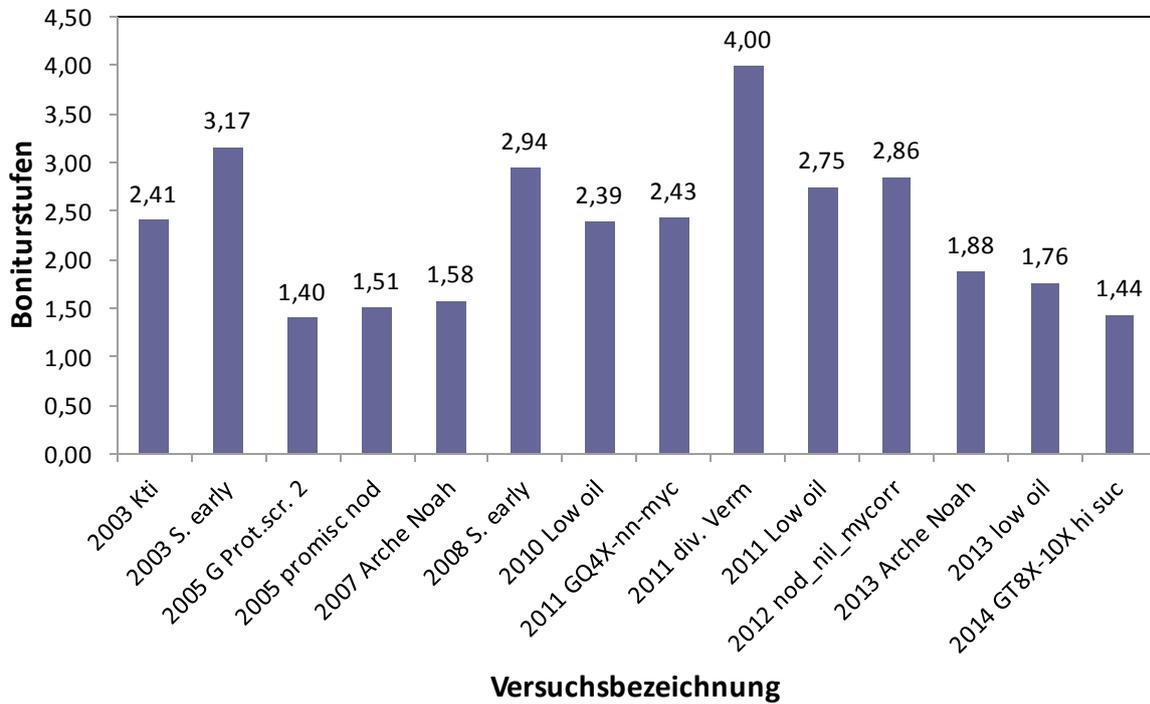


Abbildung 11: Boniturmittelwerte aller Proben bei 23°C

Eine Korrelationsanalyse der Differenz der Boniturwerte der Paare, sowie der Differenz der Viabilität der Paare ergab einen Korrelationskoeffizienten von 0,227, sowie einen signifikanten Zusammenhang ($p = 0,029$). In die Berechnung wurden Daten von 70 Probenpaaren aufgenommen. Die Auswertung wird in Abbildung 12 graphisch dargestellt.

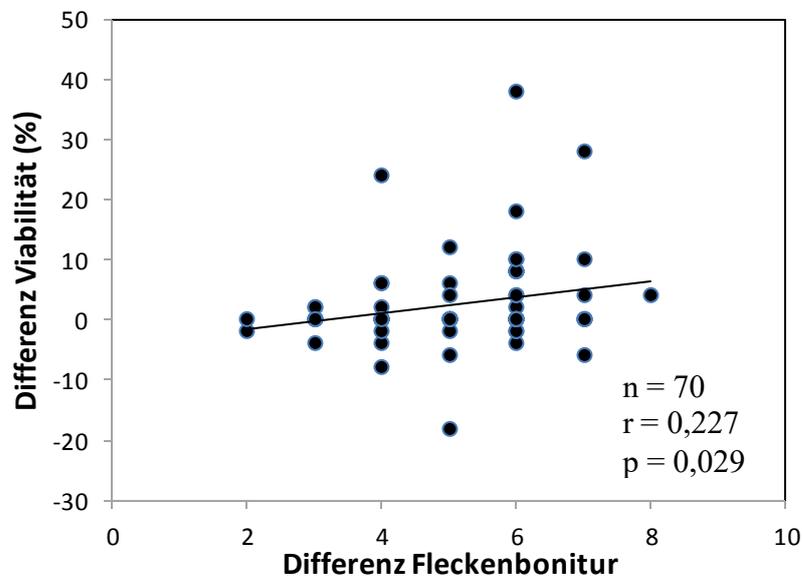


Abbildung 12: Korrelationsanalyse der Bonitur- und Viabilitätsdifferenzen von Probenpaaren (23°C)

Eine Korrelationsanalyse, die auf der mittleren Julitemperatur des jeweiligen Versuchsjahres und der Gesamtbonitur des verwendeten Saatgutes basiert, zeigt in Abbildung 13 den Zusammenhang zwischen tiefen Juli-Temperaturen und hohen Boniturstufen. Betrachtet

wurden Daten aus 14 Versuchen, die eine Probenanzahl von 335 Versuchsboxen umfassten. Aus den Feldversuchen stammende Plot-Nummern wurden für diese Analyse nur jeweils einmal erfasst. Der Korrelationskoeffizient beträgt gerundet -0,486, der p-Wert liegt bei 0,039 und deutet somit auf ein signifikantes Ergebnis hin. Die Durchschnittstemperaturen wurden aus Temperaturdaten des Standorts Raasdorf (in der Nähe des Versuchsstandorts Groß Enzersdorf) berechnet und entstammen den vom Department für Nutzpflanzenwissenschaften (2016) gesammelten Wetterdaten.

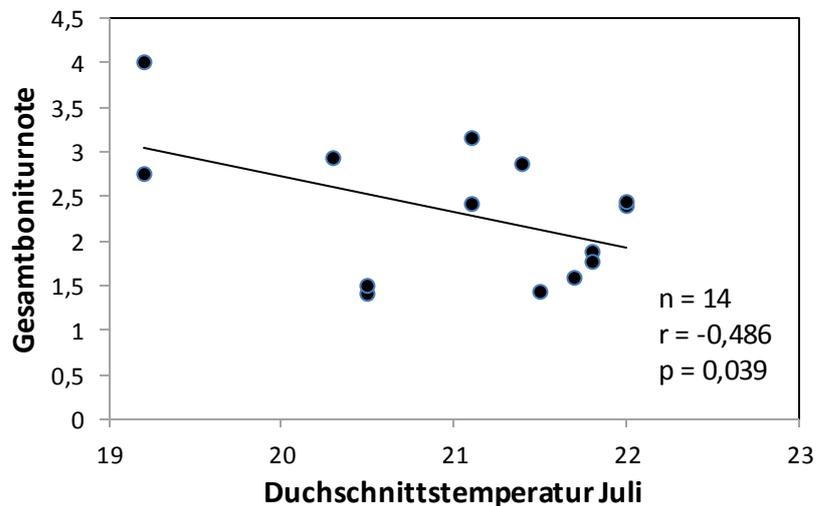


Abbildung 13: Korrelationsanalyse der Boniturmittelwerte und der mittleren Julitemperatur

Zwischen der mittleren Viabilität der Feldversuche und der mittleren Dauer, bis eine Auswertung stattfinden konnte, besteht ein Zusammenhang, der Abbildung 14 entnehmbar ist. Der Korrelationskoeffizient beträgt -0,769 wobei die beiden Feldversuche aus dem Jahr 2003 nicht miteinbezogen wurden und somit nur 12 Viabilitätswerte angezeigt werden. Der p-Wert der in Abbildung 14 dargestellten Analyse beträgt 0,004 und spricht für ein hoch signifikantes Ergebnis. Das inkludieren aller 14 Viabilitätswerte führte zu einen Korrelationskoeffizienten von -0,54.

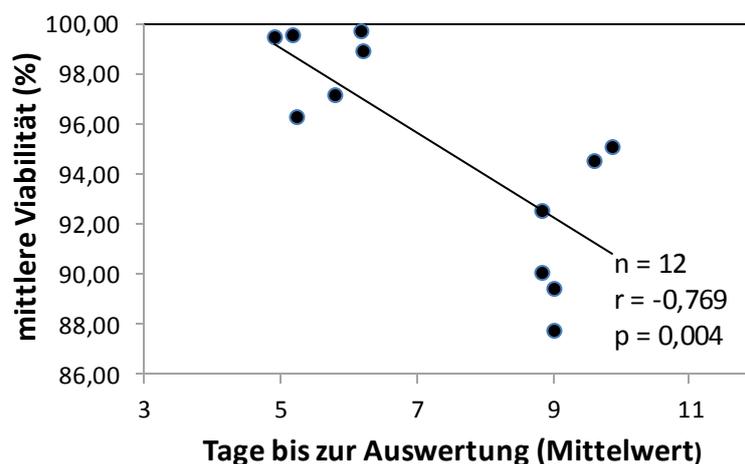


Abbildung 14: Korrelation der Auswertungszeit mit der mittleren Viabilität (23°C)

Der paarweise t-Test basiert auf den bereinigten Daten und inkludiert 72 Probenpaare. Ihm zu Folge besitzen gefleckte Samen im Vergleich zu ungefleckten eine im Mittel um 2,4% höhere Viabilität. Das Ergebnis basiert auf 71 Freiheitsgraden und ist hoch signifikant ($T= 2,6$; Sig-Niveau = 0,011).

6.2 Experiment 2

Wie auch im ersten Experiment wurden Daten von Boxen, bzw. Paaren in die Auswertung mit einbezogen, wobei für die Viabilitätswerte jedes Probenpaares ein Mittelwert gebildet wurde, bevor der Mittelwert des jeweiligen Feldversuches errechnet wurde. Dies führte dazu, dass 172 Datensätze ausgewertet wurden, unter ihnen 76 Proben-Paare, wie unter anderem Tabelle 5 entnehmbar ist. Zudem werden in Tabelle 5 auch Mittelwerte und Mediane der Viabilitäts- und Boniturwerte angeführt. Viabilitätswerte wurden wieder in % angegeben. Die Zeitspanne zwischen Aussaat und Auswertung wird in der Tabelle als Mittelwert, der auf ganze Tage gerundet wurde, angegeben und betrug in den Versuchen zwischen minimal sieben und maximal 21 Tagen. Über alle Proben gemittelt konnte die vollständige Auswertung nach 16 Tagen durchgeführt werden.

Tabelle 5: Überblick über den bei 12°C durchgeführten Versuch

Versuchsbezeichnung	Proben-Anzahl	Anzahl der Probenpaare	Mittelwert Viabilität	Median Viabilität	Mittelwert Bonitur	Median Bonitur	Tage bis zur Auswertung
2003 super early	10	5	15,20	8,00	3,60	4,00	21
2008 super early	20	10	83,30	90,50	3,90	3,50	20
2010 Low Oil	14	7	99,43	100,00	6,14	6,00	13
2010 GQ4X-nn-myc	22	11	99,09	99,00	3,09	3,00	13
2011 Low Oil	16	8	98,38	99,00	3,00	3,00	13
2012 nod_nil_mycorr	90	35	93,20	94,00	3,09	3,00	16

Abbildung 15 gibt einen Einblick in die Viabilitätswerte, wobei Abweichungen von den in Tabelle 5 angeführten Daten dadurch bedingt sind, dass, wie auch beim ersten Versuch, die Datenbasis alle auswertbaren Proben inkludiert und somit auch Plot-Nummern, aus denen ein Probenpaar gebildet wurde, mit zwei Werten erfasst wurden. Jedes Jahr, aus dem Versuchsmaterial vorlag, wurde als Boxplot dargestellt, wobei für fehlende Jahre keine Platzhalter angegeben wurden. Die Darstellung des Jahres 2010 beinhaltet zwei Saatgutchargen.

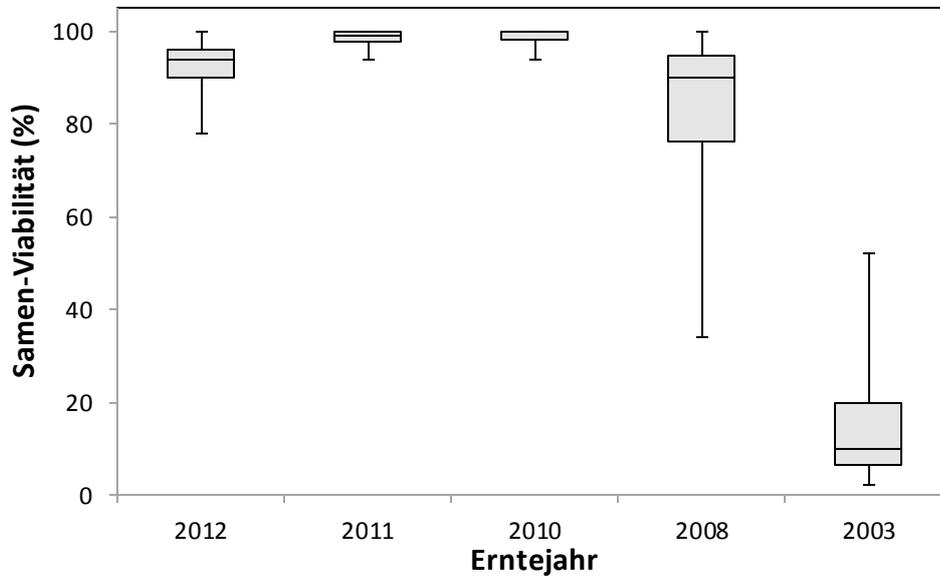


Abbildung 15: Samenviabilität Boxplot 12°C

Abbildung 16 zeigt die durchschnittlichen Mittelwerte der Probenpaare, wobei die Viabilitätsmittelwerte für gefleckte und helle Sojabohnen separat ermittelt wurden.

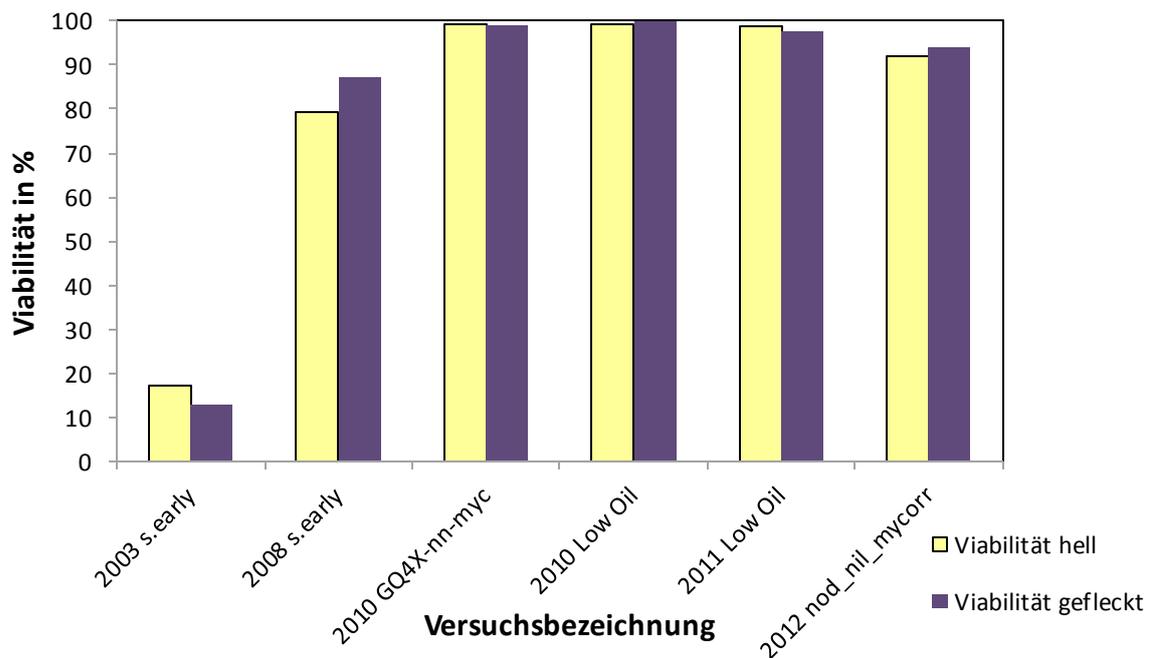


Abbildung 16: Vergleich der Mittelwerte der Paare des bei 12°C durchgeführten Versuchs

Die Korrelationsanalyse der Fleckenbonitur im Zusammenhang mit der mittleren Temperatur im Juli des jeweiligen Jahres ergab einen Korrelationskoeffizienten von 0,41 und wurde in Abbildung 17 dargestellt. Der ermittelte p-Wert von 0,207 weist auf ein nicht signifikantes Ergebnis hin. Basis dafür sind die in Tabelle 5 angegebenen Viabilitätsmittelwerte, sowie die zugehörigen Juli-Temperaturmittelwerte.

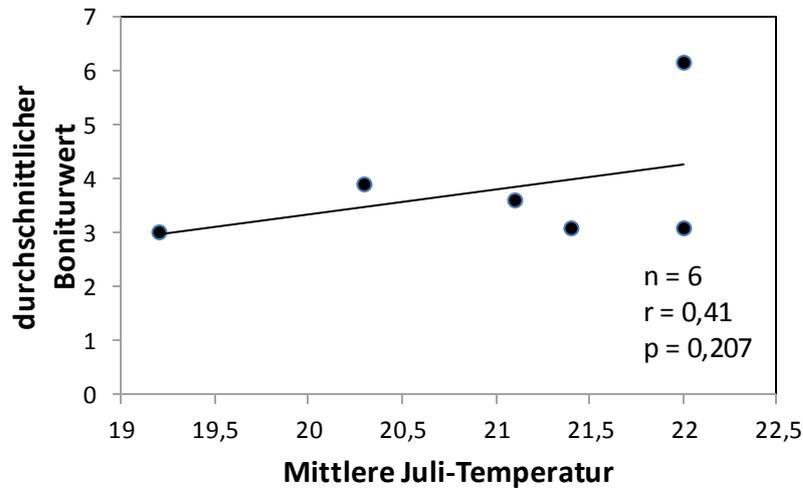


Abbildung 17: Korrelationsanalyse der Boniturmittelwerte und der mittleren Julitemperatur (12°C)

Die Abbildung 18 der Gesamtboniturwerte des bei 12°C durchgeführten Versuches stellt dar, wie viele der Proben den einzelnen Boniturstufen zuzuordnen sind. Insgesamt beträgt die Anzahl an dargestellten Proben 172, bestehend aus 76 Paaren, sowie 20 Einzelproben. Da die dargestellten Boniturwerte vor der Teilung der Proben vergeben wurden, ist auch jedes Paar nur mit einem Wert vertreten.

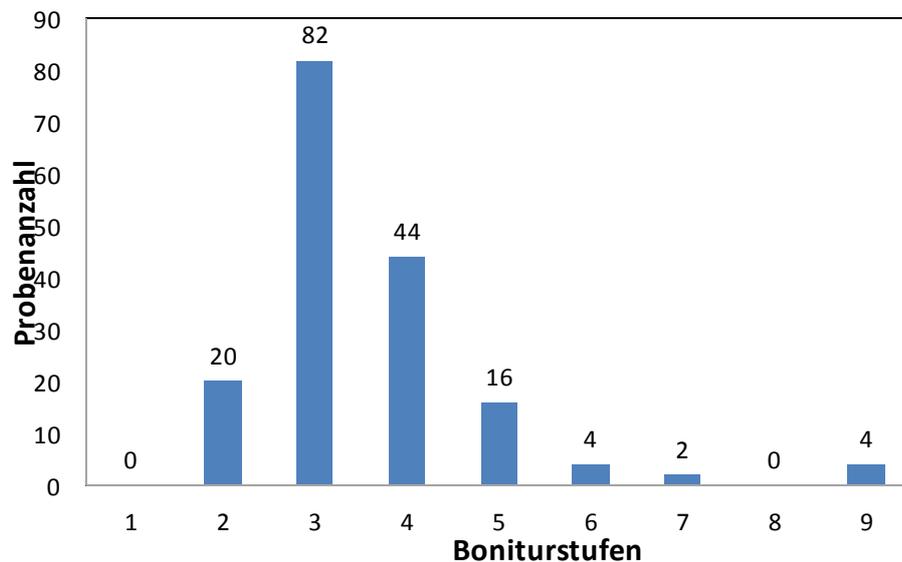


Abbildung 18: Gesamtboniturwerte des bei 12°C durchgeführten Versuches

Abbildung 19 führt die Boniturwerte der Paare des bei 12°C durchgeführten Versuches an, jeweils beide Teile eines Paares wurden in diese Darstellung miteinbezogen. Die Gesamtanzahl der Werte beträgt 152.

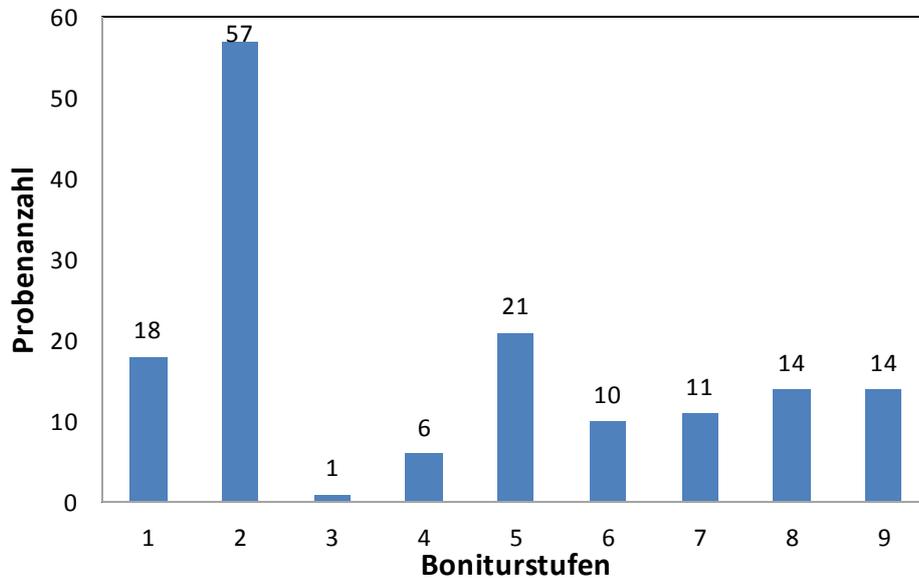


Abbildung 19: Boniturstufen der Paare des bei 12°C durchgeführten Versuches

Die Differenzen der Viabilitätswerte wurden mit den Fleckenboniturdifferenzen in Abbildung 20 im Rahmen einer Korrelationsanalyse dargestellt. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,281 und der p-Wert liegt bei 0,007 und ist somit hochsignifikant.

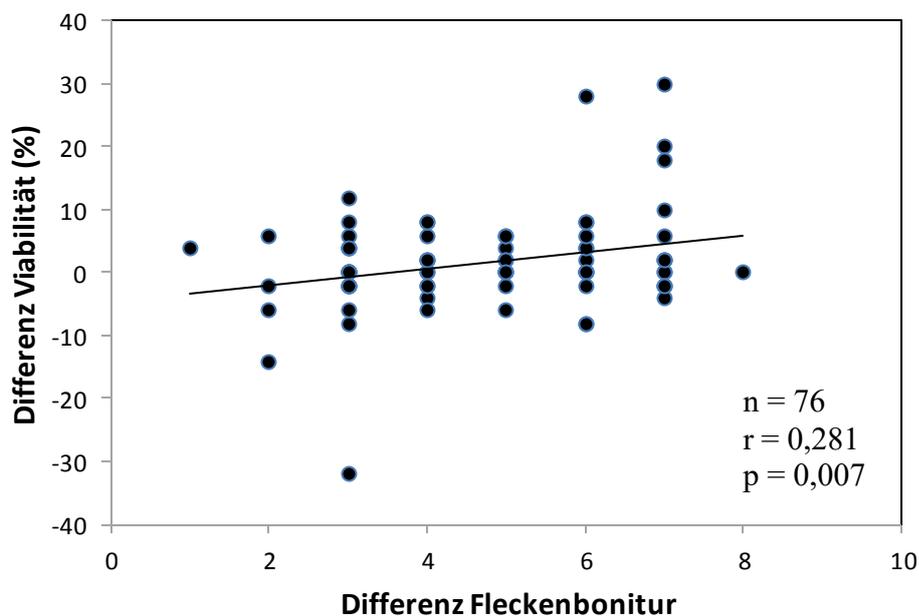


Abbildung 20: Korrelationsanalyse der Differenz der Viabilität und der Differenz der Fleckenbonitur (12°C)

Der auf Basis von 75 Freiheitsgraden durchgeführte paarweise t-Test ergab einen signifikanten Unterschied zwischen gefleckten und ungeflechten Sojabohnen, der 1,6% beträgt. Auch hier übertreffen die gefleckten Bohnen die ungeflechten ($t = -1,717$; Sig-Niveau = 0,090).

6.3 Experiment 3

In die Ergebnisse wurden sämtliche Boxen miteinbezogen, die für den Versuch vorbereitet wurden. Das Saatgut entstammt dem bereits im ersten und zweiten Versuch verwendeten Feldversuch „2010 GQ4X-nn-myc“. Tabelle 6 zeigt den Vergleich der Daten aus allen Versuchen inklusive der Viabilitäts- bzw. Keimfähigkeitswerte. Die Auswertung der bei 23°C gekeimten Proben erfolgte nach 17 Tagen, die bei 12°C gekeimten Proben konnten nach 29 Tagen ausgewertet werden. Die Keimrate lag im Durchschnitt bei 36,4% (23°C) bzw. 13,8% (12°C), wobei die Mediane bei 36 bzw. 13% lagen. Alle Proben einer Temperaturgruppe wurden am selben Tag ausgewertet.

Tabelle 6: Vergleich des Anbauversuches „2010 GQ4X-nn-myc“ über alle durchgeführten Versuche

	Temperatur	Mittelwert Viabilität bzw KF	Median Viabilität bzw. KF	Tage bis zur Auswertung (min)	Tage bis zur Auswertung (max)	Probenanzahl
Experiment 1	23°C	99,27	100	4	6	42
Experiment 2	12°C	99,09	100	7	14	22
Experiment 3	23°C	36,4	36	17	17	10
Experiment 3	12°C	13,8	13	29	29	10

6.4 Zusammenfassung der Analyse der paarweisen t-Tests

In Tabelle 7 sind die Ergebnisse der statistischen Analyse des Paarvergleiches des ersten, sowie des zweiten Experiments zusammengefasst. Die Daten wurden mittels t-Tests analysiert. Ersichtlich ist die durchschnittliche Viabilität in Abhängigkeit von der Temperatur und der Fleckung. Zu beachten ist, dass die Datenbasis der beiden Temperaturen nicht ident ist. Die Differenzen der Viabilitätswerte der beiden Temperaturen betragen gerundet 2,4 bzw. 1,6%.

Tabelle 7: Zusammenfassung des paarweisen t-Tests

	Temp: 23°C	Temp:12°C
Viabilität in %		
Samenschale ungefleckt	86,5556	87,8947
Samenschale gefleckt	88,9444	89,4737
t-Test		
t	2,6	1,7
FG	71	75
Sig.-Niveau	0,011	0,09

7 Diskussion

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Experimente für sich, sowie im Kontext mit Beobachtungen im Zuge der Experimente und Angaben aus der Literatur besprochen.

7.1 Allgemeine Diskussion

Bei der Entnahme der Proben fiel auf, dass einzelne Versuche und Jahrgänge kaum Material beinhalteten, das für eine Teilung geeignet gewesen wäre. Da die Feldversuche über mehrere Jahre am selben Ort stattfanden und somit Schädlingen, wie auch Witterungsverhältnissen gleichermaßen ausgesetzt waren, kann dies als Hinweis darauf gesehen werden, dass die vorliegenden Genotypen unterschiedlich starke Reaktionen auf dieselben Umwelteinflüsse zeigen.

Beim Betrachten der zu teilenden Saatgutchargen fiel oft auf, dass gefleckte Samen etwas kleiner waren als ungeflechte. Da die Samen jedoch nicht vermessen wurden, kann im Rahmen dieser Arbeit keine Aussage über den Einfluss der Samenschalenverfärbungen auf Viabilität im Zusammenhang mit der Samengröße getroffen werden.

In der Literatur wurde dieses Feld bisher auch nicht behandelt, es finden sich lediglich Angaben zum Einfluss der Samengröße auf die Keimfähigkeit. So können die größten und die kleinsten Samen die geringste Keimfähigkeit aufweisen (Hoy & Gamble, 1985) und mittelgroße Samen die höchsten Germinationsraten erzielen, was im Falle von Sojabohnen auch mit dem Ölgehalt der Samen in Verbindung gebracht werden kann (Rezapour et al., 2013). Die Ergebnisse von Rezapour et al. (2013) besagen jedoch auch, dass die Unterschiede zwischen den Saatgutgrößen lediglich bis zum vierten Tag messbar waren. Bereits nach so kurzer Zeit kann gemäß der ISTA-Kriterien (Don, 2003) jedoch keine Bewertung der Keimfähigkeit erfolgen. Auch in den für diese Arbeit durchgeführten Versuchen hätte bei keiner Probe nach nur vier Tagen eine Auswertung der Keimfähigkeit stattfinden können. Abhängig von den Bedingungen und dem Saatgutalter konnte nach dieser Zeit aber durchaus bereits die Viabilität von Proben bestimmt werden.

Bedenkt man, dass in anderen Experimenten die größten Bohnen vergleichsweise schlecht keimten (Hoy & Gamble, 1985), so wäre es möglich, dass sich auch Samen gleicher Größe abhängig von ihrer Färbung in ihrer Viabilität unterscheiden.

Die Arbeit von Hoy & Gamble (1985) zeigt auch, dass extrem kleine Samen schlecht keimen. In anderen Versuchen wurde ebenfalls beobachtet, dass Samen das erste Stadium der Keimung nicht erreichten und somit keine Quellung stattfand (Dornbos & Mullen, 1990). Dies geht auch mit den bei der Durchführung dieser Experimente gemachten Beobachtungen konform. Betreffende Samen erreichten unter den geschaffenen Bedingungen nicht einmal das Quell-Stadium. Dies war allerdings nur bei sehr wenigen Proben der Fall.

Keimfähigkeitskurven derselben Spezies zeigten in der Literatur nicht immer denselben Verlauf. Konkret weist die Kurve von *Zea mays* L. in der Arbeit von Bernal-Lugo & Leopold (1998) ein Plateau auf, jedoch fehlt dieses in der Arbeit von Nagel & Börner (2010) weitgehend. Möglich wäre hier der Einfluss des Ölgehalts auf die Keimfähigkeit. Dies lässt sich aber nicht überprüfen, da nur eines der beiden Autorenduos Angaben über den Ölgehalt des Versuchsmaterials macht und Sortennamen, die Rückschlüsse auf die Inhaltsstoffkomposition zulassen würden, nicht genannt werden. Das Saatgut könnte auch, was die Manier des Keimfähigkeitsverlustes angeht, anfangs auf kontrollierte, und somit künstliche, Alterung anders reagieren als auf entsprechend lange Lagerung.

In Teil B der Abbildung 5 ist kein sigmoider Verlauf zu sehen, jedoch ist ein deutliches Plateau erkennbar. Der sigmoide Verlauf wäre möglicherweise besser sichtbar, wäre die Kurve in selber Manier wie bei Bernal-Lugo & Leopold (1998) oder Nagel & Börner (2010) berechnet worden, oder wenn mehr Werte miteinbezogen worden wären.

Autoren (Benitez et al., 2004; Takahashi, 1997; Takahashi & Abe, 1994 und Srinivasan & Arihara, 1994) sprechen von Flecken im Zusammenhang mit Rissen in der Samenschale, jedoch konnte in den Sortenlisten (BAES 2016) kein Hinweis darauf gefunden werden, dass dies auch in der Praxis eine Rolle spielt. Möglicherweise wird die Tatsache, dass die Samen keine glatte Schale aufweisen könnten, in der Praxis in Österreich anders bewertet als die Färbungen.

Bei der Durchführung der Versuche konnte nur bei einigen Proben eine erfolgte Rissbildung festgestellt werden, ein deutliches Beispiel stellt das Bild zur Boniturnote 4 in Tabelle 2 dar. Bei der Menge an teilbaren Proben scheint der Anteil an von Rissen betroffenem Saatgut entgegen den in der Literatur genannten Zusammenhängen relativ gering zu sein. Was hingegen, wie auch in Tabelle 2 ersichtlich, des Öfteren beobachtet wurde, waren Falten in der Samenschale, die vor allem an der dem Hilum gegenüberliegenden Seite zu erkennen waren. Da jedoch alle in der verwendeten Literatur besprochenen Loci sowohl Einfluss auf Fleckungen, als auch auf die Rissbildung haben können, wäre es möglich, dass im vorhandenen Material noch weitere Gene eine Rolle spielen und die Rissbildung somit unterdrückt wird, oder durch Umwelteinflüsse im Gegensatz zu den Fleckungen nicht zur Ausprägung kommt. Womöglich lässt die genetische Breite des Saatguts auch mehrere Möglichkeiten zu, dies zu überprüfen war jedoch im Zuge der Literaturrecherche nicht möglich, da in Studien der Fokus meist nur auf wenigen Sorten liegt und das vorliegende Material nicht dahingehend untersucht wurde.

Oft ist in der Literatur lediglich von Flecken oder Verfärbungen die Rede. Welche Stoffe konkret für das Erscheinungsbild der Samen verantwortlich sind, wird nur selten genannt. Wenn doch, so werden phenolische Bestandteile als farbgebend angegeben. Hierbei fällt auf, dass vor allem in älteren Arbeiten von Catechol Melanin gesprochen wird (Takahashi & Abe, 1994; Takahashi & Akiyama, 1993), während neuere Werke Anthocyane in den Mittelpunkt stellen (Kumar et al., 2010 und Lee et al., 2015). Im Rahmen der Versuche wurden keinerlei phenolische Bestandteile analysiert, daher kann auch keine Aussage darüber getroffen werden, welche Substanzen die vorliegenden Flecken verursachen.

Es wurden auch keine Informationen darüber gefunden, ob bei Kälteeinwirkung dieselben Gene zum Tragen kommen, wie bei einer Virusinfektion. Lediglich, dass bei beiden Gegebenheiten das Auftreten von Flecken nicht obligatorisch ist, wurde genannt (Hobbs et al., 2003 und Ross, 1970).

Dass Anthocyane als Radikalfänger fungieren ist hinlänglich bekannt. Dies trifft auch auf die Stoffe zu, die Pflanzen mittels durch Gamma-Strahlen hervorgerufener Mutationen bilden (Lee et al., 2015). Diese neuen Sorten werden als für die Züchtungen von Konsumsoja relevant gesehen. Auch die durch Anthocyane hervorgerufenen Flecken könnten somit interessant sein. Ein wahrscheinliches Problem ist hierbei jedoch die „Normierung“ der Flecken, da diese, sofern sie temperaturinduziert sind, nicht in jedem Jahr gleich stark vorkommen. Obwohl eine Verfärbung der Lebensmittel durch das Vorhandensein von farbgebenden Stoffen in der Samenschale von mehreren Stellen als Gefahr genannt wurde, lässt sich diese Befürchtung bei der Verwendung von neuen Verfahren nicht nachvollziehen.

Die Ursache für Fleckungen nach Absterben der Blätter und ohne Kenntnis über die Temperaturen Mitte Juli zu eruieren, ist ohne teure Verfahren nicht möglich. Eine Beobachtung des Temperaturverlaufes im betreffenden Zeitraum ist deswegen ratsam. Zudem sollten die kultivierten Pflanzen auf Anzeichen für Infektionen mit Viren überprüft werden, um einen eventuellen Virusbefall frühzeitig zu erkennen und als Ursache für möglicherweise vorhandene Fleckungen in Betracht zu ziehen.

Die Angaben zu Fleckungen in der Literatur ließen keinen Schluss darauf zu, ob die vorliegenden Bohnen durch Kälteeinwirkung oder andere Faktoren Verfärbungen bildeten. Da zudem auch Sorten in Hinsicht auf Farbe, Form und Verteilung der Flecken unterschiedlich reagieren, besteht auch hier Forschungsbedarf, um mögliche Indikatoren zu finden, die über die Ursache von inhomogen gefärbten Samenschalen zu testender Partien Aufschluss geben können. Im Optimalfall könnte somit auf aufwändige Testverfahren verzichtet werden.

7.2 Experiment 1

Der Literatur gemäß ist es zu erwarten, dass Samen mit vergleichsweise niedrigem Ölgehalt ihre Lebensfähigkeit über einen längeren Zeitraum erhalten können, wie auch in Tabelle 4 ersichtlich ist. Drei der vier höchsten Viabilitätsmittelwerte gehören zu Low-Oil-Versuchen, was mit den von Nagel und Börner (2010) angestellten Beobachtungen konform geht. Zwar wies zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung das älteste Low-Oil-Saatgut lediglich ein Alter von fünf Jahren auf, eine Viabilität von beinahe 100% im Mittel und ein ebenso hoher Median lassen aber darauf schließen, dass unter den vorherrschenden Lagerbedingungen auch älteres Saatgut mit entsprechendem Ölgehalt seine Viabilität überaus gut erhalten könnte. Bei genauerer Analyse der Werte zeigt sich, dass es bis auf eine Abweichung keine Unterschiede zwischen gefleckten und ungefleckten Gruppen gibt. Wobei anzumerken ist, dass der Versuch mit der Bezeichnung „2013 Low Oil“ lediglich eine teilbare Probe beinhaltet.

Die Mediane der Abbildung 8 zeugen fast ausschließlich von einer hohen Viabilität der Proben, lediglich Saatgut aus dem Jahr 2003 schneidet, bis auf wenige Ausreißer, schlecht ab. Der Knick in der Viabilität bei einem Saatgutalter von acht Jahren lässt sich dadurch erklären, dass lediglich 20 Proben eines Arche-Noah-Feldversuchs verwendet wurden. Dieses Saatgut zeichnete sich durch eine hohe Farben- und Größenvielfalt aus, jedoch umfasste dieser Feldversuch auch Proben, deren Samen ungewöhnlich klein waren. Vereinzelt erfolgte nicht einmal eine Quellung, was sich in der Viabilitätsrate bemerkbar macht.

Das aus dem Anbaujahr 2014 stammende Saatgut zeigt einen Median, der verglichen mit vorangegangenen Jahren niedrig ist. Auch entspricht dieses Saatgut nicht den Erwartungen, die man an einjähriges Saatgut stellt. Ein Blick in Tabelle 4 zeigt, dass der Boniturmittelwert relativ niedrig ist und die Proben daher verhältnismäßig wenige Fleckungen aufwiesen. Möglicherweise zeigt sich bereits hier der von Grgić (2015) beschriebene Zusammenhang zwischen niedrigem Boniturnwert und vergleichsweise schlechter Viabilität.

Der Verlauf der ermittelten Viabilitätskurve zeigt anfangs eine hohe Viabilität, die über zehn Jahre hinweg weitgehend stabil bleibt, wie in Abbildung 9 ersichtlich ist. Der Knick beim Saatgutalter von acht Jahren liegt auch in der Visualisierung der Mittelwerte vor und wurde bereits begründet. Bei Saatgut, das im Jahr 2003 geerntet wurde und somit 12 Jahre alt ist, ist eine deutliche Abnahme der Viabilität erkennbar. Dies ist auf Grund des Alters des Saatguts nachvollziehbar.

Vergleicht man diesen Verlauf der Viabilitätskurve mit der Grafik von Nagel und Börner (2010), lässt sich bei beiden ein Plateau erkennen, das die hohe Vitalität der Samen zumindest während der ersten acht Jahre nach der Ernte ersichtlich macht. Da nicht aus allen

Erntejahren, die der Untersuchungszeitraum umfasst, Saatgut vorhanden war, ist die Kurve in dem Bereich, der in Abbildung 9 den größten Abfall zeigt ungenau. Der Trend lässt sich jedoch abschätzen und der Vergleich mit der Grafik von Nagel und Börner (2010) zeigt, dass Sojabohnen ebenfalls in ihrer Samenalterung einem sigmoiden Verlauf folgen nachdem das Plateau über Jahre hinweg relativ stabil bleibt. Dies ähnelt der Germinationskurve von *Vicia sativa* L. aus der Arbeit von Nagel und Börner (2010). Keimversuche von Crocker und Barton (1953) wurden nicht in diesen Vergleich miteinbezogen, da Pflanzen behandelt wurden, die als Gemüse genutzt werden und auch Arten umfassen, deren Saatgut sich wesentlich von Leguminosen unterscheidet. Deshalb ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse nicht gegeben.

Der Viabilitäts-Mittelwert der gefleckten Sojabohnen ist bei jeder der verwendeten Saatgutchargen zumeist gleich groß oder größer als der Mittelwert der ungefleckten Bohnen. Dies ist neben der geringen Viabilität der Proben des Erntejahres 2003 in Abbildung 10 ersichtlich.

Die Boniturmittelwerte des ersten Versuchs liegen zwischen 1,4 und 4,00, wie aus Abbildung 11 hervorgeht. Der auffällig hohe Mittelwert der Proben aus dem „diverse Vermehrer“-Versuch geht auf den hohen Anteil an teilbaren Proben zurück, die zumindest mit der Boniturnote 3 bezeichnet wurden, um eine Teilung zu ermöglichen. Lässt man diesen Versuch außer Acht, beträgt der höchste Gesamtboniturmittelwert 3,17, der das Ergebnis der Bewertung von frühreifen Bohnen ist.

Die graphische Darstellung der Korrelationsanalyse in Abbildung 12 zeigt einen schwachen Zusammenhang ($r=0,227$) zwischen der Differenz der Viabilität der Probenpaare und der Differenz der Boniturstufen. Je stärker sich die getrennten Proben voneinander unterschieden, desto größer war auch der Unterschied der Viabilität der Proben.

Die Korrelationsanalyse der Gesamtboniturnote und der Durchschnittstemperatur im Monat Juli aus Abbildung 13 zeigt einen deutlicheren Zusammenhang ($r = -0,486$). Jedoch ist der Unterschied zur Arbeit von Grgić (2015) groß ($r = -0,91$). Vermutlich lässt sich dies mit der genetischen Variabilität der Proben erklären, die unterschiedlich auf die Temperaturen reagieren dürften. Die in der Arbeit von Grgić (2015) bonitierten Proben stammten aus einem mehrjährigen Anbauversuch, eine derartige genetische Breite wie in den vorliegenden Versuchen ist somit bei den von Grgić (2015) verwendetem Saatgut nicht gegeben. Dennoch lässt sich anhand von Abbildung 13 ein schwach negativer Zusammenhang ablesen, demzufolge eine hohe Boniturnote auf eine niedrige Juli-Durchschnittstemperatur zurückzuführen ist.

In Summe haben die Werte der beiden Korrelationsanalysen in Abbildung 12 und Abbildung 13 vermutlich durch die genetisch vielfältige Datenbasis des ersten Viabilitätsversuchs an Aussagekraft eingebüßt, da es als wahrscheinlich anzusehen ist, dass die Feldversuche bedingt durch ihre genetische Ausgangslage unterschiedlich stark auf die Umweltbedingungen reagierten und auch nicht jeder Feldversuch in jedem Jahr vertreten war. Schwankungen der Temperatur konnten so weniger deutlich durch die Boniturwerte wiedergegeben werden, da auf Grund der Saatgutverfügbarkeit kein Feldversuch über alle getesteten Anbaujahre hinweg zur Verfügung stand.

Schon bei der Durchführung der Versuche fiel auf, dass älteres Saatgut länger benötigt, um eine Wurzel auszubilden. Dies führt zu der Annahme, dass Proben mit hoher Viabilität dazu neigen sich zumindest in den ersten Tagen rascher zu entwickeln, was durch die Korrelationsanalyse in Abbildung 14 bestätigt wird. Der Korrelationskoeffizient beträgt $-0,769$. Die ältesten beiden Feldversuche wurden ausgeklammert, da sämtliche Proben nach spätestens 14 Tagen, im Mittel jedoch nach 10 Tagen ausgewertet wurden, da die Schimmelentwicklung aufgrund der Keimtemperatur keine spätere Auswertung ermöglicht hätte. Hinzu kommt noch, dass im Gegensatz zu anderen Versuchen (Rezapour et al., 2013) die Viabilität nicht in festgelegten Intervallen bestimmt wurde. Miteinander vergleichbare Daten, die einen Rückschluss auf die exakte Entwicklungsgeschwindigkeit zulassen würden, sind daher nicht vorhanden. Die Erhebung wurde nach durchschnittlich 10 Tagen beendet, obwohl möglicherweise unter anderen Umständen noch zu einem späteren Zeitpunkt höhere Viabilitätswerte gemessen hätten werden können.

Das Miteinbeziehen aller Werte zeigt, dass der Korrelationskoeffizient auf $-0,54$ zurückgeht, was mit hoher Wahrscheinlichkeit auf oben genannte Probleme im Versuchshergang rückführbar ist.

Der Unterschied der Viabilität zwischen gefleckten und ungeflechten Samen ist hoch signifikant und beträgt 2,4%. Dieses Ergebnis geht mit anderen Versuchen (Grgić, 2015; Santos et al., 2007) konform, wenn auch die Unterschiede in ihrer Ausprägung variieren. Der von Santos et al. (2007) durchgeführte Keimtest zeigt Unterschiede von 2,5 bis 6% zwischen gefleckten und ungeflechten Sojabohnen derselben Sorte auf, wobei die gefleckten bei allen drei untersuchten Sorten im Schnitt eine bessere Keimfähigkeit aufwiesen. Dies passt auch zu den von Grgić (2015) durchgeführten Versuchen, wobei die gefleckten Samen eine um 1-9% höhere Keimfähigkeit aufwiesen.

Da die Auswertung des Saatguts mehrerer Feldversuche Viabilitätswerte von annähernd 100% ergibt (vgl. Tabelle 4), können die Unterschiede innerhalb der Probenpaare keine allzu großen Differenzen mehr ausmachen (vgl. Abbildung 10). Der Fokus auf älteres Saatgut in zukünftigen Experimenten würde vermutlich die ohnehin bereits hochsignifikanten Ergebnisse des t-Tests noch unterstreichen.

7.3 Experiment 2

Analog zu Tabelle 4 wird auch in Tabelle 5 der Versuch im Überblick dargestellt. Die Ergebnisse der jüngeren Jahrgänge liefern hier ein ähnliches Bild, wobei wieder das jüngste Saatgut einen etwas niedrigeren Viabilitätsmittelwert und Viabilitätsmedian aufweist als geringfügig ältere Proben. Zugleich entstammt das Saatgut des jüngsten Jahrgangs aus dem Feldversuch, auf den ein Großteil der Proben zurückzuführen ist. Außergewöhnlich hoch ist sowohl der Boniturmittelwert, als auch der zugehörige Median des Low Oil-Versuchs aus dem Jahr 2010. Ein Vergleich mit den für den ersten Viabilitätsversuch gewählten Probenpaaren und deren Viabilitätswerten zeigt sehr hohe Viabilitätswerte bei ebenfalls hohen Gesamtboniturwerten, wenn man die dort ausgewerteten 13 Probenpaare isoliert betrachtet. Zu beachten ist aber auch die geringe Probengröße von 14 Boxen, die sieben Probenpaare bilden.

Abbildung 15 stellt die Viabilitäts-Mediane, sowie Minima und Maxima der Werte dar.

Deutlich ist auch in dieser Abbildung, wie auch schon im ersten Experiment in Abbildung 8, ein Plateau erkennbar, das mit dem Jahr 2008 beginnend dem Viabilitätsnullpunkt entgegenstrebt. Ein sigmoider Verlauf, wie er in der Literatur angesprochen wird, ist aufgrund zu weniger Versuchsjahre nicht sichtbar. Zu beachten ist zudem, dass fehlende Jahre nicht durch Platzhalter in der x-Achse dargestellt werden. Der Zeitraum, der zwischen den ältesten Saatgutproben liegt, beträgt vier Jahre, was den Abfall weniger steil erscheinen lässt als in Abbildung 8. Die Viabilitätswerte der beiden ältesten Saatgutjahrgänge (2003 und 2008) erstrecken sich trotz ihrer relativ geringen Anzahl über einen großen Bereich.

Der Vergleich der Mittelwerte der Paare in Abbildung 16 zeigt ein weniger deutliches Bild als die entsprechende Abbildung mit den Ergebnissen des ersten Versuchs. Bei drei von sechs Saatgutherkünften übertreffen ungeflechte Bohnen sogar die gefleckten in ihrer Viabilität. Bei näherer Betrachtung der Probenanzahl (siehe Tabelle 5) steht fest, dass das Ergebnis auf 24 der insgesamt 76 Paare zurückzuführen ist, wobei der Unterschied zwischen den Fleckungsvarianten im Versuch „2010 GQ4X-nn-myc“, der aus 11 Probenpaaren besteht, nur minimal ist.

Die Korrelationsanalyse in Abbildung 17 suggeriert, dass in Jahren mit hoher Juli-Durchschnittstemperatur auch gehäuft Samenschalenverfärbungen auftreten. Jedoch muss bedacht werden, dass dieses Ergebnis nicht signifikant ist. Erklären lässt sich die vermeintliche Korrelation damit, dass für den zweiten Versuch beinahe 90% der ausgewerteten Boxen als Teile von Probenpaaren erfasst wurden. Somit kann davon ausgegangen werden, dass überdurchschnittlich viele, teilweise stark gefleckte Proben in die Berechnung miteinbezogen wurden. Dies resultiert aus dem Umstand, dass bei der Probennahme der Fokus auf teilungsfähigen Proben lag und die Datenlage somit nicht die tatsächliche farbliche Verteilung der Feldversuche widerspiegelt, wie auch in Abbildung 18 und Abbildung 19 ersichtlich ist. Hinweise darauf liefern Ergebnisse aus anderen Arbeiten (Grgić, 2015), sowie die im Rahmen des ersten Experiments durchgeführte Korrelationsanalyse der Abbildung 13.

Um den in Abbildung 17 unüblichen Wert der Korrelationsanalyse zu erklären, wurde zusätzlich die Aufteilung der Boniturstufen vor und nach der Teilung in Abbildung 18 und Abbildung 19 betrachtet.

Die Verteilung der Gesamtboniturstufen in Abbildung 18 zeigt, dass ein Großteil der 172 untersuchten Proben mit dem Boniturstufe 3 beurteilt wurde. Dies ist durch die bewusste Auswahl von teilbaren Proben bedingt. Die Anzahl der unteilbaren Proben ist klar anhand der zur Boniturstufe 2 zugehörigen Säule erkennbar.

Betrachtet man lediglich die Boniturstufen der Probenpaare in Abbildung 19, lässt sich erkennen, dass bei den meisten Proben trotz Entnahme der hellsten Bohnen die Boniturstufe 2 vergeben wurde. Die Bonitierungen des gefleckten Probenpaarteiles zeigen eine relativ gleichmäßige Aufteilung auf die höheren Boniturstufen. Stufe 3 und 4 sind mit hoher Wahrscheinlichkeit so selten vertreten, weil gerade sie bei den meisten Proben Anlass zur Teilung gaben. Die Resultate der Teilung waren wiederum weitaus hellere bzw. dunklere Gruppen von Samenkörnern.

Die Korrelationsanalyse in Abbildung 20, welche die Differenz der Viabilität und die Differenz der Fleckenbonitur der Probenpaare miteinander in Beziehung setzt, zeigt einen positiven Zusammenhang zwischen Viabilität und Boniturstufe. Je höher die Differenz der Boniturstufen ist, desto höher ist auch der Unterschied in der Viabilität. Die Differenz wurde jeweils zwischen beiden Teilen eines Probenpaares gebildet.

Die Durchführung eines paarweisen t-Tests, bei dem wieder Probenpaare mit starkem Schimmelbefall nicht miteinbezogen wurden, zeigt ebenfalls die Überlegenheit von gefleckten

Samen in Bezug auf den Erhalt der Keimfähigkeit. Der Unterschied ist mit 1,6 % geringer als der im ersten Experiment festgestellte. Trotz der in Abbildung 16 dargestellten Versuche ist das Ergebnis des t-Tests signifikant und weist somit darauf hin, dass der Vorteil von gefleckten Sojabohnen in Bezug auf ihre Viabilität in Abhängigkeit vom Saatgualter auch bei niedrigeren Temperaturen bestehen bleibt.

Die gewählte Keimtemperatur stellte realistischere Bedingungen für die Keimung am Feld dar, als die Bedingungen des ersten Versuchs. Der zweite Versuch wurde jedoch ohne den in der Natur vorkommenden Temperaturschwankungen durchgeführt. Es ist außerdem zu berücksichtigen, dass sich keimende Samen in der Erde anders verhalten würden als in den Keimschalen.

7.4 Experiment 3

Beim letzten der durchgeführten Experimente ist vor allem die niedrige Keimrate auffällig, sie lässt sich großteils auf den Versuchshergang zurückführen. Da die Entwicklung der Samen bis zum Keimblattstadium zugelassen hätte werden sollen, war die Versuchsdauer mit 17 bzw. 29 Tagen im Vergleich zu durchschnittlich 7 Tagen bei 23°C bzw. 16 Tagen bei 12°C entsprechend lang, wie aus Tabelle 6 entnehmbar ist. Die Deckel der Plastikbehälter wurden für den letzten Versuch, wie auch bei den anderen Versuchen, aufgelegt, um minimalen Luftaustausch zu ermöglichen und die Auswertung zu erleichtern. Daher wurden besagte Deckel durch die Pflanzen angehoben. Dies führte dazu, dass die Pflanzen an Trockenstress litten, der einige Pflanzen absterben ließ. Die Bedingungen ermöglichten zudem keine Entfaltung der Keimblätter, da die Samenschalen zu trocken waren und nur sehr vereinzelt abfielen. Von der in den vorangegangenen Versuchen ermittelten Viabilität auf die Keimfähigkeit in diesem Versuch zu schließen ist somit nicht möglich.

Es ist anzunehmen, dass die Durchführung des Experiments in Sand oder einem Sand-Erde-Gemisch zu höheren Werten geführt hätte, da die Samenschalen einfacher abgestreift hätten werden können und die Samen weniger Gefahr gelaufen wären auszutrocknen.

8 Schlussfolgerung

Aufgrund der ermittelten Ergebnisse können beide Fragestellungen beantwortet werden.

Die Viabilität von Sojabohnen lässt sich durch ein Plateau mit anschließendem sigmoiden Kurvenverlauf beschreiben, dieser Verlauf wurde bereits bei anderen Leguminosenarten festgestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass unter den gegebenen Lagerbedingungen die Viabilität von Sojabohnensaatgut für die Dauer von rund zehn Jahren auf hohem Niveau gehalten werden kann bevor die Keimfähigkeit stark abnimmt. Es ist daher auch anzunehmen, dass das für die Versuche zur Verfügung stehende Saatgut als Basis für den Vergleich mit anderen Viabilitätsdaten geeignet ist.

Die Fleckung von Sojabohnen wirkt sich günstig auf deren Viabilität aus, wie die Ergebnisse des durchgeführten paarweisen t-Tests zeigen. Gefleckte Samen sind den ungeflechten, unter gleichen Anbaubedingungen kultivierten, bei beiden Keimtemperaturen überlegen. Der Unterschied ist im Mittel auch noch bei 12 Jahre altem Saatgut sichtbar. Die Keimtemperatur von 23°C führt zu einer mittleren Differenz von 2,4%, dieses Ergebnis ist hoch signifikant. Bei der niedrigeren Keimtemperatur von 12°C kann eine Differenz von 1,6% festgestellt werden, dieses Ergebnis ist signifikant. Weisen als Saatgut bestimmte Samen derartige Flecken auf, ist es somit anzuraten, diese nicht als Mangel zu sehen.

9 Literaturverzeichnis

20/20 Seedlabs. (2010). What is a Tetrazolium Chloride Test?.
<http://www.2020seedlabs.ca/what-tetrazolium-chloride-test> [Letzter Zugriff am 16.11.2016].

AGES (Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit) (2015)
Sojabohnenmosaik <http://www.ages.at/themen/schaderreger/sojabohnenmosaik/> [Letzter
Zugriff am 16.11.2016].

AgrarMarkt Austria (AMA). (2015). Getreideernte Pressekonferenz 2015
[https://www.ama.at/getattachment/Allgemein/Presse/2015/Getreideernte-2015-erreicht-
Niveau-des-Vorjahres/PK_2015_Folien.pdf](https://www.ama.at/getattachment/Allgemein/Presse/2015/Getreideernte-2015-erreicht-Niveau-des-Vorjahres/PK_2015_Folien.pdf) [Letzter Zugriff am 16.11.2016].

AgrarMarkt Austria (AMA). (2016). Getreidebaufläche in Österreich 2005 bis 2014
[https://www.ama.at/Marktinformationen/Getreide-und-Olsaaten/Produktion/Produktion,-
Qualitat/Getreideanbauflächen-in-Österreich-2005-bis-2014-](https://www.ama.at/Marktinformationen/Getreide-und-Olsaaten/Produktion/Produktion,-Qualitat/Getreideanbauflächen-in-Österreich-2005-bis-2014-) [Letzter Zugriff am 16.11.2016].

Benitez, E. R., Funatsuki, H., Kaneko, Y., Matsuzawa, Y., Bang, S. W., & Takahashi, R. (2004).
Soybean maturity gene effects on seed coat pigmentation and cracking in response to low
temperatures. *Crop Science*, 44(6), 2038-2042. doi:10.2135/cropsci2004.2038
038-2042.

Bernal-Lugo, I., & Leopold, A. C. (1998). The dynamics of seed mortality. *Journal of
Experimental Botany*, 49(326), 1455-1461. doi:10.1093/jxb/49.326.1455

Bhatia, V. S., Yadav, S., Jumrani, K., & Guruprasad, K. N. (2010). Field deterioration of
soybean seed: Role of oxidative stress and antioxidant defense mechanism. *Jour. Plant Biol*,
32(2), 179-190.

Bilyeu, K., Ratnaparkhe, M. B., & Kole, C. (Eds.). (2010). *Genetics, Genomics, and Breeding
of Soybean*. CRC Press. Enfield, New Hampshire.

Börner, G., & Henneberg, M. (2010). Verfahren zum Schälen von bohnenartigen Früchten
und/oder Saaten und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.
Dokumentationsidentifikation: DE102009050070B3 09.09.2010. [http://www.patent-
de.com/20100909/DE102009050070B3.html](http://www.patent-
de.com/20100909/DE102009050070B3.html) [Letzter Zugriff am 16.11.2016].

Bundesamt für Ernährungssicherheit (BAES). (2016). Sortenbeschreibung Sojabohne. [//www.baes.gv.at/de/pflanzensorten/oesterreichische-beschreibende-sortenliste/mittel-und-grosssamige-leguminosen/sojabohne/](http://www.baes.gv.at/de/pflanzensorten/oesterreichische-beschreibende-sortenliste/mittel-und-grosssamige-leguminosen/sojabohne/) [Letzter Zugriff am 16.11.2016].

Chalker-Scott, L. (1999). Environmental significance of anthocyanins in plant stress responses. *Photochemistry and Photobiology*, 70(1), 1-9. doi: 10.1111/j.1751-1097.1999.tb01944.x

Crocker W & Barton L. (1953). *Physiology of Seeds. An Introduction to the Experimental Study of Seed and Germination Problems.* Waltham, Mass: Cronica Botanica.

Dekant, W., Popa-Henning, H., & Vamvakas, S. (2005). *Toxikologie: eine Einführung für Chemiker, Biologen und Pharmazeuten.* Elsevier-Spektrum Akademischer Verlag.

Department für Nutzpflanzenwissenschaften. (2016). https://dnw-web.boku.ac.at//dnw/wetter_form_pys.php [Letzter Zugriff am 16.11.2016].

Don, R., (2003). *ISTA - Handbook on Seedling Evaluation 3rd Edition.* International Seed testing Agency (ISTA) (Hrsg.) Bassersdorf, Schweiz

Donau Soja. (2016). *Geschichte* <http://www.donausoja.org/de/donau-soja/ueberuns/geschichte/> [Letzter Zugriff am 16.11.2016].

Dornbos Jr, D. L., & Mullen, R. E. (1991). Influence of stress during soybean seed fill on seed weight, germination, and seedling growth rate. *Canadian Journal of Plant Science*, 71(2), 373-383.

Eurostat. (2016). *Crop statistics (from 2000 onwards)* <http://ec.europa.eu/eurostat/web/agriculture/data/database> [Letzter Zugriff am 16.11.2016].

Food and Agriculture Organization of the United States Statistic divisions (FAO Stat). (2015). <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E> [Letzter Zugriff am 16.11.2016].

Funatsuki, H., & Ohnishi, S. (2009). Recent advances in physiological and genetic studies on chilling tolerance in soybean. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, 43(2), 95-101.

Ghiasvand Ghiasi, K. (2007). Der Einfluss von Ölgehalt und Fettsäuremuster auf die Lagerfähigkeit von Saatgut. Dissertation, Universität Hohenheim.

Githiri, S. M., Yang, D., Khan, N. A., Xu, D., Komatsuda, T., & Takahashi, R. (2007). QTL analysis of low temperature-induced browning in soybean seed coats. *Journal of Heredity*, 98(4), 360-366. doi: 10.1093/jhered/esm042

GMO-Compass. (2014). Genetically modified plants: Global Cultivation Area. http://www.gmo-compass.org/eng/agri_biotechnology/gmo_planting/342.genetically_modified_soybean_global_area_under_cultivation.html [Letzter Zugriff am 16.11.2016].

Grgić, I. (2015). Ursachen der Samenschalenverfärbungen bei Sojabohnen. Masterarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.

Hartman, G. L., West, E. D., & Herman, T. K. (2011). Crops that feed the World 2. Soybean—worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. *Food Security*, 3(1), 5-17.

Hobbs, H. A., Hartman, G. L., Wang, Y., Hill, C. B., Bernard, R. L., Pedersen, W. L., & Domier, L. L. (2003). Occurrence of seed coat mottling in soybean plants inoculated with Bean pod mottle virus and Soybean mosaic virus. *Plant Disease*, 87(11), 1333-1336. doi: 10.1094/PDIS.2003.87.11.1333

Hoy, D. J., & Gamble, E. E. (1985). The effects of seed size and seed density on germination and vigor in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Canadian Journal of Plant Science*, 65(1), 1-8.

Jenkins, D. J., Mirrahimi, A., Srichaikul, K., Berryman, C. E., Wang, L., Carleton, A., ... & Kris-Etherton, P. M. (2010). Soy protein reduces serum cholesterol by both intrinsic and food displacement mechanisms. *The Journal of Nutrition*, 140(12), 2302-2311. doi: 10.3945/jn.110.124958

Kasai, A., Ohnishi, S., Yamazaki, H., Funatsuki, H., Kurauchi, T., Matsumoto, T., Yumoto, S. & Senda, M. (2009). Molecular mechanism of seed coat discoloration induced by low temperature in yellow soybean. *Plant and Cell Physiology*, 50(6), 1090-1098. doi: 10.1093/pcp/pcp061

Kost, B. (2014). Kontrolle der Entwicklung durch Außenfaktoren. In: Strasburger - Lehrbuch

der Pflanzenwissenschaften (S. 313 – 334). (37. Auflage). Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

Kumar, V., Rani, A., Dixit, A. K., Pratap, D., & Bhatnagar, D. (2010). A comparative assessment of total phenolic content, ferric reducing-anti-oxidative power, free radical-scavenging activity, vitamin C and isoflavones content in soybean with varying seed coat colour. *Food Research International*, 43(1), 323-328.

Lagerhaus. (2016). Qualitätskriterien Sojabohne.

www.lagerhaus.at/media.php?filename=download%3D%2F2016.01.28%2F145398461746378.pdf&rn=Qualit%26aumI%3Btskriterien%20Sojabohne%20f%26uumI%3Br%20die%20Bio-Ernte%202016.pdf [Letzter Zugriff am 16.11.2016].

Lee, K. J., Kim, J. B., Choi, H. I., Ha, B. K., Kang, S. Y., & Kim, D. S. (2015). Selection of soybean mutant lines with altered seed coat colour and their antioxidant activity. *Plant Breeding*, 134(5), 573-579. DOI: 10.1111/pbr.12300

Morrison, M. J., Pietrzak, L. N., & Voldeng, H. D. (1998). Soybean seed coat discoloration in cool-season climates. *Agronomy Journal*, 90(4), 471-474. doi:10.2134/agronj1998.00021962009000040005x

Nagel, M., & Börner, A. (2010). The longevity of crop seeds stored under ambient conditions. *Seed Science Research*, 20(1), 1-12. doi: 10.1017/S0960258509990213

Qiu, L.J., & Chang, R.Z. (2010). The Origin and History of Soybean. In: Singh, G. (2010): *The Soybean: Botany, Production and Uses*. (S. 1-23). London: CAB International.

Rezapour, R., Kazemi-arbat, H., Yarnia, M., & Zafarani-Moattar, P. (2013). Effect of seed size on germination and seed vigour of two soybean (*Glycin max L.*) cultivars. *Int. Res. J. Appl. Basic Sci*, 4(11), 3396-3401.

Ross, J. P. (1970). Effect of temperature on mottling of soybean seed caused by soybean mosaic virus. *Phytopathology*, 60(12), 1798-1800.

Santos, E. L. dos, Póla, J. N., Barros, A. S. D. R., & Prete, C. E. C. (2007). Qualidade fisiológica e composição química das sementes de soja com variação na cor do tegumento. *Revista Brasileira de Sementes*, 29(1), 20-26. doi: 10.1590/S0101-31222007000100003

- Schrank, E. (2015). Phänotypische Diversität bei Sojabohnen: Untersuchung zweier europäischer Genbank Sortimente. Masterarbeit Universität für Bodenkultur Wien
- Sonnewald, U. (2014). Stoffwechselphysiologie. In: Strasburger – Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften (S.337 – 446). (37. Auflage). Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Srinivasan, A., & Arihara, J. (1994). Soybean seed discoloration and cracking in response to low temperatures during early reproductive growth. *Crop Science*, 34(6), 1611-1617. doi:10.2135/cropsci1994.0011183X003400060034x
- Statistik Austria. (2016). Versorgungsbilanz für Ölsaaten 2009/10 bis 2014/15. http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/preise_bilanzen/versorgungsbilanzen/index.html [Letzter Zugriff am 16.11.2016].
- Sun, W. Q. (1997). Glassy State and Seed Storage Stability. The WLF Kinetics of Seed Viability Loss at $T > T_g$ and the Plasticization Effect of Water on Storage Stability. *Annals of Botany*, 79(3), 291-297. doi: 10.1006/anbo.1996.0346
- Sun, W. Q., & Leopold, A. C. (1994). Glassy state and seed storage stability. A viability equation analysis. *Annals of Botany*, 74(6), 601-604. doi: 10.1006/anbo.1994.1160
- Takahashi, R. (1997). Association of soybean genes I and T with low-temperature induced seed coat deterioration. *Crop Science*, 37(6), 1755-1759. doi:10.2135/cropsci1997.0011183X003700060014x
- Takahashi, R., & Abe, J. (1994). Genetic and Linkage Analysis of Low Temperature–Induced Browning in Soybean Seed Coats. *Journal of Heredity*, 85(6), 447-450.
- Takahashi, R., & Abe, J. (1999). Soybean maturity genes associated with seed coat pigmentation and cracking in response to low temperatures. *Crop Science*, 39(6), 1657-1662. doi:10.2135/cropsci1999.3961657x
- Takahashi, R., & Akiyama, T. (1993). Characterization of a melanin associated with low temperature-induced browning in soybean seed coats. *Phytochemistry*, 34(2), 587-588.
- Tolin, S. A., & Lacy, G. H. (2004). Viral, bacterial, and phytoplasmal diseases of soybean. In Boerma, H. R., & Specht, J. E. (Hrsg.), *Soybeans. Improvement, Production, and Uses* (S.

765-819). Madison, Wis: American Soc. of Agronomy [u.a.].

Umweltbundesamt (2016a). Gentechnik: Zulassungen.

<http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/gentechnik/zulassungen/> [Letzter Zugriff am 16.11.2016].

Umweltbundesamt (2016b). Gentechnik: Kennzeichnung.

<http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/gentechnik/kennzeichnung/> [Letzter Zugriff am 16.11.2016].

Vollmann, J. (2006). Speisesojabohnen und deren besondere Qualitätsansprüche. INFORM 1/06, 13-14. http://plantbreeding.boku.ac.at/jv/jv_pdf/Vollmann_2006_a.pdf [Letzter Zugriff am 16.11.2016].

Vollmann, J., Lošák, T., Pachner, M., Watanabe, D., Musilová, L., & Hlušek, J. (2015). Soybean cadmium concentration. Validation of a QTL affecting seed cadmium accumulation for improved food safety. *Euphytica*, 203(1), 177-184. doi: 10.1007/s10681-014-1297-8

Wetterdienst, (s.a.). Breitengrad 50.

http://www.wetterdienst.de/maps/topics/breitengrad_50.png [Letzter Zugriff am 16.11.2016].

Wild, A., & Schmitt, V., (2012). Biochemische und physiologische Versuche mit Pflanzen. Berlin: Springer Verlag.

Wu, A. H., Yu, M. C., Tseng, C. C., & Pike, M. C. (2008). Epidemiology of soy exposures and breast cancer risk. *British Journal of Cancer*, 98(1), 9-14. doi:10.1038/sj.bjc.6604145