

Hochschule Weihenstephan–Triesdorf

Sommersemester 2015

Studiengang Brau- und Getränketechnologie

Fakultät: Biotechnologie und Bioinformatik

HOCHSCHULE
WEIHENSTEPHAN-TRIESDORF
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Bachelorarbeit zum Erlangen des Grades

Bachelor of Engineering (B. Eng.)

„Entwicklung von Mälzungsverfahren für Leguminosen“

(Development of Malting-Scheme for Legumes)

von

Tobias Göbel

Matrikelnummer: 1211142

1. Prüfer: Prof. Dr. Winfried Ruß

2. Prüfer: Prof. Dr. Martin Krottenthaler

Abgabeort: Freising

Abgabetermin: 31. August 2015

Danksagung

Vielen Dank an

Prof. Dr. Winfried Ruß

Prof. Dr. Martin Krottenthaler

Stefan Thurner

Dominik Hoffmann

Dr. Carmen Bolduan

Daniel Brugger

Thomas Kaiser

Dr. Franz Ehrnsperger

Jana-Katharina Reischl

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	4
1.1. Abstract	5
2. Einleitung	7
3. Leguminosen	8
3.1. Die Sojabohne	9
4. Enzyminhibitoren	11
4.1. Der Trypsin-Inhibitor	12
5. Die Samenkeimung	13
5.1. Die natürliche Keimung	14
5.2. Die künstliche Keimung	15
5.2.1. Das Weichen	15
5.2.2. Die Keimung	16
6. Beschreibung der Versuchsanlage	17
6.1. Die Weiche	17
6.2. Der Keimapparat	18
7. Praktischer Teil	19
7.1. Versuch 1	19
7.2. Versuch 2	24
7.3. Versuch 3	27
7.4. Versuch 4	33
8. Abschließende Diskussion	38
9. Literaturverzeichnis	40
10. Eidesstattliche Erklärung	42

1. Zusammenfassung

Diese Bachelorarbeit ist zweigeteilt. Im ersten Teil werden die theoretischen Grundlagen zum Thema erläutert. Der zweite Teil ist der Praxisteil. Dieser Teil enthält die Versuchsbeschreibungen, -durchführungen und -auswertungen, sowie eine abschließende Betrachtung der gewonnenen Erkenntnisse.

Im dritten Kapitel der Arbeit wird die Pflanzenfamilie der Leguminosen vorgestellt. Die Familie der Leguminosen (zu Deutsch: Hülsenfrüchtler) ist eine der größten Pflanzenfamilien der Welt, deren Arten sich in allen Klimazonen ausgebreitet haben. Viele Hülsenfrüchtler werden als Wirtschaftspflanzen in großen Teilen der Erde kultiviert. Als einer der wichtigsten Vertreter der Leguminosen wird im Kapitel 3.1. die Sojabohne behandelt. Sie zählt zu den, wegen des hohen Eiweiß- und Ölgehaltes, zu den bekanntesten landwirtschaftlichen Pflanzen weltweit. Betrachtet wird besonders der biologische Aufbau. Die Sojabohne ist Hauptbestandteil dieser Arbeit, weil sie im folgenden praktischen Teil als Versuchsmaterial dient.

Im vierten Kapitel geht es um den biologischen Prozess der Enzymhemmung. Es werden die beiden Grundtypen, der irreversible sowie der reversible, von Enzyminhibitoren beschrieben. Des Weiteren wird im Kapitel 4.1 der Trypsin-Inhibitor charakterisiert. Der Trypsin-Inhibitor hemmt das Enzym Trypsin. Durch diesen Vorgang wird die Proteinverwertung reduziert. Auf Grund der Abbaubarkeit des Trypsin-Inhibitors während der Keimung, eignet er sich als charakteristische Größe für den Keimungsfortschritt.

Im folgenden Kapitel wird die Samenkeimung erklärt. Wichtigster Bestandteil ist die Unterscheidung von natürlicher und künstlicher Keimung. Im ersten Teil des Kapitels wird die Bedeutung der Keimfaktoren beschrieben. Darauf folgt eine Beschreibung der natürlichen Keimung. Zum Schluss wird die künstliche Keimung, unterteilt in die Prozesse Weichen und Keimen, charakterisiert. Zusätzlich werden für die Keimungsindustrie typische Maschinen angeführt.

Das letzte Kapitel des Theorieteils erläutert den Aufbau der Mälzungsanlage der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf. Als erstes wird die Weiche der Versuchsanlage erklärt. Neben den grundlegenden Funktionen des Weichbeckens werden auch die speziellen Weichgefäße beschrieben. Im Anschluss daran, wird der Keimkasten näher

betrachtet. Dieser eignet sich auf Grund seiner besonderen Beschaffenheit sehr gut für besonders kleine Chargen.

Die ersten beiden Versuche beschäftigen sich mit dem Wasseraufnahmevermögen der Sojabohne. Die Wasseraufnahme ist für den Beginn des Prozesses von großer Bedeutung. Die Versuche zeigen, wie viel Wasser Soja mindestens aufnehmen muss, um eine erfolgreiche Keimung durchführen zu können. Eine optimale Nassweichphase für Sojabohnen konnte somit auf eine Dauer von drei bis vier Stunden festgelegt werden.

Der dritte Versuch diente der Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf die Keimung von Sojabohnen. Zu diesem Zweck sind Kleinproben unter unterschiedlichen Temperaturbedingungen gekeimt worden. Es zeigte sich, dass sich eine niedrigere Temperatur zu Beginn der Keimung positiv auf die Homogenität auswirkt. Nach ein bis zwei Tagen muss die Temperatur zu Gunsten eines besseren Stoffwechsels der Bohnen wieder erhöht werden.

Der letzte Versuch der Arbeit hatte das Ziel die zuvor gewonnen Erkenntnisse zusammen zu führen. Es wurden sowohl das ermittelte Weichschema, als auch die gewählten Temperaturbedingungen überprüft. Es erfolgte eine regelmäßige Probenahme zur Ermittlung des Trypsin-Inhibitor-Gehaltes im Probenmaterial. Obwohl die Anzahl der keimenden Bohnen leicht rückläufig war, konnte trotzdem ein starker Rückgang des Trypsin-Inhibitors beobachtet werden.

In einer abschließenden Betrachtung kann auf Grund der aus den durchgeführten Versuchen gewonnen Erkenntnis ein optimales Mälzungsverfahren für Sojabohnen aufgezeigt werden. Zusätzlich konnte ein Abbau des Trypsin-Inhibitors während der Keimung bewiesen werden.

1.1. Abstract

This bachelor thesis is divided into two main parts. The theoretical facts will be discussed in the first part. The second part is more related to practice and includes many test records, experimental procedures, the interpretation of test results and an overview of the gained insights.

The third chapter includes a short introduction to the legume family. The legume family represents one of the biggest plant families in the world and spreads in each of the

different climate zones. Legume families are cultivated as economic plants in huge parts of the world. As one of the main representatives of the legume family the soy bean will be discussed in chapter 3.1. The soy bean is one of most important agricultural plants worldwide. The chapter includes the history of the bean as well as the biological structure. As the soya bean is used mainly as test material in the experimental procedures, the main part of the bachelor thesis is about this soy bean.

In the fourth chapter the biological process of enzyme inhibition is described. At this point the types of enzymes inhibitors are presented. Moreover in chapter 4.1. the trypsin-inhibitor is characterized. The effect of this trypsin-inhibitor is to arrest the development of the enzyme trypsin. In connection with this process the protein utilization is reduced. As the trypsin- inhibitor is degraded during the process of germination, this inhibitor is suited for a characteristic value of the germination progress.

The fifth chapter includes a description about the process of seed germination. The most important fact at this point is the distinction between natural and artificial germination. In the first part of the chapter the importance of many germ factors is revealed. A description of natural germination follows. At the end the process of artificial germination is characterized. It is divided into the process of soaking and germination itself. Additionally typical machines in the germination industry are described.

The last chapter of the theoretical part explains the building of a malting plant at the University of Applied Sciences Weihenstephan-Triesdorf. This chapter starts with exemplifying the soaking basin of the pilot plant. In addition to the description of the soaking basin, also the special containers for soaking are explained to the reader. Moreover a germination box is closer described. This type of germination box suits perfectly for very small batches.

The first two experiments deal with the water absorbency of a soy bean. The absorptive capacity is highly relevant for the beginning of the germination process. The purpose of the experiments is to show how much water the soy bean has to absorb in order to germinate successfully. It has been worked out that an optimal wet soaking period takes three to four hours.

The third test seeks to demonstrate how temperature effects the germination process of soy beans. For this purpose small-sized samples germinated under various temperature

conditions. As a result of this examination, a low temperature at the beginning of the germination process supports homogeneity. After one to two days the temperature is raised in order to strengthen the metabolism of soy beans.

The main aim of the last experiment was to bring the before gained experiences together. The previously determined soaking scheme was reviewed, as well as the chosen temperature conditions. A regular sample collection serves for the calculated values of the Trypsin-Inhibitor substance in the sample material. Although the number of germinating beans was reduced, the trypsin-inhibitor also regresses.

In a concluding presentation a perfect malting process for soy beans is presented. It is based on the previous gained insights. Additionally a regress of the Trypsin-Inhibitor can be proved.

2. Einleitung

Die Familie der Leguminosen bzw. der Hülsenfrüchtler ist eine der größten Pflanzenfamilien der Erde. Viele wichtige Wirtschaftspflanzen, darunter auch die Sojabohne, werden dieser Familie zugeordnet. Der Untersuchung der Keimung wurde bis jetzt jedoch eher eine untergeordnete Bedeutung zuteil. Die Durchführung einer industriellen Keimung im größeren Stil ist in Deutschland nicht bekannt. Diese Arbeit ist ein erster Versuch, die Keimung der Leguminosen, vor allem auch für industrielle Zwecke, besser zu untersuchen. Dadurch soll eine weitere Verarbeitungsmethode für Soja, nämlich die Vermälzung, erschlossen werden.

Die Familie der Leguminosen umfasst eine Vielzahl verschiedener Pflanzenarten. Um die Erstellung eines Mälzungsschemas zu vereinfachen, ist die weltweit am stärksten verbreitete Leguminosenart: Soja, als Versuchsmaterial ausgewählt worden.

Wichtige Bestandteile eines Mälzungsschemas sind das richtige Weichschema, sowie das richtige Keimungsverfahren. Für das richtige Weichschema müssen die Zeiten der jeweiligen Nass- und Trockenweichen gefunden werden. Wichtig für das Keimungsverfahren ist dagegen die optimale Einstellung aller Keimfaktoren. In den Versuchen des praktischen Teils dieser Arbeit werden dazu die wichtigsten Parameter, Wassergehalt, Temperatur und Keimungsdauer, näher beleuchtet.

Hauptaufgabe dieser Arbeit ist es, ein Mälzungsschema für Leguminosen zu finden.

3. Leguminosen

Als Leguminosen wird die Ordnung der Hülsenfruchtartigen bezeichnet. Daraus leitet sich der gebräuchliche deutsche Name der Hülsenfrüchtler ab. Die beiden botanischen Namen der Hülsenfrüchtler lauten Leguminosae, beziehungsweise Fabaceae.

Die Familie der Leguminosen zählt als drittgrößte zu den drei größten „höheren“ Pflanzenfamilien der Welt. Auf Grund der intensiven weltweiten Verbreitung der Hülsenfrüchtler werden dieser Pflanzenfamilie etwa 18.000 bis 20.000 Arten zugeordnet. Diese werden in circa 600 bis 700 Gattungen unterteilt. Die Verbreitungsgebiete erstrecken sich von den Tropen und den Regenwäldern über die gemäßigte Klimazone, bis hin zu stark extremen Klimabereichen wie der Arktis, Steppen oder Wüstengebieten.

Neben der großen Präsenz in der Botanik besitzen die Leguminosen auch eine erhebliche wirtschaftliche Bedeutung. Diese wirtschaftliche Bedeutung macht sich sowohl in der Ernährung von Mensch und Tier bemerkbar, als auch in der guten Einsetzbarkeit bestimmter Leguminosenarten als Gründüngung.

Die Ordnung der Hülsenfruchtartigen teilt sich im Wesentlichen in drei Unterfamilien auf. Den Mimosideen, den Caesalpiniodeen und den Faboideen. Die Mimosideen und die Caesalpiniodeen zählen zu den ursprünglichen Pflanzengruppen innerhalb der Ordnung. Dabei ist unter dem Begriff der „ursprünglichen Pflanzengruppe“ zu verstehen, dass ein Großteil der Arten aus diesen beiden, hauptsächlich in den Tropen und Subtropen angesiedelten Unterfamilien, abstammungsgeschichtlich älter sind, als die, zumeist in der gemäßigten Zone angesiedelten Arten der Faboideen.

Innerhalb der Leguminosen existieren sehr stark voneinander abweichende Wuchsformen, die von Stauden, über Sträucher und Bäume, bis hin zu Lianen reichen. Während die Stauden, welche oft als krautig bezeichnet werden, in der Regel ein- bis zweijährig sind, sind die restlichen Wuchsformen gewöhnlich mehrjährig. Die aus der Vielfalt resultierende Komplexität dieser Pflanzenordnung erschwert die ganzheitliche Übersicht. Auf Grund der besonderen Stellung der Sojabohne in dieser Arbeit, wird im Folgenden besonders auf die Unterfamilie der Faboideen eingegangen. Wichtigster Vertreter der Faboideen ist die Sojabohne.

Die Faboideen oder auch Papilionoideen werden, wegen der Ähnlichkeit ihrer Blütenblätter mit Schmetterlingsflügeln, als Schmetterlingsblütler bezeichnet. Innerhalb der Leguminosen ist diese Familie, mit ihren 400 bis 500 Gattungen, die größte. Die

Artenzahl der Faboideen wird auf etwa 12.000 geschätzt (Urania Pflanzenreich – Blütenpflanzen 1, Enzyklopädie, Seite 243, Kapitel: „Unterfamilie Schmetterlingsblütler, Papilionoideae (Faboideae)“, 1. Absatz). Abstammungsgeschichtlich sind die meisten Arten dieser Unterfamilie jünger. Im Gegensatz zu den Verwandten der beiden anderen Unterfamilien handelt es sich bei den Schmetterlingsblütlern öfter um Stauden oder Sträucher, als um Bäume. Größte Bedeutung innerhalb der Faboideen hat für diese Arbeit der Untertribus der sogenannten „Glycininae“, da dem Untertribus die Sojabohne (*Glycine max*(L.) Merr.) zugeordnet werden kann. Alle Arten der Glycininae besitzen näherungsweise gleichgroße Blütenblätter. Dabei sind, anders als bei den meisten Leguminosen, die Ansatzstellen der Blüten nicht verdickt. Die Blüten bilden kein besonders ausgeprägtes „Schiffchen“. Als „Schiffchen“ werden die beiden vordersten, miteinander verwachsenen Blütenblätter bezeichnet. Der Name des Untertribus stammt von der Gattung der Glycinen ab, welche den größten Anteil an den Arten der Glycininae bilden. Die Hauptverbreitungsgebiete der Glycinen sind die Tropen Afrikas, Australiens und Asiens. Einzig in Ostasien breiteten sie sich bis in die gemäßigte Klimazone aus. Der Wuchs der Glycinen kann allgemein hin als windend und krautig beschrieben werden.

Die Sojabohne wurde als charakteristischer Vertreter der als Wirtschaftspflanzen weit verbreiteten Glycinen, in dieser Arbeit untersucht. Aus diesem Grund wird im folgenden Kapitel die Sojabohne genauer beschrieben.

3.1. Die Sojabohne (*Glycine max*)

Die Sojabohne gilt als eine der weltweit wichtigsten Kulturpflanzen. Sie findet ihre Verbreitung auf der gesamten Erde. Besonders wegen ihrer vielfältigen Einsetzbarkeit, nicht nur als wichtiger Eiweißlieferant für die Tierernährung, sondern auch wegen ihrer Verwendung zur Ölgewinnung, ist die Sojabohne eine Pflanze mit großer Bedeutung.

Erste Belege für den Anbau von Sojabohnen finden sich im alten China. Es wird vermutet dass dort die Sojabohne vor 4000 bis 5000 Jahren erstmalig kultiviert wurde. Erste Sojabohnenfunde bei archäologischen Ausgrabungen belegen einen Anbau in China vor circa 2300 Jahren. Von China ausgehend breitete sich das Soja in Asien vor allem in Japan und Korea aus. Als Beweis für den Beginn der Verbreitung in Europa gilt eine botanische Beschreibung der Sojabohne von Engelbert Kaempfer um 1712. (Soybeans – Chemistry, Technology and Utilization, KeShun Liu, 1997) Etwas später gelangten erste

Sojabohnen auch nach Nordamerika. Heute gelten neben China sowohl der nördliche amerikanische Kontinent, als auch Südamerika als die wichtigsten landwirtschaftlichen Anbauggebiete für Sojabohnen.



Abb.1. Habitus der Sojabohne

Quelle:

https://commons.wikimedia.org/wiki/Glycine_max#/media/File:Glycine_max_001.JPG

Im Wesentlichen kann die Sojabohne als einjährige, krautige Pflanze beschrieben werden. Sie besitzt, wie in Abb. 1 zu erkennen ist, eine große Ähnlichkeit mit der ebenfalls weit verbreiteten gemeinen Buschbohne. Klimatisch ist sie vor allem in den Subtropen angesiedelt. Deshalb liegt das Temperaturoptimum für ein zufriedenstellendes Pflanzenwachstum zwischen 24 und 34 Grad Celsius. Feuchtwarme Klimabedingungen sind für die Sojabohne ideal. Die Sojapflanze erreicht eine Höhe zwischen 80 und 100 cm. In Ausnahmefällen ist die Staude auch weniger als 80 cm hoch. Die langgestielten Blätter bestehen aus drei bis fünf unpaarig gefiederten, ganzrandigen Blättchen. Die schmetterlingsartigen Blüten besitzen meistens eine weiße bzw. bläulich-violette Farbe. Die Blüten sind mit einer Größe von circa 5 mm relativ klein. Viele Sojasorten blühen lediglich bei einer Tageslänge von unter 14 Stunden. Langtagesbedingungen können, durch verzögerte Blüte und Samenreife, das Wachstum stark beeinträchtigen. Die Sojabohne wird den selbstbefruchtenden Pflanzen zugeordnet. Der Anteil der fremdbefruchteten Blüten ist mit weniger als 1% sehr gering. (Handbuch des speziellen Gemüsebaus, Prof. Dr. Georg Vogel, Seite 692, Kapitel 89.4 Biologisches). In der Regel ist die Sojapflanze fein behaart. Sojabohnen bilden ausgeprägte Pfahlwurzeln, welche

nicht selten eine Länge von 1,5 m aufweisen. Von besonderer Bedeutung für das Pflanzenwachstum ist die Symbiose der Sojabohne mit den Knöllchenbakterien des sojaspezifischen Stammes „Rhizobium japonicum“. Diese Bakterien fördern die Stickstoffassimilation in der Erde, wodurch einerseits das Pflanzenwachstum, andererseits auch die Bodenqualität verbessert wird. Die Knöllchenbakterien siedeln sich an den Seitenwurzeln der Pflanze an. Nach einer drei bis vier Wochen andauernden Blüte setzt die Sojapflanze 2 bis 8 cm lange Hülsen an. Die Samen sind in den meisten Fällen kugelig und besitzen eine gelbe Farbe. Gelegentlich können die Samen jedoch eine abgeflachte Form besitzen, sowie eine grüne, braune, schwarze oder braunschwarze Farbe haben. Während des Reifungsprozesses der Sojabohnen wirft die Pflanze ihre gesamten Blätter ab. Der Stängel verfärbt sich dabei ebenfalls bräunlich. Diese Veränderungen zeigen an, dass das Soja erntereif ist.

4. Enzyminhibitoren

Enzyminhibitoren sind Proteine, die durch das Eingehen von chemischen Bindungen mit Enzymen deren Wirkung hemmen können. Dabei stellt „diese Art der Hemmung (Inhibitoren) der Enzymaktivität einen bedeutenden Kontrollmechanismus im biologischen System dar“ (Stryer Biochemie; Jeremy M. Berg, John L. Tymoczko, Lubert Stryer; Seite 241, Kapitel 8.5, 1. Absatz). Es werden zwei Grundtypen der Hemmung unterschieden, nämlich die der reversiblen und der irreversiblen. Daher spricht man auch von reversiblen beziehungsweise irreversiblen Inhibitoren.

Eine irreversible Hemmung liegt vor, sofern der Inhibitor eine stabile kovalente Bindung mit dem Enzym eingeht. Eine Abnahme der Population von aktiven Enzymen ist die Folge, da diese Bindung nicht mehr rückgängig gemacht werden kann. Bei der reversiblen Hemmung hingegen wird durch die Bindung des Enzyminhibitors an ein Enzym bzw. einen Enzym-Substrat-Komplex lediglich die enzymatische Aktivität herabgesetzt. Der so entstandene Enzym-Inhibitor-Komplex ist reversibel, d.h. die Bindung des Inhibitors kann rückgängig gemacht werden. Die reversible Hemmung kann nochmals in die kompetitive, unkompetitive und nichtkompetitive Hemmung unterschieden werden.

Die klassische kompetitive Hemmung zeichnet sich durch eine direkte Bindung des Inhibitors an freie Enzymmoleküle aus. Dadurch entsteht ein Komplex aus Enzym und Inhibitor, bei dem der Inhibitor den Platz des Substrats einnimmt. „Durch die Bildung des

Enzym-Inhibitor-Komplexes (EI) wird die Bildung von Enzym-Substrat-Komplexen verhindert, so dass das Enzym dem normalen Reaktionsweg für die Lebensdauer des EI-Komplexes entzogen wird.“ (Biochemie; H. Robert Horton, Laurence A. Moran, K. Gray Scrimgeour, Marc D. Perry, J. David Rawn; Kapitel 5.7.1, Seite 197, 1. Absatz) Umgekehrt kann aber auch ein bereits gebundenes Substratmolekül eine Verbindung zwischen Enzym und Inhibitor verhindern. Aus diesem Grund stehen der Enzyminhibitor und das Substrat in einem Wettstreit, weshalb man von einer kompetitiven Hemmung spricht. In der Regel sind „kompetitive Inhibitoren den natürlichen Substraten sehr ähnlich“ (Pflanzenphysiologie; Peter Schopfer, Axel Brennike; Seite 75, Kapitel 4.1.5, 1.Absatz), weshalb man in diesem Zusammenhang auch von Strukturanalogen spricht.

Im Gegensatz zur kompetitiven Hemmung bindet ein unkompetitiver Inhibitor „nur an den Enzym-Substrat-Komplex und nicht an das freie Enzym“ (Biochemie; H. Robert Horton, Laurence A. Moran, K. Gray Scrimgeour, Marc D. Perry, J. David Rawn; Seite 198, Kapitel 5.7.2, 1. Absatz). Diese Tatsache basiert darauf, dass die spezifische Bindungsstelle für den Inhibitor erst durch eine Wechselwirkung zwischen Enzym und Substrat entsteht.

Als letztes kann das Prinzip der nichtkompetitiven Hemmung dargestellt werden. Ein nichtkompetitiver Inhibitor kann sowohl an ein freies Enzym, als auch an den Enzym-Substrat-Komplex binden. Bei der nichtkompetitiven Hemmung geht daher die Anzahl aktiver Enzyme stark zurück.

4.1. Der Trypsin-Inhibitor

Im weiteren Verlauf der Arbeit wurde die Abnahme des Trypsin-Inhibitorgehaltes als charakteristische Größe für den Fortschritt der Keimung gewählt. Auf Grund von zwei besonderen Eigenschaften wurde dieser gewählt. Zum einen wird der Trypsin-Inhibitor mit fortschreitender Keimung abgebaut. „Auch Erhitzen oder das Keimen können die Trypsin-Inhibitoraktivität in der Sojabohne verringern“. (Bioaktive Substanzen in Lebensmitteln; Bernahrd Watzl und Claus Leitzmann; Seite 40, rechte Spalte, 2. Absatz)

Diese Arbeit soll zeigen, wie stark der Abbau mit fortschreitender Keimung vorangetrieben werden kann. Auf der anderen Seite ist der Abbau des Trypsin-Inhibitors von großer Bedeutung für das geplante Einsatzgebiet des Sojamalzes als Tierfutter. Weil „die Trypsininhibitoren jedoch die Proteinverwertung von Tieren verringern“

(Physiologie der Tiere; Knut Schmidt-Nielsen; Seite 136, Absatz „Enzyminhibitoren“), sollte der Inhibitor durch den Mälzungsvorgang abgebaut werden.

Bei einem Trypsin-Inhibitor handelt es sich um einen Protease-Inhibitor. Dies bedeutet, dass der Inhibitor Enzyme hemmt, welche der Gruppe der Proteasen zugeordnet werden. Diese Enzyme spalten Nahrungsproteine in einzelne Aminosäuren auf. Das Trypsin, welches ein bekannter Vertreter der Proteasen ist, wird im Pankreas synthetisiert. Seine Wirkung entfaltet das Enzym jedoch im Dünndarm. (Vergleichende Tierphysiologie; Gerhard Heldmeier, Gerhard Neuweiler, Wolfgang Rössler; Seite 295, Tabelle 7.1) Die Wirkung besteht im Wesentlichen darin, Peptidbindungen zu spalten. Somit ist das Trypsin eine wichtige Komponente der Eiweißverwertung im Verdauungstrakt. Dabei ist das Trypsin „nicht nur auf Wirbeltiere beschränkt“ (Lehrbuch der Tierphysiologie; Heinz Penzlin und Gernot Beinbrech; Seite 221, letzter Absatz), sondern kann auch in Verdauungsorganen wirbelloser Tiere gefunden werden.

Der Trypsin-Inhibitor hemmt die Aktivität des Trypsins im Verdauungstrakt nach dem in Kapitel Vier (3.Absatz) beschriebenen Prinzip der „klassischen kompetitiven Hemmung“. Daraus folgt, dass die Hemmung des Trypsins rückgängig gemacht werden kann. Andererseits kann der Inhibitor aber auch durch Temperatur inaktiviert oder durch natürliche Stoffwechselprozesse abgebaut werden. Durch die Wirkung des Trypsin-Inhibitors nimmt die Anzahl freier Trypsinmoleküle ab, da der Inhibitor das aktive Zentrum des Enzyms besetzt. Somit wird eine Bindung des Enzyms an das Substrat verhindert. Das Trypsin spielt eine wichtige Rolle bei der Aufnahme von Nährstoffen einer Vielzahl von Lebewesen. Wird nun die Funktion des Trypsins durch den spezifischen Inhibitor gehemmt, folgt daraus eine schlechtere Nährstoffverwertung. Es muss also der Trypsin-Inhibitor inaktiviert bzw. abgebaut werden, damit ein vollwertig einsetzbares Endprodukt entsteht. Aus diesem Grund hat man sich in dieser Arbeit dazu entschieden, den Trypsin-Inhibitor als spezifische Größe für den Keimungsfortschritt zu wählen.

5. Die Samenkeimung

Als Keimung wird das Anfangsstadium des neuen Lebens, welches aus dem Samen heraus entsteht, bezeichnet. Von besonderer Bedeutung für diesen Prozess sind Wasser, Sauerstoff und Temperatur. Man spricht von den Keimfaktoren.

Nur wenn alle drei Faktoren optimal zusammenspielen, kann eine neue Pflanze entstehen. Deshalb „müssen genügend Feuchtigkeit, günstige Temperaturen und Luft bzw. Sauerstoff gegeben sein, um die Keimung einzuleiten“. (Die Bierbrauerei, Band 1: Die Technologie der Malzbereitung; Ludwig Narziss und Werner Back; Seite 225, 1.Absatz) Ist die Temperatur zu niedrig, findet kein Wachstum statt. Andererseits kann das Wachstum aber auch bei zu hohen Temperaturen gestört werden. Dem Samenkorn muss immer genügend Sauerstoff zur Verfügung stehen, ansonsten wird der Lebenskreislauf empfindlich gestört. Grundsätzlich gilt für Wasser: „Ohne Wasser kein Leben“. Die oft sehr stark getrockneten Samen müssen Feuchtigkeit aufnehmen, damit die Stoffwechselprozesse im Inneren der Körner ablaufen können.

In den folgenden beiden Kapiteln wird erst die natürliche Keimung und im Anschluss, die darauf basierende, künstliche Keimung beschrieben.

5.1. Die natürliche Keimung

Man spricht von natürlicher Keimung, wenn Samen in der Erde durch natürliche Einflüsse zum Keimen angeregt werden. Dabei sind sie den klimatischen Bedingungen ihrer Umgebung ausgesetzt. Günstiges Klima führt zu einer hohen Aktivität während des Keimungsvorgangs.

Kennzeichnend für den Beginn dieses Prozesses ist das sogenannte Quellen. Hier nimmt der Samen Wasser auf. Bei der natürlichen Keimung findet der Prozess des Quellens, der stets mit einer Volumenzunahme des Samens einhergeht, im Erdboden statt. Die Wasseraufnahme wird durch das Ansteigen der Temperatur über einen Schwellenwert angeregt. Erreicht der Wasseranteil im Samenkorn einen spezifischen Anteil, setzt die eigentliche Keimung ein. Nun bauen Enzyme die Vorratsstoffe, die hauptsächlich im Endosperm und den Keimblättern eingelagert sind, ab. Zu diesem Zeitpunkt ist die Versorgung des Samenkorns mit Sauerstoff von essentieller Bedeutung. Die lebensnotwendigen Nährstoffe werden zu den Wachstumszonen des Embryos transportiert. Kurze Zeit nach dem Einsetzen des Wachstums durchbricht die sogenannte Keimwurzel die Samenschale. Nach dem Aufbau der Wurzelstruktur durchbrechen die Keimblätter das Erdreich. Während des gesamten Keimungsprozesses gilt für 95% der Fälle die Regel: „je wärmer, desto besser und schneller ist auch der Aufgang“. (Pflanzenaussaats mit Erfolg – Alles über Samen, Keimung und Wachstum; Siegfried

Stein; Seite 47) Das Einwirken von Sonnenlicht auf die junge Pflanze ermöglicht nun das Pflanzenwachstum und beendet den Prozess der Keimung.

5.2. Die künstliche Keimung

Die künstliche Keimung unterscheidet sich von der natürlichen Keimung vor allem dadurch, dass die für den Prozess spezifischen Parameter nicht durch natürliche Umstände beeinflusst werden, sondern durch den Menschen festgelegt werden. Folglich basiert die künstliche Keimung zwar auf den gleichen biologischen Prozessen wie die natürliche Keimung, die Keimung selbst jedoch wird vollständig von Menschenhand gesteuert.

Dabei ist es egal ob natürliche oder künstlich herbeigeführte Keimung, erster Schritt ist dabei immer das Weichen.

5.2.1. Das Weichen

Die künstliche Keimung beginnt ebenfalls mit der Aufnahme von Wasser durch den Samen. Im Gegensatz zur natürlichen Keimung findet die Wasseraufnahme jedoch nicht im Erdboden statt, sondern wird in speziell dafür gefertigten Gefäßen durchgeführt. Bekannte Weichgefäßarten sind z.B. die Trichterweiche und die Flachbettweiche.

Die Trichterweiche ist in den meisten Fällen zylindrisch, kann aber gelegentlich auch rechteckig sein. Wichtigstes Element dieser Weichenbauart ist das Becken. Sowohl bei der zylindrischen, als auch bei der rechteckigen Weiche, befindet sich an der Unterseite ein Konus. Die Befüllung erfolgt von oben. Ausgeweicht wird nach unten durch eine Öffnung im Konus. Für die Belüftung während einer Luftrast wird Druckluft in die Weiche eingeleitet. Dagegen ist die Flachbettweiche ein zylindrischer Behälter mit einem Siebboden auf dem sich das Weichgut befindet. Die Flachbettweiche kann von unten über den Boden mit Wasser geflutet werden. Mit einem mehrarmigen Radialräumer wird das Gut ausgebreitet bzw. abgeräumt. Eine Belüftung erfolgt mit Druckluft über Düsen im Weichenboden.

Man verfolgt bei der maschinellen Weiche ähnliche Ziele wie die Natur. Der Wassergehalt des Keimgutes soll erhöht werden, um die Lebensprozesse im Samenkorn anzuregen. Aus diesem Grund wird das zu weichende Gut nach einem bestimmten

Schema behandelt, man spricht von einem Weichschema. Ein Weichschema besteht stets aus einer Abfolge von Nassweiche und Trockenweiche bzw. Luftrast. Als Erstes wird eine Nassweiche durchgeführt. Dabei wird das Weichbecken geflutet, das Weichgut ist also von Wasser umgeben. Darauf folgt eine Luftrast. Diese beginnt mit dem Ablassen des Wassers aus dem Becken. Das Weichgut kann nun mit Sauerstoff versorgt werden. Es ist allgemein bekannt, dass durch eine Trockenweiche die Wasseraufnahme der Samenkörner stark gefördert werden kann. Ein gutes Endergebnis, kann nur durch mehrmaliges Wiederholen der beiden aufeinanderfolgenden Prozessschritte erreicht werden. Dabei ist es von großer Bedeutung für jede Sorte von Weich- bzw. Keimgut, die optimale Zusammensetzung der einzelnen Rasten, in Bezug auf die Dauer und die Anzahl der Wiederholungen, zu finden.

5.2.2. Die Keimung

An den Prozess des Weichens schließt sich die Keimung an. Bei der Keimung wird das zuvor geweichte Keimgut in speziellen Apparaten gekeimt. Im Gegensatz zur natürlichen Keimung können jedoch bei einer maschinellen Keimung die Rahmenbedingungen durch den Menschen festgelegt werden. Sowohl Temperatur als auch Verfügbarkeit von Wasser und Sauerstoff werden während des Keimungsprozesses reguliert. Hauptziel während des gesamten Prozesses ist es, eine gleichmäßige Keimung durchzuführen. Das bedeutet am Ende der Keimung ein möglichst homogenes Grünmalz zu erzeugen.

Wichtig für eine gleichmäßige Keimung ist es, gleichmäßige Bedingungen zu schaffen. Daher sollte es keine großen Temperaturschwankungen im Keimungsprozess geben. Außerdem kann das Keimgut, damit es nicht austrocknet, regelmäßig mit Wasser versorgt werden. Dank maschineller Keimung wird während des Prozesses sowohl eine optimale Temperatur, als auch ein optimaler Wassergehalt gewährleistet. Die Versorgung mit Sauerstoff ist bei der künstlichen Keimung ebenfalls essentiell wichtig. Damit innerhalb einer Keimgutcharge keine Unterschiede auftreten, ist das Wenden im Keimapparat von großer Bedeutung.

Die drei gebräuchlichsten Bauarten von Keimanlagen sind die Wanderhaufenmälzerei, die Trommelmälzerei und die Kastenmälzerei. Die Wanderhaufenmälzerei zeichnet sich durch ein kontinuierliches Verschieben des Keimgutes, mit Hilfe eines mechanischen Wenders, aus. Wanderhaufenmälzereien werden heute in der Regel nicht mehr gefertigt.

Bei einer Trommelmälzerei befindet sich das Keimgut in einer Stahlblechtrommel. In einer Trommel befindet sich immer nur eine Charge an Keimgut. Das Wenden erfolgt durch eine Drehbewegung der Trommel. In einer Trommelmälzerei können lediglich kleine Chargen an Keimgut verarbeitet werden.

Die gebräuchlichste Form von Keimanlagen heute ist die Kastenmälzerei. Sie können neben einer eckigen Form auch eine runde Form besitzen. Die Kastenmälzerei besteht im Wesentlichen aus einer rechteckigen Keimeinheit. Die Keimeinheit ist mit mechanischem Wender, sowie mit einer Besprenkelungsanlage zur Bewässerung versehen. Der Boden ist entweder als geschlitztes Tragblech oder als Spaltsiebboden ausgeführt. Im Gegensatz zur Wanderhaufenmälzerei, wird hier das Keimgut nicht verschoben. Im Kasten befindet sich lediglich eine Charge, die sich immer im gleichen Keimstadium befindet.

Das fertige Grünmalz wird in den meisten Fällen weiterverarbeitet. Es wird zum Beispiel getrocknet bzw. abgedarrt oder geröstet. Das Malz wird also auf die spätere Verwendung zugeschnitten.

6. Beschreibung der Versuchsanlage

Die Mälzungsversuchsanlage des Studiengangs Brau- und Getränketechnologie der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf besteht im Wesentlichen aus zwei Elementen: der Weiche und dem Keimkasten.

6.1. Die Weiche

Die Weiche wird durch ein rechteckiges Becken aus Edelstahl dargestellt. (Abb. 3) Dabei handelt es sich um eine Sonderanfertigung für die Hochschule Weihenstephan-Triesdorf. Das Funktionsprinzip des Weichbeckens unterscheidet sich kaum von dem einer industriellen Weichanlage. Sie kann in etwa mit einer Trichterweiche verglichen werden. Einziger Unterschied ist hier, dass das Keimgut durch einzelne Weichgefäße (Abb. 2) getrennt werden kann und nicht wie bei der Trichterweiche als eine Charge behandelt werden muss. Das Becken kann durch das Anschließen eines Wasserschlauches mit Wasser befüllt werden. Durch ein steuerbares Auslassventil kann das Wasser wieder aus dem Becken abgelassen werden. Die Weiche besitzt eine spezielle Steuereinheit, mit der

die Weichprozesse geregelt werden können. So kann zum Beispiel die Dauer einer Nassweichphase durch eine Zeitschaltuhr vorgegeben werden. Nach Ablauf des eingestellten Zeitintervalls öffnet sich das Auslassventil automatisch. Darauf kann eine Trockenrast erfolgen. Am Ende der Trockenrast muss, zum erneuten Befüllen des Beckens, ein Wasserschlauch angeschlossen werden. Durch Drücken des Startknopfes wird der Füllvorgang gestartet, die Zeit auf der Zeitschaltuhr beginnt dadurch abzulaufen.



Abb. 2 Weichgefäße



Abb. 3 Weiche

Eine Besonderheit dieser Weichanlage sind, wie oben bereits genannt, die speziell angefertigten Weichgefäße. (Abb. 2) Diese bestehen aus modifizierten KEG-Fässern, bei denen der Fitting, sowie der Stechdegen entfernt wurden. An der Ober- und Unterseite sind an den extra dafür eingefügten Öffnungen, Gitter angebracht. Die Gitter verhindern zum einen das Ausdringen des Keimgutes, zum anderen ermöglichen sie das Eindringen von Wasser, sowie die Sauerstoffzufuhr. Die Weichgefäße bieten die Möglichkeit mehrere Chargen getrennt voneinander zu bearbeiten. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass trotz mehrerer einzelner Chargen nur ein Weichschema angewandt werden kann.

6.2. Der Keimapparat

Die Keimung erfolgt in einem eigens von der Firma „Mytron“ dafür angefertigten Keimkasten. (Abb. 4) Dieser besteht aus der Keimkammer und einer Steuereinheit. In der Keimkammer sind bewegliche Aufnahmevorrichtungen für die Weichgefäße angebracht. Durch Drehbewegungen dieser kann das Keimgut in den Weichfässern gewendet werden. Die Anzahl der Fassumdrehungen kann an der Steuereinheit des Keimkastens festgelegt

werden. Der Keimkasten kann mit maximal sechs Weichbehältern befüllt werden. Die beiden wichtigsten zu regelnden Parameter bei der Keimung sind der Wassergehalt und die Temperatur. Mit Hilfe eines Temperaturreglers kann die Temperatur im Keimkasten optimal gesteuert werden. Die Feuchtigkeit wird über eine eigene Steuereinheit eingestellt. Ein Ultraschallvernebler führt je nach Bedarf aus einem Wassertank Wasser zu. Eine weitere Zunahme des Wassergehalts des Keimgutes kann durch eine gesonderte Wasserzufuhr erreicht werden. Dieser Prozess wird über einen speziellen Zeitzyklus gesteuert.



Abb. 4 Keimkasten

7. Praktischer Teil

7.1. Versuch 1

Der Wassergehalt ist neben der Temperatur der wichtigste Parameter bei der Keimung. Nur wenn genügend Wasser vorhanden ist, kann aus einem Samen neues Leben entstehen. Aus diesem Grund ist im nachfolgenden Versuch die Wasseraufnahmefähigkeit der Sojabohne getestet worden.

7.1.2. Versuchsbeschreibung

Das verwendete Probenmaterial sind Sojabohnen in Saatgutqualität der Sorte Sultana (Verpackt: 02/2014; keine Beizung mit „Rhizobium japonicum“) der Firma Probstdorfer Saatzucht. Kleine Teilproben der Bohnen werden in Wäschesäcke gegeben. Die Wäschesäcke dienen hier zur Trennung der Sojaprogen. Die Weiche wurde zeitlich variiert, damit gezeigt werden kann, ab welchem Zeitpunkt den Sojasamen ausreichend Wasser für den Beginn des Keimungsvorgangs zur Verfügung steht. Des Weiteren soll

getestet werden, ob die Keimungsfähigkeit nach einem Maximum an Wasseraufnahme wieder abfällt. Oberstes Ziel war jedoch, das Optimum an Wasseraufnahme für eine zufriedenstellende Keimung aufzuzeigen. Der Keimungsprozess erfolgt für alle Proben bei möglichst gleichbleibenden Temperaturen im Keimkasten. Zur Überprüfung des Keimungsfortschrittes wird täglich die Anzahl der keimenden Bohnen durch Auszählung ermittelt. Der Wassergehalt wird durch Auswiegen des Keimgutes und anschließendem Vergleich mit dem Ausgangsgewicht bestimmt.

7.1.2. Geräte

Der Versuch wird an der in Kapitel sechs beschriebenen Keimungsanlage der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf durchgeführt. Für den Versuch werden die Weiche, Weichgefäße sowie der Keimkasten verwendet. Die Proben werden auf einer Waage des Typs „Kern DS 3K 0,01S“ eingewogen. Als Probenbehälter dienen handelsübliche Wäschesäcke. Zur Kennzeichnung der Proben werden farbige Haushaltsgummis verwendet. Die Gewichtsbestimmung im Zuge der Auswertung erfolgt auf der zuvor genannten Waage des Herstellers Kern.

7.1.3. Versuchsdurchführung

Die Weichdauer der Proben soll in einem Zeitfenster von einer halben Stunde bis acht Stunden halbstündlich variieren. Aus diesem Grund sind 16 Proben nötig. Für eine Probe werden 200g Sojabohnen in einen Probenbehälter eingewogen. Als Probebehälter sind Wäschesäcke ausgewählt worden, da diese einerseits wegen ihrer Netzstruktur stark wasserdurchlässig sind. Andererseits verhindert eine geringe Porenweite, dass das Keimgut austritt. Es werden je vier Proben auf ein Weichgefäß aufgeteilt. Durch die farbliche Kennzeichnung der Proben mit Hilfe verschiedenfarbiger Haushaltsgummis, können die Proben deutlich voneinander unterschieden werden. Als nächstes werden die vier Weichgefäße mit den 16 Proben in die bereits mit Wasser geflutete Weiche gegeben. Nach Ablauf einer halben Stunde Weichdauer wird eine Probe entnommen und in den auf 25 Grad Celsius temperierten Keimapparat gegeben. Nach einer weiteren halben Stunde wird erneut eine Probe in den Keimkasten überführt. Dieser Prozess wird solange wiederholt, bis sich alle 16 Proben nach insgesamt acht Stunden im Keimapparat befinden. Die Auswertung erfolgt am 1., 2., 3., 4. und 7. Keimungstag. Für diesen

Vorgang werden die Wäschesäcke aus dem Keimkasten entnommen. Zu Beginn wird die Probe gewogen (ohne Wäschesack), damit später die Gewichtszunahme und so der Wassergehalt bestimmt werden kann. Der Wassergehalt berechnet sich nach der einfachen Formel: „ $\frac{\text{ermitteltes Gewicht} - \text{Trockenmasse}}{\text{ermitteltes Gewicht}}$ “. Darauf folgt das Auszählen der keimenden Bohnen. Es werden dabei zufällig 100 Sojabohnen aus der Gesamtprobe ausgewählt und sodann nach keimend und nicht keimend sortiert, sowie ausgezählt. Anschließend wird die Teilmenge zurück zur Gesamtprobe gegeben. Abschließend wird die Probe in den Keimkasten zurückgelegt. Dieser Vorgang wird dreimal wiederholt.

7.1.4. Versuchsauswertung

Abbildung 5 zeigt die absolute Anzahl keimender Bohnen der einzelnen Weichzeiten an den jeweiligen Auswertungstagen. Darauf folgt Abbildung 6, welche die Wassergehalte der einzelnen Proben darstellt.

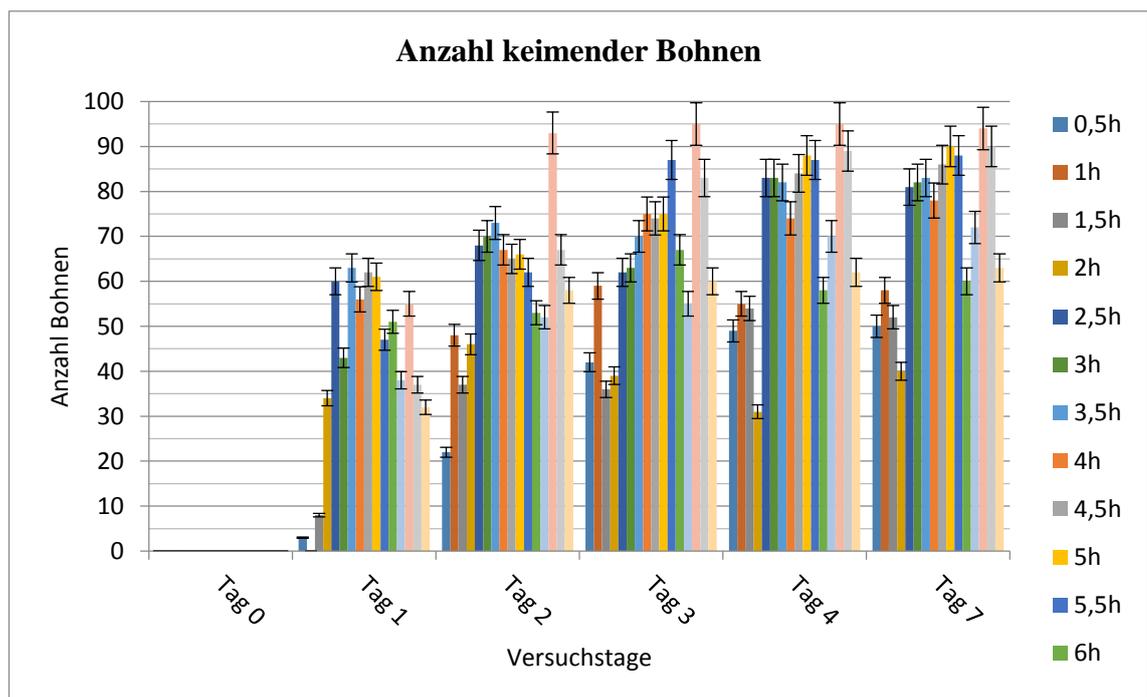


Abb. 5 Diagramm: Anzahl keimender Bohnen

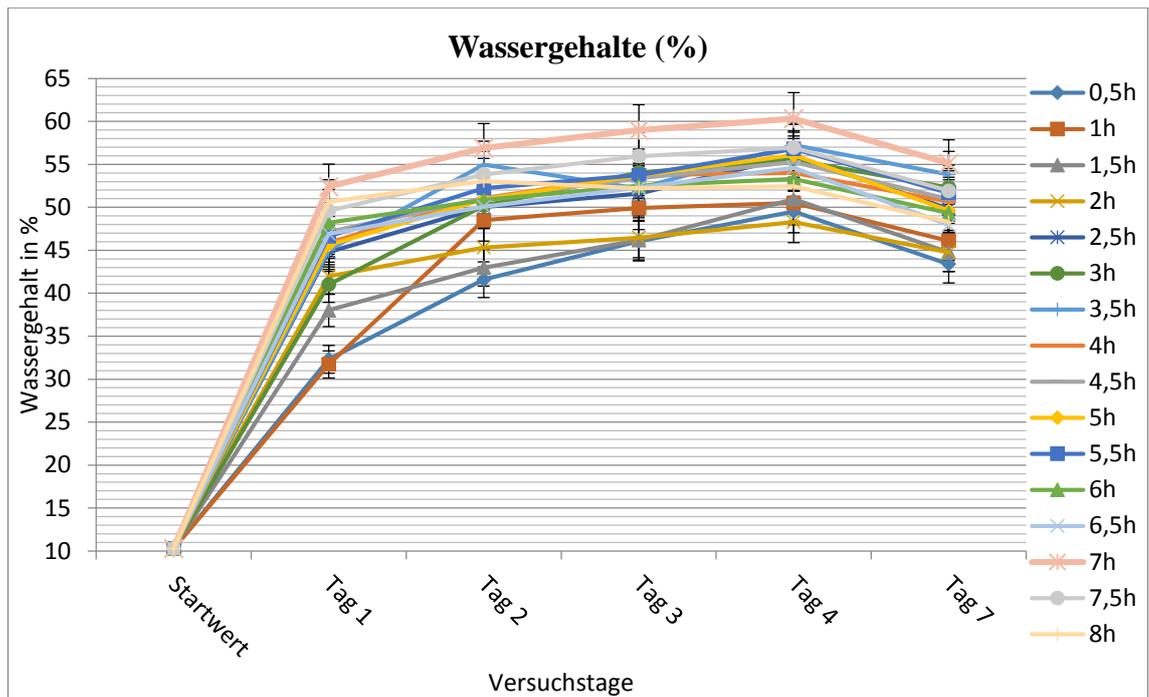


Abb. 6 Diagramm: Wassergehalte in %-Angabe von Versuch 1

Auf Grund sinkender Wassergehalte werden die Werte des vierten Tages zur Auswertung herangezogen. Bei einer Weichzeit im Bereich von 0,5 h bis 2 h konnte, wie in Abb. 5 (Seite 21, 0,5 h – 2 h, Tag 4) zu sehen ist, keine verbessernde Wirkung auf die Keimungsaktivität festgestellt werden. Die größte Anzahl keimender Bohnen stellte sich innerhalb dieser Probengruppe mit 55 Bohnen bei einer Weichzeit von einer Stunde ein. Die Wasseraufnahme war, ähnlich wie die Keimungsaktivität, gegenüber einer längeren Weichzeit geringer. Zwei Proben erreichten einen Wassergehalt von 50%, die anderen beiden Proben blieben knapp darunter (Abb. 6, Seite 22, 0,5 h – 2 h, Tag4). Es folgt die Auswertung der Proben mit einer Weichzeit zwischen 2,5 h und 4 h. Die Zahl der keimenden Bohnen reichte von 74 bei vier Stunden Weichzeit (Abb. 5, Seite 21) bis 83 bei drei und dreieinhalb Stunden Weichzeit (Abb. 5, Seite 21). Die Wassergehalte bewegen sich von 54% (Abb. 6, Seite 22, 4 h, Tag 4) bis 57,2% (Abb. 6, Seite 22, 3,5 h, Tag 4). Eine positive Entwicklung konnte ebenfalls bei einer Weichzeit von 4,5 h bis 6 h beobachtet werden. Es konnte bei 5 h mit maximal 88 keimenden Bohnen (Abb. 5, Seite 21) eine hohe Keimungsaktivität festgestellt werden. Dagegen lag der niedrigste Wert bei 58 Bohnen (Abb. 5, Seite 21, 6 h, Tag4). Die Wassergehalte in diesem Bereich verhielten sich auf ähnliche Weise. Mit 53,3% (Abb. 6, Seite 22, 6 h, Tag 4) ist bei sechs Stunden Weichzeit der niedrigste Wert, parallel zur Keimungsaktivität, gemessen worden. Die übrigen drei Werte weisen keine großen Differenzen auf, wobei der höchste Wert bei

56,8% (Abb. 6, Seite 22, 5,5 h, Tag 4) lag. Als letztes wird der Bereich mit einer Weichzeit von 6,5 h bis 8 h betrachtet. Hier lassen sich durchaus starke Unterschiede feststellen. Zum einen sind mit 95 (Abb. 5, Seite 21, 7 h, Tag 4) bzw. 89 (Abb. 5, Seite 21, 7,5 h, Tag 4) keimenden Bohnen, sowie mit Wassergehalten von 60,3% (Abb. 6, Seite 22, 7 h, Tag 4) bzw. 57% (Abb. 6, Seite 22, 7,5 h, Tag 4), die Werte leicht erhöht. Auf der anderen Seite sind die Werte mit 70 (Abb. 5, Seite 21, 6,5 h, Tag 4) bzw. 62 (Abb. 5, Seite 21, 8 h, Tag 4) keimenden Bohnen und Wassergehalten von 47,9% (Abb. 6, Seite 22, 6,5 h Weichzeit) bzw. 52,4% (Abb. 6, Seite 22, 8 h, Tag 4) verhältnismäßig niedrig.

7.1.5. Diskussion der Versuchsergebnisse

Gleich zu Beginn fallen die niedrigen Werte bei einer Weichzeit von weniger als zwei Stunden auf. Diese kurzen Weichzeiten bieten lediglich eine geringe Wasseraufnahme, wodurch sich ein schlechtes Quellverhalten der Bohnen ergibt. Folglich ist durch das verlangsamte Aufquellen des Probenmaterials das Keimlingswachstum empfindlich gestört. Weitaus besser wirken sich Weichzeiten von zweieinhalb bis vier Stunden aus. Wird die Dauer des Weichvorgangs auf zweieinhalb Stunden oder höher gesteigert, hat dies einen positiven Effekt auf das Quellverhalten der Sojabohnen. Diese Wirkung kann anhand der Wassergehalte deutlich belegt werden. Die Wassergehalte stiegen bei einer Weichzeit ab zweieinhalb Stunden bereits am zweiten Tag der Keimung über einen Wert von 50% an. Bei einer Weichzeit von weniger als zweieinhalb Stunden erreichte lediglich eine Probe bis zum Ende der Auswertung einen Wassergehalt von 50%. Der positive Effekt einer intensiveren Weiche zeigt sich ebenfalls im Bereich von viereinhalb Stunden bis sechs Stunden Weichzeit. Bis auf eine Ausnahme mit nur 60 keimenden Bohnen (Abb: 5, Seite 21, 4 h, Tag 4) ergaben sich in diesem Zeitintervall geschlossen sehr gute Werte. Im Gegensatz dazu ist die vorherige Behauptung, dass eine ausgedehnte Weiche verantwortlich für eine höhere Keimungsaktivität ist, bei einer Anhebung der Weichzeit auf über sechs Stunden kritisch zu betrachten. Bei einer Weichzeit von sieben bis acht Stunden, existieren sowohl zwei überdurchschnittlich gute Ergebnisse (sieben bis siebeneinhalb Stunden Weichzeit) als auch zwei mäßige Ergebnisse mit sechseinhalb und acht Stunden Weichzeit. Auf Grund der Tatsache, dass ein übermäßiges Weichen sich in der Regel negativ auf die Keimfähigkeit auswirkt, sollen die beiden Proben mit einer Weichzeit von sieben bzw. siebeneinhalb Stunden als Ausnahmen betrachtet werden. Auf Basis der gewonnen Erkenntnisse kann ebenfalls von einer extrem langen

Nassweichphase ohne Trockenrasten abgeraten werden, da hier die Sauerstoffversorgung des Keimgutes unterbrochen wird. Im Anschluss wurde ein weiterer Versuch in ähnlicher Weise durchgeführt, um die positiven Ergebnisse, die mit Weichzeiten zwischen zwei und sechs Stunden erreicht werden konnten, zu bestätigen.

7.2. Versuch 2

Mit diesem Versuch sollen die im ersten Versuch gewonnenen Ergebnisse bestätigt werden. Dazu wurde das Zeitfenster der Weichzeit verkleinert, dafür aber die Anzahl der Proben pro Zeitpunkt erhöht.

7.2.1. Versuchsbeschreibung

Das verwendete Probenmaterial sind Sojabohnen in Saatgutqualität der Sorte Sultana (Verpackt: 02/2014; keine Beizung mit „Rhizobium japonicum“) der Firma Probstdorfer Saatzucht. Erneut werden kleine Teilproben an Sojabohnen verwendet, die in Wäschesäcke gefüllt werden. Die Wäschesäcke bieten sich wiederum als optimale Probenbehälter an. Wichtigster Unterschied zu dem vorherigen Versuch ist das auf zwei bis sechs Stunden verkürzte Zeitfenster, sowie die Verwendung von jeweils drei Proben für eine Weichzeit. Mit dieser Methode soll das Optimum für die Wasseraufnahme einer Sojabohne statistisch gefestigt werden. Durch eine Erhöhung der Probenzahl pro Zeitfenster kann die Gefahr durch Abweichungen verringert werden. Die Auswertung erfolgt in gleicher Weise am 1., 2., 3., 4. und 7. Keimungstag. Von besonderer Bedeutung sind neben der Gewichtsveränderung des Keimgutes, auch die Anzahl der keimenden Bohnen. Mit diesen beiden Werten soll die Keimungsaktivität belegt werden.

7.2.2. Geräte

Der Versuch wird an der in Kapitel sechs beschriebenen Keimungsanlage der Hochschule Weihenstephan–Triesdorf durchgeführt. Für den Versuch werden die Weiche, Weichgefäße sowie der Keimkasten verwendet. Die Proben werden auf einer Waage des Typs „Kern DS 3K 0,01S“ eingewogen. Als Probenbehälter dienen handelsübliche Wäschesäcke. Zur Kennzeichnung der Proben werden farbige Haushaltsgummis

verwendet. Die Gewichtsbestimmung im Zuge der Auswertung erfolgt auf der zuvor genannten Waage des Herstellers Kern.

7.2.3. Versuchsdurchführung

Für den Versuch werden 27 Proben mit einer Menge von 100g abgewogen. Das Probenmaterial wird in Wäschesäcke gefüllt. Damit später keine Verwechslungen auftreten, werden die Proben mit farblichen Haushaltsgummis gekennzeichnet. Anschließend werden alle Wäschesäcke in die Weiche gegeben. Nach Ablauf von zwei Stunden werden dann im Halbstundentakt drei Wäschesäcke entnommen. Als letztes werden die Proben mit einer Weichzeit von sechs Stunden entnommen. Die Wäschesäcke werden in die Weichbehälter gegeben, welche sich bereits im vortemperierten Keimkasten befinden. Auf die Weiche folgt die Keimung der Sojabohnen. Diese wird, auf Grund einer Verbesserung der Stoffwechselaktivität, bei einer Temperatur von 25 Grad Celsius durchgeführt. Die Auswertung des Keimungsprozesses gestaltet sich analog zur Auswertung des ersten Versuches (Seite 20). Die Proben werden an den festgelegten Tagen aus dem Keimkasten entnommen, dabei werden die Gewichtszunahmen und die Anzahl der keimenden Bohnen bestimmt. Anstatt 100 Bohnen werden in diesem Versuch nur 50 Bohnen ausgezählt. Zum Schluss wird das gesamte Probenmaterial wieder zurück in den Keimkasten gegeben.

7.2.4. Versuchsauswertung

Die folgende Grafik stellt die absolute Anzahl keimender Bohnen an den einzelnen Auswertungstagen dar. Eine weitere Grafik, in der die Wassergehalte aufgezeigt werden, befindet sich am Ende des Kapitels. Auf Grund eines Gewichts- und damit Wasserverlustes des Probenmaterials am siebten Tag, wird Tag vier zur Auswertung herangezogen. Die angegebenen Werte bilden sich aus den Mittelwerten der Werte aller drei Proben eines Zeitpunktes.

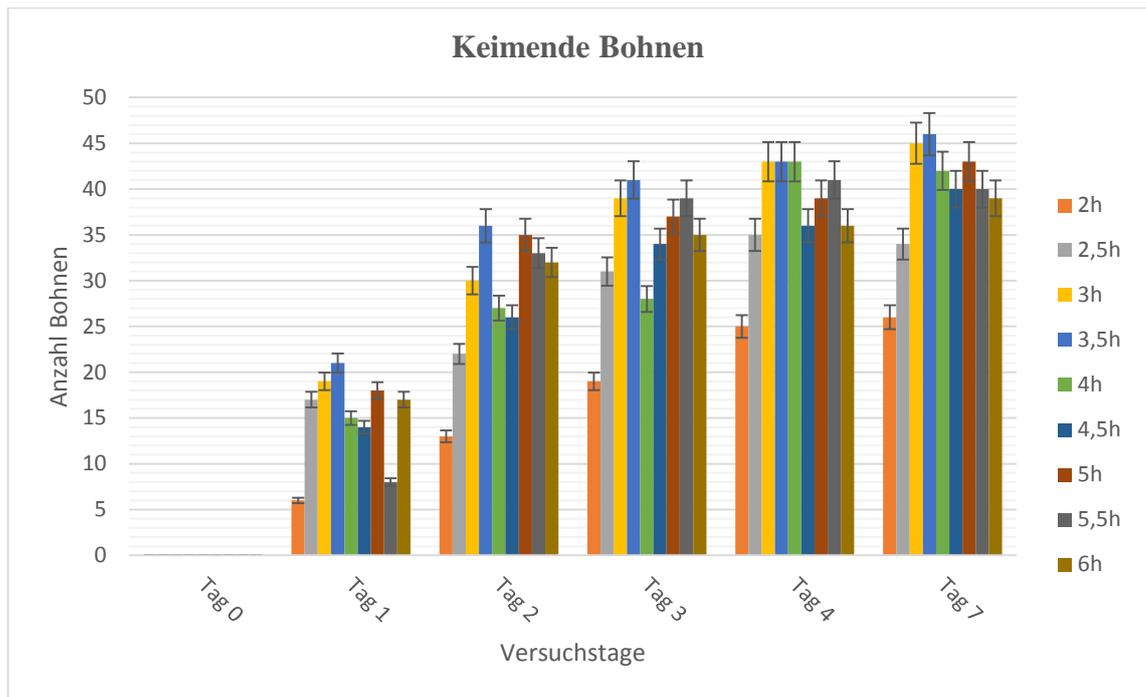


Abb. 7 Diagramm: Keimende Bohnen

Als Erstes fällt auf, dass bei Weichzeiten von zwei bis zweieinhalb Stunden die Anzahl der keimenden Bohnen mit 35 von 50 (Abb. 7, Seite 26, 2,5 h, Tag 4) bzw. 25 von 50 (Abb. 7, Seite 26, 2,5 h, Tag 4) unterdurchschnittlich war. Diese beiden Proben weisen auch mit 62% (Abb. 8, Seite 27, 2,5 h, Tag 4) und 59% (Abb. 8, Seite 27, 2 h, Tag 4) niedrige Wassergehalte auf. Zudem verschlechterten sich die Werte ebenfalls ab einer Weichzeit von viereinhalb Stunden. Jedoch ist die Verschlechterung der Werte nicht so deutlich wie bei den Proben mit einer kurzen Weichdauer. In diesem Zeitfenster lag die Anzahl der gekeimten Bohnen unter 40 von 50 (Abb. 7, Seite 26, 4,5 h – 6 h, Tag 4), aber über 35 von 50 (Abb. 7, Seite 26, 4,5 h – 6 h, Tag 4). Einzige Ausnahme bildete die fünfeinhalb-Stunden-Probe mit 41 (Abb. 7, Seite 26, 5,5 h, Tag 4) keimenden Bohnen. Das Maximum stellte sich dabei bei Weichzeiten zwischen drei und vier Stunden ein. Alle drei Proben erreichten eine Anzahl keimender Bohnen von 43 von 50 (Abb. 7, Seite 26, 3 h – 4 h, Tag 4). Den besten Wassergehalt konnte die Probe mit einer Weichdauer von 4 Stunden vorweisen, dieser lag bei 66,6% (Abb. 8, Seite 27, 4 h, Tag 4).

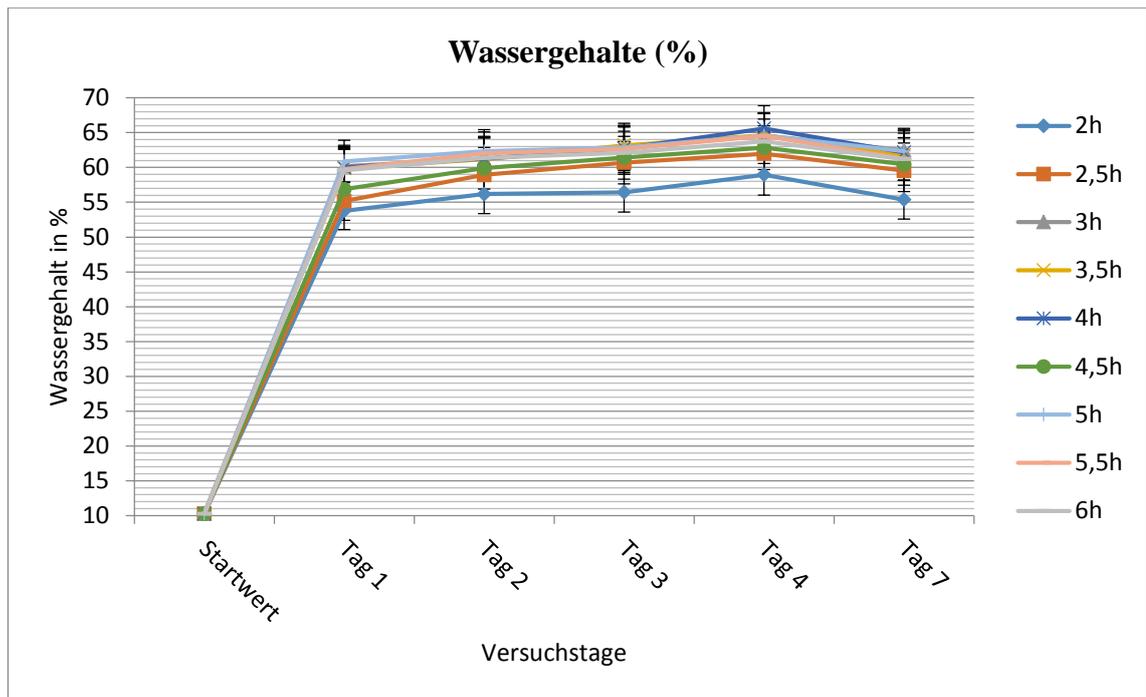


Abb. 8 Diagramm: Wassergehalte in %-Angaben von Versuch 2

7.2.5. Diskussion der Versuchsergebnisse

Aus den Ergebnissen resultiert eindeutig, dass Weichzeiten zwischen zwei und zweieinhalb Stunden nicht ausreichend für eine zufriedenstellende Keimung sind. Die Wasseraufnahme war, vor allem bei einer zweistündigen Weiche, sehr gering. Der Wassergehalt blieb im Gegensatz zu den restlichen Werten unterhalb von 60%. Von einer Weichdauer die länger als vier Stunden ist, sollte ebenfalls abgesehen werden. Hier stellten sich zwar keine äußerst schlechten Werte ein, trotzdem konnte aber kein Vorteil gegenüber einer Weichzeit im Bereich von drei bis vier Stunden nachgewiesen werden. Abschließend kann somit gesagt werden, dass eine Nassweiche mit einer Dauer von drei bis vier Stunden als Optimum angesehen werden kann. In diesem Bereich war die Wasseraufnahme mit Wassergehalten zwischen 64,59% und 66,61% (Abb. 8, Seite 27, 3 h – 4 h, Tag 4) sehr gut. Ein weiterer Beweis für diese Behauptung ist die Keimungsaktivität, die bei diesen Weichzeiten, bedingt durch die hohen Wassergehalte, ihr Maximum erreichte.

7.3. Versuch 3

Die Anwendung der optimalen Keimungsbedingungen ist ein erheblicher Faktor im Umgang mit dem Keimgut. Neben dem Wassergehalt spielen sowohl die

Sauerstoffverfügbarkeit als auch zu einem erheblichen Anteil die Temperatur eine wichtige Rolle.

7.3.1. Versuchsbeschreibung

Ziel des folgenden Versuches ist es, die Einwirkung der Temperatur auf die Keimung zu erörtern. Die Umgebungstemperatur hat einen beachtlichen Einfluss auf den Verlauf der Keimung. Ist die Temperatur sehr niedrig, läuft der Prozess der Keimung nur sehr langsam ab. Bei zu niedrigen Temperaturen kann die Keimung sogar ins Stocken geraten. Sind dagegen die Temperaturen zu hoch, kann dies eine schädigende Wirkung auf den Keimling selbst haben. Die für den Versuch ausgewählten Temperaturbereiche von vier Grad Celsius, zwölf Grad Celsius, bzw. 20 Grad Celsius, dienen der Darstellung verschiedener Temperatureinwirkungen. Eine Temperatur von 20 Grad Celsius wurde dabei bewusst als höchste Temperatur ausgewählt, da eine höhere Temperatur, mit den zur Verfügung stehenden Mitteln, privat nicht realisiert werden konnte. Zusätzlich soll ein möglicher Einfluss einer erhöhten Wasserzufuhr aufgezeigt werden. Dazu sind zwei Proben, die später bei gleicher Temperatur gekeimt wurden, auf unterschiedliche Weise geweicht worden. Das verwendete Probenmaterial sind Sojabohnen in Saatgutqualität der Sorte Sultana (Verpackt: 02/2014; keine Beizung mit „Rhizobium japonicum“) der Firma Probstdorfer Saatzucht.

7.3.2. Geräte

Für diesen Versuch werden handelsübliche Trinkgläser als Weichgefäße verwendet. Die Gläser haben ein Fassungsvermögen von circa 200 Milliliter. Somit ist ausreichend Volumen für 50 Sojabohnen und das Weichwasser vorhanden. Die Keimung erfolgte in Petrischalen, wie sie als Laborbedarf erhältlich sind. Die Petrischalen bieten genügend Platz für 50 aufgequollene Bohnen.

7.3.3. Versuchsdurchführung

Zu Beginn des Versuches werden vier Proben mit einer Menge von je 50 Bohnen vorbereitet. Die Proben werden nach zwei unterschiedlichen Weichschemata auf die Keimung vorbereitet. Das erste Schema beinhaltet eine dreistündige erste Nassweiche. Darauf folgt eine Trockenrast von fünf Stunden. Die Dauer der zweiten Nassweiche

beträgt vier Stunden. Die abschließende Trockenrast ist auf zwölf Stunden ausgedehnt worden. Dagegen wurden beim zweiten Weichschema die erste und zweite Nassweiche um zwei Stunden auf eine Gesamtdauer von fünf bzw. sechs Stunden erhöht. Damit sich das Weichschema über insgesamt 24 Stunden erstreckt, ist die letzte Trockenrast um vier Stunden auf acht Stunden verkürzt worden. Auf die Weiche folgt als zweiter Schritt die Keimung. Die Keimung wurde bei diesem Versuch vor allem auf den Einfluss durch die Temperatur ausgerichtet. Aus diesem Grund werden die Proben in drei verschiedenen Temperaturumgebungen gekeimt. Die niedrigste Temperatur lag dabei bei vier Grad Celsius. Diese niedrige Temperatur wurde zu Hause in einem handelsüblichen Kühlschrank realisiert. Die höchste Temperatur lag bei 20 Grad Celsius. 20 Grad Celsius entsprechen der Raumtemperatur, weshalb diese Proben in einem beheizten Raum gekeimt wurden. Dazwischen wurde eine Temperaturumgebung mit zwölf Grad Celsius gewählt. Eine Temperatur von zwölf Grad Celsius konnte wegen der klimatischen Bedingungen im Frühjahr im eigenen Keller vorgefunden werden. Die Temperaturbedingungen der Keimung wurden regelmäßig mit einem Thermometer überprüft. Für zwei der insgesamt vier Proben wurde die Keimungstemperatur auf 20 Grad Celsius festgelegt. Dabei wurde für eine Probe das erste Weichschema, für die andere das zweite Weichschema angewandt. Je eine Probe wurde bei zwölf Grad Celsius und vier Grad Celsius gekeimt, wobei hier die Weiche lediglich nach dem ersten Schema durchgeführt wurde. Die Proben werden dann in den folgenden fünf Tagen, am ersten, zweiten und fünften Tag nach Keimungsbeginn, auf die Anzahl der keimenden Bohnen, sowie auf die Keimlingslänge geprüft. Die Anzahl der keimenden Bohnen wurde durch einfaches Auszählen ermittelt. Als „keimend“ wurde ein sichtbares durchdringen der äußeren Haut der Sojabohne durch den Keimling gewertet. Bei der Keimlingslänge wurden die Keimlinge mit dem Lineal näherungsweise ausgemessen.

7.3.4. Versuchsauswertung

Zu Beginn erfolgt die Darstellung der Anzahl der gekeimten Bohnen. Zur Veranschaulichung der Ergebnisse dient die folgende Grafik.

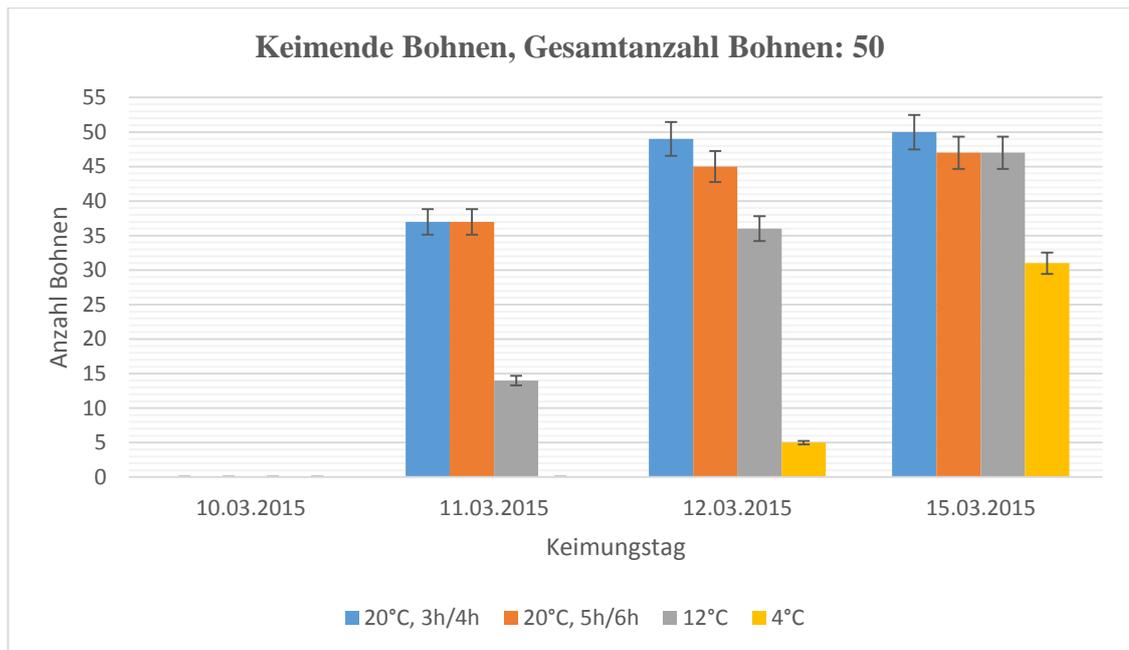


Abb. 9 Diagramm: Anzahl keimende Bohnen in Versuch 3

Anhand der Grafik kann man die absolute Zunahme keimender Bohnen der einzelnen Proben über den Auswertungszeitraum erkennen. Die Linien wurden über die charakteristische Temperatur den einzelnen Proben zugeordnet. Die Unterscheidung der beiden Proben mit unterschiedlichen Weichschemata erfolgte durch Anführen der spezifischen Dauer der Nassweichen. So bezeichnet „20°C, 3h/4h“ das erste Weichschema und „20°C, 5h/6h“ das zweite Weichschema.

Als Erstes fällt die Kurve der Probe auf, die im Kühlschrank bei 4 Grad Celsius gekeimt wurde (Abb. 9, Seite 30). Für den ersten Keimungstag konnte keine Veränderung der Anzahl gekeimter Bohnen festgestellt werden. Am zweiten Keimungstag konnten bereits fünf (Abb. 9, Seite 30, 4°C, 12.03.15) keimende Bohnen gezählt werden. Nach Ablauf des fünften Tages steigerte sich die Zahl der keimenden Bohnen, trotz der widrigen Bedingungen, auf 31 Bohnen (Abb. 9, Seite 30, 4°C, 15.03.15). Bei einer Temperatur von zwölf Grad Celsius stieg die Anzahl der keimenden vom ersten auf den zweiten Keimungstags um das zweieinhalb-fache, von 14 (Abb. 9, Seite 30, 12°C, 11.03.15) auf 36 (Abb. 9, Seite 30, 12°C, 12.03.15) an. Dagegen halbierte sich die Zunahme keimender Bohnen auf die anschließenden drei Keimungstage von 22 auf elf Bohnen, so dass am 15.03.2015 47 (Abb. 9, Seite 30, 12°C, 15.03.15) keimende Sojabohnen gezählt werden konnten. Zwischen den beiden Proben, die nach unterschiedlichen Weichschemata aber mit gleicher Temperatur von 20 Grad Celsius gekeimt wurden, konnte nur ein geringer Unterschied festgestellt werden. Am ersten Keimungstag waren beide Proben mit 37

(Abb. 9, Seite 30, 20°C,3h/4h bis 20°C,5h/6h, 11.03.15) Bohnen identisch. Dagegen war an Keimungstag zwei die Anzahl der keimenden Bohnen der Probe „20°C,3h/4h“ mit 49 (Abb. 9, Seite 30, 4°C, 12.03.15) um vier höher als die der Probe „20°C5h/6h“. Am letzten Tag der Auswertung keimten bei der Probe mit ersten Weichschema alle 50 (Abb. 9, Seite 30, 20°C,3h/4h, 15.03.15) Bohnen. Die Probe mit dem zweiten Weichschema erreichte eine Anzahl von 47 keimenden Bohnen (Abb. 9, Seite 30, 20°C,5h/6h, 15.03.15).

Auf Grund der bei vier Grad Celsius geringen Anzahl keimender Bohnen ist eine Beurteilung der Homogenität der Keimlingslänge erst am fünften Keimungstag sinnvoll. Von den 31 Keimlingen lagen alle in einem Bereich zwischen 0,5 cm und 2 cm. Zu Beginn der Keimung mit einer Temperatur von 12 Grad Celsius variierte die Länge der Keimlinge zwischen 0,5 cm und 2 cm. Die Keimlingslänge blieb für den zweiten Keimungstag identisch. Am fünften Keimungstag konnte die Länge der Keimlinge in drei Klassen unterteilt werden. Mit nur zwei Keimlingen ist die Klasse mit weniger als 0,5 cm am schwächsten vertreten. Leicht erhöht war die Anzahl der Keimlinge mit einer Länge zwischen 0,5 cm und 2 cm. Sie betrug sieben Keimlinge. Der größte Teil der Keimlinge konnte der Klasse von 2 cm bis 3 cm zugeordnet werden. Die Probe „20°C,3h/4h“ konnte ebenfalls an allen drei Tagen ausgewertet werden. Bereits am ersten Tag war eine Einteilung in drei Klassen möglich. Dabei waren vier Keimlinge mit einer Länge zwischen 0,5 cm und 2 cm vorhanden, andererseits gab es aber auch 9 Keimlinge die länger als 3 cm waren, jedoch kürzer als 4 cm. Die meisten Keimlinge hatten eine Länge zwischen 2 cm und 3 cm. Am zweiten Keimungstag entfielen die Klassen mit den Keimlingen die kürzer als 0,5 cm sind und mit den Keimlingen zwischen 0,5 und 2 cm. Dagegen konnten 8 Keimlinge der Klasse von 2 cm bis 3 cm zugeordnet werden. Der Hauptteil der Keimlinge hatte eine Länge zwischen 3 cm und 4 cm. Der letzte Keimungstag brachte noch einmal geringfügige Veränderungen mit sich. Genau ein Keimling befand sich in der Klasse zwischen 0,5 cm und 2 cm. Darüber siedelten sich in der Klasse von 2 cm bis 3 cm 13 Keimlinge an. Es folgt die Klasse zwischen 3 cm und 4 cm, in der sich 33 der 50 Keimlinge befanden. Diese Klasse war somit am Stärksten vertreten. Abschließend sind drei Keimlinge zu erwähnen, die eine Länge von über 4 cm erreichten. Als Letztes wird die Homogenität der Keimlinge der Gruppe „20°C,5h/6h“ dargestellt. In dieser Gruppe befanden sich am ersten Tag der Keimung in der Klasse von 0,5 bis 2 cm sechs Keimlinge. Darunter konnten keine Keimlinge gemessen werden. Am

Stärksten war, mit 26 Keimlingen, die Klasse von 2 cm bis 3 cm vertreten. Sechs Keimlinge konnten der Klasse von 3 cm bis 4 cm zugeordnet werden. Am zweiten Tag fielen sechs von 50 Keimlingen in die Klasse von 0,5 cm bis 2 cm. Die Klasse von 2 cm bis 3 cm erreichte eine Anzahl von zehn Keimlingen. Mit 29 Keimlingen bewegte sich der Großteil in der Klasse von 3 cm bis 4 cm. Am letzten Keimungstag ergab sich die folgende Klasseneinteilung. Sechs Keimlinge hatten eine Länge von 0,5 cm bis 2 cm. Die Klasse zwischen 2 cm und 3 cm mit fünf Keimlingen vertreten. Die häufigste Klasse war mit 30 Keimlinge, die der Keimlinge mit einer Länge von 3 cm bis 4 cm. Als Letztes folgt die Klasse mit einer Länge die größer als 4 cm ist. Auf diese Klasse entfielen sechs der 50 Keimlinge.



Abb. 10 20°C, 3h/4h, 15.03.2015



Abb. 11 12°C, 15.03.2015

7.3.5. Diskussion der Versuchsergebnisse

Die aus der Literatur bekannte Regel, dass niedrige Temperaturen den Keimungsfortschritt verzögern, konnte klar bestätigt werden. Bei einer Temperatur von vier Grad Celsius konnte erst am fünften Tag nach Beginn der Keimung eine relevante Keimungsaktivität beobachtet werden. Dabei war die Homogenität der Keimlingslänge zufriedenstellend. Mit einer Länge kürzer als 2 cm können Keimlinge jedoch als sehr kurz betrachtet werden. Besser gestaltete sich die Keimungsaktivität bei einer Temperatur von zwölf Grad Celsius. Die Anzahl der gekeimten Bohnen steigerte sich von 14 (Abb. 9, Seite 30, 12°C, 11.03.15) am ersten Tag der Auswertung bis zu 47 (Abb. 9, Seite 30, 12°C, 15.03.15) Bohnen am Ende der Auswertung. Das bedeutet, dass auch bei einer Temperatur von zwölf Grad Celsius fast hundert Prozent der Sojabohnen keimend waren. Die Homogenität bei dieser Probe kann als sehr gut bezeichnet werden. Wie die Abb. 11 (Seite 32) zeigt, war die Länge am letzten Keimungstag bei fast allen Keimlingen

zwischen 2 cm und 3 cm, nur wenige waren kürzer als 2 cm. Als kritisch kann, bei einer Keimung im niedrigen Temperaturbereich, ein erhöhter Zeitbedarf angesehen werden. So waren die Keimlinge insgesamt nicht so lang, wie die der Proben mit einer erhöhten Temperatur. Eine Verzögerung des Keimungsfortschrittes geht in der Regel mit einem verlangsamten Stoffwechsel der Sojabohne einher. Im Bereich der Keimungsaktivität war zwischen der Probe „20°C, 3h/4h“ und der Probe „20°C, 5h/6h“ nur ein geringer Unterschied festzustellen. Erstere Probe wies sogar eine leicht erhöhte Keimungsaktivität auf, obwohl die Wasserzufuhr geringer war. Damit konnte gezeigt werden, dass ab einem gewissen Punkt eine erhöhte Wasserzufuhr keine Vorteile mit sich bringt. Die Keimungsaktivität der beiden 20-Grad-Proben kann als sehr gut angesehen werden. Die Homogenität kann als mittelmäßig bezeichnet werden. Auf der einen Seite gab es sowohl bei der Probe mit „3h/4h“ Nassweichdauer, als auch bei der Probe mit „5h/6h“ Nassweiche, eine geringe Anzahl an Ausreißern (Keimlingslänge größer als 4 cm). Andererseits zeigte sich, dass sich bei beiden Proben, eine gewisse Anzahl der Keimlinge in einem kürzeren Wachstumsstadium befand. Die meisten Keimlinge wiesen eine Länge zwischen 3 cm und 4 cm auf. Abschließend kann gesagt werden, dass eine Keimung der Sojabohnen unter Anwendung zweier unterschiedlicher Temperaturbereiche stattfinden sollte. Optimal wäre es für den Anfang eine Temperatur um die zwölf Grad Celsius zu wählen, nach einigen Tagen jedoch die Temperatur auf über 20 Grad Celsius zu erhöhen. „Sojakeimlinge, die 72 Stunden bei nur 22°C gezogen wurden, zeigen dagegen eine leicht reduzierte Trypsin-Inhibitoraktivität im Vergleich mit ungekeimten Sojabohnen (Collins u. Sanders, 1976).“ (Bioaktive Substanzen in Lebensmitteln, Bernhard Watzl und Claus Leitzmann; Seite 40, rechte Spalte, 2.Absatz) Auf Basis der vorherigen Ergebnisse kann man davon ausgehen, dass diese Vorgehensweise neben einer guten Keimungsaktivität auch zu einer verbesserten Homogenität der Keimlingslänge führen wird.

7.4. Versuch 4

Der abschließende Versuch dieser Arbeit dient dazu die zuvor gewonnenen Erkenntnisse zu überprüfen.

7.4.1. Versuchsbeschreibung

Alle in den vorherigen Versuchen gewonnenen Erkenntnisse sind in den abschließenden Versuch eingeflossen. Das Weichschema basiert auf den beiden zuvor durchgeführten

Versuchen für eine optimale Wasseraufnahme. So soll in den beiden Nassweichphasen das Keimgut genügend Wasser aufnehmen können, dabei jedoch nicht „ersticken“. Die Temperatur wurde so gewählt, dass eine gleichmäßige aber auch schnelle Keimung gewährleistet wird. Die Keimungsfähigkeit der Bohnen wurde, wie in den Versuchen zuvor, durch Auszählen der gekeimten Bohnen ermittelt. Als Hauptmerkmal wurde der Verlauf des Trypsininhibitor-Gehalts der Sojabohnen durch das Labor des Lehrstuhls für Tierernährung bestimmt. Der Gehalt an Trypsininhibitoren wird, wie bereits in Kapitel 4.1 beschrieben, zur Beurteilung des Keimungserfolges herangezogen, weil dieser von großer Bedeutung für das geplante Einsatzgebiet des gewonnenen Sojamalzes ist. Das verwendete Probenmaterial sind Sojabohnen in Saatgutqualität der Sorte Aligator (Verpackt: 05/2014; Beizung mit „Rhizobium japonicum“) der Firma I.G. Pflanzenzucht.

7.4.2. Geräte

Der Versuch wird auf der in Kapitel sechs beschriebenen Keimungsanlage der Hochschule Weihenstephan–Triesdorf durchgeführt. Für den Versuch werden die Weiche, Weichgefäße sowie der Keimkasten verwendet. Die Proben werden auf einer Waage des Typs „Kern DS 100 K0.5“ eingewogen. Zusätzlich kommen Wäschesäcke zum Einsatz, wie sie bereits in den vorherigen Versuchen verwendet wurden. Die für die Analytik vorgesehenen Proben werden auf einer Waage des Typs „Kern DS 3K 0,01S“ abgewogen. Für den Gefriervorgang wird eine handelsübliche Gefriertruhe verwendet.

7.4.3. Versuchsdurchführung

Für diesen Versuch wird eine Gesamtprobenmenge von 29.400 Gramm Sojabohnen benötigt. Die Sojabohnen werden auf die sechs vorhandenen Weichgefäße verteilt, woraus sich 4.800 Gramm Einwaage pro Fass ergeben. Von der Füllmenge wird umgehend dreimal eine 200g Probe entnommen, um das Ausgangsmaterial charakterisieren zu können. Zusätzlich werden ebenfalls drei Proben mit einer Menge von 200 Gramm in die, aus dem ersten Versuch bekannten, Wäschesäcke gegeben. Diese drei Proben werden bereits nach der Weiche entnommen, und stellen somit den Zustand vor Beginn der Keimung dar. Bei der Einwaage ist darauf zu achten, dass das Ausgangsmaterial gut durchmischt ist. Zu diesem Zweck wird ein gesamter Sack Sojabohnensaatgut in eine Wanne gefüllt. Bei jeder Entnahme von Probenmaterial

werden die Bohnen mit einer Schaufel gut durchmischt. Auf das Einwiegen der Proben folgt das Weichen. Das Weichschema wird auf Basis der zuvor gewonnenen Erkenntnisse gewählt. Die erste Nassweiche hat eine Dauer von drei Stunden, die zweite Nassweiche wird auf vier Stunden ausgedehnt. Auf die erste Nassweiche folgt eine Trockenrast von fünf Stunden. Zum Schluss des Weichprozesses wird eine zwölfstündige Trockenphase durchgeführt. Nach Ablauf der letzten Trockenrast, beginnt die Keimung. Vor der Befüllung des Keimkastens wird das gesamte Probenmaterial nochmals für 15min in ein Wasserbad getaucht. Als Nächstes werden die sechs Weichgefäße mit dem Keimgut in die Keimkammer des Keimkastens gegeben. Für die ersten beiden Tage wird mit einer Temperatur von 12 Grad Celsius gekeimt. Der Fassroller wird auf eine Geschwindigkeit von 20 Umdrehungen pro Stunde eingestellt. Am dritten Keimungstag wird die Temperatur auf 25 Grad Celsius angehoben. Die Temperatur von 25 Grad Celsius wird bis zum Ende des Versuches, nach insgesamt zehn Tagen, beibehalten. Die Einstellung des Fassrollers wird während der gesamten Versuchslaufzeit nicht verändert. An den Keimtagen zwei, drei, vier, fünf, sieben und neun werden Proben für die Analytik entnommen. Von allen sechs Weichbehältern werden je drei Proben mit einer Menge von 200 Gramm gezogen. Somit stehen eine A-, B- sowie Rückstellprobe zur Verfügung. Die Proben werden in entsprechend beschriftete, gefriertaugliche Plastikschaalen gegeben und anschließend in einer Gefriertruhe bei -22 Grad Celsius tiefgefroren. Die auf diese Weise gewonnenen Proben werden zur Analyse an den Lehrstuhl für Tierernährung der Technischen Universität München (Standort Weihenstephan) übergeben. Zusätzlich wird an den genannten Keimtagen stichprobenartig die Anzahl der bereits keimenden Bohnen bestimmt. Aus diesem Grund sind aus allen Fässern homogen durchmischte Proben entnommen worden. Aus diesen Proben werden zufällig 50 Bohnen ausgewählt und die gekeimten Bohnen ausgezählt. Dieser Vorgang wird für ein Fass dreimal wiederholt, dabei wird die entnommene Menge nach Beenden des Auszählens wieder in das Fass zurückgegeben.

7.4.4. Versuchsauswertung

Es zeigte sich, dass die Keimungsaktivität im Gegensatz zu den zuvor durchgeführten Kleinversuchen, rückläufig war. Im Schnitt keimten am letzten Versuchstag 70% bis 80% der Bohnen einer Charge bzw. eines Fasses. Es konnten zusätzlich starke Unterschiede zwischen den einzelnen Chargen festgestellt werden. Während bei Fass Nummer 462 im

Mittel lediglich 34 von 50 Bohnen keimten, waren es beim Fass Nummer 464 41 von 50 Bohnen. Die Homogenität kann insgesamt als mittelmäßig beschrieben werden. Bei der stichprobenartigen Auswertung waren am zehnten Versuchstag u.a. Keimlinge mit einer Länge von weniger als einem Zentimeter vorhanden. Viele Keimlinge waren jedoch drei bis vier Zentimeter lang.

Die nachfolgende Grafik (Abb. 12, Seite 36) zeigt den Verlauf des Trypsin-Inhibitor-Gehaltes über den gesamten Versuchszeitraum. Die einzelnen Werte bilden die Mittelwerte von allen sechs „Probenchargen“ an den jeweiligen Tagen des Versuches. Die Buchstaben über den Datenpunkten zeigen die Signifikanz an. So sind Mittelwerte mit gleichen Buchstaben nicht signifikant unterschiedlich. Bei unterschiedlichen Buchstaben liegt hingegen ein signifikanter Unterschied vor. Dies bedeutet, dass alle Werte, die mit dem Buchstaben „c“ versehen sind, sich nicht signifikant voneinander unterscheiden. Dagegen gibt es jedoch einen signifikanten Unterschied zu den Werten mit den Buchstaben „a“ und „b“.

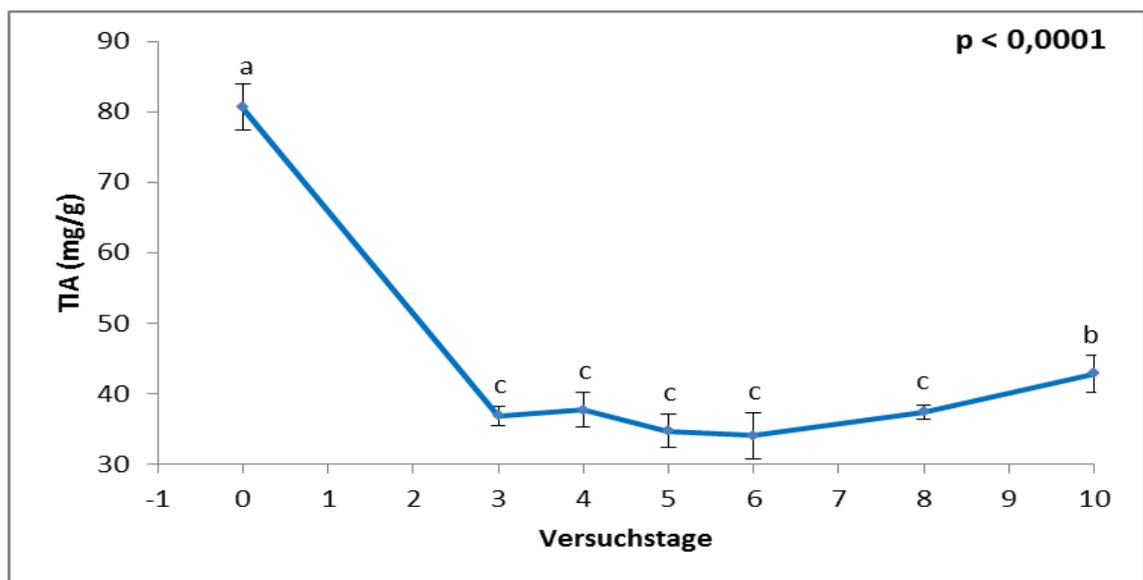


Abb. 12 Trypsin-Inhibitor- Gehalt in Versuch 4

Quelle: Mayr und Brugger 2015

Bei Betrachtung der Grafik fällt auf, dass der Gehalt des Trypsin-Inhibitors von 80,6 mg/g im Rohmaterial (Abb. 12, Seite 36, Versuchstag 0) auf 36,8 mg/g (Abb. 12, Seite 36, Versuchstag 3) gesunken ist. Somit konnte die Menge des Inhibitors innerhalb von drei Tagen mehr als halbiert werden. Für die folgenden drei Tage hält sich der Trypsin-Inhibitor auf einem ähnlichen Niveau. Nach einem geringen Anstieg auf 37,7 mg/g (Abb.

12, Seite 36, Versuchstag 4) am vierten Versuchstag, fällt der Gehalt des Trypsin-Inhibitors am sechsten Versuchstag auf einen Tiefstwert von 34,0 mg/g. Danach steigt die Menge des Inhibitors erneut leicht an. So beträgt der Gehalt am achten Versuchstag bereits wieder 37,4 mg/g (Abb. 12, Seite 36, Versuchstag 8). Am Ende des Versuches erreicht der Trypsin-Inhibitor einen Gehalt von 42,9 mg/g (Abb. 12, Seite 36, Versuchstag 10).

7.4.5. Diskussion der Versuchsergebnisse

Die Keimungsaktivität blieb mit 70% bis 80% (Versuchstag zehn) an keimenden Bohnen unter den Erwartungen. In den zuvor durchgeführten Versuchen konnte eine Keimungsaktivität von 86% im zweiten Versuch bis 100 % im dritten Versuch erreicht werden. Ein Grund für diesen Rückgang kann in der Chargengröße liegen. Gegenüber den vorherigen Versuchen sind bei diesem Versuch die Chargengrößen deutlich erhöht worden. Dies kann zu einer schlechteren Durchmischung innerhalb der Charge geführt haben. Aus diesem Grund unterliegt ein Teil der Bohnen günstigeren Bedingungen, wohingegen der andere Teil der Bohnen schlechtere Verhältnisse für die Keimung vorfindet. Diese Behauptung kann zusätzlich an der Länge der Keimlinge belegt werden. Einige Keimlinge waren kürzer als ein Zentimeter. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass unter diesen Bedingungen einige Sojabohnen kein zufriedenstellendes Wachstum erreichten.

Insgesamt betrachtet, kann in diesem Versuch eine Verringerung des Trypsin-Inhibitor-Gehaltes beobachtet werden. Die Konzentration des Inhibitors im Rohmaterial wird während des Verlaufes der Keimung bis zum Ende nahezu halbiert. Ungeklärt ist bis jetzt jedoch der Anstieg der Menge des Trypsin-Inhibitors an den letzten beiden Auswertungstagen des Versuches.

Abschließend betrachtet kann diesem Versuch jedoch lediglich ein mäßiger Erfolg zu Grunde gelegt werden. Obwohl der Abbau des Trypsin-Inhibitors im Verlauf der Keimung zufriedenstellend war, blieben dagegen die Keimungsaktivität und die Homogenität der Keimlinge hinter den Erwartungen zurück.

8. Abschließende Diskussion

Die Ergebnisse der ersten beiden Versuche dienen vor allem dazu, ein optimales Weichschema für Sojabohnen zu erstellen. Von großer Bedeutung hierfür ist es, die Dauer der Nassweiche eingrenzen zu können. Im ersten Versuch konnten bereits wegen der schlechten Keimungsaktivität Weichzeiten geringer als zwei Stunden bzw. höher als sechs Stunden ausgeschlossen werden. Daraus ergibt sich ein Zeitfenster von zwei bis sechs Stunden. Im Rahmen des zweiten Versuches konnte die Dauer einer Nassweiche auf drei bis vier Stunden eingegrenzt werden. Hier wurde eine zufriedenstellende Keimungsaktivität festgestellt.

Der dritte Versuch beschäftigte sich mit den Temperaturbedingungen während des Keimungsprozesses. Bei einer Keimung der Sojabohnen mit unterschiedlichen Temperaturen ist zu erkennen, dass dabei eine bessere Homogenität des Keimlingswachstums vorliegt. Zu Beginn der Keimung empfiehlt es sich eine niedrige Temperatur von circa 12 Grad Celsius zu verwenden. Nach zwei bis drei Tagen sollte die Keimungstemperatur allerdings wieder auf einen Wert höher als 22 Grad Celsius angehoben werden, damit die Stoffwechselprozesse der Sojabohne nicht gestört werden.

Aus diesen drei Versuchen geht folgendes mögliches Mälzungsschema hervor.

Bei der Weiche muss die erste Nassweiche eine Länge von drei Stunden besitzen. Die zweite Nassweiche sollte eine Dauer von vier Stunden aufweisen. Die dazwischen durchgeführten Luftrasten müssen ausreichend sein, damit das Keimgut die Möglichkeit hat, Wasser aufzunehmen. Bei den hier beschriebenen Versuchen drei und vier wurde stets darauf geachtet, dass das Weichschema eine Gesamtdauer von 24 Stunden nicht überschreitet. Hierbei war die erste Luftrast mit fünf Stunden deutlich kürzer als die zweite mit zwölf Stunden.

In den ersten beiden Tagen der Keimung kann die Temperatur auf zwölf Grad Celsius erniedrigt werden, damit die Sojabohnen homogener ankeimen. Danach sollte die Temperatur auf circa 25 Grad Celsius erhöht werden. Dies lässt die Keimung schneller voranschreiten und erhöht die Stoffwechselaktivität der Sojabohne. Zusätzlich muss auf eine gute Durchmischung des Keimgutes geachtet werden. Um das Austrocknen des Keimgutes zu verhindern, muss eine durchgehende Wasserversorgung garantiert werden. Des Weiteren ist eine ausreichende Versorgung der Keimlinge mit Sauerstoff sicherzustellen.

Der letzte Versuch diente der Überprüfung des ermittelten Mälzungsverfahrens. Die Ergebnisse waren jedoch schlechter als erwartet. Einzig der Abbau des Trypsin-Inhibitors konnte belegt werden. Das zuvor dargestellte Mälzungsverfahren konnte nicht eindeutig bestätigt werden. Andere Einflüsse auf die Keimung, wie die Chargengröße und die Durchmischung des Keimgutes, sollten deswegen zusätzlich überprüft werden. Genauso sollte der Einfluss einer Beimpfung der Sojabohnen mit den Bakterien des Stammes „Rhizobium japonicum“ auf die Keimung erforscht werden. Ebenfalls sollte ein Anheben der Gesamtdauer der Weichphase auf 48 Stunden getestet werden.

Trotz der Ergebnisse aus Versuch vier, sind die über das Vermälzen von Sojabohnen gewonnen Erkenntnisse grundlegend. Auch das Mälzungsverfahren, welches hier dargestellt wird, kann durch einige wenige Verbesserungen als Standardverfahren angewandt werden.

9. Literaturverzeichnis

- „Technologie Brauer und Mälzer“; Kunze, Wolfgang; 10. Überarbeitete deutsche Auflage, 2011; Verlag der VLB Berlin
- „Die Bierbrauerei, Band 1: Die Technologie der Malzbereitung“; Narziss, Ludwig und Back, Werner; 8. Überarbeitete und ergänzte Auflage, 2009; WILEY-VCH Verlag, Weinheim
- „Urania Pflanzenreich: Blütenpflanzen 1“; Enzyklopädie in vier Bänden; 1. Auflage, 1993; Urania-Verlag Leipzig, Jena, Berlin
- „Soybeans – Chemistry, Technology, and Utilization“; Liu KeShun; 1. Auflage, 1997, Chapman and Hall, New York
- „Fachforum Leguminosen“; Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz, verschiedene Autoren; Stand: 07/2012; Herausgeber: Deutsche Agrarforschungsallianz (DAFA), Braunschweig
- „Leguminosen im konventionellen und ökologischen Landbau“; Kahnt Günter; 1. Auflage, 2008; DLG-Verlag, Frankfurt am Main
- „Sojaanbau in der EU - Lohnender Anbau ohne GVO“; Hahn Volker (Dr.) und Miedaner Thomas (Prof. Dr.); 1. Auflage, 2013; DLG-Verlag, Frankfurt am Main
- „Pflanzenaussaat mit Erfolg – Alles über Samen, Keimung, Wachstum“; Stein Siegfried; 1. Auflage, 1987; BLV Verlagsgesellschaft, München u. a.7
- „Botanik – Die umfassende Biologie der Pflanzen“; Lüttge Ulrich, Kluge Manfred und Thiel Gerhard; 1. Auflage 2010; WILEY-VCH Verlag, Weinheim
- „Biochemie“; Horton H. Robert, Moran A. Laurence, Scrimgeour K. Gray, Perry Marc D., Rawn J. David; 4. Aktualisierte Auflage, 2008; Pearson Studium, München
- „Biochemie“; Berg Jeremy M., Tymoczko John L., Stryer Lubert; 7. Auflage, 2013; Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- „Biologie“; Campbell Neil A.; 1. Deutsche Auflage, 1997; Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
- „Pflanzenphysiologie“; Schopfer Peter und Brennicke Axel; 7. Auflage, 2010; Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
- „Physiologie der Tiere“; Schmidt-Nielsen Knut; 1. Auflage, 1999; Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg

- „Vergleichende Tierphysiologie“; Heldmaier Gerhard, Neuweiler Gerhard und Rössler Wolfgang; 2. Auflage, 2013; Springer Spektrum, Berlin
- „Lehrbuch der Tierphysiologie“; Penzlin Heinz, Beinbrech Gernot; 7. Auflage, 2005; Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
- „Bioaktive Substanzen in Lebensmitteln“; Watzl Bernhard und Leitzmann Claus; 3. Auflage, 2005; Hippokrates Verlag, Stuttgart
- „Weltwirtschaftspflanzen – Herkunft, Anbauverhältnisse, Biologie und Verwendung der wichtigsten landwirtschaftlichen Nutzpflanzen“; Schütt Peter (Dr. rer. nat.); Auflage unbekannt, Jahr: 1972; Verlag Paul Parey, Berlin
- „Landwirtschaftlicher Pflanzenbau“; verschiedene Autoren; 13. Auflage 2014; BLV-Verlag, München
- „Handbuch des speziellen Gemüsebaues“; Vogel Georg; Auflage unbekannt, Jahr: 1996; Ulmer Verlag, Stuttgart
- Mayr Karin, Brugger Daniel (2015). Ergebnisse der TIA und Rohproteinanalytik des Lehrstuhls für Tierernährung der Technischen Universität München, persönliche Mitteilung

10. Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen meiner Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, habe ich in jedem Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht. Die vorliegende Arbeit hat in dieser oder einer ähnlichen Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

(Ort, Datum)

(Unterschrift)