

Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Studiengang Lebensmitteltechnologie

WS 2015/2016

Bachelorarbeit

Entwicklung eines tofuähnlichen Produktes auf der Basis von Lupinen

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2015-0811-3

Verfasser: Tobias Wilhelm

Betreuer: Prof. Dr. Peter Meurer
Prof. Dr. Marco Ebert

Ort: Neubrandenburg

Datum: 4.3.2016

Abstract

The present paper is about the development of a lupin based tofu like product. As analytical methods were used texture analysis and color measurement. Moreover the fresh tofu yield, the dry weight of the products and the amount of whey were documented. Sensory acceptance was tested by a consumer test.

At first the typical manufacturing process of soy tofu was tried with lupin seed. The test demonstrated that the grinding temperature and the PH value have to be changed to get comparable results. In further experiments the lupin-soy ratio was changed to find out an optimum balance between soymilk and lupinmilk. The results have shown that the best feasible lupin-soy ratio is 70:30 because of the texture of the product. The tofu yield and the firmness decreased with an increasing lupin content. The yellow color increased with an increasing lupin content. Other investigations were used to check the influence of coagulation temperature, coagulant concentration, water:bean ratio and stirring time on texture, color, tofu yield, dry weight and the amount of whey. Results have shown that coagulation temperature, water:bean ratio and stirring time have a big influence on firmness and tofu yield. Coagulant concentration influences the checked parameters only marginally. The color of the product also was not relevantly influenced either by varying the mentioned parameters. The consumers test figured out a lower acceptance for lupin tofu than for soy tofu but both of the products cannot be classified as a popular product. Probably it results in the raw presentation.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	5
2	Stand von Wissenschaft und Technik.....	7
2.1	Die klassische Tofuherstellung aus Sojabohnen.....	7
2.2	Die Sojabohne	10
2.2.1	Proteine der Sojabohne.....	11
2.3	Die Lupine.....	13
2.3.1	Proteine der Lupine	14
2.4	Die Gelbildner.....	15
2.4.1	Nigari	15
2.4.2	Calciumsulfat	15
2.5	Tofuherstellung auf Lupinenbasis	16
3	Material und Methoden.....	18
3.1	Geräte und Rohstoffe.....	18
3.2	Versuchsdurchführung.....	19
3.2.1	Vorversuche.....	20
3.2.2	Hauptversuche	23
3.3	Analytische Methoden	24
3.3.1	Texturanalyse	24
3.3.2	Bestimmung des Rohproteingehaltes	25
3.3.3	Bestimmung der Trockenmasse	25
3.3.4	Beliebtheitsprüfung.....	25
3.3.5	Farbmessung	26
4	Ergebnisse und Diskussion	27
4.1	Vorversuche.....	27
4.1.1	Texturmessung	28
4.1.2	Farbmessung	30
4.1.3	Trockensubstanz.....	30

4.2	Hauptversuche	31
4.2.1	Texturmessung	31
4.2.2	Farbmessung	34
4.2.3	Trockensubstanz.....	35
4.2.4	Massebilanz	37
4.2.5	Sensorik	39
4.3	Abschlussdiskussion	41
5	Zusammenfassung.....	49
6	Literaturverzeichnis.....	51
7	Tabellenverzeichnis	53
8	Abbildungsverzeichnis.....	55
9	Eigenständigkeitserklärung	56
10	Anhang	57
10.1	Analytische Methoden	57
10.1.1	Bestimmung des Rohproteingehaltes	57
10.1.2	Bestimmung der Trockenmasse mit der Folienmethode.....	58
10.1.3	Sensorik	60
10.2	Vorversuche.....	61
10.2.1	Texturmessungen	61
10.2.2	Farbmessungen	61
10.2.3	Trockensubstanzbestimmung	62
10.3	Hauptversuche	62
10.3.1	Texturmessungen	62
10.3.2	Farbmessungen	63
10.3.3	Trockensubstanzbestimmung	64

1 Einleitung

Die Herstellung von Tofu blickt auf eine mehr als 1000 jährige Geschichte zurück und hat ihren Ursprung in China. Der Herstellungsprozess ist dem von Käse sehr ähnlich, jedoch ist Tofu rein pflanzlich und aus diesem Grunde vor allem bei Vegetariern und Veganern sehr beliebt. Seine Grundlage bildet die Sojabohne, sie ist mit einem Marktanteil von über 55% die bedeutendste Ölsaat weltweit. Im Jahre 2012 belief sich die Welternte auf rund 253 Mio. Tonnen (FHO). Europa macht, aufgrund von klimatischen Bedingungen, allerdings nur ca. 2% dieser Menge aus (Stand 2012). Der überwiegende Teil der Sojaernte wird zu Sojaöl bzw. Sojamehl verarbeitet und findet Einsatz in der Lebensmittelindustrie oder als Futtermittel (Sojamehl). Ein vergleichsweise geringer Teil der Sojaernte geht in Form von ganzen Bohnen in die Produktion von Lebensmitteln wie z.B. Tofu oder Sojamilch ein. Der heutzutage überwiegende Einsatz von genverändertem Soja soll die Pflanzen vor allem resistent gegenüber Pflanzenschutzmitteln machen, wird aber immer wieder heftig diskutiert. Auch die Nachhaltigkeit wird häufig kritisiert, da mit dem Sojaanbau eine massive Schädigung der Umwelt (z.B. Abholzung des Regenwaldes) einhergeht.

Dennoch stellen aus Soja hergestellte Lebensmittel vor allem wegen ihrem hohen Eiweißgehalt eine Alternative zu tierischen Produkten dar. In Deutschland leben momentan laut Deutschem Vegetarierbund (VEBU, 2015) rund 7,8 Millionen Vegetarier und 900.000 Veganer, mit steigender Tendenz (www.vebu.de). Das macht einen Anteil von rund 10 bzw. 1% der gesamten deutschen Bevölkerung aus. Aufgrund der oben genannten Kritik am Sojaanbau und der gleichzeitig zunehmenden Nachfrage an Fleischersatzprodukten, nicht nur im deutschen Raum, liegt die Suche nach Alternativen nahe. Bei der Herstellung von Tofu bieten sich z.B. Lupinen als Sojaersatz an, da die Eigenschaften der Lupinenproteine denen der Sojabohne ähneln, was für die Herstellung von entscheidender Bedeutung ist. Lupinen sind Hülsenfrüchte und gehören zur Familie der Schmetterlingsblütler. Sie können relativ problemlos auf heimischen Sandböden angebaut werden, weshalb für den europäischen Raum ein logistischer Vorteil gegenüber importierten Sojabohnen besteht. Darüber hinaus sind Lupinen derzeit frei von Gentechnik. Der geringere Fett- und Kohlenhydratgehalt im Vergleich zu Sojabohnen bietet außerdem die Möglichkeit zur Herstellung von kalorienärmeren Tofuerzeugnissen und ist vor allem für ernährungsbewusste Verbraucher von Interesse.

Ziel dieser Arbeit ist es auf der Grundlage von aktuellen Erkenntnissen ein tofuähnliches Produkt auf der Basis von Lupinensamen im Labormaßstab zu entwickeln. Es soll zunächst überprüft werden, inwieweit sich das klassische Tofuverfahren auf Lupinensamen anwenden lässt. Erforderliche Abweichungen sollen dokumentiert und in die Versuchsdurchführung aufgenommen werden. Im Rahmen der durchgeführten Versuche wird der Anteil an Lupinensamen variiert um zu ermitteln, inwieweit sich die Sojabohne durch Lupinensamen ersetzen lässt. Weiterhin werden die Konzentrationen an Gerinnungsmittel und die Koagulationstemperaturen variiert. Auch die Auswirkung verschiedener Bohnen-Wasserverhältnisse auf den Lupinentofu wird untersucht. Als analytische Methoden werden die Texturmessung, Bestimmung der Trockensubstanz, Farbmessung und die Bestimmung des Rohproteingehaltes herangezogen. Eine sensorische Beurteilung des Endproduktes erfolgt anhand einer Beliebtheitsprüfung.

2 Stand von Wissenschaft und Technik

2.1 Die klassische Tofuherstellung aus Sojabohnen

Die Herstellung von Tofu erfordert prinzipiell 3 Grundoperationen. Zunächst muss aus den Sojabohnen ein Slurry hergestellt werden, aus dem anschließend die sogenannte Milch separiert wird. Die darin enthaltenen Proteine werden denaturiert und der entstandene Quark von der Molke getrennt. Abschließend erfolgt das Pressen zur Formgebung des Tofus und zum Entfernen von überschüssigem Wasser (Molke). Die Produktion von Tofu erfolgt auch in modernen Unternehmen auf der Grundlage von traditionellen Technologien (Shurtleff, 2000). Der allgemeine Herstellungsprozess ist in Abbildung 1 dargestellt.

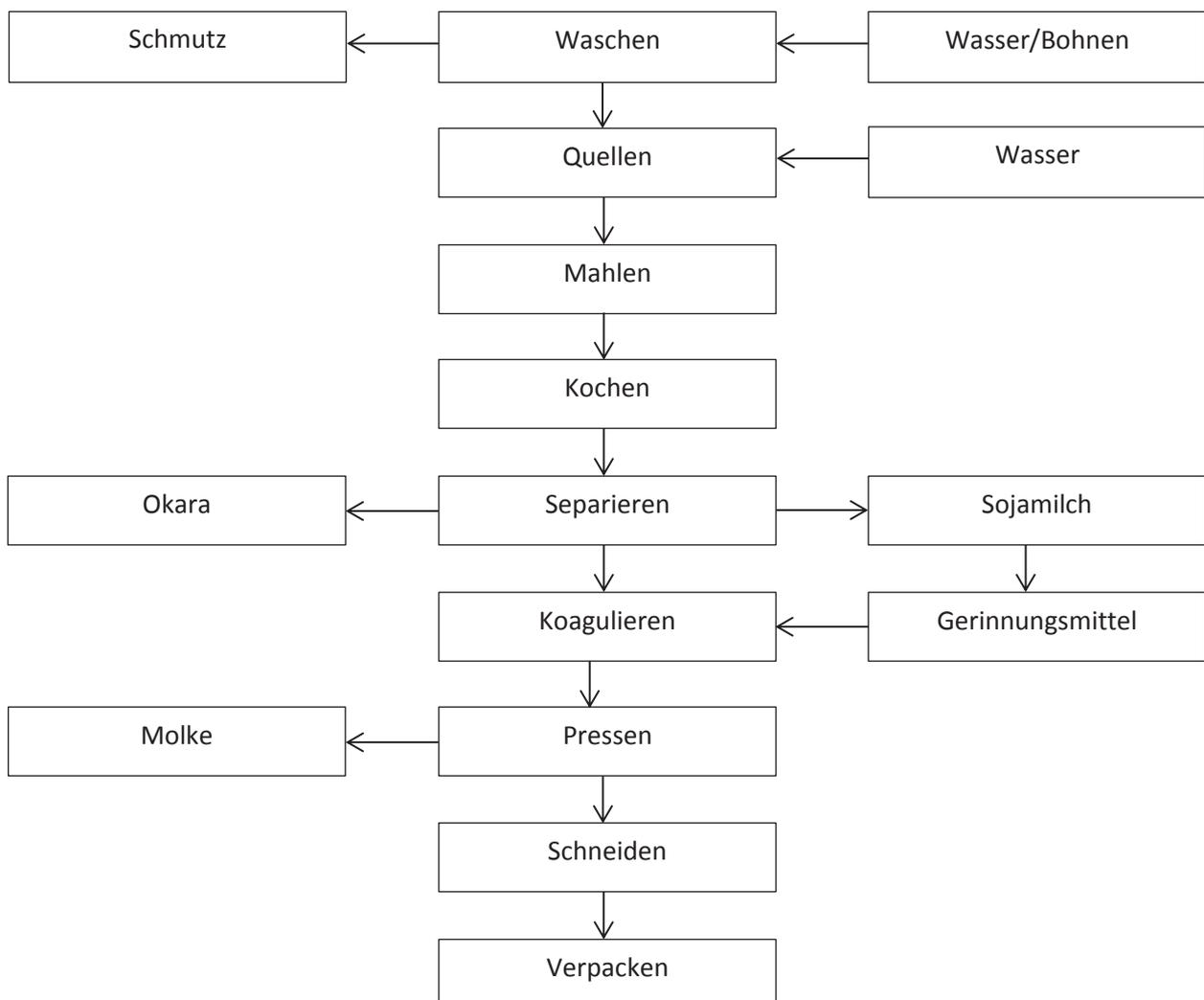


Abbildung 1: Allgemeine Tofuherstellung nach Shurtleff (2000)

Die Tofuherstellung kann in die japanische und die chinesische Methode unterteilt werden. Bei der chinesischen Methode wird die Sojamilch nach dem Mahlen zunächst von den festen Bestandteilen (Okara) abgetrennt und anschließend erhitzt. Bei der japanischen Methode erfolgt bereits vor der Trennung eine Erhitzung. Laut Hui et al. (2004) erhält man mit letzterem eine höhere Tofuabbeute einhergehend mit einer erleichterten Sojamilchextraktion. In Europa wird fast ausschließlich die japanische Methode angewandt, da diese neben den genannten Vorteilen zusätzlich den Bohnengeschmack im Endprodukt reduziert. Da die durchgeführten Versuche auf der japanischen Methode basieren, wird in dieser Arbeit lediglich auf diese Methode eingegangen. Für die Herstellung der Sojamilch werden die rohen Bohnen (Feuchtegehalt 9-14%) zunächst gründlich gewaschen. Verunreinigte Bohnen können Geschmacksfehler im Endprodukt hervorrufen und die Haltbarkeit negativ beeinflussen. Im nächsten Schritt erfolgt die Zugabe von Frischwasser um die Bohnen zu quellen. Vorteile dieses Schrittes sind eine weichere Struktur, wodurch weniger Energie zum späteren Mahlen verbraucht und eine bessere Ausbeute an Inhaltsstoffen erzielt wird. Die Zeit zum Quellen der Bohnen schwankt je nach Einweichtemperatur zwischen 8- 20h. Die Gewichtszunahme beläuft sich auf einen Faktor von rund 2,2 (Shurtleff, 2000).

Als nächster Prozessschritt erfolgt das Mahlen der Bohnen bei einem Bohnen- Wasserverhältnis (Rohbohnen) von 1:10. Laut Hui et al. (2004) erhält man hier die beste Proteinausbeute. Die Wassertemperatur beeinflusst die Textur des Endproduktes, die Festigkeit des Tofus nimmt mit steigender Temperatur (0-50°C) ab. Verantwortlich dafür ist vermutlich die mit zunehmender Temperatur steigende Aktivität von Lipoxygenasen. Die in der Sojamilch vorhandenen Schwefel-Wasserstoff Bindungen werden oxidiert, woraus eine Abnahme dieser Verbindungen resultiert. Nach Shurtleff (2000) liegt das ideale Bohnen- Wasserverhältnis während des Mahlens bei 1:4. Wassertemperaturen von 80°C sorgen für eine Inaktivierung von Lipoxygenasen. Die Qualität des eingesetzten Wassers (Mineralstoffgehalt) wirkt sich auf den Geschmack des Endproduktes aus.

Die anschließende Erhitzung (Kochen bei 100°C) dient hauptsächlich der Denaturierung von Proteinen. Diese verlieren ihre globuläre Struktur, wobei die hydrophoben Enden an die Außenseite gelangen. Dies führt zu einer Steigerung der Löslichkeit. Gleichzeitig werden bei der Erhitzung auch Mikroorganismen abgetötet und der Bohnengeschmack reduziert (Hui et al., 2004).

Nach dem Erhitzen wird der gemahlene Slurry („go“) in Okara und Sojamilch getrennt, wobei der überwiegende Teil der wasserlöslichen Stoffe in die Sojamilch übergeht. Dies erfolgt industriell beispielsweise in Trommelpressen oder im Labor mithilfe eines Seidentuches. Die Effizienz des Pressens ist abhängig von Druck, Zeit und der Porengröße des Filtermaterials. Das anfallende Okara kann je nach Bedarf mehrmals ausgewaschen werden um die Ausbeute entsprechend zu erhöhen. Laut Shurtleff (2000) finden sich bei einem Bohnen-Wasserverhältnis von 1:10 nach der Separation ungefähr 58% der löslichen Substanz und 80% der Proteine in der Sojamilch wieder (bezogen auf die Rohbohne). Es wird weiterhin beschrieben, dass die Rückgewinnung von löslichen Stoffen abnimmt, je höher die Konzentration der Sojamilch ist. Bei einem wesentlich höheren Bohnen-Wasserverhältnis als 1:10 werden die Endprodukte als zu fest und zu klein beschrieben, einhergehend mit einem hohen Anteil anfallender Molke.

Im nächsten Verfahrensschritt werden der separierten Sojamilch, Reagenzien zugesetzt, welche die Proteine miteinander vernetzen und so den Bohnenquark ausbilden. Traditionell werden dazu entweder Magnesiumchlorid (Nigari) oder Calciumsulfat (CaSO_4) eingesetzt. Eine genauere Beschreibung dieser beiden Salze erfolgt in Kapitel 2.4. Die Dosierung der Koagulantien ist abhängig von vielen verschiedenen Variablen wie z.B. Art der Bohnen, Koagulationstemperatur oder dem pH- Wert der Sojamilch. Die Wahl der Koagulantien, sowie die Geschwindigkeit und Art der Zugabe sind neben der Dosierung entscheidend für die Ausbeute und Festigkeit des Tofus. Für den Einsatz von Calciumsulfat sollte der Brechungsindex (indirekt ein Maß für Gehalt an gelösten Stoffen) zwischen 8- 10° Brix liegen, der Proteingehalt bei rund 4,7%. Bei der Verwendung von Nigari liegen die Werte bei 5,5- 6° Brix und 3% Proteinanteil in der Sojamilch. Ein steigendes Bohnen–Wasserverhältnis steht in Zusammenhang mit einer größeren Menge an extrahierten Proteinen und erfordert eine höhere Dosierung der Koagulantien. Die Temperaturen für die Zugabe von Calciumsulfat liegen zwischen 70 und 80 °C, für Nigari zwischen 68 und 95°C (Hui et al., 2004; Shurtleff, 2000).

Der letzte Verfahrensschritt der Tofuherstellung ist das Pressen. Dabei sind Zeit und Druckstärke ausschlaggebend für den Feuchtegehalt und die Ausbeute sowie die Textur des Endproduktes. Für weichen Tofu wird ein Anfangsdruck von 2-4 g/cm² bei einer Presszeit von 5-10 Minuten angegeben. In einem zweiten Pressvorgang wird dann für 10-15 Minuten ein Druck zwischen 5 und 15 g/cm² aufgewendet. Eine Angabe für festen Tofu beschreibt einen Druck von 20-100 g/cm² bei einer Pressdauer von 20 bis 30 Minuten. Nach dem Pressen kann der Tofu in beliebige Stücke geschnitten und anschließend verpackt und gekühlt werden (Hui et al., 2004).

2.2 Die Sojabohne

Die wilde Sojabohne (*Glycine Soja*) ist eine einjährige krautige Pflanze aus der Familie der Hülsenfrüchtler (*Leguminosen*) und stammt aus Ostasien. Von ihr stammt die heute im Anbau befindliche Sorte *Glycine max.* ab. Die Sojapflanze ist behaart, wird bis zu 180 cm hoch und besitzt ein dreizählig gefiedertes Blattwerk. Jeweils mehrere 3-6 cm lange Hülsen stehen traubenförmig zusammen, wobei jede Hülse ca. 2-3 Samen enthält. Das Farbspektrum der kugelig, flachen, eiförmigen Samen reicht von gelb über grün bis hin zu schwarz oder gar mehrfarbig. Auch die Größe der Samen ist unterschiedlich, was durch Tausendkorngewichte zwischen 50 und 450 g verdeutlicht wird. Der Gehalt an Makronährstoffen (Kohlenhydrate, Eiweiße, Fette) ist unterschiedlich und abhängig von der Sorte sowie Boden- und Klimaverhältnissen (Ternes et al., 2005). Tabelle 1 stellt die durchschnittliche Nährstoffzusammensetzung der Sojabohne dar.

Tabelle 1: Durchschnittliche Nährwertangaben für reife, getrocknete Sojabohnen in g/100g (nach Souci et al., 2011)

Wasser	Eiweiß	Fett	Kohlenhydrate	Ballaststoffe
8,5 g	34,3 g	18,3 g	6,3 g	22,0 g

Sojabohnen weisen allgemein sowohl einen hohen Eiweiß-, als auch Fettgehalt auf. Die biologische Wertigkeit von Sojaeiweiß ist dabei im Vergleich zu anderen pflanzlichen Eiweißen bedeutend höher. Das Sojaöl enthält Palmitinsäure, Ölsäure, Linolsäure und α -Linolensäure zu unterschiedlichen Anteilen, wobei der Gehalt an ungesättigten Fettsäuren im Vergleich zu gesättigten höher ist. Neben Mineralstoffen und Vitaminen enthält die Sojabohne außerdem noch eine Reihe anderer Inhaltsstoffe wie Proteaseinhibitoren, Saponine, Isoflavone oder Phytinsäure. Proteaseinhibitoren und Saponine hemmen Verdauungsenzyme und verschlech-

tern so die Verdauung von unverarbeiteten Bohnen. Die Wirkung der bis zu 1,6% enthaltenen Isoflavone wird stark diskutiert, da positive Wirkungen auf z.B. das Herz-Kreislaufsystem nicht ausreichend belegt sind und mögliche negative Effekte wie Schilddrüsenunterfunktionen entgegenstehen. Die bis zu 2% enthaltene Phytinsäure, kann die Bioverfügbarkeit von Spurenelementen herabsetzen und ebenfalls die Verdauung negativ beeinflussen. Durch Hitzedenaturierung oder Extraktionsverfahren können diese Stoffe inaktiviert werden (Ternes et al, 2005; www.bfr.bund.de).

2.2.1 Proteine der Sojabohne

Der Eiweißgehalt von Sojabohnen ist abhängig von verschiedenen Faktoren, weshalb auch unterschiedliche Literaturangaben existieren. Tabelle 2 zeigt den Gewichtsanteil der 3 Hauptbestandteile, sowie ihren jeweiligen Proteingehalt. Mithilfe verschiedener Verfahren können Sojaproteine, in wässriger Lösung oder leicht alkalischem Milieu, in verschiedene Fraktionen unterteilt werden. Mittels Ultrazentrifugation erhält man 4 Fraktionen mit den Sedimentationskoeffizienten (S) 2, 7, 11 und 15 (siehe Tab. 3).

Tabelle 2: Hauptbestandteile der Sojabohne mit ihren dazugehörigen Proteinanteilen (nach Cheftel et al., 1992)

Bestandteil	Gewichtsanteil in %	Proteinanteil in % (bezogen auf Trockensubstanz)
Kotyledonen	90,0	43,0
Samenschale	8,0	8,8
Hypokotyl	2,0	41,0
Gesamt	100,0	40,0

Tabelle 3: Anteile wasserlöslicher Proteinfractionen der Sojabohne (nach Cheftel et al., 1992)

Fraktion	Anteil in %	Proteinkomponenten
2 S	15	Trypsin Inhibitoren
7 S	35	Hauptsächlich 7S Globulin (β - Conglycinin)
11 S	40	11S Globulin (Glycinin)
15 S	10	-

Die 11S und 7S Globuline machen zusammen einen Anteil von bis zu 70% der Sojaproteine aus, wobei das Verhältnis von 11S zu 7S Globulin abhängig von der Sojasorte zwischen 0,5 und 3 schwankt. Das 11S Globulin besteht aus 12 relativ hydrophoben Subeinheiten wobei davon jeweils 6 sauer bzw. basisch sind. Sowohl innerhalb als auch zwischen den Subeinheiten befinden sich Schwefelatome und bilden Disulfidbrücken, welche das 11S Globulin zusätzlich stabilisieren. β -Conglycinin ist ein Glycoprotein mit ca. 5% Kohlenhydratanteil und ist das in der Sojabohne hauptsächlich vorkommende 7S Protein. Es besteht aus 3 Subeinheiten (α , α' , β), welche alle einen sauren Charakter besitzen. Die Denaturierungstemperatur von Glycinin liegt zwischen 80 und 92°C, die von β -Conglycinin zwischen 67 und 78°C. Eine Denaturierung der Proteine bewirkt eine Auffaltung der Sekundärstruktur und gleichzeitig Dissoziations- und Aggregationsvorgänge der Quartärstruktur. Während der Erhitzung und in Anwesenheit von Reduktionsmitteln dissoziieren zunächst die jeweiligen Untereinheiten von β -Conglycinin und Glycinin. Anschließend bilden sich lösliche Komplexe aus je einer Subeinheit des β -Conglycinin und einer basischen Subeinheit des Glycinins aus. Durch Zugabe von z.B. Na^+ und Cl^- wird die elektrische Anziehung zwischen den Untereinheiten des Komplexes herabgesetzt, wodurch die freien basischen Untereinheiten aggregieren und die sauren aufgrund ihrer Hydrophilität in Lösung bleiben. Die Erhitzung von Proteinlösungen führt abhängig von ihrer Konzentration, Temperatur, pH- Wert und Ionenstärke zur Bildung von Gelen mit unterschiedlichen Festigkeiten. Dies stellt einen der wichtigsten Schritte in der Tofuherstellung dar. Die Gelbildung von Glycinin erfordert höhere Temperaturen als die des β -Conglycinin. Die Festigkeit der Gele beider Fraktionen nimmt ab einer Temperatur von ca. 70°C stark zu und erreicht ihr Maximum bei ungefähr 80°C. Werden Sojaprotein-Lösungen z.B. Calciumionen zugeführt, erfolgt ebenfalls die Ausbildung eines Proteingels, welches vergleichbar mit dickgelegter Kuhmilch ist. Es ist weniger fest und besitzt eine höhere Elastizität als durch Erhitzung erhaltene Gele. Mit steigender Proteinkonzentration erhöht sich auch die optimale Calciumkonzentration (Cheftel et al., 1992).

2.3 Die Lupine

Die Lupine ist eine Hülsenfrucht aus der Familie der Schmetterlingsblütler und umfasst über 200 Arten. Ihre Blätter sind fast stets handförmig geteilt, die hülsenförmigen Früchte mehr oder weniger behaart. Sie sind häufig nur als Wildblumen bekannt und durch ihre farbenprächtigen Blütenstände besonders auffällig. Lupine sind tolerant gegenüber vielen Bodenarten, bevorzugen jedoch sandige-, bzw. Schlicksandböden mit mäßig saurem Milieu. Es lassen sich hohe Ernteaussbeuten erzielen, wobei die dabei anfallenden Kosten nur ungefähr die Hälfte der Kosten von Sojabohnen betragen. Der Anbau im europäischen Raum findet seit mehr als 200 Jahren statt, wobei nur 3 Arten von wirtschaftlicher Bedeutung sind: weiße Lupine, gelbe Lupine und blaue Lupine (www.biothemen.de; Elsmami et al., 2014; Cerletti et al., 1979).

Abhängig von der Art variiert der Gehalt an Makronährstoffen sowie an Phenolen und Alkaloiden. Letztere sind für den bitteren Geschmack verantwortlich. Seit 1920 erfolgt die Züchtung von gezielt alkaloidarmen Süßlupinen (Alkaloidgehalt 0,02- 005%), welche für den Menschen besser verträglich sind. Gegenüber der Sojabohne ist der Gehalt an Phytinsäure, Phenolen und Trypsininhibitoren geringer. Gleiches gilt für den Gehalt an Fetten und Kohlenhydraten, wobei der Eiweißgehalt fast identisch ist. Tabelle 4 stellt den Gehalt an Makronährstoffen von Lupinen und Sojabohnen vergleichend dar (BfR, 2011; Ternes, 2005).

Tabelle 4: Vergleich des Nährstoffgehaltes von Sojabohnen und Lupinen in % TM (nach Ternes et al., 2006)

Hülsenfrucht	Eiweiß	Fett	Kohlenhydrate	Ballaststoffe
Lupinen	36- 48	4- 7	5	15 – 18
Sojabohne	35- 45	18- 20	14,8	6

Lupinen enthalten ca. 34% einfach ungesättigte Fettsäuren sowie 44% mehrfach ungesättigte Fettsäuren. Der Gehalt an ungesättigten Fettsäuren ist somit analog zur Sojabohne höher als an gesättigten. Lupinenöl weist außerdem eine hohe Resistenz gegenüber Oxidationsvorgängen auf. Grund dafür ist der hohe Gehalt an Carotinoiden und anderen Antioxidantien. Aufgrund des geringen Gehaltes an Phytinsäure, Phenolen und Trypsininhibitoren kann auf eine Erhitzung von Lupinensamen vor dem Verzehr verzichtet werden. Basierend auf dieser Tatsache und der Nährstoffzusammensetzung der Samen, kann der Verzehr von Lupinen, Symptomen wie Bluthochdruck, hohen Blutfettwerten oder einem erhöhten Blutzuckerspiegel positiv entgegenwirken (Jayasena et al., 2008; Elsmami et al., 2014).

2.3.1 Proteine der Lupine

Nach Cerletti et al. (1979) schwankt der Proteingehalt von Lupinensamen innerhalb der verschiedenen Arten, ist jedoch generell vergleichbar mit dem der Sojabohne. Globuline machen ca. 84 % des gesamten Proteingehaltes der geschälten Samen aus. Untersuchungen von Cerletti et al. (1978) identifizieren chromatographisch 6 Globulin-Fraktionen, welche alle ein Kohlenhydrat enthalten. Alle Fraktionen können abhängig von der Ionenstärke in mehrere verschiedene Untereinheiten dissoziieren und besitzen einen sauren Charakter. Einige Verbindungen kommen durch Anwesenheit von Disulfidbrücken zustande. Nach der Elektrophorese lässt sich 1 Fraktion der α -Einheit, 3 der β -Einheit, sowie 2 der γ -Einheit zuordnen. Gillespie und Blagrove publizierten 1975, dass die α -Einheiten identisch mit den 11S-Komponenten und die β -Einheiten mit den 7S-Komponenten des Ultrazentrifugemusters sind.

Bei der Untersuchung der Proteinlöslichkeit von Cerletti et al. (1978) konnten, bei einer Extraktion mit Wasser, 12,8% der Proteine gelöst werden (pH 5,0). Bei einem konstanten pH-Wert von 7,0 durch Zugabe von NaOH wurden hingegen rund 93% der gesamten Proteine gelöst. Ähnliche Ergebnisse lieferten Gillespie und Blagrove (1975) auf der Grundlage entfetteter, gemahlener Lupinensamen. Bei einem pH-Wert von 5,5 konnten nur 10% der Proteine gelöst werden. Ein konstant halten des pH-Wertes mit einer 10 %igen NaCl-Lösung, löste dagegen nahezu alle Proteine. Sousa et al. (1995) untersuchten die Denaturierungstemperatur der Lupinenproteine. Sie fanden heraus, dass die Denaturierungstemperatur der 11S-Globuline von Lupinen identisch zur Sojabohne ist. Die Denaturierungstemperatur der 7S-Globuline hingegen ist um 10K höher als die der Sojabohne.

Laut der Literatursammlung von Cheftel et al. (1992) besitzen sowohl die 11S als auch die 7S Globuline von Leguminosen eine ähnliche Struktur und liegen in neutralen, nicht erhitzten Lebensmitteln undenaturiert vor. Eine thermische Behandlung oder pH-Wert Änderungen verändern die Sekundär-, Tertiär- und Quartärstruktur, was für technologische Prozesse wie der Gelbildung in der Tofuherstellung von entscheidender Bedeutung ist. Neben Globulinen besteht ein Teil der Lupinenproteine aus Albuminen. Ihr Gehalt ist im Vergleich zu den Globulinen gering und schwankt nach Oomah et al. (1983) je nach Art zwischen 2 und 10%. Aus einem höheren Albumingehalt resultiert ein geringerer Globulingehalt und umgekehrt. Im Vergleich zu den Globulinen ist jedoch die Aminosäurezusammensetzung der Albumine hochwertiger.

2.4 Die Gelbildner

2.4.1 Nigari

Nigari zählt zu den sogenannten Chlorid- Typen unter den Gelbildnern und wird traditionell aus Meerwasser extrahiert. Während der Extraktion wird ihm ein Großteil des Wassers sowie NaCl (Tafelsalz) entzogen. Es enthält nach der Extraktion ca. 92% Magnesiumchlorid sowie eine geringe Menge anderer Salze (3,8% Magnesiumsulfat, 1,7% Natriumchlorid, 1,2% Kaliumchlorid, 1% Calciumsulfat). Das auf natürliche Weise gewonnene Nigari kann darüber hinaus gereinigt werden, was zu einer Konzentration von ca. 99,5% Magnesiumchlorid führt. Calciumchlorid zählt ebenfalls zu den Chlorid-Typen. Es wird jedoch nicht aus Meerwasser gewonnen und ist daher kein traditioneller Nigari-Typ. Die Auswirkungen auf den Geschmack des Tofus sind aber nahezu identisch. Darüber hinaus ist es sehr preisgünstig und wird in den USA häufig für die Herstellung von Tofu verwendet (Chang, 2004).

2.4.2 Calciumsulfat

Calciumsulfat (CaSO_4) zählt zu den Sulfat-Typen und ist der am weitesten verbreitete Gelbildner in der Tofuherstellung. Dies liegt unter anderem in seiner einfachen Handhabung begründet, welche sich auch für unerfahrene Anwender eignet. Eine geringe Abweichung der Dosierung führt zu keinen wesentlichen Auswirkungen auf die Tofuausbeute und Festigkeit. Aufgrund seiner geringen Wasserlöslichkeit reagiert Calciumsulfat nur langsam mit der Sojamilch, was sich positiv auf das Wasserhaltevermögen des entstehenden Bohnenquarks auswirkt. Mithilfe von CaSO_4 ist es daher möglich, neben normalen Tofuprodukten auch soften oder silken Tofu mit einer bis zu 20% höheren Ausbeute, im Vergleich zu Nigari-Tofu, herzustellen. Aus Calciumsulfat hergestellte Produkte weisen ebenfalls ein mildes Aroma auf, welches jedoch im Vergleich zu Nigari etwas schwächer ausgebildet ist. In Japan und auch in Deutschland werden für die industrielle Tofuherstellung häufig Gerinnungsmittel vom Nigari-Typ mit Calciumsulfat kombiniert (Chang, 2004).

2.5 Tofuherstellung auf Lupinenbasis

Die Tofuherstellung aus Lupinensamen basiert auf der klassischen Tofuproduktion. Eine Patentschrift aus dem Jahre 1994 beschreibt die Herstellung einer Lupinenmilch aus vorher gequollenen Samen und die anschließende Weiterverarbeitung zu einem tofuähnlichen Produkt. Die aus der Maische gewonnene Lupinenmilch wird allerdings keinem Erhitzungsschritt unterzogen. Die Fällung der Proteine erfolgt durch Änderung des pH- Wertes (Bremer, 1994).

Jayasena et al. (2010) beschreiben die Herstellung von Lupinentofu wie folgt. Nach dem Waschen der Lupinensamen werden diese im Bohnen-Wasserverhältnis von 1:3 gequollen. Das Quellen in einer 0,5%igen Natronlösung bewirkt dabei eine weichere Samenschale, was sich positiv auf den Mahlvorgang und die anschließende Extraktion auswirkt. Das Mahlen erfolgt bei einer Temperatur von 40°C und einem Bohnen-Wasserverhältnis von 1:10. Eine anschließende Erhöhung des pH- Wertes auf 8,5 mithilfe von Natronlauge (20%) bewirkt die Lösung der Proteine im Extraktionsmittel. Danach erfolgt das Abpressen der Lupinenmilch. Parallel dazu wird außerdem Sojamilch hergestellt, welche später mit der Lupinenmilch vermischt wird. Das Vermahlen der Sojabohnen erfolgt ebenfalls bei 40°C und einem Bohnen-Wasserverhältnis von 1:10. Die erzeugte Milch wird für 10 min auf 100°C erhitzt und anschließend auf 75°C abgekühlt. Eine Erhitzung der Lupinenmilch findet nicht statt, da dies zur Bildung feiner Partikel führt, welche im Endprodukt unerwünscht sind. Vor dem Vermischen von Soja- und Lupinenmilch wird der erhitzten Sojamilch bei einer Temperatur von 75°C, Calciumsulfat (3% des Rohbohnen gewichtes) zugesetzt. Die Lupinen-Sojamilch wird anschließend einer Ruhephase von 30 Minuten ausgesetzt um den Bohnenquark auszubilden. Im letzten Prozessschritt erfolgt das Entfernen der Molke durch Pressen bei einem Druck von 24 g/cm² über eine Dauer von 45 min.

Von Jayasena et al. (2010) durchgeführte Untersuchungen zeigen, dass ein zunehmender Anteil an Lupinen die Tofuausbeute verringert. Die Ausbeute bei einem Lupinenanteil von 30% zeigte einen signifikanten Unterschied gegenüber des Referenzmusters aus 100% Sojabohnen. Die Untersuchung der Textur zeigte, dass ein Lupinenanteil von bis zu 60%, trotz abnehmender Ausbeute, keine signifikanten Auswirkungen auf Härte, Zusammenhalt, Elastizität, und Kaubarkeit des Produktes hat. Der Protein- und Fettgehalt des Tofus nahm mit zunehmendem Lupinenanteil ab. Alle Lupinensamen enthaltende Tofuproben waren sowohl im Fett- als auch

im Proteingehalt signifikant unterschiedlich im Vergleich zum Sojatofu. Eine Untersuchung der Farbveränderung zeigte keine signifikante Änderung der Helligkeitswerte (L^*) und Rot-Werte (a^*), allerdings stiegen die Gelb-Werte (b^*) mit zunehmendem Lupinengehalt signifikant an. Aus einem Lupinenanteil von 50% resultierte ein Gelb-Wert von 17,4 (vgl. Sojatofu 9). Sensorische Untersuchungen ergaben, dass ein Lupinenersatz von bis zu 40% keine negativen Auswirkungen auf die Akzeptanz des Verbrauchers hat. Die sensorische Texturbeurteilung war mit denen der Texturanalyse vergleichbar.

Jayasena et al. (2014) untersuchten darüber hinaus die Auswirkung verschiedener Gelbildner in unterschiedlichen Konzentrationen auf die Qualität von Soja-Lupinentofu (Verhältnis 70% Sojabohnen, 30% Lupinenmehl). Die Ergebnisse zeigten keine signifikanten Unterschiede im Feuchtigkeitsgehalt. Lediglich eine Konzentration von 0,5% Magnesiumsulfat führte zu einem signifikant höheren Feuchtegehalt der Proben. Ausbeute, Farbe und Proteingehalt wurden durch die Variation der Gelbildner und deren Konzentration nicht signifikant beeinflusst. Eine steigende Magnesiumchlorid-Konzentration führte zu einem verringerten Fettgehalt der Proben, Calciumsulfat hatte dagegen keine Auswirkungen auf den Fettgehalt. Proben, welche mit Calciumsulfat hergestellt wurden, hatten eine härtere Textur als solche aus Magnesiumchlorid. Eine sensorische Beurteilung aller Proben zeigte keine signifikanten Unterschiede in Farbgebung, Textur und allgemeiner Beliebtheit.

3 Material und Methoden

3.1 Geräte und Rohstoffe

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die für die Versuchsdurchführung, verwendeten Chemikalien, Geräte und Rohstoffe.

Tabelle 5: Verwendete Rohstoffe

Rohstoff	Firma	Ort	Sonstiges
Lupinensamen	Saatzucht Steinach	Bocksee (Deutschland)	blaue Süßlupine
Sojabohnen	Davert GmbH	Ascheberg (Deutschland)	MHD 02/15
Leitungswasser	-	Neubrandenburg (Deutschland)	-

Tabelle 6: Verwendete Chemikalien

Chemikalie	Firma	Ort	Sonstiges
Natriumhydrogencarbonat	Holste GmbH	Bielefeld (Deutschland)	-
Magnesiumchlorid (Nigari)	Power- Soja	Absam (Österreich)	-
Calciumsulfat- Dihydrat	Riedel de Häen	Seelze (Deutschland)	-
Natronlauge	Roth	Karlsruhe (Deutschland)	32%

Tabelle 7: Verwendete Geräte

Gerät	Firma	Ort	Sonstiges
Thermomix	Vorwerk	Wuppertal (Deutschland)	Typ: TM31
Waage	Sartorius	Göttingen (Deutschland)	Typ: LC 6201S
Feinwaage	Ohaus	Gießen (Deutschland)	Typ: Voyager
Handrefraktometer	Kübler	-	0-32° Brix
pH- Messgerät	WTW	Weilheim (Deutschland)	Typ: Inolab
Thermometer	Ebro	Ingolstadt (Deutschland)	-
Stoppuhr	-	-	-
Farbmessgerät	Hunterlab	Murnau (Deutschland)	Typ Colorflex EZ
Textureanalyser	Stable Micro Systems	Godalming (UK)	TAXT2
Tofuformen	-	-	Fläche: ca. 80 cm ² Höhe: 9 cm
Presstempel	-	-	-
Massestücke	-	-	Aus Kugelmühlengeln
Filtertücher	-	-	40x40 cm
Töpfe, Schüsseln etc.	-	-	-

3.2 Versuchsdurchführung

Die nachfolgende Tabelle zeigt die durchgeführten Versuche im Überblick. Eine genaue Beschreibung der Versuche erfolgt in Kapitel 3.2.1 und 3.2.2.

Tabelle 8: Übersicht über die durchgeführten Versuche

Vorversuche		
Versuch	Ziel	Untersuchungsmethoden
Herstellung von Sojatofu	Einarbeitung in die Thematik	Textur
Mahlversuch	Überprüfung des Quell-, und Mahlverhaltens der Lupinensamen mit anschließendem Abpressen	Refraktometrie
Verhältnisversuche	Ermittlung eines realistischen Soja-, Lupinenverhältnisses	Textur, Farbmessung, Trockenmasse
Hauptversuche		
Versuch	Ziel	Untersuchungsmethoden
Konzentrationsversuch	Auswirkung unterschiedlicher Konzentrationen der Gelbildner auf das Produkt	Textur, Farbmessung, Trockenmasse
Variation der Bohnen-, Wasserverhältnisse	Auswirkung der Bohnen-, Wasserverhältnisse auf das Produkt	Textur, Farbmessung, Trockenmasse
Temperaturversuch	Auswirkung der Koagulationstemperatur auf das Produkt	Textur, Farbmessung, Trockenmasse
Kombinationsversuch	Kombination der besten Versuchsergebnisse für ein optimales Produkt	Textur, Farbmessung, Trockenmasse

3.2.1 Vorversuche

Zur Einarbeitung in die Thematik wurde zunächst Tofu aus Sojabohnen hergestellt. Dazu wurden rohe Sojabohnen im Bohnen-Wasserverhältnis 1:3 eingeweicht (1 Teil roher Bohnen wurde mit der 3fachen Menge an Frischwasser versetzt). Die Einweichzeit betrug ca. 19h. Zur Herstellung eines Tofus wurden 300 g gequollene Sojabohnen (entspricht ca. 125 g Rohbohnen) eingewogen und zusammen mit der 8 fachen Menge Wasser (bezogen auf die Rohbohnen) zur Weiterverarbeitung in den Thermomix gegeben. Nach dem Erhitzen des Bohnen-Wassergemisches auf 80°C und einer Haltezeit von 4 min, wurde dieses für 2 min auf Stufe 10 vermahlen. Anschließend erfolgte ein zweiter Mahldurchgang für 6 min auf Stufe 5. Die Temperatur betrug dabei durchgängig 80°C. Die gewählte Temperaturführung begünstigt die Inaktivierung von Lipoxygenasen und die Extraktion der Sojamilch (vgl. Shurtleff, 2000; Hui et al, 2004). Der entstandene Slurry wurde anschließend je nach Versuchsreihe auf ein entsprechendes Bohnen-Wasserverhältnis (1:9; 1:10; 1:11) verdünnt und eine Brix- Messung mit dem Handrefraktometer vorgenommen. Der Slurry wurde danach in ein Filtertuch gegeben und ausgepresst. Der Rückstand (Okara) wurde gewogen und verworfen, von der entstandenen Milch wurde ebenfalls der Brix- Wert bestimmt. Die Sojamilch wurde für 8 min gekocht (100°C) und der Wasserverlust bestimmt. Ihre Herstellung erfolgte in allen durchgeführten Versuchen nach dem hier beschriebenen Verfahren. Für die Gelbildung wurden je 3% Nigari (Bezogen auf die Rohbohnen) und 0,27% Calciumsulfat (bezogen auf die eingesetzte Milchmenge) eingewogen und in Wasser gelöst, wobei die Wassermenge dem, durch kochen verursachten, Wasserverlust der Milch entsprach (vgl. Shurtleff, 2000). Eine Umrechnung der prozentualen Nigarimenge bezogen auf die Milch erfolgte nicht, da sich dadurch Ungenauigkeiten in der Konzentration ergeben hätten. In den Vorversuchen wurde die Temperatur der Milch auf 85°C gebracht und anschließend die Gelbildner unter die Milch gerührt. Die durchgeführten Versuche zeigten, dass ein langsames und vorsichtiges Einrühren von großer Wichtigkeit ist, um die Gelstruktur nicht nachhaltig zu schädigen. Nach dem Einrühren erfolgte eine Ruhephase von 30 Minuten ohne Hitzeeinwirkung. Der entstandene Bohnenquark wurde anschließend von der Molke getrennt (ausstreichen auf Sieb) und in eine Pressform gegeben. Das Pressen erfolgte in drei unterschiedlichen Druckstufen zwischen 2934 und 4905 Pascal (Pa) für je 10 Minuten (siehe Tabelle 9). Der entstandene Tofu wurde im Anschluss aus der Form gelöst und nach dem Wiegen für max. 1 Stunde kalt gewässert, bevor er im Kühlschrank bei ca. 5°C eingelagert wurde. Die aufgefangene Molke wurde gewogen und anschließend verworfen.

Tabelle 9: Eingesetzte Drücke mit dazugehörigen Massen

Druckstufe	Druck in Pa	Druck in g/cm ²	Masse in g
1	2943	30	2400
2	3924	40	3200
3	4905	50	4000

Nach der Einarbeitung in die Tofuherstellung konnte mit der Entwicklung des Lupinentofus begonnen werden. Dazu wurde zunächst die Wasseraufnahme der Lupinensamen und anschließend das Mahlverhalten bestimmt. Das Einweichen der Samen erfolgte ebenfalls im Bohnen-Wasserverhältnis 1:3 für ca. 19h. Das Vermahlen fand zunächst unter den gleichen Bedingungen wie die Herstellung der Sojamilch statt. Schlechte Refraktionswerte und ein schlechtes Abpressen führten jedoch zur Reduktion der Mahltemperatur auf 37°C. Der Zusatz von 0,5% Natron (Bezogen auf die Wassermenge) beim Quellen der Samen, diente zusätzlich dazu, die Samenschale zu erweichen (vgl. Jayasena et al., 2010).

Die Vorversuche wurden mit verschiedenen Soja: Lupinen Verhältnissen fortgesetzt wobei das Bohnen-Wasserverhältnis immer 1:10 betrug. Die Tabellen 10-12 zeigen die Variation der Verhältnisse im Überblick. Hierbei ist zu bemerken, dass sich die Verhältnisse stets auf die Milchmenge beziehen. Zur Herstellung eines Tofus wurde stets eine Gesamtmilchmenge von 1 kg eingesetzt. Die Herstellung der Lupinenmilch erfolgte ähnlich zur Herstellung der Sojamilch. Abweichende Parameter waren die Mahltemperatur und der pH-Wert. Dieser wurde vor dem Abpressen der Milch mithilfe von Natronlauge (32%) auf 8,5 eingestellt, um die Löslichkeit der Proteine zu erhöhen (vgl. Jayasena et al., 2010; Cerletti et al., 1978; Gillespie et al., 1975).

Tabelle 10: Soja-Lupinenverhältnisse der 1. Vorversuchsreihe

Versuch	Anteil Soja in %	Anteil Lupinen in %
1	100	0
2	50	50
3	0	100

Tabelle 11: Soja-Lupinenverhältnisse der 2. Vorversuchsreihe

Versuch	Anteil Soja in %	Anteil Lupinen in %
1	50	50
2	20	80
3	0	100

Tabelle 12: Soja-Lupinenverhältnisse der 3. Vorversuchsreihe

Versuch	Anteil Soja in %	Anteil Lupinen in %
1	100	0
2	50	50
3	30	70
4	20	80

Darüber hinaus wurde die Lupinenmilch keinem Kochprozess unterzogen. Wie bei den Sojabohnen wurde vor und nach dem Abpressen der Milch der Refraktionswert bestimmt. Die zugesetzte Menge an Calciumsulfat betrug in allen Vorversuchen 0,27% der Milchmenge. Für die Berechnung der erforderlichen Menge Nigari für einen Tofu wurde die rohe Bohnen-, bzw. Samenmenge bezogen auf die eingesetzte Milchmenge über eine Verhältnisgleichung ermittelt.

Beispiel:

$$\frac{128,2 \text{ g Rohbohnen}}{1261 \text{ g Milch}} = \frac{x \text{ g Rohbohnen}}{1000 \text{ g Milch}} \quad \underline{x = 106,66 \text{ g Rohbohnen}}$$

Die entsprechend den Verhältnissen zusammengestellte Milch wurde auf 75°C erhitzt und die Gelbildner vorsichtig (ca. 1 min) unter die Milch gerührt. Da die Lupinenmilch nicht im Voraus gekocht wurde und daher auch kein Wasserverlust entstehen konnte, wurden die Gelbildner in den Versuchen in denen mit Lupinensamen gearbeitet wurde in 50 ml Wasser gelöst. Nach dem Einrühren erfolgte eine Ruhephase von 30 min und anschließend ein 3-stufiger Pressvorgang für jeweils 10 Minuten (siehe Tab. 9). Die gepressten Tofus wurden für max. 1 Stunde gewässert und anschließend bei ca. 5°C eingelagert.

Bei der Nachbereitung der Versuchsergebnisse der 2. Vorversuchsreihe wurde für Versuch 1 und 2 ein Fehler in der Berechnung der Nigarimengen ermittelt. Die eingesetzten Mengen wurden auf der Grundlage der doppelten Bohnenmenge kalkuliert, somit sind die Ergebnisse nur bedingt vergleichbar mit den übrigen Versuchsergebnissen. Eine weitere Fehlerquelle war ein falsches Bohnen-Wasserverhältnis in den ersten beiden Vorversuchsreihen, sowie bei der Herstellung des Sojatofus. Bei der Berechnung der erforderlichen Wassermengen wurde das von den Bohnen aufgenommene Wasser nicht berücksichtigt, weshalb statt der 10 fachen Wassermenge das ca. 11,36 fache an Wasser zugesetzt wurde. Dieser Fehler wurde mit Beginn einer zusätzlichen 3. Vorversuchsreihe auch für alle danach folgenden Versuche korrigiert.

3.2.2 Hauptversuche

Die Hauptversuche dienen u.a. dazu, eine optimale Konzentration der Gelbildner zu ermitteln. Weiterhin sollte ein ideales Bohnen-Wasserverhältnis sowie eine optimale Koagulationstemperatur ermittelt werden. Beim letzten Hauptversuch wurden schließlich die Parameter der besten Versuchsergebnisse miteinander kombiniert um ein optimales Produkt zu erhalten. Die Tabellen 13-16 zeigen die variierten Parameter der einzelnen Versuche im Überblick. Das Verhältnis von Lupinen- und Sojamilch betrug in allen Versuchen 70:30.

Tabelle 13: Versuchsreihe des 1. Hauptversuches (Variation der Nigari-, und Calciumsulfatmengen)

Versuch	Nigari in % (bezogen auf Rohbohnen)	Calciumsulfat in % (bez. auf Milchmenge)
1	3	0,3
2	3	0,5
3	5	0,3
4	5	0,5

Tabelle 14: Versuchsreihe des 2. Hauptversuches (Variation der Koagulationstemperaturen)

Versuch	Koagulationstemperatur in °C
1	75
2	80
3	85

Tabelle 15: Versuchsreihe des 3. Hauptversuches (Variation der Bohnen-Wasserverhältnisse)

Versuch	Bohnen-, Wasserverhältnis
1	1:9
2	1:10
3	1:11

Tabelle 16: Versuchsreihe des 4. Hauptversuches (Bohnen-Wasserverhältnis 1:10, T= 85°C)

Versuch	Einrühren	Pressschema
1	Normal (ca. 1 min)	Standard
2	Langsam (ca. 5 min)	Standard
3	Langsam (ca. 5 min)	(8829 Pa in 3. Pressstufe)

In 3 der insgesamt 4 durchgeführten Hauptversuche wurden jeweils nur die, in den Tabellen 13-15, beschriebenen Parameter variiert. Die übrige Herstellung von Soja-, und Lupinenmilch, sowie die weitere Tofuherstellung erfolgten entsprechend den durchgeführten Vorversuchen. Im 4. Hauptversuch wurden schließlich die jeweils besten Ergebnisse aus Hauptversuch 1-3 miteinander kombiniert. Für die Versuchsreihe des 4. Hauptversuches wurde die Milchmenge für einen Tofu auf 0,8 kg reduziert, um die Wirkung des Pressvorganges zu verbessern. Darüber hinaus wurde im 3. Versuch der 4. Hauptversuchsreihe der Druck in der 3. Presstufe von 4905 auf 8829 Pa (7200g) erhöht, um die Wirkung des Pressvorganges noch weiter zu verbessern. Das Einrühren der Gelbildner erfolgte im 1. Versuch standardmäßig für die Dauer von ca. 1 Minute. Im 2. und 3. Versuch erfolgte die Zugabe über eine Dauer von ca. 5 Minuten um die Konzentration der Gelbildner in der Milch noch langsamer zu erhöhen.

Ausschlaggebend für die Bewertung der Ergebnisse aus allen Vor- und Hauptversuchen war die Texturmessung der Proben. Es sollte ein möglichst festes, formstabiles und schnittfestes Produkt erzeugt werden. Begleitend dazu wurde der Trockensubstanzgehalt und die Farbe der Proben bestimmt.

3.3 Analytische Methoden

3.3.1 Texturanalyse

Die Texturanalyse erfolgte mit dem TAXT2- Texture Analyser und einer 5 kg Messzelle. Als Prüfkörper diente der P5/S. Dieser Metallkörper besitzt am Ende eine Kugel mit 5 mm Durchmesser, welche auf die Probe einwirkt. Gemessen wurde die benötigte Kraft, um die Probe über 5 mm zu komprimieren. Es wurden von jeder Probe fünf Messpunkte analysiert (siehe Abbildung 2) und daraus der Mittelwert gebildet. Die Messung erfolgte bei jedem Durchgang von links nach rechts. Vor der Analyse der Probe wurde deren Temperatur gemessen, da diese die Festigkeit des Tofus beeinflusst (Temperaturen siehe Anhang Nr. 10.2.1 und 10.3.1).

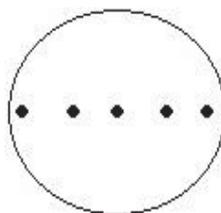


Abbildung 2: Messpunkte der Tofuproben

3.3.2 Bestimmung des Rohproteingehaltes

Zum Aufstellen einer vollständigen Massebilanz wurde der Proteingehalt des Tofus und allen bei der Herstellung anfallenden Nebenprodukten bestimmt. Die Bestimmung des Rohproteingehaltes erfolgte nach dem Kjeldahl-Verfahren. Dazu wurde zunächst Tofu mit, in den Hauptversuchen ermittelten, optimalen Parametern hergestellt und mit sämtlichen Nebenprodukten für die Bestimmung aufbewahrt. Der Proteingehalt der Soja-, bzw. Lupinensamen wurde anhand Proteingehalte von Milch und Okara zurückgerechnet. Die Durchführung erfolgte nach Steiner u. Matissek (2006). Die genauen Einwaagen sowie Nebenberechnungen können dem Anhang Nr. 10.1.1 entnommen werden.

3.3.3 Bestimmung der Trockenmasse

Die Bestimmung der Trockenmasse der Tofus erfolgte nach der Folienmethode zur Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Käse und Quark (Siehe Anhang Nr. 10.1.2). Die Bestimmung der Trockenmasse des Produktes und allen Nebenprodukten zur Aufstellung der Massebilanz erfolgte mittels Schnellfeuchtebestimmer (MA40).

3.3.4 Beliebtheitsprüfung

Die sensorische Untersuchung des Produktes fand anhand einer Beliebtheitsprüfung (Verbrauchertest) nach DIN 10950 statt. Dieses Prüfverfahren eignet sich u.a. zur Bestimmung der Beliebtheit einer neu entwickelten Produktserie und kann sowohl als Einzel-, als auch Mehrprobenprüfung vorgenommen werden. Die Produkte werden anhand einer hedonischen Skala in „Gefallen“ und „Missfallen“ eingestuft. Die Skala enthält insgesamt 9 Notenpunkte wobei jeweils 4 im Gefallen-, bzw. Missfallen-Bereich liegen. Ein Skalenpunkt gibt den neutralen Bereich der Skala wieder (siehe auch Musterprotokoll im Anhang Nr. 10.1.3). Um ein Produkt als „beliebt“ einzustufen müssen mindestens 80 % der Punkte im „Gefallen“-Bereich liegen. Für die Probenvorbereitung wurde Tofu unter den in den Hauptversuchen ermittelten optimalen Parametern hergestellt. Anschließend wurden diese in Würfel (Kantenlänge ca. 1cm) geschnitten und je ein Würfel in ein Probengefäß gegeben, welches mit einer dreistelligen Nummer versehen wurde. Gleichzeitig wurde eine Referenzprobe (Bio Tofu Natur, Firma Sojafood GmbH) dem gleichen Vorbereitungsverfahren unterzogen und ebenfalls in ein Probengefäß mit dreistelliger Nummer gegeben. Zur Neutralisation zwischen der Verkostung der beiden Proben wurde stilles Mineralwasser gereicht. Die Verkostung der Proben fand im Biomarkt Neubrandenburg mit ungeschulten Prüfern statt (Fliedner et al., 1993).

3.3.5 Farbmessung

Die Farbmessung erfolgte mit dem Farbmessgerät Colorflex EZ. Dies ist ein Zweistrahl-Spektralphotometer und misst im sichtbaren Wellenlängenbereich von 400-700 nm in 10 nm Schritten. Nach einer Kalibrierung kann die zu untersuchende Probe auf dem Gerät platziert und die Messung gestartet werden. Im Anschluss an die Messung können im Display die jeweiligen L^* -, a^* -, und b^* -Werte abgelesen werden (Bedienungsanleitung Hunterlab Colorflex EZ).

Der Lab-Farbraum (Judd Hunter System) gibt Farben als Vektor an. Dabei steht L^* für die Helligkeit, welche im Bereich von 0-100 angegeben wird. Die Variablen a^* und b^* kennzeichnen die jeweiligen Farben (+a rot, -a grün, +b gelb, -b blau). Abbildung 3 zeigt eine grafische Veranschaulichung des Judd Hunter Systems (Figura, 2004).

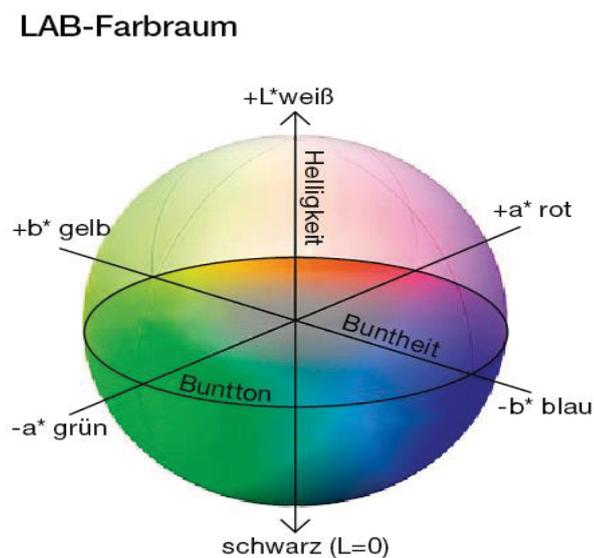


Abbildung 3: Grafische Darstellung des Lab-Farbraumes

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Vorversuche

Die Vorversuche dienten zunächst zur Einarbeitung in die Tofuherstellung und zum Prüfen der Anwendbarkeit des klassischen Tofuverfahrens auf die Lupinensamen. Außerdem dienten sie zur Findung eines realistischen Lupinen-Sojaverhältnisses für die Hauptversuche. Die Refraktionswerte betragen in den Vorversuchen mit Sojatofu (je nach Bohnen-Wasserverhältnis) im Slurry 5,2–7° Brix bzw. 5,3–7,2° Brix. Somit lagen die Werte teilweise knapp unter den in der Literatur angegebenen Refraktionswerten (vgl. Hui et al., 2004; Churtleff, 2000). Grund hierfür ist wahrscheinlich der in Kapitel 3.2.1 beschriebene Fehler bei der Einstellung des Bohnen-Wasserverhältnisses. Der Faktor für die Wasseraufnahme der Sojabohnen betrug in allen Versuchsreihen durchschnittlich 2,34. Die Wasseraufnahme der Lupinensamen war zunächst höher als die der Sojabohnen. Auch in den weiteren Versuchsreihen der Vor- und Hauptversuche lag die Wasseraufnahme höher, wodurch sich ein durchschnittlicher Faktor von 2,4 ergab. Die Anwendung des Standardmahlverfahrens der Sojabohnen auf die Lupinensamen (vgl. Kap. 3.2.1) zeigte deutliche Unterschiede. Zum einen ließ sich das Okara schwerer von der flüssigen Phase trennen, weshalb sich aus 300g gequollenen Lupinensamen nur eine wesentlich geringere Milchmenge gewinnen ließ (300g Sojabohnen = ca. 1200g Milch; 300g Lupinensamen = ca. 880g Milch). Zum anderen lag der Refraktionswert sowohl im Slurry, als auch in der separierten Milch lediglich bei 3,9° Brix. Eine Erhöhung der Bohnenmenge von 300 auf 400g zum vermahlen, führte zwar zu einer Milchmenge von 1400g, jedoch sank der Refraktionswert auf 3,1° Brix.

Als Reaktion auf die Versuchsergebnisse wurde die Mahltemperatur für die folgenden Versuche auf 37°C herabgesetzt und die Lupinensamen in einer 0,5 %igen Natronlösung vorgequollen. Weiterhin wurde der pH- Wert des Slurrys, welcher im Durchschnitt bei 6,2 lag, mithilfe von NaOH (32%ig) auf 8,5 erhöht (vgl. Jayasena et al., 2010). Diese Änderungen führten zu einer durchschnittlichen Milchmenge von ca. 1200g und Refraktionswerten in der Milch von durchschnittlich 5,4° Brix in den weiteren Vorversuchen. Mit der Korrektur des Bohnen-, Wasserverhältnisses (vgl. Kapitel 3.2.1) stiegen die Refraktionswerte in der Soja- und Lupinenmilch auf 7,2 bzw. 6,6 ° Brix.

4.1.1 Texturmessung

Die Tabellen 17-19 zeigen den Einfluss unterschiedlicher Soja-Lupinenverhältnisse auf die Festigkeit des Tofus. Bei den dargestellten Messwerten handelt es sich jeweils um Mittelwerte aus 5 Einzelmessungen. Zu erkennen ist in allen Versuchsreihen eine abnehmende Festigkeit mit steigendem Lupinenanteil. Anhand der Standardabweichungen ist außerdem zu erkennen, dass die Festigkeit teilweise auch innerhalb einer einzelnen Probe relativ starken Schwankungen unterliegt. Es ist weiterhin eine Schwankung der Festigkeit, bei gleichem Soja-, Lupinenverhältnis zwischen den Versuchsreihen zu erkennen. Abbildung 4 zeigt die Schwankung der Festigkeit zwischen den drei Versuchsreihen bei einem Soja-Lupinenverhältnis von 50:50. Die Grafik zeigt deutlich die variierenden Festigkeiten bei gleichem Soja-Lupinenverhältnis. In der 1. Versuchsreihe wurden 0,71 N gemessen, in der 2. und 3. Versuchsreihe lagen die Werte bei 0,89 N bzw. 0,61 N. Die in Versuchsreihe 2 eingesetzte doppelte Menge an Gerinnungsmitteln könnte hier eine Ursache für die höhere Festigkeit sein. Die Temperatur bei der Texturanalyse schwankte zwischen 8 und 9,4 °C und ist als Ursache für die Schwankungen unwahrscheinlich. Auch eine schwankende Rohstoffqualität als Ursache für die unterschiedlichen Festigkeiten kann aufgrund der gleichen Chargen der Samen und der relativ konstanten Refraktionswerte ausgeschlossen werden.

Auf eine Durchführung der Hauptversuche mit einem Lupinenanteil von 100% wurde aufgrund der geringen Festigkeit verzichtet. Zwar zeigte die Probe der 2. Versuchsreihe eine wesentlich höhere Formstabilität und Schnittfestigkeit, jedoch waren die Messwerte der Texturanalyse zu niedrig um mit diesem Verhältnis weiterzuarbeiten. Auch ein Lupinen-, Sojaverhältnis von 80:20 ergab zu geringe Festigkeitswerte um darauf aufbauend die Hauptversuche durchzuführen. Um den Lupinenanteil im Produkt dennoch möglichst hoch zu halten, wurde in den Hauptversuchen mit einem Verhältnis von 70:30 gearbeitet.

Tabelle 17: Gemessene Maximalkraft der 1. Vorversuchsreihe

Versuch	Sojamilch in %	Lupinenmilch in %	Maximalkraft in N	Standardabweichung
1	100	0	1,02	13,30
2	50	50	0,71	3,70
3	0	100	0,19	1,80

Tabelle 18: Gemessene Maximalkraft der 2. Vorversuchsreihe

Versuch	Sojamilch in %	Lupinenmilch in %	Maximalkraft in N	Standardabweichung
1	50	50	0,89	7,80
2	20	80	0,41	3,70
3	0	100	0,20	3,70

Tabelle 19: Gemessene Maximalkraft der 3. Vorversuchsreihe

Versuch	Sojamilch in %	Lupinenmilch in %	Maximalkraft in N	Standardabweichung
1	100	0	0,64	11,50
2	50	50	0,61	4,70
3	30	70	0,55	6,40
4	20	80	0,32	4,20

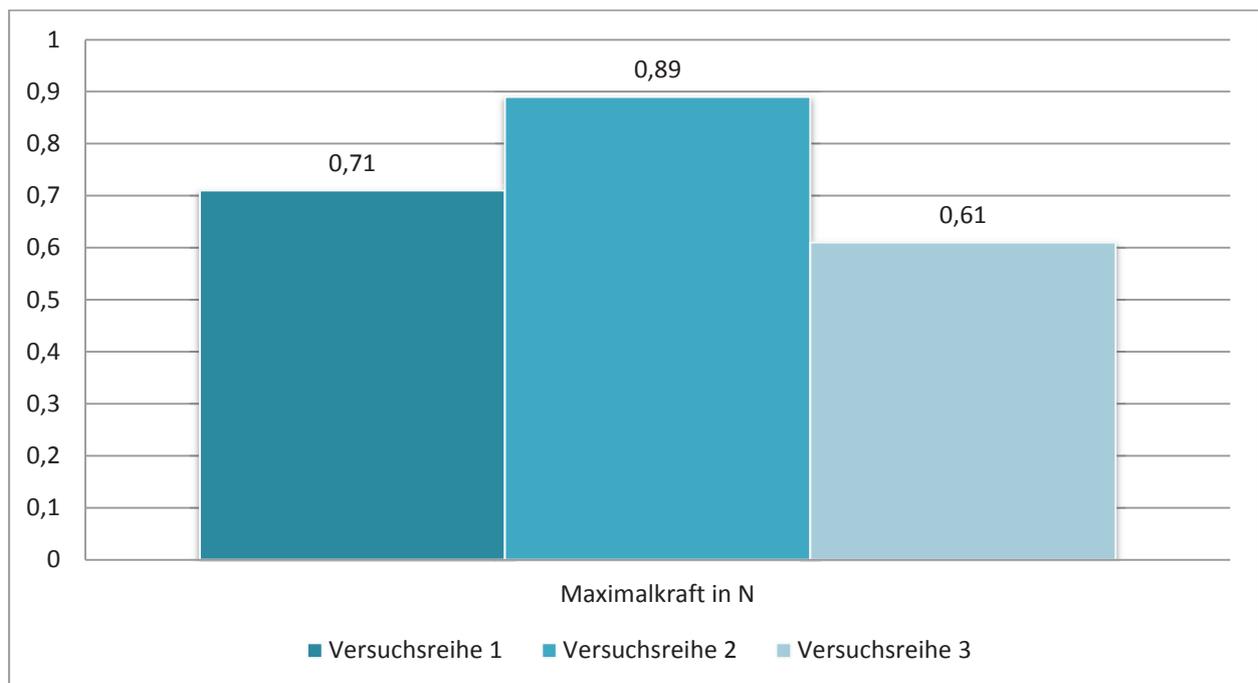


Abbildung 4: Vergleich der gemessenen Maximalkraft bei einem Soja-Lupinenverhältnis 50:50

4.1.2 Farbmessung

Tabelle 20 zeigt die Ergebnisse der Farbmessung der 3. Vorversuchsreihe. Zu erkennen ist eine Abnahme der Helligkeitswerte (L^*) mit steigendem Lupinenanteil. Bei dem Helligkeitswert der 3. Probe handelt es sich wahrscheinlich um einen Messfehler des Gerätes oder einen inhomogenen Messpunkt. Relativ deutlich zu erkennen ist eine Steigerung der Gelbwerte (b^+). Die Tabelle zeigt weiterhin eine Abnahme der a^* Werte wobei eine Änderung von Rot (a^+) zu grün (a^-) stattfindet. Anhand der Daten lässt sich erkennen, dass die Zunahme der Gelbwerte, im direkten Zusammenhang mit einem steigenden Lupinenanteil steht. Während Sojamilch eher beige-cremefarben in Erscheinung tritt, ist die Lupinenmilch kräftig gelb, weshalb mit zunehmendem Lupinenanteil die Gelbwerte steigen. Diese Beobachtungen konnten nicht nur anhand der Messwerte verdeutlicht werden. Die Farbveränderung zwischen Probe 1 und 2 waren mit bloßem Auge sichtbar.

Tabelle 20: Einfluss des Soja-Lupinenverhältnisses auf die Farbe

Probe	Soja-Lupinenverhältnis	L^*	a^*	b^*
1	100:0	82,00	1,52	17,83
2	50:50	80,92	-0,14	21,39
3	30:70	79,84	-0,92	23,16
4	20:80	80,24	-1,42	23,60

4.1.3 Trockensubstanz

Tabelle 21 zeigt Tofuabbeute, anfallende Molke (bezogen auf die Milchmenge) und die jeweilige Trockensubstanz der 3. Vorversuchsreihe. Betrachtet man die Werte erkennt man mit zunehmendem Lupinenanteil eine abnehmende Tofuabbeute einhergehend mit einem höheren Anteil anfallender Molke. Anzumerken ist an dieser Stelle, dass die Summe aus Tofuabbeute und anfallender Molke $\neq 100\%$ ist. Die Verluste entstehen beim Abpressen der Milch, bzw. beim Herauslösen des Tofus aus der Pressform. Sowohl das Anfallende Okara als auch geringe Mengen des Bohnenquarks verbleiben in den Presstüchern und gehen somit nicht in die Bilanz ein.

Tabelle 21: Einfluss des Soja-Lupinenverhältnisses auf Tofuanspruch, Molkeanteil und Trockensubstanz

Probe	Soja-Lupinenverhältnis	Tofu in %	Molke in %	TS Tofu in %
1	100:0	23,64	68,54	23,30
2	50:50	18,83	72,89	21,73
3	30:70	17,49	74,08	20,67
4	20:80	17,03	74,81	20,52

4.2 Hauptversuche

Die in den Vorversuchen gewonnenen Erkenntnisse dienten als Grundlage für die Hauptversuche. Da ein Lupinenanteil von mehr als 70% zu keiner zufriedenstellenden Festigkeit führte, wurde in allen Hauptversuchen mit einem Lupinen-Sojaverhältnis von 70:30 (bezogen auf die Milchmenge) gearbeitet. Aufgrund des korrigierten Bohnen-Wasserverhältnisses lagen die Refraktionswerte der Soja-, bzw. Lupinenmilch bei ca. 7,2 bzw. 6,4° Brix.

4.2.1 Texturmessung

Die Tabellen 22-25 zeigen die Ergebnisse der Texturanalyse der 4 Hauptversuchsreihen. In der 1. Hauptversuchsreihe wurde der prozentuale Anteil an Koagulationsmitteln variiert, um die Auswirkung auf die Festigkeit zu überprüfen. Tabelle 22 zeigt, dass die Konzentrationsänderungen nur eine sehr geringe Auswirkung auf die Festigkeit hatten. Der höchste Wert wurde im 2. Versuch gemessen, der niedrigste im 4. Versuch. Anhand der Daten ist nicht zu erkennen, dass eine Steigerung der Konzentration zu einer erhöhten Festigkeit führt. In der 2. Hauptversuchsreihe wurde die Koagulationstemperatur variiert. Aus den Daten von Tabelle 23 ist erkennbar, dass eine Erhöhung der Koagulationstemperatur auf 80°C nahezu keine Auswirkung auf die Festigkeit der Probe hat. Eine Temperaturerhöhung auf 85°C führte dagegen zu einer Festigkeit von 0,78 N.

Tabelle 22: Einfluss der Konzentration von Nigari und Calciumsulfat auf die Festigkeit

Versuch	C _{Nigari} in % (Rohbohnen)	C _{Calciumsulfat} in % (Milch)	Maximalkraft in N	Standardabweichung
1	3,00	0,30	0,61	4,80
2	3,00	0,50	0,63	2,30
3	5,00	0,30	0,60	6,10
4	5,00	0,50	0,58	6,90

Tabelle 23: Einfluss der Koagulationstemperatur auf die Festigkeit

Versuch	Koagulationstemperatur in °C	Maximalkraft in N	Standardabweichung
1	75	0,53	3,40
2	80	0,52	7,90
3	85	0,78	3,40

Untersuchungsziel der 3. Hauptversuchsreihe war die Auswirkung des Bohnen-Wasserverhältnisses auf die Festigkeit des Tofus. Tabelle 24 zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen. Besonders auffällig ist hier zunächst die allgemein sehr geringe Festigkeit der Proben. Mit Werten zwischen 0,28 N und 0,40 N waren die Messwerte unter allen Hauptversuchsreihen am niedrigsten. Die Daten zeigen weiterhin eine Steigerung der Festigkeit zwischen dem Bohnen-Wasserverhältnis von 1:9 und 1:10. Bei einem Bohnen-Wasserverhältnis von 1:11 nahm die Festigkeit dagegen wieder ab.

Tabelle 24: Einfluss des Bohnen-Wasserverhältnisses auf die Festigkeit

Versuch	Bohnen-, Wasserverhältnis	Maximalkraft in N	Standardabweichung
1	1:9	0,28	3,50
2	1:10	0,40	5,70
3	1:11	0,33	4,70

Auf der Grundlage der Texturmessungen der ersten 3 Hauptversuchsreihen wurden die Parameter für die 4. Hauptversuchsreihe festgelegt. Aufgrund der Messergebnisse wurde die Konzentration der Koagulationsmittel nicht verändert. Für die Koagulation wurde wegen des vergleichsweise hohen Messwertes eine Temperatur von 85°C gewählt. Das Bohnen-Wasserverhältnis wurde aufgrund der Messwerte bei 1:10 belassen. Die Durchführung des 4. Hauptversuches erfolgte entsprechend Kapitel 3.2.2. Die Daten zeigen, dass das langsame Einrühren der Koagulantien einen wesentlichen Einfluss auf die Festigkeit des Tofus hat (siehe Tabelle 25). Die Festigkeit des 2. Versuches war mit 0,88 N die höchste unter allen Tofuproben im Verhältnis 70:30. Auch die Reduzierung der eingesetzten Milchmenge von 1 kg auf 0,8 kg schien sich auf die Konsistenz des Produktes auszuwirken, da der Tofu beim Herauslösen aus der Pressform wesentlich kompakter erschien. Dieser Eindruck konnte allerdings nicht anhand eines entsprechend höheren Messwertes verdeutlicht werden. Die Erhöhung des Druckes in der letzten Druckstufe im 3. Versuch zeigte keine positiven Auswirkungen. Anhand der in Hauptversuchsreihe 4 gemessenen Werte wurden letztendlich die Parameter zur Herstellung eines optimalen Lupinentofus im Verhältnis 70:30 festgelegt (siehe Tabelle 26).

Tabelle 25: Einfluss der Einrührzeit der Koagulantien und des Pressschemas auf die Festigkeit

Versuch	Dauer Einrühren	Pressschema	Maximalkraft in N	Standardabweichung
1	Normal (ca. 1min)	1	0,52	6,40
2	Langsam (ca. 5 min)	1	0,88	7,00
3	Langsam (ca. 5 min)	2	0,68	16,10

Tabelle 26: Parameter zur Herstellung eines optimalen Lupinentofus im Verhältnis 70:30

C _{Nigari} in % der Rohbohnen	3,00
C _{Calciumsulfat} in % der Milch	0,27
Koagulationstemperatur in °C	85,00
Dauer einrühren in min	5,00
Milchmenge in g	800,00
Bohnen-, Wasserverhältnis	1:10

4.2.2 Farbmessung

Die Tabellen 27-30 stellen die Farbmesswerte der Hauptversuche dar. Die Messwerte der 1. Hauptversuchsreihe lassen mit steigender Konzentration der Gelbildner keinen Trend der Farbwerte erkennen (siehe Tabelle 27). Auch in den Texturmessungen verhielten sich die Messwerte ähnlich. Die Abweichungen zwischen den einzelnen Versuchen könnten vielmehr durch eine leichte Inhomogenität der Proben verursacht worden sein. Die Messwerte der 2. Hauptversuchsreihe zeigen sehr konstante Helligkeitswerte bei steigender Koagulationstemperatur, wohingegen die Grün- und Gelbwerte ohne ersichtlichen Zusammenhang schwanken (siehe Tabelle 28). Bei Erhöhung der Temperatur von 75 auf 80 °C steigen sowohl die a^{*}-, als auch b^{*}-Werte, während sie bei einer Temperaturerhöhung auf 85°C wieder absinken.

Tabelle 27: Einfluss der Konzentration von Nigari und Calciumsulfat auf die Farbe

Probe	C _{Nigari} in % der Rohbohnen	C _{Calciumsulfat} in % der Milch	L*	a*	b*
1	3,00	0,30	79,57	-0,80	24,56
2	3,00	0,50	80,07	-0,86	22,80
3	5,00	0,30	79,75	-0,81	22,74
4	5,00	0,50	79,56	-0,76	23,30

Tabelle 28: Einfluss der Koagulationstemperatur auf die Farbe

Probe	Koagulationstemperatur in °C	L*	a*	b*
1	75	79,70	-0,91	23,84
2	80	79,70	-1,09	24,50
3	85	79,74	-0,71	24,25

Tabelle 29 zeigt die Auswirkung des Bohnen-Wasserverhältnisses auf die Farbe. Es ist ein Rückgang der Messwerte mit steigendem Bohnen-Wasserverhältnis erkennbar. Die L^{*}- Werte sinken mit steigendem Bohnen-Wasserverhältnis von 80,58 auf 80,00. Auch die Grün- bzw. Gelbwerte sinken von -1,51 auf -0,97 bzw. 23,54 auf 21,98. Die Farbwerte der 4. Hauptversuchsreihe sind in Tabelle 30 dargestellt. Die sinken Helligkeitswerte in absteigender Reihenfolge der Versuchsreihe. Die a^{*}-, und b^{*}-Werte hingegen steigen und fallen ohne erkennbaren Zusammenhang. Eine Auswirkung des höheren Druckes in der 3. Presstufe im Vergleich zu Versuch 1 und 2 lässt sich aus den ermittelten Daten nicht erkennen. Vergleicht man jedoch die L^{*}-, und a^{*}-Werte des 1. Versuchs mit denen aus Versuch 2 und 3, lässt sich erkennen, dass die Werte des 1. Versuchs höher liegen als die der andern beiden Versuche.

Tabelle 29: Einfluss des Bohnen-Wasserverhältnisses auf die Farbe

Probe	Bohnen-, Wasserverhältnis	L*	a*	b*
1	1:9	80,58	-1,51	23,54
2	1:10	80,40	-1,20	22,50
3	1:11	80,00	-0,97	21,98

Tabelle 30: Einfluss der Einrührzeit der Koagulantien und des Pressschemas auf die Farbe

Probe	Dauer Einrühren	Pressschema	L*	a*	b*
1	Normal (ca. 1min)	1	81,62	-1,13	23,69
2	Langsam (ca. 5 min)	1	80,68	-0,86	24,22
3	Langsam (ca. 5 min)	2	80,63	-0,90	23,70

4.2.3 Trockensubstanz

Die Tabellen 31-34 zeigen die Tofuausbeute, anfallende Molke (bezogen auf die Milchmenge) und die jeweilige Trockensubstanz der 4 Hauptversuchsreihen. Tabelle 31 zeigt den Einfluss der Konzentration der Gerinnungsmittel auf die entsprechenden Parameter. Die Tofuausbeute schwankt zwischen 18,85 und 20,19%, die Trockensubstanz zwischen 19,04 und 20,66%. Noch konstantere Werte liefert der Molkeanteil. Dieser lag zwischen 73,04 und 73,74%. Die Werte lassen keinen Zusammenhang zwischen der Konzentrationsänderung und der entsprechenden Tofuausbeute erkennen. In Tabelle 32 ist die Auswirkung der Koagulationstemperatur auf die Ausbeute, den Molkeanteil und die Trockensubstanz dargestellt. Die Tofuausbeute schwankte hier zwischen 19,15 und 20,52%, Molkeanteil und Trockensubstanz zwischen 69,87 und 70,99% bzw. 19,21 und 21,53%. Es ist kein eindeutiger Zusammenhang zwischen einer steigenden Koagulationstemperatur und den ermittelten Werten zu erkennen.

Tabelle 31: Einfluss der Konzentration von Nigari und Calciumsulfat auf Tofuausbeute, Molkeanteil und Trockensubstanz

Probe	C _{Nigari} in % (Rohbohnen)	C _{Calciumsulfat} in % (Milch)	Tofu in %	Molke in %	TS Tofu in %
1	3,00	0,30	20,19	73,19	19,04
2	3,00	0,50	18,85	73,39	20,66
3	5,00	0,30	19,07	73,74	19,69
4	5,00	0,50	19,34	73,04	20,58

Tabelle 32: Einfluss der Koagulationstemperatur auf Tofuausbeute, Molkeanteil und Trockensubstanz

Probe	Koagulationstemperatur in °C	Tofu in %	Molke in %	TS Tofu in %
1	75	20,25	70,76	21,53
2	80	20,52	69,87	19,21
3	85	19,15	70,99	20,29

Tabelle 33 zeigt die Ergebnisse der 3. Hauptversuchsreihe. Die Auswirkungen der unterschiedlichen Bohnen-Wasserverhältnisse sind hier relativ deutlich zu erkennen. Die Tofuausbeute nimmt mit einem steigenden Bohnen-Wasserverhältnis ab, parallel dazu steigt der Molkeanteil. Die gemessene Trockensubstanz der Proben schwankt zwischen 18,12 und 19,57%. In Tabelle 34 sind die Ergebnisse der 4. Hauptversuchsreihe dargestellt. Auffällig ist hier entlang der Versuchsreihe eine relativ deutliche Zunahme des Molkeanteils, während sich die Tofuausbeute kaum verändert. Die Trockensubstanz schwankt ohne erkennbaren Zusammenhang zur anfallenden Molke zwischen 19,14 und 20,89%. Auch die konstanten Werte der Tofuausbeute lassen sich im Hinblick auf den zunehmenden Molkeanteil nicht logisch erklären.

Tabelle 33: Einfluss des Bohnen-Wasserverhältnisses auf Tofuausbeute, Molkeanteil und Trockensubstanz

Probe	Bohnen-, Wasserverhältnis	Tofu in %	Molke in %	TS Tofu in %
1	1:9	23,59	63,00	18,12
2	1:10	19,36	70,69	19,57
3	1:11	16,14	73,99	18,46

Tabelle 34: Einfluss der Einrührzeit der Koagulantien auf Tofuausbeute, Molkeanteil und Trockensubstanz

Probe	Dauer Einrühren	Pressschema	Tofu in %	Molke in %	TS Tofu in %
1	Normal (ca. 1min)	1	19,85	63,89	20,19
2	Langsam (ca. 5 min)	1	18,35	68,87	20,89
3	Langsam (ca. 5 min)	2	18,39	72,09	19,14

4.2.4 Massebilanz

Tabelle 35 zeigt die Massebilanz zur Herstellung eines Tofus aus 800 g Milch im Verhältnis 70:30 mit optimalen Versuchsparametern. Die Proteingehalte der Samen wurden über die Proteingehalte von Okara und Soja-, bzw. Lupinenmilch zurückgerechnet und sind daher als Schätzwerte zu betrachten. Bei der Herstellung der Slurrys entstanden durch Umfüllen geringe Verluste zwischen 1,42 und 2,87%. Bedeutend höhere Verluste entstanden durch die Trennung der flüssigen Phasen von den Feststoffbestandteilen. Der Verlust betrug hier rund 20%, lag allerdings bei den Lupinensamen höher als bei den Sojabohnen. Die TofuAusbeute aus 800g Milch betrug lediglich 17,85%. Nimmt man eine Hochrechnung der gewonnenen Tofumenge (143,93g) auf die Gesamte erzeugte Milchmenge (2037,78g) vor, erhält man eine theoretische Ausbeute von 366,62g. Setzt man diesen Wert mit der gesamten eingesetzten Rohstoffmenge ins Verhältnis, erhält man eine Ausbeute von 13,3%. Somit ergibt sich ein Gesamtverlust von 86,7%.

Tabelle 35: Massebilanz für die Herstellung eines Tofus aus 800g Milch

	Rohstoff	Menge in g	Menge in %	TS in %	Proteingehalt in %
Input 1	Sojabohnen (roh)	126,58	9,09	94,82	38,20
	Wasser	1265,80	90,91	0,01	0
Output 1 soll	Slurry	1392,38	100,00	8,63	3,47
Output 1 ist	Slurry	1352,47	97,13	8,63	3,47
	Verlust	39,91	2,87	-	-
	Okara	255,16	18,87	15,37	5,21
	Milch	1048,36	77,51	6,64	3,21
	Verlust	48,95	3,62	-	-
Input 2	Lupinensamen (roh)	123,96	9,09	92,79	31,00
	Wasser	1239,60	90,91	0,01	0
Output 2 soll	Slurry	1363,56	100,00	8,44	2,82
Output 2 ist	Slurry	1344,13	98,58	8,44	2,82
	Verlust	19,43	1,42	-	-
	Okara	281,18	20,92	17,70	2,11
	Milch	989,42	73,61	5,33	3,23
	Verlust	73,53	5,47	-	-
Input 3	Sojamilch	240,38	29,81	6,64	3,21
	Lupinenmilch	560,74	69,55	5,33	3,23
	Nigari	2,97	0,37	0	0
	Calciumsulfat	2,16	0,27	0	0
Output 3	Gesamt	806,25	100,00	5,69	3,20
	Tofu	143,93	17,85	21,40	13,88
	Molke	572,56	71,02	2,80	1,05
	Verlust	89,76	11,13	-	-

4.2.5 Sensorik

Die sensorische Verkostung des Lupinentofus und des Referenzproduktes (Sojatofu) fand im Biomarkt Neubrandenburg mit ungeschulten Prüfern statt. Abbildung 5 zeigt die Altersspanne der Teilnehmer des Verbrauchertests. Insgesamt nahmen 39 Personen an der Befragung teil, darunter 15 Männer und 24 Frauen. Über 40% der Teilnehmer waren zwischen 25 und 40 Jahren alt. Unter allen Teilnehmern gaben 23% an Vegetarier zu sein, 77% gaben an generell Tofu zu verzehren, wobei die Häufigkeit hier nicht erfragt wurde.

Tabelle 36 zeigt die Ergebnisse des Verbrauchertests (Gesamtbeliebtheit). Es ist zu erkennen, dass das Referenzprodukt mehr Nennungen im „Gefallen“ Bereich erhielt als der Lupinentofu. Der Sojatou erhielt insgesamt 69,23% der Stimmen im „Gefallen“ Bereich, sowie 17,95% im Bereich „Missfallen“. 12,82% der Befragten bewerteten das Produkt neutral. Der Lupinentofu erhielt insgesamt nur 58,97% im „Gefallen“ Bereich und 23,08% im Bereich „Missfallen“. 17,95% bewerteten den Lupinentofu neutral. Anhand der Daten ist zu erkennen, dass der Lupinentofu auf eine geringere Akzeptanz unter den Teilnehmern stößt als das Referenzprodukt. In Bezug auf den Geschmack gingen die Äußerungen der Teilnehmer teils weit auseinander. Häufig wurde der Geschmack des Sojatofus als intensiver und besser beschrieben, was damit zu begründen ist, dass es sich hierbei um ein bekanntes, vertrautes Produkt handelte. Teilweise wurde allerdings auch der Sojatofu als zu bitter empfunden, während die jeweiligen Teilnehmer den Lupinentofu gleichzeitig als vollmundiger und aromatischer beschrieben.

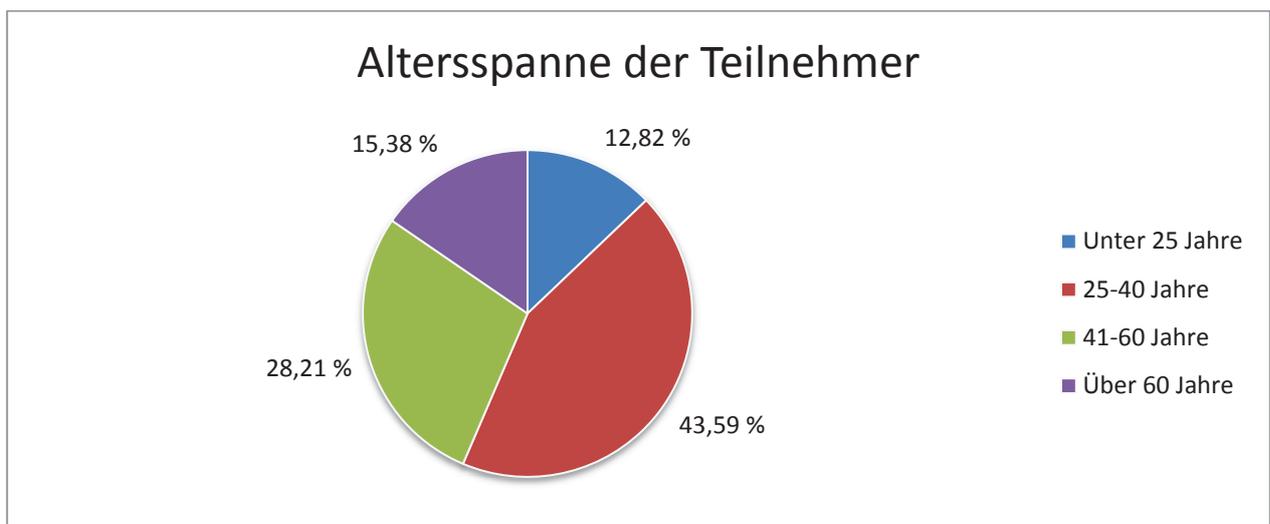


Abbildung 5: Altersspanne der Teilnehmer des Verbrauchertests

Tabelle 36: Gesamtbekanntheit der Produkte des Verbrauchertests

Note	Sojatofu (Sojafood GmbH)			Lupinentofu		
	Anzahl der Nennungen	%	Gesamt in %	Anzahl der Nennungen	%	Gesamt in %
9	1	2,56	69,23	1	2,56	58,97
8	9	23,08		8	20,51	
7	13	33,33		6	15,38	
6	4	10,26		8	20,51	
5	5	12,82	12,82	7	17,95	17,95
4	3	7,69	17,95	5	12,82	23,08
3	1	2,56		2	5,13	
2	2	5,13		1	2,56	
1	1	2,56		1	2,56	
Gesamt	39	100		39	100	

Da es sich bei Tofu um ein sehr spezielles Produkt handelt wurde im Rahmen des Verbrauchertests zusätzlich analysiert, wie die Produkte von jenen Verbrauchern bewertet werden, welche mit dem Verzehr von Tofu vertraut sind. Abbildung 6 zeigt die Altersspanne der Teilnehmer. Unter den insgesamt 30 Befragten, welche angaben, prinzipiell Tofu zu verzehren, befanden sich 12 Männer und 18 Frauen. Davon waren über 45% im Alter zwischen 25 und 40 Jahren. Lediglich 30% der Tofu verzehrenden Teilnehmer gaben an Vegetarier zu sein. Tabelle 37 zeigt die Ergebnisse der Datenanalyse. Der Sojatofu erhielt hier 70% der Stimmen im „Gefallen“ Bereich und 16,67% im Bereich „Missfallen“. 13,33% bewerteten das Produkt neutral. Der Lupinentofu erhielt 63,33% der Stimmen im „Gefallen“ Bereich und 20% im Bereich „Missfallen“. Rund 18% bewerteten das Produkt neutral.

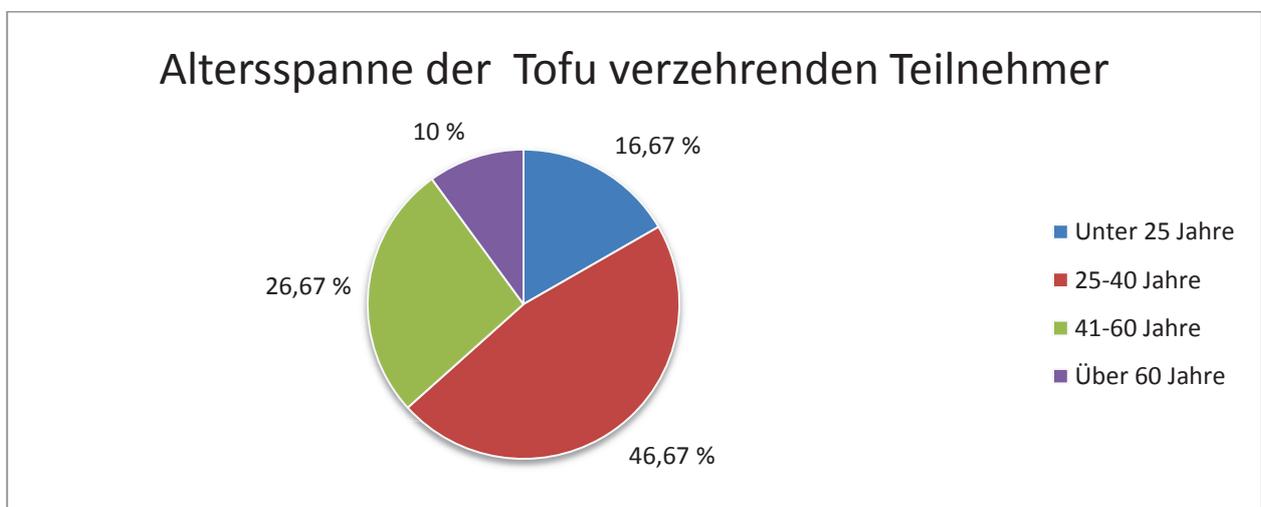


Abbildung 6: Altersspanne der Tofu verzehrenden Teilnehmer des Verbrauchertests

Tabelle 37: Produktbeliebtheit der Tofu verzehrenden Teilnehmer des Verbrauchertests

Note	Sojatofu (Sojafood GmbH)			Lupinentofu		
	Anzahl der Nennungen	%	Gesamt in %	Anzahl der Nennungen	%	Gesamt in %
9	1	3,33	70,00	1	3,33	63,33
8	9	30,00		8	26,67	
7	10	33,33		4	13,33	
6	1	3,33		6	20,00	
5	4	13,33	13,33	5	16,67	16,67
4	3	10,00	16,67	5	16,67	20,00
3	1	3,33		1	3,33	
2	1	3,33		-	-	
1	-	-		-	-	
Gesamt	30	100		30	100	

4.3 Abschlussdiskussion

Bei der Entwicklung des Produktes wurden relativ schnell Unterschiede zwischen den beiden Hülsenfrüchten deutlich, woraus einige erforderliche Änderungen bei der Herstellung des Lupinentofus resultierten. Bereits beim Einweichen zeigte sich, dass die Wasseraufnahme der Lupinensamen allgemein höher war als die der Sojabohnen. Beim Vermahlen zeigte sich darüber hinaus, dass eine Reduktion der Mahltemperatur zu einem verbesserten Abpressen der Milch und damit auch zu entsprechenden Refraktionswerten führt. Eine Erhöhung des pH-Wertes auf 8,5 im Lupinenslurry sollte zusätzlich die Löslichkeit der Proteine erhöhen. Die Refraktionswerte des Lupinenslurrys und der Milch lagen trotz den umgesetzten Verbesserungen in allen Versuchen unter denen der Sojamilch (vgl. Kapitel 4.1). Gründe für die Unterschiede im Mahlverhalten der beiden Hülsenfrüchte könnten u.a. der höhere Anteil der Samenschale von Lupinen sein. Weiterhin könnten die hohen Mahltemperaturen zu einem zu starken Quellen der Lupinensamen und somit zu einem erschwerten Abpressen geführt haben, wodurch möglicherweise weniger Proteine in die Milch gelangten.

Die Variation der Verhältnisse zwischen Soja- und Lupinenmilch zeigte, dass mit zunehmendem Lupinenanteil auch die Festigkeit des Tofus abnimmt. Der Vergleich der Festigkeit verschiedener Proben mit gleichem Lupinenanteil zeigte jedoch ebenfalls deutliche Schwankungen. Auch innerhalb einzelner Proben traten Schwankungen in der Festigkeit auf. Es lässt sich also Schlussfolgern, dass zwar die Festigkeit mit steigendem Lupinenanteil allgemein abnimmt, jedoch die letztendliche Festigkeit bei einem bestimmten Verhältnis abhängig von

weiteren äußeren Einflüssen ist. In der verwendeten Literatur werden bei steigendem Lupinenanteil keine signifikanten Unterschiede in der Festigkeit deutlich (vgl. Jayasena et al., 2010). Die unterschiedlichen Verhältnisse von Soja- und Lupinenmilch wirkten sich auch auf die Farbe des Tofus aus. Für reinen Sojatofu wurde ein Gelbwert von 17,83 gemessen, bei einem Verhältnis von 50:50 lag der Wert bei 21,39. Die Werte liegen somit höher als in der verwendeten Literatur beschrieben (vgl. Jayasena et al., 2010). Dies könnte u.a. mit der Auswahl der Rohware begründet werden, da sowohl von Soja-, als auch Lupinenpflanzen viele verschiedene Arten mit unterschiedlichem Gehalt der jeweiligen Inhaltsstoffe existieren (vgl. Ternes et al., 2005). Inwieweit jedoch die wahrnehmbare Farbveränderung die Akzeptanz des Verbrauchers beeinflusst, müsste in einer darauf ausgerichteten Sensorik überprüft werden. In der Literatur führte ein Lupinenanteil von bis zu 40% zu keinen signifikanten Unterschieden in der Verbraucherakzeptanz (vgl. Jayasena et al., 2010). Bei Betrachtung der Trockensubstanz konnte beobachtet werden, dass diese mit zunehmendem Lupinenanteil abnimmt. Gleiche Beobachtungen finden sich auch in der verwendeten Literatur wieder (vgl. Jayasena et al., 2010). Dies würde bedeuten, dass mit zunehmendem Lupinenanteil auch das Wasserhaltevermögen des Tofus steigt, wodurch sich die geringere Festigkeit erklären ließe. Bei dieser Betrachtung ist allerdings anzumerken, dass es sich bei den angegebenen Werten jeweils um Mittelwerte einer Doppelbestimmung handelt, deren Einzelwerte teils eine größere Abweichung voneinander zeigten (Siehe Anhang Nr. 10.2.3). Darüber hinaus konnte diese Behauptung durch die verwendete Literatur nicht bestätigt werden (vgl. Jayasena et al., 2010). Die Hauptversuche wurden mit einem Lupinen-Sojaverhältnis von 70:30 durchgeführt. Variierte Parameter waren die Konzentration der Gelbildner, die Koagulationstemperatur, sowie das Bohnen-Wasserverhältnis und die Dauer des Einrührens bei der Zugabe der Koagulantien. Anhand der Daten war nicht erkennbar, dass eine Konzentrationsänderung der Gelbildner die Festigkeit beeinflusst. Auch die Farbwerte ließen mit steigender Konzentration der Gelbildner keinen Trend erkennen (vgl. Tabelle 27). Bei der Ausbeute und Trockensubstanz verhielten sich die Messwerte ähnlich (vgl. Tabelle 31). Die Abweichungen zwischen den einzelnen Versuchen könnten hier vielmehr durch eine leichte Inhomogenität der Proben verursacht worden sein. Auch geringe Abweichungen beim Zusammenstellen der Lupinen-Sojamilch könnten der Grund für die Schwankenden Messwerte sein. In der verwendeten Literatur hatte die unterschiedliche Konzentration der Gelbildner ebenfalls keinen signifikanten Einfluss auf die Textur, Farbe, Ausbeute und Trockensubstanz der Proben (vgl. Jayasena et al., 2014).

In der 2. Hauptversuchsreihe wurde die Koagulationstemperatur variiert. Die Ergebnisse sind jedoch kritisch zu betrachten, da sich ein genaues Einstellen und Halten der Temperatur aufgrund des Heizmediums (Ceranplatte) schwierig gestaltete. Im Hinblick auf die Textur zeigte sich, dass erst eine Temperaturerhöhung auf 85°C zu einer höheren Festigkeit führte. In der verwendeten Literatur nimmt die Festigkeit der Sojaproteingele ab 70°C stark zu und erreicht ihr Maximum bei ca. 80°C. (vgl. Cheftel et al., 1992). Ein Grund für die, bei 85°C, erreichte höhere Festigkeit könnte die Denaturierungstemperatur der 7S-Globuline sein, welche bei Lupinen ca. 10K höher liegt als bei Sojabohnen (vgl. Sousa et al., 1995). Die Farbmessung der 2. Hauptversuchsreihe zeigte sehr konstante Helligkeitswerte bei steigender Koagulationstemperatur. Dabei schwankten die Grün-, und Gelbwerte ohne ersichtlichen Zusammenhang (vgl. Tabelle 28). Die Schwankungen könnten durch geringe Verhältnisabweichungen bei der Zusammenstellung der Lupinen-, Sojamilch verursacht worden sein. Eine weitere Ursache könnte die erwähnte Ungenauigkeit beim Einstellen und Halten der Koagulationstemperatur sein. Die Variation der Koagulationstemperatur hatte nur einen geringen Einfluss auf die Tofuausbeute sowie auf den Molkeanteil und die Trockensubstanz (vgl. Tabelle 32). Anhand der Werte lässt sich vermuten, dass die Koagulationstemperatur im untersuchten Bereich keine Auswirkungen auf diese Parameter hat.

In der 3. Hauptversuchsreihe wurde das Bohnen-Wasserverhältnisses variiert und die Auswirkungen dokumentiert. Laut der verwendeten Literatur nimmt die Festigkeit des Tofus mit einem steigenden Bohnen-Wasserverhältnis zu, wobei ein Verhältnis von 1:10 als ideal für festen Tofu gilt (vgl. Shurtleff, 2000). Bei der Texturanalyse wurde in der 3. Hauptversuchsreihe wurde unter allen Versuchsreihen die geringste Festigkeit gemessen (vgl. Tabelle 24). Ursache könnte die vergleichsweise hohe Temperatur beim Messen der Proben sein (vgl. Anhang Nr. 10.3.1). Auch eine falsche Temperaturführung beim Koagulieren sowie Fehler bei der späteren Molkeabtrennung kommen als Ursache in Frage. Die Aussagen der Literatur konnten in den Versuchen nur teilweise bestätigt werden. Zwar nahm die Festigkeit des Tofus bei einem Verhältnis von 1:10 zu, fiel jedoch bei einem Verhältnis von 1:11 wieder nahe an den Wert der 1. Probe (1:9).

Die Farbmessungen der 3. Hauptversuchsreihe zeigten einen Rückgang der Messwerte mit steigendem Bohnen-Wasserverhältnis. Bei paralleler Betrachtung der gemessenen Trockensubstanz, welche nur geringfügig schwankte und einer gleichzeitig abnehmenden Tofuausbeute (vgl. Tab. 32), ist von einer Abnahme des Wasserhaltevermögens mit steigendem Bohnen-Wasserverhältnis auszugehen. Es könnte daher angenommen werden, dass durch den steigenden Molkeanteil mehr Farbpigmente in die Molke übergehen, was zum Absinken der Farbwerte führt. Die Auswirkungen der unterschiedlichen Bohnen-Wasserverhältnisse auf Ausbeute, Molkeanteil und Trockensubstanz waren relativ deutlich zu erkennen. Die Tofuausbeute nahm mit steigendem Bohnen-Wasserverhältnis ab, während parallel dazu der Molkeanteil stieg. Diese Beobachtungen wurden auch in der verwendeten Literatur beschrieben (vgl. Shurtleff, 2000). Da die Trockensubstanz nicht wesentlich von der Änderung des Wasserverhältnisses beeinflusst wurde könnte man von einem sinkenden Wasserhaltevermögen mit steigendem Bohnen-Wasserverhältnis ausgehen.

In der 4. Hauptversuchsreihe konnte gezeigt werden, dass das langsame Einrühren der Koagulantien einen wesentlichen Einfluss auf die Festigkeit hat, da hier unter allen hergestellten Tofuprodukten die höchste Festigkeit gemessen wurde. Damit konnten auch die Literaturangaben bestätigt werden, in denen die Dauer der Konzentrationserhöhung Ausbeute und Festigkeit des Tofus positiv beeinflusst (vgl. Shurtleff, 2000). Eine Beeinflussung der Farbe ließ sich nicht eindeutig erkennen. Auch die Trockensubstanz wurde durch das langsame Einrühren nicht wesentlich beeinflusst. Die zunehmende Molkemenge lässt sich durch eine verbesserte Agglomeration der Proteine erklären, wodurch weniger Molke eingeschlossen wird. Eine logische Erklärung für die gleichbleibende Tofuausbeute lässt sich nicht finden.

Betrachtet man die Texturmessungen der Versuche im Überblick, stößt man sowohl innerhalb einzelner Proben, als auch zwischen den Versuchsreihen häufig auf relativ starke Schwankungen bei gleichen Voraussetzungen. Nachdem Unterschiede in der Rohstoffqualität bereits vernachlässigt werden konnten und auch das Herstellungsverfahren der Milch aufgrund konstanter Refraktionswerte ausscheidet, sind die Ursachen in den weiteren Verfahrensschritten zu suchen. Ein wesentlicher Grund für die schwankenden Werte könnte wie bereits erwähnt die Koagulationstemperatur sein. Eine Lösung dieses Problems wäre die Durchführung der Koagulation im Wasserbad um die Temperaturführung besser steuern zu können.

Eine weitere Ursache stellt das Einrühren der Koagulantien dar, was stets manuell und ohne genaue Zeiterfassung erfolgte. Die Einhaltung fester Einrührzeiten sowie eine präzise Dosierung der Koagulantien durch beispielsweise Pipetten könnte den Koagulationsprozess wesentlich verbessern. Als weitere mögliche Ursache ist außerdem noch der Trennprozess von Bohnenquark und Molke zu nennen, da auch dieser stets manuell mittels Ausstreichen auf einem Sieb erfolgte. Eine mögliche Verbesserung wäre auch hier das Einhalten genauer Zeiten beim Molkeabfluss. Die teilweise hohen Standardabweichungen bei der Texturmessung einzelner Proben lassen auf deren Inhomogenität schließen. Verantwortlich dafür könnte der ebenfalls manuell durchgeführte Pressvorgang sein. Dies führte vermutlich dazu, dass die Effizienz der Massestücke an einigen Stellen der Probe höher war als an anderen.

Abbildung 7 zeigt abschließend den Vergleich der Festigkeit eines Referenzproduktes aus dem Einzelhandel mit den im Labor hergestellten Produkten. Bei dem Referenzprodukt handelte es sich um Bio Tofu der Firma Soja Food GmbH. Die Grafik zeigt, dass das Referenzprodukt eine deutlich höhere Festigkeit als die der Laborprodukte aufweist. Ursachen liegen höchstwahrscheinlich in einem optimierten Herstellungsprozess. Die Grafik zeigt weiterhin, dass für den Lupinentofu eine höhere Festigkeit erreicht werden konnte als für Sojatofu. Aufgrund der diskutierten Schwankungen innerhalb der einzelnen Proben und zwischen den Versuchsreihen ist das erzielte Ergebnis jedoch kritisch zu betrachten. Auch die übrigen Ergebnisse der Texturanalyse sind kritisch zu betrachten. Zwar ließ sich durch die Versuche aufzeigen, dass die Änderung bestimmter Parameter und Verhältnisse eine Auswirkung auf die Festigkeit des Produktes haben, jedoch kann keine Zuordnung einer definierten Festigkeit für bestimmte Herstellungsparameter getroffen werden.

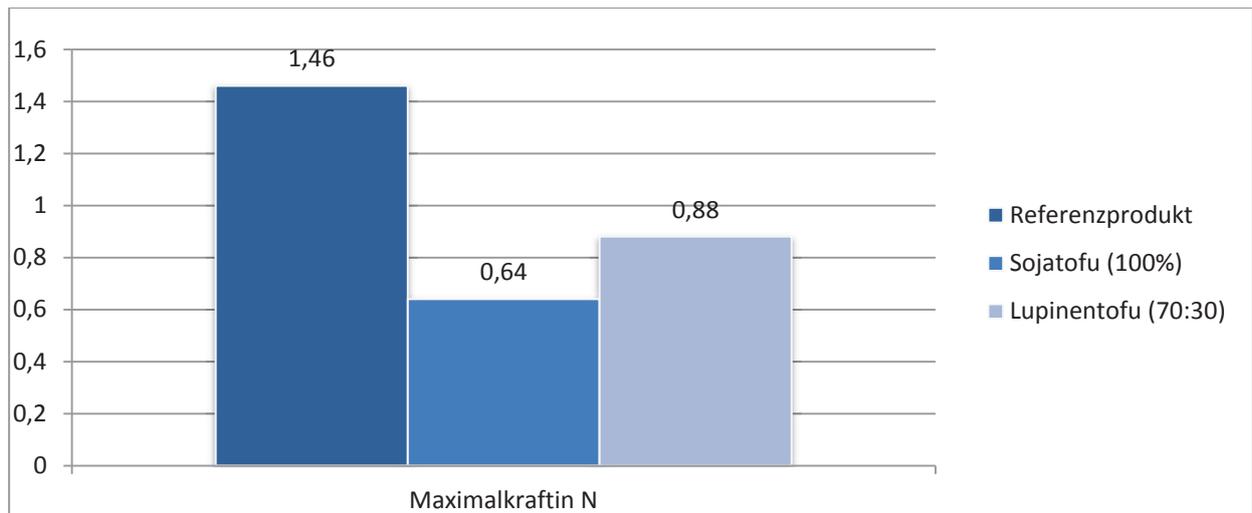


Abbildung 7: Vergleich der Festigkeit von Soja-, und Lupinentofu mit einem Referenzprodukt

Betrachtet man die Farbmessungen abschließend noch einmal zusammengefasst lässt sich sagen, dass die Änderung bestimmter Parameter durchaus eine Auswirkung auf die Farbe des Produktes hat. Insbesondere ist hier das Soja-Lupinenverhältnis zu nennen. Die in den Hauptversuchen variierten Parameter zeigten jedoch häufig nur sehr geringe Änderungen der Messwerte. Inwieweit diese Farbveränderungen letztendlich vom Verbraucher wahrgenommen werden, müsste in weiteren Untersuchungen unter Einbeziehung einer darauf ausgerichteten Sensorik geprüft werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die in den Hauptversuchen gemessenen Farbveränderungen vom Verbraucher unbemerkt bleiben würden.

Bei einer abschließenden Betrachtung der Tofuausbeute und der Trockensubstanz, sowie der anfallenden Molkemenge, ist in den Hauptversuchen vor allem das Bohnen-Wasserverhältnis zu nennen. Dies hatte einen deutlichen Einfluss auf die Tofuausbeute und die anfallende Molkemenge, während die Koagulationstemperatur und die Konzentration der Koagulantien keinen wesentlichen Einfluss auf die Tofuausbeute und Molkemenge erkennen ließen. Bei Betrachtung der Trockensubstanz aller Proben, welche in den Hauptversuchen untersucht wurden, stellt man fest, dass die Werte relativ nahe beieinander liegen. Daraus könnte man Schlussfolgern, dass die variierten Parameter sich nicht wesentlich auf die Trockensubstanz auswirken. Betrachtet man parallel zur relativ konstanten Trockensubstanz die schwankende Tofuausbeute (z.B. Tab 33) lässt sich vermuten, dass sich eine Änderung der variierten Parameter lediglich auf das Wasserhaltevermögen des Produktes auswirkt. Aufgrund der schon mehrfach erwähnten Schwierigkeiten bei Temperaturführung und der Zugabe der Koagulationsmittel sind jedoch auch die hier erhaltenen Messwerte kritisch zu betrachten.

Die aufgestellte Massebilanz diente zur Darstellung der Mengenverhältnisse zwischen den eingesetzten Rohstoffen und dem erhaltenen Endprodukt. Der Proteingehalt der Sojabohnen ist vergleichbar mit den Literaturwerten, während der Proteingehalt der Lupinensamen darunter liegt (vgl. Ternes et al., 2006). Die größere Menge an anfallendem Lupinenokara im Vergleich zum Sojaokara lässt sich dadurch erklären, dass sich die Lupinenmilch schlechter abpressen lässt, wodurch mehr Wasser im Okara verblieb. Aufgrund dieser Tatsache lässt sich die gemessene höhere Trockensubstanz des Lupinenokara nur mit Messungenauigkeiten erklären, da die Trockensubstanz bei höherem Wassergehalt eigentlich sinken müsste. Der Trockensubstanzgehalt des Okara lag sowohl bei den Lupinen als auch bei den Sojabohnen unterhalb der Literaturwerte. Dies liegt wahrscheinlich am manuellen Auspressen (vgl. Shurtleff, 2000). Der aus der errechneten Ausbeute resultierende Gesamtverlust von 86,7%, könnte zunächst durch ein verbessertes Auspressen des Okara verringert werden. Darüber hinaus könnte die Proteinausbeute durch Auswaschen des Okaras erhöht werden. Außerdem könnte die Dauer erhöht werden bei der die Zugabe der Koagulationsmittel erfolgt, da eine langsame Zugabe die Ausbeute und Festigkeit des Tofus verbessert (vgl. Shurtleff, 2000).

Der durchgeführte Verbrauchertest diente dazu die Akzeptanz des Entwickelten Lupinentofus beim Verbraucher zu Erfragen. Es war zu erkennen, dass das Referenzprodukt mehr Nennungen im „Gefallen“ Bereich und weniger im Bereich „Missfallen“ erhielt als der Lupinentofu. In Bezug auf den Geschmack gingen die Äußerungen der Teilnehmer teils weit auseinander. Sowohl der Lupinen-, als auch der Sojatofu erhielten hier gleichermaßen positive und negative Kritik. In Bezug auf die Konsistenz wurde der Lupinentofu häufig negativ kritisiert, was als mögliche Ursache für dessen schlechtere Bewertung sehr wahrscheinlich ist. Damit konnte gezeigt werden, dass der in Abbildung 6 dargestellte Unterschied in der Festigkeit der Produkte auch vom Verbraucher wahrnehmbar ist (vgl. 4.2.1).

Eine separate Analyse der Tofu verzehrenden Teilnehmer ergab sowohl eine geringe prozentuale Steigerung im Bereich „Gefallen“, als auch eine geringe Abnahme im „Missfallen“ Bereich für beide Produkte. Dies lässt sich mit der bereits erwähnten Spezifität des Produktes „Tofu“ begründen. Die nur geringfügige prozentuale Schwankung zwischen beiden Analysen lässt sich dadurch erklären, dass es sich bei rund 77% aller Teilnehmer des Verbrauchertests um Personen handelte, welche mit dem Verzehr von Tofuprodukten vertraut waren.

Betrachtet man die Durchführung und Ergebnisse des Verbrauchertests noch einmal im Überblick, lässt sich folgende Aussage treffen. Beide Produkte können nicht als „Beliebt“ eingestuft werden, da in den durchgeführten Analysen bei keinem Produkt die erforderliche Anzahl der Stimmen von 80% im Bereich „Gefallen“ erreicht wurde. Dies ist damit zu begründen, dass beide Produkte als Rohware ohne jegliche Art der Zubereitung gereicht wurden. Der Verzehr von Tofu erfolgt beim Verbraucher meist in Form von gegarten oder marinierten Produkten. Darüber hinaus war relativ eindeutig die geringere Akzeptanz des Lupinentofus im Vergleich zum Sojatofu erkennbar, was wahrscheinlich auf die weichere Konsistenz zurückzuführen ist. Weiterhin ist der Test als nicht repräsentativ zu betrachten, da die erforderliche Mindestanzahl von 60 Teilnehmern nicht erreicht wurde. Bei der Wahl des Ortes für die Durchführung muss zwischen einer allgemeinen Beliebtheit und einer Beliebtheit unter „Tofuessern“ unterschieden werden. Da es sich hier um einen Biomarkt handelte war davon auszugehen, dass eine große Anzahl an Teilnehmern mit dem Verzehr von Tofuprodukten vertraut ist, und sich dies in der Bewertung widerspiegelt. Eine Befragung an einem neutralen Ort (z.B. Mensa) wäre für eine allgemeine Verbraucherumfrage sinnvoller gewesen. Für die Überprüfung der Akzeptanz von Tofuprodukten ist die Wahl des Prüfortes allerdings als bevorzugt anzusehen. Aus den Ergebnissen des Verbrauchertests lässt sich weiterhin schlussfolgern, dass es sich bei dem entwickelten Lupinentofu durchaus um ein zukunftsorientiertes Produkt handeln könnte. In weiteren Versuchen müsste die Konsistenz verbessert und weitere sensorische Untersuchungen durchgeführt werden, um die Fortschritte deutlich zu machen.

5 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es nach aktuellem Stand von Wissenschaft und Technik ein tofuähnliches Produkt auf der Basis von Lupinensamen zu entwickeln. Zunächst wurde überprüft, ob sich das klassische Tofuverfahren auf die Lupinensamen anwenden lässt. Erforderliche Änderungen wurden dokumentiert und in die weitere Versuchsdurchführung aufgenommen. Im weiteren Verlauf wurde der Anteil an Lupinensamen variiert um zu ermitteln, inwieweit sich die Sojabohne durch Lupinensamen ersetzen lässt. Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen wurde in weiteren Versuchen die Konzentration der Gerinnungsmittel, die Koagulationstemperatur und das Bohnen-Wasserverhältnis variiert. Begleitend kamen als analytische Untersuchungen die Texturmessung, sowie die Farbmessung und Bestimmung der Trockensubstanz zur Anwendung. Anhand der Messergebnisse wurden letztendlich die Parameter zur Herstellung eines optimalen Lupinentofus festgelegt. Zum Aufstellen einer Massebilanz erfolgte zusätzlich noch die Bestimmung des Rohproteingehaltes vom Endprodukt sowie dessen Nebenprodukten. Eine Beliebtheitsprüfung sollte abschließend die Akzeptanz des Produktes beim Verbraucher im Vergleich zu herkömmlichem Sojatofu darstellen.

Die Versuche zeigten zunächst, dass die Herstellung der Lupinenmilch nicht analog zur Sojamilch erfolgen kann. Die Mahltemperatur wurde von 80 auf 37°C herabgesetzt und der pH-Wert vor dem Abpressen auf 8,5 erhöht. Untersuchungen in denen das Verhältnis von Soja- und Lupinenmilch variiert wurde zeigten, dass sowohl die Festigkeit, als auch die Tofuausbeute und Trockensubstanz mit steigendem Lupinenanteil abnimmt. Bei der Farbmessung äußerte sich ein steigender Lupinenanteil in einer Erhöhung der Gelb-Werte von 17,83 (100% Soja) auf 23,60 (80% Lupinen). Aufgrund der, mit steigendem Lupinenanteil, abnehmenden Festigkeit wurde für den weiteren Versuchsverlauf ein Lupinen-Sojaverhältnis von 70:30 gewählt. Eine Konzentrationsänderung der Koagulantien hatte keine erkennbaren Auswirkungen auf die Festigkeit, sowie auf Farbe und Trockensubstanz des Lupinentofus. Eine Erhöhung der Koagulationstemperatur führte dagegen zu einer erhöhten Festigkeit des Produktes. Während bei 75°C 0,53N gemessen wurden, stieg die Festigkeit bei 85°C auf 0,78 N. Ein Einfluss der Koagulationstemperatur auf Farbe, Ausbeute und Trockensubstanz war in den Versuchen nicht eindeutig erkennbar. Die Änderung der Bohnen-Wasserverhältnisse hatte dagegen einen erkennbaren Einfluss auf die Festigkeit des Tofus. Die höchste Festigkeit wurde hier bei einem Bohnen-Wasserverhältnis von 1:10 gemessen. Die Farbmessung zeigte einen deutlichen Rückgang der L*-, a*- und b*-Werte mit steigendem Bohnen-Wasserverhältnis. Die Tofuaus-

beute verringerte sich mit steigendem Bohnen-Wasserverhältnis bei relativ konstanter Trockensubstanz. Parallel zum steigenden Bohnen-Wasserverhältnis stieg auch der Molkeanteil. In der Endphase der Untersuchungen stellte sich heraus, dass auch die Dauer bei der Zugabe der Gerinnungsmittel eine entscheidende Rolle für die Festigkeit des Produktes spielt. Das Dosieren der Gerinnungsmittel über eine Zeitdauer von ca. 5 min führte zu einer Festigkeit von 0,88N (vgl. 0,52 N bei ca. 1min). Die Reduktion der Milchmenge von 1 auf 0,8 kg für einen Tofu führte im Hinblick auf die Textur zu einem weitaus stabileren Produkt. Die Auswertung der Massebilanz ergab eine Ausbeute von 13,3% im Verhältnis zur eingesetzten Rohware. Die in allen Versuchsreihen gemessenen Werte sind kritisch zu betrachten, vor allem im Hinblick auf die Koagulationstemperatur und die Zeitdauer beim Einrühren der Gerinnungsmittel. Trotz weitestgehender Übereinstimmung der Beobachtungen mit der Literatur müssten beide Parameter in weiteren Versuchen eine höhere Konstanz erfahren, um die Aussagekraft der Ergebnisse zu verbessern.

Die Auswertung des Verbrauchertests zeigte eine geringere Akzeptanz des entwickelten Lupinentofus im Vergleich zum Sojatofu aus dem Einzelhandel. Begründet wurde die geringere Akzeptanz bei fast allen 39 Teilnehmern mit einer schlechteren Konsistenz des Lupinentofus. Insgesamt konnten jedoch beide Produkte, auch unter Tofuessern, nicht als „Beliebt“ eingestuft werden. Grund war die Darreichung (Roh), da ein Verzehr in dieser Form für den Verbraucher ungewöhnlich ist.

6 Literaturverzeichnis

Bassler R. (Hrsg.): Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik: Chemische, physikalische und mikrobiologische Untersuchungsverfahren für Milch, Milchprodukte und Molkereihilfsstoffe. 4. Auflage. Darmstadt: VDLUFA- Verlag, 1985.

Bedienungsanleitung Hunterlab Colorflex EZ.

Bundesinstitut für Risikobewertung: Allergie durch Lupineneiweiß in Lebensmitteln, aktualisierte Stellungnahme Nr. 039/2011. Berlin: 2011.

Blaggrove R.J.; Gillespie J.M.: Isolation, purification and characterization of the seed globulins of lupines angustifolius, Austrian Journal of Plant physiology 2 (1975), S.13- 27.

Bremer E.: Europäische Patentschrift EP 0 449 396 B1: Verfahren zur Herstellung einer proteinhaltigen Lupinenmilch, Verfahren zu deren Weiterverarbeitung sowie ein danach herstellbares tofuähnliches Lebensmittel. 1994.

Cerletti P.; Duranti M.: Development of Lupine Proteins, J. AM. Oil Chemists Soc. 56 (1979), S. 460- 463.

Cheftel J.C.; Cuq J.L.; Lorient D.: Lebensmittelproteine: Biochemie, Funktionelle Eigenschaften, Ernährungsphysiologie, Chemische Modifizierung. 1. Auflage. Hamburg: Behrs Verlag, 1992.

Elsmani M.O.; Habbani S.S.; Babiker E.E.; Ahmed I.A.M.: Biochemical, microbial and sensory evaluation of white soft cheese made from cow and lupin milk, LWT- Food Science and Technology 26 (2014), S. 553- 559.

Figura L.O.: Lebensmittelphysik: Physikalische Kenngrößen- Messung und Anwendung. Berlin: Springer Verlag, 2004.

Fliedner I.; Wilhelmi F.: Grundlagen und Prüfverfahren der Lebensmittelsensorik. 2. Auflage. Hamburg: Behrs Verlag, 1993.

Hui Y.H.; Ghazala S.; Graham D.M.; Murrell K.D.; Nip W..K.: Handbook of vegetable preservation and processing. New York: Marcel Dekker inc., 2004.

Jayasena V.; Khu W.S.; Nasar- Abbas S.M.: The development and sensory acceptability of Lupin-based tofu, Food Science and Technologie. School of Public Health, Curtin University of Technology, Australia, 2008.

Matissek R.; Steiner F.G.: Lebensmittelanalytik. 3. Auflage. Berlin/Heidelberg: Springer Verlag, 2006.

Oomah B.D.; Bushuk W.: Characterization of lupine proteins, Journal of Food Science 48 (1985), S. 38- 41.

Shurtleff W.; Aoyagi A.: Tofu and soymilk production: The book of tofu vol. II. 3. Auflage. Canada: Soyfoods Center, 2000.

Souci S.W.; Fachmann W.; Kraut H.: Lebensmitteltabelle für die Praxis, 5. Auflage. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, 2011.

Sousa I.M.N.; Mitchell J.R.; Ledward D.A.; Hill S. E.; Bairo da Costa M.L.: Differential scanning calorimetry of lupin and soy proteins, Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und Forschung 201 (1995), S. 566- 569.

Ternes W.; Täufel A.; Tunger L.; Zobel M.: Lebensmittellexikon. 4. Auflage. Hamburg: Behrs Verlag, 2005.

Ternes W.; Täufel A.; Tunger L.; Zobel M.: Lexikon der Lebensmittel und der Lebensmittelchemie. 4. Auflage. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, 2006.

Online Quellen:

<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>

(letzte Nutzung 1.3.2016)

<https://vebu.de/themen/lifestyle/anzahl-der-vegetarierinnen>

(letzte Nutzung 1.3.2016)

http://www.bfr.bund.de/de/a-z_index/isoflavone-9777.html

(letzte Nutzung 22.12.2015)

http://www.biothemen.de/Qualitaet/korn_huelse/lupine.html#rhizobium

(letzte Nutzung 24.12.15)

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Durchschnittliche Nährwertangaben für reife, getrocknete Sojabohnen in g/100g (nach Souci et al., 2011).....	10
Tabelle 2: Hauptbestandteile der Sojabohne mit ihren dazugehörigen Proteinanteilen (nach Cheftel et al., 1992).....	11
Tabelle 3: Anteile wasserlöslicher Proteinfractionen der Sojabohne (nach Cheftel et al., 1992)	11
Tabelle 4: Vergleich des Nährstoffgehaltes von Sojabohnen und Lupinen in % TM (nach Ternes et al., 2006).....	13
Tabelle 5: Verwendete Rohstoffe.....	18
Tabelle 6: Verwendete Chemikalien	18
Tabelle 7: Verwendete Geräte	18
Tabelle 8: Übersicht über die durchgeführten Versuche	19
Tabelle 9: Eingesetzte Drücke mit dazugehörigen Massen.....	21
Tabelle 10: Soja-Lupinenverhältnisse der 1. Vorversuchsreihe	21
Tabelle 11: Soja-Lupinenverhältnisse der 2. Vorversuchsreihe	21
Tabelle 12: Soja-Lupinenverhältnisse der 3. Vorversuchsreihe	22
Tabelle 13: Versuchsreihe des 1. Hauptversuches (Variation der Nigari-, und Calcium-sulfatmengen) ..	23
Tabelle 14: Versuchsreihe des 2. Hauptversuches (Variation der Koagulationstemperaturen).....	23
Tabelle 15: Versuchsreihe des 3. Hauptversuches (Variation der Bohnen-Wasserverhältnisse)	23
Tabelle 16: Versuchsreihe des 4. Hauptversuches (Bohnen-Wasserverhältnis 1:10, T= 85°C)	23
Tabelle 17: Gemessene Maximalkraft der 1. Vorversuchsreihe	28
Tabelle 18: Gemessene Maximalkraft der 2. Vorversuchsreihe	29
Tabelle 19: Gemessene Maximalkraft der 3. Vorversuchsreihe	29
Tabelle 20: Einfluss des Soja-Lupinenverhältnisses auf die Farbe	30
Tabelle 21: Einfluss des Soja-Lupinenverhältnisses auf Tofuausbeute, Molkeanteil und Trockensubstanz	31
Tabelle 22: Einfluss der Konzentration von Nigari und Calciumsulfat auf die Festigkeit.....	31
Tabelle 23: Einfluss der Koagulationstemperatur auf die Festigkeit.....	32
Tabelle 24: Einfluss des Bohnen-Wasserverhältnisses auf die Festigkeit	32
Tabelle 25: Einfluss der Einrührzeit der Koagulantien und des Pressschemas auf die Festigkeit.....	33
Tabelle 26: Parameter zur Herstellung eines optimalen Lupinentofus im Verhältnis 70:30	33
Tabelle 27: Einfluss der Konzentration von Nigari und Calciumsulfat auf die Farbe	34
Tabelle 28: Einfluss der Koagulationstemperatur auf die Farbe	34
Tabelle 29: Einfluss des Bohnen-Wasserverhältnisses auf die Farbe.....	35
Tabelle 30: Einfluss der Einrührzeit der Koagulantien und des Pressschemas auf die Farbe	35

Tabelle 31: Einfluss der Konzentration von Nigari und Calciumsulfat auf Tofuausbeute, Molkeanteil und Trockensubstanz.....	35
Tabelle 32: Einfluss der Koagulationstemperatur auf Tofuausbeute, Molkeanteil und Trockensubstanz	36
Tabelle 33: Einfluss des Bohnen-Wasserverhältnisses auf Tofuausbeute, Molkeanteil und Trockensubstanz.....	36
Tabelle 34: Einfluss der Einrührzeit der Koagulantien auf Tofuausbeute, Molkeanteil und Trockensubstanz.....	36
Tabelle 35: Massebilanz für die Herstellung eines Tofus aus 800g Milch.....	38
Tabelle 36: Gesamtbeliebtheit der Produkte des Verbrauchertests	40
Tabelle 37: Produktbeliebtheit der Tofu verzehrenden Teilnehmer des Verbrauchertests.....	41
Tabelle 38 Einzelwerte der Bestimmung des Rohproteingehaltes	57
Tabelle 39 Verwendete Proteinfaktoren zur Berechnung des Rohproteingehaltes	57
Tabelle 40: Ergebnisse der 1. Vorversuchsreihe (Maximalkraft und Temperatur der Probe)	61
Tabelle 41: Ergebnisse der 2. Vorversuchsreihe (Maximalkraft und Temperatur der Probe)	61
Tabelle 42: Ergebnisse der 3. Vorversuchsreihe (Maximalkraft und Temperatur der Probe)	61
Tabelle 43: Einzelwerte der Farbmessung der 3. Vorversuchsreihe	61
Tabelle 44: Einzelwerte der Trockensubstanzbestimmung der 3. Vorversuchsreihe	62
Tabelle 45: Ergebnisse der 1. Hauptversuchsreihe (Maximalkraft und Temperatur der Probe)	62
Tabelle 46: Ergebnisse der 2. Hauptversuchsreihe (Maximalkraft und Temperatur der Probe)	62
Tabelle 47: Ergebnisse der 3. Hauptversuchsreihe (Maximalkraft und Temperatur der Probe)	62
Tabelle 48: Ergebnisse der 4. Hauptversuchsreihe (Maximalkraft und Temperatur der Probe)	63
Tabelle 49: Einzelwerte der Farbmessung der 1. Hauptversuchsreihe.....	63
Tabelle 50: Einzelwerte der Farbmessung der 2. Hauptversuchsreihe.....	63
Tabelle 51: Einzelwerte der Farbmessung der 3. Hauptversuchsreihe.....	64
Tabelle 52: Einzelwerte der Farbmessung der 4. Hauptversuchsreihe.....	64
Tabelle 53: Einzelwerte der Trockensubstanzbestimmung der 1. Hauptversuchsreihe.....	64
Tabelle 54: Einzelwerte der Trockensubstanzbestimmung der 2 Hauptversuchsreihe.....	65
Tabelle 55: Einzelwerte der Trockensubstanzbestimmung der 3. Hauptversuchsreihe.....	65
Tabelle 56: Einzelwerte der Trockensubstanzbestimmung der 4. Hauptversuchsreihe.....	65

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Allgemeine Tofuherstellung nach Shurtleff (2000).....	7
Abbildung 2: Messpunkte der Tofuproben	24
Abbildung 3: Grafische Darstellung des Lab-Farbraumes	26
Abbildung 4: Vergleich der gemessenen Maximalkraft bei einem Soja-Lupinenverhältnis 50:50	29
Abbildung 5 Altersspanne der Teilnehmer des Verbrauchertests	39
Abbildung 6 Altersspanne der Tofu verzehrenden Teilnehmer des Verbrauchertests	40
Abbildung 7: Vergleich der Festigkeit von Soja-, und Lupinentofu mit einem Referenzprodukt	46
Abbildung 9 Prüfprotokoll für den Verbrauchertest.....	60

9 Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich diese Arbeit selbständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln angefertigt habe.

Datum: _____

Unterschrift: _____

10 Anhang

10.1 Analytische Methoden

10.1.1 Bestimmung des Rohproteingehaltes

Tabelle 38: Einzelwerte der Bestimmung des Rohproteingehaltes

Probe	Nr.	Einwaage (g)	Verbrauch HCL (ml)	Stickstoff (mg)	Proteingeh. (%)
Okara Soja	1	4,3462	25,6	35,84	5,26
	2	4,4206	25,5	35,70	5,15
Okara Lupine	1	4,1950	-	-	-
	2	4,2409	10	14,00	2,11
Milch Soja	1	7,9842	28,3	39,62	3,16
	2	7,8692	28,7	40,18	3,25
Milch Lupine	1	6,4106	22,8	31,92	3,17
	2	6,8895	25,4	35,56	3,29
Tofu	1	1,4935	23,7	33,18	13,88
	2	1,4414	-	-	-
Molke	1	7,3948	8,7	12,18	1,05
	2	7,2830	8,5	11,90	1,04

Tabelle 39: Verwendete Proteinfaktoren zur Berechnung des Rohproteingehaltes

Probe	Proteinfaktor
Okara	6,38
Milch	6,38
Tofu	6,25
Molke	6,38

Anmerkung:

1 ml Verbrauchte HCL = 1,4 mg Stickstoff

Stickstoffgehalt (mg) * Proteinfaktor = Rohprotein (mg)

Umrechnung in g/100g (%) unter Bezugnahme der Einwaage

10.1.2 Bestimmung der Trockenmasse mit der Folienmethode

Milch und Milchprodukte

Trockenmasse (Wassergehalt)

C 35.4

Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Käse

Folienmethode

1 Anwendungsbereich

Die Methode ist anwendbar für Schmelzkäse, Speisequark, Weichkäse, halbfeste Schnittkäse und Schnittkäse. Sie ist nur bedingt geeignet für Hartkäse und Sauermilchkäse, nicht geeignet für Schmelzkäsezubereitungen mit hohem Milchezuckeranteil.

2 Prinzip

Der Käse wird auf einer Aluminiumfolie möglichst dünn ausgewalzt und dann bei 102 °C getrocknet.

3 Geräte und Hilfsmittel

- 3.1 Messer oder Käsebohrer zur Probenahme
- 3.2 Gerät zum Zerkleinern und Mischen von Käse
- 3.3 Verschließbares Gefäß zur Aufbewahrung der vorbereiteten Käsemasse
- 3.4 Aluminiumfolie, unlackiert, Stärke 0,015 mm, Abmessung 150 mm · 190 mm
- 3.5 Analysenwaage, Skalenteilung 0,1 mg. Es kann auch eine Präzisionswaage mit einer Skalenteilung von 1 mg verwendet werden.
- 3.6 Gerät zum Auswalzen des Käses
- 3.7 Trockenschrank, 102 °C ± 2 °C

4 Durchführung

- 4.1 Vorbereitung der Probe: siehe C 5
- 4.2 Bestimmung

Zwei Folien werden aufeinandergelegt, an einer Längsseite ein Rand von etwa 10 mm doppelt gefaltet und das Folienpäckchen auf 0,1 mg genau leer gewogen. Zwischen die Folienblätter gibt man 3–4 g der vorbereiteten Probe und wägt erneut. Dann werden die drei offenen Seiten des Folienpäckchens durch Falten eines etwa 10 mm breiten Randes zufaltet und die Probemasse durch Auswalzen gleichmäßig in der Folie verteilt.

Läßt sich die Probe schwer auswalzen, legt man das geschlossene Folienpäckchen für 1–2 min zum Erweichen der Käsemasse in den Trockenschrank und walzt dann aus.

Das Folienpäckchen wird buchförmig aufgefaltet, wobei die Falzränder nach oben aufgebogen sein sollen. Sie werden 2 h bei 102 °C ± 2 °C getrocknet.

Dann werden die Folien vorsichtig zusammengefaltet und gewogen. Eine Abkühlzeit im Exsikkator entfällt, weil die Folien schon nach kurzer Zeit (2–3 min) die Temperatur des Wägeraumes angenommen haben.

Das Trocknen wird mit jeweils halbstündiger Dauer so lange wiederholt, bis die Differenz zweier aufeinanderfolgender Wägungen kleiner als 1 mg ist. Im Falle eines Masseanstieges wird zur Berechnung des Trockenmassegehaltes der letzte vor dem Masseanstieg erhaltene Wert herangezogen.

5 Berechnung

Die Trockenmasse W_T in % wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$W_T = \frac{A \cdot 100}{E} (\%)$$

A = Auswaage in g

E = Einwaage in g

Als Ergebnis gibt man das arithmetische Mittel der Einzelwerte auf eine Stelle nach dem Komma an.

Beispiel einer Berechnung:

Folien mit Käse	5,3867 g
Leergewicht der Folien	2,2702 g
Käseeinwaage (E)	3,1165 g
Folien nach Trocknung	3,6745 g
Leergewicht der Folien	2,2702 g
Auswaage (A)	1,4043 g

$$W_T = \frac{1,4043 \cdot 100}{3,1165} = 45,06\%$$

Der Käse hat eine Trockenmasse von 45,1%

6 Wiederholbarkeit nach C 1: 0,3% Trockenmasse**7 Bemerkungen**

- 7.1 Referenzmethode ist die Trocknung mit Seesand als Verteilungsmittel (**C 35.3**)
- 7.2 Der Vorteil der Trocknung auf Folien liegt in der wesentlich kürzeren Untersuchungsdauer, da Vortrocknen und Abkühlen im Exsikkator entfallen wie auch der Aufwand für die Reinigung von Seesandschalen. Ein Nachteil ist im höheren Platzbedarf der Folien im Trockenschrank zu sehen.
- 7.3 Die Trocknung auf Folien wird auch als Schnellmethode bei höherer Trocknungstemperatur durchgeführt. So hat sich bei Speisequark die Trocknung bei 130 °C für die Dauer von ca. 15 min bei 2–3 g Einwaage sehr bewährt. Bei Schnittkäse verlängert sich diese Trocknungszeit auf etwa 30 min. Durch Vergleich mit der Referenzmethode (**C 35.3**) überzeuge man sich von der Richtigkeit seiner Arbeitsweise.
- 7.4 Hauptsächliche Fehlerquellen
- Durch unvorsichtiges Auswalzen kann Käsemasse, besonders Speisequark, durch die Falzstellen der Folien gepreßt werden.
 - Beim Zusammenfallen des getrockneten Folienpaketes und beim Wiederöffnen zum Nachtrocknen können Käseteilchen aus der Folie fallen. Die Folien sollten deswegen zum Trocknen möglichst plan liegen, um das Losbrechen von Käseteilchen zu vermindern.
 - Bei gewölbter Folie und Käsen mit sehr hohem Fettgehalt kann es zum Abtropfen von Fett kommen.
- 7.5 Siehe auch **C 35.1**

8 Literatur

SCHULZ, M.E. u. G. MROWETZ: Analytische Bestimmung der Käsetrockenmasse durch Trocknung auf Folien. Milchwiss. 8 (3) 96–98 (1953)

Bearbeitet von E. Rohse, Weidenbach-Triesdorf

10.1.3 Sensorik

Prüfprotokoll

Prüfverfahren: **Beliebtheitsprüfung**

Datum:

Bitte ankreuzen

Ihr Geschlecht männlich weiblich

Ihr Alter: unter 25 25-40 41-60 über 60

Sind Sie Vegetarier? Ja Nein

Essen Sie Tofu? Ja Nein

Prüfgut: **Sojatofu und Lupinentofu**

Prüfanleitung:

Bitte verkosten Sie und ordnen die Proben nacheinander entsprechend der Prädikatskale 9-1 zu. Die Beurteilung ist durch Ankreuzen (x) zu kennzeichnen. Im Bereich „Bemerkungen“ sind die Entscheidungen zu begründen.

Note	Prädikat	Probennummer	
		341	986
9	gefällt außerordentlich		
8	gefällt sehr		
7	gefällt einigermaßen		
6	gefällt geringfügig		
5	weder gefällt noch missfällt		
4	mißfällt geringfügig		
3	mißfällt einigermaßen		
2	mißfällt sehr		
1	mißfällt außerordentlich		

Bemerkungen (Entscheidungsbegründungen):

Proben Nr.	341	
Skalennote		
Proben Nr.	986	
Skalennote		

Abbildung 8: Prüfprotokoll für den Verbrauchertest

Probennummer 341: Sojatofu (Sojafood GmbH)

Probennummer 986: Lupinentofu

10.2 Vorversuche

10.2.1 Texturmessungen

Tabelle 40: Ergebnisse der 1. Vorversuchsreihe (Maximalkraft und Temperatur der Probe)

Versuch	Sojamilch in %	Lupinenmilch in %	Maximalkraft in N	T in °C
1	100	0	1,02	6,10
2	50	50	0,71	8,00
3	0	100	0,19	8,30

Tabelle 41: Ergebnisse der 2. Vorversuchsreihe (Maximalkraft und Temperatur der Probe)

Versuch	Sojamilch in %	Lupinenmilch in %	Maximalkraft in N	T in °C
1	50	50	0,89	9,40
2	20	80	0,41	8,30
3	0	100	0,20	9,10

Tabelle 42: Ergebnisse der 3. Vorversuchsreihe (Maximalkraft und Temperatur der Probe)

Versuch	Sojamilch in %	Lupinenmilch in %	Maximalkraft in N	T in °C
1	100	0	0,64	6,80
2	50	50	0,61	8,30
3	30	70	0,55	8,80
4	20	80	0,32	9,30

10.2.2 Farbmessungen

Tabelle 43: Einzelwerte der Farbmessung der 3. Vorversuchsreihe

	Messung	L	a	b
100% Soja	1	82,04	1,52	17,83
	2	82,08	1,51	17,80
	3	81,89	1,54	17,88
50% Soja 50% Lupine	1	80,88	-0,13	21,39
	2	81,00	-0,16	21,42
	3	80,90	-0,15	21,36
30% Soja 70% Lupine	1	79,86	-0,95	23,15
	2	79,84	-0,88	23,11
	3	79,83	-0,94	23,23
20% Soja 80% Lupine	1	80,48	-1,45	23,59
	2	79,80	-1,38	23,57
	3	80,45	-1,43	23,66

10.2.3 Trockensubstanzbestimmung

Tabelle 44: Einzelwerte der Trockensubstanzbestimmung der 3. Vorversuchsreihe

	Messung	Einwaage in g	Auswaage in g	TS in %	TS in %
100% Soja	1	3,0596	0,7799	25,49	23,30
	2	3,1386	0,6624	21,10	
50% Soja 50% Lupine	1	3,4370	0,7447	21,67	21,73
	2	3,2252	0,7028	21,79	
30% Soja 70% Lupine	1	4,6005	0,8909	19,37	20,67
	2	3,5480	0,7794	21,97	
20% Soja 80% Lupine	1	3,0309	0,6699	22,10	20,52
	2	3,3461	0,6337	18,94	

10.3 Hauptversuche

10.3.1 Texturmessungen

Tabelle 45: Ergebnisse der 1. Hauptversuchsreihe (Maximalkraft und Temperatur der Probe)

Versuch	C _{Nigari} in % (Rohbohnen)	C _{Calciumsulfat} in % (Milch)	Maximalkraft in N	T in °C
1	3,00	0,30	0,61	9,10
2	3,00	0,50	0,63	9,80
3	5,00	0,30	0,60	8,60
4	5,00	0,50	0,58	10,50

Tabelle 46: Ergebnisse der 2. Hauptversuchsreihe (Maximalkraft und Temperatur der Probe)

Versuch	Koagulationstemperatur in °C	Maximalkraft in N	T in °C
1	75	0,53	8,00
2	80	0,52	7,80
3	85	0,78	9,30

Tabelle 47: Ergebnisse der 3. Hauptversuchsreihe (Maximalkraft und Temperatur der Probe)

Versuch	Bohnen-, Wasserverhältnis	Maximalkraft in N	T in °C
1	1:9	0,28	11,70
2	1:10	0,40	11,90
3	1:11	0,33	13,90

Tabelle 48: Ergebnisse der 4. Hauptversuchsreihe (Maximalkraft und Temperatur der Probe)

Versuch	Dauer Einrühren	Pressschema	Maximalkraft in N	T in °C
1	Normal (ca. 1min)	1	0,52	10,40
2	Langsam (ca. 5 min)	1	0,88	11,20
3	Langsam (ca. 5 min)	2	0,68	14,40

10.3.2 Farbmessungen

Tabelle 49: Einzelwerte der Farbmessung der 1. Hauptversuchsreihe

C _{Nigari} in % (Rohbohnen)	C _{Calciumsulfat} in % (Milch)	Messung	L	a	b
3	0,3	1	79,48	-0,81	23,48
		2	79,62	-0,80	26,60
		3	79,62	-0,79	23,59
3	0,5	1	80,06	-0,84	22,84
		2	80,07	-0,87	22,76
		3	80,07	-0,86	22,79
5	0,3	1	79,78	-0,81	22,07
		2	79,96	-0,78	23,23
		3	79,50	-0,84	22,91
5	0,5	1	79,67	-0,76	23,55
		2	79,51	-0,76	23,21
		3	79,49	-0,77	23,14

Tabelle 50: Einzelwerte der Farbmessung der 2. Hauptversuchsreihe

Kogalutaionstemperatur in °C	Messung	L	a	b
75°C	1	79,64	-0,90	23,89
	2	79,61	-0,94	23,73
	3	79,84	-0,88	23,91
80°C	1	79,93	-1,02	24,58
	2	79,63	-1,11	24,42
	3	79,54	-1,13	24,51
85°C	1	79,73	-0,69	24,34
	2	79,68	-0,70	24,22
	3	79,80	-0,73	24,18

Tabelle 51: Einzelwerte der Farbmessung der 3. Hauptversuchsreihe

Bohnen-Wasserverhältnis	Messung	L	a	b
01:09	1	80,63	-1,50	23,51
	2	80,52	-1,50	23,53
	3	80,60	-1,52	23,59
01:10	1	80,55	-1,17	22,66
	2	80,21	-1,24	22,30
	3	80,44	-1,19	22,54
01:11	1	80,08	-0,98	21,96
	2	79,86	-0,96	21,86
	3	80,08	-0,97	22,13

Tabelle 52: Einzelwerte der Farbmessung der 4. Hauptversuchsreihe

Dauer Einrühren	Pressschema	Messung	L	a	b
Normal (ca. 1 min)	1	1	81,64	-1,11	23,74
		2	81,61	-1,14	23,69
		3	81,62	-1,13	23,63
Langsam (ca. 2 min)	1	1	80,72	-0,85	24,24
		2	80,71	-0,86	24,21
		3	80,60	-0,87	24,21
Langsam (ca. 2 min)	2	1	80,60	-0,89	23,73
		2	80,65	-0,91	23,63
		3	80,65	-0,91	23,74

10.3.3 Trockensubstanzbestimmung

Tabelle 53: Einzelwerte der Trockensubstanzbestimmung der 1. Hauptversuchsreihe

C_{Nigari} in % (Rohbohnen)	C_{Calciumsulfat} in % (Milch)	Einwaage in g	Auswaage in g	TS in %	TS in %
3	0,3	3,5139	0,6611	18,81385	19,04
		3,3391	0,6434	19,26867	
3	0,5	3,3296	0,6962	20,90942	20,66
		3,4063	0,6950	20,40337	
5	0,3	3,7177	0,7296	19,62504	19,69
		3,6687	0,7250	19,76177	
5	0,5	3,7334	0,7831	20,97552	20,58
		3,9972	0,8066	20,17913	

Tabelle 54: Einzelwerte der Trockensubstanzbestimmung der 2 Hauptversuchsreihe

Koagulationstemperatur in °C	Einwaage in g	Auswaage in g	TS in %	TS in %
75	3,2119	0,6887	21,44214	21,53
	3,0191	0,6526	21,61571	
80	3,6882	0,7037	19,07977	19,21
	3,1046	0,6004	19,33905	
85	3,2390	0,6428	19,84563	20,29
	3,3132	0,6870	20,73524	

Tabelle 55: Einzelwerte der Trockensubstanzbestimmung der 3. Hauptversuchsreihe

Bohnen-Wasserverhältnis	Einwaage in g	Auswaage in g	TS in %	TS in %
1:9	3,2034	0,5807	18,12761	18,12
	3,9580	0,7171	18,11774	
1:10	3,2054	0,6091	19,00231	19,57
	3,7521	0,7554	20,13273	
1:10	3,9308	0,7202	18,32197	18,46
	3,5419	0,6585	18,59172	

Tabelle 56: Einzelwerte der Trockensubstanzbestimmung der 4. Hauptversuchsreihe

Dauer Einrühren	Pressschema	Einwaage in g	Auswaage in g	TS in %	TS in %
Normal (ca. 1 min)	1	3,8349	0,7788	20,30822	20,19
		3,8276	0,7684	20,07524	
Langsam (ca. 5 min)	1	3,5399	0,7471	21,10512	20,89
		3,3082	0,6841	20,67892	
Langsam (ca. 5 min)	2	3,8141	0,7492	19,6429	19,14
		3,0781	0,5735	18,63162	