Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Studiengang Lebensmitteltechnologie (7. Semester, WS 2020/21)

Modul: LTE.033/LTE.034 - Fortgeschrittenes wissenschaftliches Arbeiten/Bachelorarbeit

Bachelorarbeit

Untersuchungen zur Verbesserung der Festigkeit von Tofu

Betreuer: Peter Meurer

Sigfried Bolenz

Verfasserin: Henrike Wurm

URN-Nr.: urn:nbn:de:gbv:519-thesis2021-0012-2

Neubrandenburg, 24.03.2021

Abstract

The aim of this study was to optimize the production process of tofu to produce firm Japanese tofu. Different process parameters, such as the heating time, heating temperature and mixing time of the slurry, the additional heating of the soymilk, the coagulation time, and the type of addition of coagulant were varied systematically in a test series to determine their effect on the firmness of the finally produced tofu.

The investigation was carried out in several stages, which were carried out successively. The variation of only one processing parameter during one stage resulted in an optimized parameter, used for further stages. Finally, an optimized process was found after this first iteration.

The firmness is considered to be the main criteria for judging the quality of the tofu. It was measured using a texture analyser. The results were compared to a commercial tofu as a reference value.

In the last stage of the series it was finally possible to produce a comparable tofu with similar firmness as the firmness of the reference sample. It is shown, that the strategy of a multi-stage process optimization is a practicable way for finding the best parameters. Nevertheless, the optimization is not completed, because not the whole matrix of parameters and all their interactions of the parameters could be tested. Although the firmness of the tofu was satisfactory, the sensory properties, determined by a survey, were not sufficient and need to be improved.

Inhalt

Abstract 1

Inhalt 2

1 Einleitung 4

2. Grundlagen der Tofuherstellung 6

2.1 Herstellungsprozess 6

2.2 Ernährungsphysiologische Bedeutung für den Menschen 8

2.3 Die Sojabohne 9

2.3.1 Sojaproteine 10

2.3.2 Gerinnungsmittel 11

3. Materialien und Methoden 13

3.1. Geräte und Rohstoffe 13

3.2 Analytische Methoden 15

3.2.1 Texturanalyse 15

3.2.2 Refraktometrie 16

3.2.3 Farbmessung 17

3.2.4 Ausbeuteberechnung 17

3.2.5 Sensorik 18

3.3. Versuchsplanung/ Projektübersicht 19

3.3.1 Vorversuche 20

3.3.2 Hauptversuche 21

3.3.3 Tofuherstellung 22

4 Ergebnisse und Diskussion 24

4.1 Vorversuche 24

4.1.1 Vorversuch #1 24

4.1.2 Vorversuch #2 25

4.1.3 Vorversuch #3 28

4.2 Hauptversuche 31

4.2.1 Hauptversuch #1 31
4.2.2 Hauptversuch #2 34
4.2.3 Hauptversuch #3 36
4.2.4 Sensorische Untersuchungen 38
4.3 Diskussion 41
5 Zusammenfassung 46
6. Literaturverzeichnis 48
7 Tabellenverzeichnis 50
8 Abbildungsverzeichnis 51
Anlagen 52
Erklärung zur selbstständigen Anfertigung der Arbeit 62

1 Einleitung

Die Anzahl der Menschen in Deutschland, die sich selbst als Vegetarier einordnen lag im Jahr 2020 laut der Allensbacher Markt- und Werbeträger-Analyse bei 6,50 Millionen. Damit waren es 400.000 Personen mehr als noch vor einem Jahr. Die Anzahl der Veganer lag im Jahr 2020 laut der Allensbacher Markt- und Werbeträger-Analyse bei 1,13 Millionen. Auch hier konnte ein Anstieg von 180.000 Personen mehr als noch vor einem Jahr verzeichnet werden (Statistika, 2021). Bei einer vegetarischen und veganen Ernährung bzw. Lebensweise wird typischerweise auf den Konsum von Fleisch sowie Fisch verzichtet. Veganer verzichten zusätzlich noch auf vom Tier stammende Produkte. Für beide Ernährungsformen bieten sich Sojaprodukte als geeignete Ersatzprodukte im Rahmen einer ausgewogenen Ernährung an. Gerade bei der veganen Ernährungsform entfallen neben dem Fleisch auch sämtliche Milchprodukte als Proteinquelle. Folge könnte ein Proteinmangel sein. Bei einem Proteinmangel kommt es zu einem Abbau der körpereigenen Proteine, zu Funktionseinbußen von u.a. der Darmschleimhaut und dem Immunsystem und es erhöht sich die Infektanfälligkeit und es entstehen Wundheilungsstörungen. Zusätzlich kann es zu einer Wachstumsverzögerung kommen (DGE, 2020). Neben Sojaprodukten wie Sojamilch oder Sojajoghurt, ist Tofu ein geeignetes proteinreiches Fleischersatzprodukt. Die für die Ernährung wichtigen Proteine sind der Grund dafür, dass Tofu hergestellt werden kann. Er wird aus den Sojaproteinen durch Denaturieren und Koagulieren hergestellt. Tofu ist ursprünglich ein asiatisches Nahrungsmittel, welches zunehmend auch in der westlichen Welt Anklang findet. Die Tofuherstellung ist ein technologischer Prozess, bei dem viele Prozessparameter zusammenspielen und Einfluss auf die Qualität des Endproduktes haben. Als Kriterien der Konsumenten, denen mit dem fertigen Produkt entsprochen werden soll, spielen neben dem Geschmack und dem Aussehen auch die Festigkeit und Textur eine große Rolle, da diese maßgebend für die Qualität des Tofus stehen.

In den vergangenen Jahren wurden an der Hochschule Neubrandenburg bereits Studienarbeiten und Praktika zur Verbesserung der Festigkeit von Tofu durchgeführt. Allerdings zeigte bisher ein Vergleich der Festigkeit des selbst hergestellten Tofus mit der Festigkeit eines Referenzmusters, dass noch nicht das erwünschte Ergebnis erzielt werden konnte.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, durch das systematische Variieren verschiedener, bisher noch nicht systematisch untersuchter Prozessparameter, einen Tofu herzustellen, der der Textur des Referenzmusters der Firma „Taifun“ entspricht oder diesem nahe kommt. Taifun ist eine in Deutschland ansässige, marktführende Firma, die sich seit 1987 mit der Herstellung von Tofu beschäftigt und im Jahre 2017 etwa 100 Tonnen Tofu pro Woche produzierte. (Taifun Tofu, 2017). Dazu sollen zunächst auf Basis von Festigkeitsergebnissen der in Vorversuchen hergestellten Tofus Prozessparameter festgelegt werden, die während der Hauptversuchsreihe konstant gehalten werden. Für die Hauptversuche sind Variation von Koagulationszeit, Kochzeit der Aufschlämmung sowie Zugabemethode des Koagulationsmittels geplant. Alle hergestellten Tofus sollen als Hauptqualitätskriterium mit dem Textur Analyzer auf Festigkeit untersucht und auf optische Eigenschaften mit Hilfe der Farbanalyse geprüft werden. Weitere Analysemethoden während der Herstellung sind Refraktometrie zur Bestimmung der relativen Dichte der Sojamilch zur Proteingehaltsbestimmung, Feuchtigkeitsanalyse zur Ausbeuteberechnung sowie die Bestimmung der pH-Werte der Sojamilch und der Tofus. Abschließend werden die hergestellten Tofus einer sensorischen Überprüfung durch Beliebtheitsprüfung unterzogen.

2. Grundlagen der Tofuherstellung

2.1 Herstellungsprozess

Die Herstellung von Tofu wird grundlegend in die japanische und in die chinesische Methode unterschieden. Der Unterschied zwischen den beiden Methoden besteht darin, dass bei der japanischen Methode die Aufschlämmung gekocht wird, bei der chinesischen jedoch nicht. Bei dieser Methode wird die Sojamilch erst abgetrennt und danach gekocht (Shurtleff & Aoyagi, 2000). In dieser Arbeit wird die japanische Methode eingesetzt.

Die Herstellung von Tofu basiert grundsätzlich auf der traditionellen Technologie und wird auch heute so in der Industrie eingesetzt. Die Herstellung lässt sich in 2 Hauptschritte unterteilen. Der erste Schritt ist die Herstellung der Sojamilch und darauffolgend die Koagulation, bei welcher sich der sogenannte Sojaquark oder Tofubruch bildet. Dieser wird dann zu dem fertigen Tofublock gepresst und verpackt.

Das Herstellen der Sojamilch beginnt mit dem Einweichen der Bohnen. Dafür müssen die Sojabohnen vorerst gewaschen werden, um Staub und Schmutz zu entfernen. Dies kann im Endprodukt sonst den Geschmack, das Aussehen und die Haltbarkeit beeinflussen. Durch den Schritt des Einweichens wird die Bohne weicher und kann so leicht zusammen mit Wasser zerkleinert werden. Zusätzlich verbessert dieser Schritt die Nährstoffextraktion in das Wasser.

Die gewählte Einweichzeit hängt vor allem von der Temperatur des Einweichwassers, der Sorte und dem Alter der Sojabohnen ab. Je kälter das Einweichwasser, umso länger die Einweichzeit. Auf das Einweichen folgt das Zerkleinern zur Aufschlämmung. Dafür werden die eingeweichten Sojabohnen mit der 10-fachen Menge Wasser vermixt. Die Wassertemperatur beträgt dabei 80 °C, da so Enzyme deaktiviert werden, die für den typischen Sojageschmack verantwortlich sind. Je kleiner die Partikel in der Aufschlämmung werden, desto besser läuft die Extraktion der Feststoffe ab. Direkt danach wird die Aufschlämmung bei einer bestimmten Temperatur und für eine bestimmte Zeit gekocht. Dabei denaturieren die Sojaeiweiße und der Feststoffanteil in der Pflanzenmilch wird erhöht. Neben dem mechanischen Vorgang des Pressens durch ein Presstuch oder mit einer Walze, kann die Sojamilch auch durch Zentrifugieren von dem Okara (Feststoffanteil) abgetrennt werden. Je kleiner die Partikel bei dem Zerkleinerungsvorgang zermahlen werden, desto schwerer wird das

Trennen. Ein optimales Abpressen hängt von der angewandten Presskraft als Funktion der Zeit ab. Für festen Tofu sollte die Sojamilch eine relative Dichte von etwa 9-10° Brix erreichen. Das Okara wird verworfen und die Sojamilch kann weiterverarbeitet werden. Dies erfolgt, indem die Sojamilch unter Verwendung eines Salzes oder einer Säure zu Tofubruch koaguliert. Das Koagulieren ist der wichtigste und schwierigste Schritt der Tofuherstellung und hängt von vielen verschiedenen Faktoren, wie den verwendeten Sojabohnen, den Kochtemperaturen, den Konzentrationen, dem pH-Wert und Art des Koagulationsmittels ab. Die Sojamilch wird hier auf 70-95 °C erhitzt und nach Zugabe eines Salzes oder einer Säure bildet sich der Tofubruch. Das Koagulationsmittel reagiert mit den verschiedenen Proteinen, die aus den Sojabohnen extrahiert wurden. Die Gerinnung beeinflusst zudem die Ausbeute, Textur, Geschmack und das Aroma des Tofus. Im letzten Schritt wird die Molke abgetrennt und der Tofubruch gepresst. Für festen Tofu wird üblicherweise ein Pressdruck von 20 bis 100 g/cm^2 für 20 bis 30 Minuten verwendet (Hui, Chazala, Graham, Murrell, & Nip, 2004). Die Prozessschritte sind in unten aufgeführtem Schema dargestellt.

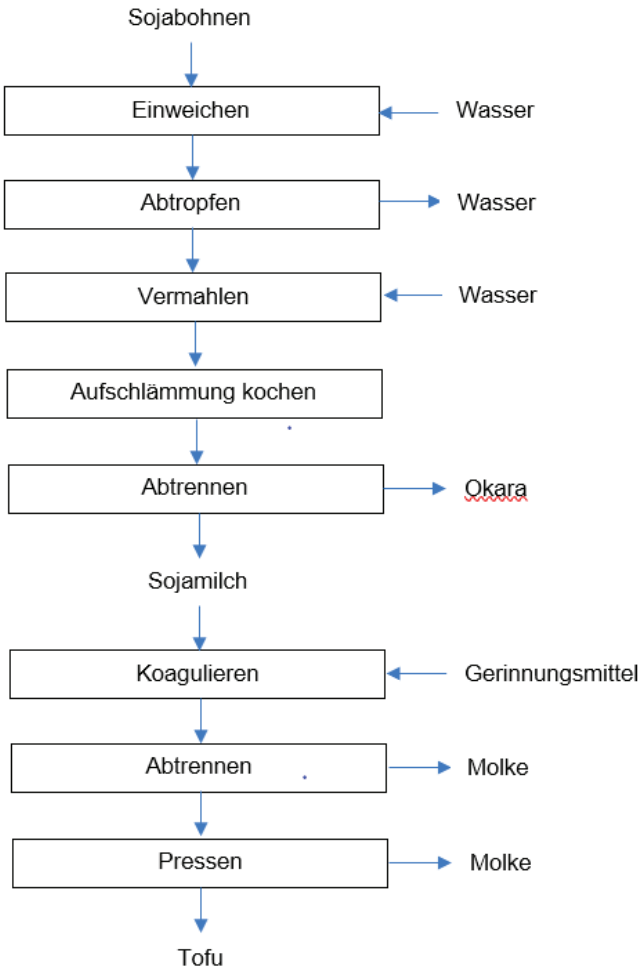

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Prozesses der Tofuherstellung (Adomat, 2021)

2.2 Ernährungsphysiologische Bedeutung für den Menschen

Die Sojabohne wird hauptsächlich in der Asiatischen Küche genutzt, wohingegen ihre Verwendung und verzehr in den westlichen Ländern wesentlich geringer ausfällt. Dort findet man Soja eher in verarbeiteter Form, beispielsweise als Tofu, Sojamilch, Sojajogurt aber auch Großteiles in Fleischersatzprodukten.

Tabelle 1: Makronährstoffe und Mikronährstoffe von der Sojabohne und Tofu (entnommen aus der 2. Studienarbeit (Adomat, 2021))

Nährstoffe in g/100g			Nährstoffe in mg/100g		
	Sojabohne	**Tofu**		**Sojabohne**	**Tofu**
Wasser	8,4	84,6	Magnesium	220,0	99,0
Protein	38,2	8,84	Calcium	200,0	87,0
Fett	18,3	4,78	Mangan	2,7	0,6
Kohlenhydrate	6,29	1,88	Eisen	6,6	3,7
			Phosphor	550,0	0,097
			Vitamin E	15,0	-
			Vitamin B_1	1,03	0,08
			Niacin	2,7	0,2
			Pantothensäure	1,7	0,068

In Tabelle 1, in der die Bestandteile und Nährstoffe von Sojabohnen und Tofu angegeben werden ist ersichtlich, dass die Sojabohne ernährungsphysiologisch vor allem durch ihren hohen Proteinanteil bedeutend ist. Diese Proteine enthalten alle essenziellen Aminosäuren. Folglich haben die Proteine in der Sojabohne eine hohe biologische Wertigkeit und eigen sich so als Fleischersatzprodukte

Im Gegensatz zu tierischen Produkten besitzt die Sojabohne einen geringeren Fettanteil und enthält außerdem kein Cholesterol. Im Vergleich zu anderen Hülsenfrüchten besitzt sie jedoch einen erhöhten Anteil an Fett. Dieses setzt sich jedoch zu einem großen Teil aus mehrfach ungesättigten Fettsäuren zusammen.

Der Kohlenhydratgehalt der Sojabohne ist mit ca. 6,3g/100g insgesamt eher gering, allerdings sind etwa die Hälfte der Kohlenhydrate Ballaststoffe. Diese führen zu einer Sättigungswirkung und einem positiven Effekt auf die Darmfunktion. Dahingehend negativ wirken sich die Oligosaccharide Raffinose und Stachyose aus, da sie im Dünndarm des Menschen nicht durch geeignete Enzyme abgebaut werden können.

Sie führen zu unangenehm empfundenen Flatulenzen. Die Verarbeitung von Sojabohnen schafft hier Abhilfe.

Die Sojabohne enthält eine Vielzahl an Mikronährstoffen wie Folsäure, Vitamin B_1, B_6 und E, Kalium, Magnesium und Eisen. Zusätzlich sind noch einige Spurenelemente wie Selen, Kupfer und Eisen in Soja enthalten. Die Aufnahme von Calcium, Eisen und anderen Nährstoffen kann durch die enthaltene Phytinsäure verringert werden. Allerdings kommt es auch hier durch die Verarbeitung, z.B. bei der Tofuherstellung zu einer deutlichen Verringerung (Engelbert, 2017).

2.3 Die Sojabohne

Die Sojabohne (*Glycine Max*) stammt aus China und gehört zur Familie der Hülsenfrüchtler (Leguminosen). Sie spielt schon seit Vorchristlicher Zeit in Asien eine bedeutende Rolle. Wie auch die Ackerbohne, Erbse und Lupine gehörtb die Sojabohne zur Pflanzenfamilie der Hülsenfrüchte. Die Sojabohne kann zu einer beinahe kugelförmigen, aber auch gestreckten bis flachen Form heranwachsen. Die Bohnen kommen in verschiedenen Farben vor. Sie kann gelb, grün, braun oder schwarz sein. Die Bohne ist umhüllt von einer Schale, welche die beiden Keimblätter, den Kotyledonen und dem Keimling umschließt. Die Keimblätter machen dabei 90 % des Gesamtgewichtes der Bohne aus. In den palisadenartig geformten Zellen der Kotyledonen ist das Öl und das Protein enthalten (Seiler, 2006).

Die Abbildung 2 zeigt einen schematischen Querschnitt einer Bohne:

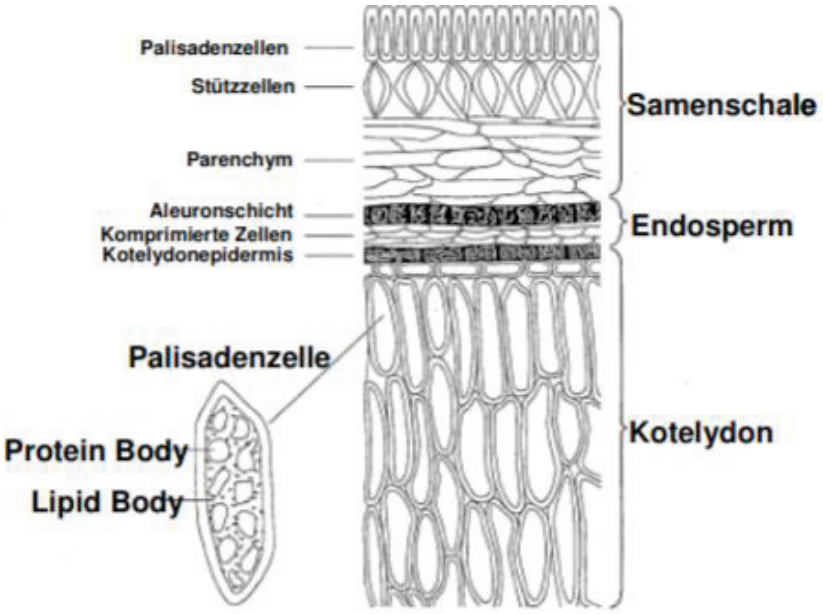

Abbildung 2: Schematische Querschnitt einer Sojabohne (Seiler, 2006)

2.3.1 Sojaproteine

Sojabohnen enthalten etwa 40-45 % Proteine in der Trockenmasse. Davon sind ca. 90 % Speicherproteine (Globuline), welche sich aus dem Glycinin und dem Conglycinin zusammensetzen. Die Löslichkeit der Sojaproteine hängt stark von dem pH-Wert des Mediums ab. 80 % der enthaltenen Proteine können bei den richtigen Bedingungen in Lösung gebracht werden. Auf dieser Löslichkeit basiert die Herstellung der Sojamilch, bei welcher die hohe Löslichkeit von 80% jedoch nicht erreicht werden kann. Dies liegt daran, dass diese durch den Einsatz von thermischen Verfahrensschritten bei der Sojabohnenverarbeitung teilweise verloren geht. Die Sojaproteine können im gelösten Zustand in verschiedene Fraktionen unterteilt werden. Durch die Ultrazentrifugation werden 4 Fraktionen mit den Sedimentationskoeffizienten (S) 2, 7, 11 und 15 unterschieden (siehe Abb. 3) (Seiler, 2006). Der Buchstabe S steht für die Svedberg Einheit, welche die charakteristische Sedimentationskonstante in Wasser bei 20 °C angibt. Die 2 S Fraktion besteht aus Polypeptiden. Sie enthält außerdem die Trypsin-Inhibitoren der Sojabohne. Aufgrund dieser Inhibitoren sinkt die physiologische Wertigkeit der Eiweiße für den Menschen und es wird die Energie- und Fettabsorption verringert. Da die Trypsin-Inhibitoren allerding hitzeinstabil sind, lassen sie sich leicht inaktivieren. Die 7 S macht neben der 11 S Fraktion den meisten Teil der Proteine aus. Sie besteht großteils aus dem Globulin β -Conglycin. Außerdem enthält diese Fraktion Enzyme (β -Amylase und Lipoxygenase) und Hemaglutinine. Die Hämaglutinine bilden zusammen mit den Trypsin-Inhibitoren und den Lectinen einen Fraßschutz gegen Schädlinge. Die 11 S Fraktion besteht aus dem Globulin Glycinin, dieses besteht aus 12 Untereinheiten, welche durch Wasserstoff- und Disulfid-Brücken miteinander verbunden sind. Zu den 15 S-Proteinen gehört die Urease. Diese ist hitzelabil und kann daher auch leicht inaktiviert werden (Seiler, 2006).

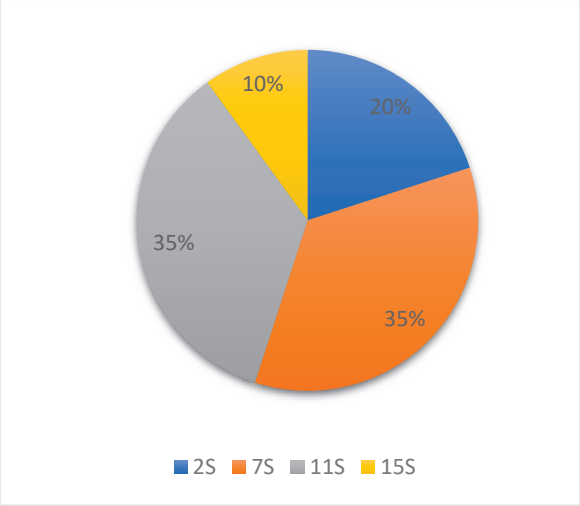

Abbildung 3: Anteile der Proteinfraktionen in % (Cheftel, Cuq, & Lorient, 1992)

In der folgenden Tabelle sind die Hauptbestandteile der Sojabohne zu sehen und welchen Anteil an Proteinen diese Bestandteile enthalten.

Tabelle 2: Hauptbestandteile der Sojabohne mit den dazugehörigen Proteinanteilen (Cheftel, Cuq, & Lorient, 1992)

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

2.3.2 Gerinnungsmittel

Das Koagulationsmittel wird zur Gerinnung der Sojaproteine eingesetzt, um den sogenannten Tofubruch zu erhalten. Abhängig von dem Typ des Gerinnungsmittels verändern sich die Tofueigenschaften wie Farbe, Konsistenz und Geschmack. Es gibt grundlegend 4 Arten von Gerinnungsmitteln, um Tofu herzustellen: den Nigari- bzw. Chlorid-Typ, dazu gehört das natürliche Nigari, das synthetische Magnesiumchlorid, Calciumchlorid und Meerwasser. Eine weitere Art ist der Sulfat-Typ, dazu gehören die Calciumsulfate und Magnesiumsulfate. Als dritten Typ gibt es den Glucono-Delta-Lacton-Typ (DGL-Typ) und als vierten den Säure-Typ. Dieser schließt die Säfte der Zitrusfrüchte, Essig und Milchsäure ein. Letztere werden nicht in der industriellen Tofuproduktion eingesetzt. Oft werden verschiedene Gerinnungsmittel aufgrund ihrer unterschiedlichen Eigenschaften kombiniert. So können die Vorteile der verschiedenen Gerinnungsmittel genutzt werden, um die Ausbeute zu erhöhen und die Sensorik zu beeinflussen. Tofu, der mit dem Calcium oder Magnesium-Typen hergestellt wird, besitzt gegenüber den anderen Gerinnungsmitteln einen ernährungsphysiologischen Vorteil, da er bessere physiologische Eigenschaften besitzt. Das zugegebene Calcium und Magnesium verbleibt geringfügig im Tofu und verbessert so seinen Nährwert. Nach der traditionellen Methode wird zur Gerinnung ausschließlich Nigari verwendet (Shurtleff & Aoyagi, 2000). Koagulanten des Sulfat- und Chloridtyps gehören beide der Gruppe der Salzgerinnungsmittel an und reagieren bei der Tofubruchbildung auf ähnliche Weise mit den Proteinen. Nach der Denaturierung durch Hitzeeinwirkung liegen die Proteine aufgefaltet, teilweise polymerisiert und negativ geladen als Gel vor. Die 11S Fraktion benötigt hingegen eine Änderung der Ladung, um Sulfhydryl- und Disulfid-Verbindungen einzugehen. Diese werden dann durch Wasserstoffbrücken und Ladungsunterschiede stabilisiert. Aufgrund dieser Chemischen Reaktion kommt es zum zusammenlagern der Proteine

zu Koagulaten. Diese Koagulate bilden den Tofubruch (2. Studienarbeit, 2006). Während in China meist Calciumsulfat, also gereinigter Gips, zur Tofuherstellung verwendet wird, bevorzugen japanische Tofureien seit jeher Nigari. Heutzutage wird meist ein Gemisch aus diesen beiden Gerinnungsarten eingesetzt.

Natürliches Nigari wird durch das Verdampfen von Wasser aus Meerwasser gewonnen, indem beinahe das gesamte Speisesalz (NaCl) entfernt wird. Zurück bleiben 92,3 % Magnesiumchlorid sowie noch eine geringe Menge an anderen Salzen (3,8 % Magnesiumsulfat, 1,7 % Natriumchlorid, 1,2 % Kaliumchlorid, 1% Calciumsulfat). Es ist das traditionellste und natürlichste Gerinnungsmittel zur Tofuproduktion. Synthetisch gewonnenes Nigari ist ein reineres Produkt und besteht zu 99,5% aus Magnesiumchlorid. Es verleiht dem Tofu einen fast identischen Geschmack zum natürlichen Nigari. Darüber hinaus ist es das preisgünstigste Gerinnungsmittel vom Nigari-/Chlorid-Typ (Chang, 2004). Nigari wird geschmacklich als am beliebtesten angesehen, es erzeugt einen angenehmen süßlichen Geschmack. Nachteil dieses Gerinnungsmittels ist die Zugabe. Für ein optimales Ergebnis muss diese langsam und bei der richtigen Temperatur erfolgen. Außerdem ist die Koagulation zeitaufwendiger. Durch diese Gerinnungsmittel erreicht man einen geringeren Ertrag, da weniger Wasser mit eingebunden wird. Dieses Gerinnungsmittel führt außerdem zu einem nicht sehr weichen und glatten Tofu. Aus diesem Grund kommt es industriell oft zur Anwendung von einem Gemisch aus dem Nigari und Magnesiumsulfat (Hui, Chazala, Graham, Murrell, & Nip, 2004).

Calciumsulfat gehört zu den weltweit am meisten eingesetzten Gerinnungsmitteln, da es das billigste und auch das am einfachsten anzuwendende ist. Bei dessen Einsatz, kommt es zu einer hohen Ausbeute und somit den wenigsten Herstellungskosten. Besitzt bei Raumtemperatur eine geringe Wasserlöslichkeit, wodurch es Einfluss auf die Koagulationsgeschwindigkeit nimmt. Aufgrund des langsamen Auflösens reagiert es auch langsamer mit der Sojamilch und ist einfacher anzuwenden als Nigari. Während der Koagulation kommt es zur Bruchbildung mit einem hohen Wasserhaltevermögen. Der Einsatz von Calciumsulfat ergibt eine 15 - 20 % höhere Tofuausbeute als der Einsatz von Nigari, da durch die langsam ablaufende Koagulation mehr Wasser gebunden werden kann. Calciumsulfat ist einfach zu handhaben und kann zur Herstellung von sämtlichen Tofuvarianten genutzt werden. Der Einsatz dieses Gerinnungsmittels kann jedoch zu einem weniger süßen und leicht bitteren Geschmack führen (Hui, Chazala, Graham, Murrell, & Nip, 2004).

3. Materialien und Methoden

In diesem Kapitel werden zunächst tabellarisch alle verwendeten Materialien und Geräte aufgelistet. Des Weiteren erfolgt eine Funktionsbeschreibung der genutzten Analysemethoden sowie die genaue Beschreibung der Rezepturen für Vor- und Hauptversuche.

3.1. Geräte und Rohstoffe

Tabelle 3: Verwendete Rohstoffe

Rohstoff	Firma	Ort	Sonstiges
Sojabohnenen BIO	Newstartcenter	79348 Freiamt (Deutschland)	Artikelnummer: 46766-10 Charge: 53865002 MHD: 08.01.2021 Füllmenge: 10 kg
Tukan Bio Tofu natur (Referenztofu)	Taifun-Tofu GmbH	79108 Freiburg (Deutschland)	Masse: 200 g
Leitungswasser		17033 Neubrandenburg (Deutschland)	

Tabelle 4: Verwendete Chemikalien

Chemikalie	Firma	Ort	Sonstiges
Nigari Flocken	Power- Soja	6067 Absam (Österreich)	MHD: 12/2021 Füllmenge: 135 g
Calciumsulfat-Dihydrate	Riedel-de Haen	30926 Seelze (Deutschland)	M= 172,17 g/mol CAS-Nr.: 10101-41-4 EG-Nr.: 231-900-3 Charge: Lot 12640 Füllmenge: 1 kg

Tabelle 5: Verwendete Geräte

Geräte	Firma	Ort	Sonstiges
Thermomix® TM31	VORWERK & Co.KG	42270 Wuppertal (Deutschland)	
Thermomix® TM6	VORWERK & Co.KG	42270 Wuppertal (Deutschland)	
Handrefraktometer	Kübler-Alfermi GmbH	76133 Karlsruhe (Deutschland)	0- 32 Brix
Stoppuhr	Hanhart 1882 GmbH	78148 Gütenbach (Deutschland)	
Thermometer TTX 100	ebro Electronic GmbH & Co. KG	85055 Ingolstadt (Deutschland)	-50 - +350 °C Seriennummer: 5007703
Waage	KERN & SOHN GmbH	72336 Balingen-Frommern (Deutschland)	Max. 3200 g, d= 0,01 g
Vakuumiergerät	RöscherMatic		
Feuchtigkeitsbe-stimmer Sartorius MA40	Sartorius AG	Göttingen (Deutschland)	
pH-Messgerät	Mettler-Toledo GmbH	35353 Gießen (Deutschland)	
Farbmessgerät Color Flex® EZ ohne Software	FMS Jansen GmbH & Co.KG HunterLab	82418 Murnau a. Staffelsee (Deutschland)	
Texture Analyser TTX100	Stable Micro Systems	31008 Elze (Deutschland)	50 kg Kraftmesszelle, Prüfaufsatz: SMS P/1S

			(d= 2,5 cm) Probenaufsatz: plane Metallplatte
Diverse Kleingeräte			Autoklav, Teigschaber, Schneebesen, Siebe, Presstücher, Tofuformen, Messbecher, Töpfe, Schüsseln, Pressgewichte (Glasflaschen mit Kugelmühlenkugeln)

3.2 Analytische Methoden

3.2.1 Texturanalyse

Der Texture Analyser ist eine elektronisch gesteuerte Universalprüfmaschine, die mit Hilfe eines Kraftaufnehmers die Kraft aufzeichnet, die erforderlich ist, um in einer vorgegebenen Zeit, mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit einen definierten Weg zurückzulegen oder mit einer definierten Kraft in eine Probe einzudringen. Die spezifische Textur hängt von der Zusammensetzung und Struktur eines Lebensmittels ab. Sie bildet sensorische Tests bei Lebensmitteln messtechnisch nach (DLG, 2015).

Die Texturanalyse erfolgte in diesem Fall mit einem Messstempel als Prüfkörper aus Kunststoff. Der Durchmesser des Messstempels betrug 2,5 cm, die Fläche demzufolge etwa 4,9 cm^2. Gemessen wurde die benötigte Kraft, um die Probe über 5 mm zu komprimieren. Dabei betrug die Testgeschwindigkeit 2 mm/s. Für jede Probe erfolgte eine Analyse an fünf unterschiedlichen Messpunkten. Die in den Ergebnissen betrachten Maximalkräfte beim Eindringen entsprechen dem Mittelwert dieser fünf Einzelmessungen. In untenstehender Tabelle 6 sind die verwendeten Parameter zusammengefasst.

Tabelle 6: Messparameter der Texturanalyse

Messparameter	Wert
Vortestgeschwindigkeit	5,00 mm/s
Testgeschwindigkeit	2,00 mm/s
Rücktestgeschwindigkeit	2,00 mm/s
Testweg	5,0 mm
Auslösekraft	5,0 g
Messdatenaufnahme	200 pps
Messstempel	SMS P/1S (d= 2,5 cm)
Prüfplatte	Plane Metalloberfläche
Kapazität Kraftmesszelle	50,000 g

3.2.2 Refraktometrie

Unter Brechung (Refraktion) versteht man die Änderung der Ausbreitungsrichtung einer Welle beim (nicht-senkrechten) Auftreffen auf eine Grenzfläche zwischen Medien, die eine unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeit für diese Welle besitzen. Betrachtet man einen Lichtstrahl der vom Medium 1 auf das Medium 2 trifft, wird dabei ein Teil des Lichtes an der Grenzfläche reflektiert (Einfallswinkel = Ausfallswinkel), das übrige Licht tritt in das Medium 2 ein (Figura, 2004). Mit dem Refraktometer wird der Brechungsindex von lichtdurchlässigen Stoffen gemessen. Der Brechungsindex ist eine der wichtigsten Kenngrößen eines optischen Mediums. Physikalisch ist er wie folgt definiert: Tritt Licht aus dem Vakuum kommend in ein anderes optisches Medium ein, so ändert es aufgrund des optischen Dichteunterschieds seine Geschwindigkeit. Diese Kenngröße ist ein Maß dafür, wie stark eine Lichtwelle in einem optischen Medium verlangsamt wird. Die Verlangsamung lässt sich mit dem Feststoffgehalt im Medium korrelieren. Je höher der Brechungsindex einer Lösung ist, umso mehr Stoffe sind in dem Medium gelöst. Über diese Relation kann man den Feststoffgehalt des Mediums bestimmen. (Gerhard, 2020). Vom Gerät wird die relative Dichte des Mediums in °Brix (Brix-Wert) ausgegeben.

In dieser Arbeit wird die relative Dichte der Sojamilch bestimmt. Diese steht stellvertretend für den Proteingehalt, da die Proteine den Hauptbestandteil des Feststoffgehalts in der Sojamilch ausmachen.

3.2.3 Farbmessung

Die Farbmessung wurde mit dem Farbmessgerät „HuntLab Colorflex“ EZ durchgeführt. Dies ist ein Zweistrahl Spektralphotometer und misst im sichtbaren Wellenlängenbereich von 400 - 700 nm mit der Schrittweite von 10 nm. Nach automatischer 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 (HunterLab). Neben anderen Systemen für Farbangaben gibt es das L* a* b*-Farbsystem, welches die Farben als Vektor angibt. Dabei steht L* für die Helligkeit, welche im Bereich von 0 - 100 angegeben wird. Die Koordinaten a* und b* kennzeichnen die jeweiligen Farben: +a steht für rot, -a für grün, +b für gelb und -b für blau. In Abbildung 4 ist dieses Farbsystem dargestellt. (Wilhelm, 2016)

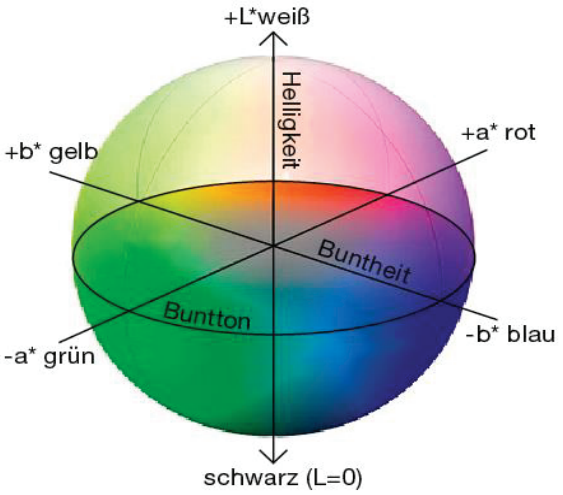

Abbildung 4: Darstellung des L a* b*- Farbsystems (mediencommunity.de)*

Für die Farbmessung wurde eine Messblende mit Schutzglas verwendet. Die Blende besaß einen Durchmesser von 31,8 mm. Es wurde eine Dreifachbestimmung durchgeführt. Die in den Ergebnissen angegebenen Werte setzen sich aus dieser Dreifachmessung zusammen, welche intern im Gerät gemittelt wurden.

3.2.4 Ausbeuteberechnung

Als Ausbeute wird das Verhältnis der im fertigen Tofu enthaltenen Trockensubstanz zur eingesetzten Sojabohnentrockenmasse definiert. Die Trockensubstanz des Tofu lässt sich als Differenz der Masse des Tofu und der Masse des im Tofu gebundenen Wassers (Feuchtigkeit) definieren. Die Masse des Tofu kann man dabei einfach durch

Wägung bestimmen. Die Feuchtigkeit wurde mit dem Feuchtigkeitsbestimmer Sartorius MA40 ermittelt. Dabei wird die Probe von ca. 1 g durch Infrarotstrahlung erwärmt, getrocknet und die Feuchtigkeit als Messwert ausgegeben. Da auch die Sojabohnen einen Feuchteanteil besitzen, wurde hier der Literaturwert nach Shurtleff von 90,7 % in die Rechnung mit einbezogen. Folgend ist die für die Ausbeuteberechnung verwendete Gleichung aufgeführt:

$$\text{Ausbeute in \%} = \frac{\text{Trockenmasse Tofu}}{\text{Trockenmasse Sojabohneneinwaage}} \cdot 100\%$$

$$= \frac{(100\,\% - \text{Feuchteanteil in \%}) \cdot \text{Masse Tofu}}{\frac{\text{Masse Sojabohneneinwaage} \cdot 90{,}7\,\%}{100}}$$

3.2.5 Sensorik

Die sensorische Untersuchung der Tofus wurde durch die Beliebtheitsprüfung nach DIN 10950 durchgeführt. Diese ist ein Prüfverfahren zur Bestimmung der Akzeptanz eines Produktes. Dieses Prüfverfahren eignet sich u.a. zur Bestimmung der Beliebtheit eines neu entwickelten Produktes und kann sowohl als Einzel- aber auch als Mehrprobenprüfung vorgenommen werden. Die Produkte werden anhand einer hedonischen Skala in „Gefallen“ und „Missfallen“ eingestuft. Die Skale enthält insgesamt 9 Notenpunkte wobei die Noten 1 - 4 im Missfallenbereich und 6 - 9 im Gefallenbereich liegen. Um ein Produkt als beliebt oder akzeptiert einzustufen, müssen mindestens 80 % der Prüfurteile im Bereich zwischen 6 und 9 liegen (Dürrschmid, 2010). Für die Probenvorbereitung wurde der Tofu in Würfel geschnitten und durch eine willkürliche dreistellige Zahl nummeriert. Aus hygienischen Gründen wurden die Tofus zur Verkostung einzeln verpackt und konnten von den Probanden mit nach Hause genommen und getestet werden.

Bei der Prüfung wurden die Proben nacheinander verkostet und entsprechend der Prädikatsskale 9-1 eingeordnet. Zu bewerten war der Gesamteindruck der jeweiligen Probe.

3.3. Versuchsplanung/ Projektübersicht

Im Folgenden werden die Untersuchungen, die in der Vergangenheit bereits an der Hochschule Neubrandenburg zu diesem Thema durchgeführt wurden, zusammengefasst. Auf diese Erfahrungen, Ergebnisse und Erkenntnisse wurde bei der Versuchsplanung und während der Durchführung aufgebaut. Zeitglich zu dieser Arbeit wurden ähnliche Versuche für eine Studienarbeit (Adomat, 2021) durchgeführt. Teilweise konnten bereits ausgewertete Ergebnisse in diese Arbeit mit einfließen.

In einem Praktikum von 2014 wurden von Studenten unterschiedliche Koagulationsmittel, Pressarten sowie die Auswirkungen von frischen und älteren Sojabohnen untersucht. Dabei wurden unter Verwendung höherer Mengen an Nigari, Tofus mit einem höheren Weißanteil hergestellt. Bei einem Nigari-Calcuimsulfat-Verhältnis von 1:1 unter dreistufiger Pressdruckerhöhung konnte sensorisch ein nahezu optimales Produkt erzielt werden. Trotzdem konnte die Festigkeit des Referenzmusters nicht erreicht werden.

Im Jahr 2015 wurde der Einfluss verschiedener Bohnen-Wasser-Verhältnisse, unterschiedlicher Koagulationstemperaturen sowie unterschiedlicher Pressschemata auf Festigkeit, Farbe, Geschmack und Ausbeute des Tofus im Praktikum untersucht. Die Bitterkeit der Tofus konnte maßgeblich durch das Pressschema und den daraus resultierenden Wasseranteil beeinflusst werden.

In dem Praktikum aus dem Jahr 2019 wurden als variable Parameter die Kochzeit der Sojamilch vor dem Koagulieren, die Einstreutechnik des Koagulationsmittels, das Rühren der Sojamilch während des Koagulationsprozesses sowie der Pressdruck ausgewählt. Die finalen Produktparameter wurden durch Messungen des a_w-Wertes des pH-Wertes, der Farbe und der Festigkeit ermittelt. Daraus ergab sich, dass die Kochzeit der Sojamilch keinen nennenswerten Einfluss auf die Gerinnung der Sojaproteine, die Farbe und die Festigkeit des Tofus hat. Die Zugabe des Koagulationsmittels in einer oder drei Portionen hatte ebenfalls keinen nachweisbaren Einfluss auf die Koagulation. Bei der Rührtechnik zeigte sich vorrangig eine schlechte Standardisierbarkeit. Es konnte allerdings ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Festigkeit des Tofus und dem Pressdruck erkannt werden. (Cîrstea, et al., 2019)

In der zuletzt durchgeführten Studienarbeit zur Herstellung von festem Tofu wurde nach der japanischen Methode vorgegangen. Variiert wurden dabei bei den

Vorversuchen das verwendete Wasser zum Mahlen, die Koagulationsmittelmenge und die Zugabe des Koagulationsmittels. Bei den Hauptversuchen wurde die Kochtemperatur der Aufschlämmung und die Gerinnungsmittelmenge sowie die Art des zugeführten Gerinnungsmittels (Calciumsulfat und Nigari oder nur Calciumsulfat) untersucht. Teilweise konnten feste Tofus hergestellt werden (Adomat, 2021).

3.3.1 Vorversuche

Die Vorversuche dienten zunächst zum Einstellen einiger fester Parameter, welche während der Hauptversuche nicht variiert werden sollten. Die Rezeptparameter wurden genauso wie bei den Hauptversuchen unter Berücksichtigung der vorherigen Arbeiten zur Tofuherstellung erarbeitet.

Als wichtigster Schritt zum Herstellen von möglichst festem Tofu wird die Koagulation der Sojamilchproteine angesehen. Damit diese gut koagulieren können, ist aus der Literatur zu entnehmen, dass diese einen hohen Protein- bzw. Feststoffgehalt enthalten muss (Rekha & G. Vijayalakshmi, 2011). Dieser lässt sich mit dem Refraktometer bestimmen.

Der Vorversuch #1 wurde durchgeführt, um einerseits herauszufinden, wie hoch die relative Dichte der Sojamilch in Abhängigkeit von der Zeit werden kann und andererseits, welches Zerkleinerungsgerät für die Sojabohnen besser geeignet ist, um einen hohen Brix-Wert zu erreichen. In den vorangegangenen Arbeiten wurde nie der optimale Wert von 9 Brix erzielt. Es wurde der ältere Thermomix TM 31 mit einem neueren Modell TM 6 verglichen, da bisher der TM 31 zu Einsatz kam. Das neue Modell besitz die gleiche Leistung wie das ältere Modell von 500 Watt, hat allerdings eine höhere Drehzahl, wodurch es zu einer besseren Zerkleinerung und Aufschluss der Zellen kommen sollte.

Im Vorversuch #2 wurde die Temperatur beim Kochen der Aufschlämmung nachgeprüft. Diese wurde bereits in der vorrausgegangenen Studienarbeit (Adomat, 2021) untersucht und führte zu dem Ergebnis, dass der Tofu bei einer Temperatur von 85°C am festesten wird. Jedoch unterscheidet sich dieses Ergebnis deutlich von den in der Literatur empfohlenen Werten von 100-110°C (Shurtleff & Aoyagi, 2000), weshalb die Versuche erneut durchgeführt wurden. Es wurden die Temperaturen 85°C

und 100°C untersucht, um so den Vergleich zwischen den empfohlenen Werten und den kürzlich ermittelten Werten ziehen zu können.

Im letzten Vorversuch #3 sollte untersucht werden, ob sich die Festigkeit, durch das zusätzliche Kochen (10 min, 100°C) der abgepressten Sojamilch verbessert. In dem Praktikum aus 2019 hat sich ergeben, dass unterschiedliche Kochzeiten der Sojamilch keinen Einfluss haben. Daher gilt es zu klären, ob dieser Prozess überhaupt zu einer Veränderung der Textur führen kann. Es wurden die Ergebnisse und festgelegten Parameter aus Vorversuch #2 bereits einbezogen.

3.3.2 Hauptversuche

Die 3 Hauptversuche dienten dazu die optimale Koagulationszeit, die Kochzeit der Aufschlämmung und die Art der Gerinnungsmittelzugabe zu ermitteln.

Laut Cai und Chang (1997) führt eine geringere Koagulationszeit von ca. 5 min zwar zu einer geringeren Ausbeute aber zu einem festen Tofu. Allerdings empfehlen Shurtleff & Aoyagi (2000) eine Koagulationszeit von insgesamt 20-25 min. Bisherige Versuche an der Hochschule Neubrandenburg erfolgten bisher mit ca. 30 min Koagulationszeit. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden daher Zeiten zwischen 5 min und 40 min angesetzt.

Die Art der Zugabe des Gerinnungsmittels hat Einfluss auf die Ausbeute und die Konsistenz (Cai & Chang, 1997). Daher werden 3 verschieden Zugabearten miteinander verglichen. Für die erste Methode wird das Gerinnungsmittel zu Beginn komplett zugegeben und vermengt. Als zweite Methode wird der Koagulant in 3 Schritten hinzugefügt: zu Beginn, nach 2 min und nach insgesamt 5 min. Außerdem wird die traditionelle Methode getestet. Bei dieser wird das erste Drittel des Koagulationsmittels aus hoher Entfernung über dem Topf zur Sojamilch hinzugegeben. Dies führt dazu, dass das Koagulationsmittel schnell auf den Boden des Topfes sinkt und die Koagulation von unten nach oben verlaufen kann. Die nächste Portion wird über die Oberfläche gestreut und das letzte Drittel wird nach 5 min wiederum über der Oberfläche verteilt, um noch vorhandene Sojamilch zu koagulieren.

Zuletzt sollen alle fertigen Tofus der Hauptversuche, zusätzlich zum Vakuumieren, bei 80 °C für 15 min pasteurisiert werden, da dies sowohl die Haltbarkeit für folgende

Untersuchungen und möglicherweise auch die Festigkeit verbessert. Dazu werden pasteurisierte und unpasteurisierte Tofus miteinander verglichen.

3.3.3 Tofuherstellung

Die Herstellung beginnt mit dem Waschen der Sojabohnen. Diese müssen für 16 Stunden bei 10°C in der 3-fachen Menge Wasser einweichen. Danach werden die gequollenen Sojabohnen durch ein Sieb abgetropft, gewogen und in einzelnen Chargen von ca. 437g eingewogen. Dies entspricht 187,5 g trockenen Sojabohnen. In diesem Schritt kann ausgehend von den gesamten trockenen Sojabohnen und den eingeweichten Sojabohnen der Einweichfaktor berechnet werden. Dieser wird errechnet, indem die Masse nach dem Einweichen der Sojabohnen durch die Ausgangsmasse der trocknen Sojabohnen dividiert wird, woraus sich ein Einweichfaktor von ca. 2,3-2,4 ergibt. Ausgehend von dem Trockenbohnengewicht muss nun die 10-fache Menge Leitungswasser (1875 g) hinzugefügt werden. Da die Sojabohnen bereits Wasser aufgenommen haben (436,9 g – 187,5 g = 249,4 g), mussten insgesamt nur noch 1625,6 g Wasser pro Charge hinzugefügt werden. In Tabelle 7 ist die Zusammensetzung des Mahlgutes aufgeführt.

Tabelle 7: Beispielrechnung Sojamilchherstellung

trockene Sojabohnen [g]	187,5
Einwaage eingeweichte Sojabohnen [g]	436,9
Weichfaktor	2,33
Menge aufgenommenes Wasser [g]	249,4
Einwaage Wasser [g]	1625,6

Nun wurden die abgewogenen Sojabohnen mit dem Leitungswasser im Thermomix vermahlen. Das Wasser wurde vorher in einem Kochtopf auf 80 °C erhitzt. Das Mixen erfolgte für 15 min auf Stufe 10. Nach dem Mahlprozess wurde die Aufschlämmung in einen Topf gegeben und erhitzt. Die Temperatur wurde dabei vorerst auf 85°C für 15 min gehalten. Nach dem Kochen muss die Aufschlämmung kurz abgekühlt werden, um mit Presstüchern per Hand abgetrennt zu werden. Die Sojamilch wird zur weiteren

Verarbeitung in einer Schüssel aufgefangen, ausgewogen und gemessen (pH-Wert und Brix-Wert). Auch das ausgepresste Okara wird ausgewogen und zusätzlich der Feuchtegehalt bestimmt.

Die Sojamilch wird nun, basierend auf den Studienarbeitsergebnissen, auf 85 °C im Topf erhitzt und für 30 min bei besagter Temperatur zum Koagulieren gehalten. Der Koagulant wird zuvor in etwas warmer Sojamilch aufgelöst und nun 3-stufig hinzugeben. Die Sojamilch wird der jeweiligen Charge entnommen, welcher der aufzulösende Koagulant zugeführt werden soll. Das erste Drittel des Koagulanten wird gleich zu Beginn (t = 0) hinzugegeben, die nächste Zugabe erfolgt nach 2 Minuten und das letzte Drittel wird nach insgesamt 5 Minuten hinzugefügt. Das Einbringen des Koagulanten erfolgte unter vorsichtigem Rühren mit einem Teigschaber, um die Gerinnung nicht zu stark zu beeinflussen. Die Menge betrug pro Charge 5,6 g, sie entspricht 3 % der eingesetzten trockenen Sojabohnenmenge (Shurtleff & Aoyagi, 2000). Das Gerinnungsmittel setzt sich im Verhältnis 1:1 aus Nigari und Calciumsulfat zusammen. Nach 30 Minuten wird die Molke mit einem Filtertuch in einem Sieb vorsichtig abgetrennt und in runde Tofuformen gegeben. Diese Formen mit Durchmesser von 9,5 cm besitzen viele kleine Löcher, über die die Molke abfließen kann. Für die Pressfläche ergeben sich demzufolge 70,9 cm^2. Nachdem der Deckel auf die Tofuformen gegeben wurde, kann in 3 Stufen über 30 min gepresst werden. jeweils nach 10 Minuten wird der Pressdruck ausgehend von 1 kg um 1 kg erhöht. Die sich daraus ergebenen Pressdrücke sind in Tabelle 8 aufgelistet:

Tabelle 8: Verwendeter Pressdruck in Stufen

Stufen	Zeit in min	Masse in kg	Pressdruck in g/cm^2	Pressdruck in Pa
1	10	1	14,10	1382,7
2	20	2	28,21	2766,4
3	30	3	42,33	4151,1

Nach dem Pressen werden die Tofus auf einem Stofftuch zum Trocknen zwischengelagert. Die abgepresste Molke wird nicht ausgewogen, da alle Tofus auf einem großen Abtropfgitter mit Wanne stehen. Die Tofublöcke können nun gewogen, in Plastikbeutel verpackt und vakuumiert werden.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Vorversuche

Es wurden 3 Vorversuche durchgeführt. Die Versuche wurden an 3 verschiedenen Tagen durchgeführt. Die Vorversuche #2 und #3 bauen auf dem Ergebnis aus Vorversuch #1 auf. Die Ergebnisse wurden mit den Messwerten des Referenztofus verglichen. Letztere sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

Tabelle 9: Ergebnisse der Analysen des Referenztofus

Referenztofu		
Farbmessung	Mittelwerte L*	83,04
	Mittelwerte a*	1,83
	Mittelwerte b*	16,79
pH-Wert		6,30
Feuchteanteil [%]		67,3
Masse [g]		200
Maximalkraft [N]		12,5

4.1.1 Vorversuch #1

Der 1. Vorversuch diente dem Erreichen des optimalen des Brechungsindex (größte relative Dichte in °Brix) und dem damit einhergehenden Proteingehalt der Sojamilch. Es wurde der ältere Thermomix TM31 mit dem neueren Modell TM6 verglichen. Dafür wurde das Sojabohnen-Wassergemisch gemixt, währenddessen wurde im Minutentakt eine Probe entnommen, welche mit dem Refraktometer untersucht wurde. Diese Vorgehensweise erfolgte von Minute 0 bis 10. Danach wurde alle 10 min gemessen. Der Versuch wurde beim TM6 nach Minute 40 beendet, da sich der Brix-Wert ab Minute 30 nicht mehr verändert hat. Beim TM31 sollte außerdem ein Überhitzen des T31 verhindert werden. Vorherige Versuche zur Tofuherstellung wurden mit dem älteren Modell, dem T31 durchgeführt. Aus der Abb. 5 geht hervor, dass die Werte anfangs schnell ansteigen und sich dann immer langsamer erhöhen. Der blaue Graph (relative Dichte nach Mixen mit dem alten Modell (T31)) liegt

dauerhaft unterhalb des orangen Graphen (relative Dichte nach Mixen mit dem neuen Modell (T6)). Die Endkonzentration liegt beim TM6 bei 8,5°Brix und bei dem T31 bei ähnlichen 8,4°Brix. Jedoch wurden die 8,5 Brix schon nach 30 min, also deutlich früher, erreicht. Für die folgenden Versuche wurde daher der TM6 genutzt, da dieser einen höheren Brix-Wert innerhalb einer deutlich geringeren Zeit erreicht. Zudem wurde entschieden, eine Mixzeit von nur 15 min zu verwenden, da dies ein Zeitersparnis bedeutet und nur ein unwesentlich kleinerer Brix-Werte als nach 30 Minuten erreicht werden.

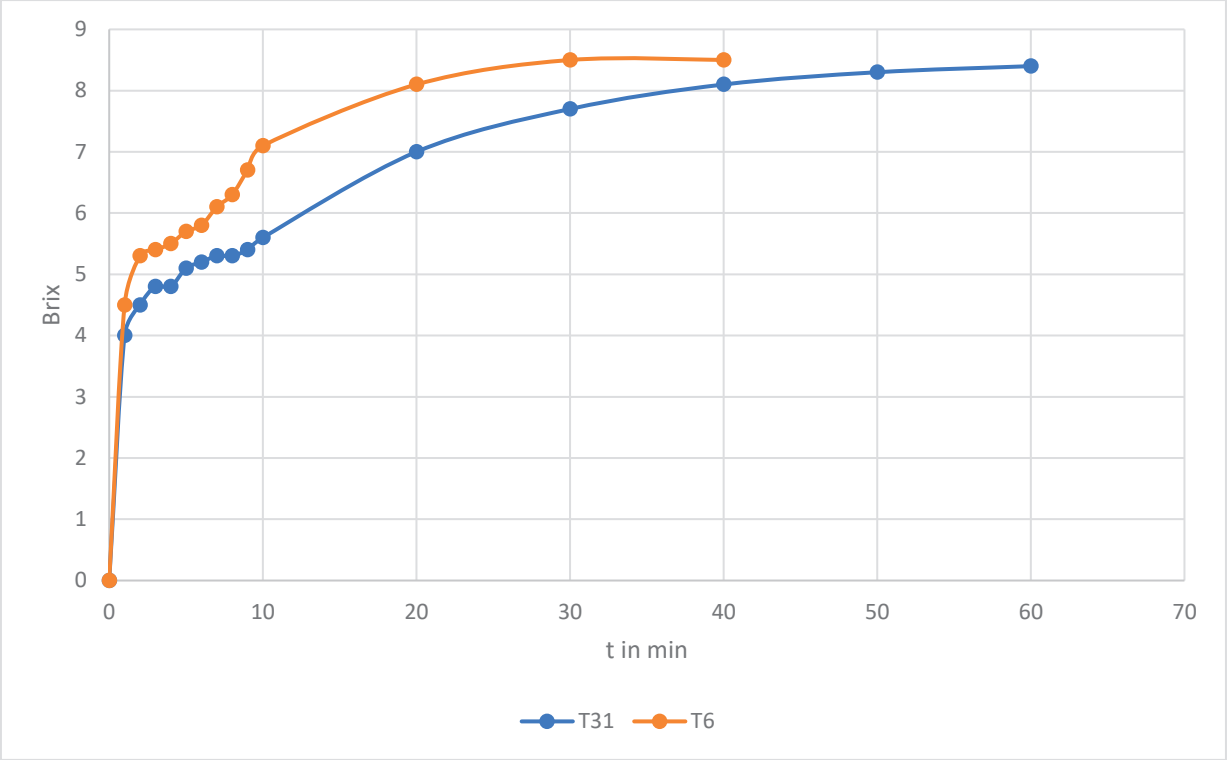

Abbildung 5: Relative Dichte in °Bx in Abhängigkeit von der Zeit beim Mixen

4.1.2 Vorversuch #2

In diesem Versuch wurde die in der Studienarbeit (Adomat, 2021) ermittelte Temperatur von 85°C beim Kochen der Aufschlämmung mit einer Kochtemperatur von 100°C verglichen. Bei Charge 1 wurde der Tofu mit einer Erhitzungstemperatur von 100°C und Charge 2 mit 85°C hergestellt. Die Versuche wurden von 2 Personen durchgeführt. Details zur Rezeptur sind in Tabelle 10 zusammengestellt.

Tabelle 10: Mengen Sojamilch, Okara, Molke, Tofu, (VV2)

	Charge	**1**	**2**
Sojamilch	Menge [g]	1458,9	1465,4
	relative Dichte [°Bx]	7,9	8,2
	pH-Wert	6,76	6,65
Okara	Menge [g]	305,3	295,0
	Feuchteanteil [%]	78,16	77,85
Molke	Menge [g]	740,5	942,6
Tofu	Masse [g]	272,0	290,5

Die eingeweichten Sojabohnen besaßen einen Einweichfaktor von 2,37. Aus Tabelle 10 geht hervor, dass unterschiedliche Ausbeuten an Sojamilch, Okara und Molke gewogen wurden. Dies liegt zum einen an dem Pressvorgang, bei dem die Sojamilch per Hand von dem Okara abgetrennt wird. Je höher nun die Masse und der Feuchteanteil des Okaras ist, desto mehr Sojamilch beinhaltet es noch. Zum anderen wird die Aufschlämmung gekocht, wodurch es zum Verdampfen von Wasser und somit dem Sojamilchdefizit kommt. Während der Herstellung wird die Aufschlämmung und die Sojamilch außerdem mehrmalig umgefüllt, wodurch das Produkt nicht vollständig reproduzierbar verloren geht. Zuletzt spielt auch die Abkühlzeit der Aufschlämmung nach dem Kochen eine Rolle. Damit diese möglichst kurz ist, erfolgte das Abkühlen mit den Kochtöpfen mit offenem Deckel. Die Temperatur musste vor dem Pressvorgang stark sinken, um das Pressgut mit den Händen anfassen zu können. Die Molkemenge unterscheidet sich stark und wird durch das Koagulieren beeinflusst.

Tabelle 11: Ergebnisse der Analysen Tofu (VV2)

	Charge	**1**	**2**	**Referenztofu**
Farbmessung	Mittelwerte L*	80,43	80,67	83,04
	Mittelwerte a*	0,98	1,92	1,83
	Mittelwerte b*	16,22	15,07	16,79
pH-Wert		6,38	6,42	6,30
Feuchteanteil [%]		68,41	69,70	67,31
Tofu Masse [g]		272,0	290,5	200g
Ausbeute [%]		52,6	53,9	-
Maximalkraft [N]		10,1	8,1	12,5

In Tabelle 11 sind die Ergebnisse der Analysen während der Sojamilchherstellung zusammengefasst. Der gekaufte Referenztofu wies einen L-Wert von durchschnittlich 83,04 einen a-Wert von 1,83 und einen b-Wert von 16,79 bei der Farbmessung auf. Lediglich Charge 1 unterscheidet sich etwas im a-Wert und Charge 2 im b-Wert. Die Ergebnisse der Farbmessung der Vorversuche sind den Werten des Referenztofus sehr ähnlich. Farblich ist der Tofu mit dem Referenztofu vergleichbar. Der pH-Wert des Referenztofus entspricht ebenfalls den gemessenen Werten. Auch der Feuchteanteil ist beinahe gleich und liegt nur etwas über dem Referenzwert. Das liegt vermutlich daran, dass die Festigkeit mit 10,1 N und 8,1 N unterhalb der des Referenzwertes von 12,5 N liegt und der Tofu wahrscheinlich mehr Wasser gebunden hat. Die unterschiedliche Tofuausbeute ist mit der Sojamilchdifferenz, siehe Tabelle 11 zu erklären. In Abbildung 6 sind die gemessenen Maximalkräfte in einem Diagramm visualisiert.

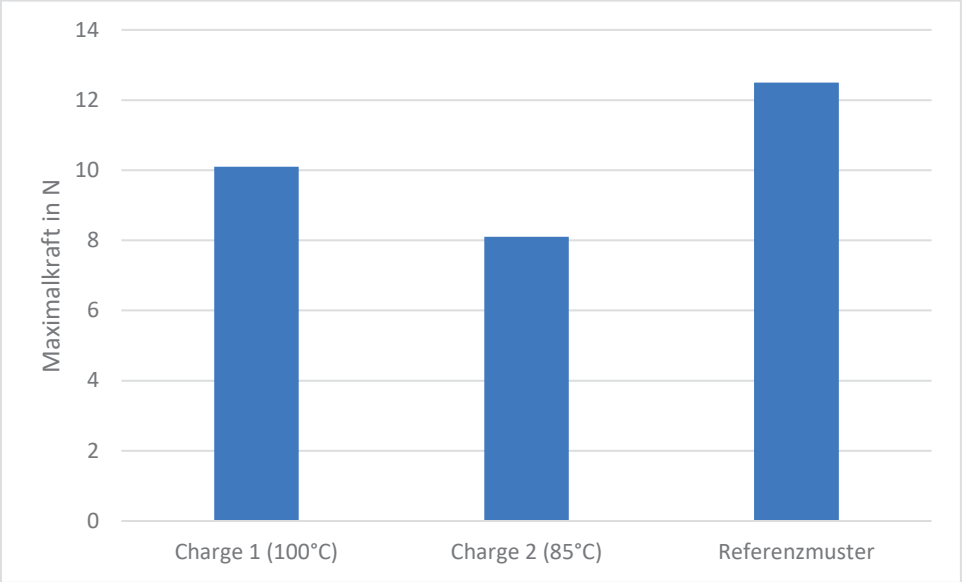

Abbildung 6: Festigkeit frischer Tofu (VV2)

In dem Diagramm ist deutlich zu sehen, dass Charge 1 fester geworden ist als Charge 2. Bei Charge 1 wurden 100°C zum Kochen der Aufschlämmung eingesetzt. Die Festigkeit beider selbst hergestellter Tofus liegt aber unter der der Referenzprobe.

4.1.3 Vorversuch #3

In diesem Versuch wurde untersucht, ob es nötig und vorteilhaft ist, die ausgepresste Sojamilch vor dem Koagulieren erneut zu kochen. Die Durchführung von Vorversuch #3 erfolgte wie in 3.3.3 beschrieben. Auch in diesem Versuch wurde bereits der empfohlene Literaturwert von 100°C beim Kochen der Aufschlämmung eingesetzt. Zusätzlich wurde der Schritt des Aufkochens für 10 min bei 100°C hinzugefügt. Zuerst wurde bei diesem Versuch Charge 1 hergestellt. Bei dieser ist es jedoch zu einer Abweichung von der Koagulationstemperatur gekommen. Statt der in der Literatur empfohlenen Temperatur lag diese knapp unter 100°C. Daher wurde eine 2. Charge angesetzt, bei der die Koagulationstemperatur bei den geplanten 85°C gehalten wurde. Die gemessenen Mengen der Sojamilch, des Okaras und der Molke sind in Tabelle 12 aufgeführt. Zusätzlich sind die für die Sojamilch gemessenen pH-Werte sowie Werte der relativen Dichte aufgeführt.

Tabelle 12: Mengen Sojamilch, Okara, Molke, Tofu (VV3)

	Charge	**1**	**2**
Sojamilch	Menge [g]	1446,1	1358,8
	relative Dichte [°Bx]	8,2	7,7
	pH-Wert	6,59	6,76
Okara	Menge [g]	290,1	308,5
	Feuchteanteil [%]	75,01	79,15
Molke	Menge [g]	773,3	746,8
Tofu	Masse [g]	318,2	281,0

Die Mengen der Sojamilch unterscheiden sich um 87,3 ml. Die Okaramenge und dessen Feuchteanteil ist abhängig vom manuellen Pressvorgang und unterscheiden sich geringfügig. Der Unterschied ist im Feuchteanteil ersichtlich.

Tabelle 13: Ergebnisse der Analysen Tofu (VV3)

	Charge	**1**	**2**	**Referenztofu**
Farbmessung	Mittelwerte L*	78,13	79,85	83,04
	Mittelwerte a*	1,67	0,82	1,83
	Mittelwerte b*	15,97	16,44	16,79
pH-Wert		6,43	6,38	6,30
Feuchteanteil [%]		68,27	70,10	67,30
Tofu Masse [g]		318,2	281,0	200
Ausbeute [%]		61,8	51,4	-
Maximalkraft [N]		14,6	10,7	12,5

In Tabelle 13 sind die Analyseergebnisse von Charge 1 und 2 des Vorversuchs #3 zu sehen. Zusätzlich sind erneut die Ergebnisse des Referenztofus aufgeführt, um einen direkten Vergleich ziehen zu können. Der L*-Wert von Charge 1 und 2 ist etwas

geringer und deutet so auf einen etwas dunkleren Tofu hin. Der Grün-Rot-Wert ist bei Charge 2 deutlich geringer. Die b*-Werte sind beide sehr ähnlich, lediglich Charge 1 ist etwas geringer. Genauso verhält es sich mit dem Feuchteanteil, dieser schwankt nur um 2,8%. Neben der unterschiedlichen Sojamilchmenge ist der Grund für die 10,4 % Unterschied in der Ausbeute durch die Festigkeit, bzw. durch das Koagulieren zu erklären. Je besser der Tofu koaguliert desto fester wird er. Allerdings erhöht sich so auch die Ausbeute, da weniger Sojamilch und kleines Koagulat in der Molke zurückbleibt und somit verworfen werden.

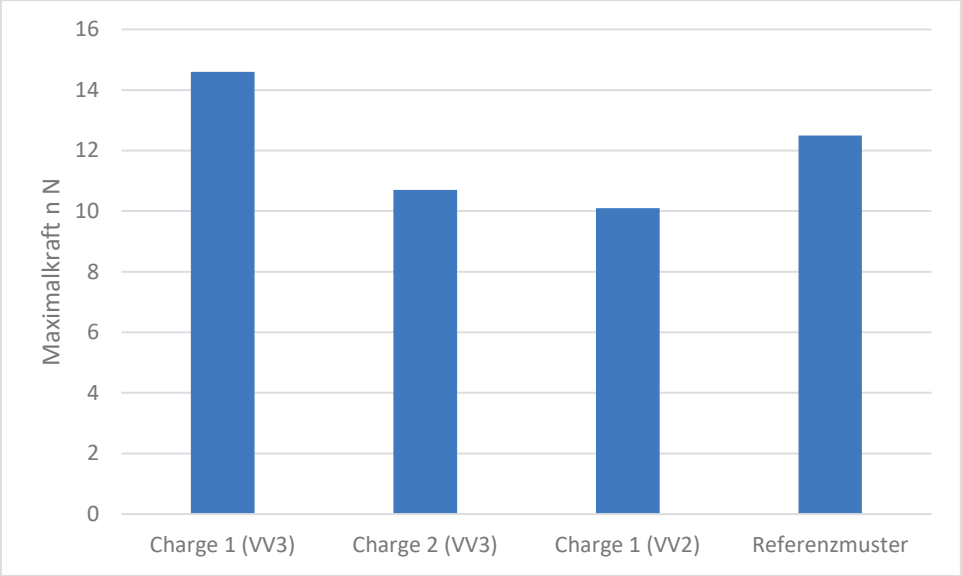

Abbildung 7: Festigkeit frischer Tofu (VV3)

In der Abbildung 7 sind die Festigkeiten verschiedener selbst hergestellter Tofus und des Referenztofus dargestellt. Zunächst wird Charge 2 (VV3) und Charge 1 (VV2) miteinander verglichen, da es sich hier um den ursprünglich geplanten Vorversuch handelt. Es ist zu erkennen, dass die Werte sich sehr ähneln und keinen großen Unterschied aufweisen. Daher wurde entschieden das zusätzliche Kochen der Sojamilch nicht anzuwenden, da sich kein signifikanter Vorteil in der Festigkeit zeigt. Neben dem Aspekt des Zeitaufwands, handelt es sich dabei um die chinesische Herstellungsweise von Tofu. Inhalt dieser Arbeit ist jedoch die japanische Methode, weshalb sich das Umstellen der Methode nicht rechtfertigt. Mit Abstand am festesten ist der Tofu von Charge 1 (VV3). Dies liegt vermutlich daran, dass die Koagulationstemperatur mit fast 100°C sehr hoch war. In der Literatur wird allerdings für das genutzte Gerinnungsmittelgemisch eine eher niedrigere Temperatur von 85°C empfohlen. Trotzdem wurde sich entschieden den Parameter für weitere Versuche auf 95°C-100°C zu erhöhen. Die Temperaturspanne wurde ausgewählt da es unmöglich

ist eine konstante Temperatur im Kochtopf zu erreichen. Trotz der fast 100°C wurde in den folgenden Hauptversuchen darauf geachtet, dass das Koagulat nicht köchelt, da dies aufgrund der Bewegung den Koagulationsprozess ändern bzw. stören kann. Nicht gänzlich auszuschließen ist, dass die Kombination aus dem Kochen der Sojamilch und der höheren Koagulationstemperatur zu dem festen Ergebnis geführt hat. Da der Tofu aus Charge 2 jedoch gezeigt hat, dass der Parameter „Kochen der Sojamilch“ im alleinigen keine große Auswirkung hat, wurde davon vorerst ausgegangen.

4.2 Hauptversuche

Die 3 Hauptversuche wurden an 3 unterschiedlichen Tagen durchgeführt. An jedem Tag wurde ein anderer Parameter untersucht. Dabei kommt es zu Dopplungen in den Versuchen, da die Charge, welche den besten Tofu beinhaltet am folgenden Versuchstag auf die Veränderung eines anderen Parameters überprüft wird, welcher im vorherigen Versuch noch ein festgelegter Literaturwert war. Dies dient dem Zweck, dass die Tofus der gleichen Untersuchungsparameter untereinander besser verglichen werden können. Hauptversuch #1 wurde von 2 Personen und Hauptversuch #2 und #3 allein durchgeführt.

4.2.1 Hauptversuch #1

In diesem Hauptversuch wurde die Koagulationszeit untersucht. Die 5 verschiedenen Zeiten wurden auf 5 min, 10 min, 20 min, 30 min und 40 min festgelegt.

Tabelle 14: Mengen Sojamilch, Okara, Molke, Tofu (HV1)

	Charge	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Sojamilch	Masse [g]	1447,6	1465,6	1488,4	1519,3	1498,1
Okara	Masse [g]	346,9	338,6	299,8	288,8	301,2
	Feuchteanteil [%]	78,4	77,94	75,19	71,52	74,53
Molke	Masse [g]	866,4	971	916,4	899,3	910,0
Tofu	Masse [g]	167,7	288,4	290,5	253,1	275,5

Aus Tabelle Nummer 14 geht hervor, dass geringfügig unterschiedliche Mengen an Sojamilch gewonnen wurden. Die Differenz von der höchsten bis zur geringsten Menge beträgt 71,7 g. Die Sojamilch hat einen durchschnittlichen pH-Wert von 6,80 und eine durchschnittliche relative Dichte von 7,8 Brix. Der Eiweichfaktor lag bei diesem Versuch bei 2,37. Addiert man die Menge des Okaras mit der Sojamilchmenge erhält man bei jeder Charge ähnliche Werte. Insgesamt sollte dies idealerweise der eingesetzten Masse der Sojabohnen plus der Masse an Wasser von 2063 g ergeben. Durch den Mixvorgang, den Pressvorgang und das Umfüllen des Produktes gehen jedoch durchschnittlich 264 g verloren. Auch hier ist die Abhängigkeit des Feuchteanteils vom Auspressen des Okaras gut zu erkennen. Die Tofumassen sind außer bei Charge 1 ähnlich. Dies liegt darin begründet, dass nicht die gesamte Sojamilch koaguliert ist, allerding ist das, was koaguliert ist, eher fest geworden. In der folgenden Tabelle 15 sind die Ergebnisse der Analysen der Einzelchargen zusammengefasst.

Tabelle 15: Ergebnisse der Analysen Tofu (HV1, unterschiedliche Koagulationszeit)

Charge		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Referenztofu**
Farb-messung	Mittelwerte L*	82,16	79,83	79,97	80,04	81,21	83,04
	Mittelwerte a*	1,51	0,99	1,88	1,59	1,55	1,83
	Mittelwerte b*	16,00	15,57	15,45	15,73	16,34	16,79
pH-Wert		6,41	6,38	6,34	6,42	6,45	6,30
Feuchteanteil [%]		66,95	74,45	67,31	70,82	72,34	67,30
Tofu Masse [g]		187,7	288,4	290,5	253,1	275,5	200
Ausbeute [%]		37,98	45,1	58,2	45,2	46,7	-
Maximalkraft frischer Tofu [N]		16,4	-	1,9	10,8	6,0	12,5
Maximalkraft pasteurisierter Tofu [N]		19,2	-	4,1	12,5	7,8	

Aus der Farbmessung lässt sich bei allen Chargen schließen, dass der hergestellte Tofu etwas dunkler geworden ist als der Referenztofu. Der rot-grün-Wert schwankt um

den Referenzwert. Deutlich geringer ist er jedoch bei Charge 2 und Charge 5. Auch die gelb-blau-Wert liegen unterhalb des Referenzwertes. Diese Farbschwankungen sind im direkten Vergleich mit dem Referenztofu zu erkennen, führen jedoch trotzdem zu einem vergleichbaren Produkt. Der pH-Wert ist erneut überall ähnlich. Der Feuchteanteil gibt Auskunft über den Ablauf der Koagulation. Beispielsweise hat Charge 1 laut Kraftmessung eine hohe Festigkeit und auch einen niedrigen Feuchteanteil. Zusätzlich ist teilweise der Feuchtegehalt des Tofus in der Ausbeutemenge zu erkennen und auch in der Festigkeit. Je mehr Feuchtigkeit, desto mehr Tofu, desto weicher ist er. Dies lässt sich aber nur schließen, wenn die Ausbeute entsprechend hoch ist, da sonst in der Gesamtmasse Trockensubstanz fehlt. Auffallend ist, dass die Ausbeute von Charge 2 und 4 beinahe gleich ist, obwohl unterschiedliche Festigkeiten erzeugt wurden. Dies könnte an der Qualität des Koagulierens liegen und wie das Wasser dabei gebunden wird. In Abbildung 8 sind die Festigkeiten der frischen Tofus vergleichend mit denen der pasteurisierten Tofus dargestellt.

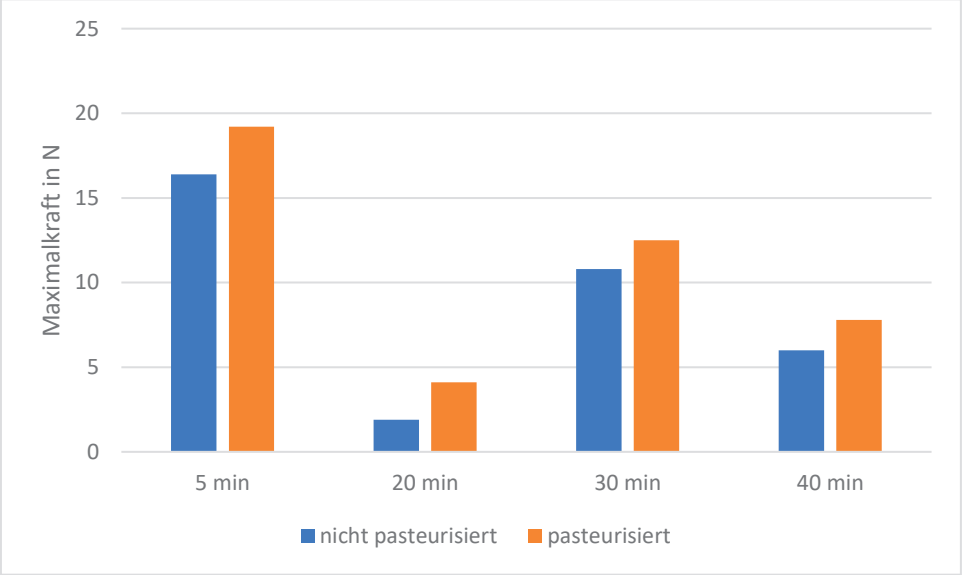

Abbildung 8: Festigkeit des frischen Tofus im Vergleich zum pasteurisierten Tofu (HV1)

Deutlich zu erkennen ist, dass Charge 1 sehr fest geworden ist. Allerdings gab es dort auch eine geringe Ausbeute. Die Koagulation von 10 min ergab einen zu weichen Tofu um diesen im Texture Analyser messen zu können. Neben Charge 1 ist Charge 4 am besten gelungen, da dort trotz etwas geringerer Festigkeit eine hohe Ausbeute erzeugt wurde.

4.2.2 Hauptversuch #2

In diesem Versuch wurde die Kochzeit der Aufschlämmung untersucht. Die Zeiten wurden anhand Shurtleff (2000) auf 10 min, 15 min und 20 min festgelegt. Die Durchführung erfolgte, unter Einbezug der bereits optimierten Parameter, wie in 3.3.3 beschrieben.

Tabelle 16: Mengen Sojamilch, Okara, Molke, Tofu (HV2)

	Charge	**1**	**2**	**3**
Sojamilch	Masse [g]	1345,7	1298,9	1379,3
Okara	Masse [g]	302	302	286
	Feuchteanteil [%]	72,79	80,06	75,37
Molke	Masse [g]	840.4	740,5	793,3
Tofu	Masse [g]	251,7	272,0	318,2

Der Weichfaktor betrugt bei diesem Einweichvorgang 2,3. Die Sojamilch wurde mit denselben Parametern hergestellt und besaß einen durchschnittlichen pH-Wert von 6,7 und eine relative Dichte von 8,2 Brix. Auffallend ist die teilweise niedrige Menge der gewonnen Sojamilch im Vergleich zu den vorherigen Versuchen. Dies lässt sich durch den Prozess des Verdampfens erklären. Der Feuchteanteil bestätigt beispielsweise, dass in Charge 2 Sojamilch zurückgeblieben ist. Dies spiegelt sich jedoch nicht in der Okaramenge wider. Am meisten Molke konnte bei Charge 1 abgetrennt werden.

Tabelle 17: Ergebnisse der Analysen Tofu (HV2, unterschiedliche Kochzeit der Aufschlämmung)

	Charge	**1**	**2**	**3**	**Referenztofu**
Farbmessung	Mittelwerte L*	76,83	80,16	79,63	83,04
	Mittelwerte a*	1,26	0,63	1,09	1,83
	Mittelwerte b*	18,44	16,92	14,98	16,79
pH-Wert		6,34	6,33	6,28	6,30
Feuchteanteil [%]		69,16	69,7	70,80	67,3
Tofu Masse [g]		251,7	272,0	318,2	200
Ausbeute [%]		45,2	48,0	54,2	-
Maximalkraft des frischen Tofus [N]		9,6	10,8	6,6	12,5
Maximalkraft pasteurisierten Tofus [N]		12,3	12,4	9,2	

In Tabelle 17 sind die Ergebnisse der Analysen der im HV #2 hergestellten Tofus zusammengefasst. die Farbmessungen der 3 Tofus im Vergleich zum Referenztofu aufgeführt. Auch hier ist der Helligkeitswert L immer etwas unterhalb des Referenzwertes. Der rot-Wert liegt für 15 min Koagulationszeit sehr niedrig. Bei einer Koagulationszeit von 10 min ist der gelb-Wert eher hoch, wodurch der Tofu dunkler erscheint. Trotz gleicher Feuchteanteile und unterschiedlichen Ausbeuten, kommt es bei Charge 1 und 2 zu einem ähnlich festen Tofu. Die höchste Ausbeute erzielte Charge 3, allerdings wurde der Tofu trotzdem eher weich.

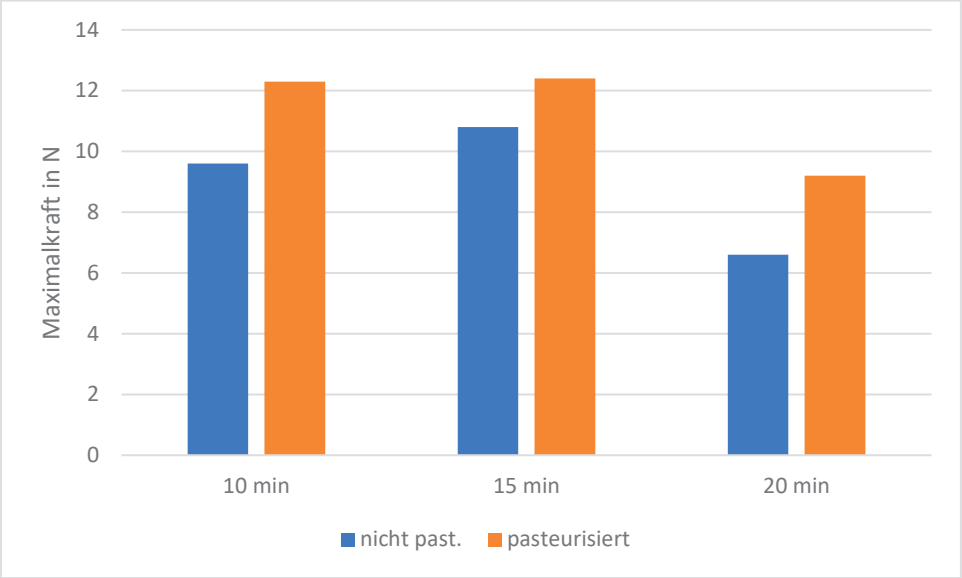

Abbildung 9: Festigkeit des frischen Tofus im Vergleich zum pasteurisierten Tofu (HV2)

Der Vergleich der Festigkeiten der frischen und pasteurisierten Tofus in Abbildung 9 zeigt, dass eine Kochzeit der Aufschlämmung von 10-15 min zu einem ähnlich festen Tofu führt. 20 min Kochzeit führen zu einem nicht so festen Ergebnis.

4.2.3 Hauptversuch #3

In diesem Versuch wurden verschiedene Arten der Gerinnungsmittelzugabe zur Sojamilch getestet. Zum Einsatz kamen 3 verschiedene Methoden. Zum einen wurde der Koagulant zu Beginn komplett hinzugefügt. Als zweite Zugabeart wurde die 3-stufige Gerinnungsmittelzugabe getestet (zu Beginn, nach 2 min und nach 5 min) und zuletzt die traditionelle Gerinnungsmittelzugabe, erneut in 3 Stufen.

Tabelle 18: Mengen Sojamilch, Okara, Molke, Tofu (HV3)

	Charge	**1**	**2**	**3**
Sojamilch	Masse [g]	1446,2	1473,1	1460,3
Okara	Masse [g]	290,7	300,1	287,5
	Feuchteanteil [%]	79,48	71,31	78,03
Molke	Masse [g]	866,4	897,0	945,5
Tofu	Masse [g]	251,7	272,0	290,5

In Tabelle 18 sind die erhaltenen Massen der Zwischen und Endprodukte aufgeführt. Die Sojamilchmassen sind hier sehr ähnlich. Genauso verhält es sich mit der Okaramenge. Der Feuchteanteil schwankt dagegen etwas. Bei Charge 2 ging etwas mehr Feuchtigkeit verloren. Die Molkemenge kann ein erster Anzeiger dafür sein, weshalb in Charge 3 am festesten geworden ist. Es wurde auch vergleichsweise viel Molke aufgefangen. Am meisten Tofumasse wurde ebenfalls bei Charge 3 erreicht. Die Sojamilch besaß durchschnittlich einen pH-Wert von 6,75 und eine relative Dichte von 8,1 °Brix.

Tabelle 19: Ergebnisse der Analysen Tofu (HV3, unterschiedliche Art der Gerinnungsmittelzugabe)

	Charge	1	2	3	Referenztofu
Farbmessung	Mittelwerte L*	82,44	81,42	81,09	83,04
	Mittelwerte a*	1,32	1,20	1,54	1,83
	Mittelwerte b*	16,14	15,08	15,03	16,79
pH-Wert		6,41	6,42	6,52	6,30
Feuchteanteil [%]		66,95	68,41	69,28	67,3
Masse [g]		251,7	272,0	290,5	200
Ausbeute [%]		48,5	50,1	52,0	-
Maximalkraft frischer Tofu [N]		7,7	6,6	9,8	12,5
Maximalkraft past. Tofu[N]		9,84	8,7	13,7	

In der Tabelle 19 sind die Ergebnisse der Analysen zusammengestellt. In diesem Versuch wurde bei Charge 1 beinahe die Helligkeit des Referenzwertes erreicht. Die rot-Werte liegen alle etwas unterhalb und die Charge 2 und 3 besitzen einen etwas höheren Gelbanteil. Der Tofu, bei dem das Gerinnungsmittel komplett zu Beginn hineingegeben wurde, ist also dem Referenztofu von den Farbwerten am ähnlichsten. Der pH-Wert ist vergleichbar mit allen anderen Versuchen und somit auch dem Referenztofu. Der Feuchteanteil ist hier überall eher niedrig, dies zeigt sich vor allem bei Charge 1. Daher ist auch die Masse, aber auch die Ausbeute dort geringer. Die höchste Ausbeute und auch Festigkeit, wurde bei Charge 3 erreicht.

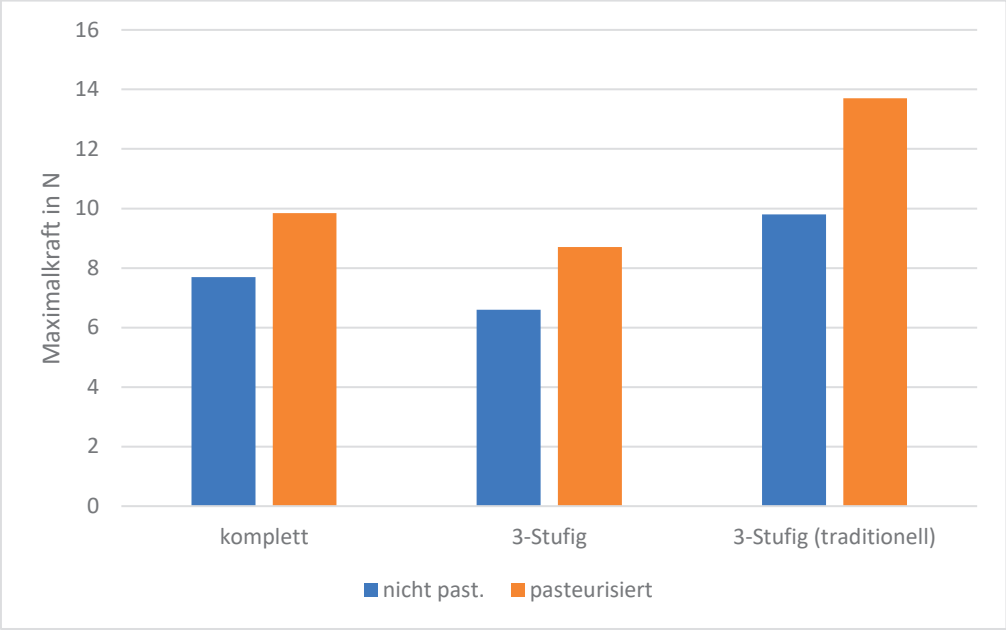

Abbildung 10: Festigkeit des frischen Tofus im Vergleich zum pasteurisierten Tofu (HV3)

In Abbildung 10, in der die Festigkeit bei unterschiedlicher Gerinnungsmittelzugabe für frischen und pasteurisierten Tofu dargestellt ist, ist deutlich zu erkennen, dass beim pasteurisierten Tofu eine höhere Maximalkraft zum Zusammendrücken nötig ist als beim frischen Tofu. Am festesten ist hier der Tofu mit der traditionellen Gerinnungsmittelzugabe geworden. Charge 1 und 2 sind miteinander vergleichbar und erzeugten einen weniger festen Tofu.

4.2.4 Sensorische Untersuchungen

Es wurde für die während der Hauptversuche hergestellten Tofus eine Beliebtheitsprüfung mit der 9-Punkte Skale durchgeführt. Dafür wurden die Proben nacheinander verkostet. Zu bewerten war der Gesamteindruck. Das Prüfprotokoll bot den Prüfpersonen zusätzlich Platz um, ihre Entscheidung zu Begründen. Daher konnte neben der Beliebtheit auch auf bestimmte Eigenschaften der Proben geschlossen werden. Insgesamt wurde Hauptversuch #1 von 10 Probanden verkostet. Hauptversuche #2 und #3 wurden nur durch 8 Personen bewertet. Diese 8 Personen hatten bereits an der ersten Verkostung von Hauptversuch #1 teilgenommen. Je höher die Anzahl der Testpersonen desto aussagekräftiger ist auch die Sensorik. Aufgrund der gegenwertig geltenden hygienischen Anforderungen konnten die Proben nicht von einem größeren Panel verkostet werden. Alle gaben auf dem Prüfprotokoll ihr Alter, Geschlecht und ihre Ernährungsform an. Außerdem wurde gefragt, ob die jeweilige

Prüfperson normalerweise regelmäßig Tofu verzehrt. Von den 10 Personen haben 7 mit ja geantwortet.

Tabelle 20: Auswertung der Beliebtheitsprüfung (Referenztofu)

Mittelwert	7,6
Varianz	1,2
Standartabweichung	1,10

Zu Beginn wurde der Referenztofu von allen 10 Prüfpersonen verkostet. Dies ergab einen Mittelwert von 7,6 und kann so als „gefällt“ eingestuft werden. Außerdem befanden sich 100% der Bewertungen im „gefällt-Bereich“ Anhand der Varianz ist abzulesen, dass sich das Panel sehr einig war. Die Entscheidung der Probanden wurde durch Beschreibungen wie „sehr elastisch“, „gute Festigkeit“ und „milder Geschmack“ begründet

Tabelle 21: Auswertung der Beliebtheitsprüfung (HV1)

Charge	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Mittelwert	2,5	1,8	3,2	4,7	3,7
Varianz	1,17	1,62	1,51	1,73	0,9
Standartabweichung	1,01	0,79	1,23	1,32	0,95

Hauptversuch #1 ergab, dass 2 Tofus als „missfällt“ eingestuft wurden. Den höchsten Mittelwert erhielt Charge 4, welche bei 30 min koaguliert wurde. Der Tofu wurde trotzdem als mehlig und leicht bitter beschrieben. Die Varianz ist bei Charge 4 am größten, da die Bewertung des Panels sich über die gesamte Skale verteilt hat. Insgesamt ist die Varianz jedoch eher gering, da die Probanden meist im missfällt Bereich bewertet haben.

Tabelle 22: Auswertung der Beliebtheitsprüfung (HV2)

Charge	**1**	**2**	**3**
Mittelwert	2,5	3,0	3,4
Varianz	0,8	1,56	1,32
Standartabweichung	0,9	1,25	1,17

Hauptversuch 2 wurde von 8 Personen bewertet. Die beste Bewertung erhielt in diesem Versuch Charge 3. Dies ist am Mittelwert von 3,4 zu erkennen. In den Beschreibungen wurde dieser als mild, und wenig bohnig bezeichnet. Charge 2 war hingegen etwas fester, jedoch wurde der leicht bittere Geschmack als störend empfunden. Charge 2 und 3 erhielten 25 % der Bewertungen im neutralen Bereich. Charge 1 100 % im missfallenen Bereich.

Tabelle 23: Auswertung der Beliebtheitsprüfung (HV3)

Charge	**1**	**2**	**3**
Mittelwert	2,4	2,5	4,6
Varianz	1,07	1,58	1,16
Standartabweichung	1,03	1,55	1,55

Die Tofus des Hauptversuch #3 wurde ebenfalls von einer Panelgröße von 8 Personen untersucht. Charge 3 erhielt neben Charge 4 aus Hauptversuch #1 die beste Bewertung. Charge 3 wurde durch die traditionelle Zugabe des Gerinnungsmittels hergestellt. Die Wertung wurde durch die Beschreibungen „feinpoorig“ und „neutral“ im Geschmack beschrieben. Allerdings wurde der Tofu nur von einem Probanden als gefallend beschrieben. Die gesamte Gerinnungsmittelzugabe wurde in diesem Versuch am schlechtesten bewertet. Dieser wurde als „sehr belegend“ ausgewertet.

Die meisten positiven Bewertungen erhielt der Tofu aus Hauptversuch #1 Charge 4, welcher bei einer Koagulationszeit von 30 min hergestellt wurde. Am schlechtesten wurde Charge 2 aus demselben Hauptversuch gewertet. Dieser besaß keine hohe Festigkeit und wurde als sehr „bitter“ und „belegend“ beschrieben. Die vergebene

Notenhöhe korreliert mit der Festigkeit der Tofus, woraus sich schließen lässt, dass die Konsistenz eines der wichtigsten Merkmale des Tofus ist. Zusätzlich ließ sich durch die Bemerkungen erkennen, dass der Geschmack als umso intensiver und bitterer wahrgenommen wurde, je weniger Festigkeit der Tofu erreichen konnte.

4.3 Diskussion

Während der Vorversuche wurden 3 Parameter festgelegt, die später, während der Hauptversuche, als fix angesehen und nicht mehr geändert wurden. Zunächst erfolgte in Vorversuch #1 das Einstellen der Mixzeit des Sojabohnen-Wassergemisches auf 15 min. Dadurch konnte eine relative Dichte von 8 Brix nahezu immer erreicht werden. Durch den Vorversuch #2 konnte festgelegt werden, dass die Temperatur der Aufschlämmung bei 100°C liegen soll und im Vorversuch #3 konnte das zusätzliche Kochen der Sojamilch als Faktor für die Festigkeit ausgeschlossen werden, allerdings wurde entschieden, die Koagulationstemperatur auf 95-100°C zu erhöhen. Mit diesen Ausgangswerten als nunmehr feststehende Parameter wurden die Hauptversuche durchgeführt.

Im Hauptversuch #1 wurde der Einfluss der Koagulationszeit auf das Endprodukt untersucht. Dabei zeigte sich in den Analysen, dass der Tofu mit 5 min Koagulationszeit am festesten wurde. Allerdings wurde hier keine hohe Ausbeute erzeugt und es ging viel Trockenmasse verloren, da in der kurzen Zeit noch nicht die gesamten Proteine koagulieren konnten. Daraus resultierend wurde der finale Tofu sehr dünn und es fiel bei der Untersuchung der Festigkeit auf, dass die gemessene Festigkeit nicht der wahrgenommenen Festigkeit entspricht. Die wahrgenommene Festigkeit der Charge 1 entsprach Charge 4 (30 min Koagulationszeit). Das Mundgefühl wurde in den Bemerkungen als etwas sämig und aber auch elastisch beschrieben. Dies lässt sich dadurch begründen, dass der Tofu für die eingestellten Texturanalyse Parameter zu dünn war. Der Tofu hat, aufgrund seiner geringen Dicke, keine Möglichkeit sich während der Messung nach außen entsprechend „wegzubewegen“. Stattdessen wird der Tofu durch den Prüfkörper am Messpunkt komprimiert, da er sich wegen seiner Auflagefläche nicht nach unten wegbewegen kann. Es entsteht also ein größerer Druck auf den Prüfkörper, welches der Texture Analyser in Form einer hohen Maximalkraft anzeigt. Auch dort wurde erklärt, dass bei einer kurzen Koagulationszeit eine geringere Ausbeute und ein eher fester Tofu

hergestellt wurde. Lässt man diesen Tofu aufgrund der fehlerhaften Festigkeitsanalyse außer Betracht, ist Charge 4 mit 10,8 N am festesten geworden. Dieser gefällt auch am meisten in der Sensorik und wird nur als etwas mehlig, aber neutral im Geschmack beschrieben. Er ähnelt in der Festigkeit nach dem Pasteurisieren dem Referenztofu.

Im Hauptversuch #2 wurde die Abhängigkeit der Eigenschaften von der Kochzeit der Aufschlämmung untersucht. Dabei ergaben sich zwei festere Tofus und ein weicherer. Die zwei festeren Tofus wurden bei einer Kochzeit von 10 min sowie 15 min hergestellt, wobei der nach 15-minütigem Kochen noch etwas fester war. Auch sensorisch gefiel dieser Tofu etwas besser, denn er wurde als weniger bohnig und sojaartig beschrieben. Aufgefallen ist, dass eine eher geringe Menge Sojamilch ausgepresst wurde. Die Masse das Okaras und somit den eingesetzten Sojabohnen, gleicht jedoch den anderen Versuchen. Dies könnte dadurch erklärt werden, dass bei diesem Versuch die Sojamilch zum schnelleren Abkühlen vor das offene Fester gestellt wurde und es so zu einem größeren Anteil an verdampftem Wasser gekommen ist. Auch eine fehlerhafte Wassereinwaage ist nicht grundsätzlich auszuschließen, lässt sich aber nicht mehr eindeutig nachvollziehen. Die Messwerte für die Festigkeit der nach 10- und 15-minütigem Kochen erreichten im frischen Zustand eine Maximalkraft von etwa 10 N. Das Ziel war das Erreichen des Referenzwerts von 12,5 N. Beide Chargen wurden nach der Pasteurisation erneut vermessen. Dabei wurden jeweils Maximalkraftwerte von über 12 N erreicht werden, was der Festigkeit des Referenztofus entspricht.

Im Hauptversuch #3 wurde der Einfluss der Art der Gerinnungsmittelzugabe untersucht. Die Messwerte für die Maximalkräfte lassen schließen, dass Tofu durch die traditionelle Zugabeart des Gerinnungsmittels am festesten wird. Dabei wird zunächst ein Teil des Gerinnungsmittels von weit oben in den Topf fallen gelassen, so dass es schnell zu Boden sinkt und die Koagulation anfänglich von unten nach oben erfolgt. In den nächsten 2 Schritten wird das Koagulationsmittel nur über die Oberfläche verteilt, da der untere Teil im Topf bereits durch Schritt eins koaguliert ist. Die beiden anderen untersuchten Varianten (Gerinnungsmittelzugabe im Gesamten bzw. in 3 Stufen) führen zu untereinander ähnlichen aber im Vergleich zum traditionell hergestellten Tofu deutlich geringen Festigkeitswerten. Als Vorteil, das Gerinnungsmittel komplett hinzuzugeben, wird gesehen, dass die Gerinnung in Ruhe ablaufen kann und der Vorgang nicht gestört wird. Als Vorteil der Zugabe in Schritten wird angesehen, dass das Gerinnungsmittel nacheinander wirken kann und so weniger

Sojamasse durch die Molke verloren geht. Nachteil dieser Methode ist jedoch, dass bei jeder Zugabe, das Gerinnungsmittel durch Rühren verteilt werden muss und somit der Gerinnungsprozess gestört wird. Auch wenn die Festigkeit der beiden Tofus ähnlich war, gefiel der Tofu bei der Zugabe in Stufen etwas besser, da dieser etwas elastischer und nicht ganz so mehlig war. Dies liegt vermutlich daran, dass sich durch ungestörte Gerinnung größere Koagulate bilden konnten. Die durch das Rühren bei mehrstufiger Zugabe zerstörten Koagulate erzeugen bei den Probanden ein mehligeres Mundgefühl. Im Vergleich zum Referenztofu konnten Charge 1 und 2 nicht die Festigkeit des Referenzwertes erreichen. Für Charge 3, die mittels traditioneller Zugabe erhalten wurde, lag Maximalkraft und somit Festigkeit im frischen Zustand unterhalb des Referenzwertes, erreicht allerdings nach der Pasteurisation einen um 1,2 N höheren Wert als der Referenztofu, was für eine sehr hohe Festigkeit spricht.

Die pH-Werte waren in allen Versuch sehr ähnlich. Die Sojamilch hatte meist einen Wert von 6,7 und der Tofu von 6,4. Die untersuchten Parameter haben also kaum Einfluss auf den pH-Wert. Der pH-Wert der Sojamilch ist beinahe neutral und entspricht dem Wert für Wasser. Die eingesetzten Gerinnungsmittel und Erhitzungsvorgänge führen zu einem etwas geringeren pH-Wert des finalen Produktes.

Auch die Farbe der hergestellten Tofus ähnelte dem Referenztofu sehr. Insgesamt waren sie jedoch meist etwas dunkler. Als am dunkelsten wurde der Tofu in Hauptversuch #2 bestimmt. Dort wurde die Aufschlämmung für 10 min gekocht. Deutlich heller wurde der Tofu, der bei einer Kochzeit von 15 min hergestellt wurde. Noch heller stellte sich durch Farbmessung des Tofu heraus, der bei einer Koagulationszeit von 5 min und kompletter Gerinnungsmittelzugabe hergestellt wurde. Diese beiden hellen Tofus zeichnen sich durch eine beobachtete gute Gerinnung aus. Die a*- und b*-Werte befinden sich immer im positiven Bereich und beschreiben so die Rot- und Gelbfärbungen der Tofus. Beide ähneln somit stark dem Referenztofu. Am rötlichsten wurde Charge 3 in Hauptversuch #1, wo der Referenzwert unwesentlich übertroffen wurde. Die restlichen Werte befinden sich wenig unterhalb der Werte des Referenztofu. Der niedrigste a*-Wert (HV1, Charge 2) ist gleichzeitig auch der Tofu mit dem höchsten Feuchteanteil. Der genannte Tofu mit dem niedrigsten L*-Wert ist gleichzeitig auch der gelblichste Tofu. Eine längere Kochzeit der Aufschlämmung führt eventuell zu einem weniger farbintensiven Tofu. Es lassen sich jedoch keine aussagekräftigen Korrelationen zwischen den variierten Herstellungsparametern und Farbanalyseergebnissen herstellen.

Die Festigkeitsmessergebnisse zeigen, dass von allen hergestellten Tofus der Tofu mit einer Koagulationszeit von 5 min (HV1) am festesten geworden ist, allerdings ist nicht auszuschließen, dass die Festigkeitsmessung wie oben beschrieben aus geometrischen Gründen verfälscht ist, da sich die sensorischen Eindrücke nicht mit den Daten der Festigkeitsmessung decken. Daher wird dieser Tofu im Weiteren nicht als festester betrachtet. Bei Charge 1 im Vorversuch #3 wurde neben dem zusätzlichen Kochen der Sojamilch, die Koagulationstemperatur bei knapp 100°C gehalten. Den Beobachtungen nach hat das Koagulat sogar kurzzeitig ein klein wenig geköchelt. Diese Beobachtung und die daraus resultierende Festigkeit stehen jedoch im Widerspruch zu den in der Literatur empfohlenen Werten von 85°C. Zur Klärung des Einflusses von Köcheln auf die finale Festigkeit müssen weitere Untersuchungen folgen.

Alle Tofus der Hauptversuche wurden pasteurisiert und bei allen Tofus kam es während diesem Schritt zu einem deutlichen Anstieg der Festigkeit. Dies ist durch das Vorliegen eines Wasseraustrittes aus dem Tofu während des Prozesses zu erklären. Vor der Pasteurisation befand sich nur der vakuumierte Tofu in der Plastikverpackung. Nach der Pasteurisation, war dort zusätzlich eine Ansammlung von Flüssigkeit zu erkennen. Zusätzlich lässt sich die erhöhte Festigkeit auch durch die niedrige Temperatur von 4 °C erklären, da Tofus in einem wärmeren Zustand weicher werden. Der frische Tofu wurde bei Zimmertemperatur vermessen.

Unabhängig davon ist als Erfolg zu verzeichnen, dass der Tofu mit der höchsten Festigkeit im letzten Hauptversuch produziert wurde. Dies liegt konsequenter Weise daran, dass nicht nur die günstigsten Parameter der Vorversuche, sondern auch die jeweils günstigsten Parameter der Hauptversuche in die nächsten Hauptversuche übernommen und fix gehalten wurden. Damit wurde der Herstellungsprozess in einer ersten Iteration optimiert. Allerdings war es im Rahmen der begrenzten Zeit nicht möglich die Rückkopplung der zum Ende gefundenen günstigsten Parameter zu untersuchen und Vorversuche sowie Hauptversuche dahingehend mit anderen Parametern zu wiederholen, um noch optimalere Ergebnisse zu erzielen. Das Testen der gesamten Matrix aus variablen Parametern und Einflüssen würde den Rahmen der vorliegenden Arbeit sprengen.

Es lässt sich zusammenfassend feststellen, dass eine Vielzahl von Parametern, die Tofuherstellung beeinflusst. Jeder Parameter für sich lässt sich bei ansonsten konstanten Bedingungen untersuchen und es können Korrelationen zwischen den

Bedingungen und der Festigkeit gefunden werden. Das Verändern mehrerer Parameter jedoch führte zu Unklarheiten bei der Interpretation. Daher ist davon auszugehen, dass schon eine andere Wahl der Parameter während der Vorversuche zu anderen Ergebnissen der Hauptversuchen führen würde. Zudem ist eine eindeutig standardisierte Herstellungsmethode anzustreben, bei der sowohl der Einfluss des Herstellers selbst bei der Handarbeit minimiert als auch Umwelteinflüsse, wie Umgebungstemperatur usw. berücksichtigt und vereinheitlicht werden. Für den direkten Herstellungsprozess sollten auch einige grundlegende Parameter wie, die Temperatur, die Geometrie und Dicke des Tofus bei der Texturanalyse und die Abtrennung der Molke unbedingt standardisiert werden. Aus prinzipieller messtechnischer Sicht ist es nötig möglichst identische Geometrien der Tofus zu realisieren und im Texture Analyzer zu vermessen. Notwendig ist auf jeden Fall die Festlegung einer Mindestdicke bzw. die Tofudicke der hergestellten Tofus für die Messung an die des Referenztofus anzupassen. Da in der Sensorik beinahe alle Tofus als etwas mehlig, sämig oder krisselig beschrieben wurden, ist es ratsam den Tofubruch nur durch ein Sieb von der Molke zu trennen, statt zusätzlich ein Presstuch in das Sieb zu legen. Durch diesen Schritt konnten kleine Koagulate nicht abgetrennt werden, welche vermutlich zu der krisseligen Textur führten.

5 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, durch das systematische Variieren verschiedener, bisher noch nicht festgelegter Prozessparameter, einen Tofu herzustellen, der der Textur des Referenzmusters der Firma „Taifun Tofu“ entspricht und diesem auch in der Sensorik nahekommt. Dazu wurden zunächst Vorversuche mit Variation des Zerkleinerungsmechanismus, der Kochtemperatur der Aufschlämmung sowie eines zusätzlichen Kochens der Sojamilch durchgeführt. Die unter Variation dieser Parameter hergestellten Tofus wurden analytisch untersucht. Insbesondere die Ergebnisse für die Maximalkraft bei der der Festigkeitsanalyse wurden zur Festlegung der Fixparameter für die Hauptversuche herangezogen. In der Abbildung Nummer 11 sind für jeden Versuch die verwendeten variierten Parameter dargestellt. Mit den grau hinterlegten Parametern wurden alle folgenden Versuche durchgeführt. Die Übernahme aller Parameter in die folgende(n) Versuchsreihe(n) ist durch schwarze Pfeile gekennzeichnet. Kriterium war die gemessene Festigkeit, wobei mit Fragezeichen gekennzeichnete Werte als nicht belastbar angesehen werden können.

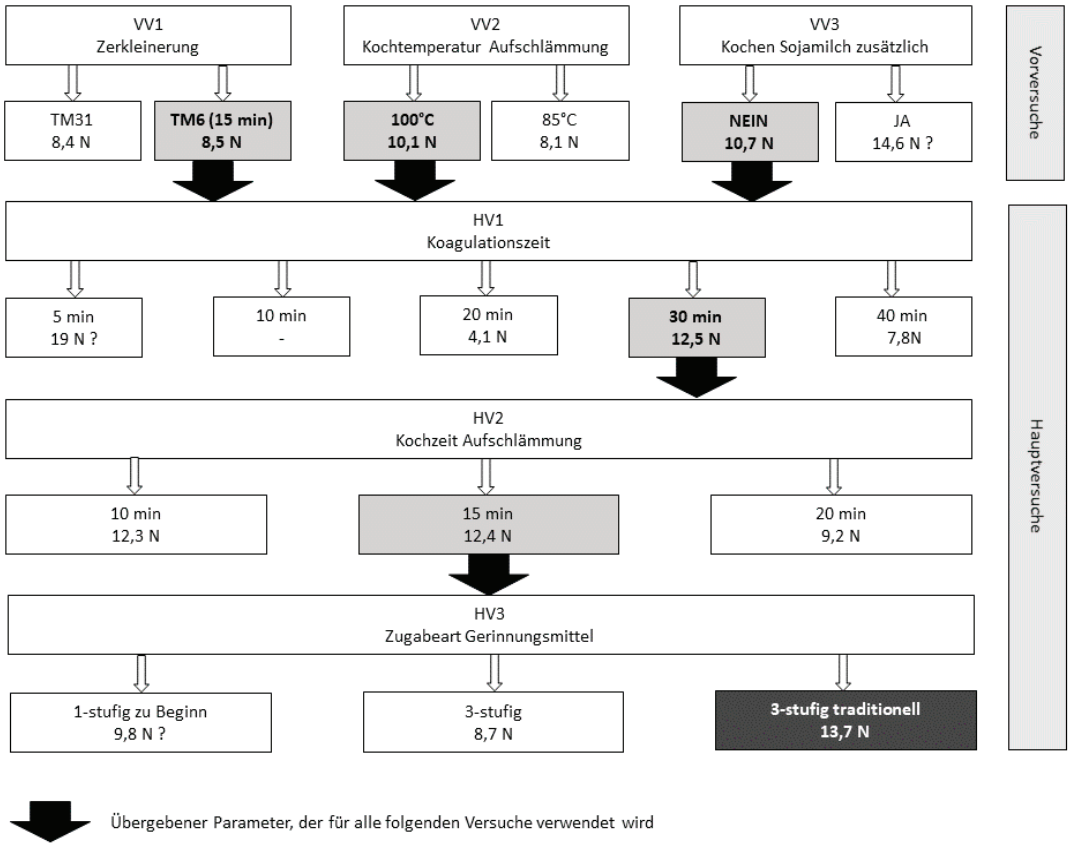

Abbildung 11: Schema der Vorgehensweise zum optimalen Einstellen der Prozessparameter

Im ersten Vorversuch (VV1) wurde der Unterschied zwischen dem Feststoffanteil in der Sojamilch durch zwei verschiedene Mixer untersucht. Der Thermomixern TM6

(neu) erzeugte im Gegensatz zum TM31 (alt) einen höheren Feststoffanteil in kürzerer Zeit. Der 2 Vorversuch (VV2) diente der Untersuchung der Kochtemperatur der Sojamilch und ergab, dass 100 °C zu einem festeren Tofu führen. Zuletzt wurde untersucht, ob es notwendig ist, die Sojamilch zusätzlich zu kochen. Der Versuch (VV3) führte zu einem ähnlich festen Tofu wie der Tofu, bei welchem die Aufschlämmung für 100 °C gekocht wurde. Gleichzeitig wurde bei diesem Vorversuch eine Charge bei 100°C koaguliert und führte zu dem insgesamt festesten Tofu. Daher wurde die Koagulationstemperatur für die Hauptversuche auf 95-100 °C festgelegt. In Hauptversuch 1 (HV1) wurden verschiedene Koagulationszeiten untersucht. Eine Zeit von 30 Minuten führte zum festesten Tofu dieses Versuches. Diese Erkenntnis wurde in die Durchführung des 2. Hauptversuches (HV2) übernommen. Dort führte eine Kochzeit von 15 min zu einem festen Tofu, der sogar mit dem Referenztofu vergleichbar war. Auch dieser optimierte Parameter wurde in Hauptversuch 3 (HV3) übernommen, welcher die Art der Gerinnungsmittelzugabe untersuchte. Die 3-stufige traditionelle Zugabeart führte zu einem mit dem Referenztofu vergleichbaren und nach dem Pasteurisieren sogar festeren Tofu.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden noch keine rückgekoppelten Versuche durchgeführt, was bedeuten würde mit den herausgefundenen Parametern wiederum mit den Vorversuchen zu starten, um so Schritt für Schritt iterativ im Sinne von Prozessoptimierung das bestmögliche Ergebnis durch Untersuchung der gesamten Parametermatrix zu erzielen. Die Vielzahl der Parameter und erwarteten Abhängigkeiten untereinander sollte Gegenstand umfassender Studien werden, um bestmögliche Tofuqualitäten zu erzielen.

Als erfolgreiches Ergebnis dieser Arbeit ist festzuhalten, dass im abschließenden Hauptversuch, bestätigt durch die Texturanalyse und Sensorikuntersuchungen, ein fester Tofu mit zum Referenzmuster vergleichbaren mechanischen und optischen Eigenschaften im Technikumsmaßstab hergestellt werden konnte. Die Optimierung der Parameter in erster Annäherung entsprechend des obigen Schemas war also prinzipiell erfolgreich und wird als gangbarer Weg zur Prozessoptimierung vorgeschlagen. Allerdings zeigte sich, dass trotz der sehr guten Festigkeit kein sensorisch optimaler Tofu erzeugt wurde, da dieser von den Probanden meist als sämig, mehlig und belegend beschrieben wurde. Gründe hierfür gilt es nun in zukünftigen Arbeiten zu untersuchen und den Prozess weiter zu optimieren.

6. Literaturverzeichnis

(2006). *2. Studienarbeit: Herstellung von Sojamilch und festem Tofu japanischer Art unter Verwendung verschiedener Gerinnungsmittel im Technikumsmaßstab.* Neubrandenburg.

Adomat, C. (2021). *2. Studienarbeit: Untersuchungen zur Verbesserung der Festigkeit von Tofu.* Neubranddenburg.

Backes, G. (März 2012). *Ernährung im Fokus: Soja-das Fleisch des Feldes.* Abgerufen am 20. März 2021 von https://www.hs-fulda.de/fileadmin/user_upload/Zentren_und_Verbuende/ZCMK/Downloads/Publikationen/Ernaehrung_im_Fokus_2012_03.pdf

Cai, T., & Chang, K. (1997). Dry tofu characteristics affected by soymilk solid content and coagulation time. *Journal of Food Quality*.

Cheftel, J., Cuq, J., & Lorient, D. (1992). *Lebensmittelproteine: Biochemie, Funktionelle Eigenschaften, Ernährungsphysiologie, Chemische Modifizierung.* Hamburg: Behrs Verlag.

Cîrstea, D., Füssel, D., Heimbokel, M., Liamkin, N., Pohle, K., & Zeberjadi, K. (2019). *Prozessentwicklung: Herstellung von Tofu unter verschiedenen Prozessparametern.* Neubrandenburg.

DGE. (September 2020). *Ausgewählte Fragen und Antworten zur Position der DGE zu veganer Ernährung*. Abgerufen am 22. März 2021 von https://www.dge.de/wissenschaft/weitere-publikationen/faqs/vegane-ernaehrung/?L=0#c2895

DGE. (2020). *Referentwerte Energie*. Abgerufen am 07. 10 2020 von https://www.dge.de/wissenschaft/referenzwerte/energie/

Dürrschmid, K. (2010). *DLG.* Von https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/lebensmittel/themen/publikationen/expertenwissen/lebensmittelsensorik/2010_4_Expertenwissen_hedonische_Pruefungen.pdf abgerufen

Engelbert, A. K. (Dezember 2017). *Ernährungsphysiologische Bedeutung der Sojabohne für den Menschen.* Von

https://www.openagrar.de/servlets/MCRFileNodeServlet/openagrar_derivate_00010100/A1733.pdf abgerufen

Figura, L. (2004). *Lebensmittelphysik: Physikalische Kenngrößen — Messung und Anwendung.* Berlin: Springer Verlag.

Gerhard, C. (2020). *Tutorium Optik.* Berlin: Springer Spektrum.

Hui, Y., Chazala, S., Graham, D., Murrell, K., & Nip, W.-K. (2004). *Handbook of Vegetable Preservation and Processing.* New York: Marcel Dekker, Inc.

HunterLab. (kein Datum). *Hunterlab Colorflex EZ Bedienungsanleitung* . Von https://cdn.website-editor.net/ae556a3308104a89961078b961e20b51/files/uploaded/ColorFlexEZ-de.pdf abgerufen

mediencommunity.de. (kein Datum). Abgerufen am 20. März 2021 von https://mediencommunity.de/book/export/html/24015

Rekha, C. R., & G. Vijayalakshmi. (2011). Influence of processing parameters on the quality of soycurd (tofu). *Journal of Food Science Technology*.

Seiler, M. (07. September 2006). *Ealuierung der Technischen und wirtschaftlichen Umsetzbarkeit eines neuartigen Verfahrenskonzepts zu Herstellung von Proteinprodukten aus Sojabohnen.* Abgerufen am 18. März 2021 von https://depositonce.tu-berlin.de/bitstream/11303/1775/1/Dokument_35.pdf

Shurtleff, W., & Aoyagi, A. (2000). *Tofu & Soymilk Production: The Book of Tofu, Volume II.* Soyfoods Center.

Wilhelm, T. (04. März 2016). *Bachelorarbeit: Entwicklung eines tofuähnlichen Produktes auf der Basis von Lupinen.* Abgerufen am 18. März 2021 von https://digibib.hs-nb.de/file/dbhsnb_thesis_0000001436/dbhsnb_derivate_0000002030/Bachelorarbeit-Wilhelm-2016.pdf

Winopal, R.-A., Drobny, L., & Schneider-Häder, B. (03 2015). *Instrumentelle Sensorik in der Ernährungswirtschaft Teil 2: Mechanische Texturanalyse.* Abgerufen am 20. März 2021 von DLG - Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft: https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/lebensmittel/themen/publikationen/expertenwissen/lebensmittelsensorik/2015_3_Expertenwissen_Texturanalyse.pdf

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Makronährstoffe und Mikronährstoffe von der Sojabohne und Tofu (entnommen aus der 2. Studienarbeit (Adomat, 2021)) 8
Tabelle 2: Hauptbestandteile der Sojabohne mit den dazugehörigen Proteinanteilen (Cheftel, Cuq, & Lorient, 1992) 11
Tabelle 3: Verwendete Rohstoffe 13
Tabelle 4: Verwendete Chemikalien 13
Tabelle 5: Verwendete Geräte 14
Tabelle 6: Messparameter der Texturanalyse 16
Tabelle 7: Beispielrechnung Sojamilchherstellung 22
Tabelle 8: Verwendeter Pressdruck in Stufen 23
Tabelle 9: Ergebnisse der Analysen des Referenztofus 24
Tabelle 10: Mengen Sojamilch, Okara, Molke, Tofu, (VV2) 26
Tabelle 11: Ergebnisse der Analysen Tofu (VV2) 27
Tabelle 12: Mengen Sojamilch, Okara, Molke, Tofu (VV3) 29
Tabelle 13: Ergebnisse der Analysen Tofu (VV3) 29
Tabelle 14: Mengen Sojamilch, Okara, Molke, Tofu (HV1) 31
Tabelle 15: Ergebnisse der Analysen Tofu (HV1, unterschiedliche Koagulationszeit) 32
Tabelle 16: Mengen Sojamilch, Okara, Molke, Tofu (HV2) 34
Tabelle 17: Ergebnisse der Analysen Tofu (HV2, unterschiedliche Kochzeit der Aufschlämmung) 35
Tabelle 18: Mengen Sojamilch, Okara, Molke, Tofu (HV3) 36
Tabelle 19: Ergebnisse der Analysen Tofu (HV3, unterschiedliche Art der Gerinnungsmittelzugabe) 37
Tabelle 20: Auswertung der Beliebtheitsprüfung (Referenztofu) 39
Tabelle 21: Auswertung der Beliebtheitsprüfung (HV1) 39
Tabelle 22: Auswertung der Beliebtheitsprüfung (HV2) 40
Tabelle 23: Auswertung der Beliebtheitsprüfung (HV3) 40
Tabelle 24: Vergleich der relativen Dichte über der Zeit 52
Tabelle 25: Messwerte während der Tofuherstellung VV2 53
Tabelle 26: Messwerte während der Tofuherstellung VV3 53
Tabelle 27: Messwerte während der Tofuherstellung HV1 54
Tabelle 28: Messwerte während der Tofuherstellung HV2 55

Tabelle 29: Messwerte während der Tofuherstellung HV3 55
Tabelle 30: Auswertung der Beliebtheitsprüfung (Referenztofu) 57
Tabelle 31: Statistische Auswertung der Beliebtheitsprüfung (Referenztofu) 57
Tabelle 32: Bemerkungen Beliebtheitsprüfung (Referenztofu) 57
Tabelle 33: Auswertung der Beliebtheitsprüfung (HV1) 58
Tabelle 34: Statistische Auswertung der Beliebtheitsprüfung (HV1) 58
Tabelle 35: Bemerkungen Beliebtheitsprüfung (HV1) 59
Tabelle 36: Auswertung der Beliebtheitsprüfung (HV2) 59
Tabelle 37: Statistische Auswertung der Beliebtheitsprüfung (HV2) 60
Tabelle 38: Bemerkungen Beliebtheitsprüfung (HV2) 60
Tabelle 39: Auswertung der Beliebtheitsprüfung (HV3) 61
Tabelle 40:Statistische Auswertung der Beliebtheitsprüfung (HV3) 61
Tabelle 41: Bemerkungen Beliebtheitsprüfung (HV3) 61

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Prozesses der Tofuherstellung (Adomat, 2021) 7
Abbildung 2: Schematische Querschnitt einer Sojabohne (Seiler, 2006) 9
Abbildung 3: Anteile der Proteinfraktionen in % (Cheftel, Cuq, & Lorient, 1992) 10
Abbildung 4: Darstellung des L* a* b*- Farbsystems (mediencommunity.de) 17
Abbildung 5: Relative Dichte in °Bx in Abhängigkeit von der Zeit beim Mixen 25
Abbildung 6: Festigkeit frischer Tofu (VV2) 28
Abbildung 7: Festigkeit frischer Tofu (VV3) 30
Abbildung 8: Festigkeit des frischen Tofus im Vergleich zum pasteurisierten Tofu (HV1) 33
Abbildung 9: Festigkeit des frischen Tofus im Vergleich zum pasteurisierten Tofu (HV2) 36
Abbildung 10: Festigkeit des frischen Tofus im Vergleich zum pasteurisierten Tofu (HV3) 38
Abbildung 11: Schema der Vorgehensweise zum optimalen Einstellen der Prozessparameter 46
Abbildung 12: Prüfprotokoll Sensorik 56

Anlagen

Anlage 1: Messwerte

Vorversuch 1

Tabelle 24: Vergleich der relativen Dichte über der Zeit

Minuten	TM31	TM6
1	4,0	4,5
2	4,5	5,3
3	4,8	5,3
4	4,8	5,4
5	5,1	5,4
6	5,2	5,8
7	5,3	6,2
8	5,3	6,3
9	5,4	6,7
10	5,6	7,3
20	7,0	8,1
30	7,7	8,5
40	8,1	8,5 (Ende)
50	8,3	-
60	8,4(Ende)	-

Vorversuch 2

Tabelle 25: Messwerte während der Tofuherstellung VV2

		Charge 1	Charge 2
Sojabohnen	Trocken [g]	187,5	187,5
	Einwaage geweicht [g]	444,4	444,4
	Einwaage Wasser [g]	1618,1	1618,1
	Weichfaktor	2,37	2,37
Gerinnungsmittel	Menge [g]	5,6	5,6
Sojamilch	Menge [g]	1458,9	1465,4
	relative Dichte [°Bx]	7,9	8,2
	pH-Wert	6,76	6,65
Okara	Menge [g]	305,3	295,0
	Feuchteanteil [%]	78,16	77,85
Molke	Menge [g]	740,5	942,6
Tofu	Gewicht	272,0	290,5

Vorversuch 3

Tabelle 26: Messwerte während der Tofuherstellung VV3

		Charge 1	Charge 2
Sojabohnen	Trocken [g]	187,5	187,5
	Einwaage geweicht [g]	444,4	435,0
	Einwaage Wasser [g]	1618,1	1628,3
	Weichfaktor	2,37	2.32
Gerinnungsmittel	Menge [g]	5,6	5,6
	Menge [g]	1446,1	1358,8

Sojamilch	relative Dichte [°Bx]	8,2	7,7
	pH-Wert	**6,59**	**6,76**
Okara	Menge [g]	290,1	308,5
	Feuchteanteil [%]	75,01	79,15
Molke	Menge [g]	773,3	746,8
Tofu	Gewicht	318,2	281,0

Hauptversuch 1

Tabelle 27: Messwerte während der Tofuherstellung HV1

	Charge	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Sojabohnen	Trocken [g]	187,5	187,5	187,5	187,5	187,5
	Einwaage geweicht [g]	444,9	444,9	444,9	444,9	444,9
	Einwaage Wasser [g]	1617,6	1617,6	1617,6	1617,6	1617,6
	Weichfaktor	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37
Gerinnungsmittel	Menge [g]	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
Sojamilch	Menge [g]	1447,6	1465,6	1488,4	1539,3	1498,1
	Brix [°Bx]	7,8	7,9	7,8	7,9	7,6
	pH-Wert	6,84	6,85	6,74	6,80	6,79
Okara	Menge [g]	346,9	338,6	299,8	288,8	301,2
	Feuchteanteil [%]	78,4	77,94	75,19	71,52	74,53
Molke	Menge [g]	866,4	971	916,4	899,3	910,0
Tofu	Gewicht	167,7	288,4	290,5	253,1	275,5

Hauptversuch 2

Tabelle 28: Messwerte während der Tofuherstellung HV2

	Charge	**1**	**2**	**3**
Sojabohnen	Trocken [g]	187,5	187,5	187,5
	Einwaage geweicht [g]	436,9	436,9	436,9
	Einwaage Wasser [g]	1625,6	1625,6	1625,6
	Weichfaktor	2,33	2,33	2,33
Gerinnungsmittel	Menge [g]	5,6	5,6	5,6
Sojamilch	Menge [g]	1345,7	1298,9	1379,3
	Brix [°Bx]	8,1	8,4	8,2
	pH-Wert	6,77	6,69	6,76
Okara	Menge [g]	302	302	286
	Feuchteanteil [%]	72,79	80,06	75,37
Molke	Menge [g]	840.4	740,5	793,3
Tofu	Gewicht	251,7	272,0	318,2

Hauptversuch 3

Tabelle 29: Messwerte während der Tofuherstellung HV3

	Charge	**1**	**2**	**3**
Sojabohnen	Trocken [g]	187,5	187,5	187,5
	Einwaage geweicht [g]	437	437	237
	Einwaage Wasser [g]	1625,5	1625,5	1625,5
	Weichfaktor	2,33	2,33	2,33
Gerinnungsmittel	Menge [g]	5,6	5,6	5,6
Sojamilch	Menge [g]	1446,2	1473,1	1460,3
	Brix [°Bx]	8,0	8,1	8,1

	pH-Wert	6,73	6,77	6,75
Okara	Menge [g]	290,7	300,1	287,5
	Feuchteanteil [%]	79,48	71,31	78,03
Molke	Menge [g]	866,4	897,0	945,5
Tofu	Gewicht	251,7	272,0	290,5

Anlage 2: sensorische Auswertung der Hauptversuche und des Referenztofus

Prüfprotokoll:

Prüfprotokoll

Prüfverfahren: Beliebtheitsprüfung

Datum:

Bitte ankreuzen:

Ihr Geschlecht: männlich ☐ weiblich ☐ divers ☐

Ihr Alter: unter 25 ☐ 25-40 ☐ 41-60 ☐

Sind Sie Vegetarier oder Veganer? Ja ☐ Nein ☐

Essen Sie Tofu? Ja ☐ Nein ☐

Prüfgut: Sojatofu

Prüfanleitung:

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

		Probennummer		
Note	**Prädikat**	**593**	**478**	**194**
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 (Entscheidungsbegründung)

Probennummer: 593 Skalennote:	
Probennummer: 478 Skalennote:	
Probennummer: 194 Skalennote:	

Abbildung 12: Prüfprotokoll Sensorik

Referenztofu

Tukan Tofu: 232

Tabelle 30: Auswertung der Beliebtheitsprüfung (Referenztofu)

Note	Nr. 110	
	Anzahl der Nennungen	%
9	2	30
8	4	50
7	2	10
6	2	10
5	-	-
4	-	-
3	-	-
2	-	-
1	-	-
Summe	10	100

Tabelle 31: Statistische Auswertung der Beliebtheitsprüfung (Referenztofu)

Note	Nr. 210	
	Anzahl der Nennungen	%
9-6	-	-
5	-	-
4-1	10	100
Summe	8	100

Tabelle 32: Bemerkungen Beliebtheitsprüfung (Referenztofu)

Nr. 210	sehr elastisch, gute Festigkeit, milder Geschmack, leicht bohnig

Hauptversuch 1: Koagulationszeit der Sojamilch

Charge 1: 05 min (Probennummer: 110)

Charge 2: 10 min (Probennummer: 372)

Charge 3: 20 min (Probennummer: 643)

Charge 4: 30 min (Probennummer: 982)

Charge 5: 40 min (Probennummer: 741)

Tabelle 33: Auswertung der Beliebtheitsprüfung (HV1)

Note	**Anzahl der Nennungen = Häufigkeitsverteilung**									
	Nr. 110		**Nr. 372**		**Nr. 643**		**Nr. 982**		**Nr. 741**	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	2	20	-	-
6	-	-	-	-	1	10	-	-	-	-
5	1	10	-	-	-	-	2	20	2	20
4	-	-	-	-	-	-	4	40	4	40
3	3	30	2	20	4	40	1	10	3	30
2	5	50	4	40	5	50	-	-	1	10
1	1	10	4	40	-	-	1	10-	-	-
Summe	10	100	10	100	10	100	10	100	10	100

Tabelle 34: Statistische Auswertung der Beliebtheitsprüfung (HV1)

Note	**Anzahl der Nennungen = Häufigkeitsverteilung**									
	Nr. 110		**Nr. 372**		**Nr. 643**		**Nr. 982**		**Nr. 741**	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
9-6	-	-	-	-	1	10	2	20	-	-
5	1	10-	-	-	-	-	2	20	2	20
4-1	9	90	10	100	9	90	6	60	8	80
Summe	10	100	10	100	10	100	10	100	10	100

Tabelle 35: Bemerkungen Beliebtheitsprüfung (HV1)

Nr. 110	sämig, elastisch, Sojageschmack, krisselig
Nr. 372	Krisselig, weich, belegend, zerfällt im Mund
Nr. 643	Weich, belegend, bitter, gräulich
Nr. 982	Leicht säuerlich, grobe Struktur, getreidig
Nr. 741	Mehlig, neutral, mild

2. Hauptversuch: Kochzeit der Aufschlämmung

Charge 1: 10 min (Probennummer: 210)

Charge 2: 15 min (Probennummer: 217)

Charge 3: 20 min (Probennummer: 776)

Tabelle 36: Auswertung der Beliebtheitsprüfung (HV2)

Note	**Anzahl der Nennungen = Häufigkeitsverteilung**					
	Nr. 210		**Nr. 217**		**Nr. 776**	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
9	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-
5	-	-	2	25	2	25
4	2	25	0	0	1	12,5
3	1	12,5	3	37,5	4	50
2	5	62,5	2	25	-	-
1	-	-	1	12,5	1	12,5
Summe	8	100	8	100	8	100

Tabelle 37: Statistische Auswertung der Beliebtheitsprüfung (HV2)

Note	Anzahl der Nennungen = Häufigkeitsverteilung					
	Nr. 210		Nr. 217		Nr. 776	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
9-6	-	-	-	-	-	-
5	-	-	2	25	2	25
4-1	8	100	6	75	6	75
Summe	8	100	8	100	8	100

Tabelle 38: Bemerkungen Beliebtheitsprüfung (HV2)

Nr. 210	Grobe Struktur, trocken, bitter, klebrig,
Nr. 217	getreidig, leicht bitter, wenig bohnig, krisselig
Nr. 776	Mild wenig bohnig, glatt, mehlig

3. Hauptversuch: Art der Gerinnungsmittelzugabe

Charge 1: Komplett (Probennummer: 587)
Charge 2: 3-Stufig (Probennummer: 208)
Charge 3: traditionelle Zugabe (Probennummer: 592)

Tabelle 39: Auswertung der Beliebtheitsprüfung (HV3)

Note	Anzahl der Nennungen = Häufigkeitsverteilung					
	Nr. 587		Nr. 208		Nr. 592	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
9	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-
7	-	-	1	12,5	2	25
6	-	-	-	-	-	-
5	1	12,5	-	-	5	62,5
4	-	-	-	-	1	12,5
3	1	12,5	1	12,5	-	-
2	4	50	2	25	-	-
1	2	25	4	50	-	-
Summe	8	100	8	100	8	100

Tabelle 40:Statistische Auswertung der Beliebtheitsprüfung (HV3)

Note	Anzahl der Nennungen = Häufigkeitsverteilung					
	Nr. 587		Nr. 208		Nr. 592	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
9-6	-	-	1	12,5	2	20
5	1	12,5	-	-	5	62,5
4-1	7	87,5	7	87,5	1	12,5
Summe	8	100	8	100	8	100

Tabelle 41: Bemerkungen Beliebtheitsprüfung (HV3)

Nr. 587	Belegend, leicht elastisch, leicht krisselig, süßlich
Nr. 208	Leicht bitter, belegend, mehlig
Nr. 592	feinporig, neutraler Geschmack, etwas mehlig

Erklärung zur selbstständigen Anfertigung der Arbeit

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Arbeit von mir selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt worden ist und ich keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Textstellen, die wörtlich oder annähernd wörtlich aus Veröffentlichungen entnommen wurden, sind durch Zitate als solche gekennzeichnet.

Ich erkläre weiterhin, dass die abgegebene digitale Version mit der eingereichten schriftlichen Version übereinstimmt.

Neubrandenburg, 24.03.21

Ort, Datum	**Eigenhändige Unterschrift**