



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Hochschule Neubrandenburg
Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften
Studiengang Lebensmitteltechnologie
WS 2024/25

Entwicklung eines proteinreichen Snackproduktes für Kinder

Bachelorarbeit

URN: **urn : nbn : de : gbv : 519-thesis: 2024-0074-0**

Verfasserin: Katharina Fälchle

Betreuer: Prof. Dr. Peter Meurer
Prof. Dr. Jörg Meier

Neubrandenburg, 23.01.2025

Abstract

Legumes are nutritionally very valuable as they are rich in protein and have a high content of fibre, vitamins and phytochemicals. The aim of this research was to develop a savoury cracker based on pulses as a high-protein snack product for children. Furthermore, this product should be examined based on various parameters. At the same temperature, a longer baking time resulted in a lower moisture content, higher crispness and firmness, lower L^* values and higher a^* and b^* values. To create docking holes in the crackers and avoid the formation of air bubbles, the use of a fork or a device prepared with fine needles is equally suitable. When choosing the product packaging, it is important to use moisture-impermeable materials, as otherwise the crackers absorb moisture from the environment and lose their crispiness. It was also found that varying the thickness of the dough has an influence on the texture of the crackers. There is a need for future research with the application of further methods for preventing a deformation of the product. Besides further studies are necessary into exploring ways of loosening the texture as the high firmness of the crackers could be unsuitable for a snack product for children. To make the products more appealing to children, beet powder for a reddish colour and spirulina powder for a greenish colour were each used in different concentrations and adapted formulations. In conclusion, high-protein crackers based on legumes were produced but it would be necessary to carry out a consumer test with children in the future to determine the popularity of the manufactured product variants.

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	2
Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen, Indizes und Einheiten sowie Abkürzungen.....	5
1 Einleitung.....	6
2 Stand der Wissenschaft und Technik.....	7
2.1 Ernährung von Kindern.....	7
2.2 Cracker.....	7
2.3 Rechtliche Grundlagen.....	9
2.4 Zu untersuchende Parameter.....	9
2.4.1 Rezeptur.....	9
2.4.2 Temperaturprogramm.....	10
2.4.3 Lager- und Verpackungsbedingungen.....	12
2.4.4 Vermeidung einer Luftblasenbildung.....	13
2.4.5 Vermeidung von Verformungen.....	13
2.4.6 Färbung des Teiges.....	14
2.4.7 Ausgestaltung des Coatings.....	15
3 Material und Methoden.....	16
3.1 Versuchsplanung.....	16
3.1.1 Versuchsreihe 1: Textur (Knusprigkeit) der Cracker.....	18
3.1.2 Versuch 2: Vermeidung von Verformungen.....	21
3.1.3 Versuchsreihe 3: Färbung des Teiges.....	21
3.1.4 Versuchsreihe 4: Anpassung der Rezeptur und des Temperaturprogrammes.....	24
3.1.5 Versuch 5: Sensorische Untersuchung.....	26
3.2 Herstellung der Cracker.....	27
3.3 Verwendete Materialien.....	30
3.4 Verwendete Geräte.....	31
3.5 Untersuchungsmethoden.....	32
4 Ergebnisse.....	35
4.1 Versuchsreihe 1: Textur (Knusprigkeit) der Cracker.....	35
4.2 Versuch 2: Vermeidung von Verformungen.....	46
4.3 Versuchsreihe 3: Färbung des Teiges.....	49
4.4 Versuchsreihe 4: Anpassung der Rezeptur und des Temperaturprogrammes.....	52

4.5 Versuch 5: Sensorische Untersuchung.....	54
4.6 Nährwertkalkulation.....	56
5 Diskussion und Schlussfolgerung.....	57
6 Zusammenfassung.....	63
7 Literaturverzeichnis.....	64
8 Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen.....	69
9 Anhang.....	71
Erklärung über die selbstständige Anfertigung der Arbeit	

Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen, Indizes und Einheiten sowie Abkürzungen

Symbol/ Index	Bezeichnung	Einheit
m	Masse	mg, g, kg
φ	relative Luftfeuchtigkeit	%
T	Temperatur	° C
s	Weg	mm, cm
t	Zeit	s, min

Abkürzungen

BS	Ballaststoffe
EW-Labor	Ernährungswissenschaftliche Labor
Fa.	Firma
ges. FS	gesättigte Fettsäuren
IPS	Interdisziplinäres Projektseminar
KH	Kohlenhydrate
mfNpG	mit feinen Nadeln präparierte Gerätschaft
P	Protein

1 Einleitung

Im Rahmen eines Projektes des interdisziplinären Projektseminars (IPS) des Masterstudienganges Food Chain Environments der Hochschule Neubrandenburg im WS 2024/25 wurden mithilfe der Design Thinking Methode Ideen zur Gestaltung eines gesunden und leckeren Snackproduktes für Kinder gesammelt. Beim Design Thinking stehen die Bedürfnisse der Zielgruppe bei der Entwicklung des Produktes im Vordergrund. Nach Abgleich des Stellenwertes für die Zielgruppe und der Umsetzbarkeit der jeweiligen Idee wurde sich auf die Herstellung eines herzhaften Crackers auf Hülsenfruchtbasis mit möglicher Sollbruchstelle bzw. farblicher Gestaltung festgelegt. Hülsenfrüchte sind ernährungsphysiologisch besonders wertvoll, da sie proteinreich sind und einen relativ hohen Gehalt an Ballaststoffen, Vitaminen und sekundären Pflanzenstoffen aufweisen (Campus-Vega, 2010). Das zu entwickelnde Produkt soll entsprechend der Verordnung (EG) Nr. 1924/2006 (Health Claims Verordnung) als proteinreich gelten. Im Rahmen des IPS-Projektes wurden Prototypen für das Snackprodukt hergestellt. Hierbei wurden bestimmte Herausforderungen hinsichtlich der Produktentwicklung deutlich, die in dieser Bachelorarbeit untersucht werden sollen. Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist die Entwicklung eines herzhaften Crackers auf Hülsenfruchtbasis, der als proteinreiches Snackprodukt für Kinder dienen soll. Als Zielgruppe werden Kinder im Alter von 4-6 Jahren festgelegt. Ein Parameter, der bei der Entwicklung betrachtet werden soll, ist die Ausgestaltung des Temperaturprogrammes zur Erreichung der gewünschten Knusprigkeit der Cracker. Zudem soll sich mit der Entwicklung der optimalen Rezeptur beschäftigt werden, um die zuvor erwähnten nährwertbezogenen Vorgaben zu erfüllen. Ebenso soll der Einfluss verschiedener Lagerbedingungen auf die Textur der Produkte untersucht werden, sodass eventuell notwendige Lager bzw. Verpackungsbedingungen herausgestellt werden können. Des Weiteren ist die Untersuchung einer farblichen Gestaltung der Cracker vorgesehen. Zusätzlich soll sich mit der Vermeidung einer Luftblasenbildung, der Vermeidung von Verformungen der Produkte sowie der Ausgestaltung eines Coatings auseinandergesetzt werden. Für jeden Parameter, der untersucht werden soll, wird zunächst eine literaturbasierte Recherche durchgeführt. Anschließend folgen jeweils praktische Versuche, die auf die Erkenntnisse der Recherche aufbauen. Des Weiteren soll eine sensorische Untersuchung einer Auswahl der hergestellten Varianten erfolgen.

2 Stand der Wissenschaft und Technik

2.1 Ernährung von Kindern

In der frühen Kindheit, die eine Phase des schnellen Wachstums und der Entwicklung darstellt, werden Präferenzen für Lebensmittel entwickelt, die als Grundlage für eine gesunde Ernährung im Erwachsenenalter dienen können (Alles et al., 2014). Nur eine ausgewogene und abwechslungsreiche Ernährung kann die Versorgung mit allen notwendigen Nährstoffen gewährleisten (Gelli et al., 2020).

Eine fettarme und kohlenhydratreiche Ernährung mit hoher Nährstoffdichte sollte bereits im Kindesalter eingeführt werden, um chronischen Erkrankungen im Erwachsenenalter vorzubeugen (WHO, 1990).

Tierische proteinreiche Lebensmittel besitzen häufig eine höhere Energiedichte als pflanzliche. Eine erhöhte Zufuhr von tierischem Protein kann zu einer höheren Energiezufuhr beitragen. Pflanzliche Proteinquellen wie Hülsenfrüchte und Nüsse sind nicht nur reich an Proteinen, sondern enthalten zusätzlich wertvolle Ballaststoffe, die viele gesundheitliche Vorteile bieten, wie z. B. die Unterstützung der Verdauung und die Förderung eines gesunden Herz-Kreislauf-Systems. Daher ist es sinnvoll, die Proteinzufuhr aus pflanzlichen Quellen zu steigern. Das kann nicht nur dazu beitragen, die Energiezufuhr besser zu regulieren, sondern auch zu einer ausgewogeneren und gesünderen Ernährung beizutragen (DGE, 2011).

2.2 Cracker

Cracker stellen eine breite Auswahl von Produkten dar, die sich durch eine knusprige, offene Textur und herzhaft aromatische Aromen auszeichnen (Davidson, 2016). Ebenso sind sie dünn, trocken und können mit oder ohne Backtriebmittel hergestellt werden. Die Form und Größe der Produkte kann variieren (Gonçalves; Salas-Mellado, 2018). Die meisten Cracker besitzen einen Wassergehalt von 1,5- 3 % (Reibner et al, 2021) und einen aw-Wert, der unter 0,6 liegt (Smith; Simpson, 1995). Gebackene Cracker erzeugen ein knackendes oder schnappendes Geräusch, wenn sie zerteilt werden (Meriles et al., 2021). Die Teige besitzen einen hohen Wassergehalt von 15 – 25 % (Davidson, 2016). Sie bestehen hauptsächlich aus Mehl (Manley, 2011) und besitzen einen geringen Anteil an Zucker und Fett (Romano et al., 2018). Cracker werden u. a. als Basis genutzt, um sie mit verschiedenen Aufstrichen zu konsumieren (Serna-Saldivar, 2022).

Die einzelnen Arbeitsschritte bei der Herstellung entsprechen bei den meisten Cracker-Arten Mischen, Fermentation (bei fermentierten Crackern), Teigbereitung, Laminieren, Ausrollen, Backen, Kühlen und Verpacken (Tiwari et al., 2023).

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, Cracker einzuteilen. So können sie beispielsweise nach ihrer Zusammensetzung, der Teigrheologie oder der Textur klassifiziert werden. Ebenso ist eine Unterteilung auf der Basis des Herstellungsprozesses in fermentiert und nicht fermentiert möglich (Tiwari et al., 2023).

In Abbildung 1 ist eine mögliche Einteilung von Crackern nach Manley (2011) aufgeführt.

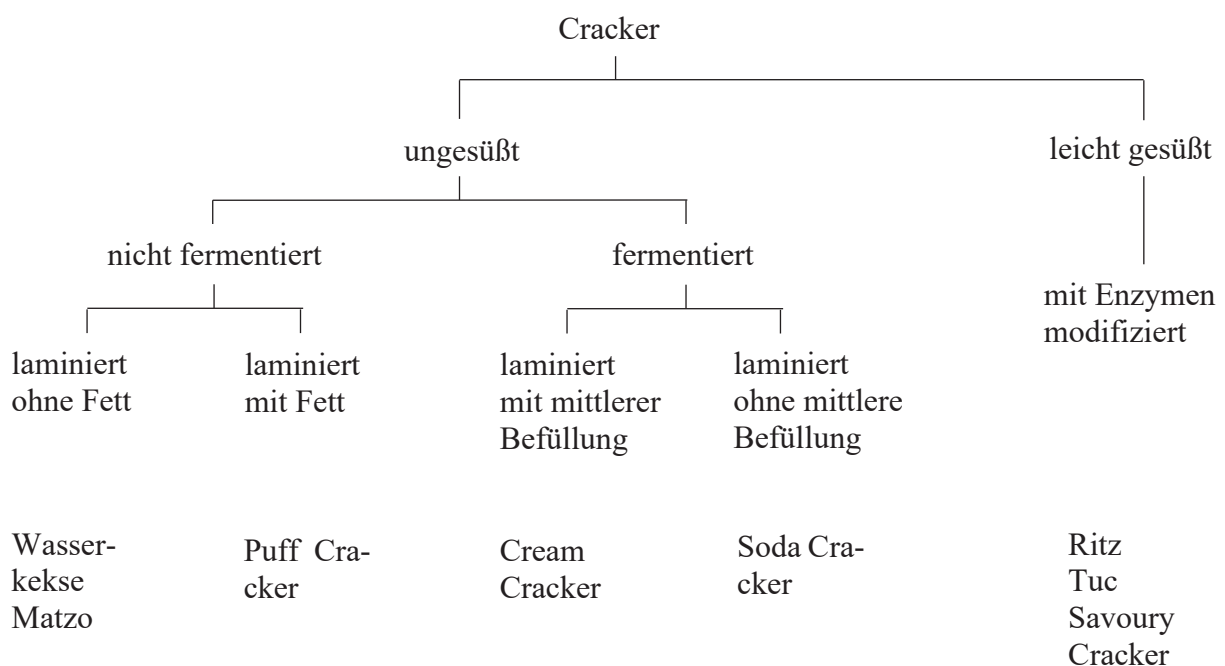


Abbildung 1: Einteilung von Crackern (eigene Darstellung nach Manley, 2011)

Der Teig von fermentierten Crackern wird mit Hefe hergestellt und bis zu 19 Stunden fermentiert. Außerdem wird er mit sechs bis acht Lagen laminiert. Beispielsweise wird bei den sogenannten Cream Crackern Mehl, Fett und Salz zwischen die einzelnen Lagen gegeben, um die einzelnen Schichten zu trennen und die charakteristische flockige Struktur nach dem Backen zu erzeugen (Tiwari et al., 2023). Diese Cracker verdanken ihren Namen der Technik, bei der der Teig während der Verarbeitung aufgeschlagen wird (Neo et al., 2007).

Außerdem können Cracker nach ihren funktionalen Eigenschaften unterteilt werden und werden aufgrund von gesundheitlichen Vorteilen konsumiert. Diese Produkte sind beispielsweise glutenfrei oder besitzen wenig Salz oder Fett (Hussien et al., 2020).

2.3 Rechtliche Grundlagen

In der Verordnung (EG) Nr. 1924/2006 (Health Claims Verordnung) werden Anforderungen für nährwert- und gesundheitsbezogene Angaben auf Lebensmitteln dargestellt. Demnach kann ein Lebensmittel als „proteinreich“ deklariert werden, wenn es einen Proteinanteil von mindestens 20 % bezogen auf den Brennwert des Lebensmittels besitzt.

2.4 Zu untersuchende Parameter

2.4.1 Rezeptur

Die üblichen Zutaten, die in Crackern enthalten sind, stellen Weizenmehl, Backfett, Backtriebmittel, süßende Zutaten, Enzyme oder Malzmehl, Emulgatoren, Molke, Eier, Aromastoffe, Säuerungsmittel für die chemischen Backtriebmittel, Hefe und Salz dar (Hui, 2006a). Als Hauptzutaten gelten dabei Mehl, süßende Zutaten, Fett und Wasser (Tiwari et al., 2023).

Zur Herstellung von Crackern wird üblicherweise Weichweizenmehl verwendet, welches abhängig von der herzustellenden Cracker-Art einen unterschiedlichen Proteingehalt aufweist (Serna-Saldivar, 2022). Beispielsweise wird für sogenannte Snack Cracker schwaches Mehl mit einem Proteingehalt von 8 – 9 % verwendet (Davidson, 2016). Dessen Teig ist dehnbar und besitzt ein schwaches Glutennetzwerk (Li et al., 2013). Im Vorteig, der z. B. bei der Produktion von Soda oder Cream Crackern verwendet wird, wird starkes Mehl mit einem Anteil der Eiweiße von 11 % eingesetzt (Manley, 2011; Davidson, 2016).

Alternative Mehle zum Weizen können einzeln oder als Ersatz verwendet werden, um funktionelle Cracker zu entwickeln (Tiwari et al., 2023).

Hülsenfrüchte und Pseudogetreide gelten im Vergleich zu Vollkorngetreide als ernährungsphysiologisch überlegen, vor allem aufgrund ihres höheren Proteingehalts, der höheren Proteinqualität und höheren Konzentrationen an Ballaststoffen, sekundären Pflanzenstoffen und Mikronährstoffen (Campus-Vega, 2010). Bei der Verwendung von Hülsenfrüchten wie Linsen als Produktzutat ist vor allem auf eine Deaktivierung der Trypsininhibition zu achten (Vidal-Valverde et al., 1994). Die in Linsen enthaltenen Trypsininhibitoren namens Bowman-Birk hemmen bei Nahrungsaufnahme die Aktivität der Schlüsselenzyme Trypsin und Chymotrypsin der Bauchspeicheldrüse. Dadurch reduzieren sie die Verdauung und Absorption von Nahrungsproteinen durch die Bildung von Komplexen, die selbst in Gegenwart großer Mengen an Verdauungsenzymen unverdaulich sind. Trypsininhibitoren verstärken eine schlechte Proteinassimilation, Verdauungsprobleme, eine Vergrößerung der Bauchspeicheldrüse, Muskelschwund und Depressionen. Die wirksamsten Methoden zur Deaktivierung der Trypsininhibitoren stellen thermische Behandlungen wie Kochen,

Braten, der Einsatz von Mikrowellen, Extrudieren und Infrarotbestrahlung dar (Aviles-Gaxiola et al., 2018).

Bei der Crackerteigherstellung wird für die Hydratation der Proteine und Ausbildung des Glutennetzwerkes Wasser benötigt. Ebenso werden durch Wasser Stärkekörnchen hydratisiert, die aufquellen und gelieren (Davidson, 2016).

Süßende Zutaten, am häufigsten Kristallzucker eingesetzt, regulieren die Geschwindigkeit des Fermentationsprozesses (Tiwari et al., 2023).

Cracker besitzen einen geringen Anteil an Fett. Ein hoher Fettanteil verhindert die Ausbildung des Glutennetzwerkes. Wenn sowohl der Fett- als auch der Zuckergehalt im Rezept hoch sind, sorgen sie zusammen für eine weiche, sirupartige, zähe Textur (Manley, 2011).

Backtriebmittel besitzen eine große Bedeutung in der Ausbildung struktureller Eigenschaften der Cracker (Nguyen et al., 2014). Diese sorgen durch die Bildung bzw. Freisetzung von CO₂ für eine Auflockerung des Teiges. Zu den chemischen Lockerungsmitteln, die eingesetzt werden können, zählen Backpulver, Natriumhydrogencarbonat und Ammoniumhydrogencarbonat (Tiwari et al., 2023). Als mikrobielles Backtriebmittel kann Hefe, genauer gesagt *Saccharomyces cerevisiae*, bei der Crackerherstellung bzw. Teigfermentation verwendet werden (Ali et al., 2012).

Außerdem können Enzyme hinzugefügt werden, um die Teig rheologie zu modifizieren (Panghal et al., 2011). Bei einem laminierten Teig können bakterielle Proteasen hilfreich sein, um die Ausbildung von Rissen, Unebenheiten und Gasblasen zu verhindern (Heredia-Sandoval et al., 2016). Des Weiteren werden die Hefemechanismen durch Enzyme wie Invertase, Maltase und Zymase kontrolliert (Tiwari et al., 2023).

2.4.2 Temperaturprogramm

Es gibt drei Faktoren, die den Backprozess und die Qualität des Endproduktes beeinflussen. Die Struktur und Textur des Produktes werden dabei hauptsächlich in der ersten Hälfte der Backzeit ausgebildet. Die Reduzierung des Feuchtigkeitsgehaltes erfolgt vor allem in der Mitte des Backprozesses, während die Entwicklung der Farbe am Ende des Backvorganges stattfindet (Davidson, 2016).

Der Kleber im Teig kann eine große Menge Wasser absorbieren. Wenn die Teigtemperatur ansteigt, quillt das Glutengewebe auf (30 - 50 °C) und verfestigt sich. Bei Temperaturen über 50 °C findet eine Denaturierung der Proteine statt, bei der die langen Molekülketten gespalten werden. Bei weiterer Wärmezufuhr koaguliert das Gluten ab 70 °C. Bei dieser Temperatur wird ein Teil

der Feuchtigkeit aus dem Gluten freigesetzt und trägt zur Hydratisierung und Verkleisterung der Stärke bei, die bei 50 – 60 °C beginnt. Bei Keksen findet dieser Prozess nur teilweise statt, da nicht genügend Wasser vorhanden ist, um die Stärke vollständig zu verkleistern. Wenn die Teigstücke eine Temperatur von über 70 °C erreicht haben, ist die Struktur gut ausgebildet und stabil, obwohl die Verkleisterung der Stärke fortgeführt werden kann bis der Teig eine Temperatur von 95 °C erreicht (Manley, 2011).

Wenn der Kleber und die Stärke ausreichend hydratisiert sind und die Struktur des Kekses gebildet ist, muss das restliche freie Wasser ausgehend von der Oberfläche der Produkte verdampft werden. Dies geschieht hauptsächlich bei 100°C für reines Wasser, aber auch bei höheren Temperaturen (bis zu 130°C), wenn das Wasser in Lösung gehalten wird, zum Beispiel in einer Zuckerlösung. Bei Temperaturen über 100 °C führt die Wärmezufuhr immer zu einem Feuchtigkeitsverlust an der Oberfläche der Teiglinge, auch in einer mit Wasserdampf gesättigten Ofenatmosphäre. Dieser Feuchtigkeitsverlust des Teiglings ist abhängig von der Temperatur, der Art der Wärmeübertragung und der Feuchtigkeit des Ofens (Davidson, 2016).

Ein niedriger Feuchtigkeitsgehalt verbessert die Haltbarkeit des Produktes. Um Risse in dem Gebäck nach dem Verpacken zu vermeiden, ist ein gleichmäßiger Feuchtigkeitsgehalt innerhalb des Crackers, der sich von der Mitte bis zu den Außenseiten des Produktes erstreckt, erforderlich. Hierzu sind eine durchdringende Wärme und eine angemessene Zeit für das Backen und Abkühlen notwendig (Serna-Saldivar, 2022).

Nachdem die Feuchtigkeit größtenteils vom Produkt verdampft ist, tragen verschiedene chemische und physikalische Veränderungen zur Ausbildung der Farbe auf der Oberfläche bei. Die Karamellisierung ist eine nicht-enzymatische Bräunungsreaktion, die durch den Abbau von Zuckern bei hohen Temperaturen verursacht wird. Die Karamellisierung der verschiedenen Zucker erfolgt bei unterschiedlichen Temperaturen: Fruktose bei 110 °C, Glukose bei 160 °C und Saccharose bei 160 °C. Sie führt zur Entwicklung von Farbe und Geschmack. Ein zweiter Bräunungsprozess, die Dextrinierung, ist die Aufspaltung von Stärkemolekülen durch Erhitzen. Dabei entstehen Pyrodextrine, die eine braune Farbe und einen unverwechselbaren Geschmack aufweisen. Die Dextrinierung der Stärke erfolgt bei Temperaturen von 100-200°C. Der dritte Bräunungsprozess stellt die Maillard-Reaktion dar, bei der es sich um eine komplexe chemische Reaktion handelt und zahlreiche Verbindungen gebildet werden (Davidson, 2016). Sie findet zwischen größtenteils freien Aminosäuren und Peptiden (in der Regel Proteinen) bei Erhitzung statt (Leiva-Valenzuela et al., 2018). Sie läuft bei hohen Temperaturen und einem niedrigen Wassergehalt der Produkte ab (Kawai et al., 2016).

Die Konstruktion des Ofens sollte zu Beginn des Backvorgangs für eine schnelle Wärmeübertragung sorgen und eine flexible, feuchte Außenhaut des Teigstücks aufrechterhalten, um Ausdehnung und Auftrieb zu ermöglichen. In der mittleren Zone des Ofens sollte die Feuchtigkeit effizient aus den Teiglingen entfernt und dann aus der Backkammer abgezogen werden. In der/den letzten Zone(n) wird die Oberfläche des Kekses trocken sein und Farbe annehmen. Eine gute Kontrolle der seitlichen Wärmeübertragung ist erforderlich, um eine gleichmäßige Farbe und einen gleichmäßigen Feuchtigkeitsgehalt der gebackenen Kekse zu erhalten (Manley, 2011).

Davidson (2016) empfiehlt für die Spezifikation eines Ofens zur Crackerherstellung den Einsatz von Wärmestrahlung beispielsweise durch Infrarotstrahlung in der ersten Ofenzone. Anschließend sollte das Trocknen der Produkte durch Konvektion (Heißluftstrahlen) erfolgen. Die Ausbildung der Farbe in der letzten Zone des Ofens kann sowohl durch Wärmestrahlung als auch Konvektion hervorgerufen werden.

2.4.3 Lager- und Verpackungsbedingungen

Laut Robertson (2012) sind Cracker und verwandte Produkte in der Regel mit drei Verfallsarten verbunden: Verlust der Knusprigkeit, Entwicklung von Ranzigkeit und Produktbruch.

Da die meisten Cracker oder Limonadenkekse einen Feuchtigkeitsgehalt von etwa 2 % und einen aW-Wert von etwa 0,1 besitzen, werden sie normalerweise in feuchtigkeitsbeständigen Materialien verpackt. Wenn das Verpackungsmaterial für Luftfeuchtigkeit durchlässig ist oder die Versiegelung nicht perfekt ist, neigt das Produkt dazu, sich mit der umgebenden Feuchtigkeit auszugleichen, was zu einem Verlust an Knusprigkeit führt (Robertson, 2012). Laut Labuza und Contreras-Medellin (1981) verlieren Cracker an Knusprigkeit, wenn sie Feuchtigkeit aufnehmen, wodurch sich ihr aW-Wert erhöht.

Das Verpackungsmaterial sollte Cracker außerdem vor dem Eindringen von Sauerstoff schützen und eine perfekte Abdichtung gewährleisten, um das Auslösen von Oxidationsreaktionen zu verzögern und die Haltbarkeit des Produktes zu verlängern. Hierzu besteht die Möglichkeit, Schutzgas wie Stickstoff oder Sauerstoffabsorber in der Verpackung von Snackprodukten einzusetzen (Del Nobile, 2000; Manley, 2001).

Verbraucher betrachten zerbrochene Cracker als inakzeptabel und daher sollte die Verpackung einen mechanischen Schutz bieten (Robertson, 2012).

2.4.4 Vermeidung einer Luftblasenbildung

Während des Backens der Cracker verdampft das im Teig enthaltene Wasser. Während der Aggregatzustandsänderung von flüssig zu gasförmig erfolgt eine rasche Volumenzunahme. Ohne zusätzliche Bearbeitung des Teiges bildet sich so eine oder mehrere Luftblasen innerhalb des Gebäckens. Um den Wasserdampf abzuleiten, wird der Teig der Cracker vor dem Backen mit Löchern, den sogenannten „Docking-Löchern“ versehen. Die Löcher sind so platziert, dass der Dampf gleichmäßig entweichen kann, und eine flache Oberfläche und gleichmäßige Dicke des Kekses erhalten bleibt. Diese genaue Kontrolle der Ebenheit und Dicke ist für das automatisierte Verpacken der Kekse von wesentlicher Bedeutung (Davidson, 2016).

Wenn der Teig laminiert wurde und zwischen den Lagen beispielsweise Öl oder Mehl aufgegeben wurde, sorgen die Docking-Löcher außerdem dafür, dass die einzelnen Lagen zusammengehalten werden (Manley, 2011).

2.4.5 Vermeidung von Verformungen

Es ist ein Endprodukt gewünscht, welches eine gleichmäßige Form aufweist. Cracker können sich innerhalb des Backprozesses im Vergleich zum ungebackenen Zustand verziehen. Dies kann daran liegen, dass das Klebergerüst des Teiges zu stark ist. Diese Struktur wird nach Wasserzugabe innerhalb des Knetprozesses durch Gluten, welches sich beispielsweise in Weizen- und in Dinkelmehl befindet, ausgebildet. Das Gluten des Weizenmehles besteht zu 90 % aus den sogenannten Kleberproteinen Gliadin und Glutenin (Davidson, 2016).

Vor dem Knetprozess liegen Mehlteilchen isoliert vor, umgeben von einer Sole aus löslichen quellbaren Substanzen. Während des Knetens vergrößert sich zunächst das Mehlteilchenvolumen im Quellungsprozess. Die Struktur wird durch mechanische Bearbeitung zunehmend desintegriert. Ebenso werden innerhalb des Prozesses aktive SH-Gruppen freigesetzt, durch die neue inter- und intramolekulare Bindungen entstehen. Es wird eine dreidimensionale Proteinmatrix geformt, in die Stärkekörner eingelagert werden (Klingler, 2010).

Um Verformungen der Cracker vermeiden zu wollen, muss die Ausprägung der Proteinmatrix geschwächt werden.

Eine Möglichkeit, wäre der Einsatz von Aminosäuren, die an die aktiven SH-Gruppen anknüpfen. Eine Aminosäure, die eine freie SH-Gruppe besitzt, stellt Cystein dar (Schünemann et al., 2016; Klingler, 2010).

Das Gluten kann ebenso mit Natriumdisulfit oder proteolytischen Enzymen modifiziert werden, wodurch die Funktionen des Laminierens ersetzt wird (Manley, 2011). Natriumdisulfit sorgt dafür, dass die Proteine des Mehls zerteilt werden und dadurch die Mischzeit des Teiges verkürzt wird. Es kann die Dehnbarkeit des Glutens modifizieren (Hui, 2006b). Beispielsweise wird es in Cream Crackern oder in den im Handel erhältlichen TUC Keksen eingesetzt (Hui, 2006b; Mondelez, 2025).

Ebenso wäre denkbar, eine geringere Menge an Mehl einzusetzen, da somit auch eine geringere Menge an Kleberproteinen vorhanden ist.

Des Weiteren besteht die Möglichkeit, ein Mehl einzusetzen, welches einen geringeren Anteil an Kleberproteinen besitzt.

Außerdem würde eine überhöhte Knetdauer dazu führen, das bereits entstandene Klebergerüst zu zerstören, da ein Teig eine optimale Knetdauer besitzt.

Auch das Laminieren des Teiges kann dazu beitragen, Verformungen zu vermeiden, da das Klebermaterial durch das mehrmalige Falten und Ausrollen beansprucht wird. Gemäß Manley (2011) wird der Teig der Cracker hierfür ausgerollt, gefaltet, um 90 ° gedreht, wieder ausgerollt, gefaltet und abschließend auf die gewünschte Dicke ausgerollt.

2.4.6 Färbung des Teiges

Die Funktion von Farbstoffen besteht darin, das Aussehen von Produkten zu verbessern. Dies ist insofern von Bedeutung, als sie die Geschmacks- und Textureigenschaften ergänzen, indem sie das Lebensmittel für den Verbraucher attraktiver erscheinen lassen. Farbstoffe können unterteilt werden in natürliche Farbstoffe, auch Pigmente genannt, und synthetische Farbstoffe oder Färbemittel. Der Vorteil der Verwendung synthetischer Farbstoffe ist, dass sie starke, konsistente und stabile Farben in Lebensmittelrezepturen erzeugen (Pacias et al., 2015).

Natürliche Farbstoffe besitzen eine relativ geringe Stabilität gegenüber pH-Wert, Temperatur und Licht. Ihre Stabilität kann verbessert werden, indem Bestandteile zur Pufferung des pH-Werts oder Antioxidantien verwendet werden. Die Verwendung und der Gehalt der meisten dieser natürlichen Farbstoffe werden von der Europäischen Union geregelt (Hall, 2012).

Anstelle ein Produkt durch Verwendung eines extrahierten Farbstoffes zu färben ist ebenso der Einsatz der natürlichen Farbstoffquellen zur Beeinflussung des Erscheinungsbildes möglich. Beispielsweise können grüne Pflanzen eingesetzt werden, die Chlorophyll (E140) enthalten (Pacias et al., 2015). Chlorophyll und Phycocyanin sind z. B. in der Spirulina-Alge enthalten und sorgen für

die markante grüne Farbe (Lafarga et al., 2020). Der in Rote Bete enthaltene Farbstoff stellt Betanin (E162) dar. Er ist wasserlöslich und instabil gegenüber Hitze und Oxidation, wodurch eine bräunliche Farbe entstehen kann. Bei einem pH-Wert zwischen 3 und 7 ist er stabil (Hall, 2012).

2.4.7 Ausgestaltung des Coatings

Die Anwendung eines Coatings bedeutet, dass die Oberfläche eines Lebensmittels ausreichend von einer relativ dünnen Materialschicht mit einer bestimmten Zusammensetzung bedeckt wird. Gründe für eine solche Beschichtung sind die Verbesserung optischer Parameter, Aufbau einer Barriere für den Stoffaustausch, Verbesserung des Geschmacks, Verlängerung der Haltbarkeit, Einbeziehung von Lebensmittelzutaten und Nährstoffen, Bereitstellung struktureller Stabilität und Verhinderung mechanischer Schäden während des Transports, der Handhabung und der Präsentation des Produktes. Es bestehen die Anforderungen, dass das Material gut auf dem entsprechenden Lebensmittel haftet und gleichmäßig aufgetragen wird (Krochta, 2002).

Coatings können eine Migration von Aromen und eine Diffusion von Gasen wie CO₂ und O₂, die zu einer Verschlechterung der Qualität führen können, verhindern. Ebenso können sie als Träger von Nährstoffen, Antioxidantien, antimikrobiellen Mitteln, Farben, Kräutern, Geschmacksstoffen und Gewürzen dienen (Bhattacharya, 2023).

Inhaltsstoffe eines Coatings stellen Lipide, Harze, Polysaccharide und Proteine dar. Polysaccharide und Proteine sind gute filmbildende Substanzen, bieten jedoch eine eingeschränkte Feuchtigkeitsbarriere (Krochta, 2002). Lipide sind hingegen gut geeignet, um das Lebensmittel vor dem Feuchtigkeitsaustausch mit der Umgebung zu schützen, jedoch offerieren sie eine geringe mechanische Stabilität. Daher bestehen die Rezepturen des Coatings aus mehreren Inhaltsstoffen, um die gewünschten Eigenschaften zu erzielen (Bhattacharya, 2023).

Die Klassifizierung verschiedener überzogener Snacks kann auf der Art der Überzugsmaterialien basieren, z. B. in fester (Pulver) und flüssiger Form (Teig, Paste, Zuckerlösung und flüssiges Aroma) (Bhattacharya, 2023).

Methoden, um ein Coating aufzutragen, stellen Schwenken, Wirbelbeschichten, Eintauchen in Flüssigkeit und Sprühen dar (Lusas; Rooney, 2001).

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsplanung

Tabelle 1: Versuchsübersicht

Versuchsreihe 1	Textur (Knusprigkeit) der Cracker
V 1.1	Ausgestaltung des Temperaturprogramms
V 1.2.1	Einfluss verschiedener Lager- und Verpackungsbedingungen auf die Textur der Cracker
V 1.2.2	
V 1.3	Einfluss der Teigdicke auf die Textur der Cracker
Versuch 2 (V 2)	Vermeidung von Verformungen
Versuchsreihe 3	Färbung des Teiges
V 3.1	
V 3.2	
Versuchsreihe 4	Anpassung der Rezeptur und des Temperaturprogrammes
V 4.1	
V 4.2	
V 4.3	
Versuch 5 (V 5)	Sensorische Untersuchung

Tabelle 1 stellt eine Übersicht über alle in dieser Arbeit durchgeführten Versuche dar.

In Tabelle 2 sind die wichtigsten Prozessparameter sowie durchzuführenden Analysen der Versuche zusammengefasst. Zusätzliche und nähere Informationen beispielsweise zur Begründung der Auswahl bestimmter Prozessparameter und Messungen sind den Abschnitten der einzelnen Versuche zu entnehmen.

Tabelle 2: Prozessparameter der Versuche

	Verwendete Rezeptur	Ausrollmedium		Teigdicke	Perforationsmethode		Temperaturprogramm (Umluft)	Analysen					
		Nudelholz	Nudelmaschine		Gabel	mfN pG		Texturana-lyse	Feuchtebestimmung	Farbmessung	Sensorische Beurteilung	Zeitpunkt	
V 1.1	Tab. 5	x		ca. 2 mm	x		150 °C/ 160 °C für 11, 12, 13 14 min	x	x	x	x (visuell)	direkt	
V 1.2.1	Tab. 5	x		ca. 2 mm			160 °C für 13 min	x	x			d 1, 3, 6,8,15	
V 1.2.2	Tab. 6		x (Stufe 3)	2,7 mm			240 °C für 3 min, 120 °C für 50 min	x	x			d 1, 2, 3, 4	
V 1.3	Tab. 6		x (Stufen 1, 3, 5)	5 mm; 2,7 mm; 1,2 mm	x		160 °C für 13 min	x				direkt	
V 2	Tab. 5	x		ca. 2 mm	x		160 °C für 13 min				x (visuell)	direkt	
V 3.1	Tab. 3, 21	x		ca. 2 mm			160 °C für 13 min	x		x	x	direkt	
V 3.2	Tab. 4		x (Stufe 3)	2,7 mm			160 °C für 13 min	x		x		direkt	
V 4.1	Tab. 6		x (Stufe 3)	2,7 mm	x		verschiedene				x	direkt	
V 4.2	Tab. 6		x (Stufe 3)	2,7 mm	x		verschiedene				x	direkt	
V 4.3	Tab. 6 + Backp.		x (Stufe 3)	2,7 mm	x		240 °C für 3 min, 120 °C für 50 min			x		direkt	
V 5	Tab. 4, 6		x (Stufe 3)	2,7 mm	x		verschiedene					x (Panel)	direkt

3.1.1 Versuchsreihe 1: Textur (Knusprigkeit) der Cracker

V 1.1: Ausgestaltung des Temperaturprogramms

Bei diesem Versuch soll untersucht werden, inwiefern das jeweilige Backprogramm einen Einfluss auf die Eigenschaften der Textur bzw. den Feuchtegehalt der Cracker besitzt. Insbesondere soll sich auf die Ausgestaltung des Temperaturprogrammes konzentriert werden, um eine entsprechende Knusprigkeit der Cracker zu erzielen. Da die Vorversuche des IPS zeigten, dass eine Ofeneinstellung im Umluft-Programm zu einem besseren Ergebnis führt als die Einstellung der Ober-/Unterhitze, wird diese zunächst angewandt. In den erwähnten Vorversuchen wurde ein Backprogramm von 150 °C Umluft für 12 min gewählt. Daran orientiert sollen folgende Temperatur-/Zeitkombinationen beim Backen der Cracker umgesetzt werden:

- Umluft, 150 °C, für 11 min; 12 min; 13 min; 14 min
- Umluft, 160 °C, für 11 min; 12 min; 13 min; 14 min

Praktisch gesehen werden zwei Backvorgänge mit einer Temperatur von 150 °C bzw. 160 °C durchgeführt, bei denen jeweils nach 11, 12, 13 bzw. 14 min Cracker entnommen werden.

Es wird die in Tabelle 5 angegebene Rezeptur verwendet. Eine Teigdicke von ca. 2 mm wird mit einem Nudelholz erzeugt. Bei diesem Versuch soll ebenso untersucht werden, wie Luftblasen vermieden werden können. Hierfür werden beide in Abschnitt 3.2 beschriebenen Varianten angewandt, sodass jeweils die Hälfte der Produkte pro Temperatur-/Zeitkombination auf eine andere Art und Weise perforiert wird.

Anschließend werden die Proben der verschiedenen Chargen untersucht. Die Textur wird mithilfe des Texture Analyzers (Fa. Stable Micro Systems) bestimmt und der Feuchtegehalt mit einem Feuchtemessgerät (Fa. Sartorius) ermittelt, um einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Feuchtegehalt der Probe und der Knusprigkeit der Cracker aufzuzeigen. Ebenso sollen mithilfe eines Spektralphotometers (Fa. ColorFlexEZ) die L*-, a*-, b*- Werte der Proben bestimmt werden, um einen Zusammenhang zum jeweiligen Röstgrad zu betrachten. Des Weiteren werden die Cracker visuell betrachtet, um mögliche Unterschiede zwischen den beiden angewandten Methoden zur Luftblasenvermeidung zu identifizieren.

V 1.2.1: Einfluss verschiedener Lager- und Verpackungsbedingungen auf die Textur der Cracker

In diesem Versuch soll dargestellt werden, inwiefern bestimmte Lagerbedingungen einen Einfluss auf die Textur des Produktes über die Zeit besitzen.

Die Herstellungsweise entspricht der in Abschnitt 3.2 beschriebenen, wobei mit einem Nudelholz eine Teigdicke von ca. 2 mm angewandt wird. Es wird die doppelte Teigmenge bezogen auf die Ausgangsrezeptur (vgl. Tabelle 5) hergestellt. Um möglichst einheitliche Produkte zu erstellen, erfolgt die Perforation mit der mit feinen Nadeln präparierten Gerätschaft. Des Weiteren wird ein Temperaturprogramm von V 1.1 gewählt, bei dem die Cracker bei einer individuellen sensorischen Verkostung eine entsprechende zufriedenstellende Knusprigkeit aufweisen konnten (vgl. Abschnitt 4.1). Entsprechend werden die Cracker bei Umluft-Einstellung für 13 min bei 160 °C gebacken.

Ein Teil der gebackenen Cracker wird jeweils unverpackt (in Schüsseln) in zwei Räumen mit jeweils unterschiedlicher Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit gelagert. Zum einen wird hierfür das Ernährungswissenschaftliche Labor (EW-Labor) und zum anderen der 30 °C-Wärmeraum des Technikums der Hochschule Neubrandenburg gewählt. Es werden zu drei verschiedenen Zeitpunkten jeweils die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit in den beiden Räumlichkeiten mit dem Daten-Logger (Fa. Almemo) bestimmt und das arithmetische Mittel \bar{x} sowie die Standardabweichung σ ermittelt.

Ein weiterer Teil des Produktes wird ohne Vakuum und ein Teil mit Vakuum in mehreren Siegelrandbeuteln luftdicht verschweißt und im EW-Labor gelagert. Es sollen sich jeweils 7 Cracker in einem Folienbeutel befinden. Zum Vakuumieren der Siegelrandbeutel wird das Vakuumgerät (Fa. Röscherwerke GmbH) verwendet. Für die Versiegelungszeit wird die Stufe 6 gewählt, G wird bei 6,5 eingestellt, das Vakuum wird bei 2,8 bar angelegt und die Einstellung der „Softness“ erfolgt bei ca. $\frac{1}{4}$ der Regelung.

Es erfolgt für alle Proben nach bestimmten zeitlichen Abständen eine Untersuchung der Textur mithilfe des Texture Analyzers (Fa. Stable Micro Systems), eine Bestimmung des Feuchtegehaltes und gegebenenfalls eine individuelle sensorische Prüfung bezüglich der Knusprigkeit. Die ersten Untersuchungen finden am Tag der Herstellung statt, um entsprechende Ausgangswerte vorzuweisen. Die weiteren Analysen sind am Tag 3, 6, 8 und 15 geplant. Mit den Untersuchungen soll aufgezeigt werden, wie die verschiedenen Lagerbedingungen die zuvor beschriebenen Analysewerte über die Zeit beeinflussen, sodass Rückschlüsse auf notwendige Lager- bzw. Verpackungsbedingungen geschlossen werden können.

V 1.2.2: Einfluss verschiedener Lager- und Verpackungsbedingungen auf die Textur der Cracker

Da bei der Umsetzung von V 1.2.1 Probleme auftraten und die Ergebnisse nur schwer vergleichbar waren (vgl. Abschnitt 4.1), wird der Versuch mit bestimmten Anpassungen wiederholt.

Für die Herstellung der Cracker wird die in Abschnitt 3.2 in Tabelle 6 aufgeführte Rezeptur verwendet, die im Vergleich zur Ausgangsrezeptur in Versuch 4.1 angepasst wurde. Zur Erzeugung einer einheitlichen Teigdicke der Cracker wird eine Nudelmaschine (Fa. Marcato) mit der Stufeneinstellung 3 verwendet. Die Docking-Löcher werden mithilfe einer Gabel erzeugt. Des Weiteren wird ein aus Versuch 4.2 ermitteltes Temperaturprogramm angewandt, mit dem ein Feuchtegehalt der Cracker von unter 3 % erreicht werden konnte (vgl. Abschnitt 4.4). Die Cracker werden bei Umluft, zunächst für 3 min bei 240 °C und anschließend für 50 min bei 120 °C gebacken.

Wie in V 1.2.1 wird ein Teil der Cracker (in Schüsseln) im EW-Labor und ein weiterer Teil im 30 °C-Wärmeraum des Technikums der Hochschule Neubrandenburg gelagert. Ebenso werden Cracker ohne Vakuum bzw. mit Vakuum in mehreren Siegelrandbeuteln luftdicht verschweißt und zur Lagerung ins EW-Labor gegeben. Es werden hierzu wieder folgende Einstellungen des Vakuumerätes (Fa. Röscherwerke GmbH) angewandt: Für die Versiegelungszeit wird die Stufe 6 gewählt, G wird bei 6,5 eingestellt, das Vakuum wird bei 2,8 bar angelegt und die Einstellung der „Softness“ erfolgt bei ca. $\frac{1}{4}$ der Regelung.

Die Untersuchung der verschiedenen Cracker-Proben soll in kürzeren zeitlichen Abständen als bei V 1.2.1 erfolgen, um die Veränderungen der Werte über die Zeit besser darstellen zu können. Deshalb sollen die Analysen der Textur und die Feuchtebestimmungen im Abstand von jeweils einem Tag durchgeführt werden (Tag 1 (nach dem Backen), Tag 2, Tag 3 und Tag 4).

V 1.3: Einfluss der Teigdicke auf die Textur der Cracker

In diesem Versuch soll dargestellt werden, inwiefern die Dicke des ausgerollten Teiges einen Einfluss auf die Textur bzw. Knusprigkeit des betrachteten Produktes ausübt.

Hierfür wird die in Abschnitt 3.2 in Tabelle 6 aufgeführte Rezeptur und Herstellungsweise verwendet. Es werden Cracker mit drei unterschiedlichen Teigdicken hergestellt. Dafür wird eine Nudelmaschine (Fa. Marcato) verwendet und die Stufen 1 (ca. 5 mm), 3 (ca. 2,7 mm) und 5 (ca. 1,2 mm) eingestellt. Die Docking-Löcher werden mit einer Gabel erzeugt. Alle Cracker werden bei Umluft, 160 °C für 13 min gebacken.

Im Anschluss wird die Textur mithilfe des Texture Analyzers (Fa. Stable Micro Systems) untersucht. Die Analysewerte der drei unterschiedlichen Chargen werden miteinander verglichen.

3.1.2 Versuch 2: Vermeidung von Verformungen

V 2

Bei den Vorversuchen des IPS sind nach dem Backen Verformungen der Cracker im Vergleich zum ungebackenen Produkt aufgetreten. In diesem Versuch sollen deshalb verschiedene Methoden angewandt werden, mit denen solche Veränderungen der Teigform verhindert werden könnten.

Geplant sind drei Teige anzufertigen. Ein Teig soll dabei als Referenz dienen, um aufzuzeigen inwiefern bei der konventionellen Herstellungsweise Verformungen zwischen dem ungebackenen und dem gebackenen Teig auftreten. Er wird wie in Abschnitt 3.2 beschrieben hergestellt. Es wird die Rezeptur der Tabelle 5 verwendet. Der Teig soll händisch ca. 5 min lang geknetet werden und auf eine Dicke von ca. 2 mm ausgerollt werden.

Bei einem weiteren Teig soll die Methode des Laminierens angewandt werden. Hierzu soll der Teig ebenfalls 5 min lang händisch geknetet werden und wie in Abschnitt 2.4.5 beschrieben zunächst auf eine Dicke von ca. 3 mm ausgerollt werden, gefaltet und daraufhin um 90 ° gedreht werden. Nach einem Ausrollen auf ca. 3 mm wird der Teig wieder gefaltet und auf eine endgültige Dicke von ca. 2 mm ausgerollt.

Des Weiteren soll das Klebergerüst durch Überkneten geschwächt werden (vgl. Abschnitt 2.4.5). Dies soll durch Kneten des Teiges in einer Küchenmaschine (Thermomix) mit der Funktion „Teig kneten“ für mind. 15 min erfolgen.

Bei allen Teigen werden die Docking Löcher mithilfe einer Gabel erzeugt, da bei der anderen möglichen Variante der Teig durch das Eindrücken zu sehr verformt werden kann und versucht werden soll, so wenig Einfluss wie möglich auf die Form des Teiges zu nehmen. Alle Teige werden bei Umluft, 160 °C für 13 min gebacken.

Um besser einschätzen zu können, inwiefern Verformungen bei den verschiedenen Herstellungsmethoden aufgetreten sind, werden sowohl vor als auch nach dem Backen fotografische Aufnahmen von den jeweiligen Varianten erstellt und in den Ergebnissen dargestellt. Die Abbildungen werden miteinander verglichen.

3.1.3 Versuchsreihe 3: Färbung des Teiges

V 3.1

Für diesen Versuch ist geplant, die Cracker durch den Einsatz verschiedener färbender Zutaten rötlich bzw. grünlich zu färben, um sie für Kinder ansprechender zu gestalten.

Um eine rötliche Färbung zu erzielen, wird Rote Bete-Pulver eingesetzt. Es wird jeweils ein Teig mit einer Konzentration von 7,1 % und 5,77 % an Rote Bete-Pulver angemischt. Bezogen auf die in Abschnitt 3.2 aufgeführte Ausgangsrezeptur (vgl. Tabelle 5) entspricht dies 25 bzw. 20 g des Pulvers. Es wird sich an den Vorversuchen des IPS orientiert, bei der letztere Konzentration an Rote Bete-Pulver bereits umgesetzt wurde.

Dort wurde ebenfalls zum Erzeugen einer grünlichen Färbung Spinat-Pulver verwendet. Da die Cracker zu sehr nach Spinat schmeckten, soll nun ein alternatives Färbemittel eingesetzt werden und auf Spirulina-Pulver zurückgegriffen werden. Die Konzentration des Pulvers soll zunächst 5,77 % (20 g bezogen auf die Ausgangsrezeptur) betragen. Auf Basis dieser hergestellten Produkte, wird ein weiterer Teig mit einer anderen Spirulina-Konzentration angefertigt. Wenn zuvor eine ausreichende Färbung und zu starke Beeinträchtigung des Geschmacks vorliegt, wird beispielsweise eine geringere Konzentration gewählt.

Tabelle 3: Rezepturen der gefärbten Cracker (V 3.1)

[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	Zutaten
28,43	28,84	28,84	offen	100	Dinkelvollkornmehl
7,11	7,21	7,21	offen	25	Linsenmehl
7,11	7,21	7,21	offen	25	Ackerbohnenmehl
8,53	8,65	8,65	offen	30	Erbsenproteinisolat
1,42	1,44	1,44	offen	5	Leinsamen
5,26	5,34	5,34	offen	18,5	Rapsöl
32,69	33,17	33,17	offen	115	Wasser
1,28	1,30	1,30	offen	4,5	Meersalz
0,28	0,29	0,29	offen	1	Paprikapulver
0,33	0,33	0,33	offen	1,15	Tomatenpulver
0,23	0,23	0,23	offen	0,8	italienische Kräutermischung
0,23	0,23	0,23	offen	0,8	Zwiebelpulver
7,11 (25 g)	5,77 (20 g)	5,77 (20 g)	x	25-16	färbende Zutat
Rote Bete	Rote Bete	Spirulina	Spirulina		Verwendete färbende Zutat

Als Backprogramm wird jenes gewählt, welches ein sensorisch zufriedenstellendes Ergebnis bezüglich der Knusprigkeit bei V 1.1 erbrachte. Die Cracker werden bei Umluft, 160 °C für 13 min gebacken. Der Teig wird mit einem Nudelholz auf eine Teigdicke von ca. 2 mm ausgerollt. Die Produkte werden mithilfe der mit feinen Nadeln präparierten Gerätschaft perforiert.

Bei den Vorversuchen des IPS trat das Problem auf, dass sich auf den gefärbten Crackern durch das Bemehlen beim Ausrollen Mehltreue befanden. Diese beeinträchtigten das Farbergebnis. Deshalb sollen bei diesem Versuch bei einem Teil der Cracker die Mehltreue nach dem Ausrollen mit einem Pinsel entfernt werden. Bei einem anderen Teil der Produkte soll die Methode angewandt

werden, kein extra Mehl zu verwenden, sondern beim Ausrollen jeweils ein Backpapier über und unter den Teig zu legen.

Nach dem Backen erfolgt für alle Varianten eine sensorische Betrachtung durch die Verfasserin der Arbeit mit Augenmerk auf eine ausreichende Farbtintensität sowie keine Beeinträchtigung des Geschmacks. Weiterhin sollen die Farbwerte der Proben mittels eines Spektralphotometers (Fa. ColorFlex EZ) bestimmt werden, um eventuell einen Zusammenhang zwischen der visuellen Wahrnehmung und den gemessenen Farbwerten aufzuzeigen.

V 3.2

Aufgrund der Ergebnisse von Versuch 3.1 (vgl. Abschnitt 4.3) sollen die in der folgenden Tabelle dargestellten angepassten Rezepturen für die gefärbten Cracker angewandt werden. Im Vergleich zur vorherigen Rezeptur wird nun die Menge der Gewürze (Paprika-, Tomaten-, Zwiebelpulver, italienische Kräutermischung) erhöht, die Menge an Erbsenproteinisolat und die Menge an Wasser gemäß Versuch 4.1 verringert. Des Weiteren werden die Mengen der eingesetzten färbenden Pflanzenextrakte variiert, wobei die Menge an Spirulina wird im Vergleich zu den vorherigen Versuchen jeweils verringert. Die Rezepturen sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4: Rezepturen der gefärbten Cracker (V 3.2)

[%]	[%]	[%]	[%]	[g]	Zutaten
32,40	32,83	33,27	33,72	100	Dinkelvollkornmehl
8,10	8,21	8,32	8,43	25	Linsenmehl
8,10	8,21	8,32	8,43	25	Ackerbohnenmehl
4,86	4,92	4,99	5,06	15	Erbsenproteinisolat
1,62	1,64	1,66	1,69	5	Leinsamen
5,99	6,07	6,15	6,24	18,5	Rapsöl
29,16	29,55	29,94	30,34	90	Wasser
1,46	1,48	1,50	1,52	4,5	Meersalz
0,52	0,53	0,53	0,54	1,6	Paprikapulver
0,52	0,53	0,53	0,54	1,6	Tomatenpulver
0,39	0,39	0,40	0,40	1,2	italienische Kräutermischung
0,39	0,39	0,40	0,40	1,2	Zwiebelpulver
6,48 (20 g)	5,25 (16 g)	3,99 (12 g)	2,70 (8 g)	20-8	färbende Zutat
Rote Bete	Rote Bete	Spirulina	Spirulina		Verwendete färbende Zutat

Pro Variante wird ein Teig erstellt, der mithilfe der Nudelmaschine (Fa. Marcato) in der Stufe 3 gewalzt wird. Anschließend wird die mit feinen Nadeln präparierten Gerätschaft zur Perforation eingesetzt und die Cracker bei 160 °C für 13 min gebacken. Im Anschluss erfolgt eine Bestimmung der L*-, a*- und b*- Werte. Außerdem wird der Geschmack der Proben individuell sensorisch betrachtet.

3.1.4 Versuchsreihe 4: Anpassung der Rezeptur und des Temperaturprogrammes

V 4.1

Im Laufe der Versuche wurde festgestellt, dass der Feuchtegehalt der hergestellten Cracker nicht den in der einschlägigen Literatur angegebenen Werten ($< 3\%$) entspricht (vgl. Abschnitt 2.2). Bei den bisher erzeugten Produkten weist er einen Wert von mind. $6,18\%$ auf (vgl. Abschnitt 4.1). Ebenso wird in der einschlägigen Literatur ein Feuchtegehalt des Teiges von 15 bis 25% angegeben (vgl. Abschnitt 2.2). Gemäß der bisher verwendeten Rezeptur (vgl. Tabelle 5) entspricht dieser Wert mind. 35% . Damit das Produkt als „proteinreich“ deklariert werden kann, sollte es einen Proteingehalt von mind. 20% bezogen auf den Energiegehalt besitzen (vgl. Abschnitt 2.3). Bei der in Tabelle 5 verwendeten Rezeptur liegt dieser Wert bei $25,8\%$ (vgl. Tabelle 32 im Anhang). Er erfüllt somit den Anforderungen, könnte aber aus preislichen Gründen gesenkt werden.

Demzufolge werden nun 15 g Erbsenproteinisolat anstelle von 30 g eingesetzt, damit der Proteingehalt bei $20,9\%$ bezogen auf den Gesamtenergiegehalt liegt (vgl. Abschnitt 4.6). Des Weiteren wird eine geringere Wassermenge eingesetzt, die zunächst 65 ml beträgt, wodurch der Teig einen Wassergehalt von mind. $24,8\%$ besitzt. Bei der Teigherstellung wird entschieden, ob noch mehr Wasser hinzugegeben werden soll, sodass alle Zutaten gut miteinander vermengt werden können. Die restlichen Angaben der Mengen können Tabelle 6 entnommen werden.

Zur Erzeugung einer einheitlichen Teigdicke wird die Öffnung der beiden glatten Teigwalzen einer Nudelmaschine (Fa. Marcato) mit der Spaltenstufe 3 verwendet. Diese entspricht einer Teigdicke von $2,7\text{ mm}$. Der Teig wird mit einer Gabel perforiert.

Es werden verschiedene Temperaturprogramme angewandt, um einen möglichst niedrigen Feuchtegehalt der Cracker zu erzielen. Die genauen Längen der Backvorgänge werden während des Versuchs entschieden, je nachdem wie trocken/ gebräunt die Cracker wirken.

- 1. Variante: Umluft, 240 °C für 3 min , danach 120 °C für $x\text{ min}$
- 2. Variante: Umluft, 240 °C für 3 min , danach 120 °C für $x + y\text{ min}$
- 3. Variante: Umluft, 200 °C für 3 min , danach 120 °C für $z\text{ min}$
- 4. Variante: Umluft, 200 °C für 3 min , danach 120 °C für $z + o\text{ min}$
- 5. Variante: Umluft, 120 °C für $p\text{ min}$
- 6. Variante: Umluft, 130 °C für $q\text{ min}$

Im Anschluss werden die Feuchtegehalte der Cracker der verschiedenen Varianten gemessen, verglichen und bei Notwendigkeit weitere Versuche geplant, sollte der Feuchtegehalt noch nicht unter 3% liegen.

V 4.2

Aufgrund der Ergebnisse von Versuch 4.1 (vgl. Abschnitt 4.4), bei denen mit den angewandten Temperaturprogrammen noch kein Feuchtegehalt von max. 3 % erzielt werden konnte, sollen nun weitere Backprogramme durchgeführt werden.

Zum einen wird sich an Variante 2 des Versuchs 4.1 orientiert, da dies ein effizientes Backprogramm zu sein scheint. Die Cracker werden bei Umluft zunächst für 3 min bei 240 °C und anschließend für mindestens 40 min bei 120 °C gebacken (als Variante 7 betitelt). Die Backzeit kann verlängert werden.

Aus praktischen Gründen und um Energie einzusparen, wird sich ebenso an der Variante 5 von V 4.1 orientiert. Hierbei werden die Cracker bei einer Temperatur von 120 °C gebacken, sodass sie gleichzeitig mit den Crackern von Variante 2 gebacken werden können. Die Backzeit soll hier mindestens 60 min betragen und kann ebenso bei Bedarf verlängert werden (in der Auswertung Variante 8 und 9).

Es wird die in Tabelle 6 angegebene Rezeptur verwendet. Des Weiteren wird der Teig mit der Nudelmaschine in der Walzenstufe 3 auf eine gleichmäßige Dicke gebracht und die Cracker mit einer Gabel perforiert.

Im Anschluss an die Herstellung werden die Feuchtegehalte der Produkte gemessen.

V 4.3

Da die bei V 4.2 erzeugten Cracker mit angepasstem Temperaturprogramm insgesamt sehr fest erscheinen (vgl. Abschnitt 4.4), soll in diesem Versuch Backpulver zur Auflockerung des Teiges eingesetzt werden.

Um festzulegen welche Menge an Backpulver eingesetzt wird, wurden Rezepte für Cracker zu Rate gezogen, in denen ebenfalls Backpulver verwendet wurde. Im Rezept von Breul (2025) wurde bezogen auf die Menge an eingesetztem Mehl ca. 3 % Backpulver in den Teig eingebracht, beim Rezept von Green (2016) sind es ca. 2 %. Demzufolge wird in diesem Versuch eine Konzentration des Backpulvers bezogen auf die Mehlmenge (Dinkelvollkorn- + Linsen- + Ackerbohnenmehl) von 2,5 % gewählt. Bezogen auf die in Tabelle 4 aufgeführte Rezeptur entspricht dies einer Menge an Backpulver von 3,75 g. Der Teig wird mithilfe der Nudelmaschine und der Stufeneinstellung 3 auf eine gleichmäßige Dicke gewalzt und mit einer Gabel mit Docking-Löchern versehen. Der Teig wird gemäß den Ergebnissen von V 4.2 (vgl. Abschnitt 4.4) bei Umluft 240 °C für 3 min und anschließend für 50 min bei 120 °C gebacken. Es erfolgt eine Texturanalyse.

3.1.5 Versuch 5: Sensorische Untersuchung

V 5

In diesem Versuch soll eine einfach beschreibende Prüfung nach DIN 10964 durchgeführt werden. Hierfür ist ein Panel bestehend aus zwölf Personen vorgesehen, welches aus Studierenden der Lebensmitteltechnologie der Hochschule Neubrandenburg besteht.

Die Untersuchung wird im Sensoriklabor der Hochschule Neubrandenburg durchgeführt. Dieses ist gemäß der DIN EN ISO 8589 konzipiert. Es herrschen demnach gesteuerte Umweltbedingungen in dem Labor.

Die Produktproben werden für jede Prüfperson auf einem Tablett gereicht. Es werden jeweils drei Cracker der gleichen Variante in ein Behältnis gegeben, welches pro Variante mit dem gleichen zufällig generierten dreistelligen Zahlencode beschriftet ist. Um die Sinne der Prüfpersonen zwischen dem Verkosten der einzelnen Proben zu neutralisieren, wird Wasser zur Verfügung stehen. Es wird eine das natürliche Licht nachahmende Lichtquelle, verwendet.

Es sollen drei verschiedene der in dieser Arbeit hergestellten Cracker-Varianten verkostet werden. Es handelt sich hierbei um Rezepturen, die sich nach der Meinung der Verfasserin der Arbeit optimal entwickelt haben. Es werden von Versuch 3.2 die Cracker mit einem Anteil von 6,48 % Rote Bete-Pulver und die Cracker mit einem Gehalt von 3,99 % Spirulina-Pulver aus Tabelle 4 gewählt. Des Weiteren soll Variante 7 von Versuch 4.2 verkostet werden. Dies entspricht der angepassten Cracker-Rezeptur in Tabelle 6, welche bei Umluft zunächst für 3 min bei 240 °C und anschließend für 50 min bei 120 °C gebacken wird.

3.2 Herstellung der Cracker

In diesem Kapitel ist die Herstellung der Cracker mit den verwendeten Rezepturen dargestellt. Abweichungen bzw. Besonderheiten bei der Herstellung sind der jeweiligen Versuchsplanung in Abschnitt 3.1 zu entnehmen.

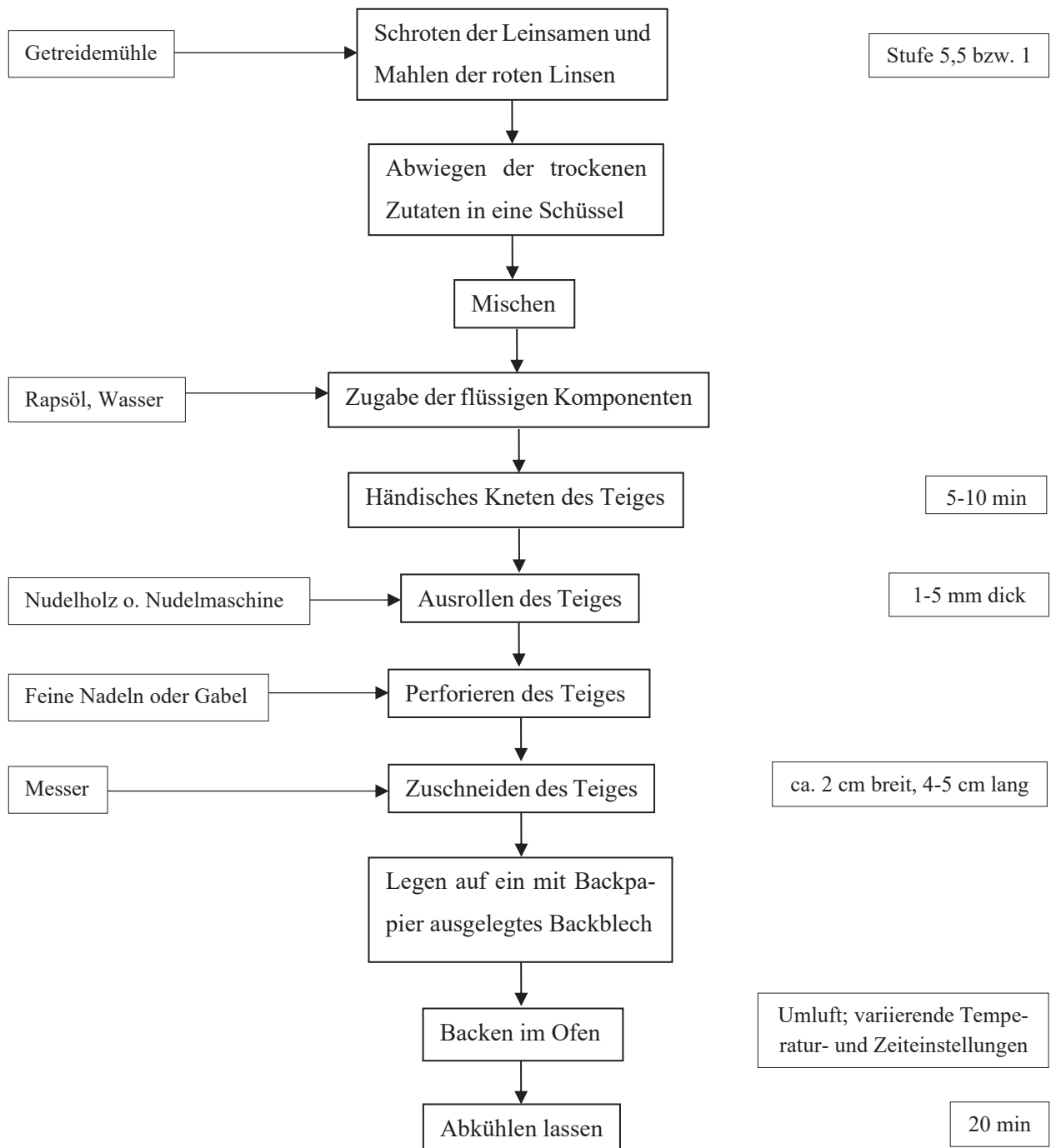


Abbildung 2: Herstellung der Cracker (eigene Darstellung)

In Abbildung 2 ist die Herstellung der Cracker dargestellt. Zur Vorbereitung der Rohstoffe werden die Leinsamen zunächst mit der Getreidemühle (hawo's kornmühlen GmbH) in der Stufe „mittel“ 5,5 geschrotet. Ebenso werden die roten Linsen mit der Stufe 1 zu Mehl fein gemahlen.

Zunächst werden alle trockenen Zutaten mittels Feinwaage abgewogen und in einer Schüssel vermischt. Daraufhin werden Rapsöl und Wasser hinzugegeben. Nun werden alle Zutaten ca. 5- 10 Minuten lang händisch zu einem Teig verknetet. Anschließend wird der Teig mithilfe eines Nudelholzes je nach gewünschter Dicke ausgerollt. Alternativ wird eine Nudelmaschine verwendet, bei der mithilfe der verstellbaren Öffnung zwischen den Walzen die Teigdicke bestimmt werden kann. Daraufhin wird der Teig mit einer mit feinen Nadeln präparierten Gerätschaft mehrmals flächendeckend so tief wie möglich, aber ohne den Teig zu durchstechen, perforiert. Alternativ wird der Teig mit einer Gabel eingestochen, wobei die Reihen der Löcher einen Abstand von ca. 0,5 cm aufweisen. Anschließend erfolgt ein Zuschneiden des Teiges auf ca. 2 cm breite und ca. 4- 5 cm lange rechteckige Stücke. Diese werden auf ein mit Backpapier ausgelegtes Backblech gegeben und im Backofen bei der Umluft-Einstellung für eine festgelegte Zeit und bei einer definierten Temperatur gebacken. Abschließend werden die fertig gebackenen Cracker für mindestens 20 min bei Raumtemperatur abkühlen gelassen, bevor sie untersucht werden können.

Tabelle 5: Ausgangsrezeptur der Cracker

Mengenangabe [%]	Mengenangabe [g]	Zutat
30,60	100	Dinkelvollkornmehl
7,65	25	Linsenmehl
7,65	25	Ackerbohnenmehl
9,18	30	Erbsenproteinisolat
1,53	5	Geschrotete Leinsamen
5,66	18,5	Rapsöl
35,20	115	Wasser
1,38	4,5	Meersalz
0,31	1	Paprikapulver
0,35	1,15	Tomatenpulver
0,24	0,8	italienische Kräutermischung
0,24	0,8	Zwiebelpulver

Tabelle 6: Angepasste Rezeptur der Cracker

Mengenangabe [%]	Mengenangabe [g]	Zutat
35,49	100	Dinkelvollkornmehl
8,87	25	Linsenmehl
8,87	25	Ackerbohnenmehl
5,32	15	Erbsenproteinisolat
1,77	5	Geschrotete Leinsamen
6,57	18,5	Rapsöl
30,17	85	Wasser
1,60	4,5	Meersalz
0,35	1	Paprikapulver
0,41	1,15	Tomatenpulver
0,28	0,8	italienische Kräutermischung
0,28	0,8	Zwiebelpulver

3.3 Verwendete Materialien

Rohstoffe

Dinkelvollkornmehl, Bio; Kaufland Eigenmarke bzw. Dinkelmehl Typ 1050, Bio; Charge/ Mhd: 19.05.2023; Antersdorfer Mühle GmbH & Co Vertriebs KG, Antersdorf 21, 84359 Simbach am Inn

Rote Linsen, Bio; Charge: L:2024/08/141; Mhd: 08.2025 Kaufland Eigenmarke; hergestellt von: Vyrobca Przesiebiorstwo Rol- Ryz Sp. Z o. o., UI Celna 2, 81-337 Gdnia, Polen

Leinsamen, Bio; Charge/ mhd: 23.03.25 09: 48; Alnatura Produktions- und Handels GmbH, Mahatma-Gandhi-Str. 7, 64295 Darmstadt

Paprika edelsüß, mild; Charge: L1232AA, Mhd.: 31.12.24; Fuchs Foodservice GmbH, 49198 Dissen a. T. W.

Italienische Kräutermischung (Oregano, Basilikum, Thymian, Petersilie, Rosmarin), Bio; Charge: L300305; Mhd: 06/2027; Kaufland Eigenmarke; Hersteller: Weiland GmbH, Industristr. 25, 49201 Dissen a. T. W.

Zwiebeln, granuliert; Charge: L309958; Mhd: Ende 2028; Ostmann Gewürze GmbH, Industristr. 25, 49201 Dissen a. T. W.

Rapsöl; Charge: L23320 07:11; Mhd: 02/ 2025; Rapso Österreich GmbH, Bäckermühlweg 44, 4030 Linz, Österreich

Organic Spirulina Powder; Charge: 181A910; Mhd: 06.11.22; My Superfoods Ltd, 73B High Street, Bridge, Canterbury, Kent CT4 5LB

Rote Beete gemahlen; Charge: BG20239; Mhd: 31.12.23; Blank's GmbH & Co KG, Achterhof 1, 26670 Uplengen

Backpulver; Charge: L913565 1 16:04; Mhd: 06.2025; Kaufland Classic; OSNA Nahrungsmittel GmbH, Postfach 36 28, 49026 Osnabrück, Deutschland

Weitere Materialien

Siegelrandbeutel transparent 15 cm x 20 cm, Material: Polyamid/ Polyethylen, 20-70 Prime-Source; allfo GmbH & Co KG, Dieselstr. 9, 87448 Waltenhofen

mit feinen Nadeln präparierte Gerätschaft; Nobby Nature Line Rupfbürste, S, 6 x 4,5 cm; Nobby Pet Shop GmbH, Im Egeling, 46395 Bocholt

Backmatte, Gabel, Messer, Mörser, Schüsseln

3.4 Verwendete Geräte

Feinwaage „Entris II Analysenwaage“; Sartorius Lab Instruments GmbH & Co KG, 37070 Göttingen, Deutschland

Getreidemühle „Mühle 2“; hawo's kornmühlen GmbH, Ober-Eschbacher Str. 37, D-61352 Bad Homburg v. d. H.

Texture Analyzer, TA.XTplus; Stable Micro Systems, Surrey GU71YL, UK

Schnellfeuchtemessgerät MA 40, Sartorius AG, 37070 Göttingen, Deutschland

Spektralphotometer ColorFlex EZ; HunterLab Europe GmbH, Dr.-August-Einsele-Ring 15, 82419 Murnau

Thermomix; Vorwerk Deutschland Stiftung & Co. KG, Mühlenweg 17 – 37, D-42270 Wuppertal, Deutschland

Datenlogger als Hygrometer und Thermometer; Almemo 2690-8A; Ahlborn

Vakuumgerät Röschermatic; Typ VM – 19 /S Nr. 6091896, 380/ 220 V, 50 Hz, 11 kW; Röscherwerke GmbH, Postfach 3566, 4500 Osnabrück

Hand-Siegelzange HZ; Willi Kipp e. K. Verpackungssysteme, Ulmer Str. 51-53; D-73262 Reichenbach/Fils

Backofen; Siemens AG, Werner-von-Siemens-Straße 1, 80333 München

Nudelmaschine „Ampia 150 Classic“; Marcato S. p. A., Via Rossignolo 12, 35011 Campodarsego (PD), Italien

3.5 Untersuchungsmethoden

Physikalische Untersuchungen

Farbmessung:

Die Messung der Farbe wird mithilfe des Spektralphotometers (Fa. Hunterlab) durchgeführt.

Für die Proben, bei denen färbende Pflanzenextrakte eingesetzt werden, werden die Proben unzerkleinert mit einer quadratischen Größe von ca. 1,5 cm Kantenlänge untersucht. Dafür werden sie in die mittige Mulde (Durchmesser 3,1 cm) einer flachen Lochscheibe gelegt. Die Farbmessung erfolgt von der anderen Seite der Scheibe durch das ca. 1 cm im Durchmesser betragende Loch.

Die restlichen untersuchten Proben werden zunächst mithilfe eines Mörsers zermahlen. Daraufhin wird das Pulver in eine Rundglasküvette (Durchmesser 34 mm) mit Messblendeinsatz (schwarzer Ring) gegeben. Ebenso wird ein Abstandshalter mit Referenzweiß verwendet.

Alle Proben werden außerdem mit einem lichtundurchlässigen Becher abgedeckt.

Es erfolgt pro untersuchte Charge eine Dreifachbestimmung, bei der Mittelwert \bar{x} und die Standardabweichung σ ermittelt werden.

Es werden pro Probe Werte des CIE L*a*b* Farbraumes nach DIN EN ISO 11664-4 erzeugt. Der CIE Lab Farbraum stellt ein Modell zur quantitativen Beschreibung von Farben dar, das auf der menschlichen Farbwahrnehmung basiert.

Der L-Wert variiert im Bereich von 0 bis 100 und repräsentiert die Helligkeit einer Farbe. Ein Wert von 0 korreliert mit der Wahrnehmung von Schwarz, während ein Wert von 100 für die Wahrnehmung von Weiß steht. Ein höherer L*-Wert indiziert demnach eine zunehmende Helligkeit der Farbe.

Der a-Wert kann sowohl negative als auch positive Werte annehmen. Ein negativer a*-Wert deutet auf eine Tendenz zur grünen Farbwahrnehmung hin, während ein positiver Wert eine Neigung zur roten Farbwahrnehmung signalisiert. Der Wertebereich erstreckt sich typischerweise von -128 (stark grün) bis +127 (stark rot).

Analog zum a*-Wert kann auch der b*-Wert negative oder positive Werte annehmen. Ein negativer b*-Wert weist auf eine Tendenz zur blauen Farbwahrnehmung hin, während ein positiver Wert eine Neigung zur gelben Farbwahrnehmung anzeigt. Der Wertebereich reicht ebenfalls von -128 (stark blau) bis +127 (stark gelb) (Lauro; Francis, 2000).

Texturmessung:

Die Messung der Textur erfolgt mit dem Texture Analyzer (Fa. Stable Micro Systems). Dabei werden die in Tabelle 5 aufgeführten Einstellungen des Analyseprogramms angewandt. Die Cracker werden für die Analyse flach, mittig und quer auf die obige Öffnung eines zylinderförmigen Metallgefäßes gelegt, sodass der Prüfkörper die Probe mittig zerteilen kann. Der Durchmesser des Gefäßes beträgt 3,5 cm.

Tabelle 7: Prüfeinstellungen des angewandten Texturanalyseprogrammes

Prüfkörper	HDP/CFS Crisp Fracture Support
Test Art	Druck
Kapazität Kraftmesszelle	5000 g
Messpunkte pro Sekunde	250
Auslösekraft	5,0 g
Weg	10,00 mm
Vor Geschwindigkeit	2,00 mm/s
Test Geschwindigkeit	1,00 mm/s
Rück Geschwindigkeit	10,00 mm/s

Für jede Testmessung werden die Werte der Steigung, der Kraft und der Fläche der Probe bestimmt. Die Steigung, angegeben in N/s, entspricht dem Anstieg zwischen 20 und 50 % der jeweiligen aufgenommenen Messkurve. Mit diesem Wert kann die Knusprigkeit der Cracker interpretiert werden. Das bedeutet je größer der Wert ist, desto mehr Kraft wird für das Zerteilen der Probe bezogen auf die Zeit aufgewandt und desto höher ist die Knusprigkeit der Probe. Der Wert der Kraft in N entspricht der aufgewandten Maximalkraft, um den Cracker zu zerteilen. Je höher die Kraft, desto höher die Festigkeit des Produktes. Der Wert der Fläche in N*s stellt ebenfalls einen Parameter für die Festigkeit der jeweiligen Probe dar und ist ein Indiz für die Gesamtenergie, die aufgewendet wurde, um den Cracker zu spalten. In Abbildung 3 werden beispielhaft zwei aufgenommene Messkurven sowie in Tabelle 6 die zugehörigen Messwerte aufgeführt. Die Probe der pinken Kurve wird als besonders knusprig charakterisiert, da sie einen steilen Anstieg (24,65 N/s) aufweist. Des Weiteren ist sie aufgrund des großen Wertes der Fläche (6,3 N*s) und der Kraft (15,53 N), die aufgewandt wurde, um den Cracker zu zerteilen, fest. Das Maximum der Kurve stellt dabei die Maximalkraft dar und ist hier mit „Hardness“ betitelt. Im Gegensatz dazu wird durch die schwarze Kurve ein Cracker dargestellt, der in allen Parametern einen niedrigen Wert aufweist und somit eine geringe Knusprigkeit und Festigkeit besitzt.

Tabelle 8: Messwerte der beispielhaft gemessenen Cracker mit dem Texture Analyzer

	Steigung [N/s]	Kraft [N]	Fläche [N*s]
Cracker 1 (pinke Kurve)	24,65	15,53	6,3
Cracker 2 (schwarze Kurve)	2,83	0,62	0,26

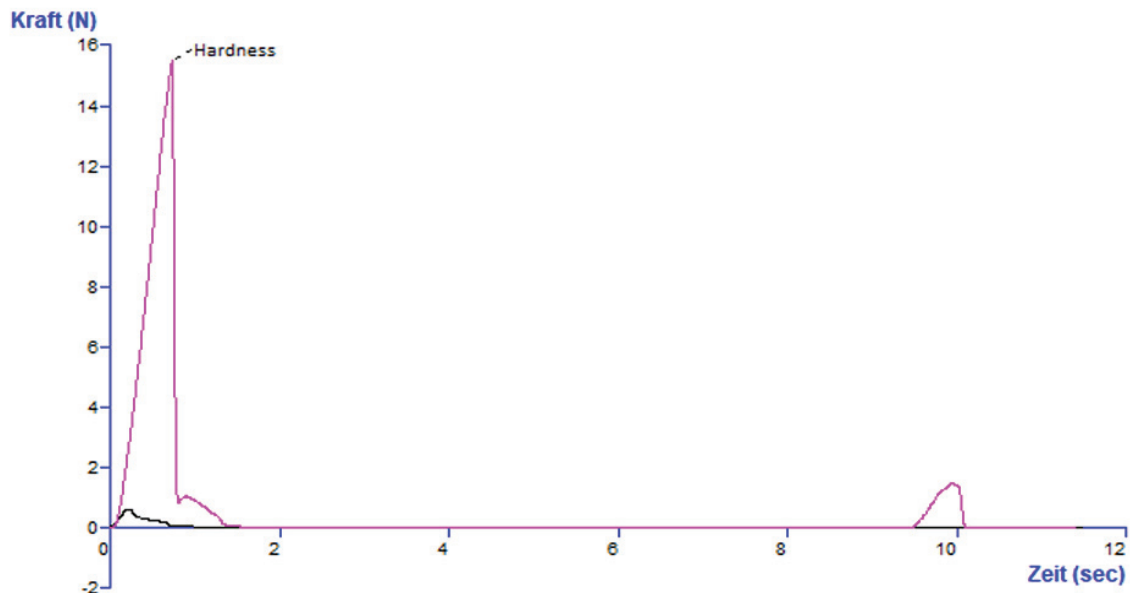


Abbildung 3: Beispielhafte Kurvenabbildung des Texture Analyzers

Die Daten werden mit der Software Exponent aufgezeichnet. Dabei werden für alle untersuchten Proben mindestens fünf Messwerte aufgenommen und mit diesen das arithmetische Mittel \bar{x} sowie die Standardabweichung σ bestimmt.

Feuchtebestimmung:

Der Wassergehalt wird mithilfe des Schnellfeuchtebestimmers MA 40 (Fa. Sartorius) bestimmt. Die angewandte Trocknungstemperatur beträgt 105 °C. Die Proben werden mit einem Mörser in Pulverform zerkleinert. Es wird eine Probemenge von ca. 1,5 g aufgegeben. Es erfolgt eine Dreifachbestimmung, aus denen das arithmetische Mittel \bar{x} sowie die Standardabweichung σ bestimmt wird.

Sensorische Untersuchung

Bei der einfach beschreibenden Prüfung nach DIN 10964 handelt es sich um ein deskriptives sensorisches Prüfverfahren. Hierbei werden durch die Panelisten beschreibende Ausdrücke für die Produktproben generiert. Diese Attribute sind den Merkmalseigenschaften Aussehen Farbe, Aussehen Form, Geruch, Geschmack und Textur zuzuordnen (NAL, 1996).

4 Ergebnisse

4.1 Versuchsreihe 1: Textur (Knusprigkeit) der Cracker

V 1.1: Ausgestaltung des Temperaturprogramms

In Tabelle 9 sind die gemessenen Feuchtegehalte der mit unterschiedlichen Temperaturprogrammen gebackenen Cracker angegeben.

Tabelle 9: Feuchtegehalte der mit unterschiedlichen Temperaturprogrammen gebackenen Cracker (n=3) (V 1.1)

Umluft		Feuchtegehalt \bar{x} [%]	Standardabweichung σ
150° C	11 min	13,41	0,78
	12 min	13,48	0,66
	13 min	13,6	0,56
	14 min	9,96	0,57
160° C	11 min	10,32	0,32
	12 min	9,51	0,46
	13 min	7,43	0,24
	14 min	6,18	0,26

Auffällig ist, dass die Gehalte der Feuchtigkeit von den Crackern, die bei 150 °C für 11, 12 und 13 min gebacken wurden, ähnlich hoch sind. Die für 14 min gebackenen Cracker weisen einen geringeren Feuchtegehalt auf. Bei den Produkten, die einer Temperatur von 160 °C ausgesetzt waren, sinkt der Feuchtegehalt mit zunehmender Backzeit, sodass die für 14 min gebackenen Cracker mit 6,18 % im arithmetischen Mittel den geringsten Wert besitzen.

Der Tabelle 10 können die mit dem Texture Analyzer aufgenommenen Messwerte der mit unterschiedlichen Temperaturprogrammen gebackenen Cracker entnommen werden.

Wenn die Variante 150 °C, 12 min außer Acht gelassen wird, ist zu beobachten, dass mit einer längeren Backzeit eine höhere Steigung der Kurve und somit eine höhere Knusprigkeit der Cracker vorliegt. Ähnlich verhält es sich mit den Maximalkräften, die aufgewandt wurden, um die Cracker zu zerteilen. Demzufolge ist auch die Festigkeit bei den längeren Backzeiten höher. Bei den Mittelwerten für die Flächen, die ebenso ein Parameter für die Festigkeit der Proben darstellen kann, ist keine eindeutige Tendenz bzw. Korrelation mit den Backzeiten erkennbar.

Tabelle 10: Werte der Texturanalyse der mit unterschiedlichen Temperaturprogrammen gebackenen Cracker (n=5) (V 1.1)

Umluft			Steigung [N/s]	Maximalkraft [N]	Fläche [N*s]
150° C	11 min	\bar{x}	4,86	4,29	7,02
		σ	3,09	1,73	1,48
	12 min	\bar{x}	3,98	4,07	8,38
		σ	1,9	0,8	1,99
	13 min	\bar{x}	6,32	6,06	7,99
		σ	3,63	1,30	2,39
	14 min	\bar{x}	9,76	8,54	8,92
		σ	2,72	1,24	1,87
160° C	11 min	\bar{x}	7,13	6,29	6,24
		σ	2,19	0,74	1,78
	12 min	\bar{x}	8,2	8,31	8,40
		σ	2,86	2,76	1,35
	13 min	\bar{x}	14,83	11,13	6,42
		σ	1,38	2,90	1,14
	14 min	\bar{x}	17,66	11,45	6,51
		σ	0,75	2,89	5,00

Werden die Cracker, die bei 150 °C und bei 160 °C jeweils für eine gleich lange Zeit gebacken wurden, verglichen, ist bei Letzterem jeweils eine höhere Steigung der Kurve/ Knusprigkeit und Maximalkraft festzustellen.

Allgemein ist auffällig, dass die Messwerte innerhalb der einzelnen Chargen teilweise eine relativ große Bandbreite aufweisen, was sich in den höheren Standardabweichungen widerspiegelt. Dies kann beispielsweise auf unterschiedlich große bzw. dünne Cracker zurückzuführen sein.

Ausgenommen der Werte für die bei 150 °C für 11 und 12 min gebackenen Cracker sind mit längerer Backzeit geringere Feuchtegehalte und eine höhere Knusprigkeit bzw. Festigkeit der Proben zu verzeichnen. Diese Zusammenhänge bezüglich der Textur konnten bei einer individuellen sensorischen Betrachtung bestätigt werden. Insbesondere die Cracker, die bei 160 °C für 13 min gebacken wurden, konnten eine ausreichende und zufriedenstellende Knusprigkeit erzielen, weshalb dieses Temperaturprogramm in weiteren Untersuchungen angewandt wird.

Tabelle 11: L*-, a*-, b*- Werte der mit unterschiedlichen Temperaturprogrammen gebackenen Cracker (n=3)

Umluft			L*-Wert	a*-Wert	b*-Wert
150° C	11 min	\bar{x}	29,87	6,97	17,00
		σ	0,45	0,15	0,32
	12 min	\bar{x}	29,61	6,81	16,94
		σ	0,48	0,19	0,23
	13 min	\bar{x}	29,25	7,06	17,42
		σ	0,58	0,25	0,4
	14 min	\bar{x}	28,31	7,73	18,61
		σ	0,14	0,04	0,08
160° C	11 min	\bar{x}	28,87	7,31	17,85
		σ	0,14	0,10	0,01
	12 min	\bar{x}	27,59	7,81	18,48
		σ	0,08	0,04	0,06
	13 min	\bar{x}	26,48	7,97	19,12
		σ	0,18	0,07	0,17
	14 min	\bar{x}	27,77	7,49	18,33
		σ	0,31	0,18	0,19

In Tabelle 11 sind die L*-, a*-, b*- Werte der mit unterschiedlichen Temperaturprogrammen gebackenen Cracker abgebildet. Allgemein unterscheiden sich die L*, a* und b* Werte der untersuchten Proben nur leicht. Werden die L*-Werte betrachtet, fällt auf, dass diese mit zunehmender Länge des Backvorganges leicht abnehmen. Dies weist auf eine dunklere Farbwahrnehmung hin.

Alle a*-Werte befinden sich im niedrigen positiven Bereich, was eine leicht rötliche Farbwahrnehmung signalisiert. Dies kann durch die verwendeten rötlichen Zutaten wie das Linsenmehl sowie das Tomaten- und Paprikapulver erklärt werden. Es besteht eine minimale Tendenz, dass diese Werte mit zunehmender Backdauer steigen.

Die b*-Werte sind ebenfalls dem niedrigen positiven Bereich zuzuordnen. Dies deutet auf eine leicht gelbliche Farbwahrnehmung hin. Die Werte besitzen die Tendenz mit zunehmender Backzeit minimal anzusteigen.

Bei den erwähnten Tendenzen der L^{*}-, a^{*}- und b^{*}-Werte besteht eine Ausnahme mit der Probe, die bei 160 °C für 14 min gebacken wurde. Es ist anzumerken, dass das Spektralphotometer direkt vor der Ermittlung besagter Werte (bedingt durch das Messgerät) standardisiert werden musste. Eventuell entsprechen die Messwerte deshalb nicht den Erwartungen.

Etwas erhöhte Standardabweichungen, insbesondere der L^{*}-Werte, sind möglicherweise durch dunkle Stückchen, die sich in dem Teig befinden, zu erklären. Dies können Kräuter oder Leinsamen sein, die die Messwerte beeinflussen.

Auswertung Luftblasen

Bei beiden angewandten Methoden zur Vermeidung einer Luftblasenbildung sind teilweise Cracker vorhanden, die Luftblasen aufweisen. Insgesamt sind visuell keine starken Unterschiede bezüglich der Luftblasenvermeidung wahrnehmbar. Bei den Crackern, die mit der mit feinen Nadeln präparierten Gerätschaft perforiert wurden, sind entsprechend über die Fläche gleichmäßig verteilt kleinere Löcher vorhanden. Bei den mit der Gabel eingedrückten Crackern sind weniger und größere Löcher in einem gleichmäßigen Abstand existent.

V 1.2: Einfluss verschiedener Lager- und Verpackungsbedingungen auf die Textur der Cracker

V 1.2.1

Bei der Herstellung der Produkte für diesen Versuch wurden drei Teige angefertigt, die trotz Bemühungen leicht unterschiedlich dick ausgerollt wurden, sodass die Cracker jeweils eine unterschiedliche Dicke besaßen.

Tabelle 12: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit von Wärmekammer und EW-Labor (n=3)

		Temperatur	Relative Luftfeuchtigkeit
Wärmekammer	\bar{x}	29,17 °C	25,20 %
	σ	0,16	0,45
EW-Labor	\bar{x}	18,86 °C	34,15 %
	σ	0,15	0,65

In Tabelle 13 sind die Feuchtegehalte der unterschiedlich gelagerten Cracker zu verschiedenen Zeitpunkten dargestellt. Hierbei ist zu erkennen, dass der Wassergehalt der untersuchten Proben am Tag 3 im Vergleich zu Tag 1 gesunken ist. Die Feuchtegehalte der Cracker mit den jeweils gleichen Lagerbedingungen weisen zu den drei Messzeitpunkten an Tag 3, 6 und 15 einen ähnlich hohen Wert auf.

Tabelle 13: Feuchtegehalte der unterschiedlich gelagerten Cracker zu verschiedenen Zeitpunkten (n= 3) (V 1.2.1)

		Tag 1	Tag 3	Tag 6	Tag 15
Wärmekammer	\bar{x}	10,37 %	6,19 %	6,33 %	6,63 %
	σ	0,42	0,23	0,09	0,18
EW-Labor	\bar{x}		7,75 %	7,50 %	7,38 %
	σ		0,18	0,12	0,25
Verpackt ohne Vakuum (Lagerung im EW-Labor)	\bar{x}		8,52 %	9,05 %	8,79 %
	σ		0,15	0,14	0,32
Verpackt mit Vakuum (Lagerung im EW-Labor)	\bar{x}		8,21 %	8,53 %	7,74 %
	σ		0,27	0,34	0,21

Ursprünglich war eine Analyse für Tag 8 geplant. Da sich die Messwerte von Tag 3 zu Tag 6 kaum unterschieden, wurde dieser Messzeitpunkt für nicht notwendig erachtet und ausgelassen.

Texturanalyse:

Tabelle 14: Werte der Texturanalyse nach dem Backen/ an Tag 1 (n= 5) (V 1.2.1)

	Steigung [N/s]	Maximalkraft [N]	Fläche [N*s]
\bar{x}	10,6	8,71	8,01
σ	3,6	3,06	1,40

Tabelle 15: Werte der Texturanalyse der unterschiedlich gelagerten Cracker an Tag 3 (n= 5) (V 1.2.1)

	Steigung [N/s]	Maximalkraft [N]	Fläche [N*s]	
Wärmekammer	\bar{x}	9,3	2,05	1,79
	σ	3,56	0,96	0,65
EW-Labor	\bar{x}	8,65	1,90	1,19
	σ	2,62	1,23	0,33
Verpackt ohne Vakuum (Lagerung im EW-Labor)	\bar{x}	14,28	10,78	6,58
	σ	3,24	4,06	2,52
Verpackt mit Vakuum (Lagerung im EW-Labor)	\bar{x}	10,56	4,81	2,75
	σ	4,47	2,58	1,21

In Tabelle 14 sind die Messwerte der Texturanalyse dargestellt, die am Tag der Herstellung von den Crackern ermittelt wurden. Die gleichen Analysen wurden an Tag 3 jeweils für die unterschiedlich gelagerten Produkte durchgeführt. Dessen Ergebnisse sind in Tabelle 15 abgebildet.

Bei den Crackern, die ohne Vakuum in einem Siegelrandbeutel verschweißt wurden, sind die Werte der Steigung, die an Tag 3 gemessen wurden, im Vergleich mit den Analysewerten von Tag 1 gestiegen. Somit kann hier eine höhere Knusprigkeit interpretiert werden. Die übrigen Messwerte der Steigung von Tag 3 sind ähnlich hoch wie der Analysewert vom Tag der Produktion bzw. teilweise leicht niedriger. Somit werden ähnliche Knusprigkeitsgrade der Cracker aufgewiesen.

Auffällig ist, dass die Werte der Maximalkraft und der Fläche sowohl für die Proben, die in der Wärmekammer als auch für die Produkte, die im EW-Labor gelagert wurden, deutlich geringer sind als die jeweiligen Ausgangsmesswerte. Dies spricht für eine deutlich geringere Festigkeit der unverpackt gelagerten Cracker.

Wie zu Beginn der Auswertung beschrieben, wurden für diesen Versuch Cracker mit drei unterschiedlichen Teigdicken verwendet. Vermutlich weichen deshalb die Messwerte der Proben mit jeweils gleichen Lagerbedingungen sowohl jeweils an Tag 3, 6 und 15 stark voneinander ab (vgl. Standardabweichungen). Ein Vergleich der Daten zwischen den Zeitpunkten wird als nicht sinnvoll erachtet. Deshalb werden die Werte der Texturanalyse von Tag 6 und 15 in den Tabellen 29 und 30 im Anhang dargestellt. Der Versuch müsste mit Crackern der gleichen Charge bzw. der gleichen Teigdicke wiederholt werden, um die Werte über die Zeit mit verschiedenen Lagerbedingungen besser miteinander vergleichen zu können.

V 1.2.2

In Abbildung 4 sind die Feuchtegehalte der unterschiedlich gelagerten Cracker zu den vier Messzeitpunkten bzw. die Entwicklung über die Zeit dargestellt. Die Standardabweichungen, die jeweils gering sind, sind der Tabelle 31 im Anhang zu entnehmen.

Die Feuchtegehalte der unverpackt gelagerten Cracker sind über die Zeit angestiegen. Die Wassergehalte der in der Wärmekammer gelagerten Proben sind weniger stark angestiegen als die Messwerte der sich im EW-Labor befindenden Cracker.

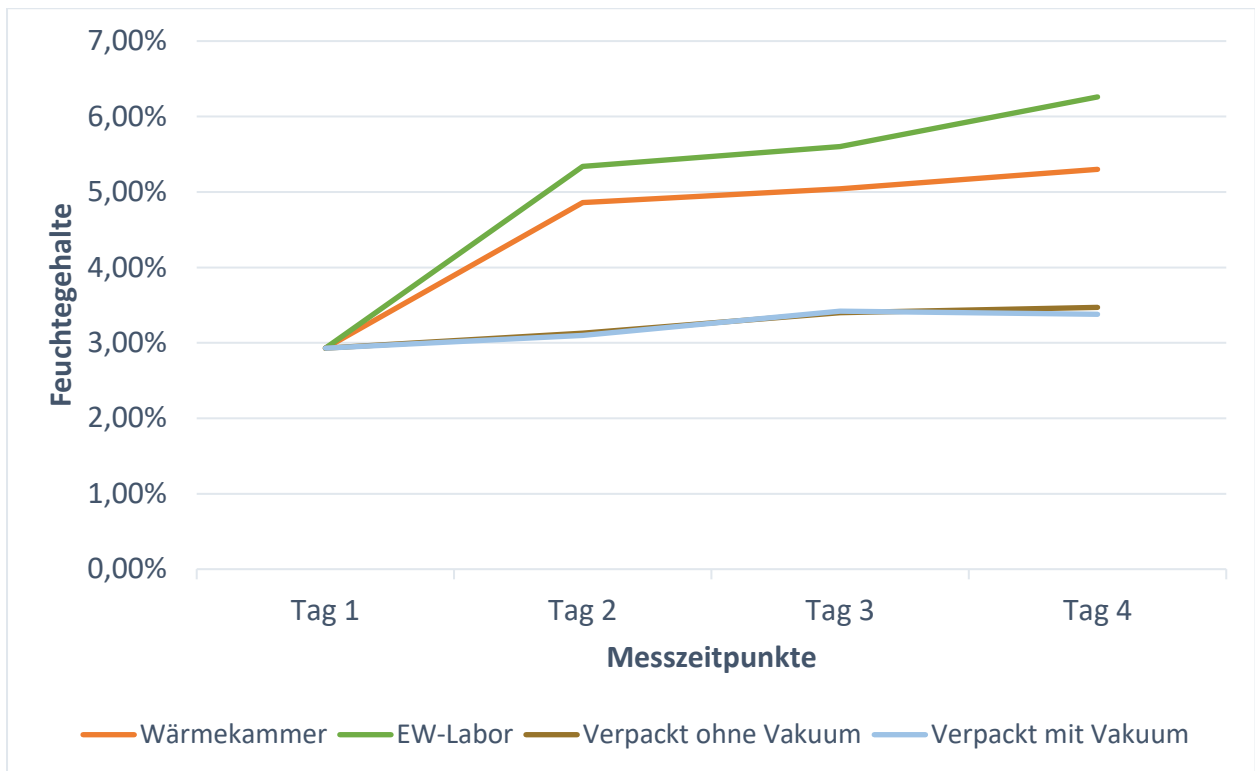


Abbildung 4: Feuchtegehalte der unterschiedlich gelagerten Cracker zu verschiedenen Zeitpunkten (V 1.2.2)

Die Analysewerte zu den späteren Messzeitpunkten der in den Folienbeuteln eingeschweißten Cracker sind ähnlich hoch wie der an Tag 1 bestimmte Feuchtegehalt der Cracker, jedoch leicht erhöht. Auffällig ist, dass die Werte der mit einem Vakuum eingeschweißten Cracker jeweils ähnlich hoch sind wie bei den Crackern, bei denen der Siegelrandbeutel ohne Vakuum verschweißt wurde.

Aus organisatorischen Gründen war eine Messung an späteren Messzeitpunkten als Tag 4 nicht durchführbar.

Texturanalyse:

In Tabelle 16 sind die Werte der Texturanalyse für V 1.2.2 nach dem Backen dargestellt. In den nachfolgenden Tabellen 17, 18 und 19 sind die Analysewerte der unterschiedlich gelagerten Cracker an Tag 2, 3 und 4 abgebildet.

Tabelle 16: Werte der Texturanalyse nach dem Backen/ Tag 1 (n= 5) (V 1.2.2)

	Steigung [N/s]	Maximalkraft [N]	Fläche [N*s]
\bar{x}	23,83	19,99	8,09
σ	6,92	3,57	1,91

Tabelle 17: Werte der Texturanalyse der unterschiedlich gelagerten Cracker an Tag 2 (n= 5) (V 1.2.2)

		Steigung [N/s]	Maximalkraft [N]	Fläche [N*s]
Wärmekammer	\bar{x}	27,72	20,23	7,99
	σ	3,12	2,74	0,94
EW-Labor	\bar{x}	26,34	19,40	7,80
	σ	3,73	4,33	2,77
Verpackt ohne Vakuum (Lagerung im EW-Labor)	\bar{x}	30,55	20,92	7,92
	σ	3,80	3,11	2,53
Verpackt mit Vakuum (Lagerung im EW-Labor)	\bar{x}	25,92	21,41	9,63
	σ	7,41	2,67	2,63

Tabelle 18: Werte der Texturanalyse der unterschiedlich gelagerten Cracker an Tag 3 (n= 5) (V 1.2.2)

		Steigung [N/s]	Maximalkraft [N]	Fläche [N*s]
Wärmekammer	\bar{x}	25,79	21,11	8,63
	σ	7,15	3,87	1,83
EW-Labor	\bar{x}	23,56	18,44	8,28
	σ	3,55	3,00	2,74
Verpackt ohne Vakuum (Lagerung im EW-Labor)	\bar{x}	28,77	22,67	9,23
	σ	5,99	6,02	3,55
Verpackt mit Vakuum (Lagerung im EW-Labor)	\bar{x}	31,96	24,08	9,50
	σ	5,14	2,40	1,75

Tabelle 19: Werte der Texturanalyse der unterschiedlich gelagerten Cracker an Tag 4 (n= 5) (V 1.2.2)

		Steigung [N/s]	Maximalkraft [N]	Fläche [N*s]
Wärmekammer	\bar{x}	24,34	18,62	7,26
	σ	4,06	1,44	1,46
EW-Labor	\bar{x}	22,82	20,33	9,79
	σ	1,63	2,96	2,85
Verpackt ohne Vakuum (Lagerung im EW-Labor)	\bar{x}	21,95	20,75	9,87
	σ	8,41	1,07	2,48
Verpackt mit Vakuum (Lagerung im EW-Labor)	\bar{x}	28,34	21,27	8,13
	σ	5,92	1,95	1,56

Die Werte der Texturanalyse der Cracker mit den jeweils verschiedenen Lagerbedingungen sind jeweils sehr ähnlich und ändern sich auch über die Zeit nicht stark. Dies deutet darauf hin, dass keine großen Veränderungen in der Textur auftreten. Die Messungen der Steigung nehmen Werte zwischen 22 und 31 N/s an, was auf eine hohe Knusprigkeit schließen lässt. Die Werte der Maximalkraft liegen zwischen 19 und 24 N und die der Fläche zwischen 7 und 10 N*s. Die Proben weisen eine entsprechende hohe Festigkeit auf. Die erzeugten Kurven der Texturanalyse sind demzufolge steil. Der Prozess des Zerteilens dauert jeweils nur wenige Sekunden. Teilweise sind hohe Standardabweichungen zu verzeichnen.

Die Werte der Maximalkraft und der Fläche der Proben, die unverpackt gelagert wurden, sind jeweils ähnlich hoch und ändern sich kaum über die Zeit. Die Cracker weisen eine ähnlich hohe Festigkeit auf. Die Werte der Steigung sind über die Zeit leicht gesunken, wobei dies bei den in der Wärmekammer gelagerten Produkten weniger erfolgt ist.

V1.3: Einfluss der Teigdicke auf die Textur der Cracker

In Tabelle 20 sind die Werte der Texturanalyse der Cracker mit unterschiedlichen Teigdicken dargestellt.

Tabelle 20: Werte der Texturanalyse der Cracker mit unterschiedlichen Teigdicken (n= 5) (V 1.3)

		Steigung [N/s]	Maximalkraft [N]	Fläche [N*s]
Teigdicke 5 mm	\bar{x}	9,19	18,77	24,08
	σ	4,00	3,29	4,44
Teigdicke 2,7 mm	\bar{x}	17,26	10,69	4,05
	σ	2,71	3,41	1,77
Teigdicke 1,2 mm	\bar{x}	8,23	4,32	1,60
	σ	1,81	1,06	0,38

Um die Messwerte der Texturanalyse besser interpretieren zu können, sind in Abbildung 5- 7 die durch die Software Exponent während der Analyse aufgenommenen Kurven für die Produkte mit unterschiedlichen Teigdicken dargestellt. Für die Interpretation ist es ebenso wichtig, nicht nur die absoluten Werte der Analyseparameter, sondern jeweils die Verhältnisse zueinander zu betrachten.

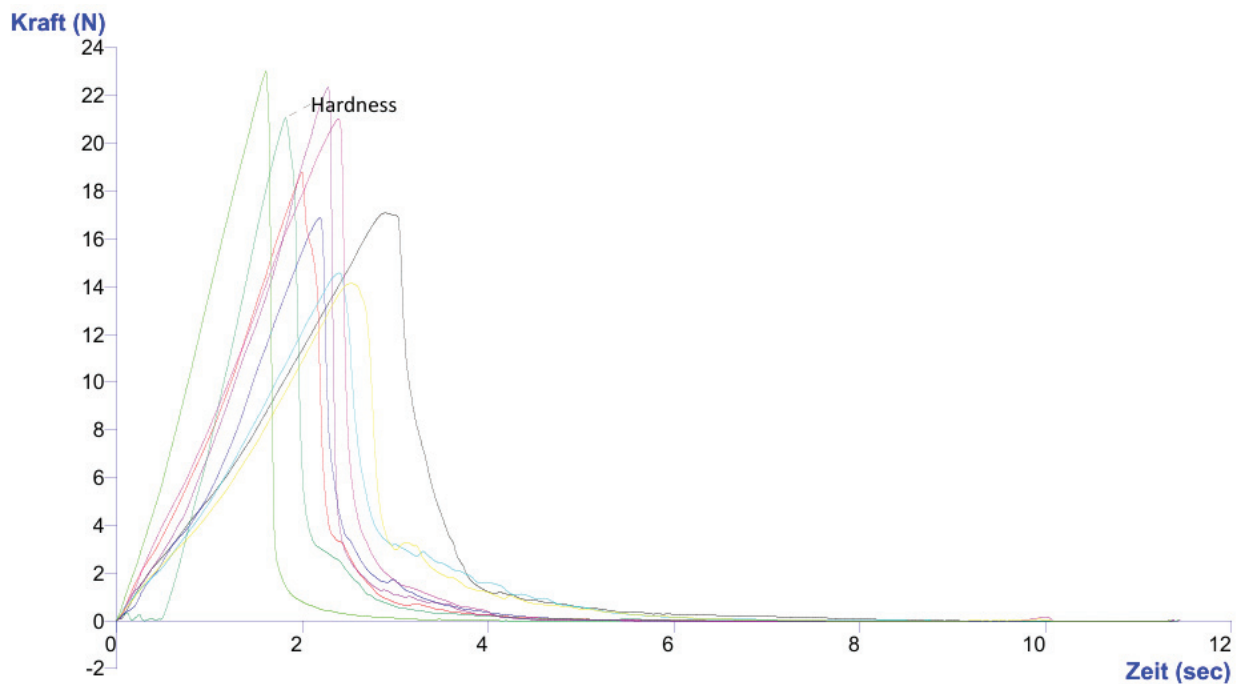


Abbildung 5: Kurvendiagramm zur Texturanalyse der 5 mm dicken Cracker (V 1.3)

Es ist ersichtlich, dass für die Proben mit der höchsten Teigdicke die höchste Kraft zum Zerteilen der Produkte aufgewandt wurde. Ebenso wurde ein hoher Flächenwert erzielt. Dies ist vermutlich nicht auf eine hohe Festigkeit zurückzuführen, sondern hängt mit einer höheren Zeit zusammen, die aufgrund der größeren Teigdicke benötigt wird, um den Cracker zu zerteilen. Dadurch ist die Fläche unter der ermittelten Kurve größer, genau wie die aufgewandte Gesamtenergie. Die Steigung der Proben ist im Vergleich zu den anderen Parametern relativ gering. In Kombination mit den hohen Werten der Maximalkraft und der Fläche spricht dies für eine geringe Knusprigkeit der Produkte. Eine weiche Konsistenz der Cracker konnte durch eine individuelle sensorische Betrachtung bestätigt werden.

Bei den 2,7 mm dicken Crackern ist eine relativ hohe Steigung im Vergleich mit der Maximalkraft und dem Wert der Fläche zu verzeichnen. Dies weist auf eine höhere Knusprigkeit hin. Der Prozess des Zerteilens dauerte hier deutlich kürzer als bei den Proben mit einer höheren Teigdicke, wodurch sich der geringere Wert der Fläche erklären lässt.

Bei den Produkten mit einer Teigdicke von 1,2 mm treten die geringsten Messwerte der drei untersuchten Parameter auf. Es wurden die geringsten Kräfte zum Zerteilen aufgewandt, da der Widerstand aufgrund der geringen Teigdicke ebenfalls gering ist. Werden die Verhältnisse der Steigung, der Maximalkraft und der Fläche zueinander betrachtet, sind diese ähnlich wie bei den 2,7 mm dicken Crackern. Der Zerteilungsprozess der Proben dauerte ebenfalls ähnlich lang. Die Pro-

ben werden aufgrund der hohen Steigung im Vergleich zur Maximalkraft und zur Fläche als knusprig charakterisiert. Dieser Zusammenhang konnte durch eine individuelle sensorische Verkostung unterstützt werden.

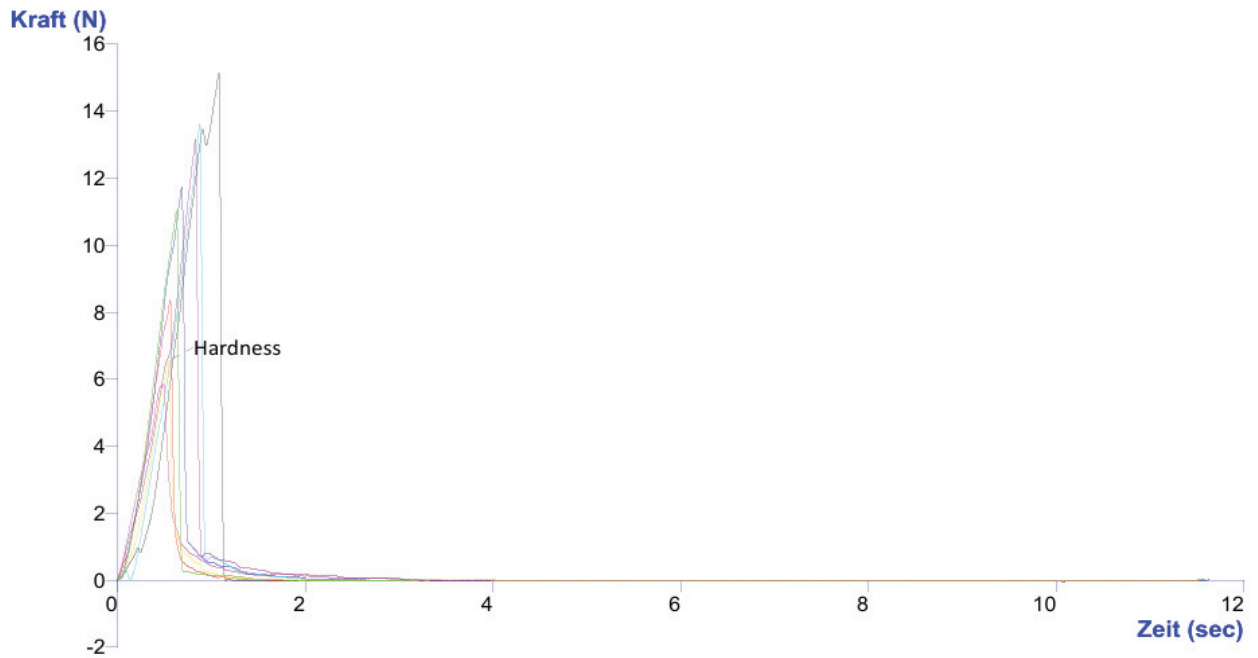


Abbildung 6: Kurvendiagramm zur Texturanalyse der 2,7 mm dicken Cracker (V 1.3)

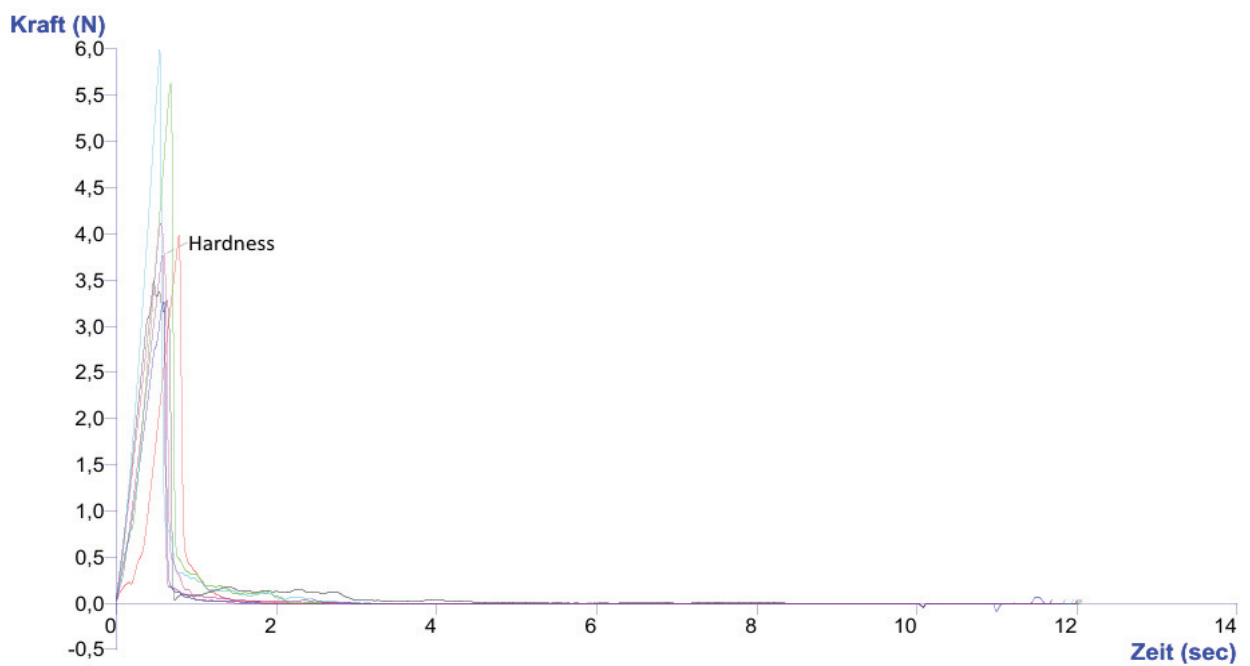


Abbildung 7: Kurvendiagramm zur Texturanalyse der 1,2 mm dicken Cracker (V 1.3)

4.2 Versuch 2: Vermeidung von Verformungen

V2

Referenz-Teig:

Im Folgenden sind Aufnahmen des Teiges, der als Referenz dienen soll, dargestellt. Abbildung 8 zeigt den Teig vor dem Backen und Abbildung 9 nach dem Backen, jeweils aus Draufsicht. In Abbildung 10 und 11 ist das Gleiche nur aus seitlicher Ansicht abgebildet.



Abbildung 8: Referenz-Teig vor dem Backen (Draufsicht) Abbildung 9: Referenz-Teig nach dem Backen (Draufsicht)



Abbildung 10: Referenz-Teig vor dem Backen (seitliche Ansicht)



Abbildung 11: Referenz-Teig nach dem Backen (seitliche Ansicht)

Die gebackenen Cracker unterscheiden sich von dem ungebackenen Teig vor allem durch eine mittige Wölbung der Cracker nach oben, die besonders in Abbildung 11 gut zu erkennen ist. Darüber hinaus sind keine starken Veränderungen der Form erkennbar.

Laminierter Teig:

Nachfolgend ist der laminierte Teig in Abbildung 13 und 14 vor dem Backen und in Abbildung 12 und 15 nach dem Backen dargestellt.



Abbildung 13: Laminierter Teig vor dem Backen (Draufsicht)



Abbildung 12: Laminierter Teig nach dem Backen (Draufsicht)



Abbildung 14: Laminierter Teig vor dem Backen (seitliche Ansicht)



Abbildung 15: Laminierter Teig nach dem Backen (seitliche Ansicht)

Bei den Crackern, deren Teig laminiert wurde (vgl. Abbildung 15), tritt wie bei den Crackern, die konventionell hergestellt wurden, eine leichte mittige Wölbung nach oben auf (vgl. Abbildung 11).

Es war ebenso geplant, das Klebergerüst durch Überkneten des Teiges zu schwächen. Hierzu wurde der Teig in den Thermomix gegeben und die Funktion „Teig kneten“ für 15 min eingestellt. Nach unbestimmter Zeit war der Teig jedoch an den Rand geschleudert worden und klebte dort fest. Vermutlich wurde eine zu geringe Teigmenge für den Behälter des Thermomixes verwendet. Der Teig wurde anschließend für ca. 10 min händisch weitergeknetet. Da nicht absehbar war, wie lange der Teig hätte weitergeknetet werden müssen bis sich eine Veränderung der Struktur einstellt und das händische Kneten auf Dauer zu anstrengend wurde, wurde der Versuch abgebrochen. Aufgrund fehlender zeitlicher Ressourcen wurde keine größere Teigmenge im Thermomix angesetzt.

4.3 Versuchsreihe 3: Färbung des Teiges

V 3.1

Da die zunächst mit 5,77 % Spirulina-Anteil gefärbten Cracker eine sehr dunkle Färbung sowie einen stärkeren Eigengeschmack der Alge aufwiesen, wurde sich für die zweite Charge für eine geringere Farbstoff-Konzentration entschieden und der Gehalt an Spirulina um 20 % auf 4,67 % reduziert. In Tabelle 21 ist die angewandte Rezeptur aufgeführt.

Tabelle 21: Rezeptur der Cracker mit einem Anteil von 4,67 % Spirulina (V 3.1)

[%]	[g]	Zutaten
29,18	100	Dinkelvollkornmehl
7,29	25	Linsenmehl
7,29	25	Ackerbohnenmehl
8,75	30	Erbsenproteinisolat
1,46	5	Leinsamen
5,40	18,5	Rapsöl
33,55	115	Wasser
1,31	4,5	Meersalz
0,29	1	Paprikapulver
0,34	1,15	Tomatenpulver
0,23	0,8	italienische Kräutermischung
0,23	0,8	Zwiebelpulver
4,67 (16 g)	16	färbende Zutat
Spirulina		Verwendete färbende Zutat

Ursprünglich war geplant, bei diesem Versuch beim Ausrollen des Teiges verschiedene Varianten anzuwenden, um Mehltreue auf den farbigen Crackern zu vermeiden. Dies war jedoch nicht notwendig, da das Ausrollen ohne Hinzugeben von Mehl auf die Backmatte bzw. das Nudelholz funktionierte, sodass sich der Teig leicht lösen ließ.

Die Produkte wurden sensorisch durch die Verfasserin der Arbeit betrachtet. Geschmacklich unterscheiden sich die jeweils mit der gleichen färbenden Zutat hergestellten Cracker nicht stark. Die Variante mit der höheren Konzentration an Rote Bete bzw. Spirulina schmeckt jeweils mehr nach der entsprechenden färbenden Komponente. Allgemein ist festzustellen, dass die Pflanzen-Pulver den Geruch und Geschmack der eingesetzten Gewürze überdecken. Die Gewürze wie beispielsweise die Kräuter werden im Vergleich zur Ausgangsrezeptur weniger intensiv wahrgenommen.

Die mit Spirulina-Pulver gefärbten Produkte erscheinen grünlich und die mit Rote Bete-Pulver versetzten Proben weisen eine rötliche Färbung auf. Die Cracker, die jeweils mit einer höheren Konzentration der färbenden Zutat produziert wurden, weisen eine dunklere Färbung auf. Einige

Stellen der Cracker erscheinen leicht bräunlich, vermutlich aufgrund einer ungleichmäßigen Teigdicke, sodass dünnere Abschnitte eine bräunlichere Färbung aufweisen. Zusätzlich ist die Rückseite jeweils bräunlicher, was vermutlich auf den durchgehenden Kontakt mit dem heißen Backblech zurückzuführen ist. Aufgrund der unterschiedlichen optischen Erscheinung werden die Farbwerte jeweils für Vorder- und Rückseite der Cracker bestimmt.

In Tabelle 22 sind die L^{*}-, a^{*}- und b^{*}- Werte der gefärbten Cracker für Versuch 3.1 dargestellt.

Tabelle 22: L^{*}-, a^{*}-, b^{*}-Werte der gefärbten Cracker (n= 3) (V 3.1)

	Vorderseite			Rückseite			
	L	a	b	L	a	b	
Rote Bete 7,1 %	\bar{x}	22,05	14,29	7,33	21,13	13,04	7,22
	σ	0,49	0,62	0,34	0,62	0,81	0,44
Rote Bete 5,77 %	\bar{x}	21,07	13,15	6,48	21,49	12,61	7,55
	σ	0,87	0,8	0,25	0,39	0,56	0,18
Spirulina 5,77 %	\bar{x}	17,01	-1,65	2,05	19,06	-0,78	3,44
	σ	0,8	0,31	0,24	0,47	0,41	0,26
Spirulina 4,67 %	\bar{x}	19,1	-1,93	3,33	19,41	-0,6	3,65
	σ	0,52	0,68	0,09	0,66	0,59	0,4

Die mit Spirulina gefärbten Produkte weisen durch den negativen a^{*}-Wert auf eine grünliche Färbung hin, was mit der optischen Wahrnehmung übereinstimmt. Die mit Rote Bete-Pulver produzierten Cracker besitzen einen positiven a^{*}-Wert, wodurch eine rötliche Färbung gekennzeichnet wird.

Werden die mit Spirulina-Pulver gefärbten Cracker betrachtet, ist festzustellen, dass die L^{*}-, a^{*}- und b^{*}- Werte der Produkte mit der höheren Konzentration jeweils leicht geringer sind. Dies deutet beim L^{*}-Wert auf eine dunklere, beim a^{*}-Wert auf eine grünlichere und beim b^{*}-Wert auf eine geringere gelbliche optische Wahrnehmung hin. Beim Vergleich der Werte für Vorder- und Rückseite ist jeweils auffällig, dass die a^{*}-Werte der Rückseite leicht höher als die der Vorderseite sind. Die Rückseite der Cracker wird entsprechend weniger grünlich und mehr rötlich wahrgenommen. Dies passt mit der vorherigen Beobachtung zusammen, dass die Rückseite der Produkte bräunlicher erscheint.

Werden die mit Rote Bete-Pulver gefärbten Cracker betrachtet, ist festzustellen, dass die L^{*}-, a^{*}- und b^{*}- Werte der Produkte mit der höheren Konzentration jeweils leicht höher sind. Dies weist

beim L*-Wert auf eine hellere, beim a*-Wert auf eine rötlichere und beim b*-Wert auf eine gelblichere Wahrnehmung hin.

Aufgrund der gesammelten Erkenntnisse dieser Untersuchung wurde der Versuch V3.2 konzipiert.

V 3.2

Bei der individuellen sensorischen Betrachtung der Produkte konnten ähnliche Erkenntnisse wie beim Versuch 3.1 erzielt werden. So werden die Cracker mit der jeweils höheren Konzentration an färbender Zutat dunkler wahrgenommen, weisen eine höhere Intensität an rot bzw. grün auf und besitzen einen leicht stärkeren Geschmack nach Rote Bete bzw. Spirulina. Aufgrund der Erhöhung der Anteile der Gewürze sind diese bei den im Versuch 3.2 hergestellten Varianten besser wahrnehmbar als in Versuch 3.1.

In Tabelle 23 sind die L*-, a*- und b*- Werte der gefärbten Cracker für Versuch 3.2 aufgeführt.

Tabelle 23: L*-, a*-, b*-Werte der gefärbten Cracker (n= 3) (V 3.2)

	Vorderseite			Rückseite			
	L	a	b	L	a	b	
Rote Bete 6,48 %	\bar{x}	21,01	12,93	7,71	21,77	13,48	8,27
	σ	0,83	0,97	0,78	0,71	1,04	0,33
Rote Bete 5,25 %	\bar{x}	25,86	16,31	11,16	25,37	16,07	11,07
	σ	0,9	0,91	0,62	0,19	0,23	0,25
Spirulina 3,99 %	\bar{x}	20,58	-0,51	4,59	20,77	0,15	4,99
	σ	0,52	0,44	0,19	0,43	0,34	0,27
Spirulina 2,70 %	\bar{x}	21,72	0,08	6,01	21,8	0,57	6,29
	σ	0,91	0,27	0,46	0,72	0,3	0,31

Die Werte von Vorder- und Rückseite der Produkte unterschieden sich im Vergleich jeweils kaum. Die Cracker mit der jeweils höheren Konzentration an färbender Zutat weisen allgemein niedrigere L*-, a*- und b*- Werte auf. Sowohl bei den Rote Bete-Pulver als auch bei den Spirulina-Pulver beinhaltenden Produkten deutet der niedrigere L*-Wert auf eine dunklere, der niedrigere a*-Wert auf eine geringere rötliche und der niedrigere b*-Wert auf eine geringere gelbliche Wahrnehmung hin. Die a*- und b*-Werte der Cracker, die mit Rote Bete gefärbt wurden, sind höher als jene der Produkte, die Spirulina enthalten. Dies zeigt, dass sie rötlicher und gelblicher wahrgenommen werden.

4.4 Versuchsreihe 4: Anpassung der Rezeptur und des Temperaturprogrammes

V 4.1

Bei diesem Versuch sollte der Protein- und Wassergehalt der Rezeptur sowie der endgültige Feuchtegehalt der Cracker reduziert werden.

Da der Teig während des Knetens zu trocken erschien, wurde die ursprünglich vorgesehene Wassermenge von 65 ml auf 85 ml erhöht. Damit besaß der Teig einen Wassergehalt von mind. 30,17 %. Der Proteingehalt bezogen auf die Gesamtenergiemenge betrug nun 20,91 % (vgl. Tabelle 28 (Abschnitt 4.6)).

In Tabelle 24 sind die angewandten Temperaturprogramme sowie die dazugehörigen Feuchtegehalte der Cracker aufgeführt.

Tabelle 24: Feuchtegehalte der mit unterschiedlichen Temperaturprogrammen gebackenen Cracker (n= 3) (V 4.1)

Variante	Temperaturprogramm	Feuchtegehalt \bar{x} [%]	Standardabweichung σ
1	Umluft, 240 °C für 3 min, danach 120 °C für 17 min	6,80	0,21
2	Umluft, 240 °C für 3 min, danach 120 °C für 29 min	4,95	0,28
3	Umluft, 200 °C für 3 min, danach 120 °C für 34 min	5,72	0,19
4	Umluft, 200 °C für 3 min, danach 120 °C für 48 min	4,51	0,33
5	Umluft, 120 °C für 50 min	3,95	0,15
6	Umluft, 130 °C für 30 min	4,39	0,24

Bei keinem der angewandten Temperaturprogramme konnte eine maximale Endfeuchte der Cracker von 3 % erzielt werden. Der geringste Feuchtegehalt lag bei 3,95 % bei Variante 5. Der Feuchtegehalt ist bei gleichen Temperaturprogrammen und jeweils längeren Backzeiten gesunken (Bsp. Vergleich Variante 2 mit Variante 1).

V 4.2

In V 4.2 wurden die gleiche Herstellungsweise und Rezeptur wie bei V 4.1 verwendet und lediglich andere Temperaturprogramme angewandt. In Tabelle 25 sind die durchgeführten Temperaturprogramme sowie zugehörigen Feuchtegehalte der in V 4.2 gebackenen Cracker aufgeführt.

Tabelle 25: Feuchtegehalte der mit unterschiedlichen Temperaturprogrammen gebackenen Cracker (n= 3) (V 4.2)

Variante	Temperaturprogramm	Feuchtegehalt \bar{x} [%]	Standardabweichung σ
7	Umluft, 240 °C für 3 min, danach 120 °C für 50 min	2,59 %	0,16
8	Umluft, 120 °C für 70 min	2,86 %	0,23
9	Umluft, 120 °C für 80 min	2,59 %	0,14

Bei allen umgesetzten Varianten konnte ein Feuchtegehalt, der unter 3 % liegt, erzielt werden. Bei einer individuellen sensorischen Betrachtung der Proben wurde festgestellt, dass die Cracker von Variante 8 und 9 deutlich dunkler als jene von Variante 7 erscheinen. Ebenso ist ein bittererer Geschmack bei diesen Produkten zu verzeichnen. Deshalb wird für weitere Versuche Variante 7 als Backprogramm verwendet.

V 4.3

Tabelle 26: Werte der Texturanalyse für mit Backpulver hergestellte Cracker (n= 5) (V 4.3)

		Steigung [N/s]	Maximalkraft [N]	Fläche [N*s]
Umluft, 240 °C für 3 min,	\bar{x}	33,57	19,89	6,45
danach 120 °C für 50 min	σ	5,89	2,64	1,75

In Tabelle 26 sind die Werte der Texturanalyse der Cracker, die mit Backpulver hergestellt wurden, aufgeführt. Die Cracker weisen eine hohe Steigung auf, was auf eine hohe Knusprigkeit hinweist. Außerdem deuten die hohen Werte der Maximalkraft und Fläche auf eine hohe Festigkeit der Proben hin. Verglichen mit Crackern, die kein Backpulver beinhalten und mit dem gleichen Temperaturprogramm hergestellt wurden, können ähnlich hohe Werte der Maximalkraft und Festigkeit erzielt werden (vgl. Abschnitt 4.1, Versuch 1.2.2, Tabelle 16). Dieser Zusammenhang konnte ebenfalls bei einem individuellen sensorischen Vergleich festgestellt werden.

4.5 Versuch 5: Sensorische Untersuchung

V 5

Tabelle 27: Attribute der einfach beschreibenden Prüfung für verschiedene Cracker-Varianten (n= 9)

	Ungefärbte Cracker (Tab. 6)	Variante Rote Bete (6,48 %)	Variante Spirulina (3,99 %)
Aussehen Farbe	gelblich; bräunlich; hellbraun; orange; matt; dunkle/ dunkelbraune, rötliche, grünliche Partikel; einzelne Samen	(kräftiges) rot; leicht bräunlich; matt; dunkle Partikel; einzelne Samen	(kräftiges) dunkelgrün; leicht bräunlich; matt hellgrüne, dunklere Partikel; einzelne Samen
Aussehen Form	flach; rechteckig; länglich; leicht gewölbt; gleichmäßig verteilte größere Löcher auf der Oberseite; unregelmäßige Oberfläche; wellig	flach; rechteckig; länglich; leicht gewölbt; gleichmäßig verteilte größere Löcher auf der Oberseite; unregelmäßige Oberfläche; wellig	flach; rechteckig; länglich; leicht gewölbt; gleichmäßig verteilte größere Löcher auf der Oberseite; unregelmäßige Oberfläche; wellig
Geruch	getreideartig; herzhaft; nach Paprika, Tomate, Kräutern; würzig; käsig; aromatisch leicht süßlich; strohig; teigig; geröstet; leicht salzig	getreideartig; herzhaft; nach Paprika, Tomate, Kräutern; würzig; leicht süßlich; geröstet; leicht erdig	getreideartig; herzhaft; nach Paprika, nach Kräutern; leicht würzig, eher neutral; süßlich; geröstet strohig; pflanzlich; Alge leicht salzig; fruchtig
Ge- schmack	getreideartig; würzig; herzhaft; Paprika; Tomate; leicht bitter; Italienische Kräuter; leicht salzig + süßlich; teigig; pappig; Weizen; strohig	getreideartig; würzig; herzhaft; herb; Paprika; Tomate; leicht bitter; Rosmarin, Kräuter; leicht salzig; süßlich; teigig	getreideartig; würzig; herzhaft; herb; Paprika; Tomate; leicht bitter; Kräuter; Pfeffer; salzig; süßlich; Spirulina; Alge; strohig
Textur/ Konsistenz	knusprig; trocken; pappig; knackig; hart; mürbe, bröselig; sehr bissfest	knusprig, trocken; pappig; knackig; teilweise hart; mürbe; etwas zäh; fest	(leicht) knusprig; trocken; pappig; knackig; hart; bröselig; zäh; fest

An der sensorischen Untersuchung konnten nicht wie geplant zwölf, sondern nur neun Personen teilnehmen. Die Raumtemperatur betrug 20,3 °C und die relative Luftfeuchtigkeit 57 %. In Abbildung 16 im Anhang ist der verwendete Prüfbogen aufgeführt. In Tabelle 27 sind die bei der einfach beschreibenden Prüfung durch die Teilnehmenden generierten Attribute und Beschreibungen zusammengefasst.

Die ungefärbte Cracker-Variante stellt die Variante 7 bei V 4.2 dar. Somit wurde die in Tabelle 6 aufgeführte Rezeptur verwendet und die Produkte zunächst für 3 min bei 240 °C und anschließend für 50 min bei 120 °C gebacken. Die Rezepturen der gefärbten Cracker sind in Tabelle 4 abgebildet und bei V 3.2 hergestellt worden. Sie wurden für 13 min bei 160 °C gebacken.

In der Form wurden alle drei untersuchten Produktvarianten als flach, rechteckig, länglich, leicht gewölbt, mit gleichmäßig verteilten Löchern und einer unregelmäßigen Oberfläche beschrieben. Dies ist auf die gleiche Herstellungsweise der Produkte zurückzuführen. Die naturbelassene Variante wird in der Farbe gelblich/ bräunlich mit dunkleren Partikeln wahrgenommen. Die Rote Bete enthaltenen Cracker werden mit einer rötlichen und die Spirulina beinhaltenden Produkte mit einer dunkelgrünen Farbe assoziiert. Im Geruch werden alle Varianten als getreideartig, (leicht) süßlich, geröstet und nach Paprika und Kräutern riechend charakterisiert. Die naturbelassenen Cracker werden außerdem im Geruch als käsig, teigig und strohig wahrgenommen. Die Produkte mit Rote Bete besitzen zudem einen leicht erdigen Geruch und die mit Spirulina hergestellten Cracker weisen einen strohigen, pflanzlichen und algigen Geruch auf. Im Geschmack wurden ähnliche Attribute verwendet. Alle Produkte werden als getreideartig, leicht bitter, (leicht) salzig und (leicht) süßlich sowie nach Paprika, Tomate und Kräutern schmeckend beschrieben. Bei den naturbelassenen Crackern wird zusätzlich ein teigiger, strohiger und weizenartiger Geschmack wahrgenommen. Die Produkte mit Spirulina werden außerdem mit einem strohigen und algigen Geschmack charakterisiert. In der Textur werden alle Produkte als knusprig, trocken, pappig, knackig, hart und fest beschrieben, wobei die naturbelassene Variante als sehr bissfest gekennzeichnet wird.

4.6 Nährwertkalkulation

In Tabelle 28 ist die Nährwertkalkulation der in Versuch 4.1 angepassten und in Tabelle 6 abgebildeten Cracker-Rezeptur aufgeführt. Die Nährwertkalkulation der Ausgangsrezeptur (Tabelle 5) befindet sich im Anhang in Tabelle 32.

Tabelle 28: Nährwertkalkulation der angepassten Cracker-Rezeptur

[%]	[g]	Zutat	P [%]	BS [%]	Fett [%]	davon ges. FS [%]	KH [%]	davon Zucker [%]	Salz [%]	Energie [kcal] pro 100 g
35,49	100	Dinkelvollkornmehl	12,7	8,3	3,6	0,5	63,7	0,4	0	357
8,87	25	Linsenmehl	24	10	1,7	0	67	0	0,02	400
8,87	25	Ackerbohnenmehl	29	6,4	2,1	0,5	49	2	0,03	341
5,32	15	Erbsenproteinisolat	82	0	0	0	0	0	0	336,2
1,77	5	Leinsamen	21	29	40	4,4	0,9	0,8	0,04	506
6,57	18,5	Rapsöl	0	8	92	6	0	0	0	824
30,17	85	Wasser	0	0	0	0	0	0	0	0
1,60	4,5	Meersalz	0	0	0	0	0	0	100	0
0,35	1	Paprikapulver	-	-	-	-	-	-	-	-
0,41	1,15	Tomatenpulver	-	-	-	-	-	-	-	-
0,28	0,8	italienische Kräutermischung	-	-	-	-	-	-	-	-
0,28	0,8	Zwiebelpulver	-	-	-	-	-	-	-	-
100,00	281,75		14	5,4	8,4	0,7	32,9	0,3	1,6	273,4

Für die mit „-“ gekennzeichneten Felder konnten keine Angaben ausfindig gemacht werden. In der untersten Zeile der Tabelle sind die Angaben der Nährstoffe pro 100 g der Cracker bzw. in % abgebildet. Demzufolge besitzen die Cracker einen Energiegehalt von 273,4 kcal pro 100 g.

$$\text{Proteingehalt bezogen auf den Energiegehalt} = \frac{\text{Proteingehalt pro 100 g} * 4,1 \text{ kcal/g}}{\text{Gesamtenergiegehalt [kcal] pro 100 g}} * 100$$

$$\text{Proteingehalt bezogen auf den Energiegehalt} = \frac{14 \text{ g} * 4,1 \text{ kcal/g}}{273,4 \text{ kcal}} * 100 = 20,9 \%$$

Der Proteingehalt bezogen auf den Gesamtenergiegehalt beträgt 20,9 %.

5 Diskussion und Schlussfolgerung

Das Ziel dieser Bachelorarbeit war es, einen herzhaften Cracker auf Hülsenfruchtbasis als proteinreiches Snackprodukt für Kinder zu entwickeln bzw. dieses Erzeugnis anhand verschiedener Parameter zu untersuchen.

Es wurde sich mit der Ausgestaltung des Temperaturprogrammes zur Erreichung der gewünschten Knusprigkeit der Cracker befasst. Hierbei konnte ein Temperaturprogramm ermittelt werden, welches nach individueller sensorischer Betrachtung ein zufriedenstellendes Ergebnis bezüglich der Knusprigkeit hervorbrachte. Dies stellt die Umluft-Einstellung bei 160 ° C für 13 min dar und wurde für die weiteren Versuche V 1.2.1, V 1.3, V 2, V 3.1 und V 3.2 verwendet. In den Ergebnissen der Untersuchung (V 1.1) konnte zudem herausgestellt werden, dass bei gleicher Temperatur mit längerer Backzeit jeweils geringere Feuchtegehalte und eine höhere Knusprigkeit bzw. Festigkeit der Proben zu verzeichnen ist. Millar et al. (2017) konnten in ihrer Untersuchung ebenfalls geringere Feuchtegehalte und eine höhere Festigkeit bei längeren Backzeiten der mit Hülsenfruchtmehlen hergestellten Cracker verzeichnen.

Bei der Untersuchung der Farbwerte der unterschiedlich lang gebackenen Cracker bestehen minimale Tendenzen, dass bei gleicher Temperatur mit längerer Backzeit die L*-Werte abnehmen und die a*- und b*-Werte zunehmen. Leiva-Valenzuela et al. (2018) konnten bei ihrer Untersuchung ebenfalls einen geringeren L*-Wert mit längerer Backzeit der Kekse identifizieren und assoziieren es mit stärker ablaufenden nicht enzymatischen Bräunungsreaktionen. Eine Karamellisierung ist bei der hier vorliegenden Untersuchung auszuschließen, da kaum Zucker in den hergestellten Crackern enthalten ist (vgl. Tabelle 28). Die dunklere, rötlichere und gelblichere Wahrnehmung der Produkte ist vermutlich auf stärkere Maillard-Reaktionen zurückzuführen, die bei einer längeren Backzeit verstärkt ablaufen und zu einer dunkleren bzw. bräunlicheren Farbe der Cracker führen können. Ebenso könnte die Farbveränderung auf die Dextrinierung der Stärke zurückzuführen sein (Davidson, 2016).

Sowohl bei den Crackern, die mit der mit feinen Nadeln präparierten Gerätschaft perforiert wurden als auch bei den mit einer Gabel eingedrückten Produkten sind teilweise Produkte vorhanden, die Luftblasen aufweisen. Eventuell wurde der Teig hierbei nicht ausreichend tief perforiert. Bei nachfolgenden Versuchen wurde auf eine ausreichend tiefe Perforation geachtet, sodass kaum Hohlräume innerhalb der Cracker entstanden sind. Es ist nicht ersichtlich, ob mit einer bestimmten Variante eine bessere Vermeidung der Luftblasenbildung durchgeführt werden kann. Schlussfolgernd hängt die Wahl der angewandten Methode von dem präferierten visuellen Ergebnis der Docking-Löcher ab.

Des Weiteren wurde der Einfluss verschiedener Lager- bzw. Verpackungsbedingungen untersucht. Bei V 1.2.1 ist der Wassergehalt von allen untersuchten Proben zum ersten Messzeitpunkt nach dem Backen (Tag 3) im Vergleich zu den frisch gebackenen Crackern (ursprünglich 10,37 %) gesunken. Die Produkte haben Feuchtigkeit an ihre Umgebung abgegeben. Die Feuchtegehalte der Cracker mit den gleichen Lagerbedingungen weisen zu den drei Messzeitpunkten an Tag 3, 6 und 15 jeweils einen ähnlich hohen Wert auf. Diese Einstellung des gleichen Feuchtegehaltes eines Lebensmittels bei konstanter Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit wird ebenso durch Manley (2011) beschrieben.

Bei V 1.2.2 besaßen die Cracker aufgrund eines anderen Temperaturprogrammes eine geringere Ausgangsfeuchte (2,93 %), die über die Zeit angestiegen ist. Dies schließt darauf, dass die Produkte Feuchtigkeit aus der Luft aufgenommen haben. Die Wassermoleküle diffundieren aufgrund von Konzentrationsgradienten aus der umgebenden Atmosphäre in das Lebensmittel (Hao et al., 2016). Wenn über einen längeren Zeitraum gemessen worden wäre, hätten sich vermutlich ebenso ab einem bestimmten Zeitpunkt konstante Feuchtegehalte der sich in den beiden Räumen mit unterschiedlicher Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit befindenden Cracker eingestellt. Bei einer Untersuchung von Lekjing und Venkatachalam (2019) ist der Feuchtegehalt der aus Weizenmehl hergestellten Cracker über die Lagerzeit ebenfalls angestiegen. Dabei sind über die Zeit jedoch Schwankungen des Wassergehaltes zu verzeichnen. Anzumerken ist, dass hier ein deutlich längerer Zeitraum von 180 Tagen betrachtet und in Intervallen von 20 Tagen gemessen wurde. Demzufolge müsste der Versuch dieser Bachelorarbeit für einen besseren Vergleich der Ergebnisse ebenfalls über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden.

Sowohl bei V 1.2.1 als auch bei V 1.2.2 ist festzustellen, dass der Feuchtegehalt der Proben, die in der Wärmekammer (T: 29,17 °C; ϕ : 25,2 %) gelagert wurden, niedriger ist als jener der Cracker, die im EW-Labor (T: 18,86 °C; ϕ : 34,15%) verweilten. Dies ist auf die unterschiedlichen Temperaturen und relativen Luftfeuchten der beiden Räumlichkeiten zurückzuführen, wodurch sich unterschiedliche Feuchtegehalte der gelagerten Produkte einstellen.

Sowohl bei V 1.2.1 als auch bei V 1.2.2 unterscheiden sich die Feuchtegehalte der Cracker, die mit Vakuum verpackt wurden, kaum von den Werten der Proben, die ohne Vakuum in einem Folienbeutel verschweißt wurden. Zudem änderten sich die Wassergehalte der verpackten Produkte leicht im Vergleich zum ursprünglichen Feuchtegehalt der frisch hergestellten Cracker. Dies weist darauf hin, dass das verwendete Verpackungsmaterial (PA/ PE) eine bestimmte Permeabilität für Luftfeuchtigkeit besitzt.

Die Texturanalyse bei V 1.2.2 zeigt, dass sich die Textur der untersuchten Cracker über den betrachteten Zeitraum nicht stark ändert. Lediglich die unverpackten Cracker verlieren leicht an ihrer Knusprigkeit. Robertson (2012) stellt fest, dass Cracker an Knusprigkeit verlieren, wenn sie Feuchtigkeit aufnehmen. Dieser Zusammenhang wird von den Ergebnissen dieser wissenschaftlichen Arbeit untermauert. Die in der Wärmekammer gelagerten Cracker, die insgesamt weniger Feuchtigkeit aufnahmen, verloren etwas weniger an ihrer Knusprigkeit (höhere Werte der Steigung) als die im EW-Labor verweilenden Produkte. Bei Lekjing und Venkatachalam (2019) wurde die Härte/ Festigkeit mithilfe sensorischer Untersuchungen analysiert und herausgestellt, dass die Festigkeit der untersuchten Cracker über die Zeit gesunken ist. Der Versuch V 1.2.2 müsste ebenfalls über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden, um Veränderungen in der Textur besser darstellen zu können.

Hough et al. (2001) geben an, dass nicht nur der Feuchtegehalt, sondern auch der aW-Wert der Produkte einen Einfluss auf die Textur besitzt. In zukünftigen Studien könnte dieser Zusammenhang untersucht werden.

Im Allgemeinen lässt der Versuch V 1.2.2 schlussfolgern, dass eine Verpackung, die vor Feuchtigkeit schützt, wichtig ist. Unverpackte Cracker nehmen Feuchtigkeit aus der Luft auf und verlieren (leicht) an ihrer Knusprigkeit (Robertson, 2012).

Der Versuch V 1.3 zeigt, dass bei gleichem angewandten Temperaturprogramm die Teigdicke der Cracker einen Einfluss auf dessen Textur besitzt. Ein Cracker mit einer höheren Teigdicke (5 mm) ist als eher weich und weniger knusprig zu charakterisieren im Gegensatz zu den untersuchten Produkten mit den geringeren Teigdicken (2,7 mm und 1,2 mm).

Ein Laminieren des Teiges brachte im Vergleich zum Teig, der nicht laminiert wurde, keinen merklichen Unterschied bezüglich der Verformungsvermeidung. Bei beiden Varianten trat eine leichte mittige Wölbung der Cracker nach oben auf. Eventuell müsste der Teig öfter laminiert werden, um zu einem besseren Ergebnis zu gelangen. Außerdem könnte der Versuch, bei dem der Teig überknetet werden sollte, wiederholt werden und dieses Mal beispielsweise eine größere Teigmenge in der Küchenmaschine (Thermomix) angesetzt werden. Ebenso wäre es in zukünftigen Forschungsarbeiten interessant, weitere Methoden zum Schwächen des Proteingerüsts des Teiges und somit zur eventuellen Verformungsvermeidung durchzuführen (vgl. Abschnitt 2.4.5). Hierbei wäre der Einsatz von Cystein, Natriumdisulfit oder proteolytischen Enzymen oder die Verwendung eines Mehles mit geringerem Proteinanteil möglich (Schünemann et al., 2016; Manley, 2011). Es wäre auch denkbar, dass die Wölbung der Cracker andere Ursachen besitzt und nicht durch die Schwächung des Glutennetzwerkes behoben werden kann.

In den Versuchen 3.1 und 3.2 konnten rötliche mit Rote Bete gefärbte Cracker und grünliche mit Spirulina versetzte Produkte mit unterschiedlichen Konzentrationen der färbenden Zutaten hergestellt werden. Hierbei stimmte die visuelle Wahrnehmung bei der sensorischen Betrachtung nicht vollständig mit den Implikationen der gemessenen Farbwerte überein. Beispielsweise wurden die Cracker mit einer höheren Rote Bete-Konzentration bei V 3.1 dunkler wahrgenommen, aber der L*-Wert war höher, was auf eine hellere Wahrnehmung hindeutet. Hierbei ist anzumerken, dass die sensorische Untersuchung nur von der Verfasserin der Arbeit durchgeführt wurde und demnach mit einem Panel für aussagekräftigere Ergebnisse wiederholt werden müsste.

Bei Betrachtung aller Spirulina enthaltenden Varianten (V 3.1 und V 3.2) ist mit einer höheren Algen-Konzentration ein geringerer L*- und b*- Wert zu verzeichnen. Diese dunklere und geringere gelbliche Wahrnehmung stimmt ebenso mit der individuellen sensorischen Begutachtung überein. Es ist kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Konzentration des Spirulina-Pulvers und dem a*-Wert, der eine rötliche bzw. grünliche Farbwahrnehmung signalisiert, ersichtlich. Werden alle mit Rote Bete gefärbten Cracker von V 3.1 und V 3.2 betrachtet, ist kein Zusammenhang zwischen der Konzentration der färbenden Zutat und der Höhe der L*-, a*- und b*- Werte erkennbar. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Rezeptur bei den Produkten von V 3.2 leicht angepasst wurde (Verringerung Erbsenproteinisolat und Wassergehalt, Erhöhung Gewürzanteile). Die Zusammensetzung eines Produktes, u. a. der Wassergehalt, besitzt einen Einfluss auf den Ablauf von nicht-enzymatischen Reaktionen (Sharma; Gujral, 2013). Beispielsweise kann eine hohe Proteinkonzentration in Keksen nicht-enzymatische Reaktionen fördern, die zu einer Verringerung der Helligkeitswerte führen kann (Jan et al., 2016).

In weiteren Forschungsarbeiten wäre es sinnvoll, die gefärbten Cracker mit dem bei V 4.2 ermitteltem angepassten Temperaturprogramm zu backen, um dessen Einfluss auf die Farbgebung/Farbstabilität zu untersuchen.

Bei einem innerhalb des IPS-Moduls durchgeführten Verbrauchertest in einer Kindertagesstätte konnten mit Rote Bete gefärbte Cracker bei den Kindern eine große Beliebtheit verzeichnen. Ebenfalls wurden Cracker, die Spinatpulver für eine grünliche Färbung beinhalteten, verkostet, die weniger gut ankamen (Becker et al., 2024). In Zukunft sollte ebenfalls ein Verbrauchertest mit Crackern der bei V 3.2 verwendeten Rezepturen (6,48 % Rote Bete und 3,99 % Spirulina) durchgeführt werden, um dessen Beliebtheit zu ermitteln. Es wäre insbesondere interessant herauszufinden, ob der bei den grünen Crackern identifizierte Geruch und Geschmack der Alge (vgl. Tabelle 27) einen positiven Anklang bei den Kindern findet.

Allgemein ist bei der Herstellung der Cracker auf eine gleichmäßige Teigdicke zu achten. So waren die Analyseergebnisse bzw. Cracker bei den ersten Versuchen weniger gut vergleichbar, z. B. bei der Untersuchung der Farbwerte (V 3.1) oder der Durchführung des Lagertests (V 1.2.1). Der Einsatz einer Nudelmaschine hat sich hierbei als geeignetes Werkzeug bewährt.

Es konnten Cracker hergestellt werden, die einen Proteinanteil bezogen auf den Gesamtenergiegehalt von 20,9 % besitzen (vgl. Abschnitt 4.6) und somit gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1924/2006 als „proteinreich“ deklariert werden dürfen.

Der Feuchtegehalt des Teiges konnte in den Versuchen von zunächst ca. 35 % (vgl. Tabelle 32) auf 30,17 % (vgl. Tabelle 28) reduziert werden, was über den Werten in der einschlägigen Literatur (15- 25 %) liegt (Davidson, 2016).

Die in den ersten Versuchen der Arbeit hergestellten Cracker besaßen einen Feuchtegehalt (mind. 6 %), der oberhalb der in der einschlägigen Literatur angegebenen Werte (1,5- 3 %) lag (vgl. Versuch V 1.1; Manley, 2011). Ein geringer Feuchtegehalt ist u. a. für eine entsprechende Haltbarkeit der Produkte relevant (Manley, 2011). In weiteren Versuchen (V 4.1; V 4.2) konnte dieser durch ein angepasstes Temperaturprogramm auf 2,59 % reduziert werden. Ein Backprogramm bei zunächst höherer Temperatur für kurze Zeit (Umluft, 240 °C für 3 min) und anschließend niedriger Temperatur für längere Zeit (120 °C für 50 min) lieferte ein sensorisch ansprechenderes Ergebnis als bei einem Produkt, welches für längere Zeit einer niedrigen Temperatur (Umluft, 120 °C für 80 min) ausgesetzt war. Vermutlich wurden bei Letzterem stärkere Maillard-Reaktionen hervorgerufen, die zu einem bitteren Geschmack der Cracker führten (Manley, 2011).

Die Cracker mit einem niedrigen Feuchtegehalt (2,59 %) wurden bei V 5 („Ungefärbte Cracker“) von einem Panel verkostet und in der Textur u. a. als sehr bissfest, trocken und hart charakterisiert. Im Verbrauchertest des IPS-Moduls wurde ebenfalls eine naturbelassene Variante (Temperaturprogramm: Umluft, 150 °C für 12 min) verkostet, die vermutlich einen Feuchtegehalt von ca. 13 % aufweist (vgl. V 1.1; Tabelle 9). Hier wurde von den Erzieherinnen und Erziehern der Kindertagesstätte angemerkt, dass die Cracker vor allem für jüngere Kinder zu fest/ knusprig sein könnten (Becker et al., 2024).

Als Möglichkeit, um eine lockere, weniger feste Struktur des Produktes zu erzeugen, wurde in V 4.3 Backpulver in der Rezeptur eingesetzt. Die Werte der Texturanalyse zeigten gleich hohe Werte wie bei Crackern, die kein Backpulver enthielten, aber die gleiche Herstellungsweise besaßen (vgl. Abschnitt 4.4). Diese Werte deuten auf eine ähnlich hohe Knusprigkeit und Festigkeit der Produkte

hin. Eventuell könnte in zukünftigen Versuchen eine höhere Konzentration des Backpulvers eingesetzt werden. Des Weiteren wäre die Verwendung von anderen Backtriebmitteln wie Natrium- oder Ammoniumhydrogencarbonat zur Teiglockerung denkbar (Tiwari et al., 2023). Ebenso stellt eine Teigfermentation bei der Crackerherstellung mit *Saccharomyces cerevisiae* eine Möglichkeit dar (Ali et al., 2012), die in weiteren Forschungsarbeiten untersucht werden könnte.

Aufgrund von Kapazitätsengpässen konnten in dieser Arbeit keine praktischen Versuche zur Ausgestaltung eines Coatings durchgeführt werden, die Bestandteil von zukünftigen Forschungen sein könnten.

6 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Bachelorarbeit war es, einen herzhaften Cracker auf Hülsenfruchtbasis als proteinreiches Snackprodukt für Kinder zu entwickeln bzw. dieses Erzeugnis anhand verschiedener Parameter zu untersuchen. Dieses Ziel konnte erreicht werden. Bei der Untersuchung zur Ausgestaltung des Temperaturprogramms konnten bei gleicher Temperatur mit längerer Backzeit geringere Feuchtegehalte und eine höhere Knusprigkeit bzw. Festigkeit der Proben erzielt werden. Zudem wurden bei der Farbmessung geringere L^* -Werte und höhere a^* - und b^* -Werte verzeichnet, dessen dunklere, rötlichere und gelblichere Wahrnehmung vermutlich auf zunehmende Maillard-Reaktionen zurückzuführen ist. Zur Vermeidung einer Luftblasenbildung wurden beide in dieser Arbeit angewandten Perforationsmöglichkeiten als gleich gut geeignet bewertet. Die Wahl zwischen der Verwendung einer Gabel oder der mit feinen Nadeln präparierten Gerätschaft hängt vom präferierten visuellen Ergebnis der Docking-Löcher ab. Bei der Untersuchung der Lager- bzw. Verpackungsbedingungen stiegen die Feuchtegehalte der unverpackten Proben an, was darauf schließen lässt, dass die Cracker Feuchtigkeit aus der Umgebung aufnahmen. Dabei wurden bei den in unterschiedlichen Räumlichkeiten gelagerten Produkten verschieden hohe Feuchtegehalte ermittelt, die auf die unterschiedlichen Temperaturen und relativen Luftfeuchten zurückzuführen sind. Bei der Wahl der Produktverpackung ist es wichtig, feuchtigkeitsundurchlässige Materialien zu verwenden, da die Cracker sonst Feuchtigkeit aus der Umgebung aufnehmen und leicht an ihrer Knusprigkeit verlieren. Des Weiteren konnte herausgestellt werden, dass die Variation der Teigdicke einen Einfluss auf die Textur der Cracker besitzt. Die in dieser Arbeit angewandte Methode zur Verformungsvermeidung, das Laminieren, konnte keinen visuellen Unterschied zu einer Herstellungsweise ohne Laminieren liefern. Hierbei besteht mit der Anwendung weiterer Methoden zukünftiger Forschungsbedarf. Es konnten Cracker hergestellt werden, die einen Proteinanteil bezogen auf den Gesamtenergiegehalt von 20,91 % besitzen und gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1924/2006 als „proteinreich“ deklariert werden dürfen. Durch ein angepasstes Temperaturprogramm konnte ein für Cracker üblicher Feuchtegehalt von unter 3 % erzielt werden, der für die Haltbarkeit des Produktes relevant ist. Da die auftretende hohe Festigkeit der Cracker bei einem Snackprodukt für Kinder eventuell unpassend sein könnte, wurde zur Lockerung der Produktstruktur Backpulver eingesetzt, was zu keinen Veränderungen in der Textur führte. Es besteht weiterer Forschungsbedarf mit der Durchführung anderer Möglichkeiten zur Texturveränderung. Zur Erzeugung einer rötlichen Färbung der Cracker wurde erfolgreich Rote Bete-Pulver und zur Generierung einer grünlichen Erscheinung Spirulina-Pulver jeweils in verschiedenen Konzentrationen bzw. angepassten Rezepturen eingesetzt. Um die Beliebtheit der hergestellten Produktvarianten zu ermitteln, wäre es notwendig, zukünftig einen Verbrauchertest mit Kindern durchzuführen.

7 Literaturverzeichnis

Ali, A.; Shehzad, A.; Khan, M. R.; Shabbir, M. A.; Amjid, M. R.: Yeast, its types and role in fermentation during bread making process-A Review. *Pakistan Journal of Food Sciences* 22 (2012), Nr. 3, S. 171–179.

Alles, M. S.; Eussen, S. R.; Van Der Beek, E. M: Nutritional challenges and opportunities during the weaning period and in young childhood. *Annals of Nutrition and Metabolism* 64 (2014), S. 284–293.

Aviles-Gaxiola, S.; Chuck-Hernandez, C.; Serna-Saldívar, S. O.: Inactivation methods of trypsin inhibitor in legumes: A review. *Journal of Food Science* 83 (2018), Nr. 1, S. 17–29.

Becker, S.; Krieger, L.; Kröchert, C.; Kuchler, H.: Interdisziplinäres Forschungsprojekt (WiSe 2024/25) - Verbrauchertest in Kitas (PowerPoint-Präsentation). Hochschule Neubrandenburg, 2024.

Bhattacharya, S.: *Snack Foods, Processing and Technology*. London: Academic Press Elsevier, 2023.

Breul, D.: Cracker [online] [Zugriff am: 09.01.2025]. Verfügbar unter: <https://www.chefkoch.de/rezepte/4142641658937330/Cracker.html>

Campos-Vega, R.; Loarca-Pina, G.; Oomah, B. D.: Minor components of pulses and their potential impact on human health. *Food Research International* 43 (2010), S. 461–482.

Davidson, I.: *Buscuit Baking Technology, Processing and Engineering Manual*. 2. Aufl. London: Academic Press Elsevier, 2016.

Del Nobile, M. A.: Packaging design for potato chips. *Journal of Food Engineering* 47 (2001), Nr. 3, S. 211-215.

Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V. (Hrsg.): *DGE Position. Richtwerte für die Energiezufuhr aus Kohlenhydraten und Fett*, 2011.

DIN EN ISO/CIE 11664-4:2019; Farbmeterik - Teil 4: CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) 1976 L*a*b* Farbraum.

DIN EN ISO 8589 Oktober 2014. *Sensorische Analyse - Allgemeiner Leitfaden für die Gestaltung von Prüfräumen*.

Gelli, A.; Nguyen, P. H.; Santacroce, M.; Twalibu, A.; Margolies, A.; Katundu, M. A.: Community-based early childhood development center platform promoting diversified diets and food production increases the mean probability of adequacy of intake of preschoolers in Malawi: A cluster randomized trial. *Journal of Nutrition* 150 (2020), S. 350–355.

Gonçalves, L. S.; Salas-Mellado, M. M.: Evaluation of technology and sensory quality of cream cracker enriched with minced cobia (*Rachycentron canadum*). *International Food Research Journal* 25 (2018), Nr. 3, S. 1197–1203.

Green, L.: Knusprig-salzige Kräcker [online] 30.12.2016 [Zugriff am: 09.01.2025]. Verfügbar unter: <https://www.veggies.de/knusprig-salzige-club-cracker/>

Hall, R. H.: Applications of natural ingredients in savoury food products. In: Seal, R.; Baines, D. (Hrsg.): *Natural Food Additives, Ingredients and Flavourings*, S. 281–317. Oxford: Woodhead Publishing, 2012.

Hao, F.; Lu, L.; Wang, J.: Finite Element Simulation of Shelf Life Prediction of Moisture-Sensitive Crackers in Permeable Packaging under Different Storage Conditions. *Journal of Food Processing and Preservation* 40 (2016), Nr. 1, S. 37-47.

Heredia-Sandoval, N. G.; Valencia-Tapia, M. Y.; Calderón de la Barca, A. M.; Islas-Rubio, A. R.: Microbial proteases in baked goods: Modification of gluten and effects on immunogenicity and product quality. *Food* 5 (2016), Nr. 3, S. 59.

Hough, G.; Buera, M. D.; Chirife, J.; Moro, O.: Sensory texture of commercial biscuits as a function of water activity. *Journal of Texture Studies* 32 (2001), Nr. 1, S. 57-74.

Hui, Y. H.: *Handbook of Food Science, Technology, and Engineering*. Band 149. Boca Raton: CRC Press, 2006a.

Hui, Y. H.: *Bakery Products: Science and Technology*. Hoboken: Blackwell Publishing, 2006b.

Hussien, H.; El-Adly, N. A.; Shams, O. S.; Mohamed, E.: (2020). Production of high nutritional value gluten free crackers with sesame and turmeric powder. *Egyptian Journal of Food Science* 48 (2020), Nr. 2, S. 291–302.

Jan, R.; Saxena, D. C.; Singh, S.: Physico-chemical, textural, sensory and antioxidant characteristics of gluten-free cookies made from raw and germinated *Chenopodium* (*Chenopodium album*) flour. *LWT Food Science and Technology* 71 (2016), S. 281–287.

Kawai, K.; Hando, K.; Thuwapanichayanan, R.; Hagura, Y.: Effect of stepwise baking on the structure, browning, texture, and in vitro starch digestibility of cookie. *LWT Food Science and Technology* 66 (2016), S. 384–389.

Klingler, R. W.: *Grundlagen der Getreidetechnologie*. 2. Aufl. Hamburg: Behr's Verlag, 2010.

Krochta, J. M.: Proteins as raw materials for films and coatings: definitions, current status and opportunities. In: Gennadios, A. (Hrsg.): *Protein-based films and coatings*, S. 1-41. New York: CRC Press, 2002.

Labuza, T. P., Contreras-Medellin, R.: Prediction of moisture protection requirements for foods. *Cereal Foods World* 26 (1981), S. 335–343.

Lafarga, T.; Fernández-Sevilla, J. M.; González-López, C.; Acién-Fernández, F. G.: Spirulina for the food and functional food industries. *Food Research International* 137 (2020).

Lauro, G. J.; Francis, F. J.: *Natural Food Colorants: Science and Technology*. New York: Marcel Dekker Inc., 2000.

Leiva-Valenzuela, G. A.; Quilaqueo, M.; Lagos, D.; Estay, D.; Pedreschi, F.: Effect of formulation and baking conditions on the structure and development of non-enzymatic browning in biscuit models using images. *Association of Food Scientists & Technologists (India)* 55 (2018), Nr. 4, S. 1234–1243.

Lekjing, S.; Venkatachalam, K.: Influences of storage time and temperature on sensory and measured quality of green gram savory crackers. *LWT Food Science and Technology* 113 (2019).

Li, J.; Hou, G. G.; Chen, Z.; Gehring, K: Effects of endoxylanases, vital wheat gluten, and gum Arabic on the rheological properties, water mobility, and baking quality of whole- wheat saltine cracker dough. *Journal of Cereal Science* 58 (2013), Nr. 3, S. 437–445.

Lusas, E. W.; Rooney, L. W.: *Snack Foods Processing*. Boca Raton: CRC Press, 2001.

Manley, D.: *Manley's Technology of Biscuits, Crackers and Cookies*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Band 217. 4. Aufl. Sawston: Woodhead Publishing, 2011.

Meriles, S. P.; Penci, M. C.; Steffolani, M. E.; Ribotta, P. D.: Effect of heat-treated wheat germ on dough properties and crackers quality. *International Journal of Food Science & Technology* 56 (2021), Nr. 4, S. 1837–1843.

Millar, K.; Barry-Ryan, C.; Burke, R.; Hussey, K.; McCarthy, S.; Gallagher, E.: Effect of pulse flours on the physiochemical characteristics and sensory acceptance of baked crackers. *International Journal of Food Science and Technology* 52 (2017), S. 1155–1163.

Mondelez Deutschland Services GmbH & Co. KG: TUC Original [online] [Zugriff am: 09.01.2025]. Verfügbar unter: https://www.tuc.eu/produkte_de#tuc-prod-12

Normausschuß Lebensmittel und landwirtschaftliche Produkte (NAL) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Sensorische Prüfverfahren: Einfach beschreibende Prüfung (DIN 10964). Berlin: Beuth, 1996.

Nguyen, T. T.; Le, T. Q.; Songsermpong, S.; Le, T. T.; Truong, K. T. P.: Effects of baking powder concentrations on the texture and sensory evaluation of shrimp cassava cracker- contained oil puffed by microwave technique. In *The 16th food innovation Asia conference* (2014), S. 12–13.

Panghal, A.; Navnidhi, S.; Khatkar, B. S.: Effect of enzymes on cookies quality. *Annals of Agri-Bio Research* 16 (2011), Nr. 1, S. 75–78.

Pasias, I. N.; Asimakopoulos, A. G.; Thomaidis, N. S.: Food colours for bakery products, snack foods, dry soup mixes, and seasonings. In: Scotter, M. J. (Hrsg.): *Colour Additives for Foods and Beverages*, S. 211–226. Cambridge: Woodhead Publishing, 2015.

Reibner, A. M.; Struck, S.; Alba, K.; Proserpio, C.; Foschino, R.; Turner, C.: Cross-national differences in consumer responses to savoury crackers containing blackcurrant pomace. *International Journal of Food Science & Technology* 56 (2021), Nr. 10, S. 5007–5016.

Robertson, G. L.: *Food Packaging - Principles and Practice*. 3. Aufl. Boca Raton: CRC Press, 2012.

Romano, A.; Masi, P.; Bracciale, A.; Aiello, A.; Nicolai, M. A.; Ferranti, P.: Effect of added enzymes and quinoa flour on dough characteristics and sensory quality of a gluten-free bakery product. *European Food Research and Technology* 244 (2018), Nr. 9, S. 1595–1604.

Schünemann, C.; Treu, G.; Creutz, S.; Meißner, M.: *Technologie der Backwarenherstellung – Fachkundiges Lehrbuch für Bäcker und Bäckerinnen*. 11. Aufl. Alfeld/ Leine: Gildebuchverlag GmbH, 2016.

Serna-Saldivar, S. O.: *Snack Foods – Processing, Innovation and Nutritional Aspects*. Boca Raton: CRC Press, 2022.

Sharma, P.; Gujral, H. S.: Extrusion of hulled barley affecting β glucan and properties of extrudates. *Food Bioprocess Technology* 6 (2013), S. 1374–1389.

Smith, J. P.; Simpson, B. K.: Modified Atmosphere Packaging of Bakery and Pasta Products. In: Farber, J. M.; Dodds, K. L. (Hrsg.): *Principles of Modified Atmosphere and Sous Vide Product Packaging*, S. 207–242. New York: Routledge, 1995.

Skyes, G. B.; Davidson, I.: *Buskuit, Cookie and Cracker - Process and Recipes*. London: Academic Press Elsevier, 2020.

Tiwari, M.; Tiwari, A.; Kataria, A.; Chauhan, K.: Crackers. In: Shah, M. A.; Valiyapeediyekkal Sunooj, K.; Mir, S. A.: *Cereal-Based Food Products*, S. 147-167. Berlin: Springer, 2023.

Verordnung (EG) Nr. 1924/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Dezember 2006 über nährwert- und gesundheitsbezogene Angaben über Lebensmittel (Health Claims Verordnung).

Vidal-Valverde, C.; Frias, J.; Estrella, I.; Gorospe, M. J.; Ruiz, R.; Bacon, J.: Effect of Processing on some Antinutritional Factors of Lentils. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 42 (1994) Nr. 10, S. 2291-2295.

World Health Organization (WHO): *Prevention in Childhood and Youth of Adult Cardiovascular Diseases: Time for Action*. Technical Report Series 792. Geneva, 1990.

8 Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abbildung 1: Einteilung von Crackern (eigene Darstellung nach Manley, 2011).....	7
Abbildung 2: Herstellung der Cracker (eigene Darstellung)	26
Abbildung 3: Beispielhafte Kurvenabbildung des Texture Analyzers.....	33
Abbildung 4: Feuchtegehalte der unterschiedlich gelagerten Cracker zu verschiedenen Zeitpunkten (V 1.2.2).....	40
Abbildung 5: Kurvendiagramm zur Texturanalyse der 5 mm dicken Cracker (V 1.3)	43
Abbildung 6: Kurvendiagramm zur Texturanalyse der 2,7 mm dicken Cracker (V 1.3)	44
Abbildung 7: Kurvendiagramm zur Texturanalyse der 1,2 mm dicken Cracker (V 1.3)	44
Abbildung 8: Referenz-Teig vor dem Backen (Draufsicht).....	45
Abbildung 9: Referenz-Teig nach dem Backen (Draufsicht).....	45
Abbildung 10: Referenz-Teig vor dem Backen (seitliche Ansicht).....	45
Abbildung 11: Referenz-Teig nach dem Backen (seitliche Ansicht).....	46
Abbildung 12: Laminiertes Teig nach dem Backen (Draufsicht)	46
Abbildung 13: Laminiertes Teig vor dem Backen (Draufsicht).....	46
Abbildung 14: Laminiertes Teig vor dem Backen (seitliche Ansicht).....	47
Abbildung 15: Laminiertes Teig nach dem Backen (seitliche Ansicht).....	47
Abbildung 16: Prüfbogen der sensorischen Untersuchung	72
Tabelle 1: Versuchsübersicht	15
Tabelle 2: Prozessparameter der Versuche	16
Tabelle 3: Rezepturen der gefärbten Cracker (V 3.1)	21
Tabelle 4: Rezepturen der gefärbten Cracker (V 3.2)	22
Tabelle 5: Ausgangsrezeptur der Cracker	27
Tabelle 6: Angepasste Rezeptur der Cracker	28
Tabelle 7: Prüfeinstellungen des angewandten Texturanalyseprogrammes	32
Tabelle 8: Messwerte der beispielhaft gemessenen Cracker mit dem Texture Analyzer	33
Tabelle 9: Feuchtegehalte der mit unterschiedlichen Temperaturprogrammen gebackenen Cracker (n=3) (V 1.1)	34
Tabelle 10: Werte der Texturanalyse der mit unterschiedlichen Temperaturprogrammen gebackenen Cracker (n=5) (V 1.1).....	35
Tabelle 11: L*-, a*-, b*- Werte der mit unterschiedlichen Temperaturprogrammen gebackenen Cracker (n=3)	36

Tabelle 12: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit von Wärmekammer und EW-Labor (n=3)	37
Tabelle 13: Feuchtegehalte der unterschiedlich gelagerten Cracker zu verschiedenen Zeitpunkten (n= 3) (V 1.2.1)	38
Tabelle 14: Werte der Texturanalyse nach dem Backen/ an Tag 1 (n= 5) (V 1.2.1)	38
Tabelle 15: Werte der Texturanalyse der unterschiedlich gelagerten Cracker an Tag 3 (n= 5) (V 1.2.1).....	38
Tabelle 16: Werte der Texturanalyse nach dem Backen/ Tag 1 (n= 5) (V 1.2.2).....	40
Tabelle 17: Werte der Texturanalyse der unterschiedlich gelagerten Cracker an Tag 2 (n= 5) (V 1.2.2).....	41
Tabelle 18: Werte der Texturanalyse der unterschiedlich gelagerten Cracker an Tag 3 (n= 5) (V 1.2.2).....	41
Tabelle 19: Werte der Texturanalyse der unterschiedlich gelagerten Cracker an Tag 4 (n= 5) (V 1.2.2).....	41
Tabelle 20: Werte der Texturanalyse der Cracker mit unterschiedlichen Teigdicken (n= 5) (V 1.3)	42
Tabelle 21: Rezeptur der Cracker mit einem Anteil von 4,67 % Spirulina (V 3.1).....	48
Tabelle 22: L*-, a*-, b*-Werte der gefärbten Cracker (n= 3) (V 3.1)	49
Tabelle 23: L*-, a*-, b*-Werte der gefärbten Cracker (n= 3) (V 3.2)	50
Tabelle 24: Feuchtegehalte der mit unterschiedlichen Temperaturprogrammen gebackenen Cracker (n= 3) (V 4.1).....	51
Tabelle 25: Feuchtegehalte der mit unterschiedlichen Temperaturprogrammen gebackenen Cracker (n= 3) (V 4.2).....	52
Tabelle 26: Werte der Texturanalyse für mit Backpulver hergestellte Cracker (n= 5) (V 4.3)	52
Tabelle 27: Attribute der einfach beschreibenden Prüfung für verschiedene Cracker-Varianten (n= 9).....	53
Tabelle 28: Nährwertkalkulation der angepassten Cracker-Rezeptur.....	55
Tabelle 29: Werte der Texturanalyse der unterschiedlich gelagerten Cracker an Tag 6 (n= 5) (V 1.2.1).....	70
Tabelle 30: Werte der Texturanalyse der unterschiedlich gelagerten Cracker an Tag 15 (n= 5) (V 1.2.1).....	70
Tabelle 31: Feuchtegehalte der unterschiedlich gelagerten Cracker zu verschiedenen Zeitpunkten (n= 3) (V 1.2.2)	71
Tabelle 32: Nährwertkalkulation der Ausgangsrezeptur der Cracker (Bezug zu Tabelle 5)	71

9 Anhang

Auf den folgenden Seiten werden Tabellen und Abbildungen, die ebenfalls relevant für die Ergebnisse sind, dargestellt.

ANHANG I:

Messwerte

V 1.2.1

Tabelle 29: Werte der Texturanalyse der unterschiedlich gelagerten Cracker an Tag 6 (n= 5) (V 1.2.1)

		Steigung [N/s]	Maximalkraft [N]	Fläche [N*s]
Wärmekammer	\bar{x}	12,13	3,41	2,27
	σ	4,29	3,68	1,37
EW-Labor	\bar{x}	10,7	5,47	3,18
	σ	7,34	6,31	2,54
Verpackt ohne Vakuum (Lagerung im EW-Labor)	\bar{x}	12,99	7,12	5,03
	σ	4,08	3,95	4,10
Verpackt mit Vakuum (Lagerung im EW-Labor)	\bar{x}	15,42	12,04	7,06
	σ	7,96	9,42	5,62

Tabelle 30: Werte der Texturanalyse der unterschiedlich gelagerten Cracker an Tag 15 (n= 5) (V 1.2.1)

		Steigung [N/s]	Maximalkraft [N]	Fläche [N*s]
Wärmekammer	\bar{x}	15,23	8,89	3,56
	σ	10,45	7,73	3,19
EW-Labor	\bar{x}	8,92	2,61	1,06
	σ	3,36	2,74	1,16
Verpackt ohne Vakuum (Lagerung im EW-Labor)	\bar{x}	18,16	12,78	6,29
	σ	5,38	6,07	3,83
Verpackt mit Vakuum (Lagerung im EW-Labor)	\bar{x}	13,67	8,14	4,27
	σ	5,64	5,43	3,67

V 1.2.2

Tabelle 31: Feuchtegehalte der unterschiedlich gelagerten Cracker zu verschiedenen Zeitpunkten (n= 3) (V 1.2.2)

		Tag 1	Tag 2	Tag 3	Tag 4
Wärmekammer	\bar{x}	2,93 %	4,86 %	5,04 %	5,30 %
	σ	0,34	0,21	0,15	0,17
EW-Labor	\bar{x}		5,34 %	5,60 %	6,26 %
	σ		0,08	0,09	0,12
Verpackt ohne Vakuum (Lagerung im EW-Labor)	\bar{x}		3,13 %	3,40 %	3,47 %
	σ		0,12	0,02	0,14
Verpackt mit Vakuum (Lagerung im EW-Labor)	\bar{x}		3,10 %	3,42 %	3,38 %
	σ		0,11	0,02	0,04

ANHANG II:

Nährwertkalkulation

Tabelle 32: Nährwertkalkulation der Ausgangsrezeptur der Cracker (Bezug zu Tabelle 5)

[%]	[g]	Zutat	P [%]	BS [%]	Fett [%]	davon ges. FS [%]	KH [%]	davon Zucker [%]	Salz [%]	Energie [kcal] pro 100 g
30,60	100	Dinkelvollkornmehl	12,7	8,3	3,6	0,5	63,7	0,4	0	357
7,65	25	Linsenmehl	24	10	1,7	0	67	0	0,02	400
7,65	25	Ackerbohnenmehl	29	6,4	2,1	0,5	49	2	0,03	341
9,18	15	Erbsenproteinisolat	82	0	0	0	0	0	0	336,2
1,53	5	Leinsamen	21	29	40	4,4	0,9	0,8	0,04	506
5,66	18,5	Rapsöl	0	8	92	6	0	0	0	824
35,20	85	Wasser	0	0	0	0	0	0	0	0
1,38	4,5	Meersalz	0	0	0	0	0	0	100	0
0,31	1	Paprikapulver	-	-	-	-	-	-	-	-
0,35	1,15	Tomatenpulver	-	-	-	-	-	-	-	-
0,24	0,8	italienische Kräutermischung	-	-	-	-	-	-	-	-
0,24	0,8	Zwiebelpulver	-	-	-	-	-	-	-	-
100,00	326,75		15,8	4,7	7,2	0,6	28,4	0,3	1,4	251,2

ANHANG III:

Sensorische Untersuchung

Einfach beschreibende Prüfung nach DIN 10964

	613	984	357
Aussehen Farbe			
Aussehen Form			
Geruch			
Geschmack			
Textur/ Konsistenz			

Abbildung 16: Prüfbogen der sensorischen Untersuchung