



universität
wien

MASTERARBEIT

Titel der Masterarbeit

„Glutenfreies Brot mit und ohne Chia - Untersuchung
der sensorischen und rheologischen Eigenschaften
sowie Akzeptanz und Präferenz der Konsumenten“

verfasst von

Andrea Brunnmair, BSc

angestrebter akademischer Grad

Master of Science (MSc)

Wien, 2015

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 066 838

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Masterstudium Ernährungswissenschaften

Betreut von:

ao. Univ.-Prof. Dr. Dorota Majchrzak

Danksagung

Allererst möchte ich Frau Univ.-Prof. Dr. Dorota Majchrzak sehr herzlich danken, die mir mit der Betreuung dieser Arbeit die Umsetzung eines sehr umfassenden Themas ermöglicht und jederzeit ein offenes Ohr für meine Fragen hatte sowie mir mit ihrem fachlichen Rat immer zur Seite stand.

Bei Herrn Univ.-Prof. Dürrschmid und Herrn Univ.-Prof. Schleining sowie allen Studenten, die mir während meiner Analyse auf der Boku zur Hilfe standen, möchte ich mich auf diesem Wege für ihre Unterstützung bedanken.

Der Firma „Naturkost Übelhör GmbH & Co. KG“ möchte ich für das Rezept und das Produktsponsoring als auch Herrn Mag. Gunnar Glinitzer und seiner Firma „Gunniversum“ für die Beschaffung des Lecithins danken.

Mein Dank gilt auch der Arbeitsgemeinschaft Zöliakie, die mir die Kontaktaufnahme mit den Zöliakiebetroffenen ermöglicht hat. Auch der Selbsthilfegruppe für Nahrungsmittelallergien und –intoleranzen danke ich für die Unterstützung bei der Verkostung meiner Proben.

Meiner Familie, meinem Freund Clemens und seinen Eltern sowie meinen Freunden möchte ich für die moralische Unterstützung während meines Studiums und der Masterarbeit sehr herzlich danken. Ohne euch wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen!

Besonderen Dank gilt auch meinen Studienkollegen, die mich immer unterstützt und ermutigt haben und mir mit Rat und Tat zur Seite standen.

Nicht zuletzt gilt mein Dank dem sensorischen Panel, die sehr viel Zeit für die Schulung und die Analyse aufgewandt haben und auch allen Konsumenten, die an meiner Verkostung teilgenommen haben.

An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass in der vorliegenden Arbeit stets männliche Formulierungen verwendet werden.

Auf die gleichzeitige Schreibweise der weiblichen und männlichen Form wurde aus Gründen der besseren Lesbarkeit und Verständlichkeit bewusst verzichtet. Diese Schreibweise soll als geschlechtsunabhängige Formulierung interpretiert werden.

Inhaltsverzeichnis

I	Inhaltsverzeichnis	I
II	Abbildungsverzeichnis	V
III	Tabellenverzeichnis	VII
IV	Abkürzungsverzeichnis	VIII
1	Einleitung und Fragestellung	1
2	Literaturübersicht	3
2.1	Glutenbedingte Erkrankungen	3
2.1.1	Allgemeines zu Gluten	3
2.1.2	Verschiedene Krankheitsbilder	5
2.2	Backwaren	7
2.2.1	Allgemeines über Backwaren	7
2.2.2	Trends bei Backwaren	7
2.2.3	Glutenhaltige Backwaren	9
2.2.4	Glutenfreie Backwaren.....	9
2.2.4.1	Allgemeine Charakteristika	9
2.2.4.2	Inhaltsstoffe	11
2.2.4.3	Haltbarkeit und Lagerung	13
2.2.4.4	Bedeutung von Zusatzstoffen	15
2.3	Chia (<i>Salvia hispanica</i> L.)	17
2.3.1	Rechtliche Regelung und Sicherheitsbeurteilung.....	18
2.3.2	Beschreibung der Chiafrüchte	20
2.3.2.1	Inhaltsstoffe	20
2.3.2.2	Sensorische Eigenschaften	23
2.4	Textur	26
2.4.1	Bedeutung der Textur	26

2.4.2	Klassifizierung von Texturattributen	27
3	Material und Methoden	28
3.1	Material.....	28
3.1.1	Entwicklung der Rezeptur	28
3.1.2	Zutaten und Rezepte der analysierten Brote.....	30
3.1.3	Brotzubereitung und Backprozess	32
3.2	Methoden	33
3.2.1	Definitionen wichtiger Fachbegriffe	33
3.2.2	Fragebogen	35
3.2.3	Sensorische Methoden	37
3.2.3.1	QDA	37
3.2.3.1.1	Prinzip einer QDA	37
3.2.3.1.2	Vorbereitung	38
3.2.3.1.3	Durchführung	50
3.2.3.2	Akzeptanz- und Präferenzprüfung	51
3.2.3.2.1	Prinzip der hedonischen Prüfungen	51
3.2.3.2.2	Durchführung	52
3.2.3.3	Ort der Prüfungen.....	52
3.2.4	Instrumentelle Methoden.....	53
3.2.4.1	Prinzip der rheologischen Messung	53
3.2.4.2	Vorbereitung	53
3.2.4.3	Durchführung.....	54
3.2.5	Statistische Auswertung.....	56
4	Ergebnisse und Diskussion	57
4.1	Berechnung der Backverluste.....	57
4.2	Fragebogen.....	59
4.2.1	Charakteristika der Konsumenten	59
4.2.2	Konsum von Brot und Chia	61

4.3	Sensorische Analyse	63
4.3.1	Ergebnisse der QDA.....	63
4.3.1.1	Aussehen	63
4.3.1.2	Geruch.....	65
4.3.1.3	Geschmack und Nachgeschmack	66
4.3.1.4	Flavour	68
4.3.1.5	Textur	71
4.3.2	Korrelationen zwischen den sensorischen Attributen.....	76
4.3.2.1	Kontrollbrot	77
4.3.2.2	Chiabrot.....	77
4.3.3	Ergebnisse der hedonischen Prüfungen	80
4.3.3.1	Akzeptanzprüfung.....	80
4.3.3.2	Kaufbereitschaft	84
4.3.3.3	Präferenzprüfung.....	86
4.4	Instrumentelle Analyse	87
4.4.1	Rheologische Eigenschaften der Proben	87
4.4.1.1	Härte	87
4.4.1.2	Elastizität	88
4.4.1.3	Adhäsivität.....	89
4.4.1.4	Kohäsivität.....	90
4.4.1.5	Kaubarkeit	91
4.4.2	Einflüsse einer viertägigen Lagerdauer auf weitere Texturattribute.....	92
4.5	Korrelationen zwischen den sensorisch und instrumentell gemessenen Texturattributen	93
5	Schlussbetrachtung	94
6	Zusammenfassung	98
7	Summary	100
8	Literaturverzeichnis	102

9	Anhänge	120
9.1	Fragebogen.....	120
9.2	Rohdaten der QDA	123
9.3	Rohdaten der instrumentellen Messung	125
9.4	Lebenslauf	126

II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung mithilfe mikrobieller Transglutaminasen Getränke zu „entgiften“, die teil-hydrolysiertes Gluten enthalten [Koehler et al., 2014].	4
Abbildung 2: Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen einer Chiafrucht. (a) Longitudinale Darstellung der internen Strukturen sowie (b) transversale Darstellung des Pericarps [Capitani et al., 2013].	18
Abbildung 3: Weiße und schwarze Chiafrüchte [Muñoz et al. (2013)].	23
Abbildung 4: Einzelne hydrierte Chiafrucht, die von einer sichtbaren Schleimkapsel umgeben wird [Muñoz et al., 2012].	24
Abbildung 5: Chiafrucht nach dem Platzen der äußeren Zellwand der Epidermiszellen, wobei Schleimstoffe rundherum abgegeben und diese davon umgeben wird [Muñoz et al., 2012].	25
Abbildung 6: Kraft-Zeit-Diagramm mit 2 Zyklen, woraus die Parameter der Textur-Profil-Analyse berechnet werden [Caine et al., 2003].	55
Abbildung 7: Vergleich der beiden analysierten Proben. Links das Brot ohne bzw. rechts das Brot mit Chia.	63
Abbildung 8: Vergleich des Aussehens der beiden untersuchten Brote (QDA).	64
Abbildung 9: Vergleich der Geruchsattribute der beiden untersuchten Brote (QDA).	66
Abbildung 10: Vergleich der Geschmacks- und Nachgeschmacksattribute der beiden untersuchten Brote (QDA).	68
Abbildung 11: Vergleich der Flavourattribute der beiden untersuchten Brote (QDA).	70
Abbildung 12: Vergleich der Texturattribute der beiden untersuchten Brote (QDA).	75
Abbildung 13: Vergleich aller sensorischen Attribute der beiden untersuchten Brote (QDA).	76
Abbildung 14: Anteil (in %) der Konsumenten, die die Akzeptanz der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia im Bereich 1 bis 4,9 bzw. 5 bis 9 bewerteten.	81
Abbildung 15: Anteil (in %) der Konsumenten, die die Akzeptanz der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia im Bereich 1 bis 4,9 bzw. 5 bis 9 bewerteten (Zöliakieprobanden vs. Kontrollgruppe).	82
Abbildung 16: Anteil (in %) der Konsumenten, die die Kaufbereitschaft der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia im Bereich 1 bis 4,9 bzw. 5 bis 9 bewerteten.	84

Abbildung 17: Anteil (in %) der Konsumenten, die die Kaufbereitschaft der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia im Bereich 1 bis 4,9 bzw. 5 bis 9 bewerteten (Zöliakieprobanden vs. Kontrollgruppe).	85
Abbildung 18: Instrumentell gemessene Härte (MW in Newton) der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia im Verlauf einer viertägigen Lagerdauer.	87
Abbildung 19: Instrumentell gemessene Elastizität (MW; dimensionslos) der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia im Verlauf einer viertägigen Lagerdauer. ..	88
Abbildung 20: Instrumentell gemessenen Adhäsivität (MW in Newton * sec) der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia im Verlauf einer viertägigen Lagerdauer.	89
Abbildung 21: Instrumentell gemessene Kohäsivität (MW; dimensionslos) der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia im Verlauf einer viertägigen Lagerdauer. ..	90
Abbildung 22: Instrumentell gemessene Kaubarkeit (MW in Newton) der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia im Verlauf einer viertägigen Lagerdauer. ..	91

III Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich häufiger Nährstoffmängel bei Zöliakiepatienten bei Diagnose und nach Einhaltung einer glutenfreien Diät (GFD) [Saturni et al., 2010].	12
Tabelle 2: Zusammensetzung von Chiafrüchten [EU, 2013].	19
Tabelle 3: Verwendungsbedingungen von Chiafrüchten (<i>Salvia hispanica</i> L.) inkl. Angabe der derzeit zulässigen Höchstmengen [EU, 2013].	19
Tabelle 4: Verwendete Zutatenmengen der beiden untersuchten Brote für zwei unterschiedliche Rezeptgrößen („kleines“ und „großes“ Rezept).	31
Tabelle 5: Liste der zu beurteilenden Attribute inkl. deren Definitionen.	40
Tabelle 6: Liste der Referenzlebensmittel für die produktspezifische Schulung.	44
Tabelle 7: Tabelle, in die die Panellisten bei jedem Attribut für die Intensität einen Wert von 0 bis 10 eintragen sollten [adaptiert an ASTM (1992)].	49
Tabelle 8: Signifikanzstufen [Zöfel (2003)].	56
Tabelle 9: Einstufung des Korrelationskoeffizienten [Zöfel (2003)].	56
Tabelle 10: Gewicht (MW $\pm$ SD) der beiden untersuchten Brote vor und nach dem Backen inkl. des Gewichtsverlusts (in %, MW $\pm$ SD).	57
Tabelle 11: Vergleich der Charakteristika der Konsumenten (Zöliakieprobanden vs. Kontrollgruppe).	60
Tabelle 12: Vergleich der Angaben zum Konsum von Brot und Chia (Zöliakieprobanden vs. Kontrollgruppe).	62
Tabelle 13: Ausgewählte Korrelationen zwischen sensorischen Attributen beim Kontrollbrot.	77
Tabelle 14: Ausgewählte Korrelationen zwischen sensorischen Attributen beim Chiabrot.	79
Tabelle 15: Akzeptanz sowie Kaufbereitschaft (MW $\pm$ SD) der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia (Zöliakieprobanden vs. Kontrollgruppe).	80
Tabelle 16: Präferenz der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia (Zöliakieprobanden vs. Kontrollgruppe).	86
Tabelle 17: Daten der sensorischen Analyse (QDA) der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia.	123
Tabelle 18: Daten der instrumentellen Analyse (Textur-Profil-Analyse) der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia sowie Veränderungen während einer viertägigen Lagerdauer.	125

IV Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
°C	Grad Celsius
µm	Mikrometer
BMI	Body Mass Index
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka
d.h.	das heißt
et al.	und andere
HLA-DQ	humanes Leukozytenantigen-System (HLA) mit dem Genort „HLA-DQ“
IgA	Immunglobulin A
IgE	Immunglobulin E
inkl.	inklusive
MW	Mittelwert
N	Newton
n	Stichprobengröße
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
QDA	Quantitative deskriptive Analyse
r	Korrelationskoeffizient
S.	Seite
SD	Standardabweichung
u.a.	unter anderem
v.a.	vor allem
vs.	versus
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung und Fragestellung

Im Jahr 2013 erzielte der globale Absatzmarkt für glutenfreie Lebensmittel und Getränke ein Wachstum von 19%. Dies geht mit der steigenden Nachfrage derselben Produktgruppe einher [Matos und Rosell, 2015; Dr. Schär, 2014].

Die Entwicklung von glutenfreiem Brot mit akzeptabler sensorischer und technologischer Qualität gilt als besondere Herausforderung. Dessen Herstellung basiert v.a. auf der Verwendung von Stärke diverser botanischer Quellen, bspw. Mais-, Reis-, Buchweizen- und Sojamehl [Nunes et al., 2009; Gallagher et al., 2004; Korus et al., 2011; Lazaridou et al., 2007].

Diese Art von Backwaren weist jedoch einen signifikant geringeren Nährwert auf als herkömmliches, weizenhaltiges Brot. Zukünftig soll der Fokus in Richtung schmackhafter glutenfreier Brote mit gleichzeitig hoher Nährstoffqualität gelegt werden [Gallagher et al., 2004; Korus et al., 2011; Lazaridou et al., 2007; Thompson, 2000].

Chia wird in der Literatur als Rohstoff aus einer pflanzlichen Quelle beschrieben, der für den Zusatz in Backwaren gut geeignet ist. Ein Grund hierfür könnte bspw. sein, dass der Zusatz dieser Früchte von den Konsumenten durch deren mildes, sehr leicht nussiges Flavour meist unbemerkt bleibt, gleichzeitig aber eine hochwertige Zutat darstellt. Letzteres kann mit deren hohem Gehalt an Ballaststoffen, Antioxidantien, mehrfach ungesättigten Fettsäuren, Mineralstoffen, Vitaminen und Hydrokolloiden begründet werden [Iglesias-Puig und Haros, 2013; Collier et al., 2014].

Ihre Zugabe bewirkt auch die Optimierung der Akzeptanz, der Textur und des spezifischen Volumens als auch die Veränderung der Krumenfarbe [Steffolani et al., 2015; Costantini et al., 2014].

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war, den Effekt von Chia in einem glutenfreien Brot zu untersuchen. Die Hypothesen sind, dass diese Früchte einen Einfluss auf einzelne sensorische und rheologische Eigenschaften ausüben und durch deren Zusatz die Akzeptanz, Präferenz und Kaufbereitschaft gesteigert wird.

Analysiert wurden zwei Brote, wobei eine optimierte Probe mit 10% Chiamehl mit einem Kontrollbrot ohne diesen Rohstoff verglichen werden sollte. Letzteres wies mit Ausnahme der Mehle, Wasser und Öl dieselben Mengen aller Zutaten auf.

Mithilfe einer deskriptiven sensorischen Prüfung (QDA) wurden die Merkmalseigenschaften der Proben inkl. dessen Intensitäten evaluiert. Die hedonischen Tests mit den Konsumenten rundeten das Wissen über die beiden analysierten Brote ab und dadurch konnten die Akzeptanz und Präferenz zwischen einer Ziel- (Zöliakieprobanden) und einer Kontrollgruppe (keine glutenfreie Diät) verglichen werden. Ausgewählte rheologische Eigenschaften wurden auch mit einem „Texture Analyser“ gemessen, um anschließend Korrelationen zwischen den sensorischen und instrumentellen Daten zu berechnen [DIN 5492, 2008; Busch-Stockfisch, 2002; Steffolani et al., 2014].

2 Literaturübersicht

2.1 Glutenbedingte Erkrankungen

2.1.1 Allgemeines zu Gluten

Gluten, auch als Kleberprotein bezeichnet, wurde erstmals von Beccari im Jahr 1728 aus Mehl isoliert [Rossipal und Palm, 1971]. Dabei handelt es sich um Reserveproteine bspw. von Weizen, bestehend aus der Prolamin- und der Glutelin-Fraktion [Saturni et al., 2010; Koehler et al., 2014].

Prolamine werden beim Weizen als Gliadine bezeichnet und sind in 70% Ethanol löslich. Die weiteren Unterklassen des Gliadins sind: α/β -, γ - und ω -Gliadin. Gluteline, beim Weizen als Glutenine benannt, zählen zur in Alkohol unlöslichen Fraktion der Kleberproteine. Sie werden dabei weiter in höher und niedriger molekulare Verbindungen unterteilt [Schofield, 1994; Tatham und Shewry, 2008].

Bei Glutenunverträglichkeit sollte aber nicht nur das Gliadin des Weizens gemieden werden. Auch Secalin (des Roggens) oder Hordein (der Gerste) wirken sich negativ auf die Gesundheit der Betroffenen aus. Nach wie vor umstritten ist das Avidin des Hafers [Murray, 1999; Saturni et al., 2010].

Bei diesen genannten Verbindungen handelt es sich um komplexe Reserveproteine. Allen gemeinsam sind repetitive Sequenzen, von denen man vermutet, dass sie reich an den Aminosäuren Glutamin und Prolin sind. Aufgrund des hohen Gehalts Letzterer, ist das Gluten sehr resistent gegenüber dem proteolytischen Abbau im Gastrointestinaltrakt. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Enzyme des Magens und der Bauchspeicheldrüse in der Sequenz nach einem Prolin-Rest keine Spaltung des Substrats vornehmen können. Glutamin hingegen stellt für das Enzym Gewebs-Transglutaminase (tTG) eine gute Ausgangsverbindung und damit einen Schlüsselfaktor dar. Denn dieses Enzym bildet mit Gliadin einen Komplex, wodurch die Immunantwort ausgelöst wird [Tathan et al., 1990; Murray, 1999; Catassi und Fasano, 2008; Sollid et al., 1997].

Die für Zöliakiepatienten schädlichen Getreidesorten zählen zur botanischen Pflanzenfamilie der Süßgräser (Poaceae). Diese unterteilt man in 13 Unterfamilien, wobei das Brotgetreide wie z.B. Weizen, Roggen, Triticale, Gerste oder Hafer zu den Pooideae zählt. Daraus ergibt sich, dass Zöliakiepatienten nur eine von mehreren

Unterfamilien der Poaceae meiden müssen. Hafer ist mit den anderen genannten Süßgräsern phylogenetisch nicht so nahe verwandt. Daher geht man davon aus, dass dieser in geringen Mengen für eine glutenfreie Diät geeignet ist. Diverse Studien belegen, dass Hafer in diese Ernährungsform gut integriert und als sicher bewertet werden kann [Murray, 1999; Till, 2011; Picarelli et al., 2001].

Der erforderliche Verzicht auf Gluten kann einen starken Einfluss auf das alltägliche Leben nehmen. Denn weltweit stellen für viele Menschen Brot, Pasta und Ähnliches Grundnahrungsmittel dar, welche diese Kleberproteine enthalten und daher bei Einhaltung einer strikten Diät vermieden werden müssen. Weizenproteine und/-stärke werden jedoch in einer Vielzahl an kommerziellen Lebensmittel wie Fertig-, Convenience- Produkten sowie einigen Medikamenten aus technologischen Gründen zugesetzt. Dabei erfüllen sie diverse Funktionen, bspw. als Stabilisatoren, Füll-, Verdickungs- oder Bindemittel [Catassi und Fasano, 2008; Alvarez-Jubete et al., 2010a].

Abbildung 1 zeigt eine Möglichkeit, den Glutengehalt in Getränken zu modifizieren. Der Einsatz des Enzyms Transglutaminase bewirkt Vernetzungen der Kleberproteine, wodurch deren Immunogenität herabgesetzt werden kann. Um den Hinweis „glutenfrei“ anführen zu können, stellt 20 mg pro kg Lebensmittel den maximal zulässigen Glutengehalt in einem Produkt dar [Koehler et al., 2014; Matos und Rosell, 2015; Renzetti et al., 2008; EU, 2014].

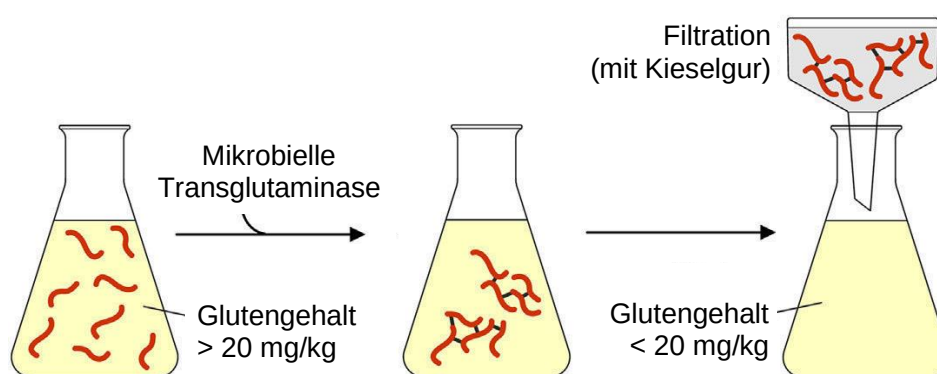


Abbildung 1: Schematische Darstellung mithilfe mikrobieller Transglutaminasen Getränke zu „entgiften“, die teil-hydrolysiertes Gluten enthalten [Koehler et al., 2014].

2.1.2 Verschiedene Krankheitsbilder

Zöliakie ist eine der häufigsten Lebensmittelintoleranzen mit genetischem Hintergrund. Rund 1% der westlichen Bevölkerung ist davon betroffen. Dabei handelt es sich um eine Autoimmunerkrankung, die bei einer bestimmten Bevölkerungsgruppe durch glutenhaltiges Getreide wie Weizen, Gerste, Roggen und möglicherweise Hafer hervorgerufen wird. Deren Verzehr verursacht entzündliche Prozesse und damit Schädigungen der absorptiven Fläche in der Mukosa des Dünndarms und dies führt wiederum zur Zottenatrophie. Es resultieren Nährstoff-Malabsorptionen, welche sich negativ auf alle Systeme des Körpers auswirken [Catassi und Fasano, 2008; Farrell et al., 2002; Feighery, 1999; Morais et al., 2014; Sabanis et al., 2009].

Das Zusammenwirken von genetischer Prädisposition (z.B. HLA-DQ2, -DQ8) und Triggern (z.B. Weizen, Roggen, Gerste) führen zur Entstehung dieser Erkrankung. Möglicherweise könnten dabei aber auch Umweltfaktoren wie Medikamente, intestinale Infektionen oder Säuglingsernährung eine Rolle spielen. Bei Letzterer ist der Zeitpunkt der Einführung von Gluten in der Kindheit entscheidend [Norris et al., 2005; Di Sabatino und Corazza, 2009]. *Norris et al. (2003, 2005)* ziehen aus zwei Studien den Schluss, dass der erste Kontakt mit Gluten in den ersten vier Lebensmonaten sowie erst ab dem siebten Lebensmonat oder später, das Risiko für die Entwicklung von Zöliakie erhöht. Dies verglichen sie jeweils mit der Einführung im Alter von vier bis sechs Monaten.

Die Vielzahl der unterschiedlichen, auftretenden Symptome ist dabei das größte Hindernis in Bezug auf dessen Diagnose. Diese sind meist nicht spezifisch und werden eher mit anderen Krankheiten in Verbindung gebracht. Häufig wird zuerst die Diagnose des Reizdarmsyndroms gestellt. Eine Studie konnte nachweisen, dass 46% der Zöliakiepatienten die Kriterien für dieses Syndrom aufweisen, wozu bspw. abdominelle Schmerzen und abnormale Darmtätigkeiten zählen [Murray et al., 2004; Drossman, 1999].

Bislang ist eine glutenfreie Diät die einzige Behandlung bei dieser Erkrankung. Dadurch kann die Regeneration des Dünndarms erreicht und somit die Risiken für bösartige Komplikationen reduziert werden [Seraphin und Mobarhan, 2002; Sabanis et al., 2009].

Für die Diagnose dieser Erkrankung werden bei den zu testenden Antikörpern zwischen zwei Typen unterschieden: Jene, die gegen das Gluten gebildet werden

(Antigliadin IgG und IgA) und andere, die im Zuge der Autoimmunreaktion gegen den Körper selbst gerichtet sind (Serum Anti-Gewebstransglutaminase und anti-endomysiale Antikörper, beide IgA) [Pietzak, 2014; Sapone et al., 2012; Reilly et al., 2011].

Davon abzugrenzen ist die Weizenallergie, bei der es sich um eine Form der Nahrungsmittelallergie handelt. Im Gegensatz zur Zöliakie, handelt es sich hier um eine IgE-vermittelte Reaktion auf Gliadine, v.a. auf das ω -5-Gliadin [Tatham und Shewry, 2008; Inomata, 2009; Pietzak, 2014].

In der Bevölkerung scheint diese Erkrankung wahrscheinlich weniger weit verbreitet zu sein. Man vermutet, dass rund 1% der Kinder betroffen ist. In Extremfällen kann diese Allergie zur Anaphylaxie bis hin zum Tod führen [Poole et al., 2006; Tatham und Shewry, 2008].

Eine neuere, mit Gluten assoziierte klinische Erkrankung wird als „nicht Zöliakie bedingte Glutensensitivität“ (NCGS) bezeichnet, die in der Literatur auch als Glutensensitivität oder Glutenintoleranz bezeichnet wird. Die Betroffenen berichten ähnlich wie bei Zöliakie von Symptomen wie abdominale Schmerzen oder Durchfall [Sapone et al., 2012; Tonutti und Bizzaro, 2014].

Die Diagnose kann nur durch Ausschlusskriterien getroffen werden. Einerseits sind weder Autoimmun-Mechanismen oder IgE-vermittelte Reaktionen nachweisbar, noch zeigen sich Veränderungen der Mucosa des Dünndarms. Demnach können die Erkrankungen Zöliakie und Weizenallergie ausgeschlossen werden. Eine Testung auf eine Immunreaktion mit Gluten (Antigliadin-Antikörper) verläuft jedoch positiv und es kann ein direkter Zusammenhang zwischen dem Verzehr von glutenhaltigen Speisen und den Symptomen hergestellt werden. Eine weitere Parallele zur Erkrankung Zöliakie ist die Verbesserung der Symptome bei Einhaltung einer glutenfreien Diät [Tonutti und Bizzaro, 2014].

2.2 Backwaren

2.2.1 Allgemeines über Backwaren

Brot ist eines der häufigsten konsumierten Lebensmittel und stellt für manche Menschen die Hauptnährstoffquelle dar [Collado-Fernández, 2003].

In Österreich wurden im Jahr 2009/10 durchschnittlich 95 g Brot und Gebäck pro Tag und Person (ohne Kleingebäck) verzehrt. Als preiswertes Lebensmittel stellt Brot gleichzeitig auch eine wichtige Quelle für Energie, Kohlenhydrate, Fette und Proteine dar und ist auch bedeutend aufgrund seines Gehalts an Vitaminen des B-Komplexes, Vitamin E, Mineralstoffen und Spurenelementen [Elmadfa et al., 2012; Collado-Fernández, 2003].

Der Anteil an raffiniertem Getreide in der menschlichen Ernährung wird auf ca. 95% geschätzt. Während des Mahlvorgangs werden Kleie und Keimling abgetrennt. Damit werden auch viele wertvolle biologisch aktive Nährstoffe und andere Bestandteile abgetrennt, wie z.B. Mineral-, Ballaststoffe, Antioxidantien und Phytoöstrogene [Pereira et al., 2002].

2.2.2 Trends bei Backwaren

Um den Verlust diverser Inhaltsstoffe auszugleichen, werden zunehmend optimierte Backwaren entwickelt, angereicht mit verschiedensten Rohstoffen wie z.B. mit Proteinen, Mineral- oder Ballaststoffen [Martinez-Navarrete et al., 2002; McKevith, 2005; Arshad et al., 2007; Singh und Mohamed, 2007].

Damit erhielt der Trend von Gesundheit und Wohlbefinden auch Einzug in den Brotsektor und schafft somit Innovationen. Es muss auf den verstärkten Wunsch der Konsumenten eingegangen werden, eine große Bandbreite an optimierten Backprodukten anzubieten. Neben der Zugabe von Präbiotika oder mit diversen Saaten bestreute Backwaren zeichnen sich diese auch durch einen hohen Gehalt an ω -3-Fettsäuren, Vollkorngetreide oder Ballaststoffen aus [Iglesias-Puig und Haros, 2013].

Untersucht wird z.B. der Zusatz von Ballaststoffen, welche Kohlenhydrat-Polymere aus pflanzlichen Quellen darstellen und u.a. zur Klasse der Oligo- und Polysacchariden zählen. Darunter fallen bspw. pflanzliche Gummis, Inulin, (Hemi-) Zellulose,

Pektine oder resistente Stärke. Aber auch Nicht-Kohlenhydrat-Komponenten kommen zum Einsatz in dieser Produktgruppe [Elleuch et al., 2011; Iglesias-Puig und Haros, 2013]. Studien untersuchten Anreicherung mit Ballaststoffen in Form der Zugabe von Kleie oder Mehlen von Buchweizen, Amarant, Roggen, Gerste und Sojabohnen [Penella et al., 2008; Sanz-Penella et al., 2012; Lin et al., 2009].

Auch Antioxidantien werden Backwaren gezielt zugesetzt. Bspw. Flavonoide sind natürliche phenolische Verbindungen mit diversen biologischen Wirkungen wie anti-allergen, -viral, -entzündlich, -mutagen und -kanzerogen [Yao et al., 2004; Iglesias-Puig und Haros, 2013].

Da Brot und getreidehaltige Produkte wesentlich zur täglichen Salzaufnahme der Konsumenten beitragen, ist dessen Reduktion ebenfalls zu einem wichtigen Ziel der Backbranche geworden [Bayer et al., 2012; Iglesias-Puig und Haros, 2013].

Mit einer empfohlenen Zufuhr von täglich weniger als 5 g sollte der Blutdruck gesenkt und damit das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen reduziert werden. In Österreich liegt die durchschnittliche Salzaufnahme bei den Männern mit ca. 8 g bzw. bei den Frauen mit ca. 7 g pro Tag deutlich darüber. Daher wurde hierzulande eine Initiative gestartet, bei der in Brot und ausgewählten Gebäckarten ca. 15% dieser Zutat eingespart und gleichzeitig negative Auswirkungen auf den Geschmack verhindert werden sollen [Elmadfa et al., 2012; WHO, 2015a].

Im Hinblick auf die Veränderung dieser Branche mit seinen Produkten, scheint Chia exzellent für den Zusatz in Backwaren geeignet zu sein. Dieser aus einer pflanzlichen Quelle stammende Rohstoff ist bezüglich seines Gehalts an Ballaststoffen, Antioxidantien, mehrfach ungesättigten Fettsäuren, Mineralstoffen, Vitaminen und Hydrokolloiden als wertvoll einzustufen [Iglesias-Puig und Haros, 2013].

Eine Studie aus dem Jahr 2014 beschreibt, dass Rezepturen von Backwaren auch dahingehend verändert werden, als dass sie deren Glutengehalt modifizieren [Rahaie et al., 2014; Brites et al., 2010]. Die folgenden Kapitel sollen verdeutlichen, dass Teige und Brote ohne Gluten veränderte Eigenschaften aufweisen und deshalb auch für die analysierten Brote die Rezeptur verändert werden musste.

2.2.3 Glutenhaltige Backwaren

Beim Zusatz von Wasser zu einem Weizenmehl bildet sich eine viskoelastische Matrix. Dieses Netzwerk wird aus Proteinen geformt und ist erwünscht, da dadurch der Teig jene Gase bindet, die während dem Fermentationsprozess gebildet werden. Und dies wiederum bewirkt eine mit Luft durchsetzte Struktur der Brotkrume. Teige mit guter Gasbindung erreichen zusätzlich auch ein ansprechendes Volumen und eine akzeptable Textur [Brites et al., 2010; Demirkesen et al., 2010].

Gujral und Rosell (2004) fanden heraus, dass die Prolamine des Glutens für die Viskosität und Dehnbarkeit des Teiges verantwortlich sind, die Glutelin-Fraktion dieser Kleberproteine wiederum für die Elastizität und Kohäsivität des Teiges.

2.2.4 Glutenfreie Backwaren

2.2.4.1 Allgemeine Charakteristika

Zöliakiepatienten meiden das für positive Teig- und Broteigenschaften verantwortliche Gluten, da sie bei dessen Verzehr Schädigungen des Darms erleiden würden. Bei der Entfernung der Kleberproteine müssen diese jedoch durch andere Zutaten ersetzt werden, die gleichzeitig einen positiven Einfluss auf die Struktur, das Volumen sowie die Elastizität des Brotes haben [Brites et al., 2010; Purhagen et al., 2012].

All die erwünschten glutenassoziierten Eigenschaften nachzuahmen ist aber sehr schwierig. Meist versucht man mittels einer Mischung aus Mehlen, Proteinen, Hydrokolloiden sowie mit der Anwendung spezieller Technologien die zahlreichen Funktionen des Glutens zu ersetzen [Arendt et al., 2008; Houben et al., 2012].

Für die Herstellung glutenfreier Produkte werden komplexe Rezepte für Brote auf Basis von verschiedenen Stärken und Getreidemehlen entwickelt. Bspw. Maisstärke, brauner Reis, Soja- und Buchweizenmehl oder eine Mischung aus Reismehl, Maniok- und Maisstärke wurden bereits untersucht. Damit können glutenfreie Brote mit einer akzeptablen Krumenstruktur, einem ansprechenden Flavour und Aussehen kreiert werden [Gallagher et al., 2004; Moore et al., 2006; Sanchez et al., 2002; López et al., 2004; Brites et al., 2010].

Alvarez-Jubete et al. (2010b) führen unter glutenfreien Zutaten z.B. Reismehl, Kartoffelstärke, Maismehl und -stärke sowie Pseudocerealien an. Unter Letzteren finden bspw. Amarant-, Quinoa- oder Buchweizenmehl die Anwendung in derartigen Produkten.

Viele am Markt erhältliche glutenfreie Brote weisen aber oft eine geringe technologische Qualität auf, charakterisiert durch geringes Volumen, blasse Farbe und krümelige Struktur. Auch der geringe Protein- und der hohe Fettgehalt sowie die mangelhafte Nährstoffzusammensetzung sind im Vergleich zu ihren weizenhaltigen Pendanten zu kritisieren [Gallagher et al., 2004; Matos und Rosell, 2012; Segura und Rosell, 2011; Mariotti et al., 2009; Matos und Rosell, 2015].

Das Hauptproblem glutenfreier Brote ist neben der schlechten, nicht akzeptablen Struktur das schnelle Altbackenwerden (siehe dazu Kapitel 2.2.4.3 ab S. 13) [Nunes et al., 2009]. *Houben et al. (2012)* beschreiben die Nachteile dieser Produkte auch mit einer geringen Haltbarkeit, dem Verspüren von Partikeln im Mund während des Kauens sowie einem trockenen Mundgefühl. Nicht zuletzt ist der Geschmack nicht zufriedenstellend.

Bei Betrachtung von glutenfreien Teigen zeigt sich, dass diese viel weniger kohäsiv und elastisch sind als ihre weizenhaltigen Pendanten. Diese sind schwieriger zu bearbeiten, da sie sehr weich und viel klebriger sind. Meist enthalten glutenfreie Teige mehr Wasser und weisen daher eine eher dünnflüssige Konsistenz auf. Daraus resultieren verkürzte Knet-, Gar- und Backzeiten als vergleichsweise bei weizenhaltigen Teigen.

Die daraus hergestellten Brote fallen optisch durch ihr geringeres Volumen auf und sind durch ihre härteren Krumen und weicheren Krusten charakterisiert [Houben et al., 2012].

In diversen Studien wurde bereits eine große Bandbreite an Hydrokolloiden und Pflanzengummis in glutenfreien Brotzubereitungen untersucht, um damit ein polymeres Netzwerk, welches ähnliche Funktionen wie die Glutenproteine erfüllen soll, aufzubauen. Auch die Zugabe von Oliven- und Sonnenblumenöl in den Teig verbessert die rheologischen Eigenschaften glutenfreier Teige und könnte auch zur Optimierung eingesetzt werden [Brites et al., 2010; Moreira et al., 2012].

Die Hinweise auf einen geringen Gehalt an löslichen und unlöslichen Ballaststoffen glutenfreier Backwaren in der Literatur machen weitere Untersuchungen zu deren Anreicherung erforderlich. Dies deckt sich mit der Erkenntnis aus einer Studie, dass die meisten Zöliakiepatienten aufgrund ihrer Ernährungsform nur geringe Mengen davon aufnehmen [Sabanis et al., 2009; Lohiniemi et al., 2000].

2.2.4.2 Inhaltsstoffe

Die Einhaltung einer streng glutenfreien Diät betrifft nicht nur Zöliakiepatienten, sondern es profitieren davon auch Betroffene einer Glutensensitivität [Biesiekierski et al., 2009; Hager et al., 2014].

Eine glutenfreie Diätform über einen längeren Zeitraum einzuhalten, erscheint aber bedenklich in Hinblick auf die Ernährungsgewohnheiten und die Lebensmittelauswahl. Denn einige Studien weisen darauf hin, dass diese mit einer unausgewogenen Aufnahme von Kohlenhydraten, Proteinen und Fetten einhergeht und dass Zöliakiepatienten zu geringe Mengen an essentiellen Nährstoffen aufnehmen als im Vergleich zu einer Kontrollgruppe [Alvarez-Jubete et al., 2010a].

Die Autoren *Bardella et al. (2000)* beschrieben die Nährstoffaufnahme erwachsener Zöliakiepatienten als unausgeglichen, obwohl sie die glutenfreie Diät streng einhalten und sich der Darm bereits regeneriert hat. Analysen zeigten, dass diese Ernährungsform charakterisiert ist durch einen höheren Fett- sowie einem geringeren Kohlenhydrat-Anteil (in Energieprozent), verglichen mit einer Kontrollgruppe. Auch Unterschiede in der Körperzusammensetzung sowie eine geringere tägliche Energieaufnahme wurden im Vergleich zwischen diesen beiden Gruppen beschrieben. Untersuchungen kommerziell erhältlicher glutenfreier Produkte zeigten auch nur geringere Mengen von Vitaminen des B-Komplexes, Eisen, Folat und Ballaststoffen als vergleichsweise ihre glutenhaltigen Pendanten [Thompson, 2000].

Darüber hinaus verzichtet eine zunehmend große Bevölkerungsgruppe auf glutenhaltige Produkte aufgrund eines Lifestyle-Wandels, ohne dass eine Erkrankung dies erforderlich macht. Diese erwartet schmackhafte glutenfreie Backwaren mit ansprechender Textur. Zusätzlich soll ein verstärkter Fokus auf die Optimierung glutenfreier Diäten auch in Hinblick auf die Nährstoffqualität gelegt werden. V.a. der Gehalt an

Eisen, Kalzium, Ballaststoffen und B-Vitaminen soll erhöht und das Problem des bereits erwähnten Ungleichgewichts an Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen wieder aufgegriffen werden [Hager et al., 2014; Alvarez-Jubete et al., 2010a].

Die Tabelle 1 verdeutlicht, dass bei der Diagnose von Zöliakie zahlreiche Nährstoffmängel bestehen. Dies betrifft im Wesentlichen die Versorgung mit Kalorien, Proteinen, Ballaststoffen und bestimmten Vitaminen. Bei langfristiger Einhaltung einer glutenfreien Diät werden aber immer noch zu geringe Mengen an Ballaststoffen, Folat, Niacin und Vitamin B₁₂ aufgenommen [Saturni et al., 2010].

Tabelle 1: Vergleich häufiger Nährstoffmängel bei Zöliakiepatienten bei Diagnose und nach Einhaltung einer glutenfreien Diät (GFD) [Saturni et al., 2010].

Bei Diagnose	Einhaltung einer GFD
Kalorien/ Protein	Ballaststoffe
Ballaststoffe	
Eisen	
Calcium	
Magnesium	
Vitamin D	
Zink	
Folat, Niacin, Vitamin B ₁₂ , Riboflavin	Folat, Niacin, Vitamin B ₁₂

2.2.4.3 Haltbarkeit und Lagerung

Diverse Studien belegen die schlechte Lagerfähigkeit und damit Haltbarkeit von glutenfreien Backwaren. Daraus resultiert, dass es davon keine frischen Produkte am Markt gibt. Stattdessen bietet man den Konsumenten Fertigmischungen zum Selbstbacken oder gefrorenes glutenfreies Brot an [Gallagher et al., 2003; Moore et al., 2004; Purhagen et al., 2012].

Während des Alterns von Brot tritt ein komplexes Phänomen ein, das als „Altbackenwerden“ bezeichnet wird und physikalische und chemische Veränderungen in der Kruste und der Krume bewirkt. Verkleisterte Stärke bildet sich bei Temperaturen von über 60°C, wobei diese von einem quasi kristallinen in einen amorphen Zustand übergeht und folglich große Mengen an Wasser aufnimmt. Dadurch fehlt teilweise Wasser für das Quellen der Proteine, was wiederum bei hohen Temperaturen in deren Denaturierung resultiert. Bei der Lagerung von gelierter Stärke beginnt dieser Prozess, ausgelöst durch die Rekristallisierung der Amylose- und Amylopektin-Polymerketten [Knightly, 1977; Purhagen et al., 2012; Huang et al., 2007; Ebermann und Elmadfa, 2008].

Diverse Parameter beeinflussen aber bereits während der Verarbeitung des Teiges bzw. Brotes das Ausmaß, indem die Festigkeit der Brotkrume zunimmt. Bspw. haben beim Backprozess die Erhitzungsrate und der Zeitpunkt bei Erreichung der maximalen Temperatur in der Brotkrume darauf einen wesentlichen Einfluss. Dies beeinflusst nämlich die interne Struktur der zellulären Matrix der Krume und damit auch ihre mechanischen Eigenschaften [Le-Bail et al., 2012; Patel et al., 2005; Bosmans et al., 2013a].

Hager et al. (2012) führten mit verschiedenen glutenfreien Brotzubereitungen Lagerungstests durch. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass ihre Haltbarkeit ca. zwei bis drei Tage beträgt. Bei fast allen Broten trat das Schimmelwachstum erstmals am vierten, beim Reisbrot allerdings schon am dritten Lagerungstag auf. Die mikrobielle Stabilität glutenfreier Brote ist stark abhängig von der Wasseraktivität (a_w -Wert), wobei beim Reisbrot die kürzeste Haltbarkeit mit dem höchsten Wert dieses Parameters einherging.

Aber nicht nur der Schimmelbefall spielt eine wichtige Rolle. Die Intensität von gewünschten, mit Frische assoziierten Textur- und Aromaattributen von frischem Brot nimmt während der Lagerung ab. Die Krume wird fester, die Kruste verliert ihre Knusprigkeit und das Flavour von frischen Brot schwächt stark ab [Bosmans et al., 2013b].

Der Feuchtigkeitsgehalt der Brote verändert sich schon, sobald diese aus dem Ofen genommen werden und abkühlen. Dabei ergeben sich Unterschiede des Dampfdrucks zwischen Kruste und Krume und resultiert darin, dass Feuchtigkeit von der Krume in die Kruste wandert, d.h. diese somit in der Krume ab- und gleichzeitig in der Kruste zunimmt. Die Zugabe von Hydrokolloiden kann aber bspw. die Wasserbindungskapazität erhöhen, wodurch die Krume im Vergleich zur Kontrollprobe weicher bleibt [He und Hoseney, 1990; Sabanis und Tzia, 2011].

Die Verteilung des Wassers von der Krume in die Kruste führt zur Verringerung der Krusten Härte. Auch Aromastoffe werden bei der Lagerung in die Umgebung abgegeben. Beim Altbackenwerden bilden niedermolekulare Amylosemoleküle größere Aggregate und verursachen somit einen großen Teil der Texturveränderung in altem Brot [Ebermann und Elmadfa, 2008].

Auch die Lagerungsbedingungen beeinflussen die Textur der Brotkrume wesentlich. Diese wirken sich auf die Amylopektin-Rekristallisierung aus, wobei dessen maximale Rate bei 4-14°C abläuft. Auch andere Studien weisen darauf hin, dass die Amylopektin-Retrogradation bei niedrigen Temperaturen schneller abläuft [Slade und Levine, 1991; Cornford et al., 1964; Gray und Bemiller, 2003; Zobel und Kulp, 1996]. Wird altbackenes Brot auf 50 bis 60°C erhitzt, so schmelzen die gebildeten Amylopektinkristalle wieder und altbackenes Brot kann dadurch aufgefrischt werden [Delcour und Hoseney, 2010; Bosmans et al., 2013a].

2.2.4.4 Bedeutung von Zusatzstoffen

Purhagen et al. (2012) weisen in ihrer Studie darauf hin, dass die Verwendung von Mehlen bzw. Stärke nicht ausreichen würde, um das Fehlen des Glutens zu kompensieren. Daher ist bspw. die Zugabe von Pflanzengummi, Emulgatoren oder Enzymen erforderlich, entweder alleine oder in deren Kombination.

Untersuchungen ergaben, dass der gemeinsame Zusatz von Emulgatoren und Pflanzengummi notwendig ist, um die erwünschten physikalischen Eigenschaften des Teiges zu erzielen [Demirkesen et al., 2010].

Wie bereits erwähnt, können in einem Teig ohne Gluten spezifische Gele eingesetzt werden. Dazu eignen sich bspw. Pflanzengummi, denn diese erhöhen die Kohäsion der Stärkekörner und verbessern dadurch die viskoelastischen Eigenschaften der Brote, vergleichbar mit weizenhaltigen Pendants [Mohammadi et al., 2014; Toufeili et al., 1994; Naji-Tabasi und Mohebbi, 2015].

Pflanzengummi sind Polysaccharide, die sich zur Bildung von Hydrokolloiden eignen und daher als Verdickungsmittel eingesetzt werden können. Dabei tendieren unverzweigte Kettenmoleküle eher zur Gelbildung als vergleichsweise Verbindungen mit Verzweigungen, die durch diese Struktur das Wasser weniger gut einschließen. Chemisch werden sie in folgende Gruppen eingeteilt: 2 saure Formen von Pflanzengummi, entweder mit Uronsäure- oder Schwefelsäure-Resten bzw. 1 neutrale Verbindungsklasse. Zu Letzterer zählt z.B. Guarkernmehl [Baltes, 1995].

Hydrokolloide sind hydrophile Kohlenhydrat-Polymere, die das Wasser binden und dadurch die rheologischen Eigenschaften und die Textur von Broten verbessern, indem sie die Teigviskosität der Glutenproteine imitieren. Zusätzlich können sie die Stärke-Retrogradation verlangsamen und auf diese Weise die Haltbarkeit verlängern. Beispiele für in glutenfreien Produkten eingesetzte Hydrokolloide sind: Hydroxypropylmethylcellulose, Carboxymethylcellulose, Carrageenan, Xanthan, Natrium-Alginat oder Guarkernmehl [Arendt et al., 2008; Koehler et al., 2014; Ahlborn et al., 2005].

Guarkernmehl (E 412) wird aus dem Endosperm der Guar-Pflanze „*Cyamopsis tetragonoloba*“ gewonnen. Bereits beim Zusatz geringer Mengen davon kann die Viskosität wässriger Lösungen stark erhöht werden. In Backwaren hemmt es die Retrogradation der Amylose und dadurch das Altbackenwerden [Ebermann und

Elmadfa, 2008]. Dessen Anwendung in glutenfreien Backwaren kann auch damit begründet werden, dass dadurch bspw. die Viskosität des Teiges und die Wasserbindung erhöht sowie die Eigenschaften der Brotkrume verbessert werden können [Demirkesen et al., 2010; Moreira et al., 2013; Gallagher et al., 2004].

Um eine homogenere Verteilung des Fettes in der wässrigen Phase des Teiges zu erzielen, werden Backwaren Emulgatoren zugesetzt. Gleichzeitig kann durch sie die Wasserhaltekapazität der Teige verbessert werden, indem der Gehalt dieser Zutat während der Lagerung konstant bleibt [Ebermann und Elmadfa, 2008; Purhagen et al., 2012].

Sie bewirken auch eine Verminderung der Amylopektin-Retrogradation, verglichen mit glutenhaltigen Kontrollbrotten. Dies lässt sich dadurch erklären, dass Emulgatoren Komplexe mit Stärke eingehen und folglich die Amylopektin-Rekristallisierung verhindern [Krog et al., 1989, Krog et al., 1977; Purhagen et al., 2012].

Deren Zusatz kann auch damit argumentiert werden, dass mit Lecithinen v.a. in geringeren Mengen feinere Krumenstrukturen erzielbar sind [Nunes et al., 2009].

Bei Lecithinen (E 322) handelt es sich allgemein um natürlich vorkommende Emulgatoren. Die wichtigste Quelle dafür sind Sojabohnen. Zusätzlich kann es aber auch aus Sonnenblumen, Raps und Mais gewonnen bzw. aus Eigelb hergestellt werden [Ebermann und Elmadfa, 2008; Edwards, 2007].

2.3 Chia (*Salvia hispanica* L.)

Salvia hispanica L., auch als Chia bezeichnet, ist eine Ölsaat liefernde Pflanze die schon von den Azteken nicht nur als Lebensmittel, sondern auch als Opfergabe für ihre Götter verwendet wurde [Armstrong, 2004; Muñoz et al., 2013].

Diese krautige, einjährige Sommerpflanze zählt zur Familie der Lamiaceae, wobei ihre ursprüngliche Heimat Süd-Mexiko und Nord-Guatemala war. Dessen kommerzieller Anbau erfolgt heute mittlerweile z.B. in Argentinien, Ecuador, Peru, Paraguay, Australien, Nicaragua, Guatemala und Bolivien und dient u.a. der Ölgewinnung [EU, 2009; Ayerza, 1995; Barrientos et al., 2012; Coates, 2011].

Chia gewinnt als „Superfood“ weltweit an Interesse. Neben den wertvollen Inhaltsstoffen (siehe Kapitel 2.3.2.1 ab S. 20) sind diese Früchte auch deshalb vorteilhaft, da sie bspw. kein stark fischiges Flavour aufweisen. Denn marine Produkte oder Leinsamen, die wie Chia reich an ungesättigten Fettsäuren sind, haben diesen Nachteil [Collier et al., 2014; Ayerza und Coates, 2001b; Barrientos et al., 2012].

Die Pflanze kann bis zu 1 m hoch werden, hat gegenständig angeordnete Blätter und bildet ca. 3 bis 4 mm kleine weiße oder violette Blüten. Angebaut wird diese Pflanze aber aufgrund ihrer „Samen“, welche im Herbst ausreifen. Letztere haben verschiedene Farben, entweder schwarz, grau oder weiß mit schwarzen Punkten mit einer Größe von ca. 1 bis 2 mm. Nach der Ernte werden die „Samen“ mechanisch gereinigt sowie die Blüten, Blätter und andere Pflanzenteile entfernt [Mohd et al., 2012; Inglett et al., 2014b; EU, 2009].

Die rechtlich vorgeschriebene Bezeichnung wurde laut der *EU (2013)* als „Chiasamen (*Salvia hispanica*)“ festgelegt (dazu Näheres im Kapitel 2.3.1 ab S. 18). Unter Berücksichtigung der botanischen Terminologie müssten diese jedoch nicht als Samen, sondern als Früchte bezeichnet werden. Bei der Samenreife zerfällt dessen Fruchtknoten in vier einsamige Klausen, den Teilfrüchten [Leins, 2000; Capitani et al., 2013].

Die Fruchtwand (Pericarp) ist aus mehreren Schichten aufgebaut. Von außen nach innen sind dies: Die Cuticula, das Epi- und Mesocarp, eine Schicht aus vertikal angeordneten „Knochenzellen“ sowie das Endocarp [Capitani et al., 2013].

Letzteres ist genau wie die Samenschale (Testa) nur dünn und beide umgeben im botanischen Sinne den „wahren“ Samen. In Abbildung 2 sind die genannten Strukturen sowie das Endosperm (Mehlkörper) und die beiden Kotyledonen (Keimblätter) dargestellt [Leins, 2000; Moon und Hong, 2006; Duletia-Laušević und Marin, 1999; Capitani et al., 2013].

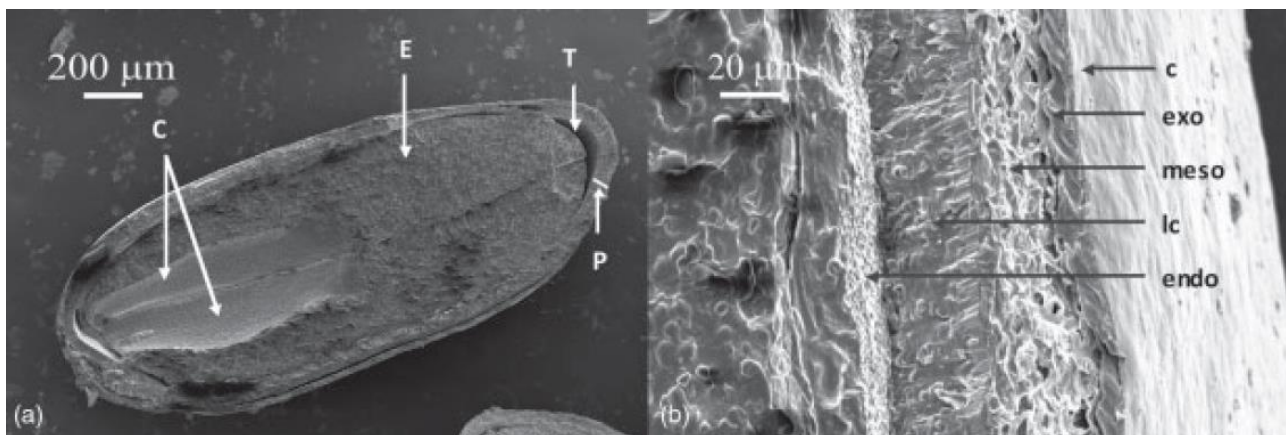


Abbildung 2: Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen einer Chiafrucht. (a) Longitudinale Darstellung der internen Strukturen sowie (b) transversale Darstellung des Pericarps [Capitani et al., 2013].

Abkürzungen: P (Pericarp), T (Testa), E (Endosperm), C (Kotyledonen), c (Cuticula), exo (Exokarp), meso (Mesokarp), lc (Schicht der „Knochenzellen“), endo (Endokarp).

2.3.1 Rechtliche Regelung und Sicherheitsbeurteilung

Die EFSA stellte am 13. März 2009 ein Gutachten zur Beurteilung der Sicherheit von ganzen und gemahlene Chiafrüchten aus. Darin wird festgehalten, dass von deren Unbedenklichkeit auszugehen sei. Es wird auch für unwahrscheinlich eingestuft, dass ihre Verwendung in Broterzeugnissen eine schädliche Wirkung auf die Gesundheit der Bevölkerung hat, bezogen auf die angeführten Bedingungen. Zu Letzteren zählen z.B., dass nur Broterzeugnisse mit der Einhaltung des Höchstgehalts von 5% Chia in Verkehr gebracht werden dürfen [EU, 2013].

Im Jahr 2013 wurde ein Antrag auf die Erweiterung der Verwendungszwecke gestellt. Damit sollte in bestimmten Lebensmittelkategorien die Erhöhung der Höchstmenge auf 10% erreicht werden. Durch zusätzliche Erläuterungen seitens des Antragstellers konnten Bedenken ausgeräumt werden. Die Früchte können demnach

gemäß bestimmter Spezifikationen (siehe dazu Tabelle 2) und Verwendungsbedingungen (angeführt in der Tabelle 3) in der Union als neuartige Lebensmittelzutat in Verkehr gebracht werden.

Die rechtlich vorgeschriebene Sachbezeichnung lautet „Chiasamen (*Salvia hispanica*)“. Als solches dürfen diese an den Endverbraucher nur vorverpackt sowie mit dem zusätzlichen Hinweis verkauft werden, dass eine tägliche Aufnahme von 15 g nicht überschritten werden darf.

Die erlaubten Höchstmengen für diese Früchte wurden für unterschiedliche Produktgruppen festgelegt. Tabelle 3 zeigt, dass u.a. Backwaren nicht mehr als 10% davon zugesetzt werden dürfen [EU, 2013].

Tabelle 2: Zusammensetzung von Chiafrüchten [EU, 2013].

Typische Zusammensetzung von Chiafrüchten	
Trockenmasse	91 – 96%
Eiweiß	20 – 22 %
Fett	30 – 35 %
Kohlenhydrate	25 – 41 %
Ballaststoffe (Rohfasern *)	18 – 30 %
Asche	4 – 6 %
* Als Rohfaser wird der Anteil der Ballaststoffe bezeichnet, der v.a. aus unverdaulicher Zellulose, Pentosanen und Lignin besteht.	

Tabelle 3: Verwendungsbedingungen von Chiafrüchten (*Salvia hispanica* L.) inkl. Angabe der derzeit zulässigen Höchstmengen [EU, 2013].

Produktgruppe	Höchstmenge
Backwaren	Nicht mehr als 10%
Frühstückscerealien	Nicht mehr als 10%
Mischungen aus Früchten, Nüssen und Samen	Nicht mehr als 10%
Vorverpackte Chiafrüchte als solche	Nicht mehr als 15 g täglich

Zur Beurteilung der Sicherheit von Chia muss aufgrund ihres hohen Proteingehalts auch das allergene Potential untersucht werden. Studien liefern jedoch bislang keinerlei Hinweise auf Reaktionen dieser Art, wobei dies sowohl für ganze als auch gemahlene Früchte gilt. Auch die EFSA vermutet keine schädlichen Effekte. Nach wissenschaftlicher Beurteilung weisen diese auch keine antinutritiven oder toxischen Effekte auf [Atkinson, 2003; Coates, 2011; EFSA, 2009; The Chia Company, 2009; Muñoz et al., 2013].

Die Untersuchung verschiedener bolivianischer Chargen an Chia zeigte auch keine Überschreitungen der Höchstmengen für Schwermetalle (Arsen, Cadmium und Quecksilber). Zusätzliche Analysen deuteten darauf hin, dass der Gehalt diverser Mykotoxine unter der Nachweisgrenze liegt. Die Früchte enthalten auch kein Gluten und eignen sich daher bspw. für die Anwendung in Produkten ohne desselben [EFSA, 2009; Mohd et al., 2012].

Der durchschnittliche Verzehr von Brot ohne Kleingebäck liegt in Österreich bei 95 g pro Tag und Person [Elmadfa et al., 2012]. Würde man jedes Brot mit 10% Chia anreichern, so werden davon täglich 9,5 g aufgenommen (analog zur Rechnung von EFSA (2009)). Dies bedeutet, dass die empfohlene Aufnahmemenge von 15 g nicht überschritten wird [EU, 2013] und dieser Anreicherungslevel als sicher beurteilt werden kann. Dies gilt, sofern die Früchte nur durch diese optimierten Backwaren, jedoch nicht über andere Quellen aufgenommen werden.

2.3.2 Beschreibung der Chiafrüchte

2.3.2.1 Inhaltsstoffe

Das wiederkehrende Interesse an Chia ist v.a. aufgrund ihres hohen Gehalts an Öl zu erklären, welches eine gute Quelle für mehrfach ungesättigte Fettsäuren darstellt. Dieses ist einzigartig, da es von allen bekannten natürlichen Quellen den höchsten Anteil an der ω -3-Fettsäure α -Linolensäure aufweist [Ayerza, 1995; Coates und Ayerza, 1996].

Die Bedeutung von ω -3 Fettsäuren kann allgemein in der Prävention kardiovaskulärer Erkrankungen als anti-thrombotisch, -entzündlich, -arrhythmisch und Plaque-stabilisierend angesehen werden. Im Speziellen α -Linolensäure wird mit gesundheitlichem Nutzen, z.B. der Vorbeugung von Bluthochdruck und entzündlichen Erkan-

kungen, in Verbindung gebracht [Galli und Marangoni, 2006; Albert et al., 2005; Garg et al., 2006; Marineli et al., 2014].

Ein Gramm Chiafrucht enthält diversen Analysen zufolge zwischen 25 und 38% Öl, wobei dieses einen hohen Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren aufweisen [Martínez et al., 2012]. Ca. 54 bis 67% machen die ω -3-Fettsäure α -Linolensäure sowie 12 bis 21% die ω -6-Fettsäure Linolsäure aus [Inglett et al., 2014b].

Aufgrund des hohen Fettgehalts ist der Brennwert dieser winzigen Früchte mit rund 444 kcal pro 100 g laut Packungsangaben der „Sachia-Chiasamen“ sehr hoch. Auch *Capitani et al. (2013)* weisen mit $432,0 \pm 0,3$ kcal pro 100 g Chia auf einen ähnlich hohen Energiegehalt hin.

Chia zeichnen sich auch durch einen hohen Gehalt an Proteinen aus. Dieser ist mit 19 bis 23% höher als vergleichsweise andere traditionell genutzte Getreidearten wie Weizen und Mais (14%), Reis (8,5%), Hafer (15,3%) oder Gerste (9,2%). Auch die Qualität dieses Makronährstoffs ist sehr gut, denn die Früchte enthalten alle essentiellen Aminosäuren [Martínez et al., 2012; Costantini et al., 2014; Muñoz et al., 2013].

Bei der Klassifizierung von Ballaststoffen unterscheidet man allgemein zwischen löslichen Verbindungen, die im Dickdarm fermentiert werden sowie unlöslichen Verbindungen. Letztere wirken als Füllstoffe und werden nur in begrenztem Ausmaß im Dickdarm abgebaut. Chia weisen einen hohen Gehalt an Gesamtballaststoffen auf, wovon ca. 5% lösliche, hauptsächlich jedoch unlösliche Ballaststoffe enthalten sind [Anderson et al., 2009; Marineli et al., 2014; EFSA, 2009].

Die Hauptkomponente der zweiten Klasse ist das „Klason-Lignin“, welches ca. 39 bis 41% des Gesamtballaststoffgehalts dieses Rohstoffs ausmacht. Lignine binden Gallensäuren und weisen damit einen hypocholesterinämischen Effekt auf, welcher allgemein mit Ballaststoffen assoziiert wird. Die unlösliche Fraktion der Früchte enthält v.a. neutrale Zuckerverbindungen wie Zellulose und Hemizellulose (13,79 bis 14,97%), jedoch nur einen geringen Anteil an Uronsäuren (3,05 bis 3,60%). Letztere weisen auf den Gehalt an Gluronsäure-Resten hin, die an Hemizellulose gebunden sind [Reyes-Caudillo et al., 2008].

Die lösliche Ballaststoff-Fraktion enthält ebenfalls vorwiegend neutrale Zuckerverbindungen und wird für die Bildung der Schleimstoff-Kapsel verantwortlich gemacht [Reyes-Caudillo et al., 2008].

Zusätzlich enthalten diese Früchte große Mengen an Antioxidantien wie Tocopherole, Phytosterole, Carotinoide und phenolische Verbindungen, bspw. Chlorogensäure, Kaffeesäure, Myricetin, Quercetin und Kaempferol. Analysen weisen einen Gesamtpolyphenolgehalt von durchschnittlichen 0,94 mg Gallensäureäquivalent pro 1 g Chia nach. Diese Verbindungen werden mit protektiven Effekten auf viele Krankheiten sowie allgemein mit positiven Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit in Verbindung gebracht [Álvarez-Chávez et al., 2008; Ixtaina et al., 2011; Taga et al., 1984; Nijveldt et al., 2001; Marineli et al., 2014].

Außerdem werden sie als gute Quelle für B-Vitamine (Riboflavin, Thiamin, Niacin) und Mineralstoffe beschrieben, u.a. für Calcium, Magnesium, Phosphor, Zink oder Kalium [Muñoz et al., 2013; Iglesias-Puig and Haros, 2013].

Inglett et al. (2014b) weisen darauf hin, dass ganze Chiafrüchte aufgrund ihrer extrem harten Fruchtwand (Pericarp) nicht gut vom Körper verwertet werden können. Auch eine Studie aus dem Jahr 2012 beobachtete, dass α -Linolensäure aus gemahlenen Chia viel effektiver in das Plasma freigesetzt wurde als im Vergleich dazu aus ganzen Früchten [Jin et al., 2012].

Zwei verschiedene Studien mit derselben Forschungsfrage wurden mit 10 normalgewichtigen bzw. mit 62 übergewichtigen postmenopausalen Frauen durchgeführt, welche jeweils die Interventionsgruppen darstellten. Beide konnten zeigen, dass der tägliche Verzehr von 25 g gemahlenen Chiafrüchten jeweils im Vergleich zu einer Kontrollgruppe die Plasmakonzentration von α -Linolensäure und Eicosapentaensäure signifikant erhöhte [Jin et al., 2012; Nieman et al., 2012].

Muñoz et al. (2013) beschrieben, dass saubere und trockene Chiafrüchte jahrelang haltbar seien, was wiederum mit ihrem hohen Gehalt an Antioxidantien zusammenhängt. Diese verhindern nämlich den Verderb des enthaltenen Öls. Auch die *EFSA* (2009) berichtete, dass eine 18-monatige Lagerung keine Auswirkungen auf das Produkt hatte. Die Proben wurden dabei in geschlossenen Beuteln vor starker Sonneneinstrahlung geschützt sowie bei Temperaturen von 5 bis 35°C und relativer Feuchtigkeit von 40 bis 85% aufbewahrt [EFSA, 2009].

Auch die *Chia Company* verglich den Nährstoffgehalt von verschiedenen Früchten über eine 3-jährige Lagerdauer hinweg, wobei sich diesbezüglich keine Veränderungen ergaben [The Chia Company, 2009].

2.3.2.2 Sensorische Eigenschaften

Wie bereits (auf S. 20) erwähnt, sind diese Früchte nur sehr klein. Weiters sind sie oval und abgeflacht mit Ausmessungen von 1.87 ± 0.1 mm Länge, 1.21 ± 0.08 mm Breite und 0.88 ± 0.04 mm Dicke [Muñoz et al., 2012].

Am Markt erhält man ca. 95% schwarze und 5% weiße Früchte, wobei diese nur geringe Unterschiede aufweisen. Ayerza (2013) weist darauf hin, dass kein Zusammenhang zwischen deren Farbe sowie dem Gehalt bzw. der Zusammensetzung von Proteinen, Öl, Ballaststoffen, Aminosäuren oder Antioxidantien gezeigt werden konnte. Ixtaina et al. (2008) hingegen liefern Hinweise darauf, dass schwarze Früchte größere Mengen an Antioxidantien enthalten als weiße. Letztere sind breiter und dicker und haben ein höheres Gewicht als ihre dunklen Pendanten. Auch Unterschiede im Proteingehalt und der Fettsäurezusammensetzung wurden bereits beschrieben. Daher bleibt offen, inwiefern sich die unterschiedlich gefärbten Früchte in ihrer Zusammensetzung unterscheiden.

Abbildung 3 zeigt schwarze und weiße Chiafrüchte in verschiedenen Vergrößerungen.

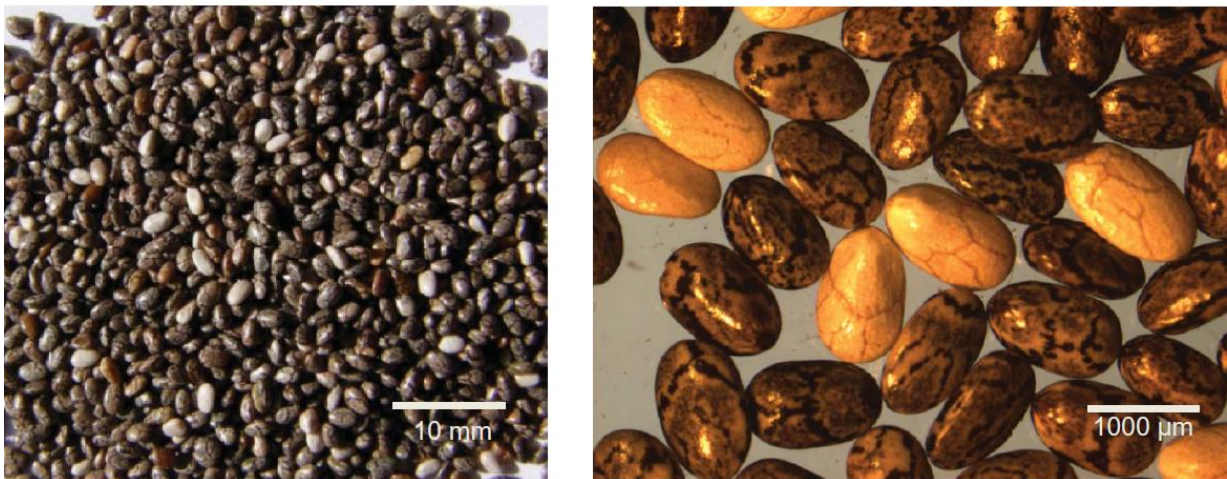


Abbildung 3: Weiße und schwarze Chiafrüchte [Muñoz et al., 2013].

Das Flavour dieser Früchte ist mild und nur sehr leicht nussig. Daher bleibt deren Zusatz für den Konsumenten meist unbemerkt [Collier et al., 2014]. Dies kann man sich jedoch bewusst zunutze machen. Ohne einen starken Einfluss auf das Flavour zu bewirken, ist damit eine Anreicherung im Zuge einer Produktoptimierung möglich.

Viel deutlicher ist der Effekt des Chia-Gels auf die Textur von Backwaren. Dies ist dadurch zu erklären, dass Chiafrüchte rund 5 bis 6% Schleimstoffe enthalten, die als Ballaststoffe eingesetzt werden können. Diese verursachen bei der Hydrierung der Früchte die Bildung einer stark viskösen Lösung [Steffolani et al., 2015; Ayerza und Coates, 2001a; Muñoz et al., 2012; Reyes-Caudillo et al., 2008].

Aufgrund der hohen Wasserhaltekapazität der Chiafrüchte wird ein neutraler Schleim gebildet. Wegen seines geringen Gehalts an Uronsäuren vermutet man, dass dieser wahrscheinlich kein Pektin enthält [Inglett et al., 2014b; Muñoz et al., 2012; Reyes-Caudillo et al., 2008].

Lin et al. (1994) beschrieben die Grundstruktur des Schleims als ein lineares Tetrasaccharid, woraus bei einer sauren Hydrolyse die Monosaccharide β -D-Xylose, α -D-Glucose und 4-O-Methyl- α -D-Glucuronsäure im Verhältnis 2:1:1 entstehen. Die Hauptkette bilden (1 $\rightarrow$ 4)- β -D-Xylopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)- β -D-Glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)- β -D-Xylopyranosyl-Einheiten. Am Sauerstoffatom an der Position 2 bindet an einigen β -D-Xylopyranosyl-Resten eine 4-O-Methyl- α -D-Glucopyranosyluronsäure.

Auch die Autoren *Olivos- Lugo et al. (2010)* beobachteten die Bildung eines solchen Schleims nach Zugabe von Wasser rund um die Früchte. Dies wird mit der Abbildung 4 verdeutlicht.

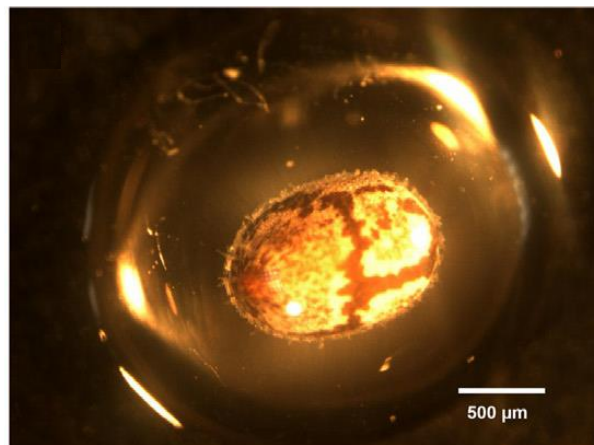


Abbildung 4: Einzelne hydrierte Chiafrucht, die von einer sichtbaren Schleimkapsel umgeben wird [Muñoz et al., 2012].

Die Zellen, die diesen Schleim bilden, befinden sich in der äußeren Zellwand der Epidermiszellen (im Epicarp der Fruchtwand). Letztere sind hygroskopisch und platzen beim Kontakt mit Wasser. Innerhalb kürzester Zeit wird der Schleim freigesetzt. Dieser lagert sich rund um die Früchte an, ist stark an diese gebunden und nur schwer von ihnen abzutrennen [Muñoz et al., 2012; Duletia-Laušević und Marin, 1999; Olivos- Lugo et al., 2010].

Muñoz et al. (2012) beschrieben in einer Studie, dass die maximale Dicke dieses durchsichtigen Gels nach rund 2 Stunden erreicht wird. Zu diesem Zeitpunkt stoppt die Wasserabsorption, wobei die durchgehende, durchsichtige Kapsel eine mittlere Dicke von $414 \pm 35 \mu\text{m}$ aufweist.

Mit der Abbildung 5 wird verdeutlicht, dass beim Färben dieses Gels mit Safranin zwei Schichten sichtbar gemacht werden. Die innere Schicht wird aus verzweigten Strukturen gebildet, die äußere Schicht hingegen ist wolkig und homogen [Muñoz et al., 2012].

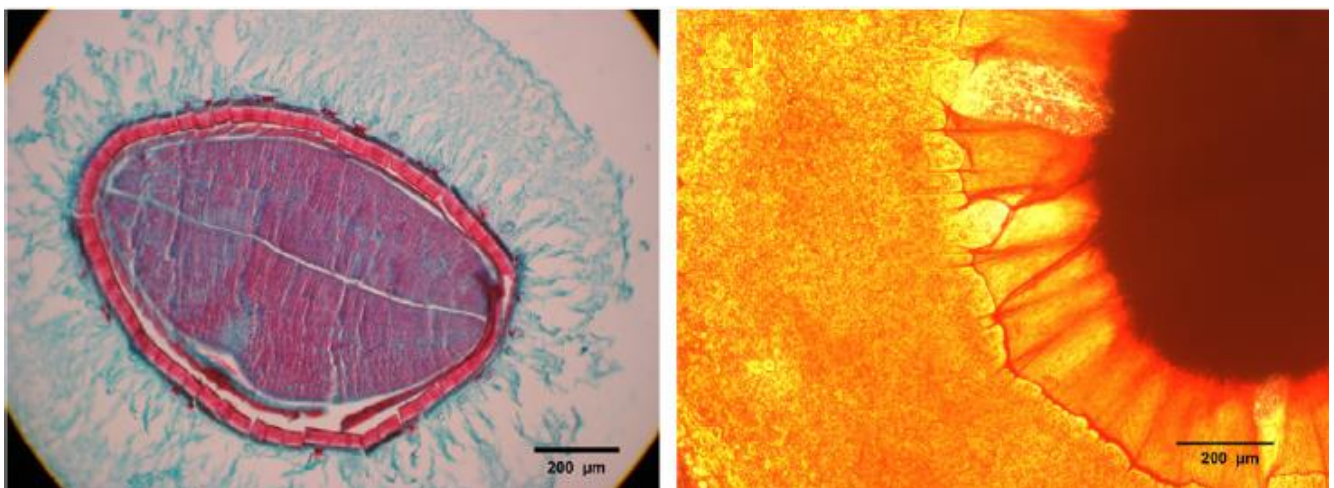


Abbildung 5: Chiafrucht nach dem Platzen der äußeren Zellwand der Epidermiszellen, wobei Schleimstoffe rundherum abgegeben und diese davon umgeben wird [Muñoz et al., 2012].

2.4 Textur

Die allgemeine Definition von Textur wird auch im Kapitel 3.2.1 (auf S. 33) erläutert. Der Begriff „Textur“ stammt aus dem Lateinischen und heißt übersetzt Gewebe, Gefüge, Zusammensetzung und stammt ursprünglich aus dem Bereich der Weberei. In der Sensorik versteht man darunter die Wahrnehmung der Struktur von Lebensmitteln, die physiologisch mithilfe der Tast- und Druckrezeptoren, dem Gehör- und Sehsinn als auch mit Kraftmessungen der Muskeln beurteilt wird [Mühle, 2002].

2.4.1 Bedeutung der Textur

Steffolani et al. (2015) zogen aus ihrer Studie den Schluss, dass Chia u.a. die Textur optimieren kann. Viele Jahre lang schenkte man ihr jedoch nur geringe Aufmerksamkeit, v.a. im Vergleich zum Flavour. Heutzutage zählen Textur und Mundgefühl aber zu bestimmenden Faktoren, die wesentlich zur Akzeptanz und Präferenz von Lebensmitteln und Getränken beitragen. Konsumenten erwarten von einem spezifischen Lebensmittel bestimmte Textureigenschaften wie z.B. eine mit Frische assoziierte knusprige Brotkruste [Guinard und Mazzucchelli, 1996; Altamirano-Fortoul et al., 2013; Collier et al., 2014].

Bereitet man für Konsumenten vertraute Lebensmittel so auf, dass deren charakteristische Textur entfernt wird unter Beibehaltung des Flavours (bspw. durch Pürieren der Proben), so konnte Folgendes im Blindversuch gezeigt werden: Nur ca. die Hälfte der Testpersonen war in die Lage, die dargereichten Produkte richtig zu identifizieren und verdeutlicht demnach die Bedeutung von Textureigenschaften von Lebensmitteln [Schiffman et al., 1978; Tunick, 2011].

Texturattribute wie Knusprigkeit oder Knackigkeit werden von Konsumenten als positiv beurteilt und veranlassen diese weiter zu essen. Als unerwünscht gelten Eigenschaften von Produkten, die der Konsument nicht kontrollieren kann wie bspw. zäh, klumpig oder schleimig [Szczesniak et al., 2002].

Textur und Mundgefühl von Lebensmitteln und Getränken werden dabei von mehreren Parametern beeinflusst. Deren Beurteilung im Mund ist ein sehr dynamischer Prozess, bei dem die physikochemischen Eigenschaften der Lebensmittel kontinuierlich durch Kauen, Speichelfluss und ev. auch der Körpertemperatur verändert werden [Guinard und Mazzucchelli, 1996; Szczesniak, 1990].

Dessen Komplexität kann auch damit begründet werden, dass keine auf die Texturwahrnehmung spezialisierten Rezeptoren vorhanden sind, verglichen mit anderen sensorischen Attributen wie Farbe oder Geschmack. Manche geometrischen Texturattribute werden wahrgenommen, wenn die Probe in den Mund genommen wird. Ein Großteil der Textureigenschaften kann aber erst später wahrgenommen werden wie z.B. bei der Deformation mit den Zähnen, beim Verteilen der Probe mit der Zunge in der Mundhöhle oder beim Vermischen mit dem Speichel [Szczeniak et al., 2002].

2.4.2 Klassifizierung von Texturattributen

Allgemein werden Textureigenschaften sehr häufig wie folgt unterteilt in:

- Mechanische Merkmalseigenschaften, die mit der Reaktion des Prüfmaterials auf eine einwirkende Kraft verbunden sind; Beispiele sind: Härte, Kohäsivität, Viskosität, Elastizität, Adhäsivität.
- Geometrische Merkmalseigenschaften, die mit der Größe, Form und Anordnung der Partikel innerhalb eines Prüfmaterials assoziiert werden; Beispiele sind: Dichte oder Körnigkeit.
- Weitere Eigenschaften, die sich auf die Wahrnehmung des Feuchtigkeits- oder Fettgehalts des Prüfmaterials beziehen [DIN 5492, 2008; Szczeniak, 2002].

Ein anderes Einteilungsschema ist, die Texturattribute nach ihrem zeitlichen Auftreten einzuteilen in: Initiale Attribute (evaluiert beim ersten Bissen), Attribute des Kauprozesses sowie die verbleibenden Attribute, welche nach dem Schlucken der Probe beurteilt werden [Brandt et al., 1963; Szczeniak, 2002].

3 Material und Methoden

3.1 Material

3.1.1 Entwicklung der Rezeptur

Für das Kartoffel-Chia-Brot konnte laut Rezept ein beliebiges Mehl eingesetzt werden. Als Basis für beide analysierten Proben wurde analog zur Studie von *Purhagen et al. (2012)* eine kommerziell erhältliche glutenfreie Backmischung (Universalbackmischung, siehe dazu Kapitel 3.1.2 ab S. 30) ausgewählt.

Da diverse Studien mit ganzen als auch mit gemahlenen Chiafrüchten durchgeführt wurden, sollte zunächst Literatur über den Einfluss des Mahlens dieses Rohstoffs auf die Backeigenschaften von Broten gesammelt werden. *Iglesias-Puig und Haros (2013)* beschrieben, dass bei Proben mit Chiamehl höhere spezifische Volumina resultierten als vergleichsweise bei jenen mit ganzen Früchten. Sie erklärten dies mit dem besseren Einbau des Pflanzenschleims in den Teig bei der Zugabe der gemahlenen Form.

Daher wurde im weiteren Schritt nach Studien gesucht, die die Herstellung dieses Mehls beschreiben. Bspw. *Costantini et al. (2014)* stellten dieses kurz vor dem Backen frisch her, um Oxidationsprozesse zu vermeiden. Analog wurde für das optimierte Brot die benötigte Chiamenge eingewogen und mit einer Küchenmaschine (der Marke Bosch) sowie einem Stahlmahlwerk auf kleinster Stufe (ca. 1,0) das Ausgangsmaterial hergestellt.

Analog zu *Zettel et al. (2015)* wurde dieses Mehl anschließend mit Wasser vermischt. Die benötigte Menge der letztgenannten Zutat wurde berechnet, indem die Wasserhaltefähigkeit von Chiamehl aus der Literatur ermittelt wurde. Diese ist definiert als die Masse des gebundenen Wassers pro Masse der Probe und wurde in einer Studie mit 12,4 g pro g Chiamehl beschrieben [Costantini et al., 2014; Coorey et al., 2014]. Aus dem Chiamehl-Wasser-Gemisch wurde durch mehrmaliges Umrühren und einer Inkubationszeit (bei Raumtemperatur) von mindestens zwei Stunden ein Chia-Gel hergestellt. Erst danach sollte es mit den anderen Zutaten vermischt werden, da laut *Muñoz et al. (2012)* erst zu diesem Zeitpunkt dessen maximale Dicke erreicht wird.

Für das Chiabrot wurden 9 Teile der gesamten Mehlmenge in Form der Universalbackmischung eingesetzt und mit einem Teil der frisch gemahlenden Chiafrüchte vermischt, zugegeben in Form des Chia-Gels. Der Level von genau 10% Chia kann damit argumentiert werden, da dies die von der EU festgelegte Höchstmenge dieses neuartigen Lebensmittels für Backwaren darstellt [Costantini et al., 2014; EU, 2013].

Dem ursprünglichen Rezept als auch den Angaben der Backmischung wurde weitgehend gefolgt. Es mussten jedoch nach einigen Probe-Backversuchen weitere Abwandlungen erfolgen, v.a. im Salz- und Wassergehalt.

Zusätzlich wurde noch Brotgewürz zugegeben, um die Intensität des Geschmacks zu verbessern. Die kombinierte Zugabe eines pflanzlichen Gummis und eines Emulgators wird von *Demirkesen et al. (2010)* empfohlen, um bessere physikalische Eigenschaften der Teige zu erzielen, wobei für diese Rezeptur Guarkernmehl und Sonnenblumenlecithin ausgewählt wurden. Letzteres ist damit zu begründen, das allergene Potential von Sojalecithin zu umgehen und um dadurch die Brote für den Großteil der Konsumenten verzehrbar zu machen.

3.1.2 Zutaten und Rezepte der analysierten Brote

Mit Ausnahme der Mehle, des Wassers und Öls wurden für beide Brote dieselben Mengen aller Zutaten verwendet. Die Kontrollprobe enthielt anstatt der gemahlenden Früchte glutenfreies Mehl (siehe dazu das Rezept in Tabelle 4 auf S. 31). Das optimierte Brot konnte dagegen aufgrund der in Chia enthaltenen Ballaststoffe das Wasser viel besser binden [Alfredo et al., 2009] und daher wurde davon eine größere Menge zugegeben. Bei Zugabe dieses Rohstoffs konnte laut *Terry et al. (2013)* die Ölmenge auf die Hälfte reduziert werden.

Da bei den Verkostungen die Probenmenge an die Anzahl der Konsumenten adaptiert werden sollte, wurden zwei verschiedene Rezeptgrößen entwickelt.

Das „kleine Rezept“ ergab ca. 500 bis 600 g Brot (siehe dazu Kapitel 4.1 ab S. 57) und wurde für ein Konsumentenkollektiv von bis zu 49 Personen eingesetzt.

Das „große Rezept“ lieferte ca. 1100 bis 1200 g Brot. Dieses wurde bei Verkostungen mit mehr als 50 Personen sowie für die Schulung der Panellisten, die instrumentelle Messung und die QDA herangezogen.

Zutaten inkl. Hersteller bzw. deren Zusammensetzung:

- „Spar free from“ Universalbackmischung (Spar Österr. Warenhandels-AG): 50% Kartoffelstärke, 21% Maisstärke, 16,5% Maismehl, 11% Reismehl, 1,5% Guarkernmehl.
- Bio Chia- Samen schwarz (Naturkost Übelhör GmbH & Co. KG)
- „HOLO“ Bio Kartoffelpüree- Pulver (Reform Kontor GmbH & Co. KG)
- „HOLO“ Sonnenblumenkerne, geschält (Reform Kontor GmbH & Co. KG)
- „Bad Ischler“ Salz (Salinen Austria AG)
- Trockengerst (Dr. Oetker)
- „Wiener Zucker“ Fein Kristall Zucker (Agrana Zucker GmbH)
- „Natürlich für uns“ Bio Sonnenblumenöl, nativ (EMO Eigenmarken GmbH)
- Brotgewürz, grob gemahlen (Sonnentor GmbH)
- Guarkernmehl (Arche Naturprodukte GmbH)
- Sonnenblumen-Lecithin (Lasenor, bezogen von der Firma Gunniversum)

Tabelle 4: Verwendete Zutatenmengen der beiden untersuchten Brote für zwei unterschiedliche Rezeptgrößen („kleines“ und „großes“ Rezept).

	„Kleines“ Rezept		„Großes“ Rezept	
	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia
Glutenfreies Mehl ¹	500 g	450 g	750 g	675 g
Chiamehl ²	-	50 g	-	75 g
Wasser ³	560 g	620 + 40 g *	840 g	930 + 60 g *
Kartoffelpüree-Pulver	100 g		150 g	
Sonnenblumenkerne	50 g		75 g	
Salz ⁴	10 g		15 g	
Trockenhefe ⁴	10 g		15 g	
Zucker ⁴	20 g		30 g	
Sonnenblumenöl ^{4, 5}	20 g	10 g	30 g	15 g
Guarkernmehl ⁶	10 g		15 g	
Lecithin ⁷	5 g		7,5 g	
Brotgewürz	4 TL		6 TL	

Abkürzung: TL... Teelöffel (kleiner Löffel)

* Beim Chiabrot ist die gesamte Wassermenge aufgeschlüsselt in jene Menge, die dem Chiamehl zugesetzt wird, um ein Gel herzustellen (erste Zahl). Bei der Teigverarbeitung wird noch zusätzlich Wasser zugegeben, um gute Kneteigenschaften des Teiges zu erhalten (zweite Zahl).

¹ Glutenfreie Universalbackmischung der Marke Spar free from.

² Insgesamt wurden 10% der Universalbackmischung durch ein Chiamehl-Wasser-Gemisch ersetzt.

³ Wasser: adaptiert an *Korus et al., 2009*; beim Kontrollbrot wurde für das „kleine Rezept“ insgesamt 560 g Wasser zugegeben (43 mL mehr als in der Literaturstelle angegeben sind), um gute rheologischen Eigenschaften des Teiges während des Knetens zu erhalten; für das „große Rezept“ wurde von den 560 g Wasser anteilmäßig die benötigte Menge berechnet.

⁴ Salz, Trockenhefe, Zucker, Öl nach *Sabanis und Tzia (2011)*.

⁵ Laut Empfehlung von *Terry et al. (2013)* kann die halbe Ölmenge beim Chiabrot durch das Chia-Gel ersetzt werden.

⁶ Guarkernmehl: nach *Moreira et al. (2013)*.

⁷ Sonnenblumenlecithin: nach *Sedej et al. (2011)*.

3.1.3 Brotzubereitung und Backprozess

Zunächst wurden alle trockenen Zutaten eingewogen und anschließend mit den Flüssigkeiten, dem Wasser, Öl sowie ev. dem Chia-Gel, vermischt. Danach folgte eine 5-minütige Knetzeit. Die Teige wurden in je eine Aluminium-Backform gegeben, welche für das bessere Herauslösen der Brote zuvor mit Sonnenblumenöl eingestrichen wurden. Adaptiert an das Rezept, sollten die Proben für 50 min im Ofen (der Marke Zanussi) bei 35°C mit einem Geschirrtuch zugedeckt ruhen. Analog zur Studie von *Sabanis und Tzia (2011)*, wurden beide Brote nach der Teigruhe bei 200°C Umluft 75 min gebacken [Sabanis und Tzia, 2011; Costantini et al., 2014].

Nach einigen Backversuchen zeigte sich, dass ein Gefäß mit Wasser beim Backen sowie ca. alle 10 min das Bestreichen der Proben mit einem befeuchteten Pinsel ein gutes Ergebnis erzielten. Eine halbe Stunde später wurde dieses Gefäß wieder aus dem Ofen bzw. nach 45 min beide Brote aus den Backformen entnommen. Mit Letzteren konnte gleichzeitig das angesammelte Wasser entfernt und dadurch die Proben in trockener Hitze fertig gebacken werden. Daraus resultierte die erwünschte knusprige Kruste.

Adaptiert an *Sabanis und Tzia (2011)* kühlten die fertig gebackenen Brote bei Raumtemperatur ab. Der Gewichtsverlust wurde analog zur Studie von *Inglett et al. (2014a)* ermittelt, indem die Differenz des vor und nach dem Backen gemessenen Gewichts berechnet und anschließend aus allen Backvorgängen der Durchschnitt ermittelt wurde.

In etwa 3 Stunden nach Herausnehmen aus dem Ofen wurden die Proben für weitere Analysen (Schulung, QDA und instrumentelle Messung) herangezogen [Ronda und Roos, 2011].

Um die Effekte der Lagerung glutenfreier Brote mithilfe der instrumentellen Messung zu untersuchen, wurden die Proben in Polyethylen-Sackerln bei 20°C gelagert, um deren Austrocknung so effektiv wie möglich zu verhindern [Gámbaro et al., 2002; Sabanis und Tzia, 2011].

3.2 Methoden

3.2.1 Definitionen wichtiger Fachbegriffe

Die Definition eines spezifischen Vokabulars, das in dieser Arbeit verwendet wird, ist für dessen bessere Verständlichkeit unumgänglich.

Adhäsivität zum Gaumen: Benötigte Kraft, um mit der Zunge die Probe wieder gänzlich vom Gaumen zu lösen [Morais et al., 2014].

Akzeptanz: Grad, in dem ein Reiz insgesamt oder bezogen auf bestimmte sensorische Merkmalseigenschaften als angenehm oder unangenehm empfunden wird [DIN 5492, 2008].

Elastizität mit den Fingern: Fähigkeit der Probe/Brotkrume nach Ausüben von Druck mit dem Finger wieder in den Ausgangszustand zurückzukehren [Sabanis und Tzia, 2011].

Elastizität oral: Kraft, mit der die Probe nach Zusammendrücken zwischen Zunge und Gaumen wieder in den Ausgangszustand (Größe/Form) zurückkehrt [Lawless und Heymann, 2010; Sabanis und Tzia, 2011].

Flavour: Gesamtheit der komplexen olfaktorischen, gustatorischen und trigeminalen Sinneseindrücke, die beim Verkosten wahrgenommen wird. Das Flavour kann durch taktile, thermische, schmerzhaft und/oder kinästhetische Wirkungen beeinflusst werden [DIN 5492, 2008].

Härte mit den Fingern: Benötigte Kraft, um die Probe (in diesem Fall eine Brotscheibe) mit einem Finger gegen eine flache Oberfläche zu drücken [Gámbaro et al., 2002].

Härte oral: Benötigte Kraft, um die Probe zwischen den Backenzähnen zu zerbeißen [Morais et al., 2014].

Hedonisch: bezogen auf Neigungen oder Abneigungen [DIN 5492, 2008].

Kaubarkeit: Erforderliche Anzahl an Kaubewegungen, um eine Probe (in diesem Fall ein Viertel einer Brotscheibe ohne Kruste) in einen schluckbaren Zustand zu bringen [Gámbaro et al., 2002].

Knusprigkeit mit den Fingern: Art des Zerbrechens, wenn die Probe (in diesem Fall die Kruste des Brotes) mit den Fingern zerbrochen wird [adaptiert an: Sabanis und Tzia, 2011].

Knusprigkeit oral: Empfundene Kraft, mit der das Produkt mit einem einzigen Bissen mit den Schneidezähnen in Stücke geteilt wird [Barrett et al., 1994].

Kohäsivität mit den Fingern: Leichtigkeit, mit der die Masse aus dem Zentrum der Krume für 5 Sekunden in einen Ball geformt werden kann [Gámbaro et al., 2002].

Kohäsivität oral: Ausmaß indem ein Produkt verformt werden kann, bevor es zerbricht [Borderias et al., 1983].

Krümeligkeit mit den Fingern: Menge der gebildeten Krümeln, wenn man mit dem Zeigefinger 3 Mal auf der Probenoberfläche abwärts streicht [Gámbaro et al., 2002].

Krümeligkeit oral: Menge der Partikel im Mund während des Kauens [Therkildsen et al., 2011].

Nachgeschmack: olfaktorischer und/oder gustatorischer Sinneseindruck, der nach dem Schlucken bzw. Ausspucken des Prüfmaterials auftritt und von den Empfindungen abweicht, die wahrgenommen werden, während sich das Prüfmaterial im Mund befindet. Die Beurteilung der Intensität des allgemeinen Nachgeschmacks erfolgt eine Minute nach dem Schlucken [DIN 5492, 2008; adaptiert an: Ivanovski et al., 2012; Chang und Chambers, 1992].

Panel: bezeichnet eine Gruppe von Prüfpersonen, die an einer sensorischen Prüfung teilnehmen [DIN 5492, 2008].

Präferenz: von einer Prüfperson aufgrund von hedonischen Kriterien getroffene Auswahl eines Prüfmaterials aus einer vorgegebenen Reihe, mit der diesem der Vorrang gegenüber den anderen Prüfmaterialien dieser Reihe gegeben wird [DIN 5492, 2008].

Prüfperson: jede Person, die an einer sensorischen Prüfung teilnimmt. Voneinander abzugrenzen sind die Begriffe Laie, d.h. eine Person, die kein bestimmtes Kriterium erfüllt sowie eine eingeführte Person, die bereits an einer sensorischen Prüfung teilgenommen hat [DIN 5492, 2008].

Referenzprobe: Reiz oder Substanz, der oder die sich in manchen Fällen von dem zu prüfenden Material unterscheidet und der bzw. die sorgfältig ausgewählt wurde, um eine Merkmalseigenschaft oder eine festgelegte Ausprägung einer bestimmten Merkmalseigenschaft zu definieren oder zu veranschaulichen, mit dem bzw. der alle anderen zu vergleichen sind [DIN 5492, 2008].

Saftigkeit: Flüssigkeitsmenge, die während der ersten beiden Bisse von der Probe abgegeben wird [Otremba et al., 2000].

Textur im Mund: Sämtliche mechanischen, geometrischen, oberflächen- und körperbezogenen Merkmalseigenschaften eines Prüfmaterials, die vom ersten Biss bis zum abschließenden Schlucken über kinästhetische und somästhetische Rezeptoren sowie (gegebenenfalls) visuelle und auditive Rezeptoren wahrnehmbar sind. Die Wahrnehmung wird im Verlauf des Kauprozesses von der durch den Kontakt mit den Zähnen und dem Gaumen sowie durch das Mischen mit Speichel bedingten physikalischen Umwandlung beeinflusst [DIN 5492, 2008].

3.2.2 Fragebogen

Die Konsumenten sollten im Zuge der Verkostung einen Fragebogen ausfüllen, mit dem Ziel, die Akzeptanz und Präferenz der beiden Proben zu ermitteln. Anschließend wurden die dafür erhaltenen Mittelwerte zwischen den Zöliakieprobanden und einer Kontrollgruppe verglichen. Zusätzlich sollten damit auch noch allgemeine Angaben der Konsumenten erfasst werden.

Der BMI wurde berechnet, indem das Körpergewicht in kg durch den Term [Körpergröße in m]² dividiert wurde. Laut *WHO (2015b)* ist Untergewicht definiert als ein BMI $\leq 18,4 \text{ kg/m}^2$, ein BMI von 18,5 bis 24,9 kg/m^2 als Normalgewicht sowie ein BMI $\geq 25,0 \text{ kg/m}^2$ als Übergewicht. Zu Letzterem wurden auch Personen mit Adipositas

miteingerechnet, um die Anzahl der Klassen pro Variable möglichst gering und damit überschaubar zu halten.

Die Antwortmöglichkeiten „regelmäßig, gelegentlich, seltener und niemals“ sollten das Rauchverhalten, den Alkoholkonsum sowie das Bewegungsausmaß beschreiben und wurden inkl. deren Definitionen angeführt. „Regelmäßig“ wurde festgelegt als täglich bis 2 Mal pro Woche, „gelegentlich“ als 1 bis 4 Mal pro Monat, „seltener“ umfasste 1 bis mehrmals im Jahr.

Eine Diät wurde als keine ausschließliche Reduktion des Energie-, Kohlenhydrat-, Fett- oder Cholesterol-Gehalts, sondern als Kostformen ohne Gluten, Histamin oder Ähnlichem definiert. Damit sollten nur Personen mit einer Erkrankung und damit assoziierten Einhaltung einer speziellen Diät der Zielgruppe zugeordnet werden. Jene Personen, die aufgrund einer gesunden Ernährungsweise oder Aversionen bestimmte Lebensmittelgruppen meiden, wurden wiederum einer Kontrollgruppe zugeteilt. Es stellten dabei Personen, die sich ausschließlich oder teilweise glutenfrei ernähren, die Gruppe der „Zöliakieprobanden“ dar. Unter einer „anderen Diät“ wurden alle anderen Diätformen zusammengefasst, die sich auf keine glutenfreie Kost beziehen und wurden mit jenen Probanden, die gar keine Diät einhalten, der Kontrollgruppe zugeordnet.

Der Grund für eine Diät war mit „Krankheit“ anzugeben, sofern eine Diagnose vorlag oder eine Erkrankung vermutet wurde. Unter „unspezifische Symptomen“ wurden jene Personen zusammengefasst, die bspw. Unverträglichkeiten aufwiesen. Wenn ein Proband eine Diät nur aus Gründen eines Familienmitglieds oder im selben Haushalt lebenden Mitbewohners einhält, war der Punkt „Familienmitglied“ anzukreuzen.

Auch allgemeine Angaben zum Konsum von Brot sollten in die Beurteilung der Ergebnisse miteinfließen, wobei die Häufigkeit des Konsums sowie die Art der Backwaren und deren Bezugsquelle erhoben wurden.

Zuletzt sollte auch die Erfahrung der Probanden mit Chia erfasst werden. Die Konsumenten konnten zwischen den Antwortmöglichkeiten wählen, diese Früchte „bisher nicht gekannt“, davon „gelesen oder gehört“ bzw. diese „zuvor schon gegessen“ zu haben.

3.2.3 Sensorische Methoden

Je nach Zielsetzung und Fragestellung sollte zwischen zwei verschiedenen Methoden von sensorischen Prüfungen unterschieden werden, den analytischen und hedonischen Verfahren. In Kombination ergänzen sie sich sehr gut und runden das Wissen über ein Produkt ab [Busch-Stockfisch, 2002].

3.2.3.1 QDA

3.2.3.1.1 Prinzip einer QDA

Diese zu den analytischen Verfahren zählende objektive Prüfung soll persönliche Einflüsse und Meinungen weitgehend ausschließen. Die Aufgabe des Prüfers ist, die Prüfproben nach bestimmten Vorgaben zu untersuchen [Busch-Stockfisch, 2002].

Für die vorliegende Arbeit wurde eine Quantitative Deskriptive Analyse (QDA) ausgewählt. Dabei handelt es sich um eine deskriptive statische Prüfmethode, bei der das Produkt zu einem bestimmten Zeitpunkt beurteilt wird und heute die größte praktische Relevanz der beschreibenden Prüfungen aufweist [Derndorfer, 2012].

Im Unterschied zur Präferenzprüfung dient dieses quantitative sensorische Profil zur Beschreibung einer Probe, die sowohl Merkmalseigenschaften (qualitative Phase) als auch Werte für deren Intensität (quantitative Phase) umfasst [DIN 5492, 2008; Busch-Stockfisch, 2002].

Insgesamt wurden für diese Analyse 10 geschulte Prüfpersonen eingesetzt, wobei eine Anzahl von 10 bis 12 Prüfpersonen üblich ist [Stone und Sidel, 2012].

Die Intensität eines jeden Attributs wird auf einer Skala von 0 bis 10 bewertet [Hager et al., 2013]. Alle Testpersonen liefern dabei Einzelwerte, woraus letztlich pro Attribut der Mittelwert aller Prüfpersonen gebildet wird [Derndorfer, 2012]. Die graphische Darstellung dieser Ergebnisse wird auch als „Spiderweb“ bezeichnet [Stone und Sidel, 2012], welches auch für diese Arbeit (angeführt auf S. 76) erstellt wurde und dadurch ein direkter Vergleich der beiden analysierten Proben möglich ist.

3.2.3.1.2 Vorbereitung

Bevor die analytische Prüfung durchgeführt wurde, erfolgte die qualitative Beschreibung der Produkte. Gemeinsam mit den Panellisten wurde nach Begriffen gesucht, die die Charakteristika der beiden Brote beschreiben. Dazu wurden beide Proben verkostet, die Attribute notiert und mit der Literatur verglichen [Busch-Stockfisch, 2002]. Letztlich wurden diese in einer Liste zusammengefasst, welche in der Tabelle 5 (ab S. 40) angeführt ist. Diese wurde dem Panel sowohl bei der Schulung als auch bei der QDA vorgelegt.

Damit eine Standardisierung erfolgt, d.h. dass bei der analytischen Prüfung jede Prüfperson z.B. unter der Definition eines jeden Attributs dasselbe versteht, sollte in die Schulung der Panellisten viel Zeit investiert werden. Diese ermöglicht auch, dass nach Durchführung der Prüfung zwischen sensorischen und mechanischen Texturanalyse-Methoden ein objektiver Zusammenhang hergestellt werden kann [Sasaki et al., 2010; Roudaut et al., 2002].

Allgemein versteht man unter dem Begriff der Schulung eine Reihe von Sitzungen, bei dem das Panel über die Aufgaben informiert wird, das es bei der sensorischen Beurteilung bestimmter Prüfmaterialien zu erfüllen hat. Dazu können relevante Produkteigenschaften, genormte Bewertungsskalen, Auswertungsverfahren und Terminologie gehören [DIN 5492, 2008].

Um v.a. den Umgang mit der Skala und die Beurteilungstechniken der wichtigsten Texturattribute zu trainieren, wurde die Schulung mit insgesamt 34 Personen durchgeführt. Laut *DIN 10961 (1996)* sollten etwa 30 Personen daran teilnehmen, damit mindestens 10 geschulte Prüfpersonen für die Prüfung zur Verfügung stehen.

Murray et al. (2001) zogen aus ihrer Übersichtsarbeit die Schlüsse, dass Schulungen, die sich auf eine Produktklasse beziehen und Referenzlebensmittel heranziehen, die Ergebnisse eines deskriptiven Panels verbessern. Bei den Referenzen sollte es sich um lokal verfügbare und den Prüfpersonen vertraute Lebensmittel handeln, um als effektives Training der Skalen für die einzelnen Attribute zu dienen [Cui et al., 2011].

Im Zuge einer produktspezifischen Schulung wurden die Referenzlebensmittel für jede einzelne Merkmalseigenschaft verkostet. In Tabelle 6 (ab S. 44) sind Letztere

sowie die verwendeten Referenzlebensmittel inkl. der Marke/Art, Hersteller, Temperatur und Beispielgröße angeführt. Pro Attribut wurden die Definition und die Beurteilungstechnik erläutert sowie alle Referenzen in dessen aufsteigender Intensität ausgetestet. Anschließend sollten die Prüfpersonen beide Brote mit und ohne Chia verkosten.

Die ab S. 49 angeführte Tabelle 7 wurde dabei zur Verfügung gestellt, damit die Teilnehmer Werte von 0 bis 10 für die Intensität pro Attribut und Probe eintragen konnten [Hager et al., 2013].

Tabelle 5: Liste der zu beurteilenden Attribute inkl. deren Definitionen.

Attribut	Definition Deutsch	Definition Englisch	Literaturstelle
AUSSEHEN			
KRUSTE			
Farbe	Intensität der Krusten- bzw. Krumen farbe nach dem Backen (weiß bis braun bzw. gelb) ¹	Intensity of crust/crumb color after baking (whitish to brownish/ yellow)	Sabanis und Tzia, 2011; Morais et al., 2014
KRUME			
GERUCH (inkludiert nur die pronasale Wahrnehmung)			
Allgemeiner Geruch	Intensität des allgemeinen Geruchs	Degree of perceived intensity of overall odor of the sample	Bassett et al., 2014
Geruch von Getoastetem	Geruch von Brot und Krume nach dem Backen	The odor impression of bread and crumb after baking	Bassett et al., 2014
Geruch von Hefe	Geruch von Hefe	Characteristic aroma of yeast fermentation perceived by smell	Morais et al., 2014
Geruch von Brot	Geruch von traditionellem Brot	Traditional bread odor	Morais et al., 2014
Geruch von Brotgewürz	Geruch von Brotgewürz (Kümmel, Fenchel, Koriander)	Aroma of clove and/or anise	Ledderhof et al., 2014
GESCHMACK			
Süß	Grundgeschmacksart; Geschmack der Saccharose-Lösung (Standardlösung: 6 g Saccharose/L)	A basic taste factor produced by sugars	Sabanis und Tzia, 2011; DIN 10961
Salzig	Grundgeschmacksart; Geschmack der NaCl- Lösung (Standardlösung: 1,3 g Natriumchlorid/L)	A basic taste factor produced by sodium chloride	Sabanis und Tzia, 2011; DIN 10961
Sauer	Grundgeschmacksart; Geschmack der Zitronensäure-Lösung (Standardlösung: 0,4 g Zitronensäure/L)	A basic taste factor produced by acids	Sabanis und Tzia, 2011; DIN 10961
Bitter	Grundgeschmacksart; Geschmack der Koffein-Lösung (Standardlösung: 0,3 g Koffein/L)	Fundamental taste sensation of which caffeine or quinine are typical; usually caused by over-roasting	Bassett et al., 2014; DIN 10961

FLAVOUR (inkludiert das retronasale Riechen)				
KRUSTE	Flavour von Getoastetem	Flavour von geröstetem/getoastetem Brot	Typical flavor associated with a toasted bread (evaluated on the crust)	Sabanis und Tzia, 2011
	Allgemeines Flavour	Allgemeines Flavour der Brotrume während des Kauens	Intensity of overall flavour of bread crumb while chewing	Nkhabutlane et al., 2014
	Flavour von Mais	Flavour von gekochtem Mais	Intensity of flavour characteristic of cooked maize meal	Nkhabutlane et al., 2014
	Flavour von Reis	Flavour von gekochtem Reis	Flavor of raw or cooked grain/rice	Prakash et al., 2005
KRUME	Flavour von Brotgewürz	Flavour von Brotgewürz (Kümmel, Fenchel, Koriander)	Aroma of clove und/or anise	Ledderhof et al., 2014
	Flavour von Kartoffeln	Flavour von gekochten Kartoffeln	Flavor und aftertaste of boiled potato	N'Kouka et al., 2004
	Flavour von Sonnenblumenkernen	Flavour von Sonnenblumenkernen	Odour or taste reminiscent sunflower seeds	Bendini et al., 2011
	Flavour von Hefe	Flavour von Hefe (Standard: 2 g Hefepulver/ 100 mL Wasser)	Characteristic flavor of yeast	Morais et al., 2014
NACHGESCHMACK				
	Nachgeschmack	Intensität des Nachgeschmacks (1 Minute nach dem Schlucken beurteilt)	The intensity of flavor left in mouth after swallowing (15 or 30 sec)	Ivanovski et al., 2012; Chang und Chambers, 1992
TEXTUR/ MUNDFÜHL				
	Knusprigkeit (Mit den Fingern)	Art des Zerbrechens, wenn die Probe mit den Fingern zerbrochen wird (nicht knusprig d.h. Probe biegt sich bis sehr knusprig d.h. Probe zerbricht)	The way the crust fracture when broken by fingers	Adaptiert an: Sabanis und Tzia, 2011
KRUSTE	Knusprigkeit (Oral)	Empfundene Kraft, mit der das Produkt mit einem einzigen Bissen mit den Schneidezähnen in Stücke geteilt wird (wenig knusprig d.h. wenig Kraft bis sehr knusprig d.h. viel Kraft erforderlich)	The perceived force with which the product separates into two or more distinct pieces during a single bite with the incisors. An abrupt und complete failure of the product is required	Barrett et al., 1994

KRUME

Krümeligkeit (Mit den Fingern)	Menge der gebildeten Krümeln, wenn man mit dem Zeigefinger 3 Mal auf der Probenoberfläche abwärts streicht (wenig krümelig d.h. wenige Krümel bis stark krümelig d.h. viele Krümel bilden sich)	Evaluation of the amount of crumbles produced after rubbing half a slice three times in a downward direction, using the index finger	Gámbaro et al., 2002
Krümeligkeit (Oral)	Menge der Partikel im Mund während des Kauens (wenig krümelig d.h. wenige Krümel bis stark krümelig d.h. viele Krümel bilden sich)	Amount of fine particles during mastication	Therkildsen et al., 2011
Härte (Mit den Fingern)	Benötigte Kraft, um die Brotscheibe mit einem Finger gegen eine flache Oberfläche zu drücken (wenig hart d.h. wenig Kraft bis sehr hart d.h. viel Kraft erforderlich)	Force necessary to completely compress the slice on a flat surface with one finger	Gámbaro et al., 2002
Härte (Oral)	Benötigte Kraft, um die Probe zwischen den Backenzähnen zu zerbeißen (wenig hart d.h. wenig Kraft bis sehr hart d.h. viel Kraft erforderlich)	Force required to compress the sample between the molar teeth	Morais et al., 2014
Elastizität (Mit den Fingern)	Fähigkeit der Probe nach Ausüben von Druck mit dem Finger wieder in den Ausgangszustand zurückzu-kehren (wenig elastisch d.h. "langsam und teilweise" bis sehr elastisch d.h. "schnell und komplettes Wiedererlangen des Ausgangszustands")	Ability of the crumb to recover from compression exerted by fingers (Slow und partial recovery - fast und complete recovery)	Sabanis und Tzia, 2011
Elastizität (Oral)	Kraft, mit der die Probe nach Zusammendrücken zwischen Zunge und Gaumen wieder in den Ausgangszustand (Größe/Form) zurückkehrt (wenig elastisch d.h. "langsam und teilweise" bis sehr elastisch d.h. "schnell und komplettes Wiedererlangen des Ausgangszustands")	Force with which the sample returns to its original size/shape, after partial compression (without failure) between the tongue and the palate (Slow und partial recovery - fast und complete recovery)	Lawless und Heymann, 2010; Seite 272; Sabanis und Tzia, 2011

KRUME	Kohäsivität (Mit den Fingern)	Leichtigkeit, mit der die Masse aus dem Zentrum der Krume für 5 Sekunden in einen Ball geformt werden kann (Keine Kohäsivität d.h. sehr leicht formbar bis starke Kohäsivität d.h. wenig leicht formbar)	Ease of kneading the crumb into a ball for 5 seconds, using a piece of crumb from the center slice	Gámbaro et al., 2002
	Kohäsivität (Oral)	Ausmaß indem ein Produkt verformt werden kann, bevor es zerbricht [Borderias et al., 1983]. (Sehr leicht formbar d.h. locker bis wenig formbar d.h. fest)	The degree to which chewed sample holds together in a mass	Sabanis und Tzia, 2011
	Adhäsivität zum Gaumen (Oral)	Benötigte Kraft, um mit der Zunge die Probe wieder gänzlich vom Gaumen zu lösen (wenig Kraft d.h. klebt wenig bis viel Kraft d.h. klebt sehr gut am Gaumen)	Necessary force to completely remove the sample to the palate using tongue	Morais et al., 2014
	Saftigkeit (Oral)	Flüssigkeitsmenge, die während der ersten beiden Bisse von der Probe abgegeben wird (wenig saftig bis sehr saftig)	The amount of liquid expressed from the sample during the first and second chews	Otremba et al., 2000
	Kaubarkeit (Oral)	Erforderliche Anzahl an Kaubewegungen, um 1/4 einer Brotscheibe (ohne Kruste) in einen schluckbaren Zustand zu bringen (wenige Kaubewegungen bis viele Kaubewegungen erforderlich)	Number of chews necessary to swallow 1/4 of a slice without crust	Gámbaro et al., 2002

Wenn keine Ankerpunkte für die Skala angegeben sind, dann sind diese von **0 (nicht wahrnehmbar) bis 10 (sehr stark wahrnehmbar)** zu bewerten.

¹ Das Farbspektrum für das Referenzbrot (gelbe Farbe) erstreckt sich von weiß bis dunkelgelb, jenes für das Chiabrot (braune Farbe) erstreckt sich von weiß bis dunkelbraun.

Tabelle 6: Liste der Referenzlebensmittel für die produktspezifische Schulung.

Attribut	Referenzlebensmittel (aufsteigende Intensität des Attributs)	Marke/ Art (Hersteller); Temperatur	Beispielgröße	Literatur
Farbe	Tramezzone (weiß)	Tramezzone mit Olivenöl (Roberto)	1 Stück	modifiziert nach: Lotong et al., 2000
	Brauner Zucker ¹ (hellbraun)	Brauner Zucker (Wiener Zucker)	1 Teelöffel	
	Maismehl ² (hellgelb)	Bio Maismehl (Nestelberger)	1/4 Teelöffel	
	Pumpernickel (dunkelbraun)	Mestemacher Pumpernickel	1 Stück	
	Zitronenschale (dunkelgelb)	Zitrone ganz		
Allgemeiner Geruch/ Flavour	Wasser	Leitungswasser	50 mL	Morais et al., 2014
	Apfel ³	Apfel ganz	1 cm großes Stück	Harker et al., 2002
Geruch/Flavour von Getoastetem	Ungetoastetes Weißbrot ⁴	Billa Sandwich Extra Weich (Billa)	Würfel (1,5 cm)	Byrne et al., 2002
	Getoastetes Weißbrot	Billa Sandwich Extra Weich (Billa)		
Geruch/Flavour von Hefe	Wasser	Leitungswasser	50 mL	Morais et al., 2014
	2 g Hefepulver/100 mL Wasser ²	Trockengerst (Dr. Oetker Germ)	10 mL	
Geruch von Brot	Wasser	Leitungswasser	50 mL	Morais et al., 2014
	Traditionelles Brot	Hausbrot (frisch, Billa)	Würfel (1,5 cm)	
Geruch/Flavour von Brotgewürz	Wasser	Leitungswasser	30 mL	Morais et al., 2014
	Brotgewürz ²	gemahlen (Sonnentor)	1/4 Teelöffel	Ledderhof et al., 2014
Süß	Wasser	Leitungswasser	50 mL	Morais et al., 2014
	Standard: 4 g Saccharose/L	(Wiener Zucker) ⁵		DIN 10961
Salzig	Wasser	Leitungswasser	50 mL	Morais et al., 2014
	Standard: 0,9 g Natriumchlorid/L	Kristallsalz fein und jodiert (Bad Ischler) ⁵		DIN 10961

Sauer	Wasser	Leitungswasser	50 mL	Morais et al., 2014
	Standard: 0,3 g Zitronensäure/L	Zitronensäure kristallin (Haas)		DIN 10961
Bitter	Wasser	Leitungswasser	50 mL	Morais et al., 2014
	Standard: 0,125 g Koffein/L			DIN 10961
Flavour von Mais	Wasser	Leitungswasser	50 mL	Morais et al., 2014
	Maismehl ²	Bio Maismehl (Nestelberger)	1/4 Teelöffel	Nkhabutlane et al., 2014
Flavour von Reis	Wasser	Leitungswasser	50 mL	Morais et al., 2014
	Reismehl ²	Reismehl fein gemahlen (Holo)	1/4 Teelöffel	Prakash et al., 2005
Flavour von Kartoffeln	Wasser	Leitungswasser	50 mL	Morais et al., 2014
	Kartoffelpüree-Pulver ²	Bio Kartoffelpüreepulver (Holo)	½ Teelöffel	N'Kouka et al., 2004
Flavour von Sonnenblumenkernen	Wasser	Leitungswasser	50 mL	Morais et al., 2014
	Sonnenblumenkerne ²	Bio Sonnenblumenkerne (Holo)	1/4 Teelöffel	Bendini et al., 2011
Allgemeiner Nachgeschmack	Wasser	Leitungswasser	50 mL	Morais et al., 2014
	Apfelsaft	Österr. Apfelsaft klar (Billa)		Bleibaum et al., 2002
Elastizität	Weichkäse	Camembert (Sirius)	Würfel (1cm)	Lawless und Heymann, 2010
	Marshmallow	Chamallows Mallow Mania (Haribo)		
	Kaugummi	Dragee Peppermint (Orbit)	1 Stück	DIN 5492

Härte	Frischkäse (Philadelphia)	Natur Doppelrahm (Kraft Foods); 7-13 ° C	1 Teelöffel	Chauvin et al., 2009
	Eiweiß	Hartgekochtes Ei	1 cm großes Stück	
	Frankfurter Würstchen, roh	Puten Frankfurter, ohne Haut (Clever); 10 – 18 ° C	Würfel (1cm)	
	Mittelharter Käse	Emmentaler (Woerle); 10 – 18 ° C	1 Olive	
	Olive	wurden entkernt (Illiada Kalamata)	1 Nuss	
	Erdnüsse	Jumbo Erdnüsse, aus der Dose (Clever)	1 cm großes Stück	
	Rohe Karotte	Frisch, ungekocht	1 Mandel	
	Mandeln	Salzmandeln geröstet, gesalzen (Lorenz)	1 Stück	
	Kandiszucker	(Wiener Zucker)		
Krümeligkeit	Weichkäse (Camembert)	Camembert (Sirius); 7 – 13 ° C		modifiziert nach: Escobar et al., 2011; Chauvin et al., 2009
	Emmentaler	Emmentaler (Woerle); 7 – 13 ° C	Würfel (1cm)	
	Feta Käse	Feta natur (Patros); 7 – 13 ° C		
Saftigkeit	Biskotten	Eierbiskotten (Clever)		De Huidobro et al., 2005
	Banane			
	Apfel		1 cm großes Stück	
	Orange			
	Wassermelone			
Kohäsivität	Kuchen ⁵	Marmorblock (Jomo)	Würfel (1,5 cm)	Lawless und Heymann, 2010
	Trockenfrüchte (Rosinen)	Rosinen (Billa)	½ Teelöffel	
	Kaugummi	Dragee Peppermint (Orbit)	1 Stück	

Adhäsivität zum Gaumen	Butter	Teebutter (NÖM); 7 - 13 ° C	1/4 Teelöffel	Chauvin et al., 2009
	Schmelzkäse	Schmelzkäse Eckerl (Clever); 7 - 13 ° C	Würfel (1cm)	
	Frischkäse (Philadelphia)	Natur Doppelrahm (Kraft Foods); 7 - 13 ° C	½ Teelöffel	
	Marshmallow	Chamallows Mallow Mania (Haribo); 7 - 13 ° C	1 Stück	
	Erdnussbutter	Cremige Erdnussbutter (Skippy); 7 - 13 ° C	½ Teelöffel	
Kaubarkeit	Weißbrot	Billa Sandwich Extra Weich (Billa)	Würfel (1,5 cm)	Chauvin et al., 2009
	Frankfurter Würstchen, roh	Puten Frankfurter (Clever); 10 – 18 ° C		
	Fruchttröpfchen	Fruchttröpfchen (Billa)	2 Stück	
	Fruchtgummi	Sour Scoox (Fascini)	1 cm großes Stück	
	Karamell	Caramel Minis (Clever)	½ Stück	
	Maoam (Kaubonon)	Maoam (Haribo)		
Knusprigkeit	Tramezzone ⁶	Tramezzone mit Olivenöl (Roberto)	Würfel (1,5 cm)	Chauvin et al., 2008
	Choco Krispies ⁶	Choco Krispies XXL (Kellogg's)	1 Teelöffel	
	Butterkeks ⁶	Leibnitz Butterkeks (Bahlsen)	½ Stück	
	Tortilla Chips	Tortilla Chips Salz (Chio)	1 Stück	

¹ Das Tramezzone-Brot entspricht der Intensitätsstufe Null (auf beiden Farbskalen), Maismehl bzw. Zitrone (auf der gelben Farbskala) sowie brauner Zucker bzw. Pumpernickel (auf der braunen Farbskala) der Intensitätsstufe 5 bzw. 10.

² Entsprechen den Zutaten, die für die analysierten Brote verwendet wurden. Anstatt der gekochten Kartoffeln wurde das Kartoffelpüree-Pulver für die Schulung herangezogen. Da Reis- und Maismehl und Maisstärke in der Universalbackmischung in den analysierten Broten eingesetzt wurde, wurde jeweils bei der Schulung reines Reis- sowie Maismehl eingesetzt. Die Literaturstelle bezieht sich zwar nur auf den Geruch von Brotgewürz, es sollte jedoch der Vollständigkeit halber auch das Flavour von Brotgewürz untersucht werden.

³ Analog für das allgemeinen Flavour für Äpfel, wurde auch der allgemeine Geruch von Äpfeln beschrieben.

⁴ Als Vergleichsprodukt (Intensität 0) wurde ein nicht getoastetes Lebensmittel herangezogen, da die Intensitätsstufe 10 einem getoasteten Produkt entspricht.

⁵ Analog für Maismuffins, wurde ein flaumiger Kuchen herangezogen.

⁶ Da Rice Krispies der Intensitätsstufe 2 entsprechen, wurde zusätzlich ein Lebensmittel mit der Intensität 0 ausgewählt (Tramezzone); Rice Krispies treats entsprechen am ehesten Kellogg's Choco Krispies sowie Multigrain mini rice cakes den Leibnitz Keksen [modifiziert an Chauvin et al. 2008].

Anmerkung: Bei allen Produkten, die eine spezifische Temperatur für die Verkostung erfordern, ist diese konkret angegeben. Alle anderen Produkte wurden bei Raumtemperatur dargereicht. Die Beispielgrößen wurden von *Chauvin et al. (2009)* übernommen, für flüssige Lebensmittel wurden beliebig 50 mL angenommen (ausreichende Menge, die einige wenige Schlucke für die Analyse ermöglicht).

Bei der Schulung wurden den Panellisten beide Proben (mit und ohne Chia) als Referenzen zur Verfügung gestellt.

Tabelle 7: Tabelle, in die die Panellisten bei jedem Attribut für die Intensität einen Wert von 0 bis 10 eintragen sollten [adaptiert an ASTM (1992)].

	Ohne Chia	Mit Chia
I. AUSSEHEN		
Farbe der KRUSTE (beide braun [*])		
Farbe der Krume (gelbe bzw. braun [*])		
[*] Das Referenzbrot (gelbe Farbe) sollte von weiß bis dunkelgelb auf der <u>gelben Farbskala</u> bzw. das Chiabrot (braune Farbe) von weiß bis dunkelbraun auf der <u>braunen Farbskala</u> beurteilt werden.		
II. GERUCH		
Allgemeiner Geruch		
Geruch von Getoastetem		
Geruch von Hefe		
Geruch von traditionellem Brot		
Geruch von Brotgewürz		
III. GESCHMACK		
Süß		
Salzig		
Sauer		
Bitter		
IV. FLAVOUR		
KRUSTE: Flavour von Getoastetem		
Allgemeines Flavour		
Flavour von Mais		
Flavour von Reis		
Flavour von Brotgewürz		
Flavour von Kartoffeln		
Flavour von Sonnenblumenkernen		
Flavour von Hefe		
V. NACHGESCHMACK		
Allgemeiner Nachgeschmack		

Fortsetzung Tabelle 7.

	Ohne Chia	Mit Chia
VI. TEXTUR/ MUNDGEFÜHL		
KRUSTE: Knusprigkeit (Finger)		
KRUSTE: Knusprigkeit (Oral)		
Krümeligkeit (Finger)		
Krümeligkeit (Oral)		
Härte (Finger)		
Härte (Oral)		
Elastizität (Finger)		
Elastizität (Oral)		
Kohäsivität (Finger)		
Kohäsivität (Oral)		
Adhäsivität (Oral)		
Saftigkeit (Oral)		
Kaubarkeit (Oral)		

3.2.3.1.3 Durchführung

Vor der Analyse wurden dem Panel die Definitionen der einzelnen Attribute inkl. der Referenzlebensmittel und die Beurteilungstechniken nochmals in Erinnerung gerufen. Zusätzlich wurde ihnen erneut die Attributenliste ausgehändigt (angeführt in der Tabelle 5 ab S. 40).

Aufgrund der geringen Anzahl der Panellisten sind bei allen analytischen Prüfungen Wiederholungen essentiell [Stone und Sidel, 2012], wobei im Zuge der vorliegenden Arbeit 2 Durchgänge durchgeführt wurden. Analog zu *Loredo und Guerrero (2011)* wurden diese im Sensorik-Labor bei weißem Licht und kontrollierten Umgebungsbedingungen abgehalten und den Prüfpersonen ein Becher in der Kabine zur Verfügung gestellt, damit sie zwischen den Proben den Mund mit Leitungswasser neutralisieren konnten. Modifiziert an die Studie von *Steffolani et al. (2014)* wurden die Proben anstatt auf Plastik-, auf weißen Porzellantellern dagereicht. Die Proben wurden jeweils mit einem zweiten Teller zugedeckt, um v.a. die Abnahme der Geruchsintensität zu verhindern.

3.2.3.2 Akzeptanz- und Präferenzprüfung

3.2.3.2.1 Prinzip der hedonischen Prüfungen

Hedonische Prüfungen sind subjektive Methoden, bei der ungeschulte Konsumenten ihre persönliche Einstellung und Meinung zu den Prüfproben abgeben sollten. Im Vordergrund stehen ihre Vorlieben und Bedürfnisse.

Es gibt zwei Arten von hedonischen Prüfungen, Akzeptanz- und Präferenzprüfungen [Busch-Stockfisch, 2002]. Für die vorliegende Arbeit wurden beide ausgewählt und in einen Fragebogen integriert (siehe im Kapitel 9.1 ab S. 120).

Der Akzeptanztest untersucht den Grad des Gefallens von Produkten [Busch-Stockfisch, 2002] und wurde anhand einer hedonischen Skala von 1 bis 9 mit Ankerpunkten von „extrem schlecht“ bis „extrem gut“ bewertet. Anhand dessen wurde die Gesamtakzeptanz von jedem Produkt separat bewertet, wobei die Konsumenten das Produkt als Ganzes beurteilen sollten [Stone und Sidel, 2012].

Laut *Moskowitz (1997)*, der einen Akzeptanztest mit 40 bis 50 Prüfpersonen durchführte, ist diese Anzahl ausreichend, um die mittlere Akzeptanz der Prüfproben zu ermitteln. Daher wurde eine Mindestanzahl in diesem Ausmaß für jeweils beide Gruppen (mit Zöliakie oder Kontrolle) definiert, was auch erreicht werden konnte.

Auch die Bereitschaft, das jeweilige Brot käuflich zu erwerben, sollte analog zur Studie von *Heiniö et al. (1997)* mit derselben Skala ermittelt werden.

Als Präferenzprüfung wird eine Prüfung bezeichnet, mit deren Hilfe zu beurteilen ist, welche von zwei oder mehreren Proben bevorzugt wird [DIN 5492, 2008]. Im Zuge der vorliegenden Arbeit sollten die Konsumenten angeben, ob sie entweder das Brot mit oder ohne Chia präferierten.

Eine Schulung der Prüfpersonen war in diesem Fall nicht erforderlich, da wie bei allen affektiven Tests eine subjektive Beurteilung erfolgen sollte [DIN 10961, 1996; Stone und Sidel, 2012].

3.2.3.2.2 Durchführung

Den Probanden wurde zuerst der Fragebogen ausgehändigt. Vorab wurden alle Fragen bspw. zur Verständlichkeit der Fragestellung oder den Antwortmöglichkeiten geklärt. Auch die neunstufige Skala wurde vor der Probenausgabe erläutert, um deren falsche Interpretation zu vermeiden.

Bei beiden hedonischen Prüfungen wurden 1 cm dicke Scheiben beider Brote simultan d.h. gleichzeitig dargereicht, da hier ein direkter Vergleich für die Beurteilung des Unterschieds zwischen den Proben erforderlich war [Lotong et al., 2000; Sabanis und Tzia, 2011].

3.2.3.3 Ort der Prüfungen

Alle analytischen Prüfungen sowie die Schulungen fanden im Sensorik-Labor des Departments für Ernährungswissenschaften der Universität Wien statt, das nach *DIN 8589 (2010)* ausgestattet ist. Dabei wurde auf die Standardisierung der Bedingungen geachtet z.B. wurde das Licht immer eingeschaltet und die Fenster und Türen geschlossen.

Die hedonischen Tests hingegen wurden an verschiedenen Orten durchgeführt, da es schwierig war, v.a. eine große Anzahl an Zöliakieprobanden zu erreichen. Diese nahmen im Rahmen von Gruppentreffen an den Verkostungen z.B. in Krankenhäusern teil.

Es wurde bei beiden Arten der sensorischen Prüfung immer auf möglichst geringe Außeneinflüsse geachtet, sodass bspw. alle Konsumenten die Verkostung einzeln und unbeeinflusst von anderen Verkostern durchführen konnten.

3.2.4 Instrumentelle Methoden

3.2.4.1 Prinzip der rheologischen Messung

Rheologie ist eine physikalische Disziplin. Sie wird als die Wissenschaft der Deformation (einschließlich des Fließens) flüssiger und fester Körper unter der Einwirkung mechanischer Kräfte definiert. Ein Teilgebiet der Rheologie stellt die Texturanalyse dar. Auch bei alltäglichen Mahlzeiten werden Lebensmittel durch Beißen, Kauen und Schlucken deformiert [Tscheuschner, 2004; Zhong und Daubert, 2013].

Um die Eigenschaften der Proben während der Lagerung nicht nur sensorisch zu beurteilen, wurden auch instrumentelle Texturmessungen durchgeführt. Die anschließend ermittelte Korrelation zwischen sensorischer Wahrnehmung und instrumentellen Messungen dient bspw. der Qualitätskontrolle [Gómez et al., 2003; Szczesniak, 1987].

Für die Untersuchung der Textur bspw. von Backprodukten wird häufig die Textur-Profil-Analyse (TPA) ausgewählt. Dabei wird durch die zweifache Kompression der Kau- bzw. Beißvorgang des Konsumenten simuliert. Dessen großer Vorteil ist, dass in nur einem Experiment eine große Bandbreite an Texturparametern gemessen werden kann [Chen und Opara, 2013; Huidobro et al., 2005]. In diesem Fall wurden Härte, Elastizität, Kohäsivität, Adhäsivität und Kaubarkeit mithilfe des „Texture Analysers TA.XT Plus“ (Stable Microsystems, Surrey, UK) und dem dazugehörigen Programm „Texture Expert“ (Version 1.22_de) untersucht.

3.2.4.2 Vorbereitung

Als Aufsatz für den „Texture Analyser“ wurde ähnlich zur Studie von *Nunes et al. (2009)* ein 36 mm breiter, flacher Zylinder aus Aluminium (SMS P/36R) gewählt.

Die ersten Messungen erfolgten am „Tag 1“ nach dem Abkühlen der beiden Proben. Dabei ergab sich eine Zeitspanne von ca. 3 Stunden zwischen der Entnahme aus dem Backofen und der TPA [Ronda und Roos, 2011].

Um den Effekt der Lagerung zu untersuchen, erfolgten die weiteren Analysen ähnlich der Studien von *Hager et al. (2014)* und *Purhagen et al. (2012)* nach 24 („Tag 2“), 48 („Tag 3“) bzw. 72 Stunden („Tag 4“) nach dem Backen. Beide Brote wurden bei konstanter Umgebungstemperatur bei ca. 20°C gelagert [Gámbaro et al., 2002].

3.2.4.3 Durchführung

Bei den Probenahmen sollte darauf geachtet werden, dass nur Stücke aus der Mitte der Brotscheibe (Krume) ohne Kruste herausgeschnitten werden. Der Grund hierfür ist, dass im Bereich der Kruste z.B. ein geringerer Feuchtigkeitsgehalt auftritt als im Vergleich zur Krume und somit die Ergebnisse verändern würde. Analog zur Studie von *Purhagen et al. (2012)* wurde die Kruste als der äußere Rand mit 1 cm Dicke definiert [Hüttner et al., 2010; Cauvain und Young, 2009].

Die ersten drei Scheiben eines jeden Endes der Brote wurde verworfen. Um die ungleichmäßige Oberfläche der Proben auszugleichen, wurden diese in Würfel geschnitten [Gámbaro et al., 2002; Chen und Opara, 2013].

Ähnlich wie die Autoren *Jaworska und Bernas (2010)* wurden die Probenmaße 30 x 30 x 20 mm (Länge x Breite x Höhe) gewählt. Um bei den Probenahmen eine Standardisierung zu gewährleisten, wurde eine Säge verwendet und zusätzlich das Brot in einen Metallrahmen gelegt, der exakt nach 2 bzw. 3 cm einen Schlitz aufwies. Dadurch konnten die Brote exakt an dieser Stelle symmetrisch durchgesägt werden. Kurz vor dem Start der Messung wurden jeweils 3 Brotscheiben und daraus wiederum 15 Würfelstücke zugeschnitten. Analog zu *Gómez et al. (2003)* konnten nach der Messung davon die fünf größten Ausreißer gestrichen und der Mittelwert aus den restlichen 10 Messungen gebildet werden.

Die Einstellungen wurden analog zu den Studien von *Hüttner et al. (2010)* und *Nunes et al. (2009)* durchgeführt. Die Vortest-, Test- sowie Posttest-Geschwindigkeit betrug 2 mm/sec. Die Auslöse-Kraft wurde mit 20 g sowie die Kompression mit 40% festgelegt. Die Wartezeit zwischen den beiden Kompressionszyklen betrug 5 sec. Sobald diese Einstellungen erfolgten, konnte die Messung gestartet werden.

Nach der Analyse wurden die Ergebnisse für die Härte in Newton (N) zuerst von g in kg umgerechnet. Da 1 kg_{Kraft} gleichzusetzen ist mit 9,80665 N, wurde die Härte in kg mit 9,80665 multipliziert [Langeheinecke et al., 2013].

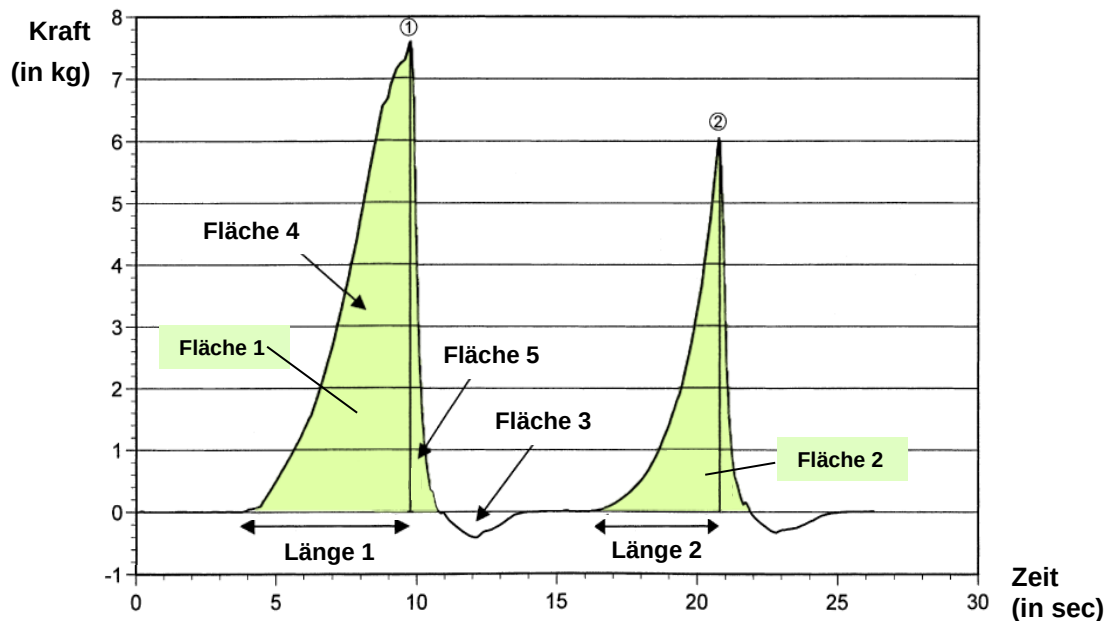


Abbildung 6: Kraft-Zeit-Diagramm mit 2 Zyklen, woraus die Parameter der Textur-Profil-Analyse berechnet werden [Caine et al. (2003)].

Die Parameter für die Textur-Profil-Analyse werden wie folgt abgelesen bzw. berechnet:

- *Härte* ist definiert als die maximale Kraft während der ersten Kompression („erster Biss“); siehe dazu in der oben angeführten Abbildung 6 unter ①.
- *Kohäsivität* ist definiert als das Verhältnis der positiven Flächen der zweiten zur ersten Kompression ($\text{Fläche 2} / \text{Fläche 1}$).
- *Adhäsivität* ist definiert als die negative Fläche beim ersten Bissen entsprechend der verrichteten Arbeit, die erforderlich ist, damit sich der Stempel (des „Texture Analysers“) wieder von der Probe lösen kann (Fläche 3).
- *Elastizität* ist definiert als die Höhe, die die Probe wieder erreicht, beurteilt nach dem ersten und vor dem zweiten Bissen ($\text{Länge 2} / \text{Länge 1}$).
- *Kaubarkeit* ist das Produkt, das aus den Parametern Härte, Kohäsivität und Elastizität gebildet wird.

[Bourne, 1978; Pons und Fiszman, 1996; Caine et al., 2003].

3.2.5 Statistische Auswertung

Für jegliche statistischen Auswertungen wurde das Programm SPSS (Version 22) herangezogen. Es wurde stets ein α -Fehler von 5% gewählt, um statistisch signifikante Unterschiede zu überprüfen. Die Interpretation des Signifikanzniveaus erfolgte analog zu Zöfel (2003), siehe dazu die unten angeführte Tabelle 8.

Da immer nur 2 Gruppen verglichen wurden (Brot mit und ohne Chia), wurde bei Normalverteilung (mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test überprüft) ein t-Test für unabhängige oder abhängige Stichproben durchgeführt. Wenn diese nicht gegeben war, wurden nicht parametrische Tests angewandt. Im letzteren Fall wurde der Mann-Whitney-U-Test bei unabhängigen bzw. der Wilcoxon-Mann-Whitney-Test bei abhängigen Stichproben gewählt.

Die Grafiken wurden mit SPSS als auch mit Excel 2010 erzeugt.

Tabelle 8: Signifikanzstufen [Zöfel (2003)].

	Interpretation	Abkürzung
$p \leq 0,05$	Signifikant	*
$p \leq 0,01$	Sehr signifikant	**
$p \leq 0,001$	Höchst signifikant	***

Für die Korrelationen zwischen den sensorisch beurteilten Attributen sowie zwischen den sensorischen und instrumentellen Daten, wurde der Korrelationskoeffizient nach Pearson berechnet. Die Interpretation dieses Koeffizienten ist in Tabelle 9 angeführt.

Tabelle 9: Einstufung des Korrelationskoeffizienten [Zöfel (2003)].

Korrelationskoeffizient	Einstufung
$ r \leq 0,2$	Sehr geringe Korrelation
$0,2 < r \leq 0,5$	Geringe Korrelation
$0,5 < r \leq 0,7$	Mittlere Korrelation
$0,7 < r \leq 0,9$	Hohe Korrelation
$0,9 < r \leq 1$	Sehr hohe Korrelation

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Berechnung der Backverluste

Die Differenz des vor und nach dem Backen gemessenen Gewichts entspricht dem Verlust des Wassers (siehe dazu Tabelle 10), der während dem Backprozess eintrat [Inglett et al., 2014a]. Die Fußnote 1 derselben Tabelle zeigt, dass für das „kleine“ Rezept 500 g bzw. für das „große“ Rezept 750 g Mehl (in Form der Backmischung) mit jeweils den restlichen Zutaten vermengt wurden. Daraus ergab sich nach dem Backprozess ein durchschnittliches Gewicht von 563 bzw. 1082 g bei der Kontrollprobe sowie 614 bzw. 1216 g bei der optimierten Probe mit Chia.

Tabelle 10: Gewicht (MW $\pm$ SD) der beiden untersuchten Brote vor und nach dem Backen inkl. des Gewichtsverlusts (in %, MW $\pm$ SD).

		Vor dem Backen	Nach dem Backen	Verlust (in %)
Ohne Chia	Kl. Rezept ¹	645 $\pm$ 3 g	563 $\pm$ 7 g	13 $\pm$ 1
	Gr. Rezept ²	1289 $\pm$ 2 g	1082 $\pm$ 9 g	16 $\pm$ 1
Mit Chia	Kl. Rezept ¹	689 $\pm$ 3 g	614 $\pm$ 5 g	11 $\pm$ 1
	Gr. Rezept ²	1378 $\pm$ 2 g	1216 $\pm$ 8 g	12 $\pm$ 1

Abkürzungen: MW... Mittelwert; SD... Standardabweichung

¹ Kl. Rezept... „kleines“ Rezept, bestehend aus 500 g Mehl (inkl. oder exkl. Chiamehl) und den restlichen Zutaten (Wasser, Kartoffelpüree-Pulver, Sonnenblumenkerne, Salz, Trockenhefe, Zucker, Sonnenblumenöl, Guarkernmehl, Lecithin, Brotgewürz).

² Gr. Rezept... „großes“ Rezept, bestehend aus 750 g Mehl (inkl. oder exkl. Chiamehl) und den restlichen Zutaten (siehe ¹).

Aus der Tabelle 10 ergibt sich auch, dass für die Kontrollprobe ein mittlerer Backverlust von 13 bzw. 16% nachweisbar war. Beim Chiabrot zeigten die Messungen im Durchschnitt eine Gewichts Differenz von 11 bzw. 12%. Mittels dem t-Test für unabhängige Stichproben war sowohl beim „kleinen“ ($p \leq 0,05$) als auch beim „großen“ Rezept ($p \leq 0,001$) ein signifikanter Unterschied im Backverlust zwischen beiden Prüfproben nachweisbar. Daraus kann man schließen, dass dieser durch die Zugabe von Chia verringert wurde. Dieses Erkenntnis wurde bereits in der Literatur beschrieben.

Die Autoren *Steffolani et al. (2014)* untersuchten in ihrer Studie 15% gemahlene und ganze Chia und kamen ebenfalls zu dem Schluss, dass Brote ohne den Früchten einen größeren Wasserverlust verzeichneten. Auch *Sabanis et al. (2009)* reicherten glutenfreie Brote mit diversen Ballaststoffen an. Letztere bewirkten durch deren Wasserbindungsvermögen einen geringeren Verlust dieser Zutat während der Lagerung.

Es sollte aber auch erwähnt werden, dass schon bei der Zubereitung des Chiabrot es mehr davon verwendet wurde, d.h. durch die Zugabe einer größeren Wassermenge Brote mit größeren Volumina resultierten. Auch wenn das Anfangsgewicht der optimierten Probe insgesamt höher war, so blieb diese Zutat in Form des Chia-Gels auch während dem Backprozess gebunden [McCarthy et al., 2005; Zettel et al., 2015].

Der t-Test zeigte auch, dass die Größe des Rezepts einen signifikanten Einfluss ($p \leq 0,05$) auf das Ausmaß der Gewichtsdivergenz hatte. Beim Vergleich der angegebenen Prozentsätze deuteten diese jeweils bei Broten des größeren Rezepts auf einen höheren Verlust hin als jene des kleineren.

Dies lässt sich durch einen Parameter erklären, den man durch die Division des Volumens durch das Gewicht des Teiges erhält. Es konnten höhere spezifische Volumina bei Broten des größeren Rezepts erzielt werden. Dadurch wiesen diese Proben eine größere Oberfläche auf, an der das Wasser verdunstete, was wiederum zu einem höheren Wasserverlust führte [Costantini et al., 2014; De la Hera et al., 2014].

4.2 Fragebogen

4.2.1 Charakteristika der Konsumenten

Es konnte für keine Variable ein signifikanter Unterschied der Charakteristika (siehe dazu Tabelle 11) zwischen den Zöliakieprobanden und der Kontrollgruppe festgestellt werden. Demnach waren deren Ergebnisse gut miteinander vergleichbar. Unterschiede zeigten sich nur bei den Angaben zur Einhaltung einer Diät bzw. den Gründen dafür, welche jedoch die Voraussetzung für die Zugehörigkeit zu einer der beiden Gruppen darstellte.

Insgesamt wurden 34 männliche Konsumenten befragt, wovon 14 den Zöliakieprobanden bzw. 20 der Kontrollgruppe zugeordnet wurden. Der Anteil der Frauen war mit 37 in der Klasse mit den Zöliakieprobanden und 56 Probanden in der anderen Gruppe deutlich höher.

Es konnten nur sehr wenige Personen befragt werden, die jünger oder gleich 19 Jahre (zwei Probanden) bzw. älter oder gleich 60 Jahre (21 Personen) waren. Mit 71 Personen machte die Gruppe der 20 bis 39- bzw. mit 33 Konsumenten die Gruppe der 40 bis 59- Jährigen den größten Anteil des Kollektivs aus.

Der Großteil der Probanden war normalgewichtig sowie nur eine geringe Anzahl unter-, übergewichtig bzw. adipös. Dabei zeigte sich kein signifikanter Unterschied in der Zugehörigkeit zu einer der BMI-Klassen zwischen den Zöliakiebetroffenen und der Kontrollgruppe.

Allgemein wies das gesamte Konsumentenkollektiv einen hohen Anteil an Nichtrauchern auf. Nur wenige Personen gaben an, selten, gelegentlich oder regelmäßig zu rauchen. Die Angaben zum Alkoholkonsum deuteten darauf hin, dass Zöliakiepatienten eher seltener oder gelegentlich, der Großteil der Vergleichsgruppe aber gelegentlich oder regelmäßig Alkohol konsumiert. Das Bewegungsausmaß wurde von beiden Gruppen jeweils mit gelegentlich oder regelmäßig eingeschätzt.

Bei der Einhaltung einer Diät zeigte sich, dass sich 51 Personen des Kollektivs rein oder teilweise glutenfrei ernähren und demnach als Zöliakieprobanden klassifiziert wurden. 49 Probanden hatten dafür eine konkrete Diagnose, eine Person gab an eine solche Erkrankung zu vermuten bzw. eine weitere, sich aufgrund dieser Erkrankung durch ein Familienmitglied glutenfrei zu ernähren. In der anderen Gruppe gaben 65 Konsumenten an keine bzw. 11 weitere eine andere Diät einzuhalten. Es

wiesen 9 Personen eine Diagnose für eine andere Erkrankung bzw. 3 Probanden unspezifische Symptome auf (siehe dazu Tabelle 11).

Tabelle 11: Vergleich der Charakteristika der Konsumenten (Zöliakieprobanden vs. Kontrollgruppe).

		Zöliakieprobanden (n = 51)	Kontrollgruppe (n = 76)
Geschlecht	männlich	14	20
	weiblich	37	56
Altersklasse	≤ 19 Jahre	2	0
	20-39 Jahre	16	55
	40-59 Jahre	21	12
	≥ 60 Jahre	12	9
BMI-Klasse ¹	Untergewicht	6	3
	Normalgewicht	32	56
	Übergewicht	13	17
Rauchen ²	Nie	43	54
	Seltener	4	10
	Gelegentlich	1	2
	Regelmäßig	3	10
Alkohol ²	Nie	7	4
	Seltener	18	11
	Gelegentlich	19	36
	Regelmäßig	7	25
Bewegung ²	Seltener	4	2
	Gelegentlich	11	18
	Regelmäßig	36	56
Diät	Keine Diät	0	65
	Glutenfreie Diät ³	51	0
	Andere Diät	0	11
Grund Diät	Krankheit	49	9
	Unspezifische Symptome ⁴	1	3
	Familienmitglied ⁵	1	0

¹ Untergewicht wurde definiert als BMI ≤ 18,4 kg/m², Normalgewicht als BMI-Bereich zwischen 18,5 und 24,9 kg/m² sowie ein BMI ≥ 25,0 kg/m² als Übergewicht [WHO, 2015b], wobei in die letztere Klasse auch Personen mit Adipositas miteingerechnet wurden.

² Die Probanden konnten zwischen „nie“, „seltener“ (1 bis mehrmals pro Jahr), „gelegentlich“ (1 bis 4 Mal pro Monat) bzw. „regelmäßig“ (täglich bis 2 Mal pro Woche) wählen.

³ Die Probanden gaben an, eine glutenfreie Diät einzuhalten, entweder als alleinige Diätform oder nur teilweise d.h. in Kombination mit anderen Diäten.

⁴ Die Probanden gaben an, an unspezifischen Symptomen zu leiden, d.h. wenn keine Diagnose einer ernährungsbezogenen Erkrankung vorliegt.

⁵ Die Probanden gaben an, sich nur aufgrund eines Familienmitglieds an eine Diät zu halten, obwohl sie selbst an keiner Erkrankung leiden.

4.2.2 Konsum von Brot und Chia

Bei der Häufigkeit des Brotkonsums sollte erhoben werden, wie oft Brot und Gebäck durchschnittlich verzehrt wird. Dabei zeigte sich, dass der Großteil der Konsumenten (48 Zöliakiepatienten bzw. 72 Probanden der Kontrollgruppe) täglich oder mehrmals pro Woche Brot und Gebäck verzehrt, wobei die Erkrankung Zöliakie darauf keinen signifikanten Einfluss hatte. Nur wenige Personen gaben an, die Lebensmittel aus dieser Gruppe nur mehrmals pro Monat (1 vs. 4) oder weniger häufig (2 vs. 0) zu konsumieren. Damit kann argumentiert werden, dass sich diese Stichprobe als Zielgruppe für Backwaren sehr gut eignet, da sie die Produkte dieser Gruppe oft kaufen bzw. verzehren.

Bei 47 von 51 Zöliakieprobanden ist die Art des verzehrten Gebäcks hauptsächlich an ihre Diät angepasst bzw. 3 Personen reduzieren zumindest gezielt die konsumierte Weizenmenge. Daraus kann ev. eine zu geringe Auswahlmöglichkeit an glutenfreien Backwaren abgeleitet werden. Bei der Kontrollgruppe standen bei 37 bzw. 18 von 76 Probanden Vollkornprodukte bzw. Backwaren auf Basis von Weizen (inkl. Schwarz- und Mischbrot) im Fokus.

Bei der Bezugsquelle sollte zusätzlich noch erhoben werden, woher die Konsumenten ihre Backwaren hauptsächlich beziehen. Die Ergebnisse zeigten, dass 9 bzw. 14 von 51 Zöliakieprobanden teilweise bzw. ausschließlich selbst backen, wobei die meisten Betroffenen (19 Personen) ihre Backwaren in Supermärkten kaufen. Bei der Vergleichsgruppe stellten entweder nur Supermärkte oder nur Bäckereien (47 bzw. 23 von 51 Probanden) die Hauptbezugsquelle dar. Eine Person gab an, ausschließlich selbst zu backen.

Auch die Bekanntheit von Chia wurde mittels dieses Fragebogens abgefragt. Die Auswertung zeigte, dass diese Früchte für 35 von 51 Zöliakiepatienten neu waren und nur je 8 Personen davon gelesen/gehört bzw. diese zuvor gegessen haben. Bei der Kontrollgruppe ergab sich mit 30 vs. 28 Probanden eine ca. gleich große Gruppe, für die Chia neu war bzw. die davon gelesen oder gehört hatte. Auch bei diesen Probanden hatte nur ein geringer Anteil (18 von 76) Chia zuvor gegessen.

Diese Ergebnisse zum Konsum von Brot und Chia sind in der Tabelle 12 angeführt.

Tabelle 12: Vergleich der Angaben zum Konsum von Brot und Chia (Zöliakieprobanden vs. Kontrollgruppe).

		Zöliakieprobanden (n = 51)	Kontrollgruppe (n = 76)
Häufigkeit des Brotkonsums	Täglich	36	48
	Mehrmals/ Woche	12	24
	Mehrmals/ Monat	1	4
	Weniger häufig	2	0
Art der verzehrt Backwaren	Diät ¹	47	1
	Weizenreduktion ²	3	8
	Vollkorn	0	37
	Viele Weizenprodukte	0	18
	Unbeachtet	1	12
Bezugsquelle der Backwaren	Nur Bäckereien	8	23
	Nur Supermärkte	19	47
	Nur Selbst ³	14	3
	Bäckerei + Supermärkte	1	1
	Selbst + Bäckereien ⁴	3	1
	Selbst + Supermärkte ⁴	6	1
Erfahrungen mit Chia	Weder gelesen/gehört noch gegessen (neu)	35	30
	Gelesen/ Gehört	8	28
	Gegessen	8	18

¹ Die Art der verzehrten Backwaren wird hauptsächlich an die Diät angepasst.

² Die Probanden wollen die konsumierte Weizenmenge bewusst reduzieren.

³ Die Probanden gaben an, das verzehrte Brot ausschließlich selbst zu backen.

⁴ Die Probanden backen selbst und beziehen ihre Backwaren zusätzlich von Bäckereien oder Supermärkten.

4.3 Sensorische Analyse

4.3.1 Ergebnisse der QDA

4.3.1.1 Aussehen

Farbe: Eine wichtige Eigenschaft von Backprodukten stellt die Farbe dar. Sie hängt einerseits von den physikochemischen Eigenschaften des Teiges, wie z.B. dem Wassergehalt, dem pH-Wert sowie dem Gehalt an reduzierenden Zuckern und Aminosäuren ab. Andererseits sind die Verarbeitungsbedingungen wie z.B. die relative Feuchtigkeit, die Temperatur oder die Art des Hitzetransfers entscheidend [Esteller und Lannes, 2008]. Abbildung 7 zeigt die beiden analysierten Brote im Vergleich.

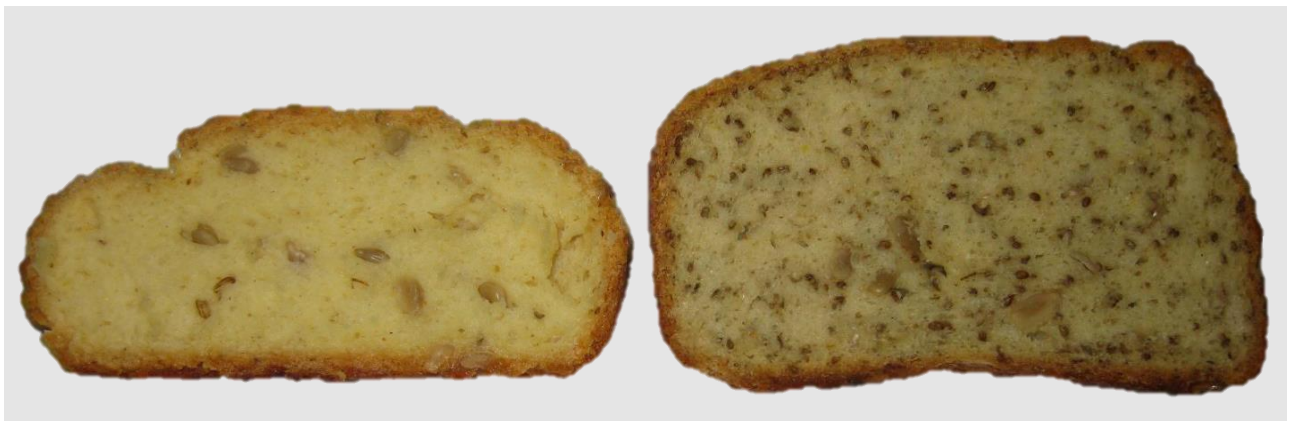


Abbildung 7: Vergleich der beiden analysierten Proben. Links das Brot ohne bzw. rechts das Brot mit Chia.

Farbe der Kruste: *Iglesias-Puig und Haros (2013)* zogen aus einer Studie den Schluss, dass die Krustenfarbe der Proben durch die Zugabe von gemahlenden oder ganzen Chiafrüchten nicht signifikant beeinflusst wurde.

Auch die im Zuge der vorliegenden Studie durchgeführte deskriptive Prüfung (QDA) zeigte, dass deren Zugabe zu den Proben keinen signifikanten Einfluss auf die Farbe der Kruste hatte.

Farbe der Krume: Der Zusatz von gemahlenden Chiafrüchten wirkte sich u.a. mit einer Erniedrigung der Werte für die Helligkeit aus, hervorgerufen durch die Pigmentierung der Früchte. Daraus ergaben sich signifikante, für die Konsumenten wahr-

nehmbare Unterschiede der Brotkrume zwischen dem Kontroll- und dem Chiabrot [Iglesias-Puig und Haros, 2013]. Eine weitere Studie ergab, dass aus dem Zusatz von Hydrokolloiden dunklere Farben der Krusten und Krumen resultierten. Dies ist erwünscht, da glutenfreie Brote meist hellere Farben aufweisen als vergleichsweise weizenhaltige Brote [Gallagher et al., 2002; Sabanis und Tzia, 2011].

Morais et al. (2014) beschrieben in einer Studie, die den Effekt von Präbiotika untersuchte, dass die Krumenfarbe der glutenfreien Brote von den Konsumenten sehr gut angenommen wurde. Diese Autoren erklärten ebenfalls die verbesserte Akzeptanz mit der Ähnlichkeit der Krumenfarbe mit traditionellen Broten auf Basis von Weizenmehl.

Im Zuge der vorliegenden Arbeit zeigte die Bewertung des QDA-Panels ebenfalls höchst signifikante Unterschiede ($p \leq 0,001$) der Krumenfarbe im Vergleich der beiden Brote. Dabei konnte eine dunklere Farbe bei der mit Chia optimierten Probe wahrgenommen werden. Die mittleren Intensitäten für die Farbe der Kruste bzw. der Krume beider Brote sind in Abbildung 8 dargestellt.

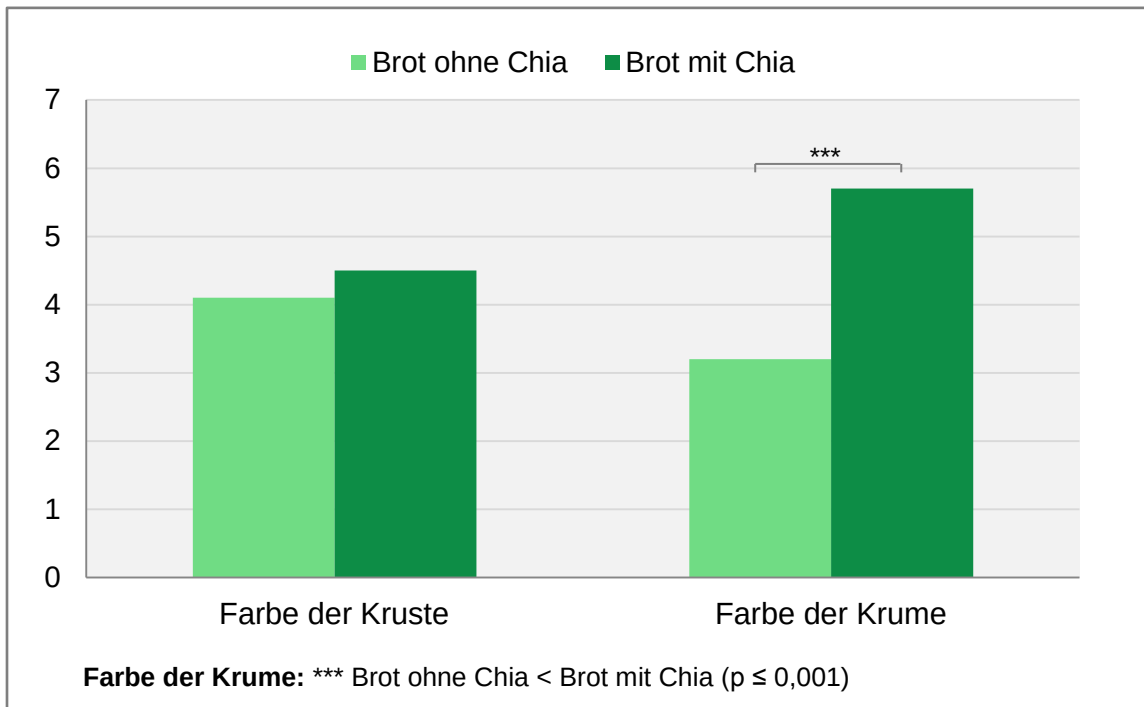


Abbildung 8: Vergleich des Aussehens der beiden untersuchten Brote (QDA).

4.3.1.2 Geruch

Allgemeiner Geruch: Das Produktprofil der QDA zeigt keinen signifikanten Unterschied bezüglich der allgemeinen Geruchsintensität zwischen den beiden untersuchten Proben. Diese wurde im Mittel von den Panellisten bei der Kontrollprobe mit 6,8 bzw. 7,0 Punkten beim Chiabrot bewertet.

Geruch von Getoastetem: Der Zusatz von Chia erzielte einen signifikanten Effekt ($p \leq 0,05$) auf den Geruch von Getoastetem, den die Panellisten an der Kruste beurteilten. Dabei ergab sich im Durchschnitt für das Brot ohne Chia eine mittlere Punktezahl von 4,4 sowie 5,0 bei der Probe mit den Früchten.

Angeführt unter dem Absatz „Flavour von Getoastetem“ (siehe auf S. 69), wird eine höhere Intensität des Flavours von Getoastetem durch die Zugabe von Chia diskutiert. Analog sollte man deshalb auch auf die höhere Intensität des Geruchs von Getoastetem schließen.

Geruch von Hefe: Bei beiden Prüfmaterialien konnte allgemein nur eine geringe Intensität des Geruchs von Hefe nachgewiesen werden. Dabei ergaben sich keine signifikanten Unterschiede aus der Bewertung für die Probe ohne (2,4 Punkte) bzw. mit Chia (2,7 Punkte).

Geruch von traditionellem Brot: Der Geruch von traditionellem Brot war bei beiden Prüfmaterialien nur gering ausgeprägt, mit mittleren Bewertungen von 3,5 für die Probe ohne bzw. 3,9 Punkte für das Brot mit Chia. Signifikante Unterschiede ergaben sich daraus nicht.

Geruch von Brotgewürz: Die Intensität des Geruchs von Brotgewürz war von allen Geruchsattributen am stärksten ausgeprägt mit mittleren Bewertungen von 7,3 für das Brot ohne bzw. 7,5 Punkte für das Brot mit den Früchten. Daraus ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Proben.

In der unten angeführten Abbildung 9 sind die mittleren Bewertungen des QDA-Panels aller fünf beurteilten Geruchsattribute dargestellt.

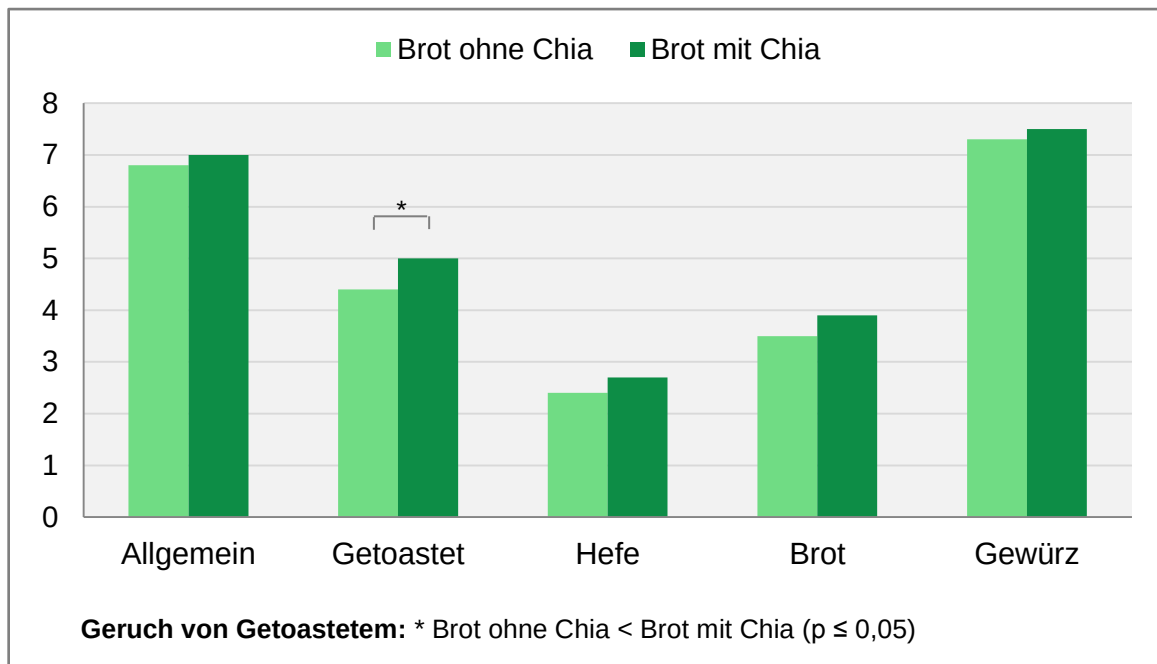


Abbildung 9: Vergleich der Geruchsattribute der beiden untersuchten Brote (QDA).

Abkürzungen: Getoastet... Geruch von Getoastetem; Brot ... Geruch von traditionellem Brot; Gewürz... Geruch von Brotgewürz

4.3.1.3 Geschmack und Nachgeschmack

Süß: Die Intensität des süßen Geschmacks war bei beiden Broten nur sehr gering ausgeprägt. Bei der Kontrollprobe ergab sich eine Bewertung von 1,7 sowie 1,5 Punkten beim Chiabrot, wobei diese Unterschiede nicht signifikant waren.

Salzig: Der salzige Geschmack wurde vom Panel mit einer geringen Intensität bewertet, bei der Referenzprobe mit 2,5 sowie 2,2 Punkten beim Chiabrot, was keinen signifikanten Unterschied zwischen diesen beiden Gruppen ergab.

Auch das Konsumentenkollektiv berichtete bei den Verkostungen von einem sehr gering ausgeprägten salzigen Geschmack.

Sauer: Diese Grundgeschmacksart wurde mit einer mittleren Intensität von 1,3 beim Brot ohne sowie mit 1,4 Punkten beim Brot mit Chia bewertet. Daraus ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden analysierten Proben.

Bitter: Die Autoren *Wronkowska et al. (2000)* untersuchten glutenfreie Brotzubereitungen auf Basis von Mais- und Kartoffelstärke. Sie zeigten, dass der 10%-ige Zusatz von Buchweizenmehl in einer nicht signifikant geringeren Bitterkeit resultierte, verglichen mit einem Kontrollbrot.

Buchweizenmehl weist jedoch im Vergleich zu Chiamehl einen höheren Gehalt an phenolischen Verbindungen auf. Der hohe Rutin-Gehalt des Buchweizens wird enzymatisch abgebaut, was wiederum mit dem bitteren Geschmack assoziiert wird. Wie bereits im Kapitel 2.3.2.1 (auf S. 20) erwähnt, enthält Chia im Vergleich zu Buchweizen andere phenolische Verbindungen, wobei Rutin nicht angeführt ist [Costantini et al., 2014; Alaunyte et al., 2012; Marineli et al., 2014]. Durch die Zugabe des Chiamehls resultierte daraus trotz seines hohen Gehalts an phenolischen Verbindungen kein bitterer Geschmack. Es kann somit die Hypothese aufgestellt werden, dass durch die Zugabe der Früchte die Intensität der Bitterkeit stärker bzw. signifikant gesenkt wurde im Vergleich zur Studie mit dem Buchweizenmehl.

Im Zuge der vorliegenden Arbeit bewertete das QDA-Panel dieses Attribut bei der Kontrollprobe mit 4,2 bzw. beim Chiabrot mit 3,8 Punkten. Daraus ergab sich ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$) der Intensität des bitteren Geschmacks.

Allgemeiner Nachgeschmack: Die Panellisten konnten zwischen den beiden Proben keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Intensität des allgemeinen Nachgeschmacks wahrnehmen. Die mittlere Bewertung erreichte beim Brot ohne 4,5 bzw. 4,4 Punkte bei jenem mit Chia.

Die mittleren Intensitäten von vier Grundgeschmacksattributen und des allgemeinen Nachgeschmacks sind in der Abbildung 10 grafisch dargestellt.

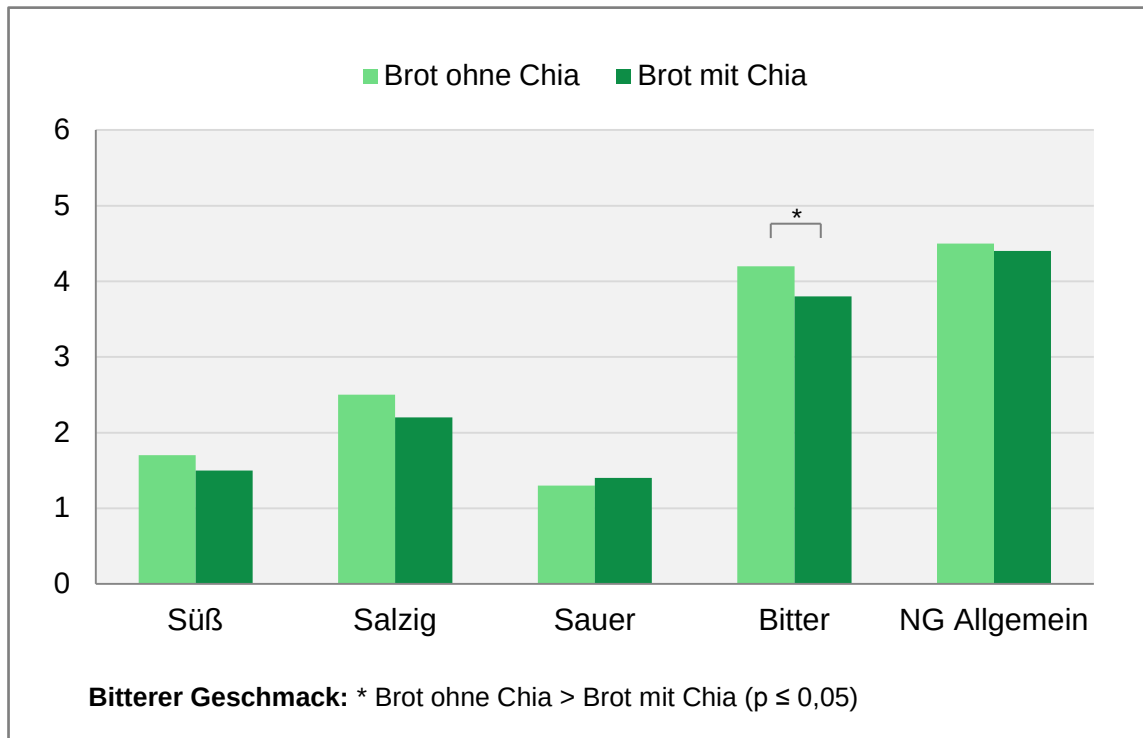


Abbildung 10: Vergleich der Geschmacks- und Nachgeschmacksattribute der beiden untersuchten Brote (QDA).

Abkürzung: NG Allgemein ... allgemeiner Nachgeschmack

4.3.1.4 Flavour

Allgemeines Flavour: *Arvisenet et al. (2002)* konnten nachweisen, dass Amylose- und Amylopektin-Polymere von Stärke für die Bindung von Flavour-Komponenten verantwortlich waren. *Jouquand et al. (2006)* untersuchten sowohl Kartoffel- als auch Maisstärke, vermischt mit destilliertem Wasser und verschiedenen Aromaverbindungen. In diesen Stärke-Systemen konnte z.B. Hexanal durch Komplexbildung mit Amylose zu ca. 25% zurückgehalten werden.

Im Zuge der vorliegenden Arbeit zeigten sich bei der QDA beim allgemeinen Flavour höchst signifikante Unterschiede ($p \leq 0,001$) zwischen den beiden Brotzubereitungen. Bei der Kontrollprobe ergab sich eine mittlere Bewertung von 6,1 sowie 7,2 Punkten beim Chiabrot (siehe dazu Abbildung 11). Das stärker ausgeprägte allgemeine Flavour kann somit beim Chiabrot folgendermaßen erklärt werden: Die Zugabe von Chiamehl reduzierte den Stärkegehalt (siehe dazu S. 96) [Iglesias-Puig und Haros, 2013], woraus die daraus resultierende geringere Retention zu einer höheren relativen Flüchtigkeit der Aromaverbindungen führte [Bangs und Reineccius, 1981].

Flavour von Getoastetem: Durch die Hitzebehandlung entsteht beim Backprozess der beiden untersuchten Brote u.a. das Flavour von Getoastetem. Jeweils freie Aminosäuren und Zucker bilden bei Einwirkung hoher Temperaturen wichtige Flavour-Vorstufen, da diese beiden Verbindungsklassen in die Maillard-Reaktion eingehen und dabei flüchtige Verbindungen generieren [Thakur und Nelson, 1997; Heiniö et al., 2003].

Bei der QDA wurde im Zuge der vorliegenden Studie das Kontrollbrot mit einer geringeren Intensität (6,6 Punkte) bewertet als das Chiabrot (7,4 Punkte). Dies ergab signifikante Unterschiede ($p \leq 0,01$) zwischen den beiden Brotzubereitungen bei diesem an der Kruste beurteilten Attribut.

Shin et al. (2010) ersetzten 3% des Reismehls durch Sojaprotein-Isolate, womit ca. 15 g Protein pro 500 g Mehl verwendet wurden und durch die Zugabe der Proteine eine tendentiell höhere Intensität des gerösteten Flavours resultierte. *Martínez et al. (2012)* wiesen ca. 0,19 bis 0,23 g, im Durchschnitt also 0,21 g Protein pro g Chia nach. Für die vorliegende Studie betrug der eingesetzte Proteingehalt ca. 10,5 g, wobei dieser berechnet wurde, indem 0,21 g pro 1 g auf 50 g Chiamehl hochgerechnet wurden (siehe dazu das Rezept auf S. 31). Dadurch ergibt sich die gute Vergleichbarkeit der angeführten Studien, da beide einen ähnlich hohen Proteingehalt (15 g vs. 10,5 g) untersuchten und erklärt die im Zuge der vorliegenden Arbeit beobachteten signifikanten Unterschiede bei diesem Attribut durch die Zugabe von Chia.

Flavour von Mais: Das Flavour von Mais war generell nur mit einer geringen Intensität wahrzunehmen. Im Durchschnitt erzielte das Brot ohne Chia 3,4 bzw. 3,3 Punkte bei jenem mit den Früchten, was keine signifikanten Unterschiede ergab.

Flavour von Reis: Dieses Flavourattribut wurde in nur sehr schwacher Intensität beurteilt. Das Panel vergab für das Kontrollbrot 2,1 bzw. 2,0 Punkte für das Brot mit Chia. Dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant.

Flavour von Brotgewürz: Ähnlich wie der Geruch war auch das Flavour von Brotgewürz mit hoher Intensität ausgeprägt. In den mittleren Bewertungen ergab sich zwischen dem Brot ohne (7,0 Punkte) bzw. mit Chia (7,4 Punkte) kein signifikanter Unterschied.

Flavour von Kartoffeln: Zum Flavour von Kartoffeln trug einerseits der große Anteil an Kartoffelstärke in Form der Universalbackmischung als auch das Kartoffelpüreepulver bei (siehe dazu das Rezept im Kapitel 3.1.2 ab S. 30).

Im Durchschnitt beurteilte das Panel beide Brote mit einer Intensität von 6,6 Punkten. Daraus ergab sich kein signifikanter Unterschied dieses Flavourattributs zwischen den beiden Proben.

Flavour von Sonnenblumenkernen: Auch das Flavour von Sonnenblumenkernen erzielte im Durchschnitt eine Bewertung von 6,2 für das Brot ohne bzw. 6,3 Punkte für das Brot mit Chia, womit auch hier keine signifikanten Unterschiede gezeigt werden konnten.

Flavour von Hefe: Neben dem Geruch, war auch das Flavour von Hefe nur sehr schwach wahrzunehmen. Das Panel bewertete dieses beim Brot ohne Chia mit 3,1 bzw. 3,0 Punkten beim Brot mit Chia. Dieser Unterschied war nicht signifikant.

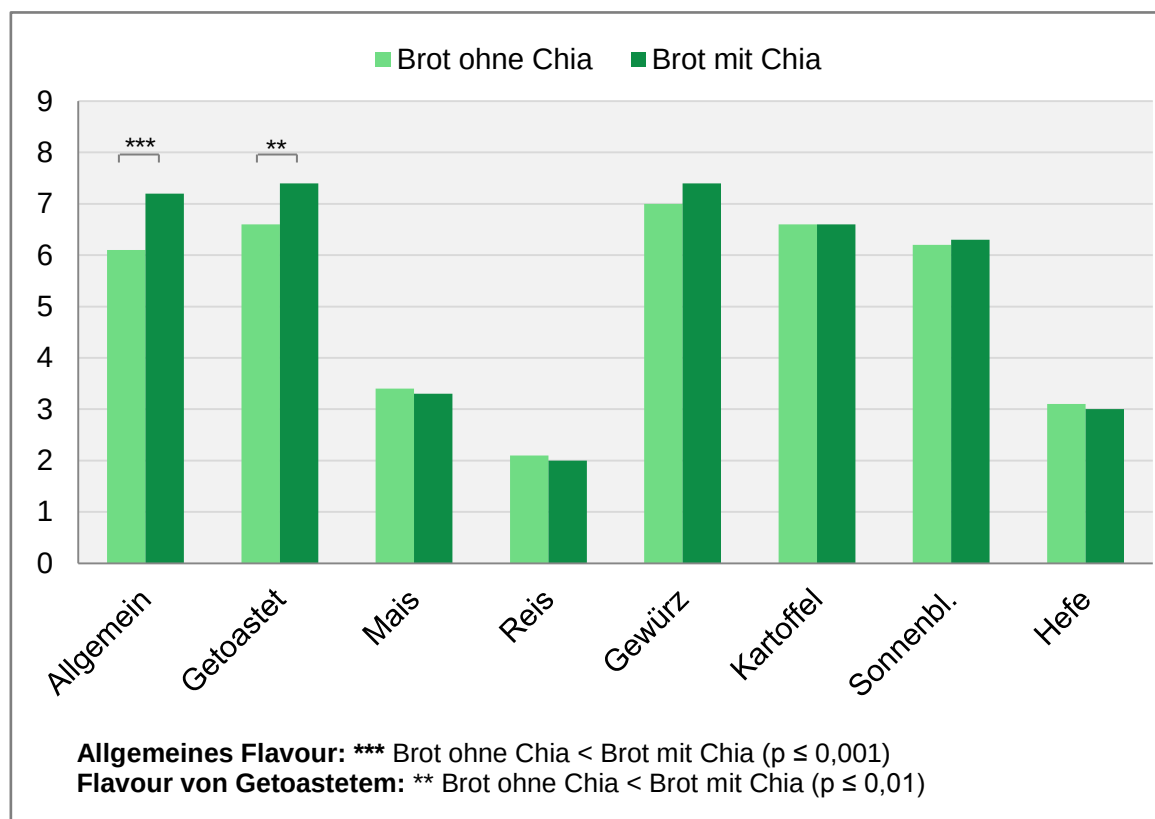


Abbildung 11: Vergleich der Flavourattribute der beiden untersuchten Brote (QDA).

Abkürzungen: Getoastet... Flavour von Getoastetem; Gewürz... Flavour von Brotgewürz; Sonnenbl. ... Flavour von Sonnenblumenkernen

4.3.1.5 Textur

Knusprigkeit: In einer Studie beschrieben die Autoren *Iles und Elson (1972)*, dass Konsumenten Produkte in derselben Reihenfolge für deren Knusprigkeit und Präferenz reihen. Die Autoren *Katz und Labuza (1981)* verdeutlichten ebenfalls den hohen Stellenwert der Knusprigkeit von Lebensmitteln hinsichtlich der Konsumentenakzeptanz.

Die Autoren *McCarthy et al. (2005)* untersuchten glutenfreie Brote. Sie schlussfolgerten, dass ein höherer Feuchtigkeitsgehalt mit einer geringeren Knusprigkeit der Kruste einherging. Die bessere Wasserbindung beim Chiabrot (Näheres dazu beim Punkt „Saftigkeit“ auf S. 74) kann eine geringere Knusprigkeit bei diesem Brot erklären.

Im Zuge der vorliegenden Arbeit zeigte die Auswertung der QDA bei der Probe mit den Früchten zwar dieselbe Tendenz einer niedrigeren Ausprägung der an der Kruste beurteilten Knusprigkeit. Es konnten jedoch keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zum Kontrollbrot nachgewiesen werden.

Krümeligkeit: Glutenfreie Brote werden meist aus stärkehaltigen Rohstoffen hergestellt und weisen eine trockene und krümelige Textur auf [Arendt et al., 2002]. *Krupa-Kozak et al. (2011)* schlossen aus einer Studie, dass sowohl beim Kontrollbrot als auch bei optimierten Broten mit Calcium das Fehlen der Glutenproteine für die Krümeligkeit der Brote verantwortlich war.

Die Auswertung der vorliegenden Arbeit ergab, dass die mit den Fingern beurteilte Krümeligkeit einen negativen linearen Zusammenhang mit der mit den Fingern ($r = -0,506$; $p = 0,001$) und der oral beurteilten Kohäsivität ($r = -0,356$; $p = 0,024$) aufwies. Die oral beurteilte Krümeligkeit wies positive Zusammenhänge mit der mit den Fingern ($r = -0,484$; $p = 0,002$) und im Mund beurteilten Kohäsivität ($r = -0,382$; $p = 0,015$) auf. Daran erkennt man, dass bei stark krümeligen Broten wie z.B. dem Kontrollbrot eine geringe Kohäsivität messbar war.

Die Panellisten beschrieben im Zuge der vorliegenden Studie eine geringere Intensität der Krümeligkeit beim Chiabrot. Mit den Fingern und oral beurteilt erzielte dieses Attribut zwischen den untersuchten Proben signifikante Unterschiede ($p \leq 0,001$ bzw. $p \leq 0,01$). Chiamehl bewirkte möglicherweise durch die Schleimbildung höhere Werte für die Kohäsivität, was zur Verringerung der Krümeligkeit beitrug [Lin et al., 1994; Onyango et al., 2011].

Härte: Auch die Autoren *Costantini et al. (2014)* untersuchten glutenfreies Brot mit dem Zusatz von 10% gemahlenden Chiafrüchten, wobei sie eine geringe Zunahme des spezifischen Volumens beobachteten. Auch *Iglesias-Puig und Haros (2013)* zogen aus ihrer Studie die Schlüsse, dass höhere spezifische Volumina in Broten mit Chiamehl resultierten. Sie verglichen dies auch mit ganzen Chiafrüchten, wobei das Mehl den Pflanzenschleim besser in den Teig integrieren konnte.

Nkhabutlane et al. (2014) führten mit einem „Texture Analyser“ Messungen von Broten auf Weizen-, Sorghumhirse- und Maisbasis durch. Sie beschrieben bei zunehmendem Volumen des Brotes die Abnahme der instrumentell gemessenen Härte.

Eine weitere Erklärung ist einem der Härte ähnlichen Parameter, die Festigkeit. Eine Studie beschrieb, dass ähnlich wie beim Kontrollbrot der vorliegenden Arbeit ein höherer Gewichtsverlust beim Backprozess in einer höheren Festigkeit resultierte. Dies lässt sich wahrscheinlich auch dadurch erklären, dass bei Zugabe von größeren Wassermengen die Festigkeit des Brotes abnahm [Demirekler et al., 2004; Gallagher et al., 2003].

Auch das Panel nahm bei der QDA im Zuge der vorliegenden Studie einen höchst signifikanten Einfluss der Früchte auf die mit den Fingern ($p \leq 0,001$) und im Mund beurteilten ($p \leq 0,01$) Härte wahr, wobei diese beim Chiabrot geringer ausgeprägt war.

Elastizität: Dieses Attribut ist von großer Bedeutung, da Frische und Elastizität miteinander assoziiert werden. Daher ist qualitativ hochwertiges Brot und stark ausgeprägte Elastizität gleichbedeutend [Onyango et al., 2011; Krupa-Kozak et al., 2012].

In einer Studie von *Steffolani et al. (2014)* wurde der Effekt von Chia auf die Qualität glutenfreier Brote untersucht. Bezüglich der Elastizität ergab sich zwar der Trend, dass das Chiabrot elastischer war, dieser war jedoch nicht signifikant. Bei der QDA, die im Zuge der vorliegenden Arbeit durchgeführt wurde, beschrieben die Panellisten dieselbe Tendenz. Auch sie konnten keinen signifikanten Einfluss von Chia auf dieses Attribut nachweisen, weder mit den Fingern noch im Mund beurteilt.

Kohäsivität: In diversen Studien wurde beobachtet, dass Konsumenten Brote mit hoher Kohäsivität bevorzugten. Dies war dadurch zu erklären, dass diese eher einen Nahrungsbrei bildeten als jene mit geringerer Kohäsivität. Denn Letztere neigten dazu, beim Kauen zu zerfallen bzw. zu zerbröckeln und dies ist von Konsumenten nicht erwünscht [Onyango et al., 2011].

Iglesias-Puig und Haros (2013) untersuchten den 5%-igen Ersatz von Weizenmehl durch Chia auf diverse Parameter. Die Texturmessung der Kohäsivität zeigte zwar eine Tendenz hinsichtlich einer höheren Kohäsivität beim Brot mit den Früchten, diese war jedoch nicht signifikant. Die deskriptive Prüfung mit dem geschulten Panel konnte eine signifikant höhere Kohäsivität ($p \leq 0,01$ mit den Fingern bzw. oral beurteilt) bei der Probe mit 10% Chia nachweisen. Daraus war ev. abzuleiten, dass mit zunehmender Chiamenge auch die Zunahme der Intensität dieses Parameters einherging.

Adhäsivität: Die Autoren *Korus et al. (2009)* untersuchten die Eigenschaften von glutenfreiem Brot auf Basis von Kartoffel- und Reisstärke. Sie beschrieben, dass für eine hohe Konsumentenakzeptanz von Brot niedrige Werte für die Adhäsivität bedeutend waren. Auch *Fiszman und Damásio (2000)* schlussfolgerten, dass knuspriges französisches Brot keine oder nur eine geringe Ausprägung dieses Parameters zeigte.

In einer Studie von *Leray et al. (2010)* wurde u.a. ein weizenhaltiger Teig untersucht, der mit Ballaststoffen angereichert wurde. Daraus resultierte bezüglich der Adhäsivität kein signifikanter Unterschied im Vergleich zum Kontrollbrot.

Obwohl diese Autoren einen glutenhaltigen Teig untersuchten, kann trotzdem auf Analogien zwischen diesen Studien geschlossen werden, da beide Teigzubereitungen mit Ballaststoffen angereichert wurden. Denn auch die Auswertung der Daten der vorliegenden Arbeit ergab, dass Chia keinen signifikanten Einfluss auf die sensorisch beurteilte Adhäsivität hatte. Letztere war generell bei beiden Proben nur sehr gering ausgeprägt und wurde mit 1,7 bzw. 1,6 Punkten für das Brot ohne bzw. mit den Früchten bewertet.

Saftigkeit: *Costantini et al. (2014)* publizierten einen Artikel über die Entwicklung von glutenfreien Broten mit Tatarischem Buchweizen und unterschiedlichen Mengen an Chiamehl. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass der Zusatz von 10% dieser Früchte eine signifikante Zunahme der Feuchtigkeit bewirkte. Auch *Inglett et al. (2014b)* beschrieben Chiamehl als Zutat mit extremer Wasserhaltekapazität, das Produkte optimieren könnte. Laut *Muñoz et al. (2012)* und *Alfredo et al. (2009)* absorbieren der Pflanzenschleim und die Ballaststoffe der Früchte das zugegebene Wasser und halten so das Produkt feucht.

In einer Studie von *Sabanis et al. (2009)* wurde der Effekt unterschiedlicher Mengen an Ballaststoffen in glutenfreien Broten untersucht. Jene Probe mit dem höchsten Level dieser Zutat (9 g pro 100 g Brot) erzielte zugleich auch die höchste Krumen- und Krustenfeuchtigkeit. Sie zeigten auch, dass Proben mit der Zugabe von Ballaststoffen aufgrund dessen hoher Bindungskapazität mehr Wasser zugegeben werden konnte. Dies entspricht der Beobachtung, die auch in der vorliegenden Arbeit gemacht wurde. Das Panel konnte im Zuge der letztgenannten Studie in der Brotzubereitung mit 10% Chia eine signifikant höhere Intensität ($p \leq 0,001$) der Saftigkeit wahrnehmen.

Kaubarkeit: Die Autoren *Iglesias-Puig und Haros (2013)* ersetzten 5% Weizenmehl durch Chia. Dabei ergab sich die nicht signifikante Tendenz, dass die Zugabe von Chia in einer geringeren Kaubarkeit der Proben resultierte. Auch im Zuge der vorliegenden Studie bewertete das QDA-Panel eine nicht signifikant geringere Kaubarkeit bei der Probe mit der 10%-igen Zugabe von gemahlenen Chiafrüchten.

Die Abbildung 12 veranschaulicht die mittleren Intensitäten aller beurteilten Texturattribute.

Zur besseren Vergleichbarkeit aller Attribute von beiden analysierten Broten, wurde ein Produktprofil in Form eines „Spiderwebs“ erstellt, welches in der Abbildung 13 auf S. 76 angeführt ist.

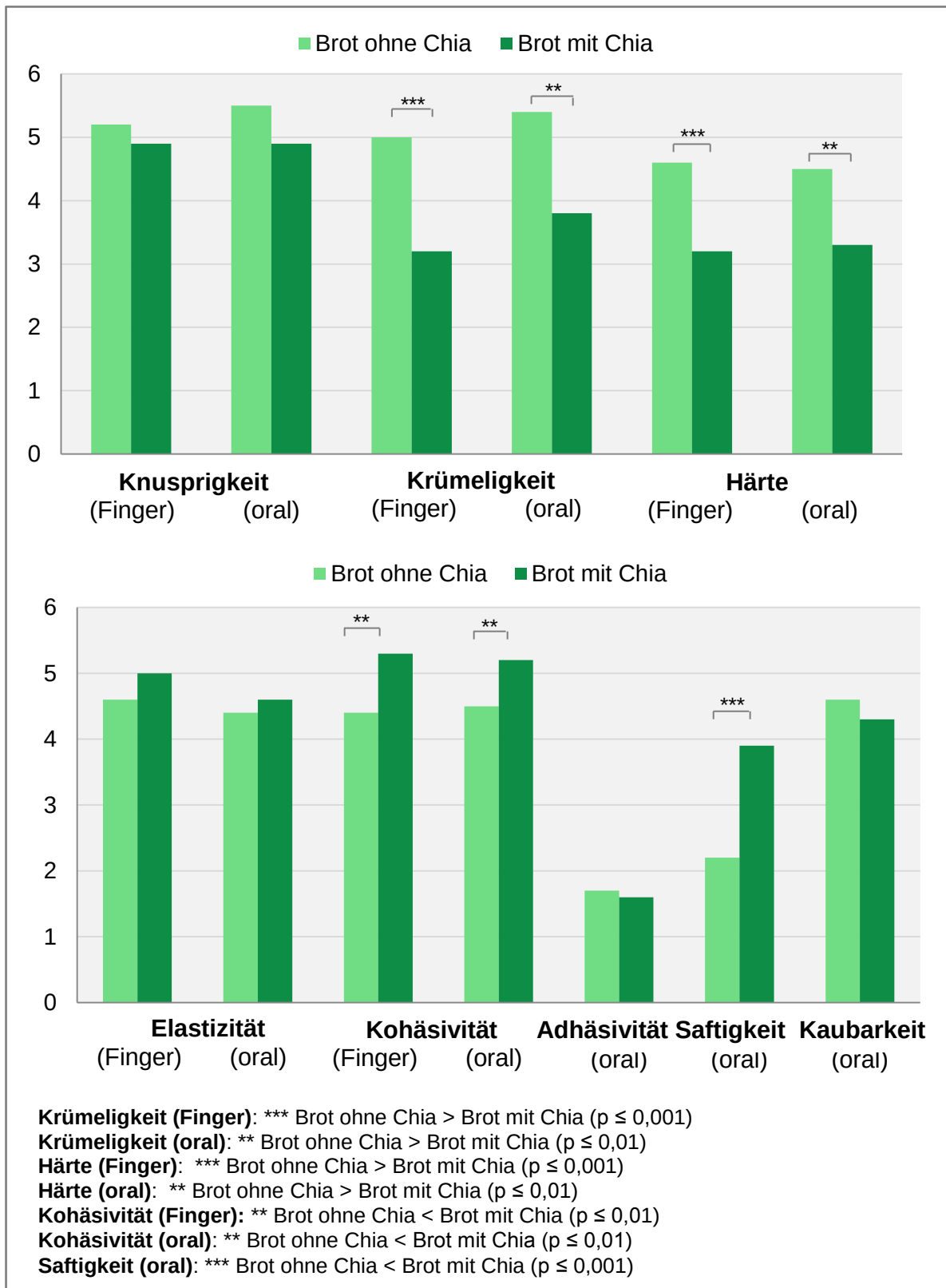


Abbildung 12: Vergleich der Texturattribute der beiden untersuchten Brote (QDA).

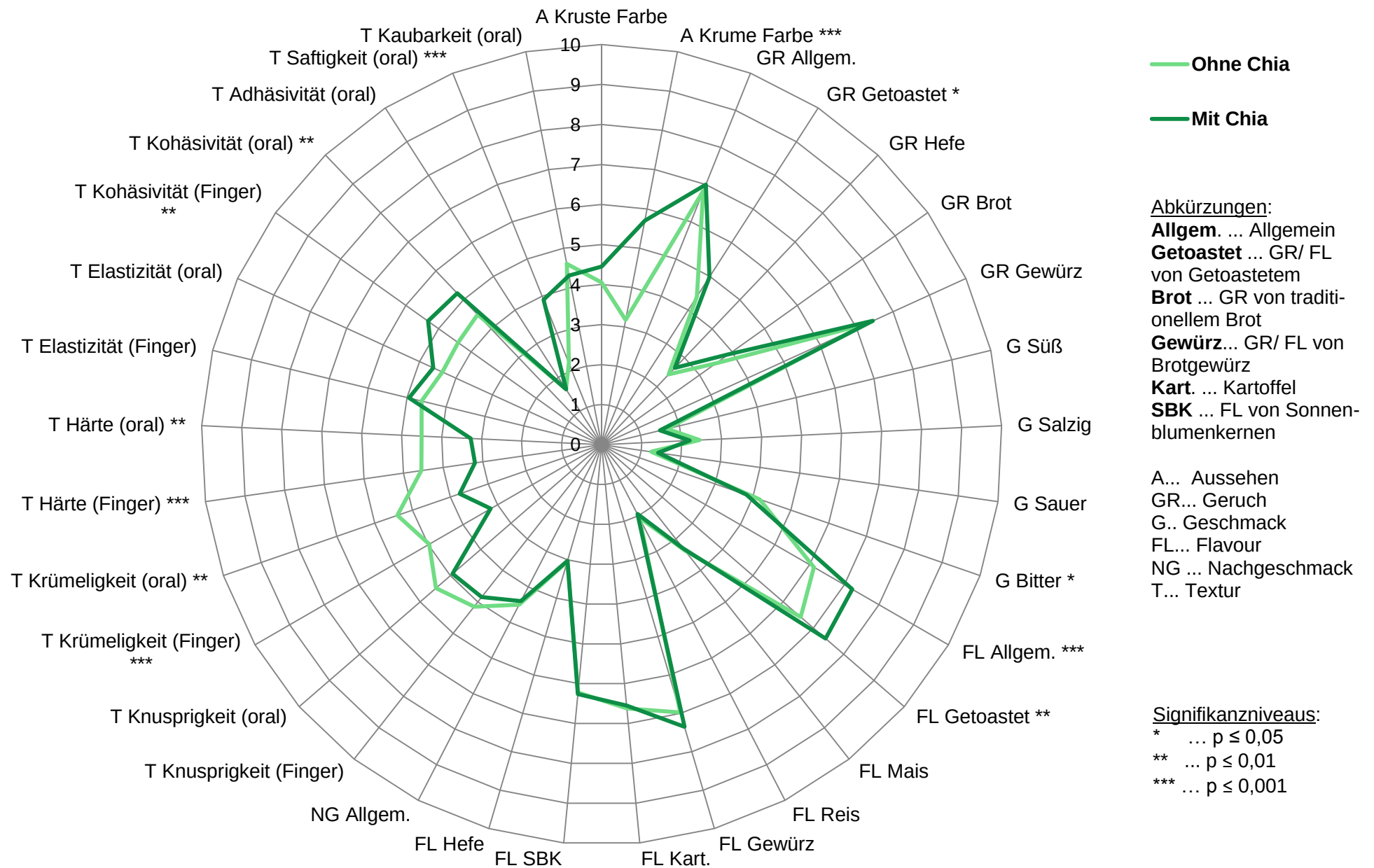


Abbildung 13: Vergleich aller sensorischen Attribute der beiden untersuchten Brote (QDA).

4.3.2 Korrelationen zwischen den sensorischen Attributen

4.3.2.1 Kontrollbrot

Der Geruch von Getoastetem zeigte signifikante positive Zusammenhänge mit dem Geruch von traditionellem Brot (Tabelle 13) und dem allgemeinen Flavour sowie einen signifikanten negativen Zusammenhang mit dem Flavour von Brotgewürz. Der Geruch von traditionellem Brot korrelierte mit dem allgemeinen Flavour.

Der saure Geschmack zeigte mit dem allgemeinen Flavour positive und mit dem Flavour von Getoastetem und dem Flavour von Sonnenblumenkernen negative lineare Zusammenhänge. Das Flavour von Getoastetem korrelierte negativ mit dem allgemeinen Flavour sowie positiv mit dem Flavour von Sonnenblumenkernen. Der allgemeine Nachgeschmack zeigte einen signifikanten Zusammenhang mit dem Flavour von Brotgewürz.

Die mit den Fingern beurteilte Knusprigkeit der Kruste des Brotes war negativ mit der mit den Fingern beurteilten Krümeligkeit sowie mit der oralen Krümeligkeit der Krume korreliert. Die mit den Fingern beurteilte Krümeligkeit zeigte einen positiven linearen Zusammenhang mit der oral beurteilten Krümeligkeit sowie mit der Kaubarkeit.

Tabelle 13: Ausgewählte Korrelationen zwischen sensorischen Attributen beim Kontrollbrot.

		GR_ Brot	FL_ allgemein	FL_ Getoastet	FL_ Gewürz	FL_ SBK	T_Krümelig- keit_Finger	T_Krümelig- keit_oral
GR_Getoastet	Korr. Sign.	,515 * ,020	,516 * ,020	-,327 ,160	-,497 * ,026	-,080 ,738	-,304 ,192	-,223 ,345
GR_Brot	Korr. Sign.	1	,709 *** ,000	-,188 ,428	-,384 ,095	-,229 ,332	-,484 * ,031	-,147 ,537
G_sauer	Korr. Sign.	,561 * ,010	,604 ** ,005	-,457 * ,043	-,247 ,293	-,463 * ,040	-,082 ,731	,069 ,773
FL_Getoastetet	Korr. Sign.	-,188 ,428	-,492 * ,028	1	,417 ,068	,544 * ,013	,003 ,991	,376 ,102
NG_allgemein	Korr. Sign.	-,015 ,950	-,077 ,745	,104 ,664	,640 ** ,002	,047 ,843	,017 ,943	,297 ,203
T_Knusprig- keit_Finger	Korr. Sign.	,137 ,564	,343 ,139	-,161 ,497	-,031 ,898	-,256 ,277	-,645 ** ,002	-,540 * ,014
T_Krümelig- keit_Finger	Korr. Sign.	-,484 ,031	-,391 ,088	,003 ,991	,246 ,295	,076 ,751	1	,481 * ,032
T_Kaubarkeit	Korr. Sign.	-,382 ,097	-,065 ,787	-,244 ,299	-,133 ,576	-,106 ,656	,562 ** ,010	,057 ,812

Signifikante Korrelation auf dem Niveau von: *... $p \leq 0,05$; ** ... $p \leq 0,01$; *** ... $p \leq 0,001$

Abkürzungen: GR... Geruch, FL... Flavour, NG... Nachgeschmack, T... Textur, Brot_traditionelles Brot, Gewürz ... Brotgewürz, SBK ... Sonnenblumenkerne, Korr. ... Korrelationskoeffizient (nach Pearson), Sign. ... Signifikanz (zweiseitig).

4.3.2.2 Chiabrot

Wie auch bei der Kontrollprobe, konnte beim Chiabrot ein positiver Zusammenhang zwischen dem Geruch von traditionellem Brot und dem Geruch von Getoastetem beobachtet werden (Tabelle 14). Negativ korrelierte der Geruch von traditionellem Brot mit dem Geruch von Hefe. Der süße Geschmack wies mit dem Geruch und dem Flavour von Hefe einen negativen sowie mit dem Geruch von traditionellem Brot einen positiven Korrelationskoeffizienten auf. Der saure Geschmack zeigte einen negativen linearen Zusammenhang mit dem Flavour von Brotgewürz. Das allgemeine Flavour wies einen negativen Korrelationskoeffizienten mit dem Geruch von Hefe auf. Das Flavour von Getoastetem korrelierte positiv mit dem allgemeinen Flavour, dem Flavour von Brotgewürz und dem Flavour von Sonnenblumenkernen sowie negativ mit dem Flavour von Reis. Das Flavour von Sonnenblumenkernen zeigte mit allgemeinen Flavour und dem Flavour von Brotgewürz einen positiven Zusammenhang und korrelierte negativ mit dem Flavour von Mais.

Die mit den Fingern und die oral beurteilte Knusprigkeit der Kruste wiesen einen positiven sowie Erstere und die im Mund beurteilte Krümeligkeit der Krume einen negativen Zusammenhang auf. Zwischen der jeweils oral beurteilten Knusprigkeit der Kruste und Krümeligkeit der Krume war sich ebenfalls ein negativer Korrelationskoeffizient. Die Saftigkeit des Chiabrotes zeigte mit der mit den Fingern beurteilten Elastizität einen positiven sowie mit der oral beurteilten Krümeligkeit einen negativen Zusammenhang.

Tabelle 14: Ausgewählte Korrelationen zwischen sensorischen Attributen beim Chiabrot.

		GR_ Brot	G_ süß	G_ sauer	FL_ allgemein	FL_ Reis	FL_ Gewürz	FL_ SBK	T_Knusprig- keit_oral	Krümelig- keit_oral	T_Elastizität _Finger
GR_Getoastetem	Korr.	,459 *	,323	,430	,090	-,060	-,297	-,218	,056	,158	,312
	Sign.	,042	,165	,058	,705	,801	,204	,355	,815	,505	,181
GR_Hefe	Korr.	-,463 *	-,451 *	-,358	-,556 *	,080	-,336	-,340	-,125	-,014	,011
	Sign.	,040	,046	,121	,011	,736	,147	,143	,601	,954	,964
FL_Hefe	Korr.	-,378	-,468 *	-,284	-,125	,372	-,031	,140	,411	-,455 *	,373
	Sign.	,100	,037	,225	,600	,106	,896	,555	,072	,044	,105
GR_Brot	Korr.	1	,617 **	,372	,441	-,241	-,066	,076	-,195	,215	-,175
	Sign.		,004	,107	,052	,305	,783	,752	,411	,363	,460
G_süß	Korr.	,617 **	1	,090	,115	,084	0,000	-,050	-,154	-,111	-,096
	Sign.	,004		,704	,630	,725	1,000	,833	,518	,641	,686
FL_Getoastetem	Korr.	-,059	-,160	-,165	,657 **	-,587 **	,557 *	,494 *	-,036	,013	-,129
	Sign.	,806	,500	,486	,002	,007	,011	,027	,879	,955	,589
FL_allgemein	Korr.	,441	,115	,056	1	-,353	,404	,626 **	-,070	-,089	-,103
	Sign.	,052	,630	,814		,127	,077	,003	,769	,708	,666
FL_Mais	Korr.	,228	,173	,367	-,143	-,052	-,407	-,489 *	,039	,029	,083
	Sign.	,335	,465	,112	,547	,827	,075	,029	,870	,904	,729
FL_Gewürz	Korr.	-,066	0,000	-,542 *	,404	-,136	1	,710 ***	,266	-,334	-,100
	Sign.	,783	1,000	,014	,077	,567		,000	,257	,150	,675
T_Knusprigkeit_ Finger	Korr.	-,118	,038	-,309	-,113	,415	,451 *	,114	,836 ***	-,687 ***	,305
	Sign.	,621	,873	,185	,635	,069	,046	,631	,000	,001	,191
T_Knusprigkeit_ oral	Korr.	-,195	-,154	-,128	-,070	,499 *	,266	,113	1	-,600 **	,445 *
	Sign.	,411	,518	,591	,769	,025	,257	,636		,005	,050
T_Saftigkeit	Korr.	,002	-,256	,102	-,006	,309	-,100	,153	,390	-,483 *	,566 **
	Sign.	,993	,277	,669	,980	,185	,675	,518	,089	,031	,009

Signifikante Korrelation auf dem Niveau von: *... $p \leq 0,05$; ** ... $p \leq 0,01$; *** ... $p \leq 0,001$

Abkürzungen: GR... Geruch, FL... Flavour, G... Geschmack, T... Textur, Brot_traditionelles Brot, Gewürz ... Brotgewürz, SBK ... Sonnenblumenkerne, Korr. ... Korrelationskoeffizient (nach Pearson), Sign. ... Signifikanz (zweiseitig).

4.3.3 Ergebnisse der hedonischen Prüfungen

4.3.3.1 Akzeptanzprüfung

In der Tabelle 15 sind die Akzeptanz sowie die Kaufbereitschaft von insgesamt 127 Konsumenten dargestellt, wobei davon jeweils der Mittelwert inkl. der Standardabweichung berechnet wurde. Das angegebene Signifikanzniveau bezieht sich dabei auf den Vergleich zwischen den Probanden mit (n = 51) bzw. ohne (n = 76) Zöliakie.

Bei Betrachtung der Ergebnisse der Akzeptanzprüfung zeigte sich, dass beide Brote sowohl von den Zöliakiebetroffenen als auch von der Kontrollgruppe akzeptiert wurden, da die Bewertungen auf der Skala höher als 5 lagen [Sabanis und Tzia, 2011].

Tabelle 15: Akzeptanz sowie Kaufbereitschaft (MW ± SD) der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia (Zöliakieprobanden vs. Kontrollgruppe).

	Probe ¹	Zöliakieprobanden (n = 51)	Kontrollgruppe (n = 76)	Signifikanz- Niveau ²
Akzeptanz ³	- Chia	6,1 ± 1,8	5,3 ± 1,7	0,006 (**)
	+ Chia	7,7 ± 1,2	7,1 ± 1,5	0,014 (*)
Kaufbereitschaft ⁴	- Chia	5,8 ± 2,0	4,2 ± 2,0	0,000 (***)
	+ Chia	7,2 ± 1,7	6,1 ± 1,9	0,001 (**)

Abkürzungen: MW... Mittelwert; SD... Standardabweichung

¹ „- Chia“... Kontrollbrot; „+ Chia“... Chiabrot.

² Signifikant bei: *... $p \leq 0,05$; **... $p \leq 0,01$; ***... $p \leq 0,001$ (Zöliakieprobanden vs. Kontrollgruppe).

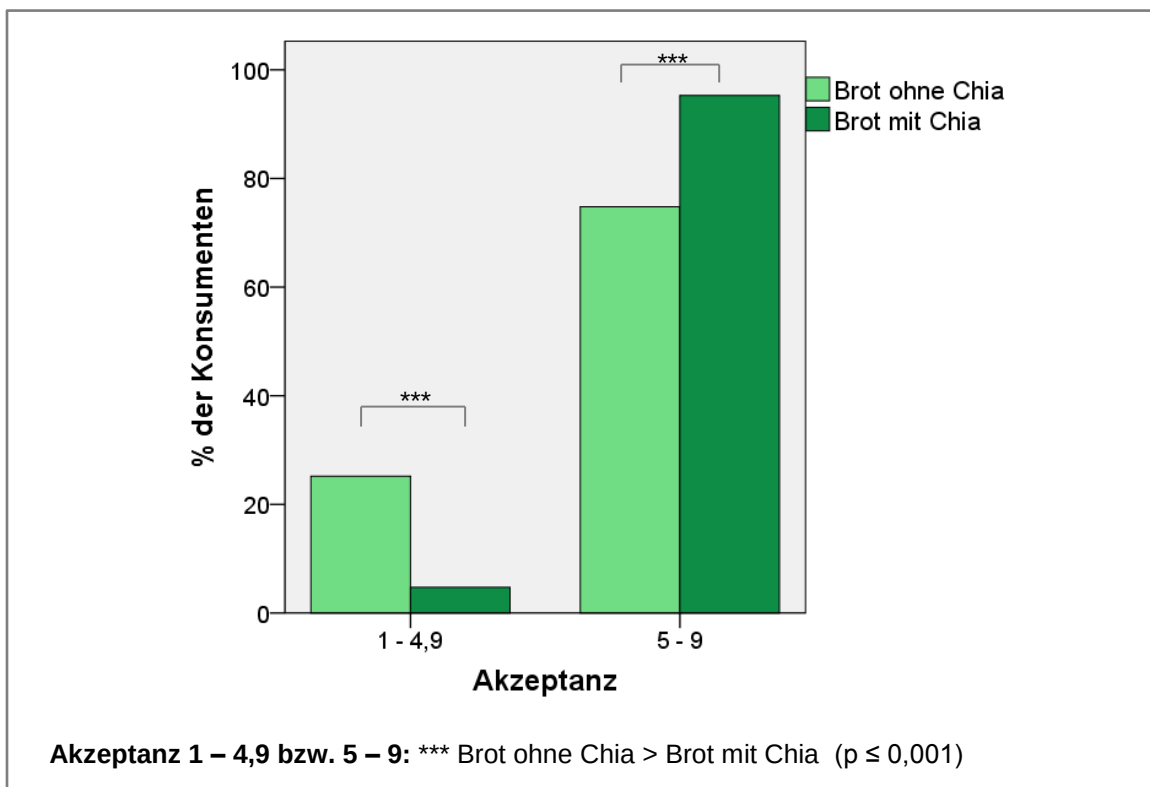
³ Die Akzeptanz der beiden untersuchten Brote wurde auf einer Skala von 1 bis 9 beurteilt.

⁴ Die Bereitschaft der Probanden, die beiden Brote käuflich zu erwerben, wurde analog zur Studie von Heiniö et al. (1997) auf einer Skala von 1 bis 9 beurteilt.

In Tabelle 15 ist das Ergebnis des Mann-Whitney-U-Tests in der Spalte mit dem Signifikanzniveau angegeben. Dies verdeutlicht, dass die Erkrankung an Zöliakie bei beiden Broten einen signifikanten Einfluss auf die Akzeptanz hatte. Beim Referenzbrot war dessen Mittelwert bei den Zöliakieprobanden signifikant höher ($p \leq 0,01$) als in der Vergleichsgruppe. Für das Chiabrot kann dieselbe Aussage getroffen werden, jedoch war der Unterschied der mittleren Akzeptanz zwischen diesen beiden Gruppen nicht mehr so groß, wenngleich signifikant ($p \leq 0,05$).

Auch in der Literatur wird beschrieben, dass sich die mittlere Akzeptanz glutenfreier Lebensmittel signifikant zwischen Zöliakieprobanden und einer Kontrollgruppe unterscheiden [Giménez et al., 2015].

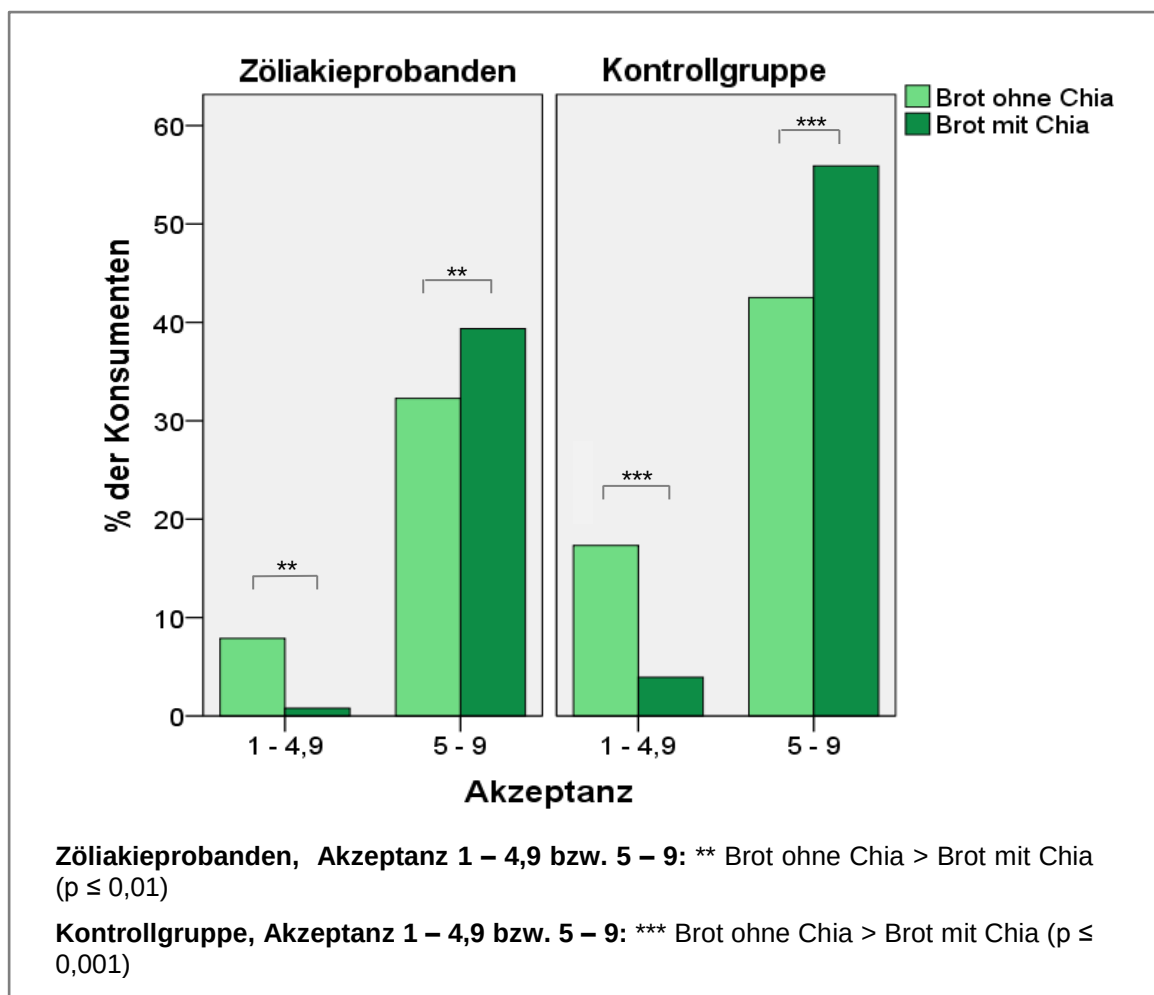
In der Abbildung 14 ist der prozentuelle Anteil der Konsumenten dargestellt, der die Proben weniger gut annahm bzw. akzeptierte. Dabei ergab sich ein höchst signifikanter Unterschied ($p \leq 0,001$) zwischen den beiden Brotzubereitungen. Das Chia-brot erzielte eindeutig mehr Bewertungen im Bereich von 5 bis 9 d.h. es wurde von den Konsumenten besser akzeptiert als die Kontrollprobe. Auch die Autoren *Iglesias-Puig und Haros (2013)* zeigten in einer ihrer Studien, dass die Gesamtakzeptanz bei Broten mit Chiamehl signifikant höher war als jene des Referenzbrotes.



Einteilung in „wenig akzeptiert“ (1 – 4,9) bzw. „akzeptiert“ (5 – 9) modifiziert nach *Sabanis und Tzia (2011)*.

Abbildung 14: Anteil (in %) der Konsumenten, die die Akzeptanz der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia im Bereich 1 bis 4,9 bzw. 5 bis 9 bewerteten.

Die unten angeführte Abbildung 15 verdeutlicht, dass auch bei alleiniger Betrachtung der Zöliakieprobanden bzw. der Kontrollgruppe signifikante Unterschiede der Akzeptanz zwischen den beiden Proben erkennbar waren ($p \leq 0,01$ bzw. $p \leq 0,001$).



Einteilung in „wenig akzeptiert“ (1 – 4,9) bzw. „akzeptiert“ (5 – 9) modifiziert nach *Sabanis und Tzia (2011)*.

Abbildung 15: Anteil (in %) der Konsumenten, die die Akzeptanz der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia im Bereich 1 bis 4,9 bzw. 5 bis 9 bewerteten (Zöliakieprobanden vs. Kontrollgruppe).

Demnach kann der Schluss gezogen werden, dass durch die Zugabe von Chiamehl die Akzeptanz von glutenfreien Backwaren erhöht wurde. Dieser Effekt galt gleichermaßen für beide verglichenen Gruppen, jedoch war ein Unterschied in dessen Ausmaß erkennbar. Denn Zöliakieprobanden vergaben signifikant höhere Werte für die Akzeptanz als die Kontrollgruppe.

Als Beitrag zur höheren Akzeptanz des optimierten Brotes kann u.a. das höhere spezifische Volumen, das durch die Zugabe des Chia-Gels entstand, als Erklärung dienen. Konsumenten tendieren eher zu Broten mit größeren Volumina. Umgekehrt

bedeutet das, dass Backwarenhersteller jegliche Verringerung des Brotvolumens während des Backprozesses verhindern sollten [Iglesias-Puig und Haros, 2013; Costantini et al., 2014].

Bei der QDA wurde im Zuge der vorliegenden Studie die durch die Pigmentierung von Chia hervorgerufene dunklere Farbe der Krume evaluiert. Dies wird für die Kundenakzeptanz als positiv einzustufender Nebeneffekt angesehen, denn glutenfreie Brotzubereitungen sind meist heller als ihre weizenhaltigen Pendanten [Iglesias-Puig und Haros, 2013; Gallagher et al., 2002]. Auch *Morais et al. (2014)* beschrieben eine verbesserte Akzeptanz glutenfreier Brote, wenn deren Krumenfarbe jener von traditionellen Broten auf Weizenmehlbasis ähnlich war.

Die Intensität des bitteren Geschmacks scheint einen sehr wesentlichen Einfluss auf den Grad des Gefallens zu nehmen. Die Autoren *Holtekjølen et al. (2008)* beobachteten die verminderte Akzeptanz einer Brotzubereitung bei stärker ausgeprägter Bitterkeit. Die bessere Konsumentenbewertung könnte daher beim Chiabrot u.a. auf die geringere Intensität dieses Attributs zurückzuführen sein.

Ein weiterer Erklärungsansatz für den Beitrag zur Gesamtakzeptanz der Brote lieferten *Angioloni und Collar (2011)*. Sie erklärten, dass diese hauptsächlich von den sensorischen Charakteristika der Proben abhängt. Dazu zählen bspw. die Intensitäten des Geschmacks, Nachgeschmacks und des Aromas.

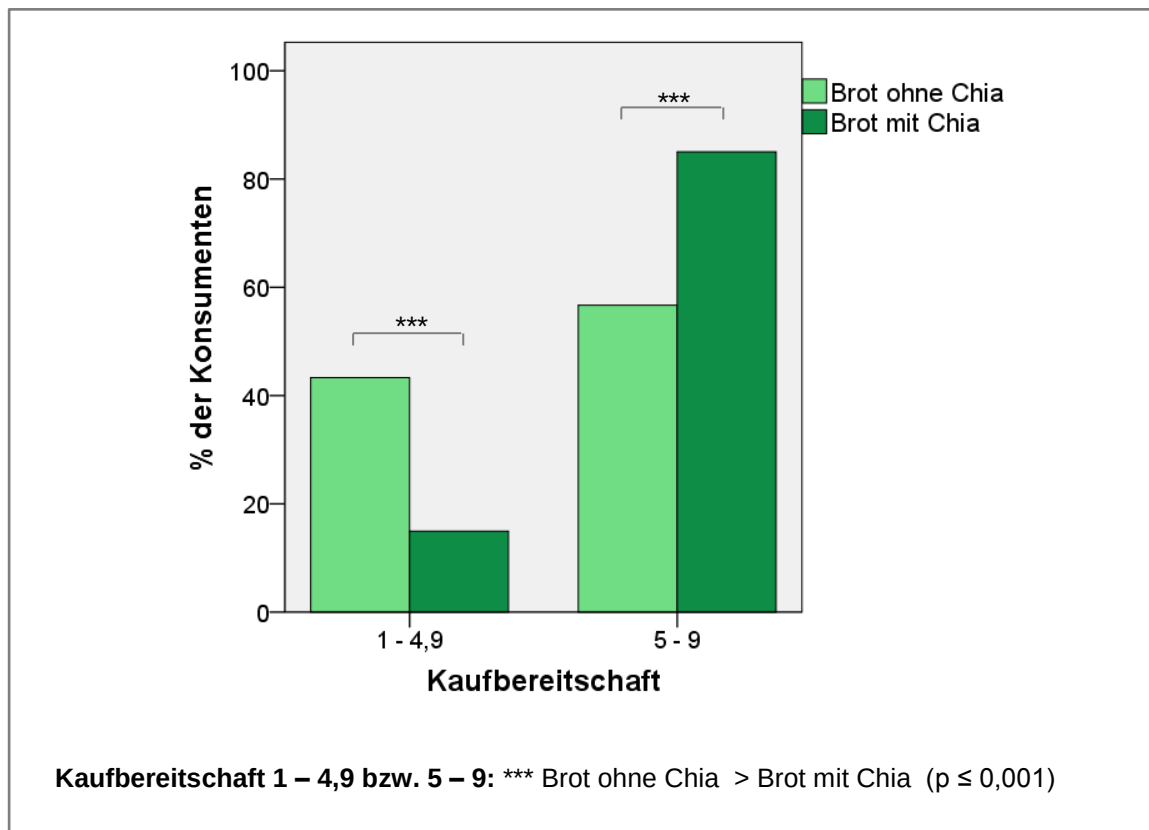
Aber auch die Textureigenschaften spielen eine große Rolle. Vergleicht man dies mit den Ergebnissen der QDA, so konnten die signifikant höhere Kohäsivität, die tendenziell höhere Elastizität als auch die geringer wahrnehmbare Krümeligkeit des Brotes durch den Zusatz von Chiafrüchten mit einer verbesserten Akzeptanz assoziiert werden. Die höhere mittlere Akzeptanz des Chiabrottes ist aber auch durch die geringer ausgeprägtere Härte und Kaubarkeit zu erklären [Morais et al., 2014].

In der Literatur wird ebenso die Saftigkeit für eine große Bandbreite an Lebensmitteln als erwünschtes Charakteristikum beschrieben [Guinard und Mazzucchelli, 1996]. Im Zuge der vorliegenden Arbeit wurde bei der QDA die Intensität dieses Attributs von den Panellisten bei der mit Chia optimierten Probe stärker wahrgenommen als beim Kontrollbrot und ging daher mit einer höheren mittleren Akzeptanz einher.

4.3.3.2 Kaufbereitschaft

Die Auswertung der Fragebögen verdeutlichte höchst signifikante Unterschiede ($p \leq 0,001$) in der mittleren Kaufbereitschaft zwischen den beiden Brotzubereitungen. Graphisch ist dies in der Abbildung 16 unten dargestellt.

Demnach erhöhte Chia nicht nur die Akzeptanz, sondern auch die Kaufbereitschaft. Allgemein können die Ergebnisse für die Akzeptanz und die Kaufbereitschaft parallel betrachtet werden, da diese einen hohen linearen Zusammenhang zeigten ($r = 0,815$). Dies lässt sich dadurch erklären, dass beide Parameter analog zur Studie von *Heiniö et al. (1997)* auf einer Skala von 1 bis 9 bewertet wurden.

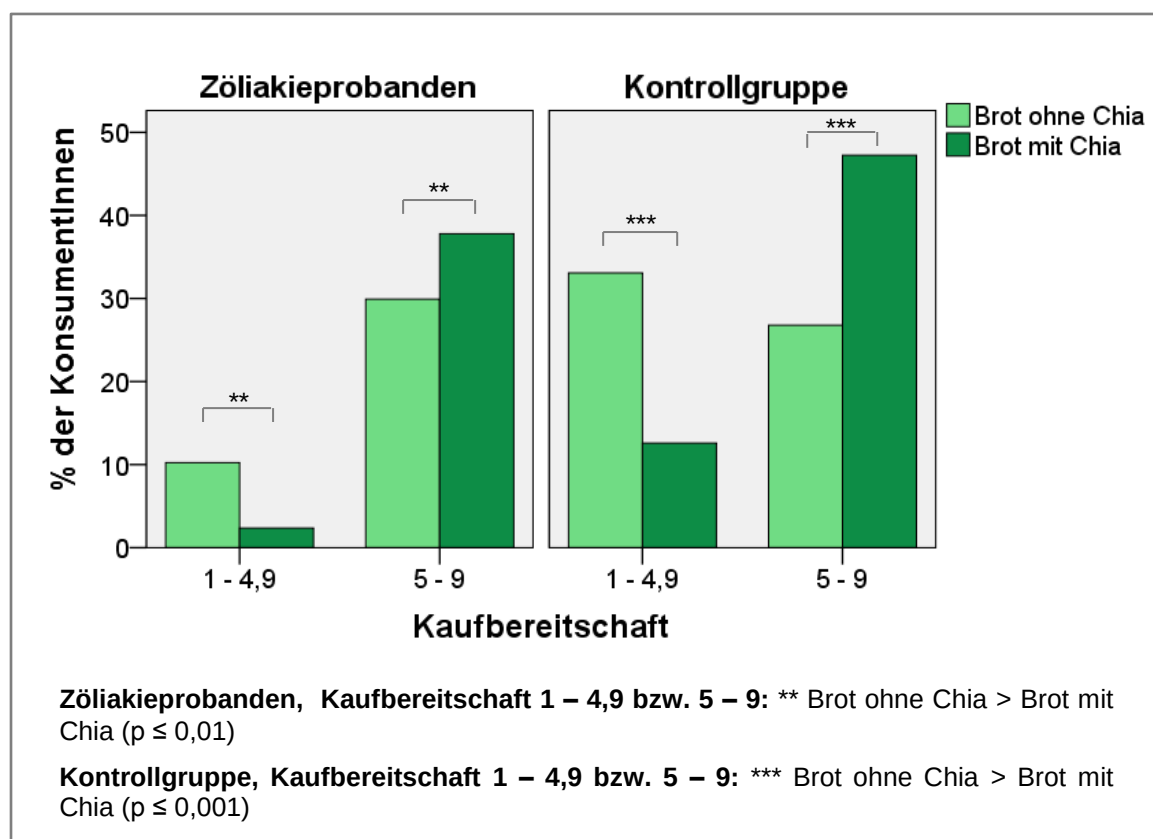


Da dieselbe Skala verwendet wurde wie bei der Akzeptanz, wurde die Bewertung der Kaufbereitschaft analog interpretiert d.h. „geringe Kaufbereitschaft“ (1 – 4,9) bzw. „Kaufbereitschaft“ (5 – 9).

Abbildung 16: Anteil (in %) der Konsumenten, die die Kaufbereitschaft der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia im Bereich 1 bis 4,9 bzw. 5 bis 9 bewerteten.

Neben der mittleren Bewertung für die Akzeptanz ist in der Tabelle 15 (auf S. 80) auch jene für die Kaufbereitschaft angeführt. Die Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests zeigten einen signifikanten Einfluss einer glutenfreien Diät auf die Bereitschaft, die beiden Brote zu erwerben. Bei der Kontrollprobe ergab sich bei den Zöliakieerkrankten eine signifikant höhere mittlere Kaufbereitschaft ($p \leq 0,001$) als bei der Vergleichsgruppe. Auch beim Chiabrot waren Unterschiede bei dieser Bewertung nachweisbar. Dabei lag dessen Mittelwert bei den Probanden mit Einhaltung der Diät signifikant höher ($p \leq 0,01$).

Die unten angeführte Abbildung 17 verdeutlicht, dass auch bei separater Betrachtung der untersuchten Gruppen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,01$ bzw. $p \leq 0,001$) in der mittleren Kaufbereitschaft zwischen den beiden Proben nachweisbar sind.



Da dieselbe Skala verwendet wurde wie bei der Akzeptanz, wurde die Bewertung der Kaufbereitschaft analog interpretiert d.h. „geringe Kaufbereitschaft“ (1 – 4,9) bzw. „Kaufbereitschaft“ (5 – 9).

Abbildung 17: Anteil (in %) der Konsumenten, die die Kaufbereitschaft der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia im Bereich 1 bis 4,9 bzw. 5 bis 9 bewerteten (Zöliakieprobanden vs. Kontrollgruppe).

4.3.3.3 Präferenzprüfung

Die Präferenz der beiden untersuchten Brote ist in der Tabelle 16 als Anzahl der Probanden bzw. prozentueller Anteil angeführt.

Dessen Ergebnisse zeigten bei jeweils 88% der Zöliakiepatienten und der Kontrollgruppe die Bevorzugung des optimierten Brotes gegenüber jenem ohne Chia (12%). Damit konnte zwischen den beiden Proben ein signifikanter Unterschied in der mittleren Präferenz belegt werden ($p \leq 0,001$).

Tabelle 16: Präferenz der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia (Zöliakieprobanden vs. Kontrollgruppe).

	Probe ¹	Zöliakieprobanden (n = 51)	Kontrollgruppe (n = 76)	Signifikanz- Niveau
Präferenz	- Chia	n = 6 (12 %)	n = 9 (12 %)	n.s. ²
	+ Chia	n = 45 (88 %)	n = 67 (88 %)	n.s. ²

Abkürzung: n ... Anzahl der Probanden

¹ „- Chia“... Kontrollbrot; „+ Chia“... Brot mit Chia.

² „n.s.“ ... nicht signifikant bei $p > 0,05$ (Zöliakieprobanden vs. Kontrollgruppe).

In der Tabelle 16 sind u.a. die Signifikanzniveaus angeführt, woraus bei beiden Broten kein signifikanter Unterschied der mittleren Präferenz zwischen der Gruppe mit den Zöliakiepatienten und der Kontrollgruppe abgeleitet werden konnte. Dies ist wahrscheinlich damit zu erklären, dass die Präferenz für das im Zuge der vorliegenden Studie analysierten Chiabrot mit 88% sehr hoch war und daher die Zugehörigkeit zu einer der beiden Gruppen keinen wesentlichen Einfluss mehr auf diesen Mittelwert hatte.

Es kann demnach aus den hedonischen Prüfungen geschlussfolgert werden, dass die Konsumenten das Chiabrot eindeutig gegenüber der Referenzprobe bevorzugten. Die Zugabe der Früchte resultierte auch in einer signifikant höheren mittleren Akzeptanz und Kaufbereitschaft. Letzere wurden von den Zöliakiepatienten besser bewertet, wahrscheinlich aufgrund des häufigeren Konsums glutenfreier Backwaren.

4.4 Instrumentelle Analyse

4.4.1 Rheologische Eigenschaften der Proben

4.4.1.1 Härte

Wie schon bei der Interpretation der Ergebnisse der QDA erwähnt, resultierte durch die Zugabe von Chia eine signifikant geringere Härte des Brotes. Auch die instrumentelle Analyse sowie ein t-Test für unabhängige Stichproben konnten beim optimierten Brot mit Chia an allen vier Lagertagen eine signifikant geringere Härte ($p \leq 0,05$) im Vergleich zur Kontrollprobe nachweisen.

Bei beiden Brotzubereitungen ergab der t-Test für abhängige Stichproben, dass im Vergleich zum darauffolgenden Tag die instrumentell gemessene mittlere Härte höchst signifikant zunahm ($p \leq 0,001$, Abbildung 18). Bereits die Autoren einer Studie aus dem Jahr 2014 beschrieben mit fortschreitender Lagerdauer die Zunahme dieser Messgröße [Fitzgerald et al., 2014].

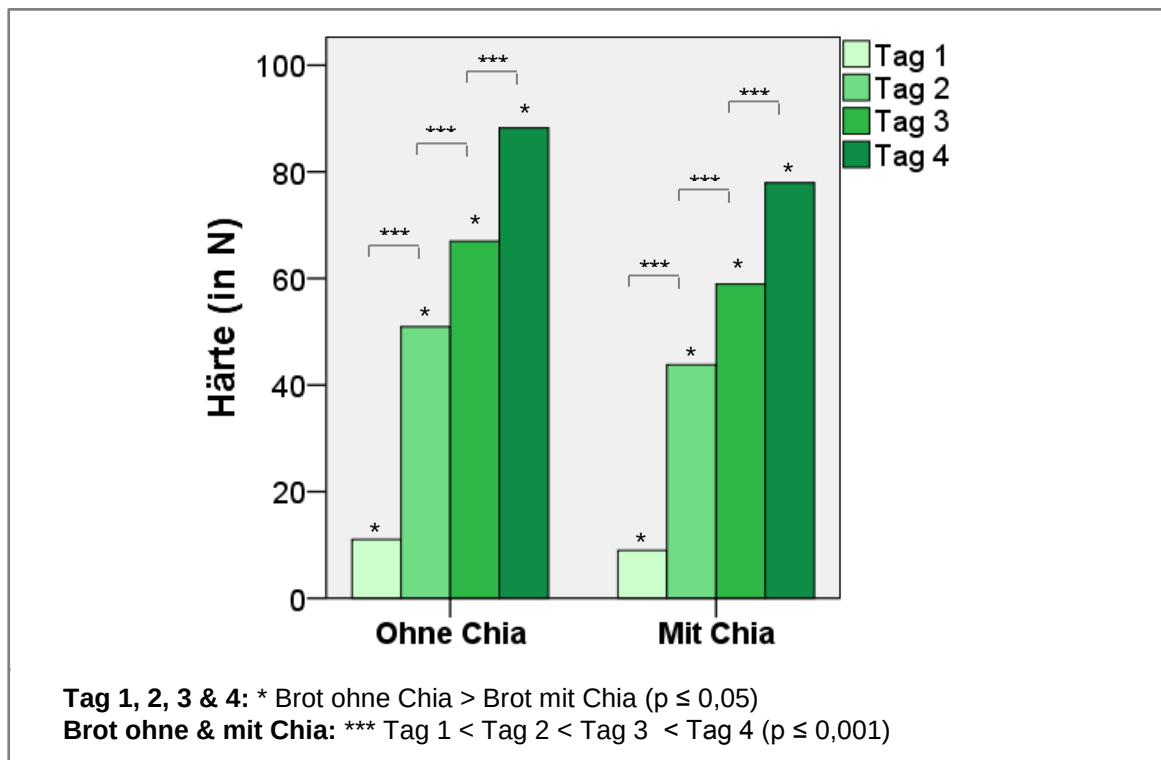


Abbildung 18: Instrumentell gemessene Härte (MW in Newton) der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia im Verlauf einer viertägigen Lagerdauer.

Abkürzung: MW... Mittelwert

4.4.1.2 Elastizität

Die instrumentelle Messung sowie dessen statistische Auswertung konnten bei der mittleren Elastizität an keinem der vier Lagertage einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Proben nachweisen. Die Chiafrüchte hatten demnach keinen signifikanten Effekt auf die Elastizität des Brotes, was auch schon das Ergebnis der QDA zeigte.

Beim Referenzbrot konnte bei diesem Parameter vom ersten auf den zweiten Lagertag (gerade noch) kein signifikanter Unterschied beobachtet werden, bei den anderen Lagertagen nahm die mittlere Elastizität signifikant ab ($p \leq 0,05$). Für das Chiabrot zeigten sich ebenfalls signifikante Mittelwertunterschiede ($p \leq 0,05$, Abbildung 19) dieses Parameters zwischen dem 1. und 2. sowie dem 3. und 4. Lagertag. Keine Signifikanz ergab sich diesbezüglich beim Vergleich der Lagertage 2 und 3. Insgesamt war bei beiden Broten ein höchst signifikanter Einfluss (jeweils $p \leq 0,001$) der viertägigen Lagerung auf die mittlere Elastizität nachweisbar. Auch *Fitzgerald et al. (2014)* beobachteten in ihrer Studie, dass mit zunehmender Lagerdauer des Brotes die Abnahme der Intensität dieses Parameters einherging.

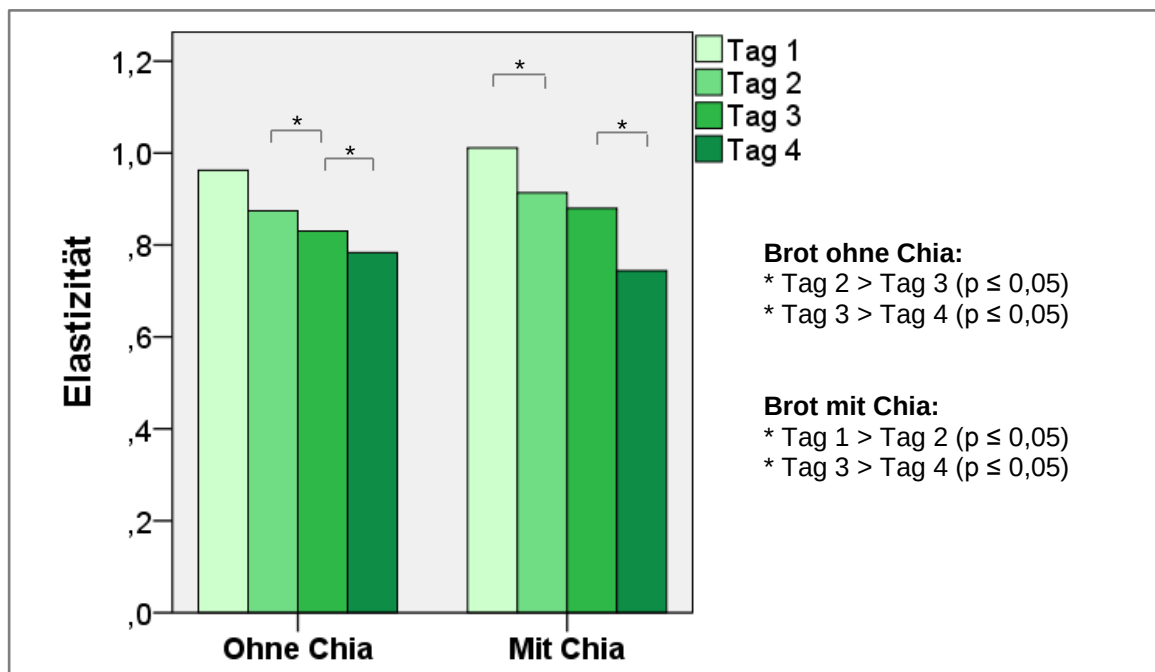


Abbildung 19: Instrumentell gemessene Elastizität (MW; dimensionslos) der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia im Verlauf einer viertägigen Lagerdauer.

Abkürzung: MW... Mittelwert

4.4.1.3 Adhäsivität

Beim Mann-Whitney-U-Test konnte bezüglich der mittleren Adhäsivität kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Broten nachgewiesen werden. Daraus wird das Fazit gezogen, dass Chia diesen Parameter nicht signifikant beeinflusste. Dieser dürfte aufgrund von niedrigen Werten keine bzw. eine vernachlässigbare Rolle spielen.

Bei der Kontrollprobe ergab sich zwischen den ersten beiden sowie dem 2. und 3. Tag keine, jedoch zwischen dem 3. und 4. Lagertag eine signifikante Veränderung ($p \leq 0,01$) der mittleren Adhäsivität (Abbildung 20). Vergleicht man die ersten drei Lagertage bei der mit Chia optimierten Probe, so war an den ersten beiden sowie dem 2. und 3. Tag (gerade noch) keine signifikante Veränderung dieses Parameters nachweisbar. Bei beiden Broten war eine signifikante Abnahme (jeweils $p \leq 0,05$) der Adhäsivität während der viertägigen Lagerung zu beobachten, wobei insgesamt kein starker Effekt resultierte. Keinen signifikanten Unterschied auf diesen Parameter scheint laut *Wronkowska et al. (2010)* der Zusatz von 10% Buchweizenmehl zu haben. Demnach ist davon auszugehen, dass Chia einen stärkeren Effekt auf die Adhäsivität hat, was ev. mit der Schleimbildung zu begründen ist [Lin et al., 1994].

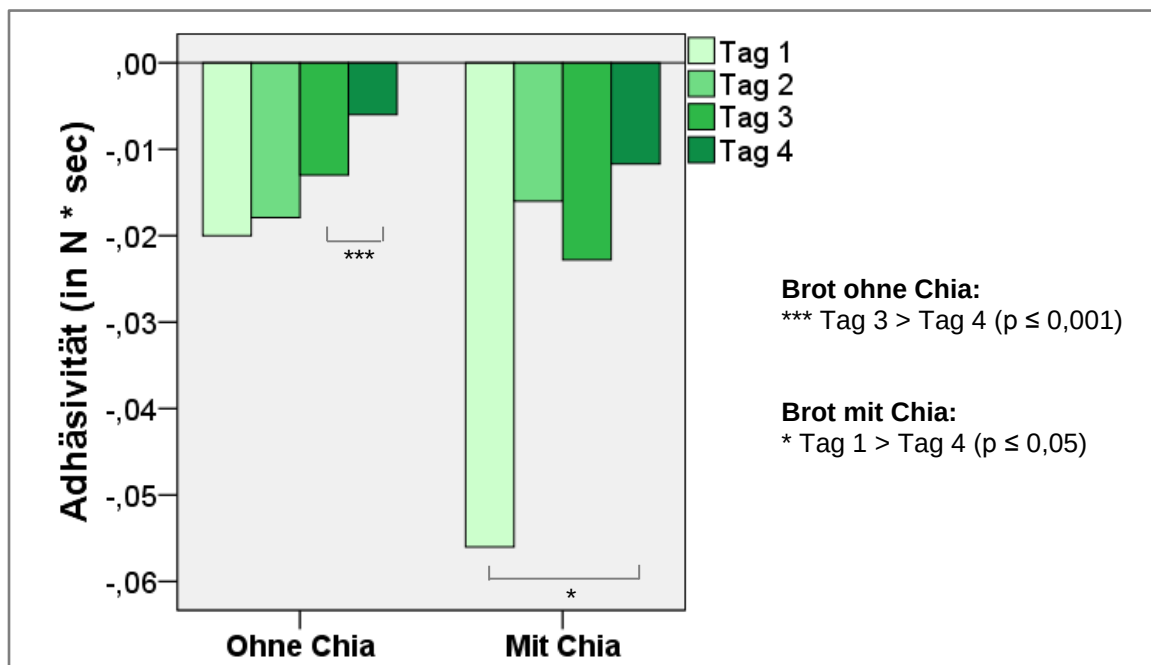


Abbildung 20: Instrumentell gemessenen Adhäsivität (MW in Newton * sec) der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia im Verlauf einer viertägigen Lagerdauer.

Abkürzung: MW... Mittelwert

4.4.1.4 Kohäsivität

Der t-Test für unabhängige Stichproben zeigte bei dieser Messgröße einen signifikanten Unterschied ($p \leq 0,05$) zwischen den beiden Broten. Dieser war jedoch nur für die ersten beiden, nicht jedoch für die weiteren beiden Lagertage messbar. Demnach hatten die Chiafrüchte einen signifikanten Effekt auf die mittlere Kohäsivität von frischem Brot.

Diese Messgröße nahm beim Kontrollbrot an den ersten drei Lagertagen signifikant ($p \leq 0,05$) ab. Auch beim Chiabrot konnte zwischen dem Tag 1 und 2 sowie dem Tag 2 und 3 eine signifikante Abnahme ($p \leq 0,01$, Abbildung 21) der mittleren Kohäsivität gezeigt werden. Nur der Unterschied zwischen den Lagertagen 3 und 4 war jeweils bei beiden Proben nicht signifikant. Bei Betrachtung der Mittelwerte über alle vier Lagertage hinweg kann der Schluss gezogen werden, dass die mittlere Kohäsivität der Brote vom jeweiligen Lagertag auf den nächsten höchst signifikant abnahm (jeweils $p \leq 0,001$). Dass die Kohäsivität stark von der Lagerdauer abhängt, wurde bereits in der Literatur beschrieben. In einer Studie zeigte sich auch eine signifikante Abnahme der Kohäsivität, verglichen zwischen einer 24- und 120-stündiger Lagerdauer [Fitzgerald et al., 2014].

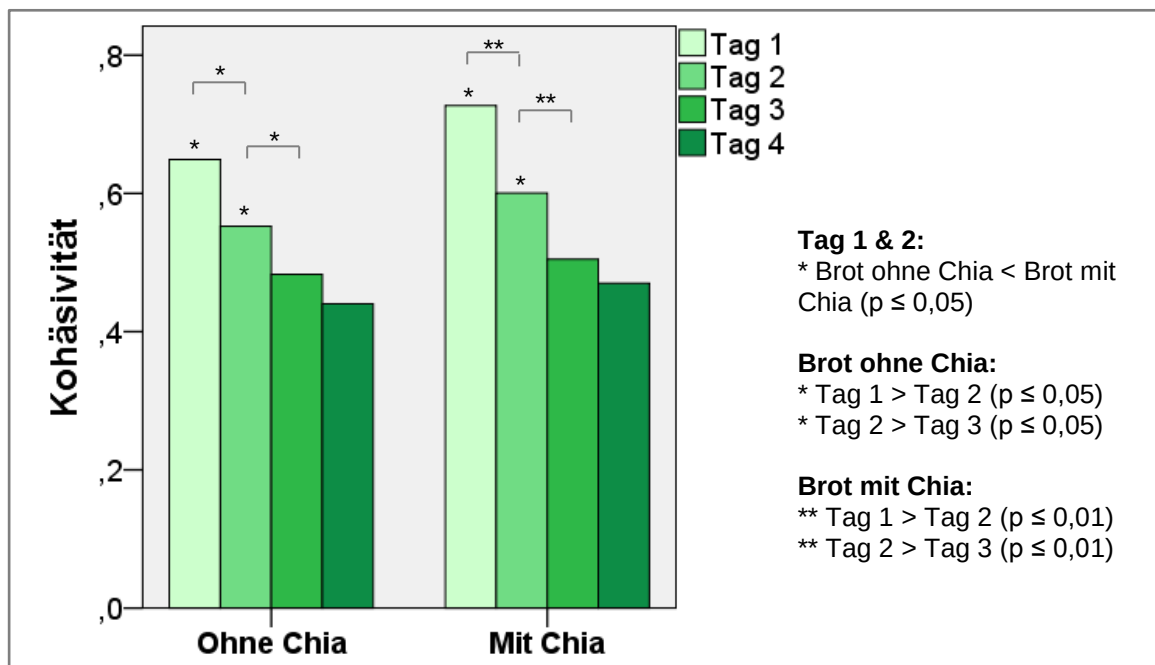


Abbildung 21: Instrumentell gemessene Kohäsivität (MW; dimensionslos) der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia im Verlauf einer viertägigen Lagerdauer.

Abkürzung: MW... Mittelwert

4.4.1.5 Kaubarkeit

An keinem der vier Lagertage ergab sich ein signifikanter Unterschied der instrumentell gemessenen Kaubarkeit zwischen den beiden Broten. Deshalb kann der Schluss gezogen werden, dass Chia keinen signifikanten Effekt auf diesen Parameter hatte. Die Kaubarkeit nahm bei der Kontrollprobe vom Tag 1 auf 2 höchst signifikant zu ($p \leq 0,001$, Abbildung 22). An den folgenden Lagertagen ergab sich eine nicht signifikante Zunahme der Kaubarkeit, was auch für das mit Chia optimierte Brot galt. Bei Letzterem lieferte v.a. die Zunahme der Kaubarkeit vom 1. auf den 2. Tag einen sehr wesentlichen Beitrag, da nur diese höchst signifikant war ($p \leq 0,001$). Betrachtet man den Unterschied vom ersten auf den letzten Lagertag, so ergab sich bei beiden Brotzubereitungen eine höchst signifikante Zunahme der instrumentell gemessenen Kaubarkeit (jeweils $p \leq 0,001$). Auch *Krupa-Kozak et al. (2012)* konnten eine signifikante Zunahme der Kaubarkeit u.a. bei einem Kontrollbrot auf Basis von Kartoffel- und Maisstärke nachweisen. Dieses wurde zuerst frisch sowie anschließend nach einer 24-stündigen Lagerdauer gemessen und diese Werte miteinander verglichen.

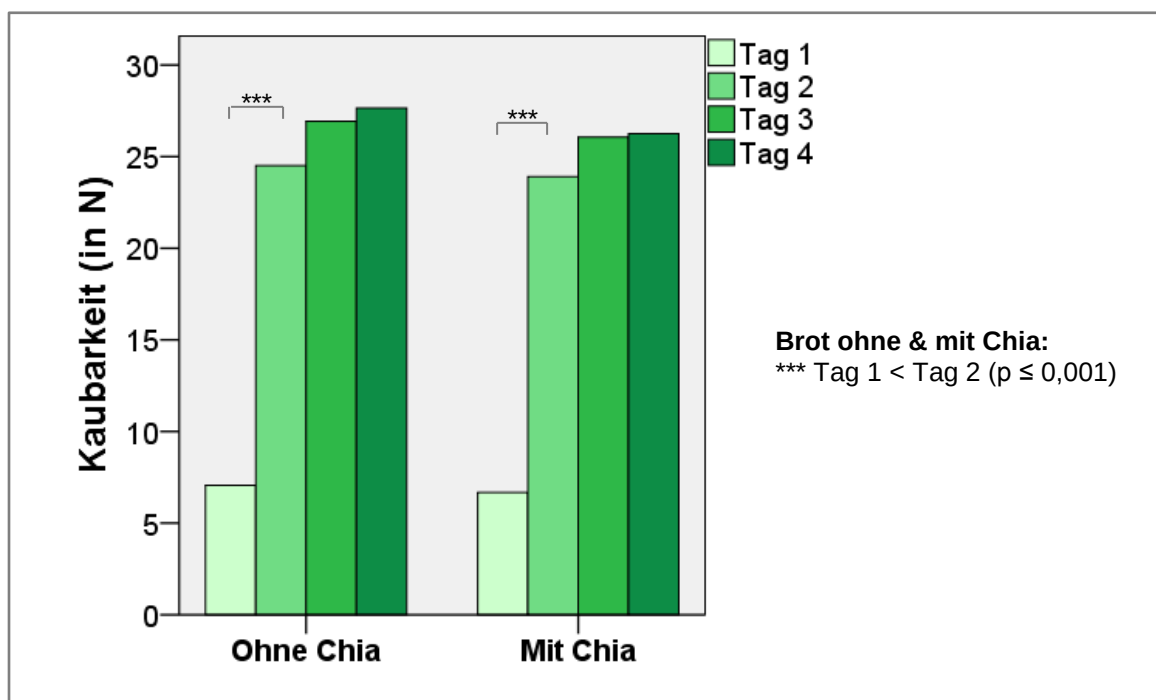


Abbildung 22: Instrumentell gemessene Kaubarkeit (MW in Newton) der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia im Verlauf einer viertägigen Lagerdauer.

Abkürzung: MW... Mittelwert

4.4.2 Einflüsse einer viertägigen Lagerdauer auf weitere Texturattribute

Die Auswirkungen der Lagerung auf die fünf instrumentell gemessenen Parameter sind im letzten Abschnitt (im Kapitel 4.4.1 ab S. 87) angeführt. Der Vollständigkeit halber werden diese Effekte für jene Texturattribute, die nur sensorisch beurteilt wurden, in diesem Kapitel diskutiert.

Iglesias-Puig und Haros (2013) untersuchten den Effekt einer 5%-igen Zugabe von Chiafrüchten zu Broten, die auf der Basis von Weizenmehl hergestellt wurden. Als wichtige Erkenntnis dieser Studie gilt, dass die Zugabe von Chia die Kinetik der Amylopektin-Retrogradation während der Lagerung hemmte, was gleichzeitig die Verzögerung des Altbackenwerdens von Brot bedeutete.

Knusprigkeit: *Hirte et al. (2012)* beschäftigten sich in einer Studie mit der Knusprigkeit von Broten und welche Parameter Einfluss auf die Verringerung derselben hatten. Im Zuge dieser Studie konnte ein geschultes Panel die Abnahme der Knusprigkeit der Brote wahrnehmen, wobei die Proben nach einer Lagerdauer von 30 min und 4 Stunden verglichen wurden.

Sie erklärten dessen Abnahme während der Lagerung mit der Migration von Wasser von der feuchten Krume in die trockene Kruste. Dabei nahm der Wassergehalt gleichzeitig in der Kruste zu und in der Krume ab. Dieser Prozess war jedoch abhängig von den Lagerbedingungen, der initialen Verteilung des Wassers in der Probe als auch den Eigenschaften der Kruste und der Krume (z.B. die Geschwindigkeit der Wasserdiffusion in der Krume) [Sabanis et al., 2009; Hirte et al., 2012].

Krümeligkeit: Die Autoren *Stöllman und Lundgren (1987)* beschrieben u.a. den Einfluss der Lagerung auf diverse Parameter von Weißbrot. Sie kamen zu dem Schluss, dass während einer siebentägigen Lagerdauer die Krümeligkeit des Brotes signifikant zunahm, wobei schon ein zusätzlicher Lagerungstag einen signifikanten Einfluss auf diese messbar machte.

Daher ist davon auszugehen, dass auch die im Zuge der vorliegenden Arbeit analysierten glutenfreien Brote mit zunehmender Lagerdauer eine Zunahme in der Krümeligkeit aufwiesen.

Saftigkeit: Ballaststoffe sind bekannt dafür, dass durch ihre Wasserbindungskapazität während der Lagerung der Wasserverlust vermindert wird und die Interaktion zwischen den Ballaststoffen und der Stärke eine Verzögerung der Stärke-Retrogradation bewirkt [Gómez et al., 2003]. Daraus kann man die Schlüsse ziehen, dass Backprodukte mit der Zugabe von Ballaststoffen länger saftig bleiben.

4.5 Korrelationen zwischen den sensorisch und instrumentell gemessenen Texturattributen

Beim Vergleich der instrumentell gemessenen mit der oral beurteilten Härte bei der QDA ergab sich beim Kontrollbrot ein Korrelationskoeffizient, der signifikant von Null verschieden war. Demnach war ein signifikanter linearer Zusammenhang dieser beiden Größen messbar ($r = -0,799$, $p \leq 0,01$). Dieser lineare Zusammenhang war auch für das Chiabrot zwischen der instrumentellen und der mit den Fingern beurteilten Härte ($r = -0,672$, $p \leq 0,05$) nachweisbar, jedoch nicht mit der oral beurteilten Härte. Auch *Matos und Rosell (2013)* beobachteten in ihrer Studie höchst signifikante negative Korrelationen zwischen der sensorisch und instrumentell ermittelten Härte ($r = -0,765$, $p \leq 0,001$).

Für die Elastizität, Adhäsivität, Kohäsivität und Kaubarkeit ergab sich bei beiden Broten keine signifikante Korrelation zwischen den instrumentellen und sensorischen Analysen. D.h. es bestand kein linearer Zusammenhang zwischen diesen beiden Messmethoden. Ähnliche Ergebnisse erhielten die Autoren *Gámbaro et al. (2002)*, die sich auf die Parameter Elastizität und Adhäsivität bezogen. Eine weitere Studie von *Meullenet et al. (1998)* beschrieb eine fehlende lineare Korrelation für die Messgrößen Kohäsivität und Kaubarkeit.

Brady und Mayer (1985) lieferten dafür einen Erklärungsansatz. Laut diesen Autoren wird bei einer instrumentellen Messung nur die Wirkung von Kompressionskräften auf die Proben beurteilt. Ein sensorisches Panel nimmt jedoch eine konstante Modifizierung des Prüfmaterials dadurch wahr, indem es auch dessen Temperatur und physikalische Veränderung während dem Kauprozess und die Feuchtigkeit im Mund durch den Speichel evaluiert. Demnach fließen bei diesem komplexen Vorgang andere Faktoren mit in die Bewertung ein als bei einer instrumentellen Messung.

5 Schlussbetrachtung

Die Problematik einer glutenfreien Ernährungsform sind die zu geringen Mengen an einigen Vitaminen des B-Komplexes, Eisen, Folat sowie Ballaststoffen, die Produkte ohne im Vergleich zu jenen mit diesen Kleberproteinen aufweisen. Dadurch wird die Zugabe hochwertiger Rohstoffe erforderlich wie z.B. das neuartige Lebensmittel, das unter der Sachbezeichnung „Chiasamen“ in Verkehr gebracht wird. Deren Inhaltsstoffe können für den Konsumenten als wertvoll eingestuft werden [Thompson, 2000; EU, 2013; Iglesias-Puig und Haros, 2013].

Die vorliegende Arbeit untersuchte den Effekt von Chia in einem glutenfreien Brot im Vergleich zu einer Referenzprobe ohne diese Früchte. Dadurch sollte deren Einfluss auf diverse sensorische und rheologische Eigenschaften für dieses Produkt beschrieben als auch die Akzeptanz und Präferenz der Konsumenten untersucht werden.

Die deskriptive sensorische Prüfung (QDA) zeigte einen signifikanten Einfluss von Chiafrüchten auf die Krume des Brotes ($p \leq 0,001$), die Intensität des Geruchs ($p \leq 0,05$) und Flavours von Getoastetem ($p \leq 0,01$), des bitteren Geschmacks ($p \leq 0,05$) sowie des allgemeinen Flavours ($p \leq 0,001$). Auch die Texturattribute wurden signifikant beeinflusst. Dabei ergab sich ein signifikanter Effekt von Chia auf die mit den Fingern bzw. oral beurteilte Krümeligkeit ($p \leq 0,001$ bzw. $p \leq 0,01$), die mit den Fingern bzw. oral beurteilte Härte ($p \leq 0,001$ bzw. $p \leq 0,01$), die Saftigkeit ($p \leq 0,001$) sowie die mit den Fingern bzw. oral beurteilte Kohäsivität ($p \leq 0,01$).

Ein Konsumentenkollektiv wurde herangezogen, um Gesamtakzeptanz, Kaufbereitschaft und Präferenz zwischen einer potentiellen Zielgruppe mit Zöliakie und einer Kontrollgruppe zu vergleichen. Es konnten von insgesamt 51 Probanden mit dieser Erkrankung und 76 Personen der Vergleichsgruppe gültige Daten des Fragebogens inkl. der hedonischen Tests gesammelt werden.

Deren Auswertung zeigte bei 49 von 51 Personen in der Gruppe mit einer glutenfreien Ernährung eine Diagnose für Zöliakie. 11 Personen des Kollektivs hielten eine andere bzw. 65 Personen keine Diät ein.

Die Art der Backwaren wurde bei einer glutenfreien Diät v.a. an diese Ernährungsform angepasst. Daraus kann man schließen, dass nur eine kleine Produktpalette von glutenfreiem Brot vorhanden und daher nur eine unzureichend abwechslungs-

reiche Diät möglich ist. Die Kontrollgruppe gab an, v.a. Vollkornprodukte oder Brot und Gebäck auf Basis von Weizen (inkl. Schwarz- und Mischbrot) zu verzehren.

Die Hauptbezugsquelle von Backwaren sind für Zöliakiebetreffene Supermärkte, aber sie backen teilweise oder auch ausschließlich selbst. Die Vergleichsgruppe nutzt v.a. Supermärkte und/oder Bäckereien.

Der Großteil des gesamten Kollektivs machte bislang noch keine Erfahrung mit diesem neuartigen Lebensmittel. Insgesamt 36 Personen hatten von diesem „Superfood“ gelesen oder gehört, 26 von 127 Personen zuvor gegessen.

Aus den Ergebnissen der hedonischen Tests ging hervor, dass 88% des Kollektivs das Chia- gegenüber dem Kontrollbrot bevorzugten ($p \leq 0,001$). Insgesamt erhöhte die Zugabe dieser Früchte auch die mittlere Akzeptanz und Kaufbereitschaft dieses glutenfreien Produkts höchst signifikant ($p \leq 0,001$).

Da für die Akzeptanz die mittleren Bewertungen beider Brote auf einer neunstufigen Skala im Bereich von 5 bis 9 lagen, konnte analog zur Interpretation von *Sabanis und Tzia (2011)* darauf geschlossen werden, dass beide analysierten Brote vom gesamten Konsumentenkollektiv gut angenommen wurden.

Die Einhaltung einer glutenfreien Diät beeinflusste die mittlere Akzeptanz und Kaufbereitschaft signifikant im Vergleich zur Kontrollgruppe. Letztere verzehrte wie bereits erwähnt v.a. Vollkornprodukte oder Produkte auf Weizenbasis, welche sich aber deutlich von ihren glutenfreien Pendanten unterscheiden. Die Zöliakieprobanden sind an die charakteristischen sensorischen Eigenschaften dieser speziellen Art von Backwaren gewöhnt. Dadurch könnte deren höhere Akzeptanz und Kaufbereitschaft erklärt werden.

Die Messungen mit dem „Texture Analyser“ ergaben, dass Chia an allen vier Lagerzeiten eine signifikant geringere Härte sowie bei frischem Brot eine signifikant höhere Kohäsivität (jeweils $p \leq 0,05$) bewirkte. Für alle anderen rheologischen Eigenschaften war kein Einfluss durch deren Zugabe nachweisbar. Trotzdem war mit dieser Messmethode der wesentliche Einfluss der Lagerung auf alle 5 instrumentell gemessenen Texturattribute und somit auf die Haltbarkeit zu beobachten. Die verwendeten Rezepturen würden sich jedoch nicht dazu eignen, diese Brote mehrere Tage zu lagern. Dies ergab sich aus der raschen Zunahme der jeweils instrumentell gemessenen Härte und Kaubarkeit beider Proben. Daher ist der Verzehr von frisch zubereitetem glutenfreiem Brot oder die Optimierung der Lagerungsbedingungen unumgänglich.

Zur Verzögerung des Altbackenwerdens gibt es verschiedene Möglichkeiten, bspw. das Tiefkühlen des Brotes. Bei Lagertemperaturen von weit unter 0°C (-10 bis -70°C) oder von ca. +60°C und hoher relativer Luftfeuchtigkeit tritt nur eine langsame Alterung ein. Eine warme Lagerung zieht jedoch den wesentlichen Nachteil einer Verbreitung von Mikroorganismen mit sich [Rohrlich und Brückner, 1966].

Diverse Autoren beschrieben durch die Zugabe von Chia eine signifikante Erhöhung des Protein-, Fett-, Mineralstoff- sowie des Gesamt-Ballaststoffgehalts. Im Vergleich zu einem Kontrollbrot konnte durch die Zugabe der gemahlenen Früchte zusätzlich der Stärkegehalt verringert werden [Iglesias-Puig und Haros, 2013]. Die verbesserte Rezeptur mit diesem Rohstoff bewirkte dadurch eine Optimierung der Inhaltsstoffe. Ein weiterer positiver Effekt für Backwarenhersteller ist, dass der Wasser- und damit der Backverlust beim optimierten Brot vermindert wurden. Dessen Ballaststoffe binden das Wasser auch während dem Backprozess und somit konnte schon bei der Zubereitung mehr davon in den Teig zugegeben werden. Daraus resultierten Brote mit einem höheren spezifischen Volumen, was für Konsumenten ein wichtiges Kaufkriterium darstellt [McCarthy et al., 2005; Zettel et al., 2015; Costantini et al., 2014].

Der Zusatz von 10% dieser Früchte zu Backwaren ist als sicher zu beurteilen [EU, 2013]. Demnach kann die in der vorliegenden Arbeit verwendete Rezeptur des Kartoffel-Chia-Brotes als unbedenklich bewertet werden.

Das vielfältige Einsatzgebiet von Chia als hochwertigen Rohstoff liegt bspw. in der Lebensmittelindustrie. Vieles spricht aber auch für deren Anwendung im Bereich der Tierfütterung oder von Kosmetika und Pharmazeutika [Muñoz et al., 2013].

Die von Chia gebildeten Schleimstoffe aus der Fraktion der löslichen Ballaststoffe stellen eine bedeutende Anwendungsmöglichkeit dar. Dieses Gel kann bspw. als Verdickungsmittel in Lebensmitteln eingesetzt werden, mit dem bedeutenden Vorteil, dass das von den Früchten abgetrennte Hydrokolloid keinen Nährwert aufweist [Muñoz et al., 2013; Capitani et al., 2015].

Der Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren macht diese zu einem bedeutenden Rohstoff als Alternative zu Fisch und anderen Ölsaaten [Mohd et al., 2012]. Auch Coates (2011) weist darauf hin, dass sie bei Personen mit Allergien auf Fisch und daraus hergestellten Produkten als Quelle für ω -3-Fettsäuren dienen können.

Auch die potentielle Wirkung von Chiafrüchten als Ei- oder Öl- Ersatz sollte weiter verfolgt werden. Dabei kann ca. 25% des Öls bzw. der Eier eines Kuchens durch ein Chia-Gel ersetzt werden und man erhält ein Nährwert-optimiertes Produkt mit sensorisch von Konsumenten akzeptierten Eigenschaften [Borneo et al., 2010].

Bei der Einschränkung der Anwendung von Chiafrüchten sind einerseits die höheren Kosten im Vergleich zu herkömmlichem, glutenhaltigen Mehl oder anderen Ölsaaten zu nennen. Der Beitrag zur Energieaufnahme aufgrund des hohen Fettgehalts der Früchte sowie des hohen Stärkegehalts der Universalbackmischung ist hoch. Daher würde sich das optimierte Brot nicht für eine Reduktionskost oder eine kohlehydrat- oder fettarme Ernährung eignen.

Abschließend kann durch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit die Anwendung dieses neuartigen Lebensmittels bspw. in glutenfreien Backwaren empfohlen werden. Durch die Zugabe des Chiamehls konnte die Optimierung der Inhaltsstoffe, mancher sensorischer und rheologischer Eigenschaften und damit die eindeutige Präferenz dieser Probe erzielt werden. Auch die Akzeptanz und Kaufbereitschaft des optimierten Brotes konnte bei den Zöliakieprobanden als Zielgruppe, aber auch bei der Kontrollgruppe verbessert werden.

6 Zusammenfassung

Einige Studien deuten auf die steigende Nachfrage an qualitativ hochwertigen, glutenfreien Backwaren hin. Aus diesem Grund war die Modifizierung und Analyse eines glutenfreien Brotes mit 10% Chiamehl das Ziel der vorliegenden Arbeit. Dafür wurde in der Literatur die Herstellung des Mehls und Gels aus diesen Früchten sowie die Bedeutung und Menge der benötigten Zusatzstoffe recherchiert. Nach einigen Backversuchen wurden die Rezepte für das untersuchte Kartoffel-Chia- und das Kartoffel-Brot entwickelt.

Im Zuge der sensorischen Analyse wurden eine quantitative deskriptive Analyse (QDA) mit 10 geschulten Panellisten sowie zwei hedonische Tests (Akzeptanz- und Präferenzprüfung) ausgewählt. Für Letztere wurden die Ergebnisse zwischen 51 Zöliakiepatienten und 76 Probanden einer Kontrollgruppe verglichen. Fünf Texturattribute wurden sowohl instrumentell gemessen als auch von einem deskriptiven Panel beurteilt, um anschließend den linearen Zusammenhang zwischen diesen beiden Messmethoden zu erheben.

Die Ergebnisse der deskriptiven sensorischen Prüfung (QDA) zeigten beim Chiabrot im Vergleich zur Kontrollprobe eine dunklere Farbe der Krume ($p \leq 0,001$), eine höhere Intensität des allgemeinen Flavours ($p \leq 0,001$) sowie des Geruchs und des Flavours von Getoastetem ($p \leq 0,05$ bzw. $p \leq 0,01$). Die Intensität des bitteren Geschmacks war dagegen bei der optimierten Probe mit Chia geringer ausgeprägt ($p \leq 0,05$). Krümeligkeit (Finger: $p \leq 0,001$ bzw. oral: $p \leq 0,01$) und Härte (Finger: $p \leq 0,001$ bzw. oral: $p \leq 0,01$) wurden signifikant geringer, Kohäsivität (Finger und oral: $p \leq 0,01$) und Saftigkeit ($p \leq 0,001$) signifikant stärker wahrgenommen.

Die hedonischen Tests deuteten mit 88% auf eine höchst signifikante Präferenz für das Chiabrot ($p \leq 0,001$) hin, während die restlichen 12% der Konsumenten die Referenzprobe bevorzugten. Auch die mittlere Kaufbereitschaft und Akzeptanz wurde durch die Zugabe der Früchte signifikant gesteigert ($p \leq 0,001$). Zöliakieprobanden bzw. Personen mit einer glutenfreien Diät vergaben signifikant höhere Werte für die Akzeptanz und Kaufbereitschaft, wobei diese Erkrankung keinen signifikanten Einfluss auf die mittlere Präferenz zeigte.

Bei der instrumentellen Messung konnte bei der Härte des Brotes an allen vier sowie bei der Kohäsivität an den ersten beiden Tagen ein signifikanter Einfluss (jeweils $p \leq 0,05$) einer Zugabe von Chia nachgewiesen werden, jedoch nicht bei den anderen drei gemessenen Parametern. Insgesamt konnte mit dieser Methode der signifikante Effekt der Lagerung auf alle Messgrößen verdeutlicht werden.

In der Literatur deuten Sicherheitsbewertungen auf die Unbedenklichkeit der Zugabe von 10% Chia zu einigen Produktklassen hin. Die Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit verdeutlichen den positiven Effekt dieses Rohstoffs v.a. auf die Charakteristika von glutenfreien Backwaren. Da die Untersuchung von nur einem Rezept als Limitierung anzusehen ist, wird weitere Forschung in der Anwendung dieser Früchte in anderen Backprodukten empfohlen.

7 Summary

Several sources state an increasing demand of high-quality gluten-free bakery products. Therefore, the goal of the present thesis was the modification and evaluation of gluten-free bread containing 10% chia flour. For this purpose, literature was searched for the preparation of chia flour and gel and which type and amount of additives will be needed. After a few baking tests, the recipes were developed for the investigated potato-chia- and the potato-bread.

As part of the sensory analysis, a quantitative descriptive analysis (QDA) with 10 trained panellists and two hedonic tests (acceptance and preference test) were chosen. For the latter, the results were compared between 51 coeliac patients and 76 individuals of a control group. Five texture attributes were evaluated instrumentally as well as by a descriptive panel for measuring the linear correlation between these two methods afterwards.

The QDA examination showed in the chia bread compared to the control sample a darker colour of the crumb ($p \leq 0.001$), higher intensities of an overall flavour ($p \leq 0.001$) and a toasted smell and flavour ($p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$). Furthermore, the intensity of the bitter taste was less intense ($p \leq 0.05$) in the optimized bread sample with chia. Crumbliness (fingers: $p \leq 0.001$ and orally: $p \leq 0.01$) and hardness (fingers: $p \leq 0.001$ and orally: $p \leq 0.01$) were significantly lower, cohesiveness (fingers and orally: $p \leq 0.01$) and juiciness ($p \leq 0.001$) were higher perceived.

The hedonic sensory tests showed with 88% a highly significant preference for the chia bread ($p \leq 0.001$), while the remaining 12% of the consumers preferred the control sample. In addition, the average purchase intention and acceptance were definitely higher for the optimized bread ($p \leq 0.001$). The individuals with the gluten-free diet showed higher values for the acceptance and purchase intention, but coeliac disease didn't have an influence on the mean preference.

The instrumental measurement could only show a significant effect of chia on hardness at all four respectively on cohesiveness on the first two storage days (both $p \leq 0.05$) while there was no significant difference in the other three measured texture variables. Overall, this method clarified the impact of storage on all selected texture parameters.

In literature, safety assessments describe an addition of 10% chia to some product classes as harmless. The results of the present thesis indicate positive effects of this raw material, especially for gluten-free bakery products. However, since this study was limited to one recipe, further research on the application of chia in other bakery goods is recommended.

8 Literaturverzeichnis

- Ahlborn GJ, Pike OA, Hendrix SB, Hess WM, Huber CS. Sensory, mechanical, and microscopic evaluation of staling in low-protein and glutenfree breads. *Cereal Chemistry* 2005; 82: 328-335.
- Alaunyte I, Stojceska V, Plunkett A, Ainsworth P, Derbyshire E. Improving the quality of nutrient-rich Teff breads by combination of enzymes in straight dough and sourdough breadmaking. *Journal of Cereal Science* 2012; 55: 22-30.
- Albert CM, Oh K, Whang W, Manson JE, Chae CU, Stampfer MJ, et al. Dietary α -linolenic acid intake and risk of sudden cardiac death and coronary heart disease. *Circulation* 2005; 112: 3232-38.
- Alfredo VO, Gabriel RR, Luis CG, David BA. Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.). *LWT - Food Science and Technology* 2009; 42: 168–173.
- Altamirano-Fortoul R, Hernando I, Rosell CM. Texture of bread crust: Puncturing settings effect and its relationship to microstructure. *Journal of Texture Studies* 2013; 44: 85–94.
- Álvarez-Chávez LM, Valdivia-López MA, Aburto-Juárez ML, Tecante A. Chemical characterization of the lipid fraction of mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.). *International Journal of Food Properties* 2008; 11: 687-697.
- Alvarez-Jubete L, Arendt EK, Gallagher E. Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science & Technology* 2010a; 21: 106–113.
- Alvarez-Jubete L, Auty M, Arendt EK, Gallagher E. Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten-free bread formulations. *European Food Research and Technology* 2010b; 230:437–445.
- Anderson JW, Baird P, Davis RH, Ferreri S, Knudtson M, Koraym A, Waters V, Williams CL. Health benefits of dietary fiber. *Nutrition Reviews* 2009; 67(4): 188-205.
- Angioloni A, Collar C. Physicochemical and nutritional properties of reduced-caloric density high-fibre breads. *Food Science and Technology* 2011; 44: 747-758.
- Arendt EK, Morrissey A, Moore MM, dal Bello F. Gluten-free breads. In: *Gluten-free cereal products and beverages*. New York, NY: Academic Press, 2008: 289–319.
- Arendt EK, O' Brien CM, Schober TJ, Gallagher E, Gormley TR. Development of gluten-free cereal products. *Farm and Food* 2002; 12:21-27.
- Armstrong, D. Application for approval of whole chia (*Salvia hispanica* L.) seed and ground whole seed as novel food ingredient. Northern Ireland, R Craig & Sons, 2004. Internet: <http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/chiaapplication.pdf> (Zugriff: 13.03.15).

- Arshad MU, Anjum FM, Zahoor T. Nutritional assessment of cookies supplemented with defatted wheat germ. *Food Chemistry* 2007; 102(1): 123-128.
- Arvisenet G, Voilley A, Cayot N. Retention of aroma compounds in starch matrices: Competition between aroma compounds towards amylose and amylopectin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2002; 50:7345–7349.
- ASTM. Chapter 4- The Texture Profile. 1st ed. In: *Manual on Descriptive Analysis Testing for Sensory Evaluation*. Philadelphia, PA: American Society for Testing Materials, 1992: 35-49.
- Atkinson H. Studies to assess the allergenic potential of chia (*Salvia hispanica* L.) BIBRA Report 4095/4194. Carshalton, Surrey, UK: BIBRA International Ltd. 2003.
- Ayerza R, Coates W. Chia Seeds: New Source of Omega-3 Fatty Acids, Natural Antioxidants and Dietetic Fiber. Southwest Center for Natural Products Research and Commercialization. Tucson, AZ: Office of Arid Lands Studies, 2001a: 17.
- Ayerza R, Coates W. Dietary levels of chia: influence on yolk cholesterol, lipid content and fatty acid composition for two strains of hens. *Poultry Science* 2000; 79(5): 724-39.
- Ayerza R, Coates W. The omega-3 enriched eggs: the influence of dietary linolenic fatty acid source combination on egg production and composition. *Canadian Journal of animal science* 2001b; 3:355-362.
- Ayerza R. Oil content and fatty acid composition of chia (*Salvia hispanica* L.) from five northwestern locations in Argentina. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 1995; 72: 1079–1081.
- Ayerza R. Seed composition of two chia (*Salvia hispanica* L.) genotypes which differ in seed color. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 2013; 25(7): 495-500.
- Baltes W. Pflanzengummi. 4. Auflage. In: *Lebensmittelchemie*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1995: 107-108.
- Bangs WE, Reineccius GA. Influence of Dryer Infeed Matrices on the Retention of Volatile Flavor Compounds During Spray Drying. *Journal of Food Science* 1981; 47: 254-259.
- Bardella MT, Fredella C, Prampolini L, Molteni N, Giunta AM, Bianchi PA. Body composition and dietary intakes in adult celiac disease patients consuming a strict gluten-free diet. *The American Journal of Clinical Nutrition* 2000; 72:937–9.
- Barrett AH, Cardello AV, Leshner LL, Taub IA. Cellularity, mechanical failure, and textural perception of corn meal extrudates. *Journal of Texture Studies* 1994; 25: 77–95.
- Barrientos VA, Aguirre A, Borneo R. Chia (*Salvia hispanica*) can be used to manufacture sugar-snap cookies with an improved nutritional value. *International Journal of Food Studies* 2012; 1: 135-143.

- Bassett MN, Pérez-Palacios T, Cipriano I, Cardoso P, Ferreira IMPLVO, Samman N, Pinho O. Development of bread with NaCl reduction and calcium fortification: Study of its quality characteristics. *Journal of Food Quality* 2014; 37: 107–116.
- Bayer R, Johns DM, Galea S. Salt and public health: contested science and the challenge of evidence-based decision making. *Health Affairs* 2012; 31(12): 2738–46.
- Bendini A, Barbieri S, Valli E, Buchecker K, Canavari M, Toschi TG. Quality evaluation of cold pressed sunflower oils by sensory and chemical analysis. *European Journal of Lipid Science and Technology* 2011; 113: 1375–1384.
- Biesiekierski JR, Newnham ED, Irving PM, Barrett JS, Haines M, Doecke JD, Shepherd SJ, Muir JG, Gibson PR. Gluten as a cause of gastrointestinal symptoms in patients who do not have coeliac disease. *Journal of Gastroenterology and Hepatology* 2009; 24: A229.
- Bleibaum RN, Stone H, Tan T, Labreche S, Saint-Martin E, Isz S. Comparison of sensory and consumer results with electronic nose and tongue sensors for apple juices. *Food Quality and Preference* 2002; 13: 409–422.
- Borderias AJ, Lamua M, Tejada M. Texture analysis of fish fillets and minced fish by both sensory and instrumental methods. *International Journal of Food Science & Technology* 1983; 18: 85-95.
- Borneo R, Aguirre A, León AE. Chia (*Salvia hispanica* L) Gel Can Be Used as Egg or Oil Replacer in Cake Formulations. *Journal of the American dietetic association* 2010; 110: 946-949.
- Bosmans GM, Lagrain B, Fierens E, Delcour JA. The impact of baking time and bread storage temperature on bread crumb properties. *Food Chemistry* 2013a; 141: 3301–3308.
- Bosmans GM, Lagrain B, Ooms N, Fierens E, Delcour JA. Biopolymer interactions, water dynamics and bread crumb firming. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2013b; 61(19): 4646–4654.
- Bourne MC. Texture Profile Analysis. *Food Technology* 1978; 32(7): 62-66, 72.
- Brady PL, Mayer SM. Correlations of Sensory and Instrumental Measures of Bread Texture. *Cereal Chemistry* 1985; 62(1): 70-72.
- Brandt MA, Skinner EZ, Coleman JA. Texture Profile Method. *Journal of Food Science* 1963; 28(4):404-409.
- Brites C, Trigo MJ, Santos C, Collar C, Rosell CM. Maize based Gluten-free bread: Influence of processing parameters on sensory and instrumental quality. *Food and Bioprocess Technology* 2010; 3(5):707–715.
- Busch-Stockfisch M. Sensorische Grundlagen – 1.4 Prüfmethode. In: *Praxishandbuch Sensorik in der Produktentwicklung und Qualitätssicherung*. Hamburg: B. Behr's, 2002; 1. Band: 1, 4.

- Byrne DV, Bredie WLP, Mottram DS, Martens M. Sensory and chemical investigations on the effect of oven cooking on warmed-over flavour development in chicken meat. *Meat Science* 2002; 61: 127–139.
- Caine WR, Aalhus JL, Best DR, Dugan MER, Jeremiah LE. Relationship of texture profile analysis and Warner-Bratzler shear force with sensory characteristics of beef rib steaks. *Meat Science* 2003; 64: 333–339.
- Capitani MI, Corzo-Rios LJ, Chel-Guerrero LA, Betancur-Ancona DA, Nolasco SM, Tomás MC. Rheological properties of aqueous dispersions of chia (*Salvia hispanica* L.) Mucilage. *Journal of Food Engineering* 2015; 149: 70–77.
- Capitani MI, Ixtaina VY, Nolasco SM, Tomás MC. Microstructure, chemical composition and mucilage exudation of chia (*Salvia hispanica* L.) nutlets from Argentina. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2013; 93(15): 3856-62.
- Catassi C, Fasano A. Celiac disease. In: *Gluten-free cereal products and beverages*. London, UK: Academic Press, 2008: 1-27.
- Cauvain SP von, Young LS. How can we measure the texture of our bread and cakes? 1st ed. In: *More Baking Problems Solved*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd, 2009: 223-224.
- Chang CY, Chambers IV E. Flavor Characterization of Breads Made from Hard Red Winter Wheat and Hard White Winter Wheat. *Cereal Chemistry* 1992; 69(5):556-559.
- Chauvin MA, Parks C, Ross C, Swanson BG. Multidimensional representation of the standard scales of food texture. *Journal of Sensory Studies* 2009; 24: 93–110.
- Chauvin MA, Younce F, Ross C, Swanson B. Standard scales for crispness, crackliness and crunchiness in dry and wet foods: Relationship with acoustical determinations. *Journal of Texture Studies* 2008; 39: 345–368.
- Chen L, Opara UL. Texture measurement approaches in fresh and processed foods — A review. *Food Research International* 2013; 51: 823–835.
- Coates W, Ayerza R. Production potential of Chia in northwestern Argentina. *Industrial Crops and Products* 1996; 5: 229-233.
- Coates W. Whole and Ground Chia (*Salvia hispanica* L.) Seeds, Chia Oil - Effects on Plasma Lipids and Fatty Acids. 1st ed. In: *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention*. London, Burlington, San Diego: Academic Press, 2011: 309-315.
- Collado-Fernández M. Breadmaking processes. 2nd ed. In: *Encyclopedia of food sciences and nutrition*. Academic, San Diego, 2003: 627–634.
- Collier K, Souligne M, Martinez S . The Effect of Replacing Eggs with Chia Seeds on the Texture, Moisture, Appearance and Flavor of Banana Bread. Internet: http://www.cfs.purdue.edu/fn/fn453/Project_Archive/Fall_2013/Replacing_eggs_with_chia_seeds_in_banana_bread.pdf (Zugriff 15.09.14).

- Conforti FD, Davis SF. The effect of soya flour and flaxseed as a partial replacement for bread flour in yeast bread. *International Journal of Food Science and Technology* 2006; 41 (2): 95–101.
- Coorey R, Tjoe A, Jayasena V. Gelling properties of chia seed and flour. *Journal of Food Science* 2014; 79(5): E859-66.
- Cornford SJ, Axford DWE, Elton GAH. The elastic modulus of bread crumb in linear compression in relation to staling. *Cereal Chemistry* 1964; 41: 216–229.
- Costantini L, Lukšič L, Molinari R, Kreft I, Bonafaccia G, Manzi L, Merendino N. Development of gluten-free bread using tartary buckwheat and chia flour rich in flavonoids and omega-3 fatty acids as ingredients. *Food Chemistry* 2014; 165: 232-40.
- Cui S, Yu K, Hu Z, Wie G. Texture profile of herbal gel affected by instrumental parameters and correlations of instrumental and sensory evaluation. *Journal of Texture Studies* 2011; 42: 349–358.
- De Huidobro FR, Miguel E, Blázquez B, Onega E. A comparison between two methods (Warner–Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat. *Meat Science* 2005; 69: 527–536.
- De la Hera E, Rosell CM, Gómez M. Effect of water content and flour particle size on gluten-free bread quality and digestibility. *Food Chemistry* 2014; 151: 526–531.
- Delcour JA, Hoskeney RC. Yeast-leavened products. 3rd ed. In: *Principles of cereal science and technology*. St. Paul, MN: AACC International, 2010: 177–206.
- Demirekler P, Sumnu G, Sahin S. Optimization of bread baking in a halogen lamp–microwave combination oven by response surface methodology. *European Food Research and Technology* 2004; 219:341–347.
- Demirkesen I, Mert B, Sumnu G, Sahin S. Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering* 2010; 96: 295–303.
- Derndorfer E. Deskriptive Prüfungen. 4. Auflage. In: *Lebensmittelsensorik*. Wien: Facultas Verlags- und Buchhandels AG. WUV, 2012: 90-110.
- Di Sabatino A, Corazza GR. Coeliac disease. *Lancet* 2009; 373: 1480–93.
- DIN 10961, 1996: Deutsches Institut für Normung e.V. Schulung von Prüfpersonen für sensorische Prüfungen (DIN 10961:1996). Berlin: Beuth Verlag GmbH, 1996: 1-12.
- DIN 5492, 2008: Deutsches Institut für Normung e.V. Sensorische Analyse – Vokabular (ISO 5492:2008). Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2008: 1-109.
- DIN 8589, 2010: Deutsches Institut für Normung e.V. Sensorische Analyse – Allgemeiner Leitfaden für die Gestaltung von Prüfräumen (DIN EN ISO 8589:2010). Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2010: 1-20.
- Dr. Schär (Pressemitteilung). Weltweiter Absatzmarkt für glutenfreie Lebensmittel steigt auf 19% - Dr. Schär an Spitze der wichtigsten Verbraucherländer. Internet:

http://static1.squarespace.com/static/53639e28e4b0b3890573a1d4/t/53a19c97e4b07ded532f12ca/1403100311730/140429_Triest_Marktentwicklung+glutenfreier+Lebensmittel.pdf (Zugriff: 24.04.15).

- Drossman DA. The functional gastrointestinal disorders and the Rome II process. *Gut* 1999; 45:1–5.
- Duletia-Laušević S, Marin PD. Pericarp structure and myxocarpy in selected genera of Nepetoideae (Lamiaceae). *Nordic Journal of Botany* 1999; 19(4): 435–46.
- Ebermann R, Elmadfa I. Getreide und Getreideprodukte (Cerealien); Verdickungsmittel und Emulgatoren. In: *Lehrbuch Lebensmittelchemie und Ernährung*. Wien, New York: Springer Verlag, 2008: 340, 342, 343, 624, 625, 639, 640.
- Edwards WP. Chapter 2 - Emulsifiers. In: *The Science of Bakery Products*. Cambridge, UK: The Royal Society of Chemistry, 2007: 88.
- EFSA (European Food Safety Authority). Scientific opinion of the panel on dietetic products nutrition and allergies on a request from the European Commission on the safety of 'chia seed (*Salvia hispanica*) and ground whole chia seed' as a food ingredient. *The EFSA Journal* 2009; 996: 1–2.
- Elleuch M, Bedigian D, Roiseux O, Besbes S, Blecker C, Attia H. Dietary fibre and fibre-rich by products of food processing: characterisation, technological functionality and commercial applications: a review. *Food Chemistry* 2011; 124(2):411–412.
- Elmadfa I et al. Österreichischer Ernährungsbericht 2012. 1. Auflage, Wien, 2012. Internet: <http://www.bmg.gv.at/cms/home/attachments/4/5/3/CH1048/CMS1348749794860/oeb12.pdf> (Zugriff: 07.04.15).
- ENTSCHEIDUNG DER KOMMISSION vom 13. Oktober 2009 über die Zulassung des Inverkehrbringens von Chiasamen (*Salvia hispanica*) als neuartige Lebensmittelzutat gemäß der Verordnung (EG) Nr. 258/97 des Europäischen Parlaments und des Rates. *Amtsblatt der Europäischen Union* 2009, L 294/ 14.
- Escobar D, Clark S, Ganesan V, Repiso L, Waller J, Harte F. High-pressure homogenization of raw and pasteurized milk modifies the yield, composition, and texture of queso fresco cheese. *Journal of Dairy Science* 2011; 94(3): 1201–1210.
- Esteller MS, Lannes SCS. Production and characterization of spongedough bread using scaled rye. *Journal of Texture Studies* 2008; 39(1): 56–67.
- Europäische Union. DURCHFÜHRUNGSBESCHLUSS DER KOMMISSION vom 22. Januar 2013 über die Genehmigung einer Erweiterung der Verwendungszwecke von Chiasamen (*Salvia hispanica*) als neuartige Lebensmittelzutat gemäß der Verordnung (EG) Nr. 258/97 des Europäischen Parlaments und des Rates. *Amtsblatt der Europäischen Union* 2013, L 21/34.

- Europäische Union. DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) Nr. 828/2014 DER KOMMISSION vom 30. Juli 2014 über die Anforderungen an die Bereitstellung von Informationen für Verbraucher über das Nichtvorhandensein oder das reduzierte Vorhandensein von Gluten in Lebensmitteln. Amtsblatt der Europäischen Union 2012, L 228/8.
- Farrell RJ, Kelly CP. Celiac sprue. *New England Journal of Medicine* 2002; 346:180-188.
- Feighery C. Celiac disease. *British Medical Journal* 1999; 319: 236–239.
- Fizman SM, Damásio MH. Instrumental measurement of adhesiveness in solid and semi-solid foods. A survey. *Journal of Texture Studies* 2000; 31: 69-91.
- Fitzgerald C, Gallagher E, Doran L, Auty M, Prieto J, Hayes M. Increasing the health benefits of bread: Assessment of the physical and sensory qualities of bread formulated using a renin inhibitory *Palmaria palmata* protein hydrolysate. *Food Science and Technology* 2014; 56: 398-405.
- Gallagher E, Gormley TR, Arendt EK. Crust and crumb characteristics of gluten free breads. *Journal of Food Engineering* 2003; 56: 153–161.
- Gallagher E, Gormley TR, Arendt EK. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology* 2004; 15: 143–152.
- Gallagher E, Polenghi O, Gormley TR. Improving the quality of gluten-free breads. *Farm and Food* 2002; 12: 8–13.
- Galli C, Marangoni F. N-3 fatty acids in the Mediterranean diet. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids 2006; 75: 129-133.
- Gámbaro A, Varela P, Gimenez A, Aldrovandi A, Fizman SM, Hough G. Textural quality of white pan bread by sensory and instrumental measurements. *Journal of Texture Studies* 2002; 33: 401-413.
- Garg ML, Wood LG, Singh H, Moughan PJ. Means of delivering recommended levels of long chain n-3 polyunsaturated fatty acids in human diets. *Journal of Food Science* 2006; 71: 66-71.
- Giménez MA, Gámbaro A, Miraballes M, Roascio A, Amarillo M, Sammán N, Lobo M. Sensory evaluation and acceptability of gluten-free Andean corn spaghetti. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2015; 95: 186–192.
- Gómez M, Ronda F, Blanco CA, Caballero PA, Apesteguía A. Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality. *European Food Research and Technology* 2003; 216: 51–56.
- Gray JA, Bemiller JN. Bread staling: Molecular basis and control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2003; 2(1): 1–21.
- Guinard JX, Mazzucchelli R. The sensory perception of texture and mouthfeel. *Trends in Food Science and Technology* 1996; 7: 213-219.

- Gujral HS, Rosell CM. Improvement of breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. *Food Research International* 2004; 37 (1): 75–81.
- Hager AS, Bosmans GM, Delcour JA. Physical and Molecular Changes during the Storage of Gluten-Free Rice and Oat Bread. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2014; 62: 5682–5689.
- Hager AS, Czerny M, Bez J, Zannini E, Arendt EK. Starch properties, in vitro digestibility and sensory evaluation of fresh egg pasta produced from oat, teff and wheat flour. *Journal of Cereal Science* 2013; 58: 156-163.
- Hager AS, Wolter A, Czerny M, Bez J, Zannini E, Arendt EK, Czerny M. Investigation of product quality, sensory profile and ultrastructure of breads made from a range of commercial gluten-free flours compared to their wheat counterparts. *European Food Research and Technology* 2012; 235: 333–344.
- Harker FR, Marsh KB, Young H, Murray SH, Gunson FA, Walker SB. Sensory interpretation of instrumental measurements 2: sweet and acid taste of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology* 2002; 24: 241–250.
- He H, Hosney RC. Changes in bread firmness and moisture during long term storage. *Cereal Chemistry* 1990; 67: 603–608.
- Heiniö R-L, Liukkonen KH, Katina K, Myllymäki O, Poutanen K. Milling fractionation of rye produces different sensory profiles of both flour and bread. *LWT - Food Science and Technology* 2003; 36: 577–583.
- Heiniö R-L, Urala N, Vainionpää J, Poutanen K, Tuorila H. Identity and overall acceptance of two types of sour rye bread. *International Journal of Food Science and Technology* 1997; 32: 169–178.
- Hirte A, Hamer RJ, Meinders MJB, Van de Hoek K, Primo-Martín C. Control of crust permeability and crispness retention in crispy breads. *Food Research International* 2012; 46: 92–98.
- Holtekjølén AK, Bævre AB, Rødbotten M, Berg H, Knutsen SH. Antioxidant properties and sensory profiles of breads containing barley flour. *Food Chemistry* 2008; 110: 414–421.
- Houben A, Hochstötter A, Becker T. Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview *European Food Research and Technology* 2012; 235: 195 – 208.
- Huang M, Kennedy JF, Li B, Xu X, Xie BJ. Characters of rice starch gel modified by gellan, carrageenan, and glucomannan: A texture profile analysis study. *Carbohydrate Polymers* 2007; 69: 411–418.

- Huidobro FR de, Miguel E, Blázquez B, Onega E. A comparison between two methods (Warner–Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat. *Meat Science* 2005; 69: 527–536.
- Hüttner EK, Bello FD, Arendt EK. Rheological properties and bread making performance of commercial wholegrain oat flours. *Journal of Cereal Science* 2010; 52: 65-71.
- Iglesias-Puig E, Haros M. Evaluation of performance of dough and bread incorporating chia (*Salvia hispanica* L.). *European Food Research and Technology* 2013; 237:865–874.
- Iles BC, Elson CR. Crispness of cereal. In: *Advances in cereal science and technology*. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists 1972, 1-19.
- Inglett GE, Chen D, Liu S. Physical properties of sugar cookies containing chia-oat composites. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2014a; 94(15): 3226-33.
- Inglett GE, Chen D, Liu SX, Lee S. Pasting and rheological properties of oat products dry-blended with ground chia seeds. *Food Science and Technology* 2014b; 55: 148-156.
- Inomata N. Wheat allergy. *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology* 2009; 9: 238-43.
- Ivanovski B, Seetharaman K, Duizer LM. Development of Soy-Based Bread with Acceptable Sensory Properties. *Journal of Food Science* 2012; 71(1): 71-76.
- Ixtaina VY, Martínez ML, Spotorno V, Mateo CM, Maestri DM, Diehl BWK, Nolasco SM, Tomás MC. Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction. *Journal of Food Composition and Analysis* 2011; 24: 166-174.
- Ixtaina VY, Nolasco SM, Tomás MC. Physical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Industrial Crops and Products* 2008; 28: 286–293.
- Jaworska G, Bernas E. Effects of pre-treatment, freezing and frozen storage on the texture of *Boletus edulis* (Bull: Fr.) mushrooms. *International Journal of Refrigeration* 2010; 33: 877–885.
- Jin F, Nieman DC, Sha W, Xie G, Qiu Y, Jia W. Supplementation of milled chia seeds increases plasma ALA and EPA in postmenopausal women. *Plant Foods for Human Nutrition* 2012; 67(2): 105-10.
- Jouquand C, Ducruet V, Le Bail P. Formation of amylose complexes with C6-aroma compounds in starch dispersions and its impact on retention. *Food Chemistry* 2006; 96: 461–470.
- Katz EE, Labuza TP. Effect of water activity on the sensory crispness and mechanical deformation of snack food products. *Journal of Food Science* 1981; 46: 403–409.
- Kirchhoff E, Schieberle P. Determination of Key Aroma Compounds in the Crumb of a Three-Stage Sourdough Rye Bread by Stable Isotope Dilution Assays and Sensory Studies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2001; 49: 4304-4311.
- Knightly WH. The staling of bread. *Bakers Digest* 1977; 51(5):52–56, 144–150.

- Koehler P, Wieser P, Konitzer K. Gluten- Free Products. In: Celiac Disease and Gluten. London, Waltham, San Diego: Academic Press, 2014: 173-223.
- Korus J, Juszczak L, Ziobro R, Witczak M, Grzelak K, Sójka M. Defatted strawberry and blackcurrant seeds as functional ingredients of gluten-free bread. *Journal of Texture Studies* 2011; 43(1):29 - 39.
- Korus J, Witczak M, Ziobro R, Juszczak L. The impact of resistant starch on characteristics of gluten-free dough and bread. *Food Hydrocolloids* 2009; 23: 988–995.
- Krog N, Olesen SK, Toernaes H, Joensson T. Retrogradation of the Starch Fraction in Wheat Bread. *Cereal Foods World* 1989; 34(3):281–285.
- Krog N. Functions of emulsifiers in food systems. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 1977; 54:124–131.
- Krupa-Kozak U, Altamirano-Fortoul R, Wronkowska M, Rosell CM. Breadmaking performance and technological characteristic of gluten-free bread with inulin supplemented with calcium salts. *European Food Research and Technology* 2012; 235: 545–554.
- Krupa-Kozak U, Troszynska A, Baczek N, Soral-Smietana M. Effect of organic calcium supplements on the technological characteristic and sensory properties of gluten-free bread. *European Food Research and Technology* 2011; 232:497–508.
- Langeheinecke K, Jany P, Thieleke G, Langeheinecke K , Kaufmann A. Tabellen. 9th ed. In: *Thermodynamik für Ingenieure*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2013: 321-342.
- Lawless HT, Heymann H. Texture Profile Method. 2nd ed. In: *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices*. New York, NY: Springer, 2010: 270-272.
- Lazaridou A, Duta D, Papageorgiou M, Belc N, Biliaderis CG. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering* 2007; 79: 1033–1047.
- Le-Bail A, Agrane S, Queveau D. Impact of the baking duration on bread staling kinetics. *Food and Bioprocess Technology* 2012; 5(6): 2323–2330.
- Ledderhof D, Reynolds AG, Manin L, Brown R. Influence of water status on sensory profiles of Ontario Pinot noir wines. *Food Science and Technology* 2014; 57: 65-82.
- Leins P. Die Blüte zur Zeit der Samenreife. In: *Blüte und Frucht: Aspekte der Morphologie, Entwicklungsgeschichte, Phylogenie, Funktion und Ökologie*. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 2000: 243-262.
- Leray G, Oliete B, Mezaize S, Chevallier S, De Lamballerie M. Effects of freezing and frozen storage conditions on the rheological properties of different formulations of non-yeasted wheat and gluten-free bread dough. *Journal of Food Engineering* 2010; 100: 70–76.
- Lin K-Y, Daniel JR, Whistler RL. Structure of chia seed polysaccharide exudate. *Carbohydrate Polymers* 1994; 23: 13-18.

- Lin LY, Liu HM, Yu YW. Quality and antioxidant property of buckwheat enhanced wheat bread. *Food Chemistry* 2009; 112(4): 987–991.
- Lohiniemi S, Maki M, Kaukinen K, Laippala P, Collin P. Gastrointestinal symptoms rating scale in coeliac patients on wheat starch-based gluten-free diets. *Scandinavian Journal of Gastroenterology* 2000; 35(9): 947–949.
- López ACB, Pereira AJG, Junqueira RG. Flour Mixture of Rice Flour, Corn and Cassava Starch in the Production of Gluten-Free White Bread. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 2004; 47(1): 63-70.
- Loredo ABG, Guerrero SN. Correlation between instrumental and sensory ratings by evaluation of some texture reference scales. *International Journal of Food Science and Technology* 2011; 46: 1977–1985.
- Lotong V, Chambers IV E, Chambers DH. Determination of the sensory attributes of wheat sourdough bread. *Journal of Sensory Studies* 2000; 15: 309-326.
- Marineli RdS, Moraes EA, Lenquiste SA, Godoy AT, Eberlin MN, Maróstica Jr MR. Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica* L.). *Food Science and Technology* 2014; 59: 1304-1310.
- Mariotti M, Lucisano M, Pagani MA, Ng PKW. The role of corn starch, amaranth flour, pea isolate, and Psyllium flour on the rheological properties and the ultrastructure of gluten-free doughs. *Food Research International* 2009; 42:963–975.
- Martínez ML, Marín MA, Salgado Faller CM, Revol J, Penci MC, Ribotta PD. Chia (*Salvia hispanica* L.) oil extraction: Study of processing parameters. *LWT - Food Science and Technology* 2012; 47: 78–82.
- Martínez-Navarrete N, Camacho M, Martinez- Lahuerta J, Martinez-Monzo J, Fito P. Iron deficiency and iron fortified foods - a review. *Food Research International* 2002; 35 (2-3): 225-231.
- Matos ME, Rosell CM. Quality Indicators of Rice-Based Gluten-Free Bread-Like Products: Relationships Between Dough Rheology and Quality Characteristics. *Food and Bioprocess Technology* 2013; 6:2331–2341.
- Matos ME, Rosell CM. Relationship between instrumental parameters and sensory characteristics in gluten-free breads. *European Food Research and Technology* 2012; 235: 107–117.
- Matos ME, Rosell CM. Understanding gluten-free dough for reaching breads with physical quality and nutritional balance. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2015; 95(4): 653-61.
- McCarthy DF, Gallagher E, Gormley TR, Schober TJ, Arendt EK. Application of response surface methodology in the development of gluten-free bread. *Cereal Chemistry* 2005; 82(5): 609-615.

- McKevith B. Nutritional aspects of oilseeds. *British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin* 2005; 30(1): 13-26.
- Meullenet JF, Lyon BG, Carpenter JA, Lyon CE. Relationship between sensory and instrumental texture profile attributes. *Journal of Sensory Studies* 1998; 13: 77-93.
- Mezaize S, Chevallier S, Le Bail A, De Lamballerie M. Optimization of Gluten-Free Formulations for French-Style Breads. *Journal of Food Science* 2009; 74(3): E140-146.
- Mohammadi M, Sadeghnia N, Azizi MH, Neyestani TR, Mortazavian AM. Development of gluten-free flat bread using hydrocolloids: Xanthan and CMC. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 2014; 20(4): 1812-18.
- Mohd AN, Yeap SK, Ho WY, Beh BK, Tan SW, Tan SG. The promising future of chia, *Salvia hispanica* L. *Journal of Biomedicine and Biotechnology* 2012; 171956.
- Moon HK, Hong SP. Nutlet morphology and anatomy of the genus *Lycopus* (Lamiaceae: Mentheae). *Journal of Plant Research* 2006; 119(6): 633-44.
- Moore MM, Heinbockel M, Dockery P, Ulmer HM, Arendt EK. Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase. *Cereal Chemistry* 2006; 83(1): 28–36.
- Moore MM, Schober TJ, Dockery P, Arendt EK. Textural comparisons of gluten-free and wheat-based doughs, batters, and breads. *Cereal Chemistry* 2004; 81:567–575.
- Morais EC, Cruz AG, Faria JAF, Bolini HMA. Prebiotic gluten-free bread: Sensory profiling and drivers of liking. *Food Science and Technology* 2014; 55: 248-254.
- Moreira R, Chenlo F, Torres MD. Effect of chia (*Sativa hispanica* L.) and hydrocolloids on the rheology of gluten-free doughs based on chestnut flour. *Food Science and Technology* 2013; 50: 160-166.
- Moreira R, Chenlo F, Torres MD. Effect of shortenings on the rheology of gluten-free doughs: Study of chestnut flour with chia flour. *Journal of Texture Studies* 2012; 43: 375–383.
- Moskowitz HR. Base size in product testing: A psychophysical viewpoint and analysis. *Food Quality and Preference* 1997; 8(4): 247-255.
- Muego-Gnanasekharan KF, Resurreccion AVA. Physicochemical and sensory characteristics of peanut paste stored at different temperatures. *Journal of Food Science* 1992; 57:1385-9.
- Mühle C. Anleitung für ein Schulungsprogramm zur sensorischen Texturmessung. In: Busch-Stockfisch M (Hrsg.). *Praxishandbuch Sensorik in der Produktentwicklung und Qualitätssicherung*. Hamburg: B. Behr's, 2002; 1. Band: 1.
- Muñoz LA, Cobos A, Diaz O, Aguilera JM. Chia Seed (*Salvia hispanica*): An Ancient Grain and a New Functional Food. *Food Reviews International* 2013; 29(4): 394-408.
- Muñoz LA, Cobos A, Diaz O, Aguilera JM. Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. *Journal of Food Engineering* 2012; 108: 216–224.

- Murray JA, Watson T, Clearman B, Mitros F. Effect of a gluten-free diet on gastrointestinal symptoms in celiac disease. *The American Journal of Clinical Nutrition* 2004; 79:669–73.
- Murray JA. The widening spectrum of celiac disease. *Am J Clin Nutr* 1999; 69:354–65.
- Murray JM, Delahunty CM, Baxter IA. Descriptive sensory analysis: past, present and future. *Food Research International* 2001; 34: 461–71.
- N’Kouka KD, Klein BP, Lee SY. Developing a Lexicon for Descriptive Analysis of Soymilks. *Journal of food science* 2004; 69(7): 259-263.
- Naji-Tabasi S, Mohebbi M. Evaluation of cress seed gum and xanthan gum effect on macro-structure properties of gluten-free bread by image processing. *Journal of Food Measurement and Characterization* 2015; 9(1): 110-119.
- Nieman DC, Gillitt N, Jin F, Henson DA, Kennerly K, Shanely RA, Ore B, Su M, Schwartz S. Chia seed supplementation and disease risk factors in overweight women: a metabolomics investigation. *Journal of Alternative and Complementary Medicine* 2012; 18(7): 700-8.
- Nijveldt RJ, van Nood E, van Hoorn EC, Boelens PG, van Norren K, van Leeuwen PA. Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *The American Journal of Clinical Nutrition* 2001; 74: 418-425.
- Nkhabutlane P, du Rand GE, de Kock HL. Quality characterization of wheat, maize and sorghum steamed breads from Lesotho. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2014; 94(10): 2104-17.
- Norris JM, Barriga K, Hoffenberg EJ, Taki I, Miao D, Haas JE, Emery LM, Sokol RJ, Erlich HA, Eisenbarth GS, Rewers M. Risk of Celiac Disease Autoimmunity and Timing of Gluten Introduction in the Diet of Infants at Increased Risk of Disease. *Journal of the American Medical Association* 2005; 293(19): 2343-51.
- Norris JM, Barriga K, Klingensmith G, Hoffman M, Eisenbarth GS, Erlich HA, Rewers M. Timing of initial cereal exposure in infancy and risk of islet autoimmunity. *Journal of the American Medical Association* 2003; 290:1713-1720.
- Nunes MHB, Moore MM, Ryan LAM, Arendt EK. Impact of emulsifiers on the quality and rheological properties of gluten-free breads and batters. *European Food Research and Technology* 2009; 228: 633–642.
- Olivos-Lugo BL, Valdivia-López MÁ, Tecante A. Thermal and physicochemical properties and nutritional value of the protein fraction of Mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.). *Food Science and Technology International* 2010; 16(1): 89-96.
- Onyango C, Mutungi C, Unbehend G, Lindhauer MG. Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. *LWT- Food Science and Technology* 2011; 44:681–686.

- Otremba MM, Dikeman ME, Milliken GA, Stroda SL, Chambers E, Chambers D. Interrelationships between descriptive texture profile sensory panel and descriptive attribute sensory panel evaluations of beef Longissimus and Semitendinosus muscles. *Meat Science* 2000; 54: 325-332.
- Patel BK, Waniska RD, Seetharaman K. Impact of different baking processes on bread firmness and starch properties in breadcrumb. *Journal of Cereal Science* 2005; 42(2): 173–184.
- Penella JM, Collar C, Haros M. Effect of wheat bran and enzyme addition on dough functional performance and phytic acid levels in bread. *Journal of Cereal Science* 2008; 48(3):715–721.
- Pereira MA, Jacobs DR, Pins JJ, Raatz SK, Gross MD, Slavin JL, Seaquist ER. Effect of whole grains on insulin sensitivity in overweight hyperinsulinemic adults. *The American Journal of Clinical Nutrition* 2002; 75(5): 848–855.
- Picarelli A, Di Tola M, Sabbatella L, Gabrielli F, Di Cello T, Anania MC, Mastracchio A, Silano M, De Vincenzi M. Immunologic evidence of no harmful effect of oats in celiac disease. *The American Journal of Clinical Nutrition* 2001; 74(1):137-40.
- Pizarro PL, Almeida EL, Coelho AS, Sammán NC, Hubinger MD, Chang YK. Functional bread with n-3 alpha linolenic acid from whole chia (*Salvia hispanica* L.) flour. *International Journal of Food Science & Technology* 2014; 1-8.
- Pons M, Fiszman SM. Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. *Journal of Texture Studies* 1996; 27: 597-624.
- Poole JA, Barriga K, Leung DYM et al. Timing of initial exposure to cereal grains and the risk of wheat allergy. *Pediatrics* 2006; 117:2175–82.
- Prakash M, Ravi R, Sathish HS, Shyamala JC, Shwetha MA, Rangarao GCP. Sensory and instrumental texture measurement of thermally processed rice. *Journal of Sensory Studies* 2005; 20: 410–420.
- Purhagen JK, Sjö ME, Eliasson AC. The anti-staling effect of pre-gelatinized flour and emulsifier in gluten-free bread. *European Food Research and Technology* 2012; 235: 265–276.
- Rahaie S, Gharibzahedi SMT, Razavi SH, Jafari SM. Recent developments on new formulations based on nutrient-dense ingredients for the production of healthy-functional bread: a review. *Journal of Food Science and Technology* 2014; 51(11): 2896-2906.
- Reilly NR, Aguilar K, Hassid BG, Cheng J, DeFelice AR, Kazlow P, Bhagat G, Green PH. Celiac Disease in Normal-weight and Overweight Children: Clinical Features and Growth Outcomes Following a Gluten-free Diet. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition* 2011; 53(5): 528-531.

- Renzetti S, Dal Bello F, Arendt EK. Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase. *Journal of Cereal Science* 2008; 48: 33–45.
- Reyes-Caudillo E, Tecante A, Valdivia-Lopez MA. Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Food Chemistry* 2008; 107: 656–663.
- Rohrlich M, Brückner G. Brotlagerung. 2. Auflage. In: *Das Getreide- Das Getreide und seine Verarbeitung*. Berlin, Hamburg: Verlag Paul Parey, 1966: 199-203 (201).
- Ronda F, Roos YH. Staling of fresh and frozen gluten-free bread. *Journal of Cereal Science* 2011; 53: 340-346.
- Rossipal E, Palm W. Untersuchungen über die antigene Wirkung von Kleberproteinen bei Cöliakie. *Zeitschrift für Kinderheilkunde* 1971; 110 (1): 85-92.
- Roudaut G, Dacremont C, Vallès Pàmies B, Colas B, Le Meste M. Crispness: a critical review on sensory and material science approaches. *Trends in Food Science & Technology* 2002; 13: 217-227.
- Sabanis D, Lebesi D, Tzia C. Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread. *Food Science and Technology* 2009; 42: 1380–1389.
- Sabanis D, Tzia C. Effect of hydrocolloids on selected properties of gluten-free dough and bread. *Food Science and Technology* 2011; 17(4): 279-291.
- Sanchez HD, Osella CA, de la Torre MA. Optimization of gluten-free bread prepared from cornstarch, rice flour, and cassava starch. *Journal of Food Science* 2002; 67(1): 416–419.
- Sanz-Penella JM, Laparra JM, Sanz Y, Haros M. Bread supplemented with amaranth (*Amaranthus cruentus*): effect of phytates on in vitro iron absorption. *Plant Foods for Human Nutrition* 2012; 67:50–56.
- Sapone A, Bai JC, Ciacci C, Dolinsek J, Green PH, Hadjivassiliou M, Kaukinen K, Rostami K, Sanders DS, Schumann M, Ullrich R, Villalta D, Volta U, Catassi C, Fasano A. Spectrum of gluten-related disorders: consensus of a new nomenclature and classification. *BMC Medicine* 2012; 10-13.
- Sasaki K, Motoyama M, Yasuda J, Yamamoto T, Oe M, Narita T, Imanari M, Fujimura S, Mitsumoto M. Beef texture characterization using internationally established texture vocabularies in ISO5492:1992: Differences among four different end-point temperatures in three muscles of Holstein steers. *Meat Science* 2010; 86: 422–29.
- Saturni L, Ferretti G, Bacchetti T. The Gluten-Free Diet: Safety and Nutritional Quality. *Nutrients* 2010; 2: 16–34.

- Schiffman SS, Musante G, Conger J. Application of multidimensional scaling to ratings of foods for obese and normal weight individuals. *Physiology & Behavior* 1978; 21: 417–422.
- Schofield JD. Classification of wheat proteins. In: *Wheat production, properties and quality*. London: Chapman & Hall, 1994: 75-77.
- Sedej I, Sakač M, Mandić A, Mišan A, Pestorić M, Šimurina O, Čanadanović–Brunet J. Quality assessment of gluten-free crackers based on buckwheat flour. *Food Science and Technology* 2011; 44: 694-699.
- Segura ME, Rosell CM. Chemical composition and starch digestibility of different gluten free breads. *Plant Foods for Human Nutrition* 2011; 66:224–230.
- Seraphin P, Mobarhan S. Mortality in patients with celiac disease. *Nutritional Reviews* 2002; 60: 116–118.
- Shin M, Gang D-O, Song J-Y. Effects of Protein and Transglutaminase on the Preparation of Gluten-free Rice Bread. *Food Science and Biotechnology* 2010; 19(4): 951-956.
- Singh M, Mohamed A. Influence of gluten-soy protein blends on the quality of reduced carbohydrates cookies. *Food Science And Technology* 2007; 40 (2): 353-360.
- Slade L, Levine H. Beyond water activity: Recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 1991; 30(2–3): 115–360.
- Sollid LM, Molberg O, McAdam S, Lundin KE. Autoantibodies in coeliac disease: tissue transglutaminase - guilt by association? *Gut* 1997; 41:851–2.
- Steffolani E, De la Hera E, Pérez G, Gómez M. Effect of chia (*Salvia hispanica* L) addition on the quality of gluten-free bread. *Journal of Food Quality* 2014; 37: 309–317.
- Steffolani E, Martinez MM, León AE, Gómez M. Effect of pre-hydration of chia (*Salvia hispanica* L.), seeds and flour on the quality of wheat flour breads. *Food Science and Technology* 2015; 61: 401-406.
- Stöllman U, Lundgren B. Texture Changes in White Bread: Effects of Processing and Storage. *Cereal Chemistry* 1987; 64(4): 230-236.
- Stone H, Sidel JA. 4th ed. In: *Sensory Evaluation Practices*. San Diego, USA: Academic Press, 2012: 101, 134, 135, 235, 274, 316.
- Szczesniak AS. Psychorheology and Texture as Factors Controlling the Consumer Acceptance of Food. *Cereal Foods World* 1990; 35:1201-1205.
- Szczesniak AS. Relationship of texture to food acceptance and nutrition. In: *Food acceptance and nutrition*. New York: Academic Press, 1987: 157–172.
- Szczesniak AS. Texture is a sensory property. *Food Quality Prefer* 2002; 13: 215–225.
- Taga MS, Miller EE, Pratt DE. Chia seeds as a source of natural lipid antioxidants. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 1984; 61: 928–932.

- Tatham AS, Shewry PR. Allergens in wheat and related cereals. *Clinical & Experimental Allergy* 2008; 38:1712–1726.
- Tathan AS, Marsh MN, Wieser H, Shewry PR. Conformational studies of peptides corresponding to the coeliac-activating regions of wheat alpha-gliadin. *Biochemical Journal* 1990; 270:313–8.
- Terry PH, Hancock M, McCreless K. The Effects Chia Seeds as a Fat Replacer on the Physical and Sensory Characteristics of Muffins. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics* 2013; 133(9): A60.
- Thakur BR, Nelson PE. Inactivation of lipoxygenase in whole soy flour-suspension by ultrasonic cavitation. *Molecular Nutrition Food Research* 1997; 41: 299–301.
- The Chia Company. Request for scientific evaluation of substantial equivalence application for the approval of chia seeds (*Salvia Hispanica* L.) from The Chia Company for use in bread. Food Standards Agency: London, UK, 2009: 1-72. Internet: http://acnfp.food.gov.uk/sites/default/files/mnt/drupal_data/sources/files/multimedia/pdfs/thechiacompany.pdf (Zugriff: 07.04.15).
- Therkildsen M, Stolzenbach S, Byrne DV. Sensory profiling of textural properties of meat from dairy cows exposed to a compensatory finishing strategy. *Meat Science* 2011; 87: 73–80.
- Thompson T. Folate, iron, and dietary fibre contents of the gluten-free diet. *Journal of the American Dietetic Association* 2000; 100: 1389–1396.
- Till S. Getreidearten- Teil 1: Botanik & Klassifizierung. *Ernährung aktuell* 2011; 3:11-14.
- Tonutti E, Bizzaro N. Diagnosis and classification of celiac disease and gluten sensitivity. *Autoimmunity Reviews* 2014; 13: 472–476.
- Toufeili I, Dagher S, Shadarevian S, Nouredine A, Sarakbi M, Farran MT. Formulation of gluten-free pocket-type flat breads: Optimization of methylcellulose, gum arabic, and egg albumen levels by response surface methodology. *Cereal Chemistry* 1994; 71:594-601.
- Tscheuschner HD. Kapitel 4.1 Einteilung und Begriffsbestimmung. 3rd ed. In: *Grundzüge der Lebensmitteltechnik*. Hamburg: B. Behr's Verlag GmbH & CoKG, 2004: 151.
- Tunick MH. Food Texture Analysis in the 21st Century. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2011; 59: 1477–1480.
- World Health Organization (WHOa). Salt reduction. Internet: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs393/en/> (Zugriff: 17.03.15).
- World Health Organization (WHOb). 10 facts on obesity. Internet: <http://www.who.int/features/factfiles/obesity/facts/en/> (Zugriff: 26.02.15).
- Wronkowska M, Zielińska D, Szawara-Nowak D, Troszyńska A, Śmietana M. Antioxidative and reducing capacity, macroelements content and sensorial properties of buckwheat-

- enhanced gluten-free bread. *International Journal of Food Science and Technology* 2010; 45: 1993–2000.
- Yao LH, Jiang YM, Shi J, Tomas-Barberan FA, Datta N, Singanusong R, Chen SS. Flavonoids in food and their health benefits. *Plant Foods for Human Nutrition* 2004; 59(3): 113–122.
- Zettel V, Krämer A, Hecker F, Hitzmann B. Influence of gel from ground chia (*Salvia hispanica* L.) for wheat bread production. *European Food Research and Technology* 2015; 240(3): 655-662.
- Zhong Q, Daubert CR. Food Rheology. 2nd ed. In: *Handbook of Food, Dairy and Food Machinery Engineering*. London, Waltham, San Diego: Academic Press, 2013: 403-426.
- Zobel HF, Kulp K. The staling mechanism. In: *Baked goods freshness: Technology, evaluation, and inhibition of staling*. New York, NY: Marcel Dekker Inc, 1996: 1–64.
- Zöfel P. Grundlagen der analytischen Statistik; Korrelation und Regression. 1. Auflage. In: *Statistik für Psychologen- im Klartext*. München: Pearson Studium, 2003: 87-102, 149-177.

9 Anhänge

9.1 Fragebogen



Fragebogen „Glutenfreies Brot mit und ohne Chia - Untersuchung der sensorischen und rheologischen Eigenschaften sowie Akzeptanz und Präferenz der Konsumenten“

Die angegebenen Daten werden streng vertraulich behandelt und werden **nicht** an Dritte weitergegeben.
Diese werden ausschließlich für die Masterarbeit mit dem oben genannten Titel herangezogen, die am Institut für Ernährungswissenschaften der Universität Wien von Andrea Brunnmair, BSc durchgeführt wird.

1. Angaben zur Person:

1.1 Geschlecht:

- ☐ Weiblich
☐ Männlich

1.2 Alter in Jahren:

1.3 Anthropometrische Größen:

Körpergröße in Meter:

Körpergewicht in kg:

1.4 Lebensstil: Bitte entsprechende Zahl (= Antwort) angeben!

- 1 ... Regelmäßig (täglich bis 2 x/Woche)
2 ... Gelegentlich (1 - 4x/Monat)
3 ... Seltener (1 bis mehrmals im Jahr)
4 ... Niemals

Wie oft rauchen Sie durchschnittlich?

Wie oft trinken Sie durchschnittlich Alkohol?

Durchschnittliches Ausmaß an moderater Bewegung:

2. Angaben zu Chiafrüchten und den verkosteten Broten:

2.1. Erfahrungen mit Chia (lat. Salvia hispanica L.):

- ☐ Ich habe Chiafrüchte bisher nicht gekannt.
☐ Ich habe von Chiafrüchten nur gelesen oder gehört.
☐ Ich habe Chiafrüchte schon gegessen.

2.2. Beurteilen Sie das Brot mit Chia (dunkleres)!

a) Wie gut schmeckt Ihnen dieses Brot? Bewertung: „Schmeckt“:

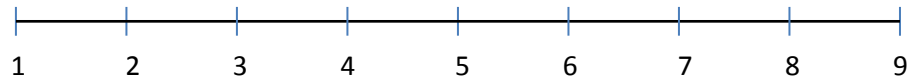
- 1... außerordentlich schlecht
2... sehr schlecht
3... mäßig schlecht
4... eher nicht gut

5... weder gut noch schlecht
 6... eher gut
 7... mäßig gut
 8... sehr gut
 9... außerordentlich gut



b) Bereitschaft, dieses Brot kaufen zu wollen:

1... gänzlich ausgeschlossen
 2... sehr unwahrscheinlich
 3... unwahrscheinlich
 4... tendenziell nicht
 5... unentschieden
 6... tendenziell ja
 7... wahrscheinlich
 8... sehr wahrscheinlich
 9... ganz sicher

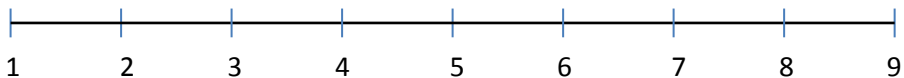


2.3. Beurteilen Sie das Brot ohne Chia (helleres)!

a) Wie gut schmeckt Ihnen dieses Brot? Bewertung siehe 2.2. a)!



b) Bereitschaft, dieses Brot kaufen zu wollen: Bewertung siehe 2.2. b)!



2.4. Welches der verkosteten Brote bevorzugen Sie?

- ☐ Brot mit Chia
- ☐ Brot ohne Chia

3. Angaben zu Diätplänen, dazu zählt NICHT: Reduktion von Energie-, Kohlenhydrat-, Fett-, Cholesterolgehalt, etc. im Rahmen einer gesunden Ernährung! → siehe FRAGE 3.2.!

3.1. Ernähren Sie sich nach einem speziellen Diätplan?

- ☐ Ja, ich meide spezielle Lebensmittelgruppen aus diätetischen Gründen.
- ☐ Nein, ich verzichte auf keine Lebensmittelgruppen aus diätetischen Gründen.

3.2. Wenn JA (bei Frage 3.1.): Welche Kostform halten Sie ein? (Mehrfachnennungen möglich)

- ☐ Glutenfrei/ -arm. (z.B. bei Zöliakie)
- ☐ Laktosefrei/ -arm. (z.B. bei Laktose- Intoleranz)
- ☐ Histaminfrei /-arm. (z.B. bei Histamin- Intoleranz)
- ☐ Fruktose-, Galaktosefrei/ -arm. (z.B. bei Fruktose- Malabsorption)
- ☐ Glukose-, Saccharosefrei/- arm (z.B.: Diabetiker)
- ☐ Andere (Bitte anführen): _____

3.3. Wenn JA (bei Frage 3.1.): Geben Sie den HAUPTGRUND für die Einhaltung eines Diätplans an.

- ☐ Da ich an einer Krankheit leide, die mein Diätverhalten beeinflusst z.B. Zöliakie, Diabetes mellitus, Malabsorptionsstörungen, etc. Bitte diese Krankheit angeben: _____

- ☐ Diese Lebensmittel verursachen bei mir unspezifische Symptome (z.B. Magen-Darm-Beschwerden), es wurde jedoch noch keine ernährungsbezogene Krankheit diagnostiziert oder eine Diagnose ist noch ausstehend.
- ☐ Da im selben Haushalt eine/mehrere Person/en an diesen Diätplan hält, ernähre ich mich ähnlich.
- ☐ Anderer Grund (Bitte nennen!): _____

4. Angaben zum Verzehr von Brot und Gebäck:

4.1. Wie oft konsumieren Sie durchschnittlich Brot oder Gebäck?

- ☐ Täglich.
- ☐ Mehrmals pro Woche.
- ☐ Mehrmals pro Monat.
- ☐ Weniger häufig.

4.2. Welche Antwort (nur 1!) trifft für Sie am ehesten zu, betreffend die Art von Backwaren?

- ☐ Ich achte primär, dass sie in meinen Diätplan passen, sekundär wichtig ist deren Art.
- ☐ Ich versuche gezielt die konsumierte Weizenmenge zu reduzieren.
- ☐ Ich versuche mich zu einem großen Teil von Vollkornprodukten zu ernähren.
- ☐ Ich verzehre meist Backwaren auf Weizenbasis od. Weizenmischbrot (z.B. „Schwarzbrot“).
- ☐ Ich achte nicht auf die Art von Backwaren, die ich verzehre.

4.3. Wo kaufen Sie hauptsächlich Ihre Backwaren?

- ☐ Ich beziehe meine Backwaren hauptsächlich von Bäckereien (inkl. Online Bestellung z.B. „Resch & Frisch“).
- ☐ Ich kaufe Backwaren meistens in Supermärkten (inkl. Reformhäusern).
- ☐ Ich backe selbst.

HERZLICHEN DANK für die Teilnahme! 😊

Die verwendeten Chiafrüchte sowie das Rezept wurden dankend zur Verfügung gestellt von der Firma „Sachia- Chia Seed “ (Naturkost Übelhör GmbH & Co. KG, D- 88299 Leutkirch-Friesenhofen)!

9.2 Rohdaten der QDA

Die Tabelle 17 zeigt den Mittelwert inklusive der Standardabweichung der beurteilten Intensität des jeweiligen Attributs, ermittelt in zwei Durchgängen von 10 geschulten Pannellisten.

Tabelle 17: Daten der sensorischen Analyse (QDA) der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia.

	A Kruste Farbe		A Krume Farbe		GR Allgemein		GR Getoastet	
Chia MW ± SD	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia
	4,1 ± 0,6	4,5 ± 0,7	3,2 ± 1,0	5,7 ± 0,9	6,8 ± 0,6	7,0 ± 0,8	4,4 ± 1,0	5,0 ± 1,0
	GR Hefe		GR Brot		GR Gewürz			
Chia MW ± SD	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia		
	2,4 ± 0,6	2,7 ± 0,9	3,5 ± 1,0	3,9 ± 1,4	7,3 ± 0,5	7,5 ± 0,7		
	G Süß		G Salzig		G Sauer		G Bitter	
Chia MW ± SD	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia
	1,7 ± 0,5	1,5 ± 0,7	2,5 ± 0,9	2,2 ± 0,7	1,3 ± 0,6	1,4 ± 0,6	4,2 ± 0,7	3,8 ± 0,5
	FL Allgemein		FL Getoastet		FL Mais		FL Reis	
Chia MW ± SD	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia
	6,1 ± 0,6	7,2 ± 0,5	6,6 ± 0,8	7,4 ± 1,0	3,4 ± 0,5	3,3 ± 0,4	2,1 ± 0,5	2,0 ± 0,5
	FL Gewürz		FL Kartoffel		FL Sonnenblumenkerne		FL Hefe	
Chia MW ± SD	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia
	7,0 ± 0,8	7,4 ± 0,8	6,6 ± 0,8	6,6 ± 0,7	6,2 ± 0,9	6,3 ± 1,0	3,1 ± 0,7	3,0 ± 0,9
	NG Allgemein		T Knusprigkeit_Finger		T Knusprigkeit_oral		T Krümeligkeit_Finger	
Chia MW ± SD	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia
	4,5 ± 0,8	4,4 ± 0,7	5,2 ± 0,9	4,9 ± 1,0	5,5 ± 1,2	4,9 ± 1,4	5,0 ± 0,9	3,2 ± 0,8
	T Krümeligkeit_oral		T Härte_Finger		T Härte_oral		T Elastizität_Finger	
Chia MW ± SD	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia
	5,4 ± 0,9	3,8 ± 1,0	4,6 ± 0,9	3,2 ± 0,9	4,5 ± 0,9	3,3 ± 0,9	4,6 ± 0,8	5,0 ± 0,8

Fortsetzung Tabelle 17.

	T Elastizität_oral		T Kohäsivität_Finger		T Kohäsivität_oral		T Adhäsivität_oral	
Chia	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia
MW ± SD	4,4 ± 1,0	4,6 ± 1,1	4,4 ± 0,8	5,3 ± 0,9	4,5 ± 1,1	5,2 ± 0,9	1,7 ± 1,0	1,6 ± 1,1

	T Saftigkeit		T Kaubarkeit	
Chia	Ohne Chia	Mit Chia	Ohne Chia	Mit Chia
MW ± SD	2,2 ± 0,8	3,9 ± 0,9	4,6 ± 0,7	4,3 ± 0,8

Abkürzungen:

MW... Mittelwert, SD... Standardabweichung

A... Aussehen; GR... Geruch; G.. Geschmack; FL... Flavour; NG ... Nachgeschmack; T... Textur

Getoastet ... GR/ FL von Getoastetem; Brot ... GR von traditionellem Brot; Gewürz... GR/ FL von Brotgewürz

9.3 Rohdaten der instrumentellen Messung

Die Daten der instrumentellen Messung, einer Textur-Profil-Analyse, sind in Tabelle 18 dargestellt.

Tabelle 18: Daten der instrumentellen Analyse (Textur-Profil-Analyse) der beiden untersuchten Brote ohne bzw. mit Chia sowie Veränderungen während einer viertägigen Lagerdauer.

Tag		Härte (N)	Elastizität (-)	Adhäsivität (N*s)	Kohäsivität (-)	Kaubarkeit (N)
1 *	- Chia ¹	11,04 ± 1,09	0,96 ± 0,53	-0,02 ± 0,01	0,65 ± 0,34	7,06 ± 0,20
	+ Chia ¹	8,99 ± 0,99	1,01 ± 0,58	-0,06 ± 0,04	0,73 ± 0,39	6,67 ± 0,22
2 *	- Chia ¹	50,94 ± 5,59	0,87 ± 0,55	-0,02 ± 0,01	0,55 ± 0,44	24,50 ± 1,36
	+ Chia ¹	43,81 ± 6,26	0,91 ± 0,59	-0,02 ± 0,01	0,60 ± 0,49	23,91 ± 1,79
3 *	- Chia ¹	67,00 ± 6,66	0,83 ± 0,27	-0,01 ± 0,00	0,48 ± 0,33	26,93 ± 0,61
	+ Chia ¹	58,94 ± 6,77	0,88 ± 0,31	-0,02 ± 0,00	0,50 ± 0,30	26,06 ± 0,63
4 *	- Chia ¹	88,25 ± 8,62	0,78 ± 0,35	-0,01 ± 0,00	0,44 ± 0,26	27,64 ± 0,78
	+ Chia ¹	77,94 ± 9,64	0,74 ± 0,31	-0,02 ± 0,01	0,47 ± 0,32	26,25 ± 0,95

Abkürzungen: N... Newton; N * s ... Newton * sec; - ... dimensionslos

¹ „- Chia“... Kontrollbrot; „+ Chia“... Brot mit Chia.

* Die Messung der Proben erfolgte nach 3 Stunden (Tag 1), 24 Stunden (Tag 2), 48 Stunden (Tag 3) sowie 72 Stunden (Tag 4) nach dem Herausnehmen aus dem Backofen [Ronda und Roos, 2011; Hager et al., 2014; Purhagen et al., 2012].

9.4 Lebenslauf

PERSÖNLICHE DATEN

Name: Andrea Brunnmair, BSc
Geburtsdatum: 21. November 1990
Geburtsort: Steyr, Oberösterreich

AUS- UND WEITERBILDUNG

2015 \ Jän., Mai **Seminare** der „Quality Austria“ und am „WIFI“ Linz
Seit März 2013 **Masterstudium Ernährungswissenschaften**, Universität Wien, Schwerpunkt: Lebensmittelsicherheit und -qualität
Okt. 2009 - Jän. 2013 **Bachelorstudium Ernährungswissenschaften**, Universität Wien, Bachelorarbeit: „Die Bedeutung von Omega-3 und Omega-6- Fettsäuren in der Therapie der ADHS“
Sept. 2001 - Jun. 2009 **Bundesrealgymnasium Steyr**
Schwerpunkt: Naturwissenschaften

PRAKTIKA

2014 \ Sept. **Staud's GmbH**, Wien: Früchteverarbeitung (Produktion)
2014 \ Aug. **Backaldrin- The Kornspitz Company GmbH**, Asten: Qualitätssicherungslabor (Mehlanalytik)
2013 \ Aug., Sept. **Labor für Bienenprodukte**, Linz
2013 \ Feb. **nutritionDay**, Wien
2012 \ Aug. **Medizinische Universität Wien**, Krebsforschung (Labor)
2012 \ Jul. **Amt der OÖ. Landesregierung**, Abteilung für Gesundheit
2011 \ Jul., Aug. **Abnehmgruppe** Linz
2009 \ Jul., Aug. **LKH Steyr**, Bereich Diätologie/ Küche

KENNTNISSE

Sprachen: Deutsch \ Muttersprache
Englisch \ verhandlungssicher
Französisch \ in Wort und Schrift
Italienisch \ Grundkenntnisse
EDV/ Programme: Microsoft Word, Excel, Powerpoint \ Sehr gut
SPSS \ Sehr gut