Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades Dipl.-Ing. oder DI

Anpassung von Rezeptur und Backprozess zur Optimierung einer glutenfreien Pizzabackmischung

eingereicht von Stephanie Wieser B.Sc.

durchgeführt am Institut für Lebensmitteltechnologie
des Departments für Lebensmittelwissenschaften und -technologie der
Universität für Bodenkultur, Wien

betreut von Univ. Prof. Dr. Ing. Henry Jäger

mitbetreut von Dipl.-Ing. Dr. Angelika Petrasch

Wien, im März 2016

DANKSAGUNG

Die Danksagung anderer Arbeiten zu lesen ist leicht, eine selber zu schreiben, fällt schon etwas schwerer.

Zu aller erst möchte ich mich bei Univ. Prof. Dr. Ing. Henry Jäger für die Betreuung dieser Masterarbeit bedanken.

Für die Möglichkeit, mich mit diesem interessanten Themengebiet intensiv auseinandersetzen zu können, und ihre kompetente, fachliche Betreuung danke ich Dipl.-Ing. Dr. Angelika Petrasch.

Die Uni zu wechseln fällt nicht leicht – auf der BOKU durfte ich allerdings die besten Studienkollegen und Freunde zu meiner „Schnuffigruppe“ zählen, die mir dies mehr als leicht machten. Danke für die schönste und lustigste Studienzeit! Vera, Heli, Eva, Thomas, Markus und Richi – es war mir eine Ehre!

Großer Dank gebührt meiner Mitbewohnerin Carmen. Sie versorgte mich in stressigen Zeiten nicht nur mit Essen, sie hielt auch immer unsere Wohnung sauber wenn ich keine Zeit mehr dazu hatte. Babsi, Franzl, danke für die aufbauenden Nachrichten zwischendurch! Isi, vielen lieben Dank für das Korrekturlesen dieser Arbeit und die kraftgebenden Speedtreffen.

Ohne meine Mama und meinen Papa wäre ich nie so weit gekommen eine Danksagung zu schreiben. Außerdem waren sie es, die mir beibrachten, „danke“ zu sagen. Also: Danke!

Last but not least möchte ich mich bei meinem Freund Flo bedanken. Dieser hat mich gerade in der letzten Phase meines Studiums immer wieder aufgebaut, ermuntert und motiviert weiter zu machen. Ohne ihn hätte ich zwischendurch vermutlich das Handtuch geworfen.

Jetzt hoffe ich allerdings mit dieser Masterarbeit einen anderen großen Wurf geschafft zu haben.

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS V

TABELLENVERZEICHNIS VIII

1. EINLEITUNG 1

2. ZÖLIAKIE 2

2.1 Definition 2

2.2 Gluten 2

2.3 Krankheitsverlauf 2

2.4 Diagnostik 4

2.5 Symptome und Therapie 5

3. WEIZENTEIG 7

3.1 Klebereiweiß 7

3.2 Weizenteig – technologische Aspekte 8

4. GLUTENFREIE ALTERNATIVEN 11

4.1 Probleme bei glutenfreien Teigen 11

4.2 Anforderungen an einen glutenfreien Pizzateig 12

4.3 Reis 12

4.3.1 Nährwert 13

4.3.2 Technologische Aspekte 14

4.4 Hirse 16

4.4.1 Nährwert 16

4.4.2 Technologische Aspekte 17

4.5 Mais 18

4.5.1 Nährwert 19

4.5.2 Technologische Aspekte 19

4.6 Pseudocerealien 20

4.6.1 Amarant 21

4.6.1.1 Nährwert 21

4.6.1.2 Technologische Aspekte 21

4.6.2 Quinoa 22
4.6.2.1 Nährwert 22
4.6.2.2 Technologische Aspekte 23
4.6.3 Buchweizen 24
4.6.3.1 Nährwert 24
4.6.3.2 Technologische Aspekte 25
5. PIZZA 26
5.1 Geschichte 26
5.2 Definition 26
5.3 Pizza Napoletana 26
5.4 Technologie 27
5.5 Pizzazutaten 28
5.5.1 Reismehl und Buchweizenmehl 28
5.5.2 Hefe 28
5.5.3 Salz 28
5.5.4 Zucker 29
5.5.5 Olivenöl 29
5.5.6 Reisquellmehl 29
5.5.7 Buchweizenmehl extrudiert und Maismehl extrudiert 30
5.5.8 Wasser 30
6. AUFGABENSTELLUNG 31
7. MATERIAL UND METHODEN 33
7.1 Verwendete Rohstoffe 33
7.2 Verwendete Geräte für die Pizzaherstellung 37
7.3 Rohstoffanalysen 40
7.3.1 Gravimetrische Bestimmung der Trockensubstanz 40
7.3.2 Bestimmung des Fettgehalts durch direkte Extraktion - Methode nach 41
Soxhlet 41

7.3.3 Bestimmung des Aschegehalts 43

7.3.4 Bestimmung des Proteingehalts über den Stickstoffgehalt - Methode nach Kjeldahl 44

7.4 Pizzateigherstellung 48

7.5 Pizzateiganalyse – Charakterisierung der Pizza 51

7.5.1 Verwendete Geräte 51

7.5.2 Simulation des Beiß- bzw. Reißvorganges 52

7.5.2 Simulation des Schneidevorganges 55

7.5.3 Bestimmung der Eigenschaften des Teiges 57

7.5.4 Bestimmung der Oberflächenfarbe 61

7.6 Sensorische Methoden 64

7.6.1 Ermittlung des sensorischen Trends 64

7.6.2 Ermittlung der Beliebtheit der Endprodukte 66

7.7 Statistische Methoden 69

7.7.1 Versuchsplanung 69

7.7.2 Grubbs Test 71

7.7.3 Shapiro-Wilk Test 71

7.7.4 Zielgrößenoptimierung 71

7.7.5 Mehrgrößenoptimierung 72

7.7.6 Einfaktorielle Varianzanalyse – ANOVA 72

7.7.7 T-Test 73

7.7.8 Multiple Range Test 73

7.7.9 Analyse der experimentellen Daten 73

8. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG, ERGEBNISSE, DISKUSSION 74

8.1 Ergebnisse der Rohstoffanalysen 74

8.2 Vorversuche 76

8.3 ..... Versuchsplan 1 – „Bestimmung der idealen Proteinmehlkombination“ 79

8.4 Versuchsplan 2 – „Ermittlung des Einflusses von glutenfreier Weizenstärke auf die optimale Rezeptur“ 91

8.5 Vergleich der Versuchspläne 104

8.6 Vergleich der Optima beider Versuchspläne unter Verwendung von Frischhefe 114

8.6.1 Vergleich der beiden Optima mit Frischhefe 114

8.6.2 Vergleich der Optima mit Frischhefe mit den Trockenhefe-Optima 116

8.7 Vergleich der Optima beider Versuchspläne in drei unterschiedlichen Öfen 119

8.7.1 Etagenbackofen: 220 °C, 9 min Backzeit 121

8.7.2 Haushalts-Umluftofen: 200 °C, 11 min Backzeit 121

8.7.3 Gastro-Umluftofen: voreingestelltes Pizzabackprogramm 122

8.8 Sensorische Beurteilung der glutenfreien Pizza 132

8.9 Preiskalkulation 136

9. SCHLUSSFOLGERUNG 137

10. ZUSAMMENFASSUNG 140

11. SUMMARY 141

12. LITERATURVERZEICHNIS 142

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Umbau der Dünndarmschleimhaut bei Zöliakie; links: gesunde Darmepitheloberfläche, rechts: bereits abgeflachte Schleimhaut; nach BIESALSKI und GRIMM (2007) 3
Abb. 2: Veränderung der Dünndarmschleimhaut bei Zöliakie; a: gesunde Dünndarmzotte, b: Gewebeschwund nach Gluten Exposition; nach SCHWYN und LIENERS (2009) 4
Abb. 3: Kleberbildung durch Kneten; a: Auffalten der Proteinstruktur, Strecken der Aminosäureketten und Aufbrechen der Schwefelbrücken b: Peptidketten gleiten ineinander über, c: neue Schwefelbrückenbindungen zwischen den Proteinfraktionen; nach SKOBRANEK (1995) 8
Abb. 4: Teig nach Wasserzugabe, ungeknetet und ungedehnt nach BELITZ et al. (2008) 9
Abb. 5: Pizzaproduktion nach GALLAGHER (2008) 27
Abb. 6: Waage der Firma Sartorius AG 38
Abb. 7: Kneter Typ RN10 VL-2 38
Abb. 8: Ausrollmaschine Typ: STM 513 39
Abb. 9: Etagenbackofen Typ: 60/3W 39
Abb. 10: Umluftofen Typ: HBB-CD71-4 39
Abb. 11: Rational Selfcooking Center Modell SCC WE61 39
Abb. 12: Stiftmühle Typ: PXL 18 39
Abb. 13: Pizzaprobe nach dem Backen 50
Abb. 14: Ausstecher 50
Abb. 15: Texture Analyser am ILMT 52
Abb. 16: DigiEye Colour Mesurement and Imaging System 52
Abb. 17: Anbringen der Pizzaprobe und Abb. 18: Tensile Rig mit Stempel (rot), Auflage (weiß) 53
Abb. 19: Kraft-Zeit-Diagramm Weizenreferenz (Tensile Rig) 55
Abb. 20: Texture Analyser mit Craft Knife Aufsatz 56
Abb. 21: Texture Analyser mit Aufsatz und Abb. 22: Kieffer dough & gluten extensibilty rig 58
Abb. 23: Stempel bzw. Presse zum Formen der Teigstreifen 58
Abb. 24: Kraft-Weg-Diagramm Weizenreferenz (Extensogramm) 60
Abb. 25: L* a* b* Farbraum (ALTMANN, 2008) 62

Abb. 26: Pizzastücke im Analysenraum des DigiEye 62
Abb. 27: Fragebogen zur Ermittlung des sensorischen Trends 65
Abb. 28: Minipizzen bei der Verkostung 67
Abb. 29: Fragebogen zur sensorischen Bewertung 68
Abb. 30: Vorversuch glutenfreie Pizza mit laktosefreier Milch 77
Abb. 31: Vorversuch glutenfreie Pizza mit laktosefreier Milch Unterseite 77
Abb. 32: Vorversuch glutenfreie Pizza, die Sojamehl enthielt 78
Abb. 33: Vorversuch glutenfreie Pizza, die Nutralys und Kichererbsenmehl enthielt 78
Abb. 34: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf den L*- Wert im Versuchsplan 1 83
Abb. 35: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf den a*-Wert im VP 1 83
Abb. 36: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf die Kraft am Pizzarand im VP 1 84
Abb. 37: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf den Kraftaufwand in der Mitte des Pizzateiges im VP 1 84
Abb. 38: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf die Analyse mittels Tensile Rig im VP1 85
Abb. 39: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf den benötigten Weg bis zum Reißen des Teiges im VP 1 86
Abb. 40: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf die Kraft, gegen die Längsausdehnung in VP 1 86
Abb. 41: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf den sensorischen Gesamteindruck im VP1 87
Abb. 42: Optimale Rezeptur VP1 88
Abb. 43: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf den L*- Wert im Versuchsplan 2 96
Abb. 44: : Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf die Kraft am Pizzarand im VP 2 97
Abb. 45: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf den Kraftaufwand in der Mitte des Pizzateiges im VP 2 97
Abb. 46: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf die Analyse mittels Tensile Rig im VP2 98

Abb. 47: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf den benötigten Weg bis zum Reißen des Teiges im VP 2 99
Abb. 48: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf die Kraft, gegen die Längsausdehnung in VP 2 99
Abb. 49: optimale Rezeptur VP2 101
Abb. 50: Box-Whisker-Plot des Craft Knife M bei Versuchspunkt 1 beider Versuchspläne 106
Abb. 51: Box-Whisker-Plot Craft Knife M bei Versuchspunkt 2 107
Abb. 52: Box-Whisker-Plot Extensogramm Kraft bei Versuchspunkt 3 109
Abb. 53: Box-Whisker-Plot Kraft R bei Versuchspunkt 4 110
Abb. 54: Box-Whisker-Plot Tensile Rig Versuchspunkt 6 und 8 111
Abb. 55: Box-Whisker-Plot Tensile Rig Versuchspunkt 7 112
Abb. 56: Box-Whisker-Plot des Parameters Extensogramm-Kraft beider Optima mit Frischhefe 116
Abb. 57: Box-Whisker-Plot L* von Optimum 2 bei Vergleich Frisch-und Trockenhefe 118
Abb. 58: Box-Whisker-Plot Tensile Rig von Optimum 1 bei Vergleich Frisch- und Trockenhefe 119
Abb. 59: Box-Whisker-Plot des L*- Farbwertes der Optima der beiden Versuchspläne nach dem Haushalts-Umluftofen 122
Abb. 60: Box-Whisker-Plot des a*-Farbwertes der Optima der beiden Versuchspläne nach dem Gastro-Umluftofen 122
Abb. 61: Altersverteilung der teilnehmenden Testpersonen [%] 132
Abb. 62: Angaben zum Pizzakonsum der Testpersonen [%] 133
Abb. 63: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Verkostung 134
Abb. 64: Graphische Darstellung der Ergebnisse zur Beurteilung der Klebrigkeit an den Zähnen 135

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Vitamingehalt in Rohreis, Weißreis und Parboiled Reis nach BELITZ et al. (2008). 13
Tab. 2: Rohstoffe glutenfreier Pizzateig nach HINTERREITER (2015) 31
Tab. 3: Rezeptur Referenzpizza aus Weizenmehl nach HINTERREITER (2015) 48
Tab. 4: Einstellungen Tensile Rig (HINTERREITER, 2015) 54
Tab. 5: Einstellungen Craft Knife 56
Tab. 6: Einstellungen Extensogramm 59
Tab. 7: Farbmaßzahlen L*, a*, b* im Farbraum der Internationalen Beleuchtungskommision (Abb. 26) 61
Tab. 8: Rezeptur Tomatensauce nach HINTERREITER (2015) 67
Tab. 9: Proteinmehle und -mengen Versuchsplan 1 70
Tab. 10: Proteinmehle und -mengen Versuchsplan 2 70
Tab. 11: Mehrgrößenoptimierung 72
Tab. 12: Ergebnisse Rohstoffanalysen 75
Tab. 13: Mischungsplan 79
Tab. 14: Basisrezeptur glutenfreier Teig aus VP1 80
Tab. 15: unterschiedliche Protein-Einwaagemengen der Versuchspunkte von Versuchsplan 1 80
Tab. 16: Ergebnisse Versuchsplan 1 81
Tab. 17: Einfluss der Proteinmehle im VP 1 82
Tab. 18: Qualitätskennzahlen Versuchsplan 1 82
Tab. 19: optimale Proteinmengen nach Mehrgrößenoptimierung im VP1 87
Tab. 20: Gegenüberstellung der theoretischen und praktischen Ergebnisse des Optimums mit Weizenpizzateig im VP1 89
Tab. 21: Basisrezeptur glutenfreier Teig aus VP2 91
Tab. 22: Ergebnisse Versuchsplan 2 92
Tab. 23: Einfluss der Proteinmehle im VP2 94
Tab. 24: Qualitätskennzahlen VP2 95
Tab. 25: optimale Proteinmengen nach Mehrgrößenoptimierung im VP2 99
Tab. 26: Gegenüberstellung der theoretischen und praktischen Ergebnisse des Optimums 2 mit Optimum 1 aus VP1 im VP2 102
Tab. 27: Zusammenfassung Ergebnisse aus VP1 und VP2 104

Tab. 28: p-Werte des t-Tests für den Vergleich der beiden Versuchspläne 105
Tab. 29: Proteinmehlkombination Versuchspunkt 1 105
Tab. 30: Proteinzugabe Versuchspunkt 2 106
Tab. 31: Proteinzugabe Versuchspunkt 3 107
Tab. 32: Proteinzugabe Versuchspunkt 4 109
Tab. 33: Proteinzugabe Versuchspunkt 5 und 10..... 110
Tab. 34: Proteinmenge Versuchspunkt 6 und 8 110
Tab. 35: Proteinmenge Versuchspunkt 7 112
Tab. 36: Ergebnisse Backversuche Frischhefe 115
Tab. 37: p-Werte des t-Tests für den Vergleich der beiden Optima mit Frischhefe..... 115
Tab. 38: Zusammenfassung Ergebnisse der Backversuche mit Frischhefe und Trockenhefe 116
Tab. 39: p-Werte des t-Tests für den Vergleich der Optima mit Frischhefe und Trockenhefe 117
Tab. 40: Ergebnisse Ofen Backversuche 120
Tab. 41: p-Werte des t-Tests für den Vergleich der Optima in verschiedenen Öfen 121
Tab. 42: p-Werte der ANOVA für den Vergleich des Optimums 1 in den verschiedenen Öfen 124
Tab. 43: Homogene Gruppen des Multiple Range Test von Optimum 1 124
Tab 44: p-Werte der ANOVA für den Vergleich des Optimums 2 in den verschiedenen Öfen 126
Tab. 45: Homogene Gruppen des Multiple Range Test von Optimum 2 127
Tab. 46: Ergebnisse der Verkostung 134
Tab. 47: Preiskalkulation Optimum 2..... 136

1. EINLEITUNG

Der Verzicht auf Weizenprotein (Gluten) ist für Menschen, welche von Zöliakie betroffen sind, notwendig, um sich beschwerdefrei zu ernähren. (ROSIEN et al., 2010).

Die Prävalenz dieser Krankheit liegt weltweit bereits bei rund 1 % (FASANO, 2010). Aufgrund dieses immer bekannter werdenden Darmleidens und dem folglich zunehmenden Bedarf an glutenfreien Nahrungsmitteln gibt es am Markt bereits zahlreiche Produkte, die dieser einzigen Anforderung, kein Weizenprotein zu enthalten, nachkommen. Da Zöliakie-Patienten aber durchwegs Nährstoffmängel aufweisen (ROSIEN et al., 2010), ist die ernährungsphysiologische Qualität der glutenfreien Lebensmittel besonders wichtig.

Das Kleberprotein Gluten zu ersetzen stellt bei nahezu jedem Lebensmittel, welches aus Weizen hergestellt wird bzw. Weizenprotein enthält, eine große technologische Herausforderung dar. Studien über glutenfreie Alternativen für die Pizzaherstellung sind spärlich gesät und es besteht noch viel Forschungsbedarf, um eine geeignete Mehlkombination zu finden, welche noch dazu ernährungsphysiologisch wertvoll ist.

Die vorliegende Diplomarbeit soll einen Beitrag dazu leisten, die Forschung auf diesem Gebiet voranzutreiben.

2. ZÖLIAKIE

2.1 Definition

Bei Zöliakie (auch einheimische Sprue oder glutensensitive Enteropathie genannt) handelt es sich um eine chronische Verdauungsinsuffizienz, die von dem Getreideeiweiß Gluten hervorgerufen wird. Durch die Reaktion des Immunsystems auf dieses Protein, wird die Dünndarmmukosa geschädigt und es folgt eine Zottenatrophie mit teils schwerwiegenden Symptomen und weiteren Folgeerkrankungen. Zöliakie ist eine weitverbreitete genetisch prädestinierte Autoimmunerkrankung. Die einzige Therapiemöglichkeit besteht in einer lebenslangen konsequenten glutenfreien Ernährung (ROSIEN et al., 2010).

2.2 Gluten

„Gluten“ stammt aus dem Lateinischen und bedeutet übersetzt „Leim“ (DUDEN, 2015). Gluten findet sich nicht nur in Weizen, Roggen oder Gerste, es kommt auch in deren Abstammungen und Kreuzungen wie Dinkel (bzw. Grünkern), Emmer, Einkorn, Triticale, Kamut und Hafer vor (KASPER, 2009; BELITZ et al., 2008).

Das Protein besteht aus einem Gemisch der Peptide Prolamine (z.B. Gliadin im Weizenprotein) und Gluteline (z.B. Glutenin im Weizenprotein) (KASPER, 2009; BELITZ et al., 2008) und stellt das wesentliche Speicherprotein im Weizen dar (NIEWINSKI, 2008).

Dieses Klebereiweiß ist für die Herstellung eines Teiges von großer Bedeutung, da es für die zahlreichen positiven technologischen Eigenschaften, wie z.B. Teigviskosität, -elastizität und -stabilität, verantwortlich ist (KITTISUBAN et al., 2014).

2.3 Krankheitsverlauf

Die Hauptaufgaben des Dünndarms sind die Spaltung von Nahrungsbestandteilen bzw. die Resorption von Nährstoffen. Nicht resorbierbare Stoffe werden weiter in den Dickdarm geleitet (BIESALSKI und GRIMM, 2007; LIPPERT, 2003).

Um diesen Aufgaben gerecht zu werden, bedarf es einer großen Oberfläche der Darmschleimhaut, welche durch Zotten mit ihren Krypten und Falten bzw. Mikrovilli gewährleistet wird (BIESALSKI und GRIMM, 2007; LIPPERT, 2003).

Bei Zöliakie-Patienten kommt es zu einer Autoimmunreaktion der Darmschleimhaut und die Zotten werden zurückgebildet. Durch diese Atrophie der Dünndarmzotten resultiert eine Verringerung der Resorptionsoberfläche und in weiterer Folge eine Malabsorption und Maldigestion (ROSIEN et al., 2010).

Abb. 1 verdeutlicht das Ausmaß eines Zottenverlustes. Links ist eine gesunde, mit vielen Zotten behaftete Darmepitheloberfläche abgelichtet, während rechts eine abgeflachte Schleimhaut dargestellt ist, bei der bereits die Kryptenöffnungen zu sehen sind.

Abb. 1: Umbau der Dünndarmschleimhaut bei Zöliakie; links: gesunde Darmepitheloberfläche, rechts: bereits abgeflachte Schleimhaut; nach BIESALSKI und GRIMM (2007)

Abb. 2 ist eine schematische Darstellung der Veränderung der Mukosaausstülpungen. Sie illustriert eine gesunde Dünndarmzotte und den Gewebeschwund bzw. die drastische Verkleinerung der Zotte nach Exposition mit Gluten bei Menschen mit Zöliakie (SCHWYN und LIENERS, 2009). ROSIEN et al. (2010) betont, dass die Schleimhautveränderungen durch eine strikte glutenfreie Ernährung reversibel sind und sich die Zotten wieder normal ausbilden.

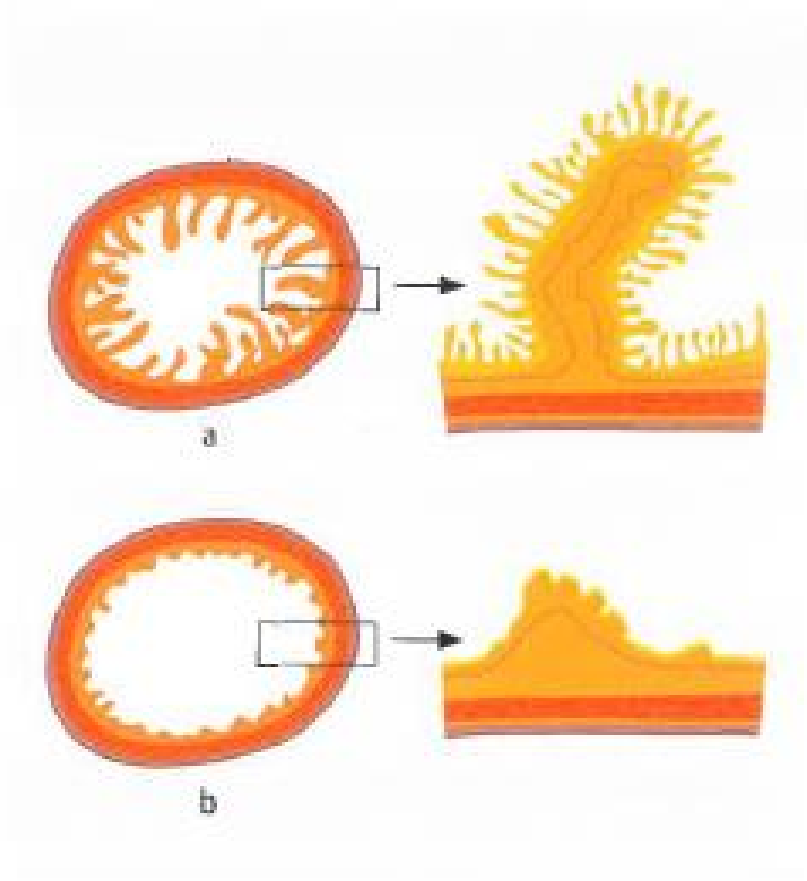

Abb. 2: Veränderung der Dünndarmschleimhaut bei Zöliakie; a: gesunde Dünndarmzotte, b: Gewebeschwund nach Gluten Exposition; nach SCHWYN und LIENERS (2009)

Neben der bereits erwähnten verminderten Nährstoffaufnahme ist die Zöliakie mit zahlreichen weiteren Erkrankungen assoziiert, unter anderem z.B. Diabetes mellitus Typ 1, Hyper-/Hypothyreose, chronischen Darmerkrankungen und hämolytische Anämie (SCHWYN und LIENERS, 2009; ROSIEN et al., 2010).

2.4 Diagnostik

Bei Verdacht auf Zöliakie werden zunächst serologische Tests durchgeführt. Dabei wird das Blut auf zwei verschiedene Immunglobulin A-Autoantikörper untersucht, nämlich Tissue-Transglutaminase-Antikörper und endomysiale Antikörper (ROSIEN et al., 2010; DZG, 2015).

Daneben gibt es auch noch die Möglichkeit, das Serum auf die Anwesenheit von Gliadin-Antikörper zu untersuchen. Diese Bestimmung kommt vor allem bei der Untersuchung von Kindern unter zwei Jahren zum Einsatz (BUDERUS und LENTZE, 2003).

Eine Bestimmung der jeweiligen Immunglobulin G-Antikörper wird bei Patienten mit Immunglobulin A-Mangel durchgeführt, da die Tests mit Immunglobulin A Antikörper ein falsch negatives Ergebnis liefern (ROSIEN et al., 2010; AGES, 2015).

Liefert ein serologischer Test ein positives Ergebnis wird eine Dünndarmschleimhautbiopsie zum gesicherten Nachweis einer Sprue durchgeführt. Die mikroskopische Untersuchung der zerstörten Dünndarmzotten liefert eine genaue Auskunft über den Schweregrad der Zottenatrophie und lässt sich in verschiedene Typen nach „Marsh" einteilen (ROSIEN et al., 2010).

Bis zur klinisch manifesten Diagnose kann die Entwicklung einer glutensensitiven Enteropathie bis zu 13 Jahre dauern (SCHWYN und LIENERS, 2009).

2.5 Symptome und Therapie

Die Prävalenz von Zöliakie in Europa variiert stark je nach geographischer Lage und weist Werte zwischen 0,3 und 2 % auf. Daneben erklärt DE LA HERA et al. (2014), dass die Erkrankung familiär gehäuft auftritt, was eine gründliche Anamnese der Familiengeschichte bei der Diagnosestellung als unumgänglich erscheinen lässt.

Die Ausprägung des Zottenverlustes bestimmt auch das Ausmaß der Malabsorption. Diese äußert sich beispielsweise durch starke Diarrhö, Obstipation, Blähungen, Völlegefühl, Erbrechen, Gewichtsabnahme, Nährstoffmängel, Zungenbrennen oder fahle Haut und Knochenschmerzen (KASPER, 2009; SCHWYN und LIENERS, 2009).

Eine lebenslange strikte, konsequent glutenfreie Ernährung ist nach derzeitigem Stand der Wissenschaft die einzige Therapiemöglichkeit bei Zöliakie-Patienten (DE LA HERA et al., 2014). Eine glutenfreie Diät wird durch den Umstand erschwert, dass Gluten heutzutage in der Mehrheit der Lebensmittel vorkommen. Nicht nur Brot, Gebäck, Pizza oder Pasta enthalten das Eiweiß, es kommt auch oft in Lebensmittel vor, bei denen es nicht auf den ersten Blick ersichtlich ist, wie zum Beispiel Saucen, Suppen, Pudding oder Wursterzeugnissen (HÜTTNER und ARENDT, 2010).

Darüber hinaus, weisen die meisten kommerziell erhältlichen glutenfreien Produkte einen niedrigen Nährstoffgehalt auf, was den ohnehin bestehenden Nährstoffmangel der Patienten verschlechtert (HÜTTNER und ARENDT, 2010). In der Anfangsphase der Therapie sollte auch Laktose gemieden werden, da oftmals auch eine Laktoseintoleranz besteht (ROSIEN et al., 2010).

Die Betroffenen können allerdings auf Produkte aus Hirse, Reis, Mais, Buchweizen, Quinoa, Amarant oder glutenfreie Stärkepräparate aus den glutenhältigen Getreidearten ausweichen (KASPER, 2009; NIEWINSKI, 2008).

Bei glutenfreier Diät stellt sich bei 70% der Patienten nach zwei Wochen eine deutliche Verbesserung der Symptome und baldige Beschwerdefreiheit ein (KASPER, 2009; NIEWINSKI, 2008). Die Dünndarmschleimhaut regeneriert sich zunehmend (ALVAREZ-JUBETE, 2010) und auch das Wachstum und die Entwicklung von Kindern normalisiert sich (NIEWINSKI, 2008).

3. WEIZENTEIG

3.1 Klebereiweiß

Die Fähigkeit nach Wasserzugabe und Kneten einen viskoelastischen Teig zu formen besitzt nur das Weizenmehl. Ausschlaggebend hierfür ist das Klebereiweiß, das sich zu 90 % aus Proteinen, zu 8 % aus Lipiden und zu 2 % aus Kohlenhydraten zusammensetzt. Unlösliche und lösliche Pentosane (Kohlenhydrate) binden das Wasser und die Lipidfraktion ist mit Proteinen zu Lipoproteine assoziiert (SKOBRANEK, 1995; BELITZ et al., 2008).

Die Proteine im Weizenteig setzen sich aus löslichen und unlöslichen Fraktionen zusammen. Albumine und Globuline sind die Vertreter der löslichen Proteine. Durch die Anlagerung von Wasser lösen sie sich leimartig im Teig. Im Gegensatz dazu binden die unlöslichen Proteine (Prolamine und Gluteline) das Wasser nicht durch Anlagerung sondern durch Quellung. Dabei lagern sich Wassermoleküle in den Zwischenräumen von Aminosäureketten ein, wodurch die Aminosäuren immer weiter auseinandergedrängt werden und somit das Protein zu quellen beginnt. Die beiden Osborne Fraktionen Prolamine und Gluteline kommen in einem Verhältnis von 1:1 vor. Sie leisten den entscheidenden Beitrag zur Rheologie des Teiges. Während die Prolamine (Gliadin) hauptsächlich für die Viskosität verantwortlich sind, leisten die hochmolekularen Gluteline (Glutenin) einen erheblichen Beitrag zur Festigkeit und Elastizität (SKOBRANEK, 1995; BELITZ et al., 2008).

In Abb. 3 ist die Entstehung des Klebers aus dem Prolamin und dem Glutelin illustriert. Zuerst müssen die gequollenen Proteinfraktionen aufgefaltet und die Aminosäurenketten gestreckt werden, was zu einem Aufbrechen der Schwefelbrücken und den Verlust der Raumstruktur führt (a). Während des Knetvorgangs werden die Peptidketten nochmals gestreckt und gleiten übereinander (b). Dabei bilden sich neue Schwefelbrückenbinden zwischen Gliadin und Glutenin aus und das Gluten entsteht (c) (SKOBRANEK, 1995; BELITZ et al., 2008).

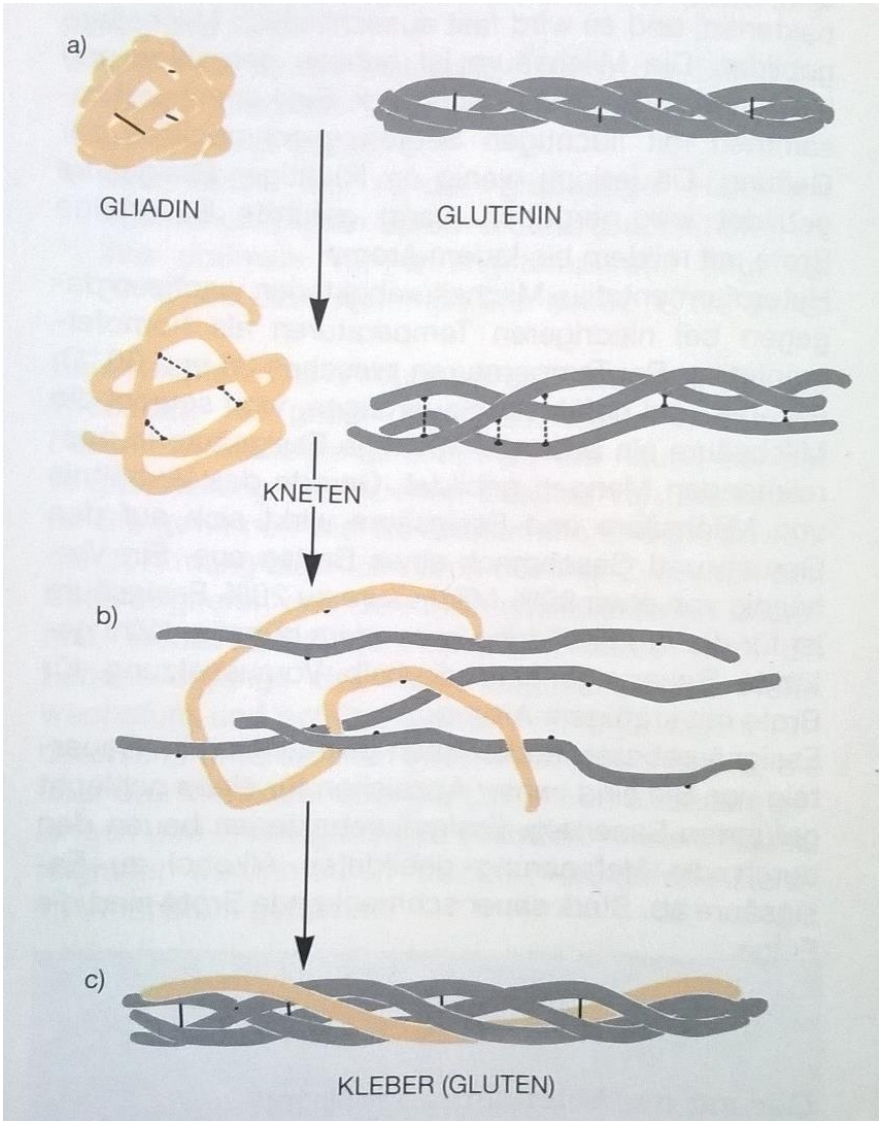

Abb. 3: Kleberbildung durch Kneten; a: Auffalten der Proteinstruktur, Strecken der Aminosäureketten und Aufbrechen der Schwefelbrücken b: Peptidketten gleiten ineinander über, c: neue Schwefelbrückenbindungen zwischen den Proteinfraktionen; nach SKOBRANEK (1995)

3.2 Weizenteig – technologische Aspekte

Vor allem Proteine und Stärke sind für die Bildung eines Weizenteiges verantwortlich. Das ubiquitäre Vorkommen des Weizens in Lebensmitteln lässt sich auf die idealen Backeigenschaften dieses Getreides zurückführen. Die Proteinstruktur des Weizens ist einzigartig. Das bereits erwähnte Gliadin ist verantwortlich für die Teigviskosität und Teigdehnbarkeit, während das Glutenin dem Teig die notwendige Stabilität und Elastizität gibt (BARAK et al., 2013). Abb. 4 illustriert die Ausbildung des komplexen Proteinnetzwerks aus Gluten-Fäden, wenn

das Mehl mit Wasser vermengt wird. Diese Teigbildung ist Voraussetzung für die Verkleisterung der Stärke beim Backen des Teiges (BELITZ et al., 2008).

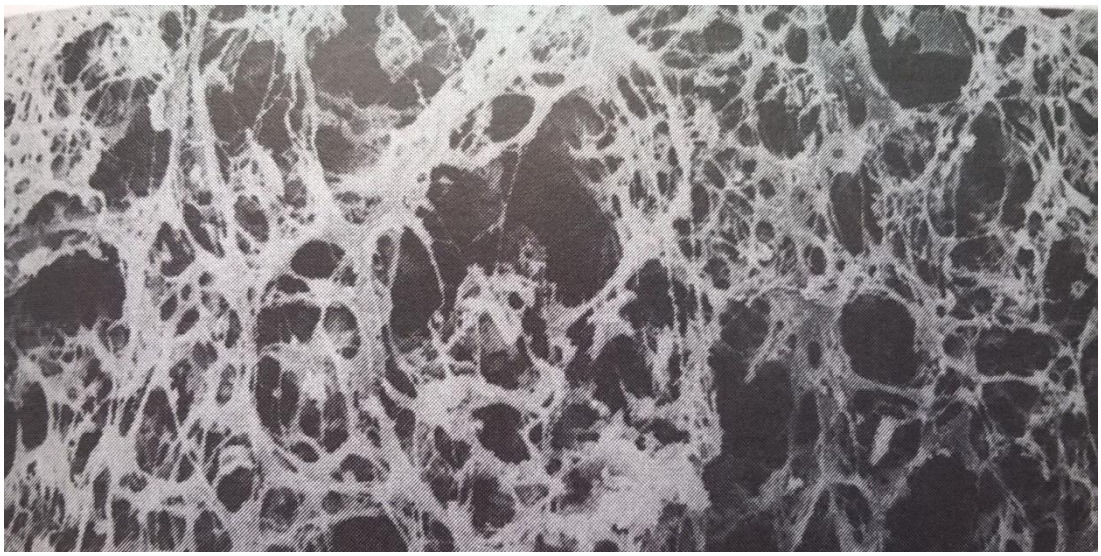

Abb. 4: Teig nach Wasserzugabe, ungeknetet und ungedehnt nach BELITZ et al. (2008)

Die Teigviskosität und Teigelastizität sind vor allem im Hinblick auf die Gasbildung wichtig. Aufgrund der Hefeaktivität entsteht CO_2 im Teig. Daher muss der Teig eine gewisse Konsistenz aufweisen um die Gasblasen halten zu können und gleichzeitig die Viskosität besitzen, den Blasen Raum zu geben, um den Teig zu lockern. Der reife Teig weist ein hohes Volumen, gute Standfestigkeit und hohes Gashaltevermögen auf (SKROBANEK, 1995; DOOSE, 1982).

Bei der Weizenteigherstellung wird zwischen der direkten und der indirekten Teigführung (auch Gärführung genannt) unterschieden. Die indirekte Teigführung ist charakterisiert durch die Herstellung eines Vorteiges, mit dem nach bestimmter Abstehzeit der Hauptteig hergestellt wird. Dem gegenüber steht die direkte Führung, bei der aus den Zutaten sofort ein Teig hergestellt wird und mit dem nach kurzer Teigentwicklungszeit gleich gearbeitet werden kann. Der Vorteil der direkten Teigführung im Vergleich zur indirekten Teigführung ist die verkürzte Arbeitszeit sowie das geringere Herstellungsrisiko. Die Produkte einer indirekten Teigführung weisen allerdings häufig bessere Aromaeigenschaften und eine längere Haltbarkeit auf (SKROBANEK, 1995; DOOSE, 1982).

Die Stärke kann 30 % ihres Eigengewichts an Wasser binden. Dabei spielt die Temperatur eine wesentliche Rolle. In kaltem Wasser quillt die Stärke nur sehr langsam. Wird die Teigtemperatur allerdings erwärmt, werden die Wasserstoffbindungen zwischen Amylose und Amylopektin gelöst, die Wasserstoffmoleküle können leichter eindringen und die Stärke quillt. Die Stärkekörner quellen so lange, bis sie platzen. Die dadurch gelösten Moleküle fließen ineinander und es entsteht der Stärkekleister. Durch die Verkleisterung können Getreidestärken das rund 25-fache ihres Eigengewichts an Wasser aufnehmen. Bei der Vermahlung der Getreidekörner zu Mehl werden die Stärkekörner bereits geschädigt, was in einer schnelleren Quellbarkeit der Stärke in kaltem Wasser und schnellere und größere Wasserbindungsfähigkeit zur Folge hat (SKROBANEK, 1995).

Lipide spielen, auch wenn sie nur in sehr geringen Mengen im Mehl enthalten sind, eine wichtige Rolle. Sie lagern sich an die Membranen des Glutens und verbessern dadurch die Elastizität und Stabilität der Gasbläschen. Die Fettstoffe erhöhen somit die Gashaltefähigkeit und Gärtoleranz. Geringe Mengen an Kochsalz verbessern ebenfalls die Gärtoleranz und stabilisieren gleichzeitig das Gluten (SKROBANEK, 1995).

Angesichts dieser besonderen Eigenschaften des Glutens wird deutlich, dass es nicht einfach ist, dieses Kleberprotein adäquat zu ersetzen. Da der Verzicht auf Weizenprodukten für Zöliakiepatienten allerdings unumgänglich ist, werden im folgenden Kapitel mögliche Alternativen aufgezeigt um einen Teig ohne Gluten herzustellen.

4. GLUTENFREIE ALTERNATIVEN

Das Eliminieren des Triggers Gluten und somit die Einhaltung einer glutenfreien Diät führt bei einem Großteil der an einheimischer Sprue erkrankten Patienten zur Besserung bzw. zum Verschwinden der Symptome und einer Regeneration der Dünndarmmukosa. Die Kehrseite dieser positiven Gesichtspunkte ist der ernährungsphysiologische Aspekt einer glutenfreien Ernährung: Zahlreiche Studien weisen nämlich darauf hin, dass sich die Patienten unausgewogen ernähren. Sie beziehen den Hauptanteil der Energie aus Proteinen und Fett. Zudem weisen die Betroffenen häufig einen Mangel an Thiamin, Riboflavin, Niacin, Eisen, Folsäure und Ballaststoffen auf, was unter anderem auf die Qualität der glutenfreien Lebensmittel zurückzuführen ist. Bei glutenhältigen Lebensmitteln handelt es sich um angereicherte Produkte oder Vollkornerzeugnisse, was bei den glutenfreien Produkten nicht der Fall ist. Der Ruf nach qualitativ hochwertigeren glutenfreien Lebensmittel ist daher groß (ALVAREZ-JUBETE, 2010; THOMPSON, 2009).

4.1 Probleme bei glutenfreien Teigen

Glutenfreie Teige unterscheiden sich stark von denen, die Weizeneiweiß enthalten. Es ergibt sich daraus die technologische Herausforderung, das strukturbildende Kleberprotein zu ersetzen. Glutenfreie Mehle besitzen kuchenteig-ähnliche Eigenschaften wenn sie mit Wasser vermischt und geknetet werden (ONYANGO et al., 2010). Die Rheologie bestimmt nicht nur das Verhalten des Teiges während der Verarbeitung, Gärung und des Backprozesses, sondern auch des Endproduktes (LAZARIDOU und BILIADERIS, 2009). Die Stärkeverkleisterung trägt maßgeblich zur Struktur des Teiges bei. Das Gluten bildet elastische und dehnbare Vernetzungen, um das von der Hefe produzierte Kohlendioxid und die über den Mixvorgang eingebrachte Luft zu halten und Wasser zu binden. Dieses Wasser wird von der Stärke zur Verkleisterung benötigt. Bei glutenfreien Teigen steht der Stärke weniger Wasser zur Verkleisterung zur Verfügung und es bilden sich instabile Massen (ONYANGO et al., 2010).

Glutenfreie Teige erscheinen glatter, pappiger und weniger teigig, was zu einer erschwerten Handhabung führt. Das Volumen ist im Gegensatz zum Weizenteig aufgrund der höheren Gasdurchlässigkeit und der instabilen Stärkestruktur stark vermindert (HOUBEN et al., 2012).

Darüber hinaus zeigen Produkte aus glutenfreien Teigen verminderte Haltbarkeit und bekommen rasch einen schalen und pappigen Geschmack (HOUBEN et al., 2012).

Stärkeextrakte, Eier, Milchprodukte oder Hydrokolloide werden bereits von der Lebensmittelindustrie verwendet, um die viskoelastischen Eigenschaften von Gluten in Lebensmitteln zu imitieren und die Struktur, die Beschaffenheit und die Haltbarkeit von glutenfreien Lebensmitteln zu verbessern (LAZARIDOU und BILIADERIS, 2009).

4.2 Anforderungen an einen glutenfreien Pizzateig

ABDEL-AAL (2009) erläutert die Kriterien denen ein glutenfreier Pizzateig entsprechen soll. Der Autor erklärt, dass sich die Zutatenliste von glutenfreiem Brot mit leichten Abänderungen auch für einen Pizzateig anwendbar ist.

Auf der einen Seite sollte der Pizzateig elastisch sein, um das Kohlendioxid der Hefe zu halten und auf der anderen Seite benötigt der Teig eine gewisse Stabilität, damit die Pizza nicht zerfällt, wenn der Belag oben ist (ABDEL-AAL, 2009).

In den folgenden Abschnitten werden mögliche Mehle für den Teig diskutiert.

4.3 Reis

Reis macht 29 % der Welt-Getreideproduktion aus und lässt sich mit der Produktion von Weizen und Mais vergleichen. Dieses Getreide stellt das Grundnahrungsmittel für über die Hälfte der Weltbevölkerung dar (SARANGAPANIE et al., 2015). Die Hauptproduzenten finden sich in Mittel- und Ostasien mit einem Produktionsanteil von 91 %. Dort herrschen für dieses Getreide optimale klimatische Bedingungen, nämlich sowohl warme, als auch nasse Perioden (ROSELL und MARCO, 2008).

Reiskörner lassen sich nach ihrer Größe spezifizieren. Es gibt Langkornreis, Rundkornreis und Reiskörner mit mittlerer Korngröße (ROSELL und MARCO, 2008).

Reis kann überall angebaut werden, den größten Ertrag bringt die Reispflanze allerdings in einem feuchten und warmen Klima (ROSELL und MARCO, 2008).

Reismehl wird üblicherweise aus Bruchreis hergestellt. Als Bruchreiskörner werden diejenigen Körner bezeichnet, die kleiner als normale Reiskörner sind. Sie werden hauptsächlich für die Produktion von Reismehl verwendet, da dies die Produktionskosten senkt (ROSELL und MARCO, 2008).

4.3.1 Nährwert

Generell ist das Reiskorn eine gute Quelle für komplexe Kohlenhydrate. Je nach Verarbeitungsgrad sind die Mineralstoffe Eisen, Phosphor, Natrium und Magnesium nachweisbar (ROSELL und MARCO, 2008).

Der Nährwert des Reiskorns variiert je nach Sorte, Umweltbedingungen und Verarbeitungsgrad (ROSELL und MARCO, 2008).

Paddyreis werden die entspelzten Rohreiskörner genannt, die noch eine braune Farbe aufweisen. Wird der Reis noch weiter verarbeitet, folgt das Schleifen und Polieren, was zur Entfernung der nährstoffhaltigen Frucht- und Samenschale, des Keimlings und der Aleuronschicht führt. Der Reis wird nun polierter Reis oder Weißreis genannt. Verglichen mit Rohreis ist der Weißreis sehr arm an Vitaminen und Mineralstoffen. Um den Nährwert des Reises zu steigern, wurde das Parboiling-Verfahren entwickelt. Im Wesentlichen wird der Reis dabei vor oder nach der Entfernung der Spelzen in Wasser geweicht und gedämpft. Mit dem Wasserdampf diffundieren Vitamine und Mineralstoffe des Silberhäutchens in das Korninnere. Anschließend wird der Reis wieder getrocknet und das Silberhäutchen durch Schleifen und Polieren entfernt (BELITZ et al., 2008). In Tab. 1 wird der unterschiedliche Gehalt an B-Vitaminen bei Reis mit variierenden Verarbeitungsstufen deutlich.

Tab. 1: Vitamingehalt in Rohreis, Weißreis und Parboiled Reis nach BELITZ et al. (2008).

	B-Vitamine (mg/kg)		
	Thiamin	Riboflavin	Niacin
Rohreis	3,4	0,55	54,1
Weißreis	0,5	0,19	16,4
Parboiled Reis	2,5	0,38	32,2

Obwohl Mehl von braunem Reis hohe bzw. höhere Gehalte an Ballaststoffen und Vitaminen enthält, wird es sehr selten oder kaum für die Produktion von glutenfreien Nahrungsmitteln

verwendet, da hier der bereits erwähnte Bruchreis verwendet wird. ROSELL und MARCO (2008) erklären außerdem, dass braunes Reismehl einen Eigengeschmack besitzt und die Farbe und die Textur bei den erzeugten Produkten anders als bei polierten Reis sind. Den Hauptgrund macht allerdings die verkürzte Haltbarkeit aus: Aufgrund der im Mehl verbleibenden Lipase und Lipoxygenase kommen auch freie Fettsäuren vor, die das Produkt ranzig machen und einen bitteren Geschmack verursachen. Die Stabilität dieses Mehls könnte durch veränderte Lagerbedingungen oder eine modifizierte Atmosphäre verbessert werden. Diese Verfahren sind allerdings mit Kosten verbunden und somit würde auch das fertige Produkt teurer sein. Alternativ dazu beschreiben die Autoren ein Verfahren, um über Umwegen zu braunem Reismehl zu gelangen, nämlich mit Reiskleie. Gemahlene Reiskleie wird dabei chemisch oder physikalisch vorbehandelt, indem sie zum Beispiel entfettet und dann zu weißem Reismehl hinzugegeben wird. Durch die gemahlene Reiskleie wird das Reismehl ernährungsphysiologisch aufgewertet, da die Kleie eine gute Quelle für Vitamine und Ballaststoffe darstellt.

4.3.2 Technologische Aspekte

ARENDT et al. (2009) zeigen, dass Reis aufgrund folgender Kriterien für die Produktion von glutenfreien Lebensmitteln geeignet ist: Kein überdeckender Eigengeschmack, weiße Farbe, niedriger Gehalt an Natrium, hypoallergene Eigenschaften und leichte Verdaubarkeit der komplexen Kohlenhydrate. Einen limitierenden Faktor beim Einsatz von Reis stellt allerdings der geringe Proteingehalt dar, was durch das fehlende Netzwerk aus Eiweiß in einer verminderten Gashaltefähigkeit während der Fermentation resultiert.

Bei glutenfreiem Getreide bestimmt hauptsächlich die Stärke die Teigbeschaffenheit. Der Amylosegehalt ist ausschlaggebend für die Verkleisterungstemperatur der Stärke, die Viskosität und auch die Stabilität des Teiges (ROSELL und GOMEZ, 2014).

CORENJO und ROSELL (2015) erläutern, dass Langkornreis höhere Mengen an Amylose enthält, die Verkleisterungstemperatur höher ist und folglich eine deutlich höhere Retrogradation zeigt als Rund- bzw. Kurzkornreis. Sie nennen Studien, die zu dem Ergebnis kommen, dass Rundkornreis niedrigere Verkleisterungstemperaturen aufweist und ein elastisches Gel bildet, was für

Backzwecke besser geeignet ist. Weitere von ihnen zitierte Studien (HAN et al., 2012; KADAN et al., 2001; SIVARAMAKRISHNAN et al., 2004) kommen zu dem Ergebnis, dass auch Mehl aus Langkornreis für Backzwecke geeignet ist. In ihrer eigenen Studie, die 2015 veröffentlicht wurde, in der sechs verschiedene Langkornreismehle auf ihre Backeigenschaften untersucht wurden, konnten CORENJO und ROSELL (2015) zeigen, dass die Reiskornlänge keine Determinante im Backprozess darstellt, sondern viel mehr die chemische Zusammensetzung eine große Rolle spielt. Auch MINH-CHAU-DANG und COPELAND (2004) demonstrieren in ihrer Veröffentlichung, dass die Verkleisterungseigenschaften des Reiskorns maßgeblich vom Genotyp abhängen und von Umweltbedingungen beeinflusst werden.

Reismehlteige benötigen, verglichen mit Weizenteig, sehr viel Wasser. Die höhere Feuchtigkeit des Teiges führt zu einer besseren Verarbeitung beim Mixen. Die Zeit zwischen der Ernte und der Verarbeitung des Reiskorns hat ebenso Einflüsse auf die physikalischen Eigenschaften des Reiskorns, wie der Restfeuchtegehalt Einfluss auf die Lagerfähigkeit hat. Daneben ist die Art der Mühle noch ausschlaggebend für die Eigenschaften des Mehls. Mehle mit kleinen Partikelgrößen, wie sie zum Beispiel mit einer Hammermühle gewonnen werden, zeigen weniger gute Eigenschaften für Backzwecke und hohe Grade an bereits mechanisch zerstörten Stärkekörnern. Sind im Mehl allerdings noch größere Partikel zu finden, weil eine andere Mühle oder andere Methode zum Mahlen verwendet wurde, hat das Mehl gute Backeigenschaften und erreicht sein Viskositätsmaximum bereits bei 50 °C mit geringer Retrogradationsneigung.

Dass die Umweltbedingungen auch maßgeblich an den Eigenschaften des Reismehls beteiligt sind, fassen ROSELL und GOMEZ (2014) zusammen. Die Autoren konstituieren ihre Aussage durch Zitierung von Studien, die belegen, dass Reiskörner, die in salzigen Böden kultiviert wurden, Mehle mit höheren Anteigungstemperaturen liefern und bessere Viskosität zeigen. Darüber hinaus hat der Feuchtegehalt des Bodens Auswirkungen auf den Proteingehalt, das Quellungsvermögen und die Viskosität.

Das pseudoplastische Verhalten des Mehls wird vor allem bei Einfluss der Scherrate bzw. der Temperatur deutlich. Bei steigender Temperatur oder steigenden Scherraten sinkt die Viskosität des Reismehls, sofern dieses einen

konstanten Feuchtigkeitsgehalt aufweist. Daneben sinkt die Viskosität ebenfalls bei steigendem Flüssigkeits- oder Lipidgehalt (ROSELL und MARCO 2008).

Die Züchtung einer Reissorte mit optimaler Zusammensetzung hinsichtlich der Proteine, Fette und Stärke würde die Backeigenschaften von Reismehl maßgeblich verbessern (CORENJO und ROSELL, 2015).

4.4 Hirse

Hirse zählt aufgrund seiner Trockenheitstoleranz zu den wichtigsten Getreideressourcen und Grundnahrungsmitteln in sehr trockenen Ländern. Angebaut wird dieses Getreide auf der ganzen Welt, die Hauptproduzenten finden sich aber in Asien und Afrika (SCHOBER und BEAN, 2009).

4.4.1 Nährwert

Hirse ist charakterisiert durch einen hohen Gehalt an Stärke, Proteinen und Antioxidantien (COLLAR, 2014; MARENGO, 2015).

Antioxidantien wirken als Radikalfänger und schützen damit nicht nur vor Zellschäden und oxidativem Stress, sondern vermindern auch das Risiko an Krebs, Herz-Kreislauf-Erkrankungen oder Diabetes zu erkranken (TAYLOR et al., 2014).

Prolamine verkörpern die dominierende Proteinfraktion im Hirsekorn. Sie zählen zu den Speicherproteinen, die vor allem für die nächste Korn-Generation als Stickstoffquelle von Bedeutung sind. Der Name Prolamine setzt sich aus den beiden nicht-essentiellen Aminosäuren, die mengenmäßig am meisten vorkommen, zusammen, nämlich Prolin und Glutaminsäure. Diese Prolamine werden bei der Hirse Kafirin genannt und sind gekennzeichnet durch ihre hohe Resistenz gegenüber enzymatischem Abbau und mechanischer Zerstörung z.B. im Zuge einer Extrusion (SCHOBER und BEAN, 2008).

Hirse wird in seiner chemischen Zusammensetzung oft mit Mais verglichen, da sich diese beiden Getreidearten sehr ähnlich sind. Es wird vor allem Zöliakie-Patienten oft empfohlen, da sie näher mit Mais als mit Weizen verwandt ist. Hirse hat eine interessante Eigenschaft: die Verdaubarkeit der Proteine verschlechtert sich während des Kochens. Dies geschieht vermutlich durch die Ausbildung von Proteinquervernetzungen bei Erhitzen des Getreides (SCHOBER und BEAN, 2008).

Um den Nährwert von Hirse zu steigern, kann Fermentation eingesetzt werden. Dabei werden Schadstoffe reduziert, der Proteingehalt sowie der Gehalt an essentiellen Aminosäuren erhöht. Durch die Fermentation von Hirsekörnern werden nicht nur trypsin- und amylasehemmende Faktoren reduziert, auch der Gehalt an Phytinsäure und Tannine verringert sich (COLLAR, 2014). Alles in allem erleichtert die Fermentation auch die Verdaubarkeit von Hirse.

Im Gegensatz zu anderen Getreidearten wird der Zucker der Stärke bei der Hirse langsamer freigesetzt, was wiederrum auch für adipöse Patienten oder Menschen mit Diabetes von Bedeutung ist (MARENGO et al., 2015).

4.4.2 Technologische Aspekte

Hirse wird zur Produktion von verschiedenen Lebensmitteln eingesetzt. Neben Brot, Chips, Tortillas, Keksen oder Pasta gibt es zahlreiche andere Produkte auf Hirse-Basis. Aufgrund ihres neutralen Geschmacks, wird Hirse des Öfteren dem Mais vorgezogen. Es gibt bereits Verfahren um das ursprünglich dunklere Hirsemehl zu bleichen. Für die kommerzielle Nutzung ist ein farbloses Mehl ohne Eigengeschmack besser geeignet. In manchen Ländern (z.B. Deutschland bzw. Staaten in Osteuropa) werden „dunkle“ Backwaren allerdings mit „besonders gesund“ assoziiert (COLLAR, 2014; TAYLOR et al., 2006).

Trotzdem zeigen sich aus technologischer Sicht einige negative Eigenschaften der Hirse (COLLAR, 2014; SCHOBER und BEAN, 2008).

Schrot aus hornigem Endosperm des Hirsekorns liefert grobkörniges Mehl, was auch im Mundgefühl noch zu erkennen ist und als sandig und kiesig beschrieben wird. Die bereits erwähnte Ausbildung von Fäden bzw. Quervernetzungen der Proteine während einer Temperaturerhöhung, kann auch zur Beeinträchtigungen der technologischen Eignung von Hirse führen. Proteine sammeln sich in der flüssigen Phase des Teiges an, um während des Backvorgangs Fäden zu bilden, die die Stärke behindern. Bei Brot resultiert dieser Vorgang beispielsweise in einer flachen Oberfläche mit Löchern in der Krume (COLLAR, 2014; SCHOBER und BEAN, 2008).

Weitere Probleme ergeben sich hinsichtlich der Stärke. Die Stärke macht als eines der Hauptbestandteile der Hirse 50-75 % des Eigengewichts eines Hirsekorns aus. Die Verkleisterungstemperaturen der Stärke variieren zwischen 71 und 80 °C,

wobei die Stärke des hornigen Endosperms höhere Temperaturen zum Verkleistern benötigt als Stärke des mehligen Endosperms. Da die Stärke erst bei relativ hohen Temperaturen verkleistert, kann es zu unerwünschter Verkleisterung während des Backens kommen. Dies hat dann zur Folge, dass sich unschöne weiße Streifen bzw. Flecken bilden und der Teig ein körniges Mundgefühl aufweist (COLLAR, 2014; SCHOBER und BEAN, 2008).

Wie auch andere glutenfreie Getreidealternativen benötigt Hirse im Vergleich zu Weizenteig höhere Mengen an Wasser. Eine Anreicherung des Mehls mit mehr Stärke in Kombination mit der Erhöhung des Wassergehalts schafft bessere Konditionen für die Stärkekörner und schließlich für die Textur des Teiges (COLLAR, 2014).

Wird Hirse als Grundlage einer Mehlmischung verwendet, ist es notwendig, das Hirsemehl vorher zu behandeln, zum Beispiel mit Fermentation. Geschieht dies nicht, wird das Konstrukt eines glutenähnlichen Gebildes maßgeblich verschlechtert (MARENGO et al., 2015). Obwohl Fermentation viele den Nährwert in die Höhe treibende Eigenschaften für die Hirse mit sich zieht, ergeben sich dadurch aus technologischer Sicht Nachteile: Durch die Hemmung der Amylase inhibierenden Faktoren findet in fermentierter Hirse erhöhte Amylaseaktivität statt, was das Stärkekonstrukt theoretisch schwächt. MARENGO et al. (2015) erläutern allerdings in ihrer Veröffentlichung, dass durchfermentiertes Hirsemehl, wenn es nicht als Grundlage des Teiges verwendet wird, sondern zum Beispiel als Supplement bei reisbasierter glutenfreier Pasta, keine erwähnenswerten Nachteile bei der Teigherstellung entstehen. Somit stellt die Hirse aufgrund des hohen ernährungsphysiologischen Nährwertes eine gute Möglichkeit zur Aufwertung von glutenfreien Lebensmitteln dar. Dieses Statement wird von ARENDT et al. (2009) bestätigt. Die Autoren fassen zusammen, dass eine Mehlmischung mit 30 % Hirseanteil zur Teigherstellung geeignet ist. Höhere Anteile an Hirse wirken sich suboptimal auf die Teigbeschaffenheit aus.

4.5 Mais

Geschätzte 800 Millionen Tonnen Mais werden weltweit jährlich produziert. Das macht 35 % der gesamten Getreideproduktion aus. Über die Hälfte der Maisproduktion findet in Amerika statt. Es werden die unterschiedlichsten Sorten angebaut, die sich in ihrer Verwendung und Farbe unterscheiden (COLLAR, 2015).

Verglichen mit den anderen Getreidesorten ist das Korn des Mais das größte mit einem durchschnittlichen Gewicht von 300 mg (ARENDT und ZANNINI 2013c).

4.5.1 Nährwert

Ähnlich den anderen Getreidearten bildet die Hauptkomponente von Mais die Stärke (75-87 %) (ABDEL-AAL, 2009). Lipide sind mit 4-5 %, Zucker mit 1-3 % und der Aschegehalt mit 1-4 % vertreten. Der Proteingehalt ist niedrig und variiert zwischen 8 und 10 %, wobei ein besonderes Defizit Lysin darstellt (0,25 %), welches im Weizen zumindest mit 0,6 % vorkommt (ARENDT und ZANNINI, 2013c). Die vorherrschende Proteinfraktion wird auch hier wieder von den Prolaminen verkörpert, welche im Mais Zein genannt werden (ABDEL-AAL, 2009).

Mais ist reich an Vitamin A und E und den wasserlöslichen B-Vitaminen. Carotinoide finden sich in höheren Mengen hauptsächlich im gelben Mais, woher auch die Farbe kommt. Weißer Mais hat nur sehr geringe Mengen oder gar keine Carotinoide, was vor allem in Ländern zu Problemen führt, in denen viele Menschen an Vitamin A Mangel leiden aber trotzdem den weißen Mais als Grundnahrungsmittel vorziehen (ARENDT und ZANNINI, 2013c).

4.5.2 Technologische Aspekte

Es befinden sich zahlreiche aus Mais hergestellte Produkte am Markt. Neben Polentagrieß finden sich auch Maisfladen oder extrudierter Mais in Form von Flocken (BELITZ et al., 2008).

Maisstärke ist weltweit die am häufigsten eingesetzte Stärke. Anders als bei der Hirse beinhaltet die Maisstärke verschiedener Sorten einen hohen Gehalt an Amylose, der zwischen 50 und 80 % schwanken kann. Die Stärkekörner weisen eine ähnliche Größe wie die der Hirsestärkekörner auf. Ein Unterschied zwischen der Mais- und Hirsestärke findet sich in der Wasserbindungsfähigkeit: Maisstärke kann Wasser besser binden, wobei die Quellung der Hirsestärke bei 90 °C höher ist (BELITZ et al., 2008; SCHOBER et al., 2008).

Maismehl eignet sich allerdings nur bedingt für die Produktion von Backwaren, und zwar wenn keine Zusätze in den Teig kommen (SCHOBER et al. 2008).

SCHOBER et al. (2008) fassen in ihrer Studie zusammen, dass sich Maismehl für die Herstellung eines glutenfreien Teiges eignet, allerdings nur unter Zusatz von Hydrokolloiden wie zum Beispiel HPMC. Wenn dieser Zusatz in der Mehlmischung vorhanden ist, ähnelt der Teig stark den technologischen Eigenschaften eines Weizenteiges. Die Autoren haben herausgefunden, dass die Struktur des Teiges, vor allem die Anordnung der Zein-Proteine ausschlaggebend ist. Es werden große Zein-Partikel benötigt, um Protein-Fäden während des Mixens zu erhalten. Bei Temperaturen unter 29 °C zerbrechen diese Fäden sehr leicht bei mechanischer Belastung.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen auch ANDERSSON et al. (2011). Die Wissenschaftler postulieren sehr wohl einen positiven Effekt von Maismehl auf die Qualität der Backwaren. Allerdings räumen auch sie ein, dass ein Teig, der auf Maismehl basiert, nicht geeignet ist, um akzeptable Produkte herzustellen. ANDERSSON und sein Team verstehen Mais in Kombination mit Hydrokolloiden als geeigneten Teigzusatz, um die Struktur zu verbessern und den Nährwert eines Produktes zu erhöhen.

4.6 Pseudocerealien

Amarant, Quinoa und Buchweizen unterscheiden sich von den bereits genannten Getreidearten durch ihre einzigartige chemische bzw. botanische Struktur. Sie besitzen zwei Keimblätter, sind also Dikotylene und keine Monokotyledonen (ARENDT et al., 2009). Im botanischen Sinn zählen sie daher nicht zu den Getreidearten. Da sie aber stärkereiche Samen bilden, werden sie Pseudocerealien genannt (SCHÖNLECHNER et al., 2008).

Pseudocerealien werden immer häufiger für glutenfreien Lebensmittel verwendet, da diese neben ihrer hypoallergenen Eigenschaft auch einen sehr hohen Nährwert aufweisen (ALENCAR et al., 2015). Aus ernährungsphysiologischer Sicht bringt das nicht nur für Zöliakie-Patienten Vorteile sondern stellt auch für die Allgemeinbevölkerung eine Aufwertung der Ernährung dar (ALVARZEZ-JUBETE et al., 2010).

4.6.1 Amarant

Die Produktion von Amarant reiht sich mengenmäßig an unterster Stelle der weltweiten Produktion ein. Die Hauptanbaugebiete finden sich in Südamerika, den USA, China und Europa (SCHÖNLECHNER et al., 2008).

4.6.1.1 Nährwert

Der hohe ernährungsphysiologische Wert von Pseudocerealien kommt hauptsächlich von deren hohen Proteingehalt. Wie bereits erwähnt, schwanken die Werte von Nährwertangaben je nach Anbauregion, Sorte und Umweltbedingungen. Der Literatur zufolge weist Amarant allerdings den höchsten Proteingehalt der Pseudocerealien auf. Sind es bei den Getreidearten die Prolamine, die die Speicherproteine verkörpern, so finden sich bei den Dikolytenen vor allem Globuline und Albumine. Besonders hervorzuheben ist der hohe Gehalt an den essentiellen Aminosäuren Methionin, Lysin, Arginin, Tryptophan und an schwefelhaltigen Aminosäuren. Es wurden sogar rund 48 g essentielle Aminosäure in 100 g Proteine nachgewiesen. In diesem Zusammenhang ist auch die gute Bioverfügbarkeit und Verdaubarkeit der Proteine in allen Pseudocerealien zu erwähnen, die höher sind als bei den Getreidearten (SCHÖNLECHNER et al., 2008).

Auch hinsichtlich des Lipidgehalts sticht Amarant hervor. Amarantöl beispielsweise enthält bis zu 75 % ungesättigte Fettsäuren. Darüber hinaus wurde in Amarant zweimal so viel Aschegehalt (Mineralstoffe) nachgewiesen wie in anderen Getreidearten. Besonders reich ist Amarant an Calcium, Magnesium, Eisen, Kalium und Zink (SCHÖNLECHNER et al., 2008).

Der Vitamingehalt ähnelt dem der anderen Getreidearten. Nennenswerte Mengen enthält das Pseudogetreide Riboflavin, Vitamin C und E und Folsäure (SCHÖNLECHNER et al., 2008).

4.6.1.2 Technologische Aspekte

Amarantkörner können getoasted, gepoppt, extrudiert oder zu Mehl vermahlen werden (SANZ-PENELLA et al., 2013). Aufgrund der geringen Größe der Amarantkörner müssen beim Mahlen einige Änderungen der Maschinen vorgenommen werden. Während die Vermahlung zu Vollkornmehl keine Herausforderung darstellt, müssen verschiedene Adaptierungen bei der Produktion

von Mehl mit anderer chemischer Zusammensetzung bzw. anderen physikalischen Eigenschaften vorgenommen werden (SCHÖNLECHNER et al., 2008).

Der Amylosegehalt von Amarant ist mit 0,1 bis 11,1 % am niedrigsten, verglichen mit den anderen Pseudocerealien und Getreidearten. Der dadurch sehr hohe Amylopektingehalt und die geringe Größe der Stärkekörner erklären die hervorstechenden physikalischen Eigenschaften des Amarants. Sehr gute Frier- bzw. Tau- und Verkleisterungseigenschaften des Speicherkohlenhydrats dieses Pseudogetreides sind bereits seit Längerem bekannt. Darüber hinaus werden dem Amarant hohe Verkleisterungstemperaturen, Viskosität, Wasserbindungsfähigkeit sowie höhere Löslichkeit und höheres Quellungsvermögen zugeschrieben (SCHÖNLECHNER et al., 2008).

Amarant eignet sich vor allem für die Herstellung von Fladenbrot wie zum Beispiel Tortillas oder Chapatis. Bei Backwaren die nicht einer Gärung unterzogen werden, also das Volumen keine so große Rolle spielt, kann Amarant auch als Hauptmehl verwendet werden. Bei anderen Rezepturen sollte Amarant nur als Zusatz verwendet werden, da es in höheren Mengen das Volumen des Teiges reduziert und die sensorischen Eigenschaften verändert. Positiv für die Qualität eines Teiges wirkt sich Amarant in niedrigeren Mengen aus. Neben der Erhöhung des Nährwerts erhöhen sich die Wasserbindungsfähigkeit und daher auch der Feuchtegehalt. Ebenfalls wird die Haltbarkeit des Lebensmittels verlängert (ARENDT und ZANNINI, 2013a).

4.6.2 Quinoa

Quinoa wird hauptsächlich in Südamerika kultiviert. Vor allem in Ecuador, Peru und Bolivien stellt Quinoa nicht nur ein wichtiges Grundnahrungsmittel dar, es ist auch sehr wichtig für die heimische Wirtschaft, da Quinoa exportiert wird. Da in den letzten Jahren die Nachfrage nach so genannten „alten“ Getreidesorten gestiegen ist, ist auch der Preis für Quinoa gestiegen (ARENDT und ZANNINI, 2013b).

4.6.2.1 Nährwert

Besonders hervorzuheben ist der Proteingehalt von Quinoa. ARENDT und ZANNINI (2013b) berichten, dass beispielsweise Mais oder Reis weniger als die Hälfte der Proteine von Quinoa aufweisen können. Im Durchschnitt beträgt der

Proteinanteil bei Quinoa 15 %, bei manchen Sorten kann er bis zu 23 % ausmachen. Die Aminosäuren-Zusammensetzung ist ähnlich der Zusammensetzung des Casein, und somit auch sehr nahe an der idealen Aminosäuren-Zusammensetzung, die von der FAO empfohlen wird (COMAI et al., 2011). Die Verdaubarkeit der Proteine liegt bei 84,3 % und ist somit nur geringfügig niedriger als die der Caseine (88,9 %).

Die Fettsäuren in Quinoa sind höher als in Mais und werden von Vitamin E vor oxidativen Angriffen geschützt (ARENDT und ZANNINI, 2013b).

Wie auch bei den anderen Pseudocerealien lassen sich hohe Anteile an Vitaminen nachweisen. Zu finden sind neben dem bereits erwähnten Vitamin E auch Vitamin A und Vertreter der Vitamin B Gruppe. ARENDT und ZANNINI (2013b) zitieren in ihrer Veröffentlichung eine Studie von Schönlechner et al. aus dem Jahr 2010, in der die Arbeitsgruppe zeigt, dass Quinoa ein adäquater Zusatz für Lebensmittel ist, die einen niedrigen Folsäure-Gehalt aufweisen und so der Folsäure Gehalt des Lebensmittel gesteigert werden kann.

Typisch für ein Korn dieser Gattung ist auch der hohe Mineralstoffgehalt. Vor allem Calcium, Eisen, Zink, Kupfer und Mangan kommen in hohen Mengen vor (ARENDT und ZANNINI, 2013b).

4.6.2.2 Technologische Aspekte

Den Hauptanteil der Kohlenhydrate macht wieder die Stärke aus, obwohl der Stärkegehalt niedriger ist als bei den Getreidearten. Somit variiert der Amylosegehalt nur zwischen 3 und 22 %. Quinoa-Stärke zeigt hohe Verkleisterungstemperaturen und hohe Viskosität. Durch den niedrigen Amylosegehalt kann das Quinoakorn Wasser besser binden, besitzt hohes Quellvermögen und zeigt auch gute Frier- und Taueigenschaften.

Aufgrund der geringen Größe des Quinoakorns wird üblicherweise Vollkornmehl draus hergestellt. Aktuell gibt es nicht viele Veröffentlichungen über die Produktion von Quinoamehl mit anderer chemischer Struktur. Den Gehalt an Schadstoffen (wie zum Beispiel Saponine), die sich bei Quinoa in der Schale befinden, kann durch die Entfernung der Schale reduziert werden. Dadurch werden allerdings die Nährstoffe ebenfalls reduziert (SCHÖNLECHNER et al., 2008).

4.6.3 Buchweizen

Buchweizen stellt eines der wichtigsten alternativen glutenfreien Getreidearten dar, und hat ebenso wie die anderen Pseudocerealien, in den letzten Jahren vermehrt an Beliebtheit gewonnen (BONAFACCIA et al., 2003).

Seinen Ursprung findet der Buchweizen in Asien. Er wurde von Nomaden nach Europa gebracht. Im 13. Jahrhundert war der Buchweizen vor allem in Deutschland, Österreich und Italien beliebt, allerdings wurden zu der Zeit viele andere Getreidearten angebaut, so dass der Dikotylene verschwand. Aufgrund der steigenden Zahl an Menschen mit Unverträglichkeit gegenüber Gluten ist Buchweizen wieder in heimischen Lebensmittelregalen zu finden (SCHÖNLECHNER et al., 2008).

2005 war China der größte Produzent mit 800.000 t, gefolgt von Russland und der Ukraine. Auch in Europa wird der Buchweizen gegenwärtig in großen Mengen kultiviert, wobei die Hauptproduzenten Polen und Frankreich darstellen (SCHÖNLECHNER et al., 2008).

4.6.3.1 Nährwert

SCHÖNLECHNER et al. (2008) erläutern, dass 54,5 % der Kohlenhydrate beim Buchweizen in Form von Stärke gespeichert werden, wobei das Amylose-Amylopektin Verhältnis 1:1 beträgt. Dieser hohe Amylosegehalt lässt sich in Relation mit dem hohen Amylosegehalt von Mais vergleichen. Im Gegensatz dazu wird von anderen Autoren die Aufteilung von Amylose (24 %) und Amylopektin (76 %) anders beschrieben (ARENDT et al., 2009). Diese unterschiedlichen Angaben lassen auf unterschiedliche Sorten, Umweltbedingungen oder Messmethoden schließen.

Die Aminosäuren-Zusammensetzung hebt sich durch Ausgewogenheit hervor und ist mit wenigen Ausnahmen vergleichbar mit der des Weizens. Buchweizen hat Defizite bezüglich Glutaminsäure und Prolin, aber mehr als den doppelten Gehalt an der limitierenden Aminosäure Lysin (SCHÖNLECHNER et al., 2008). Alles in allem ist der Proteingehalt mit 11-15 % vergleichbar mit dem der Getreidearten (ARENDT et al., 2009).

Die geringe Verdaubarkeit (unter 80%) des Buchweizens lässt sich auf seine ballaststoffähnlichen Stoffe zurückführen. Diese Faktoren werden häufig mit einer cholesterinsenkenden Wirkung in Verbindung gebracht (ARENDT et al., 2009).

Der Lipidgehalt der Buchweizenkörner ist mit 80 % an ungesättigten Fettsäuren und über 40 % Linolsäure einer der besten, sowohl bei den Pseudocerealien als auch bei den Getreidearten (ARENDT et al., 2009).

Gegenüber Reis, Hirse und Mais stellt der Buchweizen die bessere Alternative als Mineralstoffquelle dar. Erwähnenswert ist außerdem der relativ hohe Gehalt an B-Vitaminen, Folsäure und Antioxidantien (ARENDT et al., 2009).

Wie auch bei den bereits genannten Mehlen ist die Kleie im Mehl die Komponente mit dem höchsten Gehalt an Nährstoffen (ARENDT et al., 2009).

4.6.3.2 Technologische Aspekte

Die Stärkekörner zeigen eine hohe Quellfähigkeit und Neigung zur Gelbildung, was in einer hohen Viskosität resultiert. Daraus ergibt sich auch eine höhere Wasserbindungsfähigkeit der Buchweizenstärke im Vergleich mit Weizen- oder Maisstärke, was auf die geringe Größe der Buchweizen-Stärkekörner zurückzuführen ist. Verglichen mit den Getreidearten zeigt Buchweizen höhere Verkleisterungstemperaturen (SCHÖNLECHNER et al., 2008).

SCHÖNLECHNER et al. (2010) zeigen in ihrer Studie, dass Buchweizen die besten Eigenschaften bei den Pseudocerealien mitbringt, um einen stabilen glutenfreien Teig zu erhalten. Buchweizen zeigte in ihrem Versuch Pasta mit glutenfreien Zutaten herzustellen, die beste Stabilität und die geringsten Verluste während des Kochens.

5. PIZZA

5.1 Geschichte

Die ersten Aufzeichnungen in denen Pizza erwähnt wird reichen zurück ins Jahr 997. Vor dem 17. Jahrhundert wurde die Pizza mit Schweineschmalz bestrichen und mit Knoblauch und grobem Salz belegt. Nach und nach wurde das Schweinefett durch Olivenöl ersetzt und der Belag mit Fisch ergänzt. Im 17. Jahrhundert galt Pizza als Speise für Bauern und ärmere Gesellschaftsklassen. Im Jahr 1889 wurde zu Ehren der italienische Königin Margherita von Savoyen eine Pizza in den Farben Italiens entworfen. Die Pizza Margherita wurde mit Tomaten, Mozzarella und Basilikum belegt (PAGANI et al., 2014).

Vor Anfang des 20. Jahrhunderts waren Restaurants die Pizza servierten eine lokale Eigenheit Neapels. Erst in den 1900er Jahren verbreitete sich das Rezept für Pizza auch in andere Länder. Den Durchbruch erreichte der belegte Hefeteig nach dem zweiten Weltkrieg (PAGANI et al., 2014).

5.2 Definition

Pizza ist ein flach ausgerollter Teig aus (Weizen-)Mehl, Hefe, Salz, Olivenöl und Wasser, welcher vor dem Backen mit verschiedenen Zutaten belegt wird (BUONASSISI, 2000).

Der Teig wird entweder ausgerollt bzw. gepresst und weist meist eine runde Form auf. Die Grundlage des Belages bildet die Tomatensauce, mit welcher der Teig bestrichen wird. Die übrigen Zutaten variieren je nach Typ der Pizza und reichen von Schinken, Salami über Sardellen, Thunfisch und verschiedenstem Gemüse bis hin zu geriebenem Käse. Die Backzeit im Ofen wird dann der Pizzasorte angepasst, da unterschiedliche Garzeiten beachtet werden müssen (LE CLAIR et al., 1992).

5.3 Pizza Napoletana

Das Gütesiegel TSG (Traditional Specialty Guaranteed) dürfen Restaurantbetreiber nur in ihrer Speisekarte vermerken, wenn sie sich bei der Herstellung der Pizza Napoletana an bestimmte Richtlinien halten (PAGANI et al., 2014).

Der Pizzaboden muss einen kleineren Durchmesser als 35 cm aufweisen und während des Backens einen ein bis zwei cm dicken, gold-braunen Rand entwickelt haben, der höher ist als in der Mitte des Pizzabodens. Darüber hinaus muss der Pizzaboden zart, elastisch und leicht formbar sein. Bestrichen wird der Boden mit frischen Tomaten, die mit extra nativem Olivenöl vermengt wurden. Der Belag setzt sich aus speziellem Büffelmozzarella, Oregano, frischem Basilikum und Tomaten zusammen. Gebacken wird die fertige Pizza bei ca. 485 °C in einem Holzofen (PAGANI et al., 2014).

5.4 Technologie

Im Allgemeinem wird zwischen zwei Pizzabodenarten unterschieden: dem dickeren höheren Pizzaboden und dem dünnen knusprigen Boden. Soll das Endprodukt ein Pizzaboden mit dünnem knusprigem Boden sein, kann auch ein Mehl mit niedrigerem Proteingehalt verwendet werden. Abb. 5 zeigt das Schema der Pizzaherstellung.

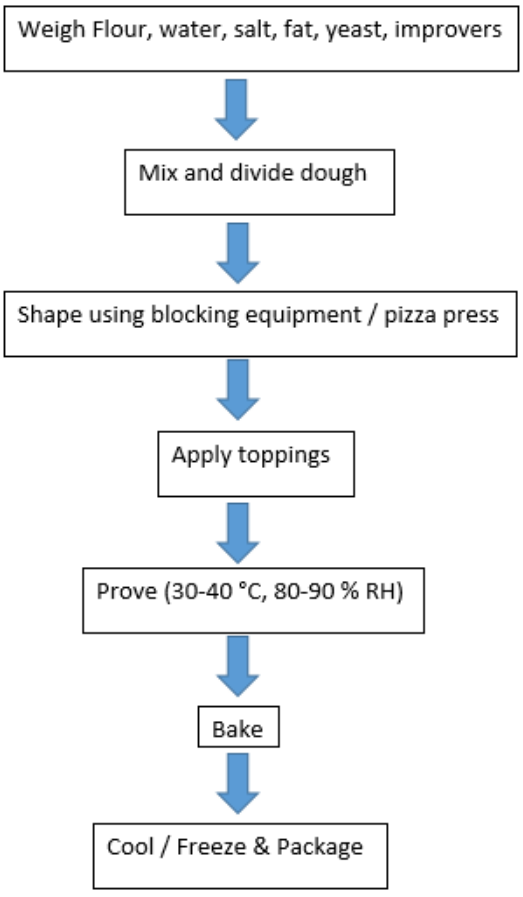

Abb. 5: Pizzaproduktion nach GALLAGHER (2008)

Die Qualität der Pizza wird maßgeblich von der Beschaffenheit des Pizzabodens beeinflusst. Dieser sollte leicht teilbar sein, aber das produzierte Gas der Hefe gut halten und außerdem gute texturale und sensorische Eigenschaften aufweisen.

Es existieren bereits glutenfreie Backmischungen für Pizzateig. Ein Großteil davon basiert auf glutenfreier Weizenstärke, Maisstärke, Kartoffelstärke, Reismehl, Maismehl und Emulgatoren. Bei näherer Auseinandersetzung mit dieser Thematik zeigt sich allerdings noch weiterhin Forschungsbedarf. Es gibt dazu bis dato sehr wenige veröffentlichte Studien.

5.5 Pizzazutaten

5.5.1 Reismehl und Buchweizenmehl

Diese beiden Mehle wurden bereits in den vorhergehenden Kapiteln ausführlich beschrieben. Aufgrund ihrer Eignung für die Herstellung von glutenfreien Teigen und vor allem den hohen ernährungsphysiologischen Wert des Buchweizens stellen sie neben Wasser die Hauptkomponenten des Teiges dar.

5.5.2 Hefe

Die Hefe ist eine wichtige Zutat bei der Herstellung von Backwaren. Es wird hauptsächlich *Saccharomyces cerevisiea* verwendet. Die Hauptaufgabe der Hefe besteht in der Produktion von Kohlendioxid. Die Hefezellen verwerten Zucker mittels Glykolyse zu Pyruvat, was in weiterer Folge zu Kohlendioxid und Alkohol umgebaut wird (MARIOTTI und LUCISANO, 2014).

Außerdem stellt die Hefe eine geschmacksgebende Komponente dar und kann als Lebensmittelzusatz verwendet werden, um den Protein-, Aminosäuren und Vitamingehalt des Produktes zu erhöhen (RANDEZ-GIL et al., 2014).

5.5.3 Salz

Eine weitere geschmacksgebende Komponente stellt das Salz dar. Herkömmliches Kochsalz besteht aus Natriumchlorid. Das Salz wird als Würzmittel zugesetzt, in höheren Mengen würde es auch zur Konservierung des Backgutes beitragen (MARIOTTI und LUCISANO, 2014).

5.5.4 Zucker

Zucker ist nicht nur eine geschmacksgebende Komponente, er beeinflusst auch die Fermentation, die Teigkonsistenz und die Beschaffenheit des Endproduktes (MARIOTTI und LUCISANO, 2014). Für die vorliegende Rezeptur wird Saccharose verwendet.

Saccharose ist das Substrat, das die Hefe benötigt um die Fermentation zu starten. Während der Gärung wird der Zucker von den Hefezellen gespalten, was zur Freisetzung von Kohlendioxid führt. Eine Zugabe von 5 % Zucker erhöht die Hefefermentation, wohingegen eine Zugabe von 8 % die Fermentationsgeschwindigkeit wieder deutlich sinken lässt. Das lässt sich auf zu hohen osmotischen Druck zurückführen, der auf die Hefezellen wirkt (MARIOTTI und LUCISANO, 2014).

5.5.5 Olivenöl

Lipide besitzen die Fähigkeit, einem Lebensmittel eine gewisse Cremigkeit, Festigkeit und Struktur zu verleihen, welche vom Konsumenten erwartet werden (MARANGONI et al., 2014).

Wasser und Öl konkurrieren um die Oberfläche der Mehlpartikel während des Mixens. Die Lipide umgeben die Stärkekörner und Proteine, was zu einer Verminderung der Ausbildung eines Proteinnetzwerkes führt, aber dem Produkt typische Textureigenschaften verleiht. Wird dem Teig kein Fett zugesetzt, führt dies zu einer Verbindung der Gasbläschen während des Backens, und die Textur des Produktes fällt gröber aus. Werden dem Teig Fette beigemengt, bekommen die Produkte eine zartere Konsistenz (MARANGONI et al., 2014).

5.5.6 Reisquellmehl

Reisquellmehl wird als Hauptzutat, Quellungskomponente bzw. Verdickungsmittel verwendet. Hergestellt wird das Mehl mittels Vermahlung von geröstetem oder gepufftem Rohreis oder parboiled Reis. Da die Stärke der dominierende Inhaltsstoff des Reiskornes ist, beeinflusst eine Veränderung der Stärke, zum Beispiel durch Hitzeeinwirkung, auch das Verhalten des Reismehls. Die Stärke des Reisquellmehls ist bereits vorverkleistert, was einige Vorteile bringt: Die Quellfähigkeit und Löslichkeit der Stärke und die Verkleisterungstemperatur der noch intakten Stärkekörner vergrößert sich (LAI, 2001).

5.5.7 Buchweizenmehl extrudiert und Maismehl extrudiert

Das Extrudieren, oder auch Fließpressen, ist charakterisiert durch kurze, sehr hohe Temperatureinwirkung auf das Lebensmittel, was vielfache Vorteile mit sich bringt. Neben einem breiten Einsatzbereich und hoher Produktivität seien noch die niedrigen Energiekosten und die hohe Qualität der Produkte erwähnt. Auch aus ernährungsphysiologischer Sicht ist diese Herstellungsmethode zu befürworten: Sie ermöglicht eine bessere Verdaubarkeit und biologische Wertigkeit der Proteine (MILAN-CARRILLO, 2000).

5.5.8 Wasser

Wasser und Stärke sind die Hauptzutaten, die benötigt werden, um einen Teig zu formen. Dadurch können die Stärkekörner anschwellen und bei Temperaturerhöhung in den verkleisterten Zustand übergehen. Da Wasser ein sehr polares Molekül ist, interagiert es stark mit den anderen polaren Substanzen in einem Teig (MARIOTTI und LUCISANO, 2014).

6. AUFGABENSTELLUNG

Ziel dieser Masterarbeit war es, die vorhandene Rezeptur von HINTERREITER (2015) in Tab. 2 durch Variation der Zutaten nicht nur technologisch und sensorisch zu verbessern, sondern auch den ernährungsphysiologischen Wert der Pizzabackmischung zu steigern.

Tab. 2: Rohstoffe glutenfreier Pizzateig nach HINTERREITER (2015)

Zutat	Menge [g]
Buchweizenmehl	117,6
Reismehl weiß	176,4
Buchweizenmehl extrudiert	51,4
Reisquellmehl	62,1
Maismehl extrudiert	12,5
Hefe	10,0
Salz	8,0
Zucker	8,4
Olivenöl	19,0
Wasser	207,7

Ein in der Mitte aufgelockerter und gleichzeitig am Rand knuspriger Pizzaboden ist Ziel der neuen Rezepturentwicklung der vorliegenden Arbeit. Darüber hinaus soll sich der Pizzateig durch Geschmack, Farbe, Konsistenz und niedriger Klebrigkeit von anderen glutenfreien Rezepturen hervorheben. Ebenso sollen Zutaten verwendet werden, die den Nährwert des Pizzabodens erhöhen.

Bei zahlreichen Vorversuchen wurde die Auswirkung des Einsatzes von Proteinisolaten auf das Backergebnis dokumentiert. Im ersten Versuchsplan wurden diese Proteinmehle in unterschiedlichen Mengen eingesetzt. In einem zweiten Versuchsplan wurde untersucht, wie sich glutenfreie Weizenstärke auf das Endergebnis auswirkt, wenn der Reismehlanteil durch diese ersetzt wird. Darüber hinaus sollte die Auswirkung verschiedener Öfen auf das Backergebnis analysiert werden. Dazu wurden die optimalen Rezepturen aus den beiden Versuchsplänen jeweils im Etagen-, Umluft- und Gastro-Umluftofen gebacken. Abschließend wurde

das Verhalten des Pizzateiges bei Verwendung von Frischhefe anstatt Trockenhefe untersucht und analysiert.

Die Ergebnisse dieser Analysen wurden stets mit den Referenzwerten eines Weizenteiges verglichen, der als optimale Rezeptur diente.

Die Pizzateige wurden dabei auf folgende Parameter untersucht:

- Farbgebung
- Simulation des Beiß- bzw. Reißvorganges (Kraft die aufgewendet wird um Pizzastück zu durchbeißen)
- Simulation des Schneidevorganges (Kraft die aufgewendet wird um Pizzastück zu durchschneiden
- Bestimmung der Eigenschaften des Teiges (Kraft, gegen die Längenausdehnung und Weg bis zum Reißen eines Teigstückes)
- Sensorische Beurteilung

Der optimierte Pizzateig wurde im Zuge einer großen Verkostung mit 70 Probanden, gemeinsam mit dem Optimum von HINTERREITER (2015) und einer glutenfreien Pizzateigbackmischung von Spar einem Beliebtheitstest unterzogen.

7. MATERIAL UND METHODEN

7.1 Verwendete Rohstoffe

Glutenfreie Weizenstärke

Firma: Körner Stärke, 49463 Ibbenbüren, Deutschland

Die Weizenstärke (Losnummer L1101010104) wurde im Kühlraum des Instituts für Lebensmitteltechnologie (ILMT) bei 4 °C im Originalsack gelagert.

Bio Buchweizenkerne geschält

Firma: Caj. Strobl Naturmühle GesmbH, 4030 Linz-Ebelsberg, Österreich

Die Buchweizenkörner (Charge 0702140000) wurden im Kühlraum des ILMT im Orginalpapiersack bei 4 °C gelagert. Mittels Stiftmühle wurden sie zu Mehl vermahlen und anschließend in einem Kunststoffsack verwahrt.

Bio Reismehl weiß

Firma: Caj. Strobl Naturmühle GesmbH, 4030 Linz-Ebelsberg, Österreich

Das Reismehl (Charge 0408145635) wurde im Kühlraum des ILMT bei 4 °C im Originalpapiersack gelagert.

Guarkernmehl (Guar Gum 3500-4000 CPS)

Firma: Danisco Ingredients Valencia aus Spanien

Das Guarkernmehl (Produktnummer: 12/4249, Charge: 6063) wurde im Lagerraum des ILMT bei 20 °C im Originalpapiersack aufbewahrt.

Reisvollkornmehl

Firma: Caj. Strobl Naturmühle GesmbH, 4030 Linz-Ebelsberg, Österreich

Das Mehl wurde im Originalpapiersack im Kühlraum des ILMT bei 4 °C gelagert.

Weizenmehl W 480 glatt

Firma: Ludwig Polsterer Vereinigte Walzmühlen, GesmbH Mühlstraße 3-4, 2431 Enzersdorf an der Fischa, Österreich

Das Mehl wurde im Originalpapiersack im Kühlraum des ILMT bei 4 °C gelagert.

Weizenmehl W 700 glatt

Firma: Erste Wiener Walzmühle Vornwiller GmbH, 2320 Schwechat, Österreich

Das Mehl wurde im Originalpapiersack im Kühlraum des ILMT bei 4 °C gelagert.

Kichererbsenmehl

Firma: Nestelberger Naturprodukte Schälmühle GmbH, Naarntalstraße 9, 4320 Perg

Das Kichererbsenmehl (Charge: L-5140NE) wurde im Kühlraum des ILMT bei 4 °C in der Originalverpackung aus Kunststoff gelagert.

Buchweizenmehl extrudiert

Firma: Caj. Strobl Naturmühle GesmbH, 4030 Linz-Ebelsberg, Österreich

Das Mehl wurde an der BOKU extrudiert (4 Temperatuerzonen (70°C, 100°C, 130°C und 160°C), Schneckentemperatur: 70°C und Schneckengeschwindigkeit: 80 rpm). Das Mehl wurde im Originalpapiersack im Kühlraum des ILMT bei 4 °C gelagert.

Vegacon 90

Firma: Eurosoy GMbH, 21035 Hamburg, Deutschland

Es handelte sich um ein Produktmuster der Firma Eurosoy, welches in einem wiederverschließbaren Beutel aus Kunststoff im Kühlraum des ILMT bei 4 °C gelagert wurde.

Maismehl extrudiert

Firma: Caj. Strobl Naturmühle GesmbH, 4030 Linz-Ebelsberg, Österreich

Das Mehl wurde an der BOKU extrudiert (4 Temperatuerzonen (70°C, 100°C, 130°C und 160°C), Schneckentemperatur: 70°C und Schneckengeschwindigkeit: 80 rpm). Das Mehl wurde im Originalpapiersack im Kühlraum des ILMT bei 4 °C gelagert.

Nutralys

Firma: Roquette, 62136 Lestern, Frankreich

Es handelte sich um ein Produktmuster (Batch: W091L) der Firma Roquette, welches in einem wiederverschließbaren Behälter aus Kunststoff im Kühlraum des ILMT bei 4 °C gelagert wurde.

Hefe

Firma: FALA GmbH, 7815 Bühl, Deutschland

Die Trockenhefe wurde in der Originalverpackung im Kühlraum des ILMT bei 4 °C gelagert wurde.

Feinkristallzucker

Firma: Agrana Zucker GmbH, 1220 Wien, Österreich

Der Zucker (Losnummer 721505081) wurde im Originalpapiersack bei 20 °C im Lagerraum des ILMT gelagert.

Speisesalz fein, jodiert

Firma: Salinen Austria, 4820 Bad Ischl, Österreich

Das Salz wurde bei 20 °C im Lagerraum des ILMT in einem Eimer aus Kunststoff gelagert.

Olivenöl

Firma: Glaseritalia, 5204 Strasswalchen, Österreich

Es handelte sich um ein natives Olivenöl extrak, welches in der Originalflasche im Kühlraum des ILMT bei 4 °C gelagert wurde.

Wasser

Firma: Wiener Stadtwerke, Österreich

Zur Herstellung des Pizzateiges wurde Leitungswasser des Technikums am ILMT verwendet.

Um während der Verarbeitung bzw. während der Versuche konstante Wassergehalte der Rohstoffe zu gewährleisten, wurden sie für diesen Zeitraum im Klimaraum des ILMT bei 20°C und 50% rF gelagert.

7.2 Verwendete Geräte für die Pizzaherstellung

Die verwendeten Geräte für die Pizzaherstellung befinden sich am Institut für Lebensmitteltechnologie der BOKU.

Waage (Abb. 6)

Firma: Sartorius AG, Göttingen, Deutschland

Messgenauigkeit ± 0,1g

Kneter (Abb. 7)

Firma: A/S Wodschow & Co., Brondby, Dänemark: Typ RN10 VL-2; Stufe 1 (langsam) = 110 Umdrehungen pro Minute, Stufe 2 (schnell) = 150 Umdrehungen pro Minute

Gärschrank

Firma: Binder GmbH, 78532 Tuttlingen, Deutschland

Typ: E34 No. 88022

Ausrollmaschine (Abb. 8)

Firma: Seewer AG, Burgdorf, Schweiz

Typ: STM 513; Maschinennummer B8A079013, Baujahr 1998

Etagenbackofen (Abb. 9)

Firma: Manz Backtechnik GmbH, Creglingen-Münster, Deutschland

Typ: 60/3W; Baujahr 2007

Neff Umluftofen (Abb. 10): Haushalts-Umluftofen

Firma: Constructa-Neff Vertriebs GmbH, 81739 München, Deutschland

Typ: HBB-CD71-4; Baujahr 2015

Rational-Self Cooking Center 5 Senses (Abb. 11): Gastro-Umluftofen

Firma: Rational AG, 86899 Landsberg am Lech, Deutschland

Modell SCC WE61; Baujahr 2011

Verwendet wurde die Baking Line (oben)

Stiftmühle (Abb. 12)

Firma: Pallmann Maschinenfabrik GmbH & Co.KG, Zweibrücken, Deutschland

Typ: PXL 18; Maschinennummer 463.88.025; Baujahr 1988; Drehzahl 17.000 Umdrehungen pro Minute

Abb. 6: Waage der Firma Sartorius AG

Abb. 7: Kneter Typ RN10 VL-2

Abb. 8: Ausrollmaschine Typ: STM 513

Abb. 9: Etagenbackofen Typ: 60/3W

Abb. 10: Umluftofen Typ: HBB-CD71-4

Abb. 11: Rational Selfcooking Center Modell SCC WE61

Abb. 12: Stiftmühle Typ: PXL 18

7.3 Rohstoffanalysen

Von den verwendeten Rohstoffen wurden jeweils der Protein-, Fett-, Kohlenhydrat- und Aschegehalt sowie die Trockensubstanz bestimmt. Alle Analysen wurden am ILMT im Dreifachansatz durchgeführt.

7.3.1 Gravimetrische Bestimmung der Trockensubstanz

Prinzip

Die Trockensubstanz eines Lebensmittels ist die Summe aller nicht flüchtigen Bestandteile, zu denen im Wesentlichen Lipide, Kohlenhydrate, Proteine und Mineralstoffe zählen. Die Trockensubstanz kann durch Trocknen der Probe und Wägung des Rückstandes bzw. durch Messung der Refraktion oder der Dichte bestimmt werden. Vor Bestimmung des Trocknungsverlustes mit Hilfe erhöhter Temperatur sollten jedoch eventuelle Fehlermöglichkeiten, wie zum Beispiel das Vortäuschen eines erhöhten Wassergehaltes durch Kohlensäure, Alkohole, ätherische Öle oder durch während der Maillard-Reaktion gebildetes Wasser, abgeschätzt werden. Die Differenz des Trockensubstanzgehalts zu 100 % wird im Allgemeinen als Wassergehalt bezeichnet (MATISSEK et al., 2010a).

Materialien

- Trockenschrank (Memmert, Schwabach, Deutschland; Typ Loading Modell 100-800)
- Wägegläschen mit Deckel
- Löffel, Tiegelzange
- Exsikkator
- Analysenwaage (Sartorius AG, Göttingen, Deutschland; Typ BP 210 S; Messgenauigkeit: ±0,1 mg)

Durchführung

Die Wägegläschen wurden vor dem Einwiegen der Probe im Trockenschrank für eine Stunde getrocknet und im Exsikkator abgekühlt. Das Leergewicht der Wägegläschen (m_1) wurde ermittelt. Nach der Einwaage der Probe (3 g) wurde das Gesamtgewicht (m_2) notiert und direkt im Trockenschrank bei 103 °C ± 2 °C bis zur Massenkonstanz (5-6 Stunden bzw. über Nacht) getrocknet. Nach Abkühlen der

Wägegläschen im Exsikkator wurde der Trocknungsverlust durch Wägung bestimmt (m_3).

Auswertung

Der Trockensubstanzgehalt in Prozent wird nach folgender Gl. 1 berechnet:

$$T\ [\%] = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100 \qquad \text{(Gl.1)}$$

T ..... Trockensubstanzgehalt [%]
m_1 ..... Leermasse Wägegläschen [g]
m_2 ..... Masse Wägegläschen mit Probe vor der Trocknung [g]
m_3 ..... Masse Wägegläschen und Probe nach der Trocknung [g]
($m_2 - m_1$) ..... Probeneinwaage [g]

Der prozentuale Wassergehalt W [%] wird wie in Gl. 2 berechnet:

$$W\ [\%] = 100\ [\%] - T\ [\%] \qquad \text{(Gl.2)}$$

7.3.2 Bestimmung des Fettgehalts durch direkte Extraktion - Methode nach Soxhlet

Prinzip

Der Fettgehalt eines Lebensmittels kann im Allgemeinen durch eine quantitative Bestimmung mittels Extraktion durch ein lipophiles Lösungsmittel ermittelt werden. Der sogenannte freie Fettgehalt kann durch Extraktion mit Diethylether oder Petroleumbenzin bestimmt werden. Lipide, die häufig von Kohlenhydraten bzw. Proteinen eingeschlossen sind, werden, ohne vorherigen Aufschluss, bei der Extraktion nur teilweise erfasst. Zudem ist es von großer Bedeutung, dass die Proben wasserfrei (d.h. getrocknet) vorliegen, da sonst Diethylether geringe Teile an Wasser lösen kann, welches dann bei der eigentlichen Extraktion u.a. Zucker mitextrahiert. Der lösungsmittelfreie und trockene Extraktionsrückstand wird gravimetrisch bestimmt (MATISSEK et al., 2010b).

Materialien

- Wasserbad
- Extraktionsapparatur nach Soxhlet (OMNILAB, Deutschland; Typ Food ALYT RS 60)
- Rundkolben
- Watte: fettfrei
- Siedesteinchen: entfettet
- Extraktionshülsen
- Analysenwaage (Sartorius AG, Göttingen, Deutschland; Typ BP 210 S; Messgenauigkeit: ±0,1 mg)
- Trockenschrank (Memmert, Schwabach, Deutschland; Typ Loading Modell 100-800)
- Exsikkator
- Petroleumbenzin (Siedebereich 40-60 °C)
- Heizhaube
- Destillationsapparatur mit Liebigkühler

Durchführung

Die Rundkolben wurden mit drei Siedesteinchen im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz (103 °C ± 2 °C, ca. 1 h) getrocknet. Anschließend wurden sie in den Exsikkator gestellt, um auf Raumtemperatur abzukühlen, um danach das Leegewicht der Rundkolben (inkl. Siedesteinchen) auf der Analysenwaage (m_1) zu bestimmen.

5-10 g der homogenisierten Probe wurden in fettfreie Extraktionshülsen eingewogen und mit Watte abgedeckt. Die Hülsen wurden in den Mittelteil der Soxhlet-Apparatur gestellt, die Rundkolben mit Diethylether/Petroleumbenzin befüllt und an die Apparatur angeschlossen. Die vollständige Extraktion benötigte 20 – 30 Zyklen (ca. 4 – 6 h). Danach wurde das Lösungsmittel entfernt und die Rundkolben für ca. eine Stunde in den Trockenschrank gestellt. Abschließend wurden die Kolben wieder in den Exsikkator gestellt, um danach die Auswaage zu ermitteln (m_2).

Auswertung

Der Fettgehalt in Prozent wird nach folgender Gl. 3 berechnet:

$$F\,[\%] = \frac{m_2 - m_1}{E} \cdot 100 \qquad \text{(Gl. 3)}$$

F.....Fettgehalt [%]

m_1.....Leermasse getrockneter Rundkolben (inkl. Siedesteinchen) [g]

m_2.....Masse Rundkolben (inkl. Siedesteinchen) mit Fett nach Trocknung [g]

E.....Probeneinwaage [g]

7.3.3 Bestimmung des Aschegehalts

Prinzip

Als Asche (oder Glührückstand) wird jener Rückstand bezeichnet, welcher bei vollständiger Verbrennung (Veraschung) der organischen Bestandteile eines Lebensmittels, unter festgelegten Bedingungen, entsteht. Dieser Rückstand korreliert nach Abzug etwaiger Verunreinigungen aus unvollständiger Verbrennung mit dem Mineralstoffgehalt des Lebensmittels (MATISSEK et al., 2010a).

Materialien

- Vorverascher (Harry Gestigkeit GmbH, Düsseldorf, Deutschland; Typ SVR/E)
- Muffelofen (Carbolite, Hope Valley, England; Typ ELF 11/68)
- Exsikkator
- Porzellantiegel
- Tiegelzange
- Analysenwaage (Sartorius AG, Göttingen, Deutschland; Typ BP 210 S; Messgenauigkeit: ±0,1 mg)

Durchführung

Die Probe wurde in einem ausgeglühten Porzellantiegel (m_1) eingewogen (E) und im Vorverascher so lange erhitzt, bis keine Verschwelungsdämpfe mehr zu erkennen waren. Anschließend wurden die Porzellantiegel für ca. 4 h bei 550 °C im Muffelofen verascht. Nach Abkühlen im Exsikkator erfolgte die Differenzwägung (m_2), wodurch der Glührückstand ermittelt werden konnte.

Auswertung

Der Aschegehalt in Prozent wird nach folgender Gl. 4 berechnet:

$$G\ [\%] = \frac{m_2 - m_1}{E} \cdot 100 \qquad \text{(Gl. 4)}$$

G ..... Aschegehalt [%]
m_1 ..... Leermasse Porzellantiegel [g]
m_2 ..... Masse Porzellantiegel mit Probe nach Veraschung [g]
E ..... Probeneinwaage [g]

7.3.4 Bestimmung des Proteingehalts über den Stickstoffgehalt - Methode nach Kjeldahl

Prinzip

Um den Gesamtproteingehalt bzw. Rohproteingehalt analytisch erfassen zu können, wird in der Regel der Stickstoffanteil nach Aufschluss der organischen Substanzen (mit Schwefelsäure) bestimmt. Anschließend wird unter Verwendung eines Faktors der Proteingehalt berechnet.

Die zu untersuchende Probe wird mit konzentrierter Schwefelsäure unter Zusatz eines Katalysatorgemisches, oxidativ aufgeschlossen. Das so gebildete Ammoniumsulfat wird durch Alkalizusatz (NaOH) in Ammoniak überführt, welches mit Hilfe einer Wasserdampfdestillation in borsäurehaltige Vorlage übergetrieben wird. Das gebildete Ammoniumtriborat wird mit Hilfe von einer Salzsäure-Maßlösung titrimetrisch bestimmt. Der Gehalt an Protein in der Probe wird unter

Berücksichtigung des durchschnittlichen Stickstoffanteils der vorliegenden Proteinart errechnet (MATISSEK et al., 2010c).

Die Bestimmung lässt sich in folgende Abschnitte gliedern:

1. Aufschluss
2. Destillation
3. Titration
4. Berechnung (MATISSEK et al., 2010c)

Materialien

- Wasserdampfdestillationsapparatur (BÜCHI Labortechnik AG, Flawil, Schweiz; Typ KjelFlex K-360)
- Aufschlusssystem mit Absaugvorrichtung (BÜCHI Labortechnik AG, Flawil, Schweiz; Typ K-437)
- Heizblock
- Kjeldahl-Aufschlusskolben 250 ml mit Glasperlen
- Feinbürette
- Messkolben 100 ml, 1000 ml
- Vollpipette 10 ml
- Wägeschiffchen (N_2-frei)
- Konzentrierte Schwefelsäure (95%) (VWR International S.A.S. Fontenay-sous-Bois, Frankreich; Product: 20685.360)
- Katalysatortabletten (BÜCHI Labortechnik AG, Flawil, Schweiz; Kjeldahl Tablets, Missouri)
- Natronlauge (32%) (Carl Roth GmbH & Co. KG, Karlsruhe, Deutschland; Art. Nr. T197.3)
- Salzsäure-Maßlösung (0,1 mol/L) (Sigma-Aldrich Laborchemikalien GmbH, Seelze, Deutschland; Art.-Nr: 38280)
- Borsäure (Carl Roth GmbH & Co. KG, Karlsruhe, Deutschland; Art. Nr. 69431)
- Mischindikator nach SHER (BÜCHI Labortechnik AG, Flawil, Schweiz; Part no. 003512)

- Analysenwaage (Sartorius AG, Göttingen, Deutschland; Typ BP 210 S; Messgenauigkeit: ±0,1 mg)
- Magnetrührer, Rührstäbchen
- Dest. Wasser

Durchführung

Die Einwaage für den Aufschluss richtete sich nach dem zu erwartenden Proteingehalt der Probe. Mit einem im Vorfeld festgelegten Verbrauch an 0,1 M HCl-Maßlösung von 10 ml und dem Erwartungswert des Proteingehalts wurden je nach Probe 0,1 – 4 g in die Kjeldahl Aufschlusskolben eingewogen. Zusätzlich wurden eine Katalysatortablette, drei Glasperlen und 20 ml konz. Schwefelsäure in die Kolben gegeben. Für den Blindversuch wurden 1 Katalysatortablette und 2 Glasperlen, ohne Probe in einen Kjeldahl Kolben transferiert.

Der gesamte Inhalt des Kolbens wurde vorsichtig geschwenkt und langsam auf dem Aufschlussgestell erwärmt. Die Kolben wurden schwach am Sieden gehalten, bis die Aufschlusslösung klar und noch schwach bläulich verfärbt war (380 °C, 3-4 h). Nach ca. 15 min Nacherhitzungszeit wurden die Kolben auf Raumtemperatur abgekühlt.

Der Inhalt wurde in einen 250 mL Erlenmeyerkolben überführt und 20 mL Borsäure sowie einige Tropfen der Indikatorlösung nach Sher hinzugegeben. Folgende Parameter wurden an der Destillationsapparatur eingestellt:

- Dest. Wasser 40 mL
- NaOH 60 mL
- Delay 0 sec
- Aspirating on
- Destillationszeit 3 min

Abschließend wurde das Wasserdampfdestillat mit einer HCl-Maßlösung (0,1 mol/L) bis zum ersten Farbumschlag von grün nach blau und dann bis zum zweiten Farbumschlag von blau nach orange/braun tropfenweise titriert.

Auswertung

Der Proteingehalt in Prozent wird nach folgender Gl. 5 berechnet:

$$P = \frac{(a - b) \cdot N \cdot 14{,}008 \cdot F}{E} \cdot 100 \qquad \text{(Gl. 5)}$$

P ..... Proteingehalt [%]

a ..... Verbrauch an HCl-Maßlösung im Hauptversuch [L]

b ..... Verbrauch an HCl-Maßlösung im Blindversuch [L]

N ..... Normalität der Säure [mol/L]

14,008 ..... Molekulargewicht von N [g/mol]

F ..... Umrechnungsfaktor (6,25)

E ..... Einwaage [g]

7.4 Pizzateigherstellung

Für die Herstellung des Referenzweizenteiges sowie der glutenfreien Teige wurde die gleiche Vorgehensweise wie in der Masterarbeit von HINTERREITER (2015) gewählt.

Weizenpizzateig

Der Referenzteig wurde nach vorliegender Rezeptur nach HINTERREITER (2015) zubereitet (Tab. 3).

Tab. 3: Rezeptur Referenzpizza aus Weizenmehl nach HINTERREITER (2015)

Zutaten	Menge [g]	Anteil [%]
Weizenmehl	420,00	61,24
Trockenhefe	6,30	0,92
Salz	7,50	1,09
Zucker	8,40	1,22
Wasser	222,60	32,46
Olivenöl	21,00	3,06
Gesamtmenge	685,80	100,00

- In einem Rührtopf wurden die trockenen Zutaten wie Mehl, Zucker, Salz und Trockenhefe eingewogen und im Kneter für 2 min auf Stufe 2 vermengt.
- Nach Ablauf der 2 min Knetzeit wurde die trockene Mischung von Hand mit Hilfe des Knethakens durchmischt.
- Danach wurde die Mischung erneut 2 min auf Stufe 2 vermengt.
- Währenddessen wurde Wasser und Olivenöl in ein Becherglas eingewogen.
- Der Kneter wurde auf 2 min bei Stufe 2 eingestellt, um in der ersten Knetminute das Wasser-Öl Gemisch langsam zu den trockenen Zutaten hinzuzufügen. Nach einer weiteren Minute des Knetens wurde der Knetvorgang unterbrochen, um mit dem Knethaken die am Rand des Rührtopfes befindlichen Wasser- bzw. Mehlreste zum restlichen Teig zu schaben.
- Danach wurde der Kneter auf 3 min bei Stufe 2 eingestellt und der Teig fertiggeknetet.

- Mithilfe einer Teigkarte wurde der fertige Teig auf die Arbeitsfläche überführt und zu einer Kugel geformt.
- Anschließend wurde der Teig in die Gärkammer gestellt, um für 30 min bei 30 °C und 85 % Feuchtigkeit zu fermentieren.
- Nach der Fermentation wurde dem Teig ein kleines Stück entfernt und luftdicht in einem Plastikbeutel aufbewahrt, um später die Analyse am Texture Analyzer durchführen zu können.
- Der restliche Teig wurde auf der Ausrollmaschine zu einem Quadrat geformt und manuell etwas flachgedrückt.
- Für das Ausrollen des Teiges wurde folgendes Schema verwendet:

18 mm und 15 mm	Teig wenden und um 90 °C drehen
12 mm und 9 mm	Teig wenden und um 90 °C drehen
7 mm und 5 mm	Teig wenden und um 90 °C drehen
4 mm, 3 mm und 2 mm	

  Gegebenenfalls wurde der Teig zwischen den Ausrollschritten mit Streumehl bestäubt.

- Aus dem ausgerollten Teig wurde ein 425 x 325 mm großes Rechteck mit Hilfe einer Schablone ausgeschnitten und auf ein Backpapier gelegt. Der Teig wurde mit 150 g pürierten Tomaten bestrichen, wobei ein ca. 25 mm breiter Rand ausgelassen wurde.
- Die Pizza wurde bei 220 °C bei Ober- und Unterhitze für 9 min. gebacken (Abb. 13).

Abb. 13: Pizzaprobe nach dem Backen

- Die Pizza wurde anschließend mit der bestrichenen Seite nach unten auf ein Holzbrett gelegt, um so die Pizzastücke für die Analysen besser ausstechen zu können.
- Es wurden 20 Stücke aus der Mitte und 10 Stücke vom Rand der Pizza mithilfe eines Ausstechers (71 x 37 mm, Abb. 14) für die Analysen am Texture Analyzer bzw. Digi Eye ausgestochen.

Abb. 14: Ausstecher

Glutenfreier Pizzateig

Die Herstellung der glutenfreien Pizzateige erfolgte analog zur Herstellung des Referenzteiges aus Weizenmehl.

7.5 Pizzateiganalyse – Charakterisierung der Pizza

Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten wurden die gleichen Parameter wie in der Masterarbeit von HINTERREITER (2015) zur Charakterisierung der Pizza verwendet. Es wurden sowohl die Farbwerte der Pizzabodenoberfläche mittels DigiEye Colour Mesurement and Imaging System bestimmt, als auch die texturalen Eigenschaften des Teiges mit Hilfe des Texture Analysers ermittelt.

Damit die Ergebnisse nicht durch den Belag verfälscht werden, wurde der Pizzateig vor dem Backvorgang lediglich mit passierten Tomaten bestrichen. Nach dem Fermentieren bzw. vor dem Ausrollen des Teiges wurde immer ein Stück vom rohen Teig in einen Plastikbeutel für die Untersuchung am Texture Analyser gegeben.

Pro Messung am Texture Analyser bzw. DigiEye wurden 10 Messungen durchgeführt, damit repräsentative Ergebnisse erzielt werden konnten. Aus diesen Messungen wurden jeweils Mittelwerte, Standardabweichungen und Variationskoeffizienten mit Microsoft Excel 365 ermittelt und abschließend die Ergebnisse mit Hilfe des Statistikprogrammes Statgraphics Centurion XVI ausgewertet.

7.5.1 Verwendete Geräte

Texture Analyser (Abb. 15)

Firma: Stable micro Systems, Surrey, England

Typ: TA.XT.plus, mit verschiedenen Aufsätzen (Craft Knife, Tensile Rig, Kieffer Dough & gluten extensibilty rig)

DigiEye Colour Mesurement and Imaging System (Abb. 16)

Firma: VeriViede Quartz Close, Warrens Business Park, Enderby, Leicester, England

Typ: DE0077101

Abb. 15: Texture Analyser am ILMT

Abb. 16: DigiEye Colour Mesurement and Imaging System

7.5.2 Simulation des Beiß- bzw. Reißvorganges

Prinzip

Um den Beiß- bzw. Reißvorgang beim Abbeißen von einem Pizzastück zu simulieren wurde der Texture Analyser verwendet. Dieser ermittelt die Kraft, die vom Konsumenten aufgewendet werden muss, um ein Stück Pizza abzubeißen. Repräsentativ für die Zähigkeit des Pizzabodens wirkt hier die Zugkraft (STABLE MICRO SYSTEMS).

Materialien

- Texture Analyser (Firma: Stable micro Systems, Surrey, England; Typ: TA.XT.plus) mit Tensile Rig Aufsatz
- Software Texture Exponent 32
- Ausstecher (71 x 37 mm)
- Auflage, um Pizzaprobe auf gleicher Höhe anzubringen
- Stempel zum Anbringen der Pizzaprobe

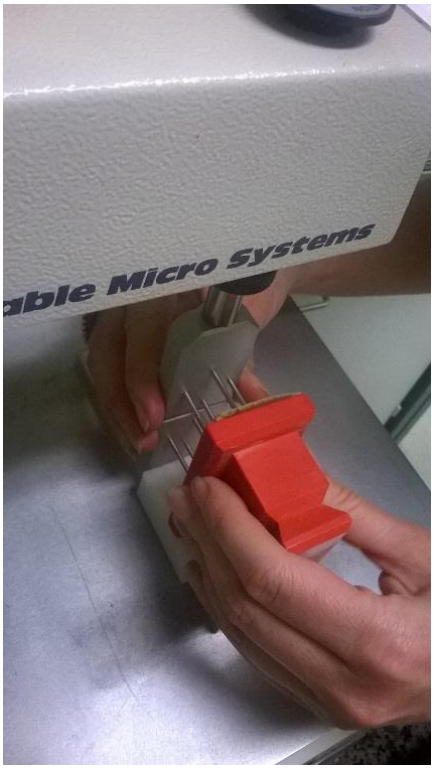

Abb. 17: Anbringen der Pizzaprobe

Abb. 18: Tensile Rig mit Stempel (rot), Auflage (weiß)

Durchführung

Für diese Analyse wurden mittels Ausstecher zehn Stücke aus der Mitte der Pizza ausgestochen. Die Pizzaprobe wurde mit Hilfe des Stempels, wie in Abb. 17 und 18 ersichtlich, auf den Tensile Rig Aufsatz aufgebracht.

Um den Beiß- bzw. Reißvorgang zu simulieren wurden für den Texture Analyser folgende Einstellungen festgelegt (Tab. 4):

Tab. 4: Einstellungen Tensile Rig (HINTERREITER, 2015)

	Texture Analyser TA.XT.plus
Sonde	50,00 kg
Testart	Zug
Vorgeschwindigkeit	5,00 mm/sec
Testgeschwindigkeit	10,00 mm/sec
Rückgeschwindigkeit	10,00 mm/sec
Weg	35,00 mm
Auslösewert	0,05 N
Anzahl Messpunkte	200,00 pps
Nach Bruch	Stopp
Stopp Aufzeichnung bei	Zurück zum Auslösewert
Kalibrierung	
Rückweg	0,50 mm
Rückgeschwindigkeit	10,00 mm/s
Kontakt Kraft	10,00 g

Auswertung

Für die Auswertung der Analyse mittels Tensile Rig wurde der Parameter „max. Kraft“ [N] festgelegt. Die Software (Texture Exponent 32) stellte die Kraft in einem Kraft-Zeit-Diagramm (Abb. 19) dar. Hierfür wurde mit folgendem Makro die max. Kraft jeder Pizzaprobe ermittelt:

Makro max. Kraft

Einheit ändern – Kraft N

Gehe zu Abs + ve. Wert – Kraft N

Wert aufzeichnen – Kraft X

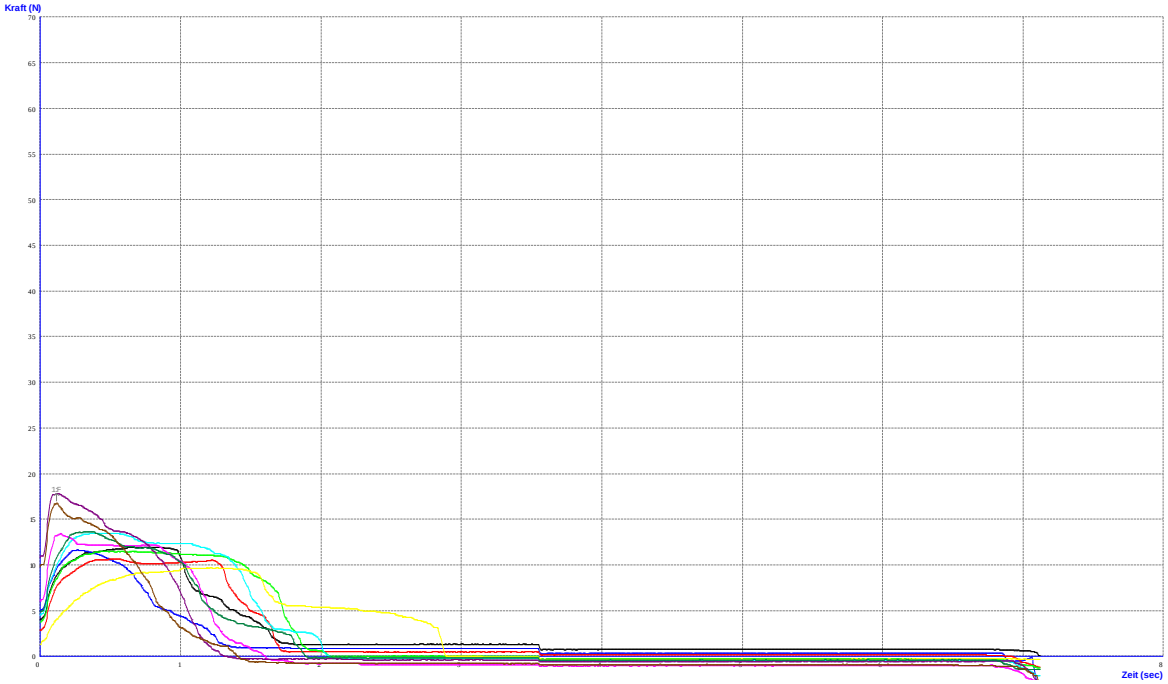

Abb. 19: Kraft-Zeit-Diagramm Weizenreferenz (Tensile Rig)

7.5.2 Simulation des Schneidevorganges

Prinzip

Um den Schneidevorgang eines Pizzastückes zu simulieren wurde der Texture Analyser mit dem Craft Knife Aufsatz verwendet. Hier wurde der Kraftaufwand aufgezeichnet, der beim Durchschneiden einer Pizza erforderlich war.

Materialien

- Texture Analyser (Firma: Stable micro Systems, Surrey, England; Typ: TA.XT.plus) mit Craft Knife Aufsatz
- Software Texture Exponent 32
- Ausstecher (71 x 37 mm)
- Craft Knife Schneideplattform

Abb. 20: Texture Analyser mit Craft Knife Aufsatz

Durchführung

Bei der Analyse mittels Craft Knife wurden je zehn Pizzastücke aus der Mitte der Pizza und zehn Stücke vom Rand der Pizza ausgestochen. Die Pizzaprobe wurde mittig auf die Schneideplattform gelegt.

Um den Schneidevorgang zu simulieren wurden folgende Einstellungen festgelegt (Tab.5):

Tab. 5: Einstellungen Craft Knife

	Texture Analyser TA.XT.plus
Sonde	50,00 kg
Testart	Druck
Vorgeschwindigkeit	5,00 mm/sec
Testgeschwindigkeit	10,00 mm/sec
Rückgeschwindigkeit	10,00 mm/sec
Weg/Verformung	100 %
Auslösewert	0,05 N
Anzahl Messpunkte	200,00 pps
Stopp Aufzeichnung bei	Zurück zum Auslösewert
Kalibrierung	
Rückweg	25,00 mm
Rückgeschwindigkeit	10,00 mm/s
Kontakt Kraft	10,00 g

Auswertung

Für die Auswertung der Analyse mittels Craft Knife wurde der Parameter „max. Kraft“ [N] festgelegt. Die Software (Texture Exponent 32) stellte die Kraft in einem Kraft-Zeit-Diagramm dar. Hierfür wurde mit folgendem Makro die max. Kraft jeder Pizzaprobe ermittelt:

Makro max. Kraft
Einheit ändern – Kraft N
Gehe zu Abs + ve. Wert – Kraft N
Wert aufzeichnen – Kraft X

7.5.3 Bestimmung der Eigenschaften des Teiges

Prinzip

Um die Eigenschaften des Teiges zu analysieren wurde der Kieffer dough & gluten extensibility rig Aufsatz verwendet. Mit diesem zeichnet das Software-Programm die maximale Kraft, die gegen die Längsausdehnung wirkt, und den Weg, der bis zum Reißen des Teiges nötig ist, auf (STABLE MICRO SYSTEMS).

Materialien

- Texture Analyser (Firma: Stable micro Systems, Surrey, England; Typ: TA.XT.plus) mit Kieffer dough & gluten extensibility rig Aufsatz (Abb. 21 und 22)
- Software Texture Exponent 32
- Stempel zum Formen der Teigstreifen (Abb. 23)
- Presse zum Formen der Teigstreifen (Abb. 23)

Abb. 21: Texture Analyser mit Aufsatz

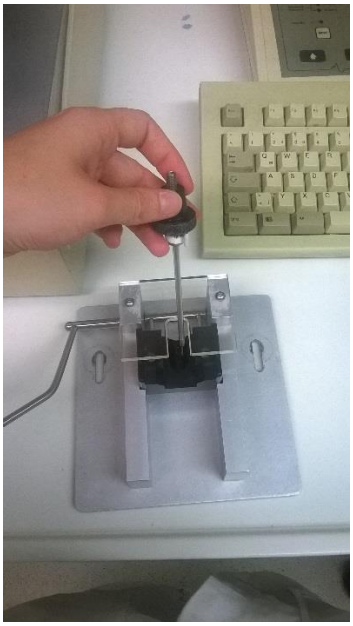

Abb. 22: Kieffer dough & gluten extensibilty rig

Abb. 23: Stempel bzw. Presse zum Formen der Teigstreifen

Durchführung

Für die Analyse mittels Kieffer dough & gluten extensibility rig wurde nach der Fermentation des Pizzateiges ein kleines Stück Teig in einen Plastikbeutel gegeben. Dieses Teigstück wurde mittig auf den Stempel zum Formen der Teigstreifen gelegt und durch den Druck der Presse in die Rillen des Stempels gedrückt, wodurch gleich große Teigstreifen erhalten wurden. Diese Teigstreifen wurden vorsichtig auf den Kieffer dough & gluten extensibility Aufsatz überführt und die Messung durchgeführt.

Um die Eigenschaften des Teiges zu charakterisieren wurden für den Texture Analyser folgende Einstellungen festgelegt (Tab. 6):

Tab. 6: Einstellungen Extensogramm

	Texture Analyser TA.XT.plus
Sonde	5,00 kg
Testart	Zug
Vorgeschwindigkeit	2,00 mm/sec
Testgeschwindigkeit	5,00 mm/sec
Rückgeschwindigkeit	10,00 mm/sec
Weg	100,00 mm
Auslösewert	0,01 N
Anzahl Messpunkte	200,00 pps
Nach Bruch	zurück
Stopp Aufzeichnung bei	Zurück zum Auslösewert
Kalibrierung	
Rückweg	0,10 mm
Rückgeschwindigkeit	10,00 mm/s
Kontakt Kraft	10,00 g

Auswertung

Für die Auswertung der Analyse mittels Kieffer dough & gluten extensibility wurden die Parameter „max. Kraft“ [N] und „max. Weg“ [mm] festgelegt. Die Software (Texture Exponent 32) stellte die Kraft mit dem Weg in einem Kraft-Weg-

Diagramm (Abb. 24) dar. Hierfür wurden mit folgenden Makros die max. Kraft bzw. der max. Weg jeder Pizzaprobe ermittelt:

Makro max. Kraft

Einheit ändern – Kraft N

Gehe zu Abs + ve. Wert – Kraft N

Wert aufzeichnen – Kraft X

Makro max. Weg

Gehe zu – Zeit 0 sec

Gehe zu Abs + ve. Wert – Kraft N

Gehe zu – Kraft 0,01 N

Wert aufzeichnen – Weg X

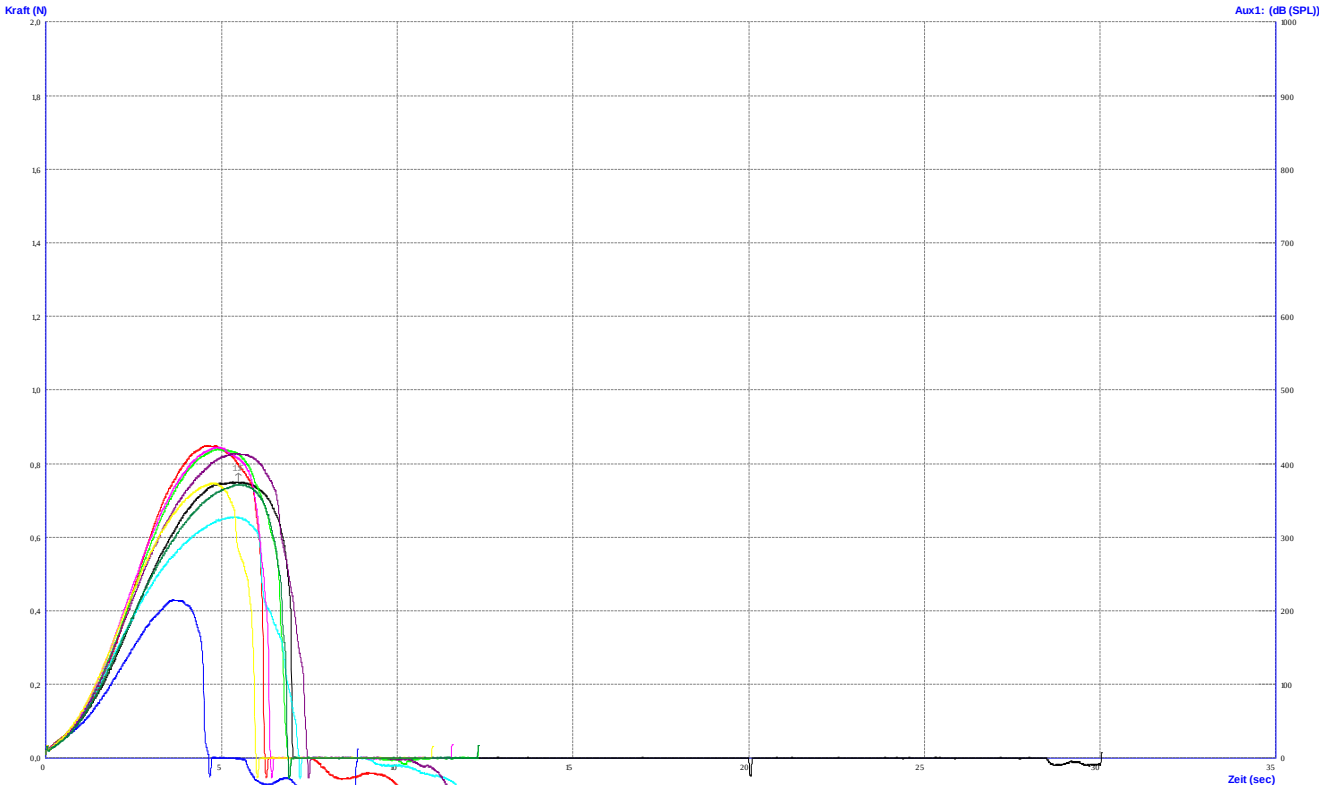

Abb. 24: Kraft-Weg-Diagramm Weizenreferenz (Extensogramm)

7.5.4 Bestimmung der Oberflächenfarbe

Prinzip

Die Oberflächenfarbe des Pizzateiges wurde mittels DigiEye gemessen und durch die Farbmaßzahlen L*, a* und b* beschrieben. Diese Farbmaßzahlen sind wie folgt definiert (Tab. 7 und Abb. 25):

Tab. 7: Farbmaßzahlen L*, a*, b* im Farbraum der Internationalen Beleuchtungskommision (Abb. 26)

Farbmaßzahl	Farbe
L*	definiert die Helligkeit
L* = 0	schwarz
L* = 100	weiß
a*	definiert den Rot- bzw. Grünanteil
a* = positiv	rot
a* = negativ	grün
b*	definiert den Gelb- bzw. Blauanteil
b* = positiv	blau
b* = negativ	gelb

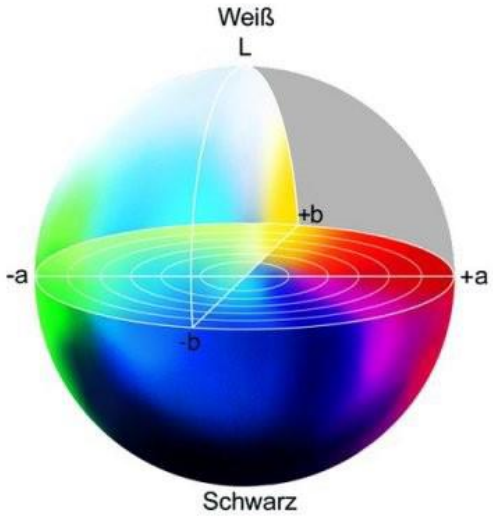

Abb. 25: L* a* b* Farbraum (ALTMANN, 2008)

Materialien

- DigiEye Colour Mesurement and Imagning System (Seriennummer: DE0077101, VeriVide Quartz Close, Warrens Business Park, Enderby, Leicester, England)
- Software für die Analyse (DigiEye-V2.7.2.Ink 2014)

Durchführung

Das DigiEye musste eingangs kalibriert werden. Die Pizzaproben wurden mit der tomatenbestrichenen Seite nach unten auf einem blauen Untergrund gelegt (Abb. 26) und mit den Einstellungen „diffused“ und „autofocus“ fotografiert.

Auswertung

Bei der Auswertung wurden mit Hilfe der Software die L*a*b*-Werte der jeweiligen Pizzaproben ermittelt.

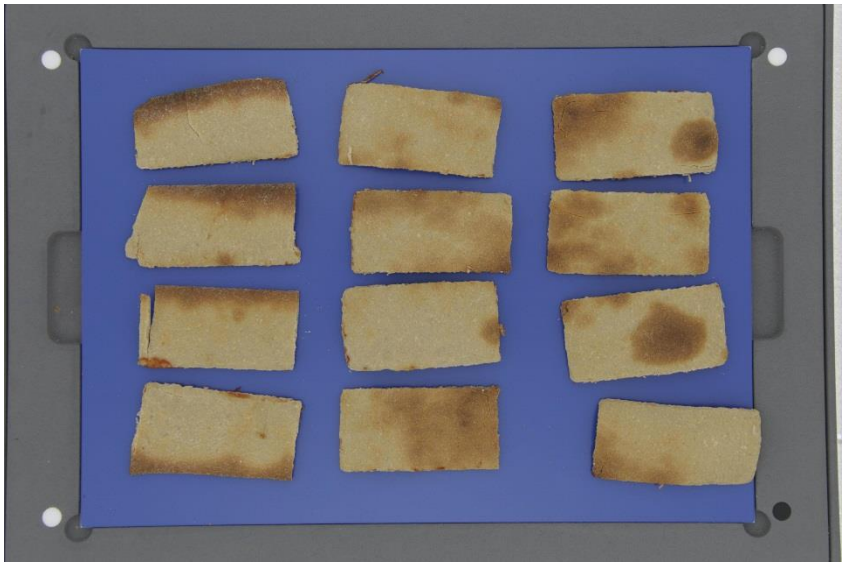

Abb. 26: Pizzastücke im Analysenraum des DigiEye

7.6 Sensorische Methoden

7.6.1 Ermittlung des sensorischen Trends

Prinzip

Um einen sensorischen Trend während der Backversuche zu erhalten, wurde nach jedem Versuchspunkt eine hedonische Prüfung mit ungeschulten Probanden durchgeführt. Hierbei wurde eine 9-Punkte-Verbalskala zur Dokumentation der Akzeptanz der unterschiedlichen Pizzaproben verwendet (DERNDORFER, 2010).

Materialien

- Fragebogen
- Mind. 5 Probanden
- Pizzaproben
- Microsoft Office Excel 2010

Durchführung

Nach jedem Versuchspunkt wurden die Pizzaproben von fünf ungeschulten Probanden verkostet. Diese beurteilten die Pizzastücke nach folgenden Parametern: Aussehen, Geruch, Geschmack, Mundgefühl (Teigdicke, Klebrigkeit an den Zähnen, Randbeschaffenheit) und Gesamteindruck (Abb. 27). Eine Punkteskala von 1 (gefällt mir nicht) bis 9 (gefällt mir sehr) diente dabei als Grundlage der Beurteilung.

Aussehen

□ □ □ □ □ □ □ □ □
1 5 9
gefällt mir **nicht** gefällt mir sehr

Geruch

□ □ □ □ □ □ □ □ □
1 5 9
gefällt mir **nicht** gefällt mir sehr

Geschmack

□ □ □ □ □ □ □ □ □
1 5 9
gefällt mir **nicht** gefällt mir sehr

Mundgefühl

□ □ □ □ □ □ □ □ □
1 5 9
klebt an den Zähnen klebt **nicht** an den Zähnen

□ □ □ □ □ □ □ □ □
1 5 9
Teigdicke **nicht** ansprechend Teigdicke anspr.

□ □ □ □ □ □ □ □ □
1 5 9
Rand **nicht** ansprechend Rand ansprechend

Gesamteindruck

□ □ □ □ □ □ □ □ □
1 5 9
gefällt mir **nicht** gefällt mir sehr

Anmerkungen:

Abb. 27: Fragebogen zur Ermittlung des sensorischen Trends

Auswertung

Die Ergebnisse der Verkostungen wurden mit Hilfe von Microsoft Office Excel 2010 ausgewertet.

7.6.2 Ermittlung der Beliebtheit der Endprodukte

Prinzip

Nach Abschluss aller Backversuche und Ermittlung der Optima wurde eine Verkostung mit mind. 50 Testpersonen durchgeführt. Hier wurde das eigene Optimum gegen das Optimum von HINTERREITER (2015) und einer am Markt erhältlichen Fertigbackmischung verkostet. Es wurde ein Fragebogen erstellt, um die Präferenz der Probanden zu ermitteln.

Materialien und Prüfpersonen

- Mind. 50 Probanden
- Software: Compusense five (Firma Compusense Inc., Guelph, Kanada)
- Mittels Software generierter Fragebogen
- Trockenschrank (Typ E34; Firma BINDER, 78532 Tuttlingen, Deutschland)
- Eigenes Optimum (2) glutenfreier Pizzateig (101)
- Optimum glutenfreier Pizzateig von HINTERREITER (107)
- Fertigbackmischung glutenfreier Pizzateig von SPAR free from (123)

Durchführung

Alle Pizzaproben (eigenes Optimum, Optimum HINTERREITER und SPAR free from) wurden zwei Tage vor der Verkostung hergestellt.

Nachdem die Teige auf der Ausrollmaschine ausgerollt wurden, wurden mit einem Ausstecher kreisförmige Pizzastücke mit einem Durchmesser von 100 mm ausgestochen. Diese wurden auf ein Backblech mit Backpapier gelegt und bei -20 °C tiefgekühlt. Erst am Tag der Verkostung wurden die aufgetautenTeigstücke mit einem Esslöffel selbst produzierter Pizzasauce (Tab. 8) bestrichen und einem Esslöffel geriebenen Mozzarella bestreut.

Tab. 8: Rezeptur Tomatensauce nach HINTERREITER (2015)

Zutat	Menge [g]
Tomaten, püriert	485,3
Salz	5,2
Oregano	0,3

Die Backzeit der Minipizzen wurde aufgrund der geringeren Größe auf 6 min verkürzt und wie gehabt bei 220 °C im Etagenbackofen gebacken. Damit die Testpersonen warme Pizzen verkosten konnten, wurden die Pizzen in einem Trockenschrank bei 55 °C gelagert und möglichst frisch ausgegeben. Die Pizzen wurden auf einem Tablett mit zufälliger Codierung serviert (Abb. 28) und von den Probanden computergestützt bewertet (Abb. 29).

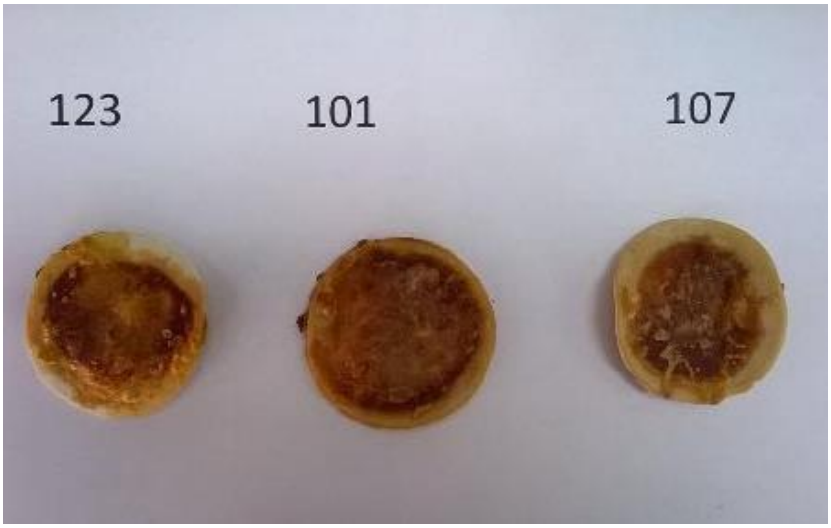

Abb. 28: Minipizzen bei der Verkostung

Auswertung

Die Prüfmerkmale wurden mit Microsoft Office Excel 365 ausgewertet und in Diagrammen veranschaulicht.

Beliebtheitstest glutenfreier Pizzateig

Wichtig für Personen mit Glutenunverträglichkeit: Es kann bei den Produkten keine 100%ige Glutenfreiheit garantiert werden, da an den Geräten auch mit Weizenmehl gearbeitet wird!

Kosten Sie die Proben und beurteilen Sie auf der folgenden Skala, wie Ihnen die Proben bezüglich der genannten Kriterien zusagen:

- Gesamteindruck
- Aussehen insgesamt
- Farbe Teig
- Teigdicke
- Geruch
- Textur
- Geschmack

Missfällt außerordentlich	Missfällt sehr	Missfällt einigermaßen	Missfällt geringfügig	Weder gefällt noch missfällt	Gefällt geringfügig	Gefällt einigermaßen	Gefällt sehr	Gefällt außerordentlich
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Kreuzen Sie bitte alle zutreffenden Merkmale an:

- Klebt an den Zähnen
- Dünner Pizzaboden
- Dicker Pizzaboden

Bitte machen Sie jetzt noch einige Angaben zu Ihrer Person:

Alter:
- <20
- 20-25
- 26-30
- 31-35
- >35

Geschlecht:
- Weiblich
- Männlich

Haben Sie eine Glutenunverträglichkeit?
- Ja
- Nein

Wie oft konsumieren Sie Pizza?

- Täglich
- 1 x pro Woche
- Mehrmals pro Woche
- 1 x pro Monat
- Seltener

Haben Sie schon einmal glutenfreie Pizza gegessen?

- Ja
- Nein

Wenn ja, nennen Sie uns bitte Ihre bevorzugte Marke bzw. das Restaurant wo Sie diese gegessen haben:

_____

Abb. 29: Fragebogen zur sensorischen Bewertung

7.7 Statistische Methoden

Die Versuchsplanung sowie -auswertung erfolgte im Zuge dieser Masterarbeit mit dem Statistikprogramm STATGRAPHICS Centurion XVI der Firma StatPoint Technologies, Inc. Unterstützend zur Datenaufbereitung und Versuchsplanung wurde das Programm Microsoft Office Excel 365 verwendet.

7.7.1 Versuchsplanung

Während der Vorversuche im Backlabor wurden die unten folgenden Versuchspläne für diese Masterarbeit festgelegt. Es sollte einerseits ein Versuchsplan erstellt werden, bei dem die Auswirkungen von drei verschiedenen Proteinisolaten bzw. Proteinmehlen in unterschiedlicher Kombination analysiert werden. Andererseits sollten in einem weiteren Versuchsplan die möglicherweise unterschiedlichen Effekte der glutenfreien Weizenstärke untersucht werden. Für die Erstellung dieser beiden Versuchspläne wurde das Statistikprogramm STATGRAPHICS Centurion XVI verwendet.

Darüber hinaus sollte der Einfluss unterschiedlicher Backöfen und die Verwendung von Frischhefe anstatt Trockenhefe auf das Backergebnis ermittelt werden. Diese Versuchsreihen wurden mit Microsoft Office Excel 365 generiert.

Versuchsplan 1 – „Bestimmung der idealen Mehlzusammensetzung“

Für die Ermittlung der optimalen Kombination der Proteinmehle wurde ein mehrfaktorieller Mischungsplan mit einem Simplex-Zentralpunkt und folgenden Einstellungen gewählt:

Versuchsplankategorie:	Mischung
Versuchsplanname:	Simplex-Zentralpunkt
Anzahl der experimentellen Komponenten:	3
Anzahl der Blöcke:	1
Anzahl der Zielgrößen:	9
Anzahl der Versuche:	10
Modeltyp:	linear
Randomisiert:	Ja

Aus dieser Übersicht lässt sich erkennen, dass zehn Versuche durchgeführt wurden, um die optimale Kombination der drei Proteinmehle zu ermitteln. Da die Versuchsreihe mit reinen Proteinmengen erstellt wurde, musste bei der Rezeptur die tatsächliche Einwaage von Vegacon 90, Nutralys und Kichererbsenmehl berechnet werden. Tab. 9 gibt einen Überblick über die Proteinmengen.

Tab. 9: Proteinmehle und -mengen Versuchsplan 1

Proteinmehl	Menge untere Stufe [g]	Menge obere Stufe [g]
Vegacon 90	0	15
Nutralys	0	15
Kichererbsenmehl	0	15

Versuchsplan 2 – „Einfluss von glutenfreier Weizenstärke“

Ausgehend von Versuchsplan 1 wurde im zweiten Versuchsplan das Reismehl durch glutenfreie Weizenstärke ersetzt, um den Effekt auf das Produkt zu ermitteln. Ein neuer Mischungsplan wurde mit Hilfe von STATGRAPHICS Centurion XVI erstellt und die Proteinmengen angepasst (Tab. 10).

Versuchsplankategorie:	Mischung
Versuchsplanname:	Simplex-Zentralpunkt
Anzahl der experimentellen Komponenten:	3
Anzahl der Blöcke:	1
Anzahl der Zielgrößen:	9
Anzahl der Versuche:	10
Modeltyp:	linear
Randomisiert:	Ja

Tab. 10: Proteinmehle und -mengen Versuchsplan 2

Proteinmehl	unten [g]	oben [g]
Vegacon 90	0	15
Nutralys	0	15
Kichererbsenmehl	0	15

„Einfluss von Frischhefe auf das Backverhalten“

Weiters sollte der Einfluss bei der Verwendung von Frischhefe anstatt Trockenhefe untersucht werden. Dazu wurde eine Versuchsreihe mit den beiden Optima der Versuchspläne 1 und 2 mithilfe von Microsoft Office Excel 365 erstellt.

„Einfluss unterschiedlicher Backöfen auf das Endprodukt“

Zum Abschluss der praktischen Arbeit sollte ein Vergleich von drei unterschiedlichen Backöfen auf das Endprodukt durchgeführt werden. Dazu wurden die beiden Optima der Versuchspläne 1 und 2 jeweils im Etagenbackofen, Haushalts-Umluftofen als auch im Gastro-Umluftofen gebacken. Diese Versuchsreihe wurde ebenfalls mithilfe von Microsoft Office Excel 365 erstellt.

7.7.2 Grubbs Test

Vor der statistischen Auswertung der Versuchsreihen wurde ein Ausreißertest nach Grubbs durchgeführt. Dabei wurden Ausreißer aus den Rohdaten entfernt und aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen.

Der Ausreißertest nach Grubbs identifiziert jene Ausreißer, welche mehr als drei Standardabweichungen vom p-Wert entfernt liegen und so einen kleineren p-Wert als 0,05 aufweisen (STATPOINT TECHNOLOGIES INC., 2010).

7.7.3 Shapiro-Wilk Test

Der Shapiro-Wilk Test wurde durchgeführt, um die Datenreihen auf Normalverteilung zu überprüfen.

Dieser Test basiert auf dem Vergleich der Quantilen der Versuchsdatenreihe mit den Quantilen einer Normalverteilung. Eine Normalverteilung der Versuchsdaten liegt dann vor, wenn der generierte p-Wert über 0,05 liegt, die Hypothese also mit einer 95 %igen Wahrscheinlichkeit bestätigt werden kann (STATPOINT TECHNOLOGIES INC., 2010).

7.7.4 Zielgrößenoptimierung

Für jeden einzelnen Parameter der Versuchsreihen wurde eine Zielgrößenoptimierung durchgeführt.

Durch diese Optimierung wird eine Kombination von verschiedenen Faktorstufen generiert, welche die besten Ergebnisse im Endprodukt für den jeweils untersuchten Parameter liefert. STATGRAPHICS Centurion XVI bedient sich hierbei eines numerischen Verfahrens, welches innerhalb eines Versuchraumes den besten Punkt findet (STATPOINT TECHNOLOGIES INC., 2010).

7.7.5 Mehrgrößenoptimierung

Durch eine Mehrgrößenoptimierung konnten aus den beiden Versuchsplänen 1 und 2 die optimalen Rezepturen ermittelt werden. Dabei wurde den Parametern Zielgröße, Gewichtung und Bedeutung zugeteilt (Tab. 11), sodass diese möglichst nahe an die Eigenschaften des Weizenpizzateiges kamen.

Tab. 11: Mehrgrößenoptimierung

Parameter	Ziel	Sollwert	Gewichtung	Bedeutung
L*	Fix	64,51	1	1
a*	Fix	11,84	1	1
b*	Fix	28,58	1	1
Kraft R	Fix	31,62	1	4
Kraft M	Fix	46,54	1	4
Tensile Rig	Fix	11,28	1	4
Extensogramm Weg	Maximieren		1	5
Extensogramm Kraft	Fix	0,8	1	5
Sensorischer Gesamteindruck	Maximieren		1	5

7.7.6 Einfaktorielle Varianzanalyse – ANOVA

Da im Zuge der statistischen Auswertung ein Vergleich mehrerer Stichproben notwendig war, wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse durchgeführt. Mit Hilfe der ANOVA ist eine Darstellung der Signifikanz von Ergebnissen möglich. Liegt der so ermittelte p-Wert unter 0,05 liegen zwischen den Stichproben signifikante Unterschiede, mit einer Irrtumwahrscheinlichkeit von 5 %, vor (STATPOINT TECHNOLOGIES INC., 2010).

7.7.7 T-Test

Mit dem T-Test wurden, zum Vergleich der Ergebnisse, sowohl die einzelnen Versuchspunkte als auch die beiden Optima und die Messreihen mit Frischhefe gegenübergestellt.

Der T-Test verdeutlicht, welche Ergebnisse signifikant von anderen Ergebnissen abweichen. Während dieses Tests werden jeweils zwei Datenpaare mit einander verglichen und auf signifikante Unterschiede geprüft. Ist der mit diesem Test generierte p-Wert kleiner als 0,05, gilt ein Unterschied als signifikant (STATPOINT TECHNOLOGIES INC., 2010).

7.7.8 Multiple Range Test

Der Multiple Range Test diente zum Vergleich der Ergebnisse der Pizzateige, die in unterschiedlichen Öfen gebacken wurden.

Mithilfe dieses Tests wird ein Mehrgrößen-Mittelwert-Vergleich durchgeführt, um festzustellen welche Mittelwerte signifikant von den anderen abweichen. Somit werden Mittelwerte einander gegenübergestellt und in Gruppen eingeteilt (STATPOINT TECHNOLOGIES INC., 2010).

7.7.9 Analyse der experimentellen Daten

Die Qualität und Aussagekraft der durchgeführten Versuchsplanauswertung sollte ebenfalls überprüft werden. Dabei werden üblicherweise der p-Wert, der Standardfehler und das Bestimmtheitsmaß R^2 der einzelnen Parameter angegeben. Der p-Wert gibt wieder Auskunft über die statistische Signifikanz des ausgewählten Modells. Bei einem p-Wert unter 0,05 liegt eine statistische Signifikanz vor und das Versuchsplanmodell korreliert gut mit den Antwortvariablen. Liegen die Antwortvariablen weit von den Messdaten entfernt, zeigt dies der Standardfehler an. Beim Bestimmtheitsmaß gilt: Je näher das Bestimmtheitsmaß bei 100 % liegt, desto besser korrelieren die Messdaten mit dem Ergebnis des ausgewählten Versuchsmodells (STATPOINT TECHNOLOGIES INC., 2010).

8. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG, ERGEBNISSE, DISKUSSION

In den folgenden Abschnitten werden die Versuchsdurchführungen beschrieben und die Ergebnisse präsentiert und diskutiert.

8.1 Ergebnisse der Rohstoffanalysen

Die Hauptinhaltsstoffe wurden im Zuge der Rohstoffanalysen auf ihren Trockensubstanz-, Asche-, Fett- und Proteingehalt untersucht.

Für den Start der Backversuche waren der Trockensubstanz- und Proteingehalt wichtig, da damit die Berechnungen für die Rezeptur durchgeführt werden konnten.

Tab. 12 fasst die Ergebnisse der Rohstoffanalysen zusammen, welche wie unter Kapitel 6.3 beschrieben, im Dreifachansatz ermittelt wurden.

Tab. 12: Ergebnisse Rohstoffanalysen

		Trockensubstanz	Asche	Protein	Fett
Buchweizenmehl	**x [%]**	**91,79**	**1,90**	**12,64**	**2,75**
	σ	0,65	0,11	0,34	0,10
	VK	0,71	6,01	2,68	3,47
Buchweizenmehl, extrudiert	**x [%]**	**95,49**	**1,98**	**14,33**	**1,05**
	σ	0,04	0,05	0,45	0,48
	VK	0,04	2,55	3,17	45,33
Reismehl	**x [%]**	**89,93**	**0,67**	**5,52**	**0,92**
	σ	0,25	0,04	0,07	0,07
	VK	0,28	6,07	1,28	7,50
Glutenfreie Weizenstärke	**x [%]**	**87,78**	**0,13**	**0,25**	**0,81**
	σ	0,07	0,02	0,01	0,06
	VK	0,09	17,58	5,64	7,80
Reisvollkornmehl	**x [%]**	**88,99**	**1,18**	**7,38**	**1,96**
	σ	0,33	0,00	0,14	0,02
	VK	0,37	0,33	1,93	0,98
Vegacon 90	**x [%]**	**96,37**	**4,10**	**85,61**	**0,10**
	σ	0,34	0,05	6,59	0,00
	VK	0,36	1,19	0,77	85,59
Kichererbsenmehl	**x [%]**	**92,15**	**2,97**	**19,70**	**4,50**
	σ	0,35	0,02	0,31	0,52
	VK	0,38	0,70	1,56	0,98
Guarkernmehl	**x [%]**	**90,17**	**1,01**	**4,28**	**0,96**
	σ	0,75	0,02	0,12	0,01
	VK	0,83	1,63	2,77	1,10
Maismehl, extrudiert	**x [%]**	**93,43**	**1,15**	**7,45**	**1,11**
	σ	0,03	0,07	0,10	0,03
	VK	0,03	6,41	1,36	2,89
Nutralys	**x [%]**	**93,91**	**5,11**	**88,77**	**0,49**
	σ	0,04	0,06	1,42	0,03
	VK	0,05	0,05	1,59	5,41
Weizenmehl	**x [%]**	**90,42**	**0,55**	**12,83**	**1,06**
	σ	0,25	0,01	0,53	0,01
	VK	0,28	1,76	4,14	1,17

8.2 Vorversuche

Zu Beginn der praktischen Arbeit wurden zahlreiche Vorversuche durchgeführt. Dies hatte einerseits zum Ziel mit den Geräten und den Abläufen vertraut zu werden und reproduzierbar arbeiten zu können, andererseits sollten neue Wege für die Rezepturoptimierung gefunden werden.

Als Referenzteig diente Pizzateig aus Weizenmehl. Die optimale Rezeptur für diese Weizenpizza wurde bereits von HINTERREITER (2015) eruiert und ist in Kapitel 6.4 beschrieben.

Die zu optimierende glutenfreie Ausgangsrezeptur ist Tab. 2 zu entnehmen.

Da der relativ hohe Anteil an Buchweizenmehl einen charakteristischen Eigengeschmack mit sich zog, wurde versucht, den Buchweizenanteil zu minimieren. Dabei wurde mit den unterschiedlichsten Mehlsorten experimentiert, die von Sojamehl, Kichererbsenmehl und Reisvollkornmehl bis hin zu glutenfreier Weizenstärke oder reinen Proteinisolaten reichten. Dabei wurde stets darauf geachtet, ernährungsphysiologisch hochwertige, aber gleichzeitig auch preislich geeignete Rohstoffe zu verwenden, um den Nährwert der Pizzabackmischung zu heben.

Weiters wurde versucht die Wasserzugabe des Teiges in Anteile Wasser und Anteile Milch aufzuteilen, um auch so den Proteingehalt zu erhöhen. Aufgrund der häufig auftretenden Laktoseintoleranz bei Zöliakie Patienten, war es wichtig, laktosefreie Milch zu verwenden (ROSIEN et al., 2010).

Abb. 30 und 31 zeigen, dass diese Vorversuche nicht zum gewünschten Ergebnis führten. Der Teig war nicht nur in der Verarbeitung schwieriger zu handhaben, auch im Endprodukt zeigten sich eindeutig die bröckelige Textur und die dunkle Färbung des Teiges. Die dunklere Oberflächenfarbe entstand vermutlich durch den höheren Zuckergehalt des Teiges aufgrund der Milch und der so stattfindenden Maillard-Reaktion.

Abb. 30: Vorversuch glutenfreie Pizza mit laktosefreier Milch

Abb. 31: Vorversuch glutenfreie Pizza mit laktosefreier Milch Unterseite

Aus den Vorversuchen kristallisierten sich nach und nach drei Proteinmehle bzw. Proteinisolate heraus, mit denen der erste Versuchsplan gestartet werden

konnte: Vegacon 90 (Sojaproteinisolat), Nutralys (Erbsenproteinisolat) und Kichererbsenmehl. Die Abb. 32 und 33 zeigen die Ergebnisse der Vorversuche mit diesen Rohstoffen. Mit ihnen konnte die beste Verarbeitbarkeit während der Teigherstellung, das beste Gashaltevermögen und der beste Geschmack erreicht werden.

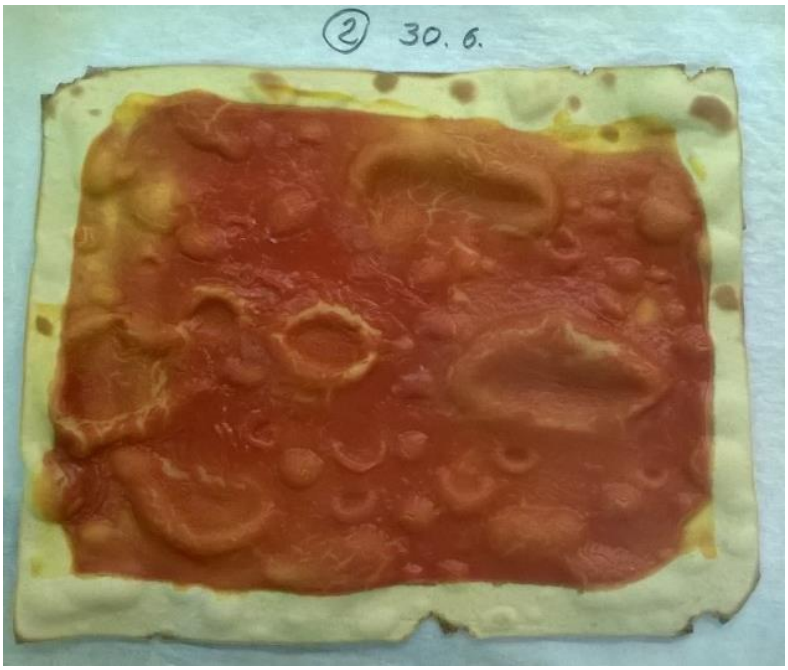

Abb. 32: Vorversuch glutenfreie Pizza, die Sojamehl enthielt

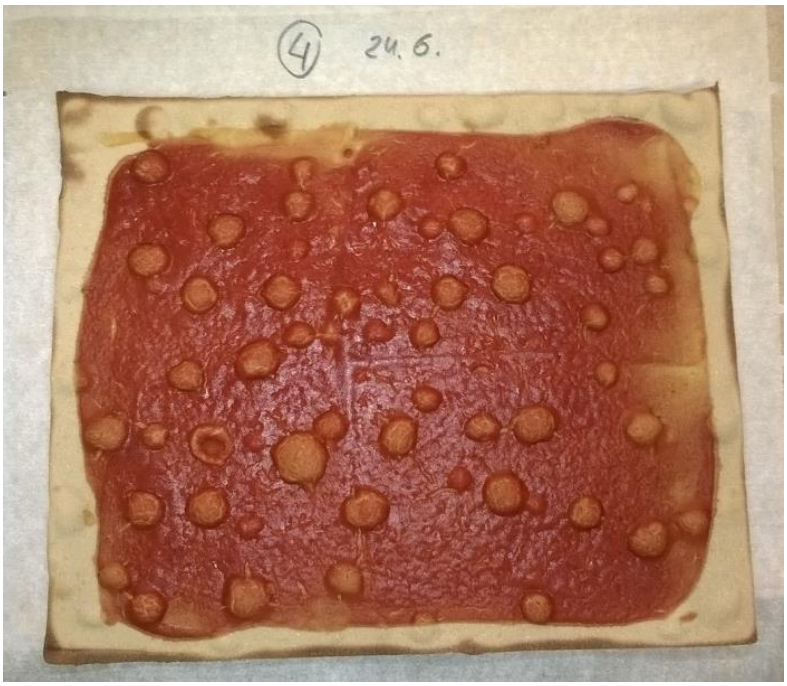

Abb. 33: Vorversuch glutenfreie Pizza, die Nutralys und Kichererbsenmehl enthielt

8.3 Versuchsplan 1 – „Bestimmung der idealen Proteinmehlkombination“

Ziel der Hauptbackversuche im ersten Versuchsplan war es, die optimale Kombination der drei ausgewählten Proteinmehle herauszufinden. Dabei wurden die mengenmäßigen Anteile der Mehle unterschiedlich variiert (Tab. 13).

Tab. 13: Mischungsplan

	Vegacon 90	Nutralys	Kichererbsenmehl
1		7,5 g	7,5 g
2		15 g	
3	5 g	5 g	5 g
4	7,5 g		7,5 g
5			15 g
6	15 g		
7	7,5 g	7,5 g	
8	15 g		
9		15 g	
10			15 g

Der Mischungsplan, welcher mit STATGRAPHICS Centurion XVI generiert wurde, musste noch mit dem Proteingehalt des Weizenpizzateiges verglichen werden. Im Zuge der Rohstoffanalysen konnte beim Weizenpizzateig ein Gesamtproteingehalt von rund 11,6 % ermittelt werden. Dies stellte somit den Wunschproteingehalt des glutenfreien Pizzateiges dar. Die Basisrezeptur (vgl. Tab. 14) brachte bereits einen Proteingehalt von rund 7,7 % ein, was noch einen Restproteingehalt von 3,9 % offen ließ, welcher durch die Proteinmehle in unterschiedlicher Kombination gedeckt werden sollte.

Tab. 14: Basisrezeptur glutenfreier Teig aus VP1

	Einwaage [g]
Buchweizenmehl	88,20
Buchweizen extrudiert	29,40
Reismehl weiß	88,20
Reisvollkornmehl	140,30
Maismehl extrudiert	12,50
Guarkernmehl	15,00
Summe fixe Bestandteile	**373,60**

Vor dem Start der Versuche musste noch die tatsächliche Einwaage der Proteinmehle (Tab. 15) sowie die Teigfeuchte berechnet werden. Laut HINTERREITER (2015) betrug die optimale Teigfeuchte ihrer Rezeptur 40,6 %. Dieser Wert wurde als Referenz übernommen. Für die Berechnung der Teigfeuchte wurden die Ergebnisse der Rohstoffanalysen der Trockensubstanz herangezogen.

Tab. 15: unterschiedliche Protein-Einwaagemengen der Versuchspunkte von Versuchsplan 1

	15 g Protein	**7,5 g Protein**	**5 g Protein**
Vegacon 90 [g]	17,33	8,66	5,78
Nutralys [g]	17,99	9,00	6,00
Kichererbsen-mehl [g]	76,14	38,07	25,38

In Tab. 16 sind die Ergebnisse des ersten Versuchsplans übersichtlich dargestellt.

Tab. 16: Ergebnisse Versuchsplan 1

Versuchs-punkt	Vegacon 90 Protein [g]	Nutralys Protein [g]	Kichererbsen Protein [g]		L*	a*	b*	Craft Knife R max. Kraft [N]	Craft Knife M max. Kraft [N]	Tensile Rig max. Kraft [N]	Extensogramm max. Weg [mm]	Extensogramm max. Kraft [N]	Gesamteindruck Sensorik
4	7,5	0	7,5	**x**	**64,57**	**7,78**	**19,69**	**40,68**	**32,64**	**9,76**	**0,00**	**0,00**	**4,60**
				σ	1,46	1,15	1,66	14,61	8,04	3,23	0,00	0,00	
				VK	2,26	14,78	8,43	35,90	24,62	33,04	0,00	0,00	
5	0	0	15	**x**	**66,29**	**8,94**	**24,82**	**45,64**	**48,78**	**11,26**	**36,57**	**0,18**	**6,40**
				σ	1,67	1,92	2,35	13,87	5,43	2,67	1,28	0,02	
				VK	2,52	21,51	9,48	30,39	11,13	23,73	3,51	12,19	
8	15	0	0	**x**	**70,31**	**6,40**	**20,90**	**58,02**	**39,68**	**13,34**	**27,23**	**0,33**	**5,80**
				σ	0,78	0,73	1,58	9,17	3,39	1,36	0,83	0,04	
				VK	1,11	11,48	7,58	15,80	8,54	10,20	3,04	11,82	
7	7,5	7,5	0	**x**	**67,49**	**9,57**	**24,94**	**62,04**	**29,69**	**6,63**	**29,89**	**6,63**	**6,20**
				σ	2,24	1,18	1,05	15,85	4,23	2,19	0,30	2,19	
				VK	3,32	12,34	4,20	25,55	14,25	33,11	1,00	33,11	
3	5	5	5	**x**	**64,71**	**11,17**	**26,46**	**73,41**	**25,61**	**4,95**	**31,86**	**4,95**	**6,20**
				σ	2,59	2,39	2,20	18,80	6,54	1,52	3,80	1,52	
				VK	4,00	21,43	8,32	25,61	25,54	30,78	11,94	30,78	
1	0	7,5	7,5	**x**	**64,33**	**9,61**	**25,84**	**24,26**	**19,38**	**5,07**	**35,18**	**0,18**	**5,80**
				σ	1,64	1,50	1,41	17,70	1,43	0,81	2,24	0,02	
				VK	2,54	15,58	5,44	72,94	7,39	15,92	6,37	10,77	
2	0	15	0	**x**	**61,17**	**11,84**	**27,77**	**55,72**	**22,50**	**7,75**	**31,08**	**0,25**	**7,00**
				σ	2,45	2,79	2,04	24,95	8,56	1,83	0,96	0,03	
				VK	4,00	23,54	7,36	44,78	38,03	23,62	3,09	11,20	
6	15	0	0	**x**	**68,40**	**8,25**	**25,97**	**76,59**	**33,96**	**11,20**	**30,71**	**0,31**	**4,80**
				σ	2,36	1,43	3,00	20,27	5,34	2,73	0,86	0,06	
				VK	3,45	17,39	11,55	26,46	15,71	24,40	2,79	18,30	
9	0	15	0	**x**	**64,36**	**9,59**	**25,39**	**53,21**	**25,61**	**3,89**	**28,69**	**3,89**	**7,80**
				σ	2,43	1,31	1,11	21,18	6,54	1,50	0,46	1,50	
				VK	3,77	13,68	4,36	39,80	25,54	38,52	1,60	38,52	
10	0	0	15	**x**	**63,51**	**11,65**	**28,58**	**92,33**	**49,11**	**11,23**	**30,93**	**0,16**	**4,40**
				σ	1,85	2,18	1,85	27,02	11,62	2,38	2,78	0,01	
				VK	2,91	18,76	6,46	29,27	23,67	21,18	9,00	7,84	

Tab. 17 zeigt eine Übersicht, aus der hervorgeht, welches Proteinmehl welchen Parameter am besten beeinflusste und zum bestmöglichen Ergebnis führte. Hier wird deutlich, dass das Erbsenproteinisolat die meisten optimalen Ergebnisse lieferte. Die Proteinangaben mussten wieder auf die tatsächliche Proteinmenge umgerechnet werden.

Tab. 17: Einfluss der Proteinmehle im VP 1

	Vegacon 90 Protein [g]	Nutralys Protein [g]	Kichererbsenmehl Protein [g]
L*	15	0	0
a*	0	15	0
b*	0	15	0
Kraft R	15	0	0
Kraft M	0	0	15
Tensile Rig	15	0	0
Extensogramm Weg	0	15	0
Extensogramm Kraft	0	15	0
Gesamteindruck Sensorik	0	15	0

Weiters wurden die Qualitätskennzahlen erhoben, um eine Aussage über die Versuchsplanauswertung treffen zu können. In Tab. 18 sind diese tabellarisch dargestellt und die signifikanten p-Werte hervorgehoben.

Tab. 18: Qualitätskennzahlen Versuchsplan 1

	L*	a*	b*	Craft Knife R max. Kraft [N]	Craft Knife M max. Kraft [N]	Tensile Rig max. Kraft [N]	Extenso-gramm max. Weg [mm]	Extenso-gramm max. Kraft [N]	Gesamt-eindruck Sensorik
p- Wert	**0,02**	0,07	0,29	0,76	**0,04**	**0,04**	0,72	0,45	**0,02**
Standard-fehler	1,66	1,36	2,63	21,18	7,30	2,35	11,13	2,51	0,72
R^2 [%]	69,34	52,94	30,32	7,53	61,54	60,23	8,98	20,29	65,52

Die Ergebnisse des ersten Versuchsplans werden in den folgenden Abschnitten diskutiert.

L*a*b* Werte

Bei den L*a*b*-Werten zeigte nur der L*-Wert eine statistische Signifikanz (Tab. 18). Der b*-Wert zeigte nicht nur einen höheren p-Wert, sondern auch das niedrige Bestimmtheitsmaß von 30,3 %. Dem gegenüber stand das relativ hohe Bestimmtheitsmaß von 69,3 % beim signifikanten L*-Wert. Die Helligkeit des Pizzateiges ließ sich am besten mit Vegacon 90 steuern (Tab. 18, Abb. 34), wohingegen Nutralys den stärksten Einfluss bei den rot/grün bzw. blau/gelb Nuancen hatte (Abb. 35).

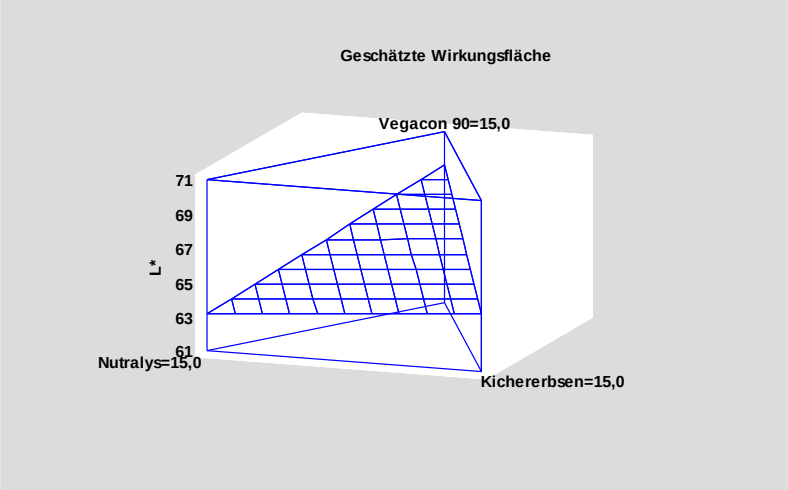

Abb. 34: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf den L*- Wert im Versuchsplan 1

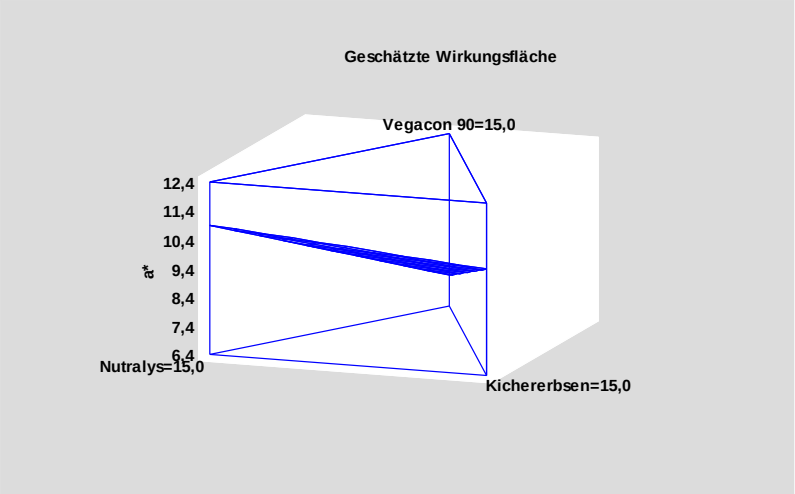

Abb. 35: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf den a*-Wert im VP 1

Craft Knife Rand

Bei einem sehr niedrigen Bestimmtheitsmaß von 7,5 % lieferte diese Analyse auch keinen signifikanten p-Wert (Tab. 18).

Das Sojaproteinisolat Vegacon 90 beeinflusste die Textur des Pizzarandes am besten (Abb. 36), um so möglichst nahe an die Referenzwerte des Weizenteiges zu kommen.

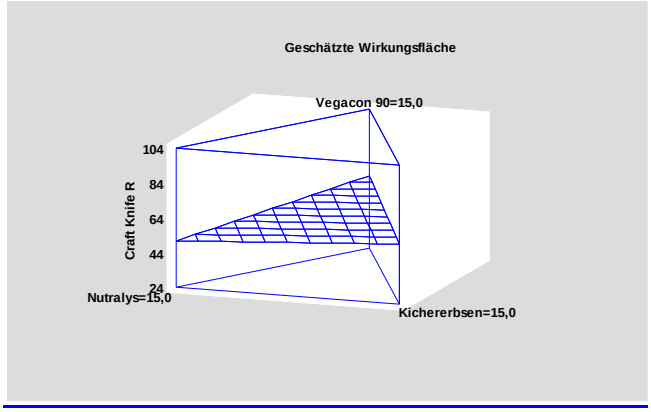

Abb. 36: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf die Kraft am Pizzarand im VP 1

Craft Knife Mitte

Die Analyse des Kraftaufwandes beim Durchschneiden der Pizza in der Mitte zeigte einen signifikanten p-Wert von 0,04. Das heißt, dass die Unterscheidung eindeutig war. Das hohe Bestimmtheitsmaß nahm den Wert 61,5 % an (Tab. 18).

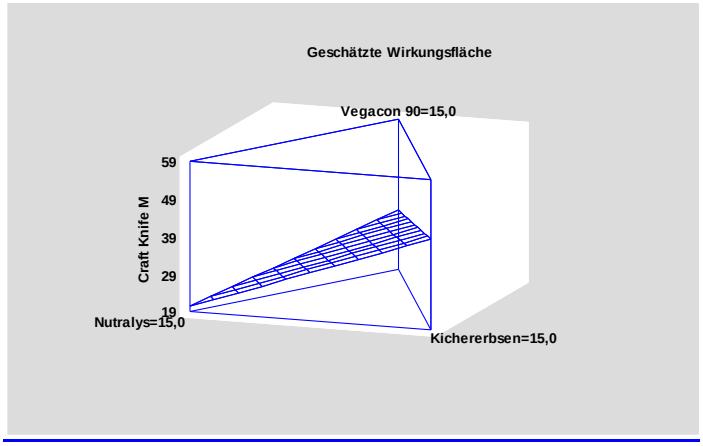

Abb. 37: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf den Kraftaufwand in der Mitte des Pizzateiges im VP 1

Die geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle in Abb. 37 zeigt, dass die Beschaffenheit der Pizzamitte hauptsächlich vom Kichererbsenmehl beeinflusst wurde. Verglichen mit dem Ergebnis von Craft Knife Rand lässt sich schlussfolgern, dass Vegacon 90 hauptsächlich den Pizzarand beeinflusste und in der Mitte der Pizza überwiegend Kichererbsenmehl wirkte.

Tensile Rig

Die Simulation des Beiß- bzw. Reißvorgangs ergab wiederrum einen signifikanten p-Wert von 0,04 und ein hohes Bestimmtheitsmaß 60,23 % (Tab. 18).

Vegacon 90 zeichnete sich auch hier verantwortlich dafür den Pizzateig am meisten positiv zu beeinflussen (Abb. 38).

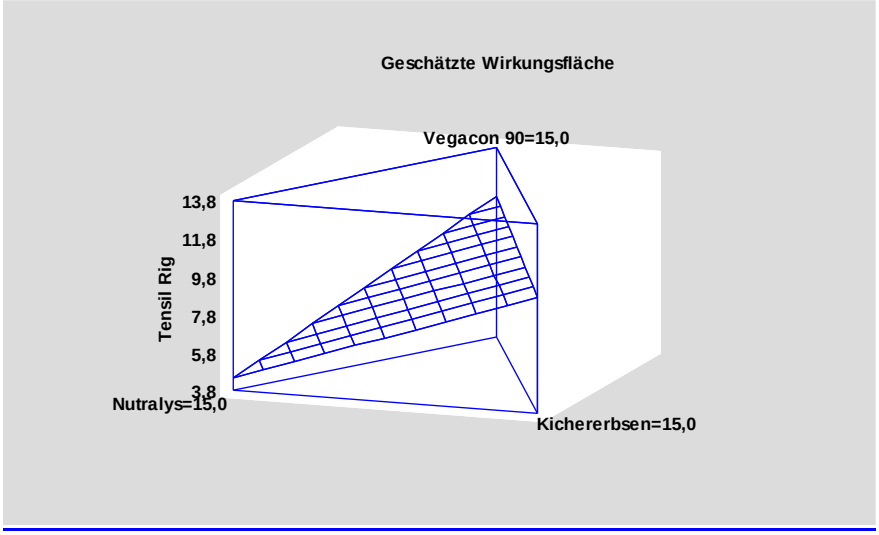

Abb. 38: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf die Analyse mittels Tensile Rig im VP1

Extensogramm Weg und Extensogramm Kraft

Bei Extensogramm Weg konnte kein signifikanter p-Wert festgestellt werden, bei Extensogramm Kraft betrug der p-Wert ebenfalls über 0,05. Die Bestimmtheitsmaße betrugen knapp 9 % bzw. 20,3 % (Tab. 18).

Die Teigeigenschaften wurden maßgeblich von Nutralys beeinflusst, wie die folgenden Wirkungsflächen verdeutlichen (Abb. 38 und 39).

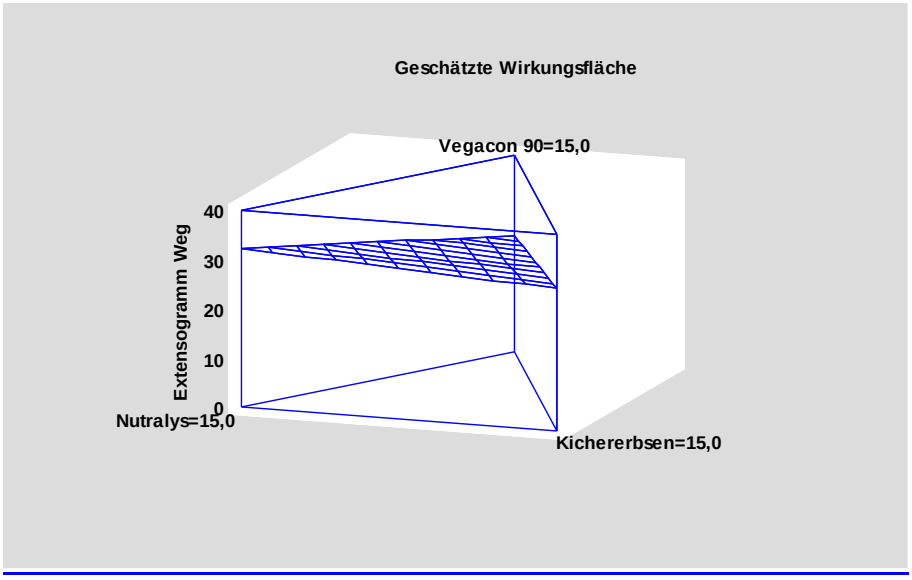

Abb. 39: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf den benötigten Weg bis zum Reißen des Teiges im VP 1

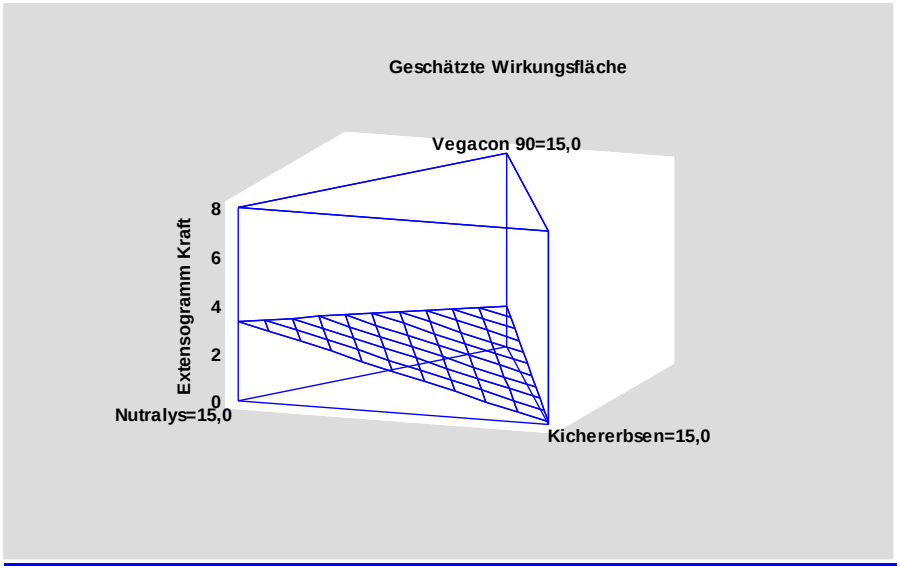

Abb. 40: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf die Kraft, gegen die Längsausdehnung in VP 1

Gesamteindruck Sensorik

Beim Gesamteindruck Sensorik zeigten sich ein signifikanter p-Wert und ein hohes Bestimmtheitsmaß von 65,5 % (Tab. 18).

Das Hauptaugenmerk wurde bei dieser Analyse auf die Maximierung des sensorischen Gesamteindrucks gelegt, da dieser letztendlich ein entscheidendes Kriterium beim Kauf einer Ware darstellt. Aus diesem Grund wurde dieser

Parameter auch mit den höchsten Wertepunkten bei den Analyseoptionen versehen. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass das Erbsenproteinisolat Nutralys starken Einfluss auf den Geschmack des glutenfreien Pizzateiges nahm (Abb. 41).

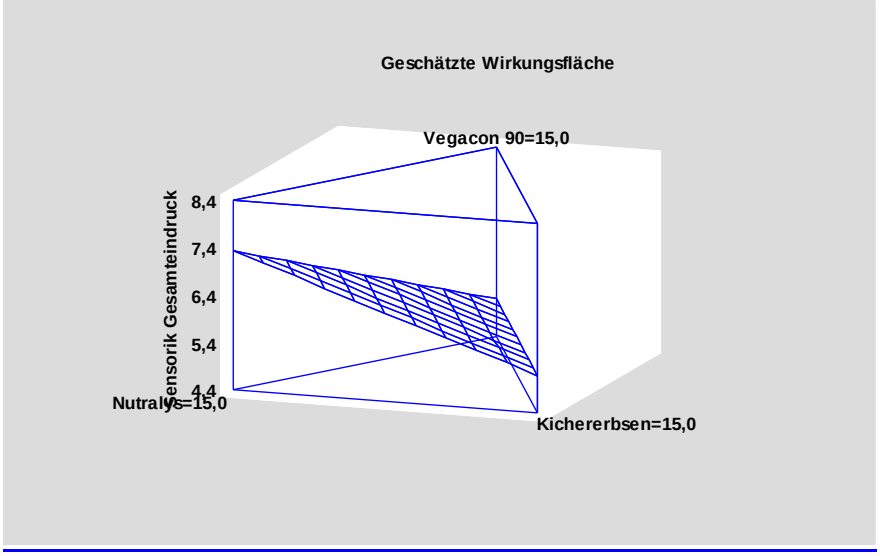

Abb. 41: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf den sensorischen Gesamteindruck im VP1

Mehrgrößenoptimierung

Anschließend an die Zielgrößenoptimierung wurde eine Mehrgrößenoptimierung durchgeführt. Mithilfe dieser Mehrgrößenoptimierung konnte, unter Berücksichtigung der signifikanten Ergebnisse des Versuchsplans, eine optimale Rezeptur zusammengestellt werden (Tab. 19).

Tab. 19: optimale Proteinmengen nach Mehrgrößenoptimierung im VP1

Faktor	unten	oben	Optimum
Vegacon 90	0,00	15,00	0,00
Nutralys	0,00	15,00	3,26
Kichererbsen	0,00	15,00	11,74

Da die Bedeutung bei Craft Knife M mit „4“ und bei Gesamteindruck Sensorik mit „5“ sehr hoch gewichtet wurden, hatten diese signifikanten Werte der Analysen bei der Generierung der optimalen Rezeptur hohe Relevanz. Dadurch lässt sich der Wegfall von Vegacon 90 aus der optimalen Rezeptur erklären. Mit dem Protein aus Kichererbsenmehl konnten mit der optimalen Rezeptur die besten Ergebnisse für

die Eigenschaften der Mitte der Pizza erreicht werden und Nutralys optimierte nicht nur die Oberflächenfarbe des Teiges, sondern auch die Eigenschaften des rohen Teiges sowie den sensorischen Geschmack.

Nach Berechnung der tatsächlichen Proteinmehleinwaagen ergab sich folgende optimale Rezeptur des ersten Versuchsplans:

optimale Rezeptur VP1	
	Einwaage [g]
Buchweizenmehl	88,20
Buchweizen extrudiert	29,40
Reismehl weiß	88,20
Reisvollkornmehl	140,30
Maismehl extrudiert	12,50
Guarkernmehl	15,00
Vegacon 90	0,00
Nutralys	3,68
Kichererbsenmehl	59,57
Hefe	10,00
Zucker	8,40
Salz	8,00
Öl	19,00
Wasser	258,93

Abb. 42: Optimale Rezeptur VP1

Dieses Optimum vom ersten Versuchsplan wurde im Doppelansatz gebacken und sowohl mit den theoretischen Werten von Statgraphics als auch mit den Parametern des Weizenpizzateiges verglichen.

Tab. 20 zeigt, dass die Realisierung der optimalen Rezepturen größtenteils funktionierte. Größere Unterschiede sind bei den Parametern Craft Knife Mitte und Rand sowie Extensogramm Weg erkennbar. Bei den L*a*b*-Werten konnte eine sehr gute Übereinstimmung der theoretisch berechneten Werte mit den in der Praxis umgesetzten erreicht werden. Die Simulation des Beiß-bzw. Reißvorganges mittels Tensile Rig konnte beim tatsächlich gebackenen Teig mit einem Wert von 8,8 N den theoretischen Wert von 8,7 N beinahe gänzlich erreichen. Auch der sensorische Gesamteindruck gleicht dem computergenerierten Wert.

Viel größer sind die Unterschiede allerdings, wenn der Weizenreferenzteig zum Vergleich herangezogen wird. Bei den Oberflächenfarbwerten muss berücksichtigt werden, dass die glutenfreie Pizzateigmischung beispielsweise Buchweizenmehl enthält, welches von Natur aus eine dunklere Farbe aufweist als Weizenmehl. Bei der Kraft die zum Durchschneiden des Pizzarandes nötig war, konnten gravierende Unterschiede festgestellt werden. Beim glutenfreien Teig war ein um fast 36 N höherer Kraftaufwand zum Zerteilen des Randes nötig als beim Weizenrand. Im Kontrast dazu steht die Mitte des Pizzateiges. Hier konnte das theoretische Optimum übertroffen und dem Referenzwert besser angepasst werden, was auf die Proteine im Kichererbsenmehl zurückzuführen ist.

Wie erwartet zeigte auch die Dehnbarkeit des glutenfreien Teiges eine deutlich geringere Belastbarkeit, als der glutenhältige Teig.

Weiters hoch gewichtet war der sensorische Eindruck des Produkts. Dem Weizenpendant weit unterlegen, zeigte das gebackene glutenfreie Produkt allerdings eine gute Korrelation mit der Theorie.

Tab. 20: Gegenüberstellung der theoretischen und praktischen Ergebnisse des Optimums mit Weizenpizzateig im VP1

Zielgröße	Optimum 1 glutenfrei Theorie	Optimum 1 glutenfrei Praxis	Weizenteig
L*	64,10	64,21	64,51
a*	10,27	10,08	11,91
b*	25,95	24,71	31,29
Craft Knife R [N]	56,83	67,47	31,62
Craft Knife M [N]	38,16	45,86	46,54
Tensile Rig [N]	8,73	8,79	11,28
Extensogramm Weg [mm]	29,65	33,39	51,31
Extensogramm Kraft [N]	0,80	0,33	0,80
Sensorik Gesamteindruck	5,65	5,4	7,2

Diskussion

Das Ziel des ersten Versuchsplans, eine ideale Proteinmehlkombination zu finden, konnte im Zuge der praktischen Arbeit und der statistischen Auswertung erreicht werden.

Herausstechend aufgrund der Ergebnisse ist der positive Einfluss von Nutralys auf den Pizzateig. Das Erbsenproteinisolat brachte die besten Ergebnisse bei der Oberflächenfarbe (a*- und b*-Wert), bei den Eigenschaften des rohen Teiges und bei der sensorischen Gesamtbewertung. In Kombination mit den anderen beiden Proteinmehlen, wie dies bei Versuchspunkt 3 der Fall war, konnten die Oberflächenfarben allerdings am besten optimiert werden. Bei den Backversuchen 2 und 9, welche ident waren, wurde Nutralys als alleiniges Proteinmehl eingesetzt. Diese Pizzastücke wurden geschmacklich mit 7,0 bzw. 7,8 am besten bewertet.

Statistisch signifikante Ergebnisse lieferte das Kichererbsenmehl und Vegacon 90. Interessanterweise wurde Vegacon 90 trotz der höheren Gewichtung, beispielsweise bei der Analyse mittels Tensile Rig, aus der optimalen Rezeptur von STATGRAPHICS Centurion XVI gestrichen.

Kichererbsenmehl wurde in der optimalen Rezeptur mengenmäßig am meisten eingesetzt, da diese Proteine die Beschaffenheit der Pizzamitte am besten optimieren konnten. Dadurch wurde eine Pizza ohne Gluten gebacken, bei der der Kraftaufwand zum Durchschneiden der Pizza mit 45,9 N, dem Kraftaufwand beim Durchschneiden einer Weizenpizza (46,5 N) am nächsten kam. Bei Backversuch 10 zeigte sich allerdings, dass der alleinige Einsatz von Kichererbsenmehl negative Auswirkungen auf den sensorischen Eindruck der Pizza lieferte. Dieser Versuch schnitt in diesem Versuchsplan bezüglich des Geschmackes am schlechtesten ab.

Die geringe Dehnbarkeit eines glutenfreien Teiges konnte auch Nutralys nicht aufheben, allerdings konnte mit einer Mehlkombination von Nutralys und Kichererbsenmehl die Elastizität am besten optimiert werden.

8.4 Versuchsplan 2 – „Ermittlung des Einflusses von glutenfreier Weizenstärke auf die optimale Rezeptur“

Das Ziel des zweiten Versuchsplans war es, herauszufinden, ob glutenfreie Weizenstärke die Ergebnisse der Analysen des ersten Versuchsplans maßgeblich beeinflussen würde.

Dazu wurde der Mischungsplan (Tab. 13) aus dem ersten Versuchsplan übernommen und das Reismehl weiß durch glutenfreie Weizenstärke ersetzt (Tab. 21). Die Teigfeuchte und die Proteinmengen wurden neu ermittelt.

Tab. 21: Basisrezeptur glutenfreier Teig aus VP2

	Einwaage [g]
Buchweizenmehl	88,20
Buchweizen extrudiert	29,40
Weizenstärke glutenfrei	88,20
Reisvollkornmehl	140,30
Maismehl extrudiert	12,50
Guarkernmehl	15,00
Summe fixe Bestandteile	**373,6**

In Tab. 22 sind die Ergebnisse des zweiten Versuchsplans übersichtlich dargestellt.

Tab. 22: Ergebnisse Versuchsplan 2

Versuchs-punkt	Vegacon 90 Protein [g]	Nutralys Protein [g]	Kichererbsen Protein [g]		L*	a*	b*	Craft Knife R max. Kraft [N]	Craft Knife M max. Kraft [N]	Tensile Rig max. Kraft [N]	Extensogramm max. Weg [mm]	Extensogramm max. Kraft [N]	Gesamteindruck Sensorik
4	7,5	0	7,5	**x**	**64,20**	**11,43**	**28,48**	**72,88**	**34,62**	**7,87**	**30,56**	**0,21**	**4,40**
				σ	4,88	3,71	2,02	25,62	9,85	1,75	1,32	0,02	
				VK	7,61	32,45	7,08	35,16	28,47	22,25	4,31	8,58	
5	0	0	15	**x**	**65,72**	**11,39**	**26,78**	**55,13**	**43,14**	**11,54**	**28,34**	**0,21**	**5,60**
				σ	3,92	2,26	1,50	16,22	14,80	2,72	1,08	0,03	
				VK	5,97	19,82	5,62	29,43	34,30	23,53	3,80	12,27	
8	15	0	0	**x**	**68,63**	**9,11**	**26,22**	**74,39**	**55,82**	**9,77**	**26,34**	**0,31**	**5,80**
				σ	1,31	1,46	1,16	29,71	10,80	3,16	1,47	0,03	
				VK	1,92	16,06	4,43	39,94	19,35	32,31	5,58	11,31	
7	7,5	7,5	0	**x**	**71,73**	**7,06**	**22,49**	**63,17**	**51,79**	**14,93**	**29,83**	**0,29**	**5,80**
				σ	1,13	0,51	0,91	24,17	11,70	2,97	0,85	0,04	
				VK	1,57	7,26	4,04	38,27	22,59	19,88	2,84	12,24	
3	5	5	5	**x**	**62,33**	**12,35**	**26,71**	**53,81**	**58,47**	**11,12**	**34,04**	**0,14**	**6,20**
				σ	32,27	9,54	11,71	20,57	16,70	10,16	13,31	5,02	
				VK	51,78	77,26	43,86	38,23	28,56	91,36	39,10	3583,19	
1	0	7,5	7,5	**x**	**65,35**	**9,77**	**25,68**	**47,73**	**33,22**	**9,19**	**33,56**	**0,20**	**6,20**
				σ	2,04	1,96	1,91	20,02	7,75	2,57	3,51	0,01	
				VK	3,12	20,04	7,42	41,94	23,32	27,94	10,46	4,00	
2	0	15	0	**x**	**69,33**	**10,02**	**26,45**	**66,45**	**56,05**	**13,68**	**30,40**	**0,33**	**5,00**
				σ	1,96	1,68	2,01	17,82	10,96	1,90	0,77	0,04	
				VK	2,83	16,81	7,60	26,81	19,56	13,87	2,54	12,51	
6	15	0	0	**x**	**65,49**	**8,75**	**24,81**	**62,08**	**27,15**	**6,72**	**27,63**	**0,22**	**6,00**
				σ	1,86	1,84	2,05	22,31	9,58	1,80	0,50	0,01	
				VK	2,84	20,99	8,27	35,94	35,28	26,82	1,79	6,08	
9	0	15	0	**x**	**69,30**	**9,14**	**25,41**	**57,06**	**69,30**	**14,59**	**31,32**	**0,33**	**4,40**
				σ	0,97	1,21	1,41	22,21	7,74	2,63	0,94	0,02	
				VK	1,40	13,23	5,54	38,93	11,16	18,04	2,99	6,92	
10	0	0	15	**x**	**60,97**	**12,42**	**26,79**	**39,22**	**58,53**	**14,15**	**34,41**	**0,16**	**6,20**
				σ	4,83	2,70	2,66	12,39	10,64	5,01	1,88	0,01	
				VK	7,92	21,74	9,93	31,59	18,19	35,42	5,46	6,37	

Tab. 23 zeigt eine Übersicht, aus der hervorgeht, wie sich die Proteinmehle bei der neuen Basismehlmischung verhalten und welches Proteinmehl welchen Parameter am besten beeinflusste und zum optimalen Ergebnis führte. Hier wird deutlich, dass im Vergleich zu Versuchsplan 1 das Kichererbsenmehl in Kombination mit glutenfreier Weizenstärke den Pizzateig öfter am optimalsten beeinflusste. Die Proteinangaben mussten wieder auf die tatsächliche Proteinmenge umgerechnet werden.

Tab. 23: Einfluss der Proteinmehle im VP2

	Vegacon 90 Protein [g]	Nutralys Protein [g]	Kichererbsen-mehl Protein [g]
L*	0	15	0
a*	0	0	15
b*	0	0	15
Kraft R	15	0	0
Kraft M	0	15	0
Tensile Rig	0	15	0
Extensogramm Weg	0	0	15
Extensogramm Kraft	15	0	0
Gesamteindruck Sensorik	0	0	15

Weiters wurden die Qualitätskennzahlen erhoben, um eine Aussage über die Versuchsplanauswertung treffen zu können. In Tab. 24 sind diese tabellarisch dargestellt, es waren keine signifikanten p-Werte vorhanden.

Tab. 24: Qualitätskennzahlen VP2

	L*	a*	b*	Craft Knife R max. Kraft [N]	Craft Knife M max. Kraft [N]	Tensile Rig max. Kraft [N]	Extensogramm max. Weg [mm]	Extensogramm max. Kraft [N]	Gesamt-eindruck Sensorik
p- Wert	0,06	0,09	0,42	0,08	0,10	0,09	0,39	0,26	0,52
Standard-fehler	2,49	1,37	1,62	8,61	11,32	2,42	2,30	0,28	0,73
R^2 [%]	55,90	49,13	22,02	50,92	48,52	50,39	23,39	31,85	16,89

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse des Versuchsplans 2 detailliert besprochen.

L*a*b*-Werte

Bei den L*a*b*-Werten zeigte keines der Ergebnisse einen statistisch signifikanten p-Wert (Tab. 24). Die L*- und a*-Werte wiesen relativ hohe Bestimmtheitsmaße mit 55,9 % bzw. 49,1 % auf, wohingegen die Analyse vom b*-Wert lediglich ein Bestimmtheitsmaß von 22 % aufzeigte.

Abb. 43 illustriert, dass mit Nutralys, anders als im VP1, die Helligkeit des Pizzateiges am besten steuerbar war. Den stärksten Einfluss bei den rot/grün bzw. blau/gelb Nuancen hatte bei diesen Versuchen das Kichererbsenmehl.

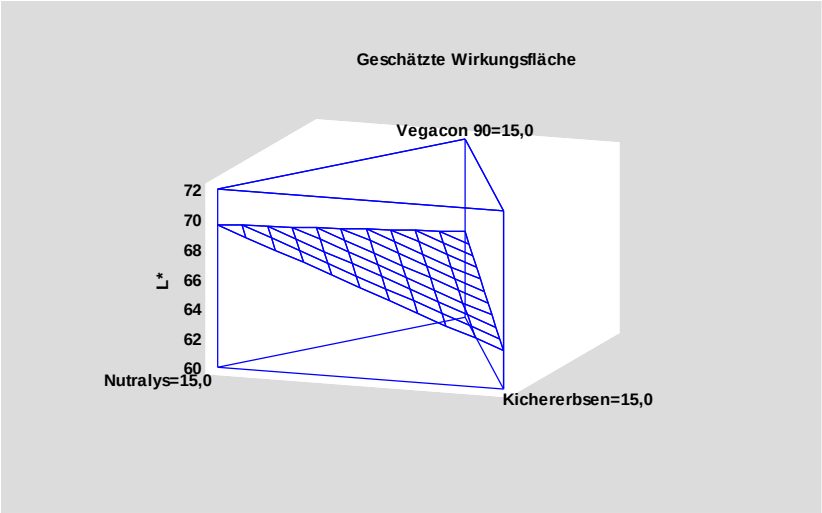

Abb. 43: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf den L*- Wert im Versuchsplan 2

Craft Knife Rand

Bei einem Bestimmtheitsmaß von 50,92 % lieferte diese Analyse auch keinen signifikanten p-Wert (Tab. 24).

Das Sojaproteinisolat Vegacon 90 beeinflusste auch im zweiten Versuchsplan die Textur des Pizzarandes am besten (Abb. 44).

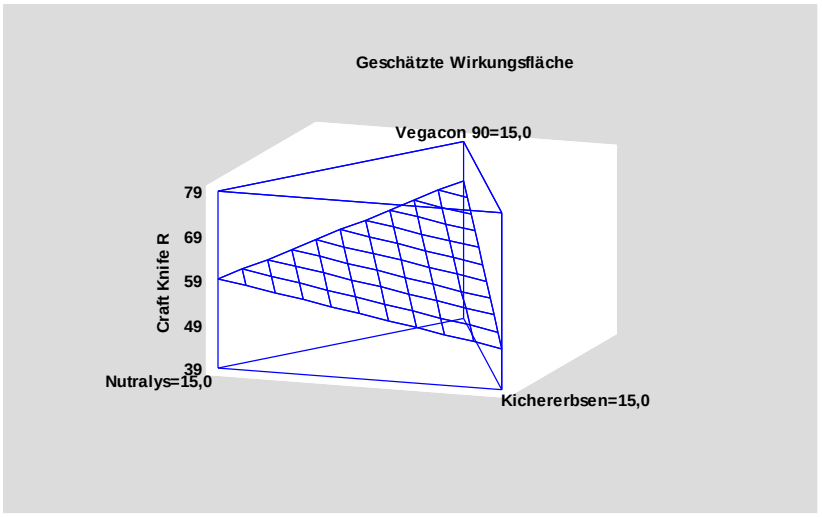

Abb. 44: : Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf die Kraft am Pizzarand im VP 2

Craft Knife Mitte

Die Analyse des Kraftaufwandes beim Durchschneiden der Pizza in der Mitte zeigte keinen signifikanten p-Wert. Das Bestimmtheitsmaß nahm einen Wert von 48,52 % an (Tab. 24).

Die geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle in Abb. 45 zeigt, dass die Beschaffenheit der Pizzamitte bei veränderter Basismehlzusammensetzung nicht wie im VP1 hauptsächlich vom Kichererbsenmehl beeinflusst wurde, sondern Nutralys die Mitte des Teiges optimierte.

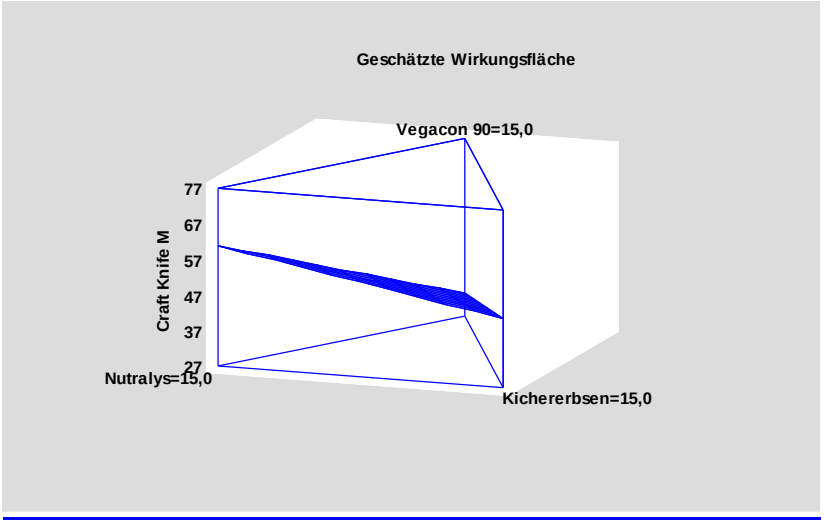

Abb. 45: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf den Kraftaufwand in der Mitte des Pizzateiges im VP 2

Tensile Rig

Die Simulation des Beiß- bzw. Reißvorganges ergab wiederum keinen signifikanten p-Wert, aber ein Bestimmtheitsmaß von 50,39 % (Tab. 24).

Nutralys zeichnete sich auch hier verantwortlich dafür, den Pizzateig am positivsten zu beeinflussen. Da die optimalen Bedingungen des Beiß- bzw. Reißvorganges höher gewichtet wurden, beeinflusste dieses Ergebnis die optimale Rezepturermittlung (Abb. 46).

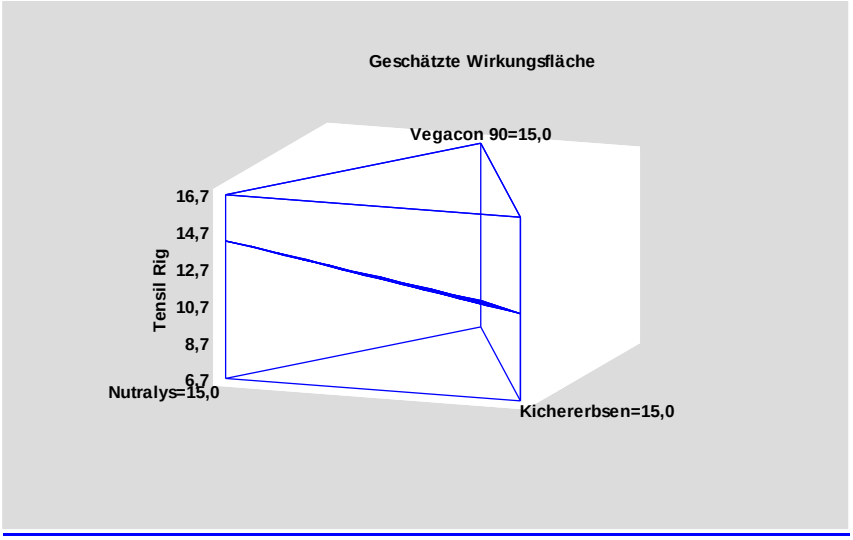

Abb. 46: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf die Analyse mittels Tensile Rig im VP2

Extensogramm Weg und Extensogramm Kraft

Bei Extensogramm Weg und Kraft konnte kein signifikanter p-Wert festgestellt werden. Die Bestimmtheitsmaße betrugen 23,39 % bzw. 31,85 % (Tab. 24).

Die Teigeigenschaften wurden hier zum einen von Proteinen im Kichererbsenmehl und zum anderen vom Sojaproteinisolat positiv beeinflusst. Abb. 47 und 48 zeigen allerdings, dass die optimierende Eigenschaft von Vegacon 90 auf die Kraft ein eindeutigeres Ergebnis lieferte, als das beim Kichererbsenmehl der Fall war.

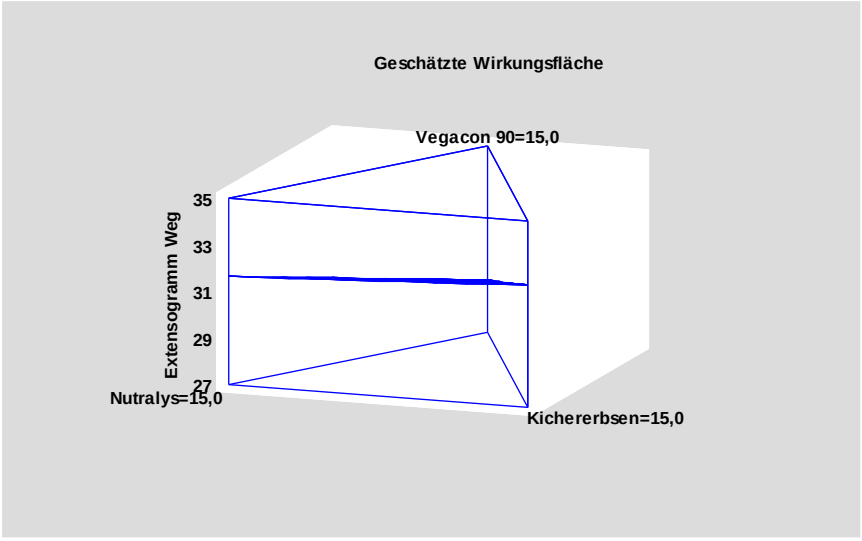

Abb. 47: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf den benötigten Weg bis zum Reißen des Teiges im VP 2

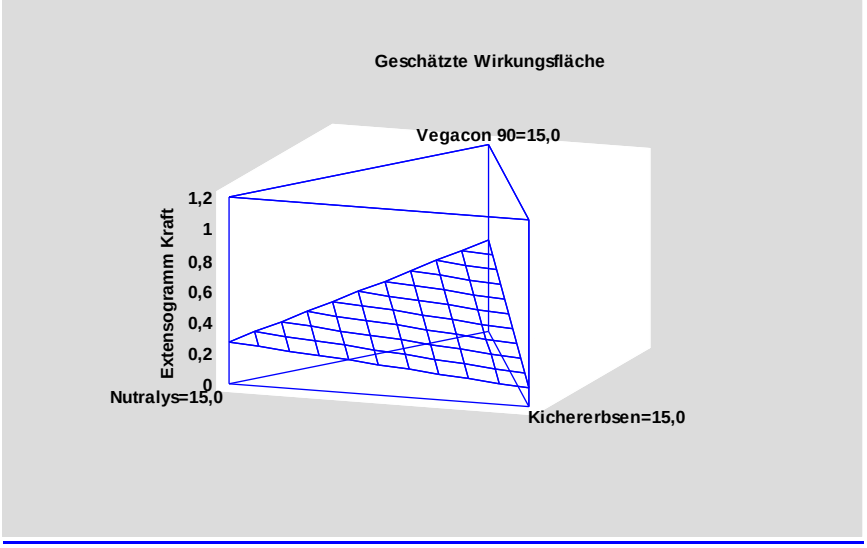

Abb. 48: Geschätzte Wirkungsfläche der Proteinmehle auf die Kraft, gegen die Längsausdehnung in VP 2

Gesamteindruck Sensorik

Ein niedriges Bestimmtheitsmaß (16,89 %) verzeichnete die Analyse des sensorischen Gesamteindrucks (Tab. 24).

Das Hauptaugenmerk wurde bei dieser Analyse auf die Maximierung des sensorischen Gesamteindrucks gelegt, da dieser letztendlich über den Kauf einer Ware bestimmt. Aus diesem Grund wurde dieser Parameter auch mit den höchsten Wertepunkten bei den Analyseoptionen versehen. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass das Kichererbsenmehl in diesem Versuchsplan starken Einfluss auf den Geschmack des glutenfreien Pizzateiges nahm (Tab. 24).

Mehrgrößenoptimierung

Anschließend an die Zielgrößenoptimierung wurde wieder eine Mehrgrößenoptimierung durchgeführt. Mithilfe dieser Mehrgrößenoptimierung konnte eine optimale Rezeptur auf Basis der Ergebnisse des zweiten Versuchsplanes zusammengestellt werden (Tab. 25).

Tab. 25: optimale Proteinmengen nach Mehrgrößenoptimierung im VP2

Faktor	unten	oben	Optimum
Vegacon 90	0,00	15,00	4,26
Nutralys	0,00	15,00	4,05
Kichererbsen	0,00	15,00	6,69

Im Gegensatz zur optimalen Rezeptur von VP1, wurde bei diesem zweiten Optimum Vegacon 90 in fast identischer Menge wie Nutralys eingesetzt. Dies lässt sich durch die Ergebnisse der Analysen der einzelnen Parameter erklären. Vegacon 90 hatte bei den höher gewichteten Parametern Craft Knife R und Extensogramm Kraft die beste optimierende Eigenschaft. Nutralys hingegen konnte sich bei Verwendung von glutenfreier Weizenstärke bei Craft Knife M, Tensile Rig und dem niedriger gewichteten Parameter L*-Wert durchsetzen. Ausschlaggebend für den Kichererbsen-Anteil im Optimum ist der Effekt auf den sensorischen Gesamteindruck.

Nach Berechnung der tatsächlichen Proteinmehleinwaagen ergab sich folgende optimale Rezeptur des zweiten Versuchsplans (Abb. 49):

optimale Rezeptur VP2	
	Einwaage [g]
Buchweizenmehl	88,20
Buchweizen extrudiert	29,40
glutenfreie Weizenstärke	88,20
Reisvollkornmehl	140,30
Maismehl extrudiert	12,50
Guarkernmehl	15,00
Vegacon 90	4,82
Nutralys	4,41
Kichererbsen	35,32

Hefe	10,00
Zucker	8,40
Salz	8,00
Öl	19,00
Wasser	248,98

Abb. 49: optimale Rezeptur VP2

Dieses Optimum vom zweiten Versuchsplan wurde im Doppelansatz gebacken und sowohl mit den theoretischen Werten von Statgraphics als auch mit den Parametern des Optimums vom ersten Versuchsplan verglichen.

Bei dieser Gegenüberstellung, welche in Tab. 26 ersichtlich ist, wird deutlich, dass auch bei diesem Versuchsplan die Umsetzung der optimalen Rezeptur von der Theorie in die Praxis gut funktionierte. Wie auch schon im ersten Versuchsplan variierten hauptsächlich die Ergebnisse der Analyse mit dem Craft Knife. Anders als im ersten Versuchsplan näherten sich die Werte der Wegmessung beim Extensogramm besser an.

Werden die beiden Optima miteinander verglichen, wird erkennbar, dass der Tausch von Reismehl mit glutenfreier Weizenstärke durchaus Auswirkungen auf das Backergebnis lieferte. Bei der Oberflächenfärbung kam es zu einer Nuancenverschiebung von grün nach rot sowie von gelb nach blau. Außerdem zeigte sich eine geringfügig hellere Färbung der Oberfläche (Tab. 26).

Eine Mehlmischung mit glutenfreier Weizenstärke kreierte darüber hinaus einen weicheren Pizzarand und einen um rund 18 N geringeren nötigen Kraftaufwand, um diesen durchzuschneiden. Die Pizzamitte hingegen erschien etwas härter, was aber auch auf die eingesetzte Menge an Nutralys zurückzuführen ist (Tab. 26).

Die Beiß- bzw. Reißfähigkeit erschien bei Optimum 2 im Vergleich zu Optimum 1 ebenfalls erschwert, wohingegen sich die Eigenschaften des rohen, fermentierten Pizzateiges nur unwesentlich voneinander unterschieden.

Hauptaugenmerk sollte hier allerdings auf der sensorischen Auswertung liegen, da das Optimum 2 hier am besten abschnitt.

Tab. 26: Gegenüberstellung der theoretischen und praktischen Ergebnisse des Optimums 2 mit Optimum 1 aus VP1 im VP2

Zielgröße	Optimum 2 glutenfrei Theorie	Optimum 2 glutenfrei Praxis	Optimum 1 aus VP1 Praxis	Weizen-referenz
L*	65,35	65,23	64,21	64,51
a*	10,58	12,72	10,08	11,91
b*	26,27	28,73	24,71	31,29
Craft Knife R	57,36	49,05	67,47	31,62
Craft Knife M	46,54	54,89	45,86	46,54
Tensile Rig	11,23	12,48	8,79	11,28
Extensogramm Weg	31,22	32,12	33,39	51,31
Extensogramm Kraft	0,29	0,24	0,33	0,80
Sensorik Gesamteindruck	5,61	5,90	5,40	7,2

Diskussion

Ziel des VP2 war es, die Auswirkungen von glutenfreier Weizenstärke auf die optimale Rezeptur des VP1 herauszufinden.

Werden die Ergebnisse der Analysen betrachtet, lässt sich erkennen, dass sich die Auswirkungen von glutenfreier Weizenstärke auf die optimale Rezeptur aus VP1 vor allem in der Schneidbarkeit der Pizza äußerten. Diese Mehlmischung bewirkte eine Abnahme der Härte des Pizzarandes und somit eine erleichterte Schneidbarkeit. Abb. 48 macht deutlich, dass Vegacon 90 den stärksten Einfluss auf den Pizzarand hatte. In Kombination mit glutenfreier Weizenstärke, konnte diese Wirkung des Sojaproteinisolats weiter verstärkt werden. Die Ergebnisse des Versuchspunktes 8 illustrieren ein um rund 16 N erleichtertes Durchschneiden des Pizzarandes bei alleinigem Einsatz von Vegacon 90. Dem gegenüber stand eine härtere Konstitution der Pizzamitte, wofür ein etwas erhörter Kraftaufwand zum Durchschneiden der Pizza nötig wurde.

Im Zuge der Auswertungen von VP2 wurde deutlich, dass im Vergleich zu VP 1, das Kichererbsenmehl in Kombination mit glutenfreier Weizenstärke weit bessere Ergebnisse lieferte. Hatte es im VP1 nur auf den Parameter Craft Knife M wesentliche Auswirkungen, optimierte es im VP2 die Pizza nicht nur bezüglich der

Oberflächenfarbe, auch die Dehnbarkeit des Teiges und den gesamtheitlich sensorischen Eindruck vermochte es zu positiv zu beeinflussen bzw. zu maximieren (Tab. 16 und 22).

Die optimierende Wirkung von Nutralys verschob sich im VP2 bei allen Parametern. Wurde dem Teig Reismehl weiß anstatt glutenfreier Weizenstärke zugegeben, zeigte das Erbsenproteinisolat bei der Oberflächenfarbe, den rohen Teigbeschaffenheiten und dem sensorischen Gesamteindruck die beste Wirkung. Bei der Teigmischung mit glutenfreier Weizenstärke allerdings, konnte Nutralys die Helligkeit des Teiges optimieren und den Kraftaufwand der beim Durchschneiden der Pizzamitte und beim Abbeißen eines Pizzastückes nötig war, regulieren. Bei alleinigem Einsatz von Nutralys (Versuchspunkt 2) zeigte sich, dass Nutralys die Textureigenschaften der Pizzamitte stabilisieren konnte und so näher dem Referenzwert kam.

8.5 Vergleich der Versuchspläne

Zum statistischen Vergleich der Versuchspläne 1 und 2 wurden die einzelnen Versuchspunkte, bei denen die gleiche Proteinmehlmenge vorgesehen war, mittels t-Test gegenübergestellt. So konnte festgestellt werden, ob es signifikante Unterschiede zwischen den beiden Versuchsplänen gab.

Zum besseren Überblick wurden die Ergebnisse der Versuchspläne noch einmal tabellarisch zusammengefasst (Tab. 27):

Tab. 27: Zusammenfassung Ergebnisse aus VP1 und VP2

Back-vers.	Vegacon 90 Protein [g]	Nutralys Protein [g]	Kicher-erbsen Protein [g]		L*	a*	b*	Craft Knife R max. Kraft [N]	Craft Knife M max. Kraft [N]	Tensile Rig max. Kraft [N]	Extenso-gramm max. Weg [mm]	Extenso-gramm max. Kraft [N]	Gesamtein-druck Sensorik
4	7,5	0	7,5	VP1	64,57	7,78	19,69	40,68	32,64	9,76	0,00	0,00	4,60
				VP2	64,20	11,43	28,48	72,88	34,62	7,87	30,56	0,21	4,40
5	0	0	15	VP1	66,29	8,94	24,82	45,64	48,78	11,26	36,57	0,18	6,40
				VP2	65,72	11,39	26,78	55,13	43,14	11,54	28,34	0,21	5,60
8	15	0	0	VP1	70,31	6,40	20,90	58,02	39,68	13,34	27,23	0,33	5,80
				VP2	68,63	9,11	26,22	74,39	55,82	9,77	26,34	0,31	5,80
7	7,5	7,5	0	VP1	67,49	9,57	24,94	62,04	29,69	6,63	29,89	6,63	6,20
				VP2	71,73	7,06	22,49	63,17	51,79	14,93	29,83	0,29	5,80
3	5	5	5	VP1	64,71	11,17	26,46	73,41	25,61	4,95	31,86	4,95	6,20
				VP2	62,33	12,35	26,71	53,81	58,47	11,12	34,04	0,14	6,20
1	0	7,5	7,5	VP1	64,33	9,61	25,84	24,26	19,38	5,07	35,18	0,18	5,80
				VP2	65,35	9,77	25,68	47,73	33,22	9,19	33,56	0,20	6,20
2	0	15	0	VP1	61,17	11,84	27,77	55,72	22,50	7,75	31,08	0,25	7,00
				VP2	69,33	10,02	26,45	66,45	56,05	13,68	30,40	0,33	5,00
6	15	0	0	VP1	68,40	8,25	25,97	76,59	33,96	11,20	30,71	0,31	4,80
				VP2	65,49	8,75	24,81	62,08	27,15	6,72	27,63	0,22	6,00
9	0	15	0	VP1	64,36	9,59	25,39	53,21	25,61	3,89	28,69	3,89	7,80
				VP2	69,30	9,14	25,41	57,06	69,30	14,59	31,32	0,33	4,40
10	0	0	15	VP1	63,51	11,65	28,58	92,33	49,11	11,23	30,93	0,16	4,40
				VP2	60,97	12,42	26,79	39,22	58,53	14,15	34,41	0,16	6,20

Um die signifikanten Abweichungen darzustellen, wurden die p-Werte des t-Tests zusammengefasst. Hier wurden gleiche Versuchspunkte (also dieselbe Rezeptur) der Einfachheit halber zusammengeführt und die signifikanten p-Werte hervorgehoben (Tab. 28). In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse des t-Tests diskutiert.

Tab. 28: p-Werte des t-Tests für den Vergleich der beiden Versuchspläne

Back-vers.	L*	a*	b*	Craft Knife R max. Kraft [N]	Craft Knife M max. Kraft [N]	Tensile Rig max. Kraft [N]	Extenso-gramm max. Weg [mm]	Extenso-gramm max. Kraft [N]	Gesamtein-druck Sensorik
1	0,20	0,83	0,81	**0,01**	**0,00**	**0,00**	0,23	**0,02**	0,83
2+9	**0,00**	**0,05**	0,24	0,28	**0,00**	**0,00**	**0,02**	**0,00**	0,26
3	**0,04**	0,15	0,76	**0,04**	**0,00**	**0,00**	0,14	**0,00**	1,00
4	0,80	**0,00**	**0,00**	**0,00**	0,63	0,12	-	-	0,64
5+10	0,15	**0,03**	0,91	**0,01**	0,63	0,15	**0,03**	0,10	0,56
6+8	**0,00**	**0,00**	**0,02**	0,92	0,37	**0,00**	0,85	**0,00**	0,49
7	**0,00**	**0,00**	**0,00**	0,90	**0,00**	**0,00**	0,85	**0,00**	**0,01**

Versuchspunkt 1

Für den ersten Versuchspunkt wurde bei beiden Versuchsplänen eine Proteinmehlkombination von 7,5 g Nutralysprotein und 7,5 g Kichererbsenmehlprotein mittels STATGRAPHICS Centurion XVI erstellt (Tab. 29).

Tab. 29: Proteinmehlkombination Versuchspunkt 1

Back-versuch	Vegacon 90 Protein [g]	Nutralys Protein [g]	Kicher-erbsen Protein [g]
1	0	7,5	7,5

Bei diesem Vergleich ergaben sich signifikante p-Werte hinsichtlich der Parameter Craft Knife R und M, Tensile Rig und Extensogramm Kraft (Tab. 28). Daraus folgt, dass sich die beiden Rezepturen statistisch signifikant in diesen Parametern unterscheiden. Die Darstellung mittels Box-Whisker-Plot bei Parameter Craft Knife M verdeutlicht dies nochmals (Abb. 50).

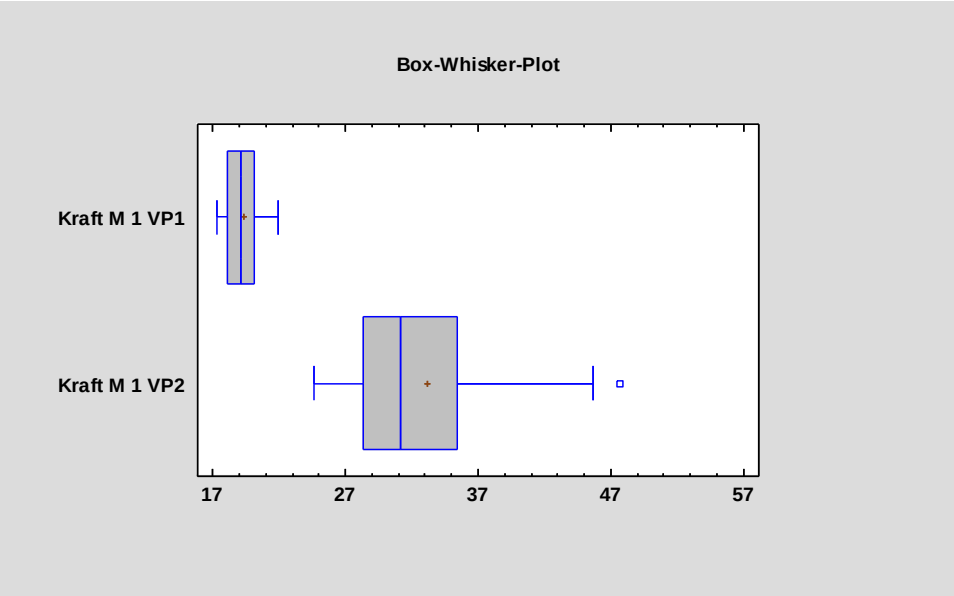

Abb. 50: Box-Whisker-Plot des Craft Knife M bei Versuchspunkt 1 beider Versuchspläne

Aus Tab. 27 geht hervor, dass die max. Kraft, die zum Durchschneiden der Pizza notwendig war, durch die glutenfreie Weizenstärke sowohl beim Rand als auch in der Mitte anstieg. Am Rand musste ein um rund 23 N und in der Mitte ein um rund 14 N höherer Kraftaufwand getätigt werden. Darüber hinaus musste auch bei der Simulation des Beiß-und Reißvorgangs der Kraftaufwand erhöht werden.

Versuchspunkt 2 und 9

Der zweite Versuchspunkt entspricht dem neunten Versuchspunkt. Hier wurde bei beiden Versuchsplänen Nutralys als alleiniges Proteinmehl eingesetzt (Tab. 30).

Tab. 30: Proteinzugabe Versuchspunkt 2

Back-versuch	Vegacon 90 Protein [g]	Nutralys Protein [g]	Kicher-erbsen Protein [g]
2 + 9	0	15	0

Signifikante p-Werte lieferte der t-Test bei L*- und a*-Wert, Craft Knife M, Tensile Rig und Extensogramm Kraft und Weg. Bei diesem Backversuch gab es

also nur bei den blau/gelb Nuancen und Craft Knife R keine eindeutigen Unterschiede zwischen den beiden Rezepturen. Die Helligkeit nahm bei dem Teig mit glutenfreier Weizenstärke zu und die Farbwerte verschoben sich von rot nach grün.

Einen deutlichen Unterschied stellt der Parameter Craft Knife M (Abb. 51) dar. Die Analysen zeigten, dass die Verwendung von glutenfreier Weizenstärke bei alleinigem Einsatz von Erbsenproteinisolat zu einem mehr als doppelt so hohen Kraftaufwand beim Durchschneiden der Pizzamitte führte (vgl. Tab. 27).

Auch bei der Analyse mittels Tensile Rig zeigte sich bei diesem Backversuch, dass bei der Rezeptur mit Reismehl nur die Hälfte der max. Kraft aufgewendet werden musste. Die Gesamtbewertung des Geschmacks ergab mit glutenfreier Weizenstärker bei 15 g reinem Nutralysprotein eine Verschlechterung von 7 auf 5.

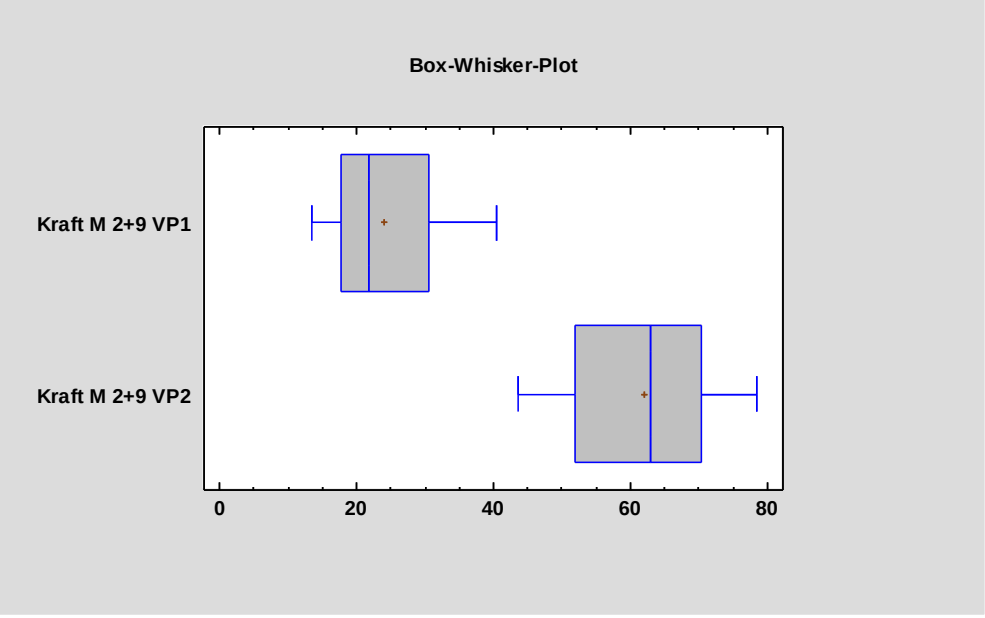

Abb. 51: Box-Whisker-Plot Craft Knife M bei Versuchspunkt 2

Versuchspunkt 3

Beim dritten Versuchspunkt wurden die Proteinmehle zu gleichen Teilen dem Pizzateig hinzugefügt (Tab. 31):

Tab. 31: Proteinzugabe Versuchspunkt 3

Back-versuch	Vegacon 90 Protein [g]	Nutralys Protein [g]	Kicher-erbsen Protein [g]
3	5	5	5

Bei der gleichwertigen Verwendung der Proteinmehle konnten wieder signifikante p-Werte ermittelt werden (Tab. 28). Diese zeigten sich bei der Helligkeit der Oberflächenfarbe, Craft Knife R, M, Tensile Rig und Extensogramm Kraft.

Bei dieser Mehlkombination zeigten sich die größten Unterschiede bei den Parametern Craft Knife M, R und Tensile Rig (Tab. 27). Wurden die drei Proteinmehle mit glutenfreier Weizenstärke kombiniert, wurde zwar der Pizzarand weicher, allerdings wurde die Pizzamitte härter und folglich war auch mehr Kraft zum Abbeißen eines Pizzastückes notwendig.

Herausstechend ist die Veränderung der maximalen Kraft gegen die Längsausdehnung bei rohem Teig (Abb. 52). Wird Reismehl eingesetzt, wurden 4,95 N max. Kraft gemessen. Hingegen wurde bei glutenfreier Weizenstärke ein Wert von 0,14 N verzeichnet (Tab. 27).

Die sensorische Gesamtbewertung verlief bei beiden Rezepturen gleich.

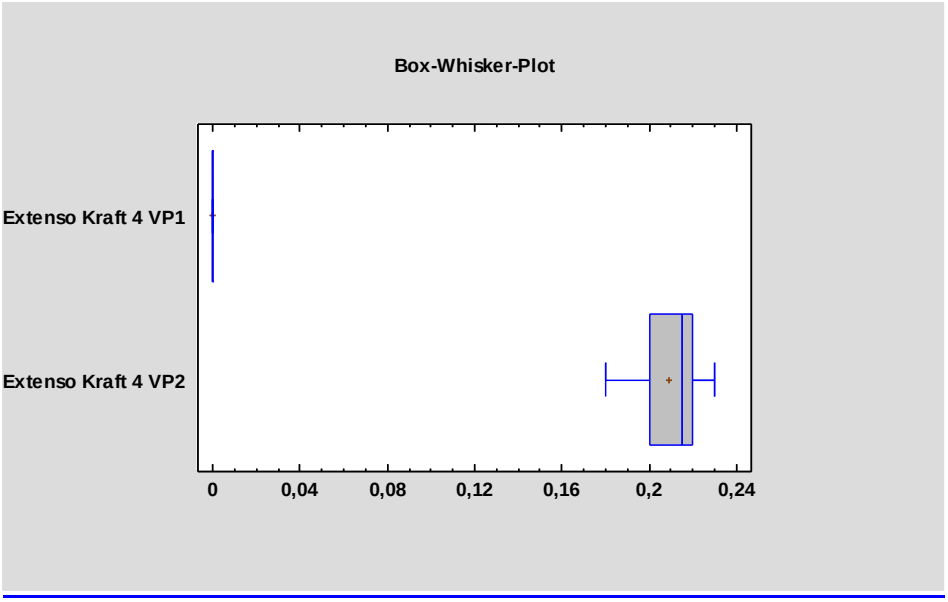

Abb. 52: Box-Whisker-Plot Extensogramm Kraft bei Versuchspunkt 3

Versuchspunkt 4

Die restliche Proteinmenge wurde beim vierten Versuchspunkt auf das Sojaproteinisolat und das Kichererbsenprotein aufgeteilt (Tab. 32).

Tab. 32: Proteinzugabe Versuchspunkt 4

Back-versuch	Vegacon 90 Protein [g]	Nutralys Protein [g]	Kicher-erbsen Protein [g]
4	7,5	0	7,5

Laut Tab. 29 konnten bei diesem Versuchspunkt drei signifikante p-Werte ermittelt werden: a*- und b*Werte und Craft Knife R. Die anderen Parameter lieferten keine Signifikanz in ihren Ergebnissen.

Hinsichtlich der Farbgebung des Pizzateiges schneidet bei diesem Versuch die Kombination mit glutenfreier Weizenstärke besser ab als die mit Reismehl. Die a* und b* Werte wurden durchwegs erhöht und so näher dem Referenzwert angepasst. Mit Reismehl hingegen konnte bezüglich der Schneidbarkeit des Pizzateiges ein besseres Ergebnis erzielt werden (Abb. 53).

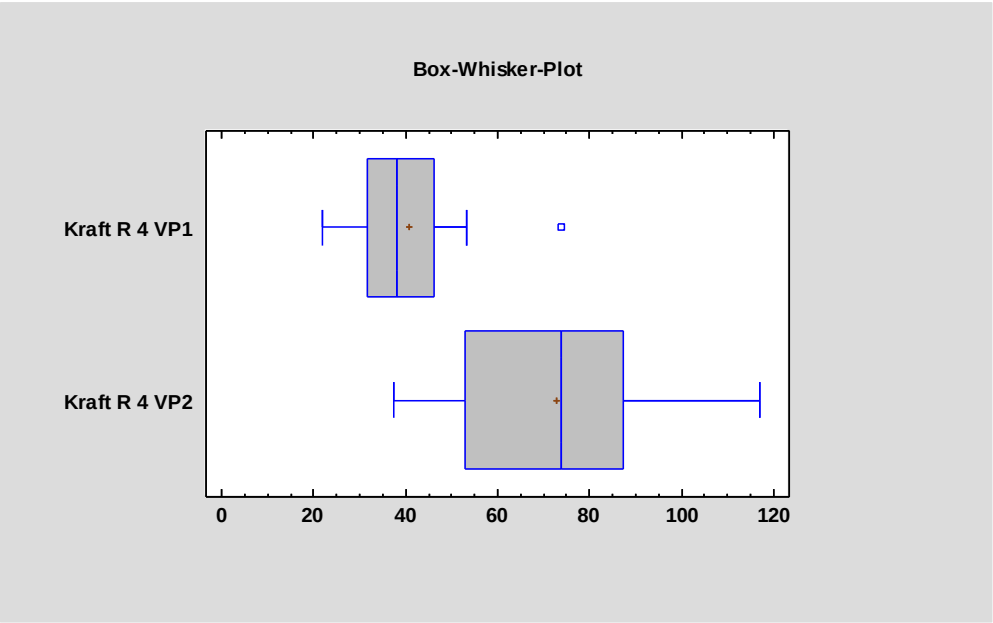

Abb. 53: Box-Whisker-Plot Kraft R bei Versuchspunkt 4

Versuchspunkt 5 und 10

Der fünfte Versuchspunkt entspricht dem zehnten Versuchspunkt. Hier wurde bei beiden Versuchsplänen Kichererbsenmehl als alleiniges Proteinmehl eingesetzt (Tab. 33).

Tab. 33: Proteinzugabe Versuchspunkt 5 und 10

Back-versuch	Vegacon 90 Protein [g]	Nutralys Protein [g]	Kicher-erbsen Protein [g]
5 + 10	0	0	15

Die alleinige Verwendung von Kichererbsenmehl verursachte signifikante p-Werte bei den rot/grün Nuancen, der max. aufgewendeten Kraft beim Pizzarand und der Länge der Dehnbarkeit des rohen Teiges. Demnach gibt es bei diesen Parametern signifikante Unterschiede in den beiden Rezepturen (Tab. 28).

Die Kraft, die zum Durchschneiden des Pizzarandes benötigt wurde, war bei der Rezeptur aus Versuchsplan 2 vermindert. Dieser Sachverhalt trifft ebenfalls auf den Parameter Extensogramm Weg zu, wobei sich hier mit Reismehl das bessere Ergebnis erzielen lässt.

Über die sensorische Beurteilung der Probanden lässt sich keine schlüssige Aussage treffen, da bei Backversuch 5 die Pizza mit Reismehl und bei Backversuch 10 die Pizza mit glutenfreier Weizenstärke besser bewertet wurde.

Versuchspunkt 6 und 8

Der sechste Versuchspunkt entspricht dem achten Versuchspunkt. Hier wurde bei beiden Versuchsplänen Vegacon 90 als alleiniges Proteinmehl eingesetzt (Tab. 34).

Tab. 34: Proteinmenge Versuchspunkt 6 und 8

Back-versuch	Vegacon 90 Protein [g]	Nutralys Protein [g]	Kicher-erbsen Protein [g]
6 + 8	15	0	0

Der Einsatz von Vegacon 90 zeigte bei allen Farbparametern, auf die Simulation des Beiß-bzw. Reißvorgangs und auf die Kraft gegen die Längswirkung bei rohen Teig signifikante Unterschiede bei den Versuchsplänen (Tab. 28).

Bei dieser Rezeptur wurden bei der Oberflächenfarbe hinsichtlich aller Parameter signifikante Veränderungen festgestellt. Bei der Simulation des Beiß-bzw. Reißvorganges konnten allerdings bei der Kombination mit Reismehl bessere Ergebnisse erzielt werden (Abb. 54).

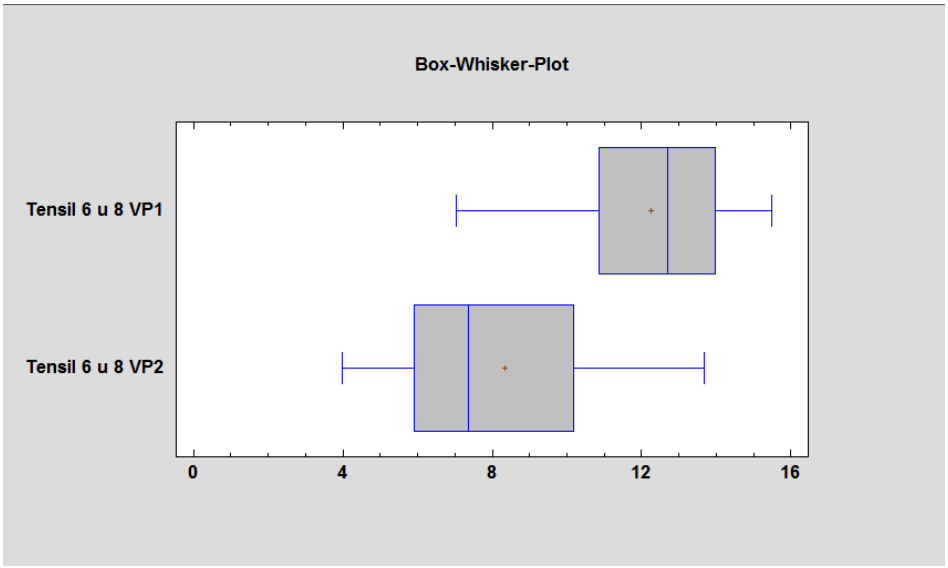

Abb. 54: Box-Whisker-Plot Tensile Rig Versuchspunkt 6 und 8

Versuchspunkt 7

Für den siebten Versuchspunkt wurde bei beiden Versuchsplänen eine Proteinmehlkombination von 7,5 g Vegacon 90 und 7,5 g Nutralys Protein mittels STATGRAPHICS Centurion XVI erstellt (Tab. 35).

Tab. 35: Proteinmenge Versuchspunkt 7

Back-versuch	Vegacon 90 Protein [g]	Nutralys Protein [g]	Kicher-erbsen Protein [g]
7	7,5	7,5	0

Bei diesem Vergleich ergaben sich signifikante p-Werte hinsichtlich der Parameter L*-, a*-, b*-Werte, Craft Knife M, Tensile Rig, Extensogramm Kraft und der sensorischen Gesamtbewertung (Tab. 28). Daraus folgt, dass sich die beiden Rezepturen statistisch signifikant in diesen Parametern unterscheiden. Die Darstellung mittels Box-Whisker-Plot bei Parameter Tensile Rig verdeutlicht dies nochmals (Abb. 55).

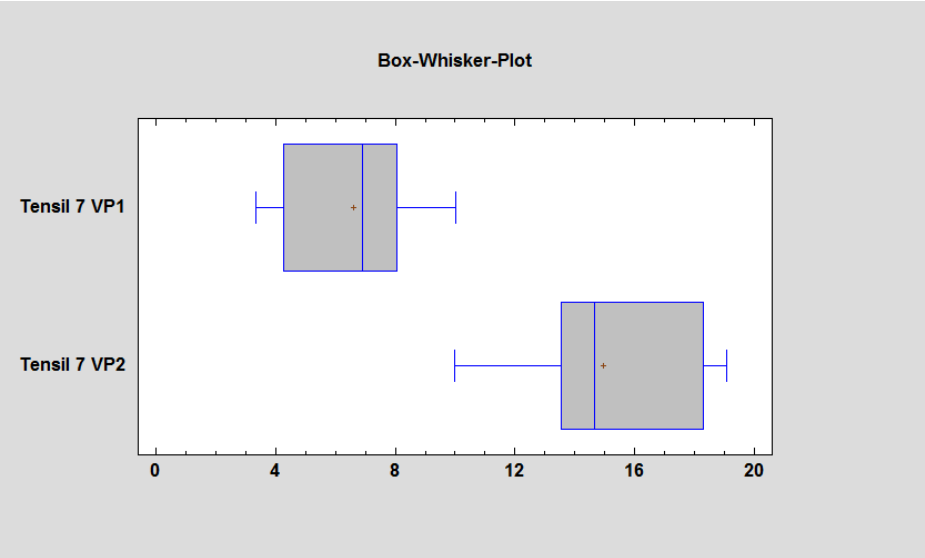

Abb. 55: Box-Whisker-Plot Tensile Rig Versuchspunkt 7

Dieser Backversuch ist jener Versuchspunkt, der die meisten signifikanten Unterscheidungen der beiden Rezepturen lieferte. Weiters ist er der einzige, bei dem sich die sensorische Gesamtbeurteilungen signifikant voneinander unterschieden. Hier schnitt die Rezeptur mit Reismehl besser ab.

Bezüglich der Farbparameter schnitten die Rezepturen mit Reismehl am besten ab. Sie waren näher an den Referenzwerten.

Bezogen auf die Schneidbarkeit des gebackenen Hefeteiges konnte allerdings mit glutenfreier Weizenstärke eine Verbesserung bei beiden Parametern beobachtet werden (Tab. 27).

Diskussion

Im Zuge des t-Tests konnten einige signifikante Unterschiede zwischen VP1 und VP2 festgestellt werden. Folglich hat glutenfreie Weizenstärke statistisch eindeutige Auswirkungen auf die Teigbeschaffenheit.

Diese Unterschiede waren beispielsweise bei der Teigbeschaffenheit des rohen Teiges erkennbar. Wurde der Parameter Extensogramm max. Kraft betrachtet, konnte eine Verbesserung des Teiges hinsichtlich dieser Eigenschaft erkannt werden, wenn glutenfreie Weizenstärke verarbeitet wurde. Allerdings, so kann der Tab. 27 entnommen werden, war dies nur der Fall wenn die Proteinmehle in Kombination eingesetzt wurden.

Weitere Unterschiede waren vor allem bei der Schneidbarkeit der Pizza auffällig. Wurde beispielsweise nur Nutralys als Proteinmehl eingesetzt, führte dies bei der Verwendung von glutenfreier Weizenstärke zu einem mehr als doppelt so hohem Kraftaufwand beim Zerschneiden der Pizzamitte. Wurden die drei Proteinmehle zu gleichen Teilen dem Teig beigemengt (Versuchspunkt 3), konnte ein verminderter Kraftaufwand beim Durchschneiden des Pizzarandes aber ein erschwertes Durchschneiden der Pizzamitte dokumentiert werden. Hier schnitt also das Reismehl schlechter ab, da mit der glutenfreien Weizenstärke die Referenzwerte besser erreicht wurden. Genau umgekehrt verhielt sich der Pizzateig, wenn nur Kichererbsenmehl als zusätzliche Proteinmenge zugegeben wurde. Beim alleinigen Einsatz von Vegacon 90 allerdings, wurde der Pizzateig gesamtheitlich „härter“.

Die Farbewerte unterlagen im Gegensatz zu den Parametern Craft Knife R und Craft Knife M geringeren Schwankungen.

Bei gleichwertiger Zugabe aller drei Proteinmehle fiel die sensorische Bewertung ident aus: sowohl die Pizza mit Reismehl als auch die Pizza mit glutenfreier Weizenstärke erhielt eine 6,2 (Tab. 27).

Aufgrund dieser unterschiedlichen Ergebnisse, konnte keine eindeutige Tendenz erkannt werden ob sich Reismehl oder glutenfreie Weizenstärke besser auf die Rezeptur auswirkt, da beide Rohstoffe den Pizzateig unterschiedlich gut bzw. schlecht beeinflussten.

8.6 Vergleich der Optima beider Versuchspläne unter Verwendung von Frischhefe

Anhand dieser Versuchsreihe wird untersucht, ob der Austausch der Trockenhefe durch handelsübliche Frischhefe Auswirkungen auf das Backergebnis hat.

Dazu wurden die beiden Optima im Doppelansatz mit Frischhefe gebacken und mittels t-Test analysiert, ob die Verwendung der Frischhefe Änderungen der beiden Optima mit sich zog.

Abschließend wurden die Resultate mittels t-Test mit den Ergebnissen der Rezepturen mit Trockenhefe verglichen. Der Weizenreferenzteig wurde ebenfalls mit Frischhefe gebacken.

8.6.1 Vergleich der beiden Optima mit Frischhefe

Zur besseren Übersicht wurden die Ergebnisse der Versuchspunkte in Tab. 36 zusammengefasst.

Tab. 36: Ergebnisse Backversuche Frischhefe

	L*	a*	b*	Craft Knife R max. Kraft [N]	Craft Knife M max. Kraft [N]	Tensil Rig max. Kraft [N]	Extenso-gramm max. Weg [mm]	Extenso-gramm max. Kraft [N]	Gesamt-eindruck Sensorik
Opt. 1	60,93	10,64	26,29	52,95	49,07	14,45	31,60	0,19	7,25
Opt. 2	61,67	11,71	25,63	46,56	44,84	19,68	32,18	0,23	7,25
Weizenref.	61,58	11,58	25,71	47,36	45,37	19,03	32,11	0,22	8,00

Tab. 37 illustriert die p-Werte der durchgeführten t-Tests und weist so statistisch signifikante Unterschiede nach. Signifikante p-Werte wurden hervorgehoben.

Tab. 37: p-Werte des t-Tests für den Vergleich der beiden Optima mit Frischhefe

	L*	a*	b*	Craft Knife R max. Kraft [N]	Craft Knife M max. Kraft [N]	Tensile Rig max. Kraft [N]	Extenso-gramm max. Weg [mm]	Extenso-gramm max. Kraft [N]	Gesamt-eindruck Sensorik
Frisch-hefe	0,80	0,20	0,31	0,22	0,26	**0,00**	0,69	**0,00**	0,23

Wenn Frischhefe verarbeitet wurde, zeigen die Ergebnisse des t-Tests beim Vergleich der beiden Optima lediglich statistisch signifikante Unterscheidungen bei der Simulation des Beiß- bzw. Reißvorganges und dem Parameter Extensogramm Kraft (Tab. 37). Bei Optimum 1, welches Reismehl, Nutralys und Kichererbsenmehl enthielt, fiel das Abbeißen eines Pizzastückes leichter. Allerdings schnitt hier Optimum 2 mit glutenfreier Weizenstärke und allen drei Proteinmehlen besser ab, weil es näher an der Weizenreferenz lag (Tab. 36).

Den zweiten statistisch signifikanten Unterschied der beiden Optima mit Frischhefe verkörperte der Parameter Extensogramm Kraft, was Abb. 56 verdeutlicht.

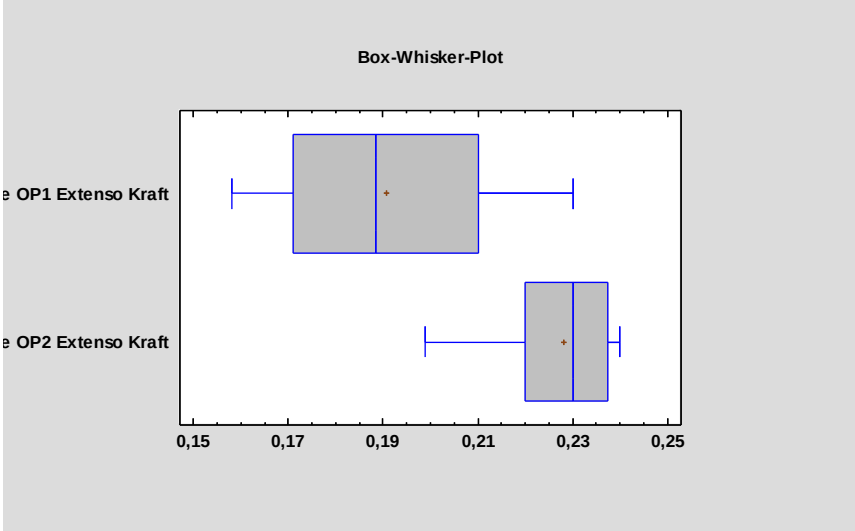

Abb. 56: Box-Whisker-Plot des Parameters Extensogramm-Kraft beider Optima mit Frischhefe

Neben den zwei statistisch signifikanten p-Werten variieren die Ergebnisse der anderen Parameter nicht allzu stark. Auffallend sind hier insbesondere die Resultate, welche mit Optimum 2 erzielt wurden. Die glutenfreie Weizenstärke in Kombination mit allen drei Proteinmehlen und Frischhefe kommt bei allen Parametern am besten den Referenzwerten nach.

Bezüglich der sensorischen Wirkung der Optima auf die Probanden konnte keine Unterscheidung gefunden werden.

8.6.2 Vergleich der Optima mit Frischhefe mit den Trockenhefe-Optima

Zur besseren Übersicht wurden die Ergebnisse der Backversuche mit Frisch- und Trockenhefe in Tab. 38 zusammengefasst.

Tab. 38: Zusammenfassung Ergebnisse der Backversuche mit Frischhefe und Trockenhefe

	L*	a*	b*	Craft Knife R max. Kraft [N]	Craft Knife M max. Kraft [N]	Tensil Rig max. Kraft [N]	Extenso-gramm max. Weg [mm]	Extenso-gramm max. Kraft [N]	Gesamt-eindruck Sensorik
Frischhefe									
Opt. 1	60,93	10,64	26,29	52,95	49,07	14,45	31,60	0,19	7,25
Opt. 2	61,67	11,71	25,63	46,56	44,84	19,68	32,18	0,23	7,25

Weizenr.	61,58	11,58	25,71	47,36	45,37	19,03	32,11	0,22	8,00
Trockenhefe									
Opt. 1	64,21	10,08	24,71	67,47	45,86	8,79	33,39	0,33	7,30
Opt. 2	65,23	12,72	28,73	49,05	54,89	12,48	32,12	0,24	7,40
Weizenr.	64,51	11,91	31,29	31,62	46,54	11,28	51,31	0,80	8,10

Tab. 39 illustriert die p-Werte der durchgeführten t-Tests und weist so statistisch signifikante Unterschiede nach. Signifikante p-Werte wurden wieder hervorgehoben.

Tab. 39: p-Werte des t-Tests für den Vergleich der Optima mit Frischhefe und Trockenhefe

	L*	a*	b*	Craft Knife R max. Kraft [N]	Craft Knife M max. Kraft [N]	Tensile Rig max. Kraft [N]	Extenso-gramm max. Weg [mm]	Extenso-gramm max. Kraft [N]	Gesamt-eindruck Sensorik
Opt.1 Frisch.vs. Trockenh.	**0,00**	0,42	**0,01**	**0,02**	0,36	**0,00**	0,74	0,07	0,45
Opt.2 Frisch.vs. Trockenh.	**0,00**	0,17	**0,00**	0,67	**0,01**	**0,00**	0,96	0,11	0,21

Signifikante p-Werte konnten beim t-Test mit dem Optimum 1 beim L*- und b*-Wert, Craft Knife R und Tensile Rig ermittelt werden. Beim Vergleich der Ergebnisse von Optimum 2 mit Frisch- und Trockenhefe zeigten sich fast idente

Parameter-Unterschiede. Hier konnten signifikante p-Werte beim L*-Wert, b*-Wert, Craft Knife M und Tensile Rig eruiert werden (Tab. 39).

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Verwendung von Frischhefe keine Auswirkungen auf die Beschaffenheit des rohen Teiges nach der Fermentation genommen hat. Allerdings entfernten sich die Ergebnisse bei der Verarbeitung von Trockenhefe weiter von der Referenz als sie dies bei der Frischhefe taten (Tab. 38).

Aus Tab. 38 lässt sich ablesen, dass die Pizzateige mit Trockenhefe tendenziell dunkler sind als die Frischhefe-Teige, was auch Abb. 57 verdeutlicht.

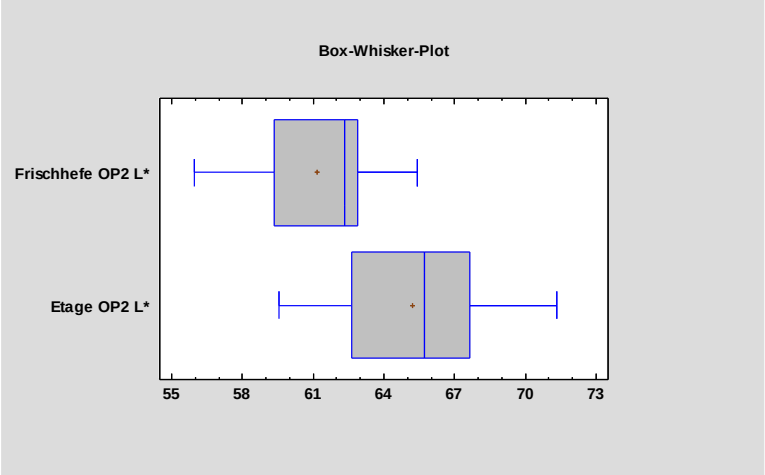

Abb. 57: Box-Whisker-Plot L* von Optimum 2 bei Vergleich Frisch-und Trockenhefe

Auffallend ist der nötige Kraftaufwand zum Durchschneiden des Pizzarandes bei der Weizenreferenz. Bei der Trockenhefe war eine um rund 16 N geringere max. Kraft von Nöten, um den Pizzarand durchzuschneiden. Auch die glutenfreien Teige mit Trockenhefe wiesen härtere Pizzarandstücke auf als ihr Frischhefe-Pendant.

Bei der Analyse mittels Tensile Rig zeigte sich ein erleichtertes Abbeißen bei Teigen mit Trockenhefe (Abb. 58). Generell lässt sich zusammenfassen, dass bei der Trockenhefe die Optima 2 bzgl. Tensile Rig näher der Referenzpizza kamen als dies die Frischhefe-Pizzen konnten.

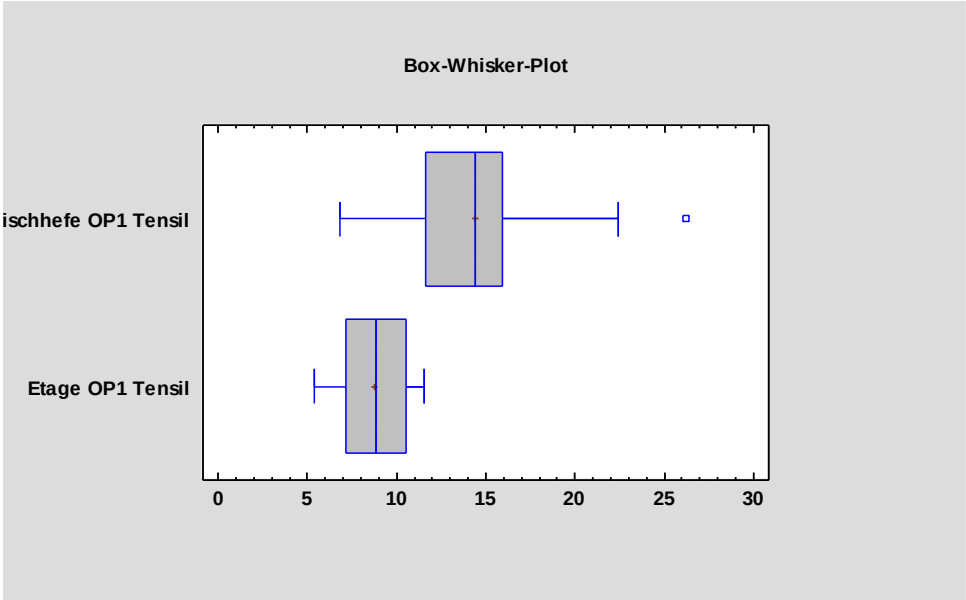

Abb. 58: Box-Whisker-Plot Tensile Rig von Optimum 1 bei Vergleich Frisch- und Trockenhefe

Tab. 38 zeigt, dass die Ergebnisse der Frischhefe-Pizzen von Optimum 2 durchwegs sehr nahe an die Weizenreferenz kamen. Bei der sensorischen Gesamtanalyse ließ sich allerdings ein leichter Trend hin zur Trockenhefe erkennen. Da eine fertige Pizzabackmischung entwickelt werden sollte, bei der der Konsument nur noch Wasser und Öl hinzufügen sollte, wurde in weiterer Folge darauf verzichtet, Frischhefe zu verwenden.

8.7 Vergleich der Optima beider Versuchspläne in drei unterschiedlichen Öfen

Zum Abschluss der praktischen Arbeit wurden noch anhand dieser Versuchsreihe die Auswirkungen von verschiedenen Öfen auf das Backergebnis analysiert.

Dazu wurde zum einen ein handelsüblicher Umluftofen verwendet, um den Pizzabackprozess beim Endkonsumenten nachzustellen. Zum anderen wurde, ein Etagenbackofen, wie er im Gastgewerbe üblicherweise eingesetzt wird, und ein Gastro-Umluftofen, welcher häufig in der Lebensmittelindustrie Einsatz findet, verwendet.

In jedem Ofen wurden die Optima der ersten beiden Versuchspläne im Doppelansatz gebacken. Dabei waren mehrere Vorversuche notwendig, um die optimalen Backparameter zu ermitteln. Darüber hinaus wurden im Haushalts-Umluftofen und im Gastro-Umluftofen Weizenreferenzpizzen gebacken, um auch für diese Öfen Vergleichswerte zu erhalten. Die Untersuchung der rohen Teigeigenschaften (Extensogramm Kraft und Weg) waren für diese Versuchsreihe nicht relevant und wurden daher weggelassen.

T-Test

Die Rohdaten der Messungen wurden mittels t-Test gegenüber gestellt, um herauszufinden, ob es statistisch signifikante Unterschiede zwischen den beiden Optima in dem jeweiligen Ofen gibt. Des Weiteren wurde ein Multiple Range Test für jedes Optimum durchgeführt, um festzustellen, ob es zwischen den Backversuchen in den verschiedenen Öfen Abweichungen gibt.

Die Ergebnisse der Backversuche zeigt Tab. 40.

Tab. 40: Ergebnisse Ofen Backversuche

Ofen		L*	a*	b*	Craft Knife R max. Kraft [N]	Craft Knife M max. Kraft [N]	Tensil Rig max. Kraft [N]	Extensogramm max. Weg [mm]	Extensogramm max. Kraft [N]	Gesamt-eindruck Sensorik
Etagenback-ofen	Optimum 1	64,21	10,08	24,71	67,47	45,86	8,79	33,39	0,33	7,30
	Optimum 2	65,23	12,72	28,73	49,05	54,89	12,48	32,12	0,24	7,40
	Weizenreferenz	64,51	11,91	31,29	31,62	46,54	11,28	51,31	0,80	8,10
Haushalts-Umluftofen	Optimum 1	63,65	6,64	23,49	48,63	22,76	4,72	29,40	0,22	6,90
	Optimum 2	65,69	6,52	22,73	36,65	40,95	5,56	34,03	0,20	7,20
	Weizenreferenz	64,01	10,67	29,87	22,65	35,79	6,78	52,56	0,69	8,00
Gastro-Umluftofen	Optimum 1	80,64	2,79	25,23	47,24	31,85	7,24	28,85	0,22	7,10
	Optimum 2	82,80	0,55	22,36	41,80	35,01	96,01	36,58	0,30	6,90
	Weizenreferenz	85,34	5,78	30,45	23,58	32,45	9,91	50,24	0,72	8,2

Tab. 41 illustriert die p-Werte der durchgeführten t-Tests und weist so statistisch signifikante Unterschiede nach. Signifikante p-Werte wurden hervorgehoben.

Tab. 41: p-Werte des t-Tests für den Vergleich der Optima in verschiedenen Öfen

	L*	a*	b*	Craft Knife R max. Kraft [N]	Craft Knife M max. Kraft [N]	Tensile Rig max. Kraft [N]
Etagenback-ofen	0,22	**0,00**	**0,00**	**0,01**	**0,01**	**0,00**
Haushalts-Umluft-ofen	**0,00**	0,72	**0,03**	0,12	**0,00**	**0,05**
Gastro-Umluft-ofen	**0,00**	**0,00**	**0,00**	0,39	0,25	**0,00**

8.7.1 Etagenbackofen: 220 °C, 9 min Backzeit

Signifikante p-Werten konnten bei den Parametern a*- und b*-Wert, Craft Knife R und M und Tensile Rig gefunden werden (Tab. 41). Bei diesen Parametern gab es also deutliche Unterschiede zwischen den beiden Optima.

Eine ausführliche Analyse der Unterschiede der beiden Optima im Etagenbackofen ist in Kapitel 8.5 zu finden.

8.7.2 Haushalts-Umluftofen: 200 °C, 11 min Backzeit

Die Backversuche im Haushalts-Umluftofen lieferten signifikante p-Werte beim L*- und b*-Wert, Craft Knife M und Tensile Rig (Tab. 41).

Aus Tab. 40 lässt sich ableiten, dass es eine Tendenz gibt, welches Optimum die optimaleren Ergebnisse im Haushalts-Umluftofen lieferte. Beim L*-Wert lag die Weizenreferenz genau zwischen den gemessenen Werten der beiden Optima (Abb. 59). Der b*-Wert lieferte bei Optimum 1 die besseren Ergebnisse verglichen mit der Referenz.

Bei allen anderen Parametern, vor allem auch bei den relevanten signifikanten Craft Knife M und Tensile Rig, zeigte Optimum 2 im Haushalts-Umluftofen optimalere Resultate.

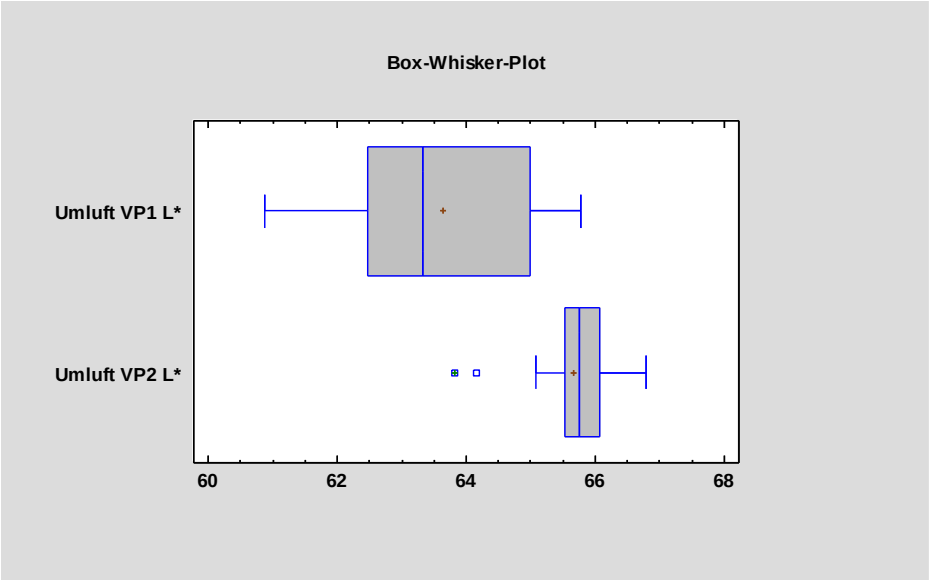

Abb. 59: Box-Whisker-Plot des L*- Farbwertes der Optima der beiden Versuchspläne nach dem Haushalts-Umluftofen

8.7.3 Gastro-Umluftofen: voreingestelltes Pizzabackprogramm

Bei diesen Analysen wurden allen Oberflächenparameter und Tensile Rig signifikante p-Werte zugewiesen.

Bezüglich der Farbparameter lässt sich keine eindeutige Tendenz feststellen, welches Optimum die besseren Ergebnisse in diesem Ofen lieferte. Abb. 60 stellte den Box-Whisker-Plot des a*-Wertes dar und verdeutlicht die statistische Signifikanz des Parameters.

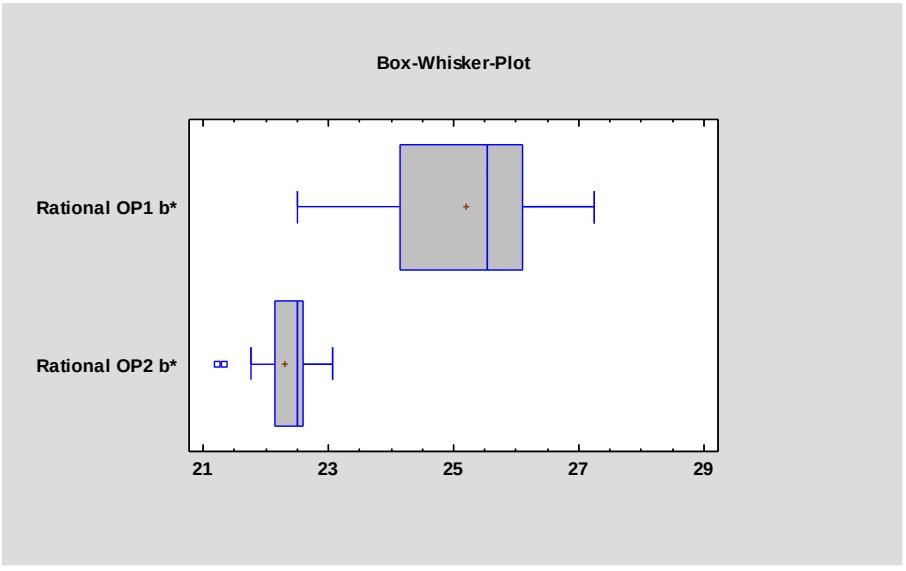

Abb. 60: Box-Whisker-Plot des a*-Farbwertes der Optima der beiden Versuchspläne nach dem Gastro-Umluftofen

Herausstechend sind die Messdaten bei der Simulation des Beiß- bzw. Reißvorganges. War bei Optimum 1 mit Reismehl eine Kraft von rund 7 N notwendig, um ein Stück Pizza abzubeißen, war es bei Optimum 2 mit glutenfreier Weizenstärke ein Kraftaufwand von rund 96 N. Ob dieser enorme Unterschied an dem Zusammenspiel von Gastro-Umluftofen und glutenfreier Weizenstärke liegt, müsste in weiteren Versuchen geklärt werden.

Ergebnisse

Bei den Backversuchen im Haushalts-Umluftofen ließ sich feststellen, dass die Oberflächenfarbwerte nicht gravierend von denen des Weizenpizzateiges abweichen. Bei allen anderen Parametern wird deutlich, dass hier das Optimum 2 mit glutenfreier Weizenstärke und allen drei Proteinmehlen das Optimum 1 übertrumpft. Es konnte bei nahezu allen untersuchten Parametern ein besseres Abschneiden von Optimum 2 verzeichnet werden.

Werden die Resultate, welche mit dem Gastro-Umluftofen erzielt wurden, betrachtet, so zeigte sich hier ein anderes Bild. Bei den Farbnuance-Werten a*-Wert und b*-Wert lieferte Optimum 1 die besseren Effekte. Beim L*-Wert allerdings verhält es sich genau umgekehrt und Optimum 2 übertrumpfte Optimum 1. Bei der Schneidbarkeit der Pizza zeigten bei Craft Knife R Optimum 2 die besseren Ergebnisse, bei Craft Knife M Optimum 1 und bezüglich des Parameters Tensile Rig hatte Optimum 2 die besseren Ergebnisse. Eine ebenso widersprüchliche Tendenz zeigten die Ergebnisse des Etagenbackofens. Wurde beispielsweise nur Nutralys als Proteinmehl eingesetzt, führte dies bei der Verwendung von glutenfreier Weizenstärke zu einem mehr als doppelt so hohem Kraftaufwand beim Zerschneiden der Pizzamitte. Wurden die drei Proteinmehle zu gleichen Teilen dem Teig beigemengt (Backversuch 3), konnte ein verminderter Kraftaufwand beim Durchschneiden des Pizzarandes aber ein erschwertes Durchschneiden der Pizzamitte dokumentiert werden. Hier schnitt also das Reismehl schlechter ab, da mit der glutenfreien Weizenstärke die Referenzwerte besser erreicht wurden. Genau umgekehrt verhielt sich der Pizzateig, wenn nur Kichererbsenmehl als zusätzliche Proteinmenge zugegeben wurde. Beim alleinigen Einsatz von Vegacon 90 allerdings, wurde der Pizzateig gesamtheitlich „härter“.

Multiple Range Test für Optimum 1

Signifikante p-Werte wurden in Tab. 42 hervorgehoben. Die Tabelle fasst die p-Werte der einfaktoriellen Varianzanalyse der Parameter des Optimums 1 beim direkten Vergleich der Stichproben zusammen.

Tab. 42: p-Werte der ANOVA für den Vergleich des Optimums 1 in den verschiedenen Öfen

	L*	a*	b*	Craft Knife R max. Kraft [N]	Craft Knife M max. Kraft [N]	Tensil Rig max. Kraft [N]	Gesamt-eindruck Sensorik
p-Werte	**0,00**	**0,00**	**0,01**	**0,01**	**0,00**	**0,00**	0,15

Da fast alle p-Werte eine statistische Signifikanz aufweisen, wurden alle Messergebnisse im Zuge des Multiple Range Tests in homogene Gruppen eingeteilt (Tab. 43).

Tab. 43: Homogene Gruppen des Multiple Range Test von Optimum 1

	L*	a*	b*	Craft Knife R max. Kraft [N]	Craft Knife M max. Kraft [N]	Tensil Rig max. Kraft [N]	Gesamt-eindruck Sensorik
Etagenback-ofen	A	A	B	B	C	B	A
Haushalts-Umluft-ofen	A	B	A	A	A	A	A
Gastro-Umluft-ofen	B	C	B	A	B	B	A

L*-Wert

Die Signifikanz des p-Wertes aus Tab. 42, lässt die erste Schlussfolgerung zu, dass sich die Messergebnisse der drei Backversuche in den unterschiedlichen Öfen signifikant voneinander unterscheiden.

Bei näherer Betrachtung der Ergebnisse mittels Mulitple Range Test wird deutlich, dass die Pizzastücke aus dem Etagenback- und dem Haushalts-Umluftofen in dieselbe homogene Gruppe A eingeteilt wurden und sich somit nicht signifikant voneinander unterscheiden. Allerdings unterscheiden sich diese beiden Pizzen signifikant von der Pizza aus dem Gastro-Umluftofen, weshalb diese Pizza in die homogene Gruppe B eingeteilt wurde (Tab. 43).

a* -Wert

Der p-Wert der ANOVA des a*-Farbwertes ist ebenfalls signifikant, wodurch eine Einteilung in unterschiedliche homogene Gruppen mittels Multiple Range Test erfolgte (Tab. 42 und 43). Dabei wurden die Messergebnisse in die drei homogenen Gruppen A, B und C eingeteilt. Das bedeutet, dass sich alle drei rot/grün Nuancen der Pizzastücke der verschiedenen Öfen signifikant voneinander unterscheiden.

b*-Wert

Bei dem b*-Farbwert wurden den erhaltenen Messergebnissen lediglich zwei homogene Gruppen zugeordnet. Tab. 43 zeigt, dass sich die Pizzen bezüglich der gelb/blau Farbtönen im Etagen- und Gastro-Umluftofen nicht voneinander unterscheiden. Wesentliche Unterschiede lieferte der Haushalts-Umluftofen, weshalb er einer anderen homogenen Gruppe zugeordnet wurde.

Craft Knife R

Die ANOVA lieferte auch bezüglich dieses Parameters einen statistisch signifikanten p-Wert (Tab. 42). Die Schneidbarkeit des Pizzarandes war bei den Pizzen, welche im Haushalts-Umluft- bzw. Gastro-Umluftofen gebacken wurden, ähnlich. Unterschieden haben sich diese beiden Pizzen von der Pizza, welche im Etagenbackofen gebacken wurde (Tab. 43).

Craft Knife M

Aufgrund des signifikanten p-Wertes der ANOVA bezüglich des Parameters Craft Knife M wurden die Messdaten in Gruppen eingeteilt. Alle drei gebackenen

Pizzen unterschieden sich wesentlich hinsichtlich der max. Kraft, die aufgewendet werden musste, um die Pizzamitte zu durchschneiden (Tab. 43).

Tensile Rig

Bei der Simulation des Beiß- bzw. Reißvorganges lagen statistisch signifikante Unterschiede vor (Tab. 42). Bei den Pizzastücken aus dem Etagenback- und Gastro-Umluftofen musste ein ähnlich großer Kraftaufwand betrieben werden, um ein Stück Pizza abzubeißen, weshalb diese Daten in die gleiche Gruppe eingeteilt wurden. Bei der Pizza aus dem Haushalts-Umluftofen war nur rund die Hälfte der Kraft nötig, weshalb dem Haushalts-Umluftofen hier eine andere homogene Gruppe zugeteilt wurde.

Gesamteindruck Sensorik

Bei der sensorischen Analyse der Pizzen ließ sich kein signifikanter p-Wert mit der ANOVA ermitteln (Tab. 42). Alle drei Pizzaproben wurden in dieselbe homogene Gruppe A eingeteilt. Das bedeutet, dass bei Optimum 1 eine Veränderung der Backparameter keinen wesentlichen Einfluss auf den Geschmack genommen hat (Tab. 43).

Multiple Range Test für Optimum 2

Signifikante p-Werte wurden in Tab. 44 hervorgehoben. Die Tabelle fasst die p-Werte der einfaktoriellen Varianzanalyse der Parameter des Optimums 2 beim direkten Vergleich der Stichproben zusammen.

Tab 44: p-Werte der ANOVA für den Vergleich des Optimums 2 in den verschiedenen Öfen

	L*	a*	b*	Craft Knife R max. Kraft [N]	Craft Knife M max. Kraft [N]	Tensil Rig max. Kraft [N]	Gesamt-eindruck Sensorik]
p-Werte	**0,00**	**0,00**	**0,01**	0,18	**0,00**	**0,00**	**0,03**

Im Zuge des Multiple Range Tests wurden die statistisch signifikanten Messergebnisse in homogene Gruppen eingeteilt (Tab. 45).

Tab. 45: Homogene Gruppen des Multiple Range Test von Optimum 2

	L*	a*	b*	Craft Knife R max. Kraft [N]	Craft Knife M max. Kraft [N]	Tensil Rig max. Kraft [N]	Gesamt-eindruck Sensorik
Etagenback-ofen	A	C	B	A	B	B	A
Haushalts-Umluft-ofen	A	B	A	A	A	A	A
Gastro-Umluft-ofen	B	A	A	A	A	C	B

L*-Wert

Die Signifikanz des p-Wertes aus Tab. 44 lässt die Schlussfolgerung zu, dass sich die Messergebnisse der drei Backversuche in den unterschiedlichen Öfen signifikant voneinander unterscheiden.

Bei näherer Betrachtung der Ergebnisse mittels Multiple Range Test wird deutlich, dass die Pizzastücke aus dem Etagenback- und dem Haushalts-Umluftofen in dieselbe homogene Gruppe A eingeteilt wurden und sich somit nicht signifikant voneinander unterscheiden. Allerdings unterscheiden sich diese beiden Pizzen signifikant von der Pizza aus dem Gastro-Umluftofen, weshalb diese Pizza in die homogene Gruppe B eingeteilt wurde (Tab. 45).

a*-Wert

Der p-Wert der ANOVA des a*-Farbwertes ist ebenfalls signifikant, wodurch eine Einteilung in unterschiedliche homogene Gruppen mittels Multiple Range Test erfolgte (Tab. 44 und 45). Dabei wurden die Messergebnisse in die drei homogenen Gruppen A, B und C eingeteilt. Das bedeutet, dass sich alle drei rot/grün Nuancen der Pizzastücke der verschiedenen Öfen signifikant voneinander unterscheiden.

b*-Wert

Bei dem b*-Farbwert wurden den erhaltenen Messergebnissen im Zuge der Gruppeneinteilung lediglich zwei homogene Gruppen zugeordnet. Tab. 45 zeigt, dass sich die Pizzen bezüglich der gelb/blau Farbtöne im Gastro-Umluft- und

Haushalts-Umluftofen nicht voneinander unterscheiden. Wesentliche Unterschiede lieferte der Etagenbackofen, weshalb er einer anderen homogenen Gruppe zugeordnet wurde.

Craft Knife R

Die ANOVA lieferte bezüglich dieses Parameters keinen statistisch signifikanten p-Wert (Tab. 44). Die Schneidbarkeit des Pizzarandes wurde demnach bei Optimum 2 nicht durch die Unterschiede in den Öfen beeinflusst (Tab. 45).

Craft Knife M

Aufgrund des signifikanten p-Wertes der ANOVA bezüglich des Parameters Craft Knife M wurden die Messdaten in Gruppen eingeteilt (Tab. 44). Die max. Kraft, die aufgewendet werden musste, um die Pizzamitte zu durchschneiden, betrug im Haushalts-Umluft- bzw. Gastro-Umluftofen rund 41 N bzw. 35 N. Die Pizzamitte, welche im Etagenbackofen durchgebacken wurde, benötigte einen Kraftaufwand von rund 55N, was einen statistisch signifikant höheren Wert darstellt (Tab. 40).

Tensile Rig

Bei der Simulation des Beiß -bzw. Reißvorganges lagen statistisch signifikante Unterschiede vor (Tab. 44). Bei den Pizzastücken aus dem Etagenback-, Haushalts-Umluft- und Gastro-Umluftofen mussten unterschiedlich große Kraftaufwände betrieben werden, um ein Stück Pizza abzubeißen, weshalb diese Daten in drei unterschiedliche Gruppen eingeteilt wurden.

Gesamteindruck Sensorik

Bei der sensorischen Analyse der Pizzen ließ sich ein signifikanter p-Wert mit der ANOVA ermitteln (Tab. 44).

Die Pizza aus dem Gastro-Umluftofen unterschied sich signifikant von den anderen beiden Pizzen, welche sich ähnelten (Tab. 45).

Diskussion

Es konnten einige signifikante Unterschiede der gebackenen Pizzen in den unterschiedlichen Öfen ermittelt werden. Daraus lässt sich ableiten, dass nicht nur unterschiedliche Rezepturen Auswirkungen auf die Ergebnisse hatten. Auch die verschiedenen Backverhältnisse nahmen Einfluss auf das Endprodukt.

Im Zuge der t-Tests ließ sich beim Haushalts-Umluftofen eine Tendenz zu Optimum 2 erkennen. Die Mischung mit glutenfreier Weizenstärke und allen drei Proteinmehlen zeigte bei nahezu allen untersuchten Parametern ein besseres Abschneiden von Optimum 2. Betreffend der anderen beiden Öfen ließ sich keine eindeutige Unterscheidung treffen, welches Optimum in welchem der Öfen die besseren Resultate lieferte.

Der mehrfache Mittelwertvergleich bei **Optimum 1** lieferte signifikante p-Werte für L*, a*, b*, Craft Knife M und R und Tensile Rig.

Die Helligkeit des Pizzateiges sowie die rot/grün Töne konnten im Etagenbackofen am besten optimiert werden. Hinsichtlich der blau/gelb Farbgebung konnten die besten Ergebnisse im Gastro-Umluftofen verwirklicht werden, obwohl dieser bei den anderen beiden Farbparametern am schlechtesten abschnitt.

Der Pizzarand war bei allen drei Öfen fast doppelt so hart wie der Weizenpizzarand. Dennoch entsprach die Pizza im Gastro-Umluftofen am ehesten dem Referenzteig. Da sich allerdings der Gastro-Umluftofen in der gleichen homogenen Gruppe wie der Haushalts-Umluftofen befand, konnte hier keine eindeutige Präferenz hinsichtlich des Ofens ausgemacht werden.

Der Parameter Craft Knife M zeigt sowohl im Etagenbackofen als auch im Gastro-Umluftofen die besten Ergebnisse. Der Beiß-bzw. Reißvorgang konnte bei Optimum 1 im Haushalts-Umluftofen erleichtert werden. Da die anderen beiden Öfen in der Gruppe B waren, konnte hier der Haushalts-Umluftofen als Favorit identifiziert werden.

Den besten sensorischen Gesamteindruck lieferte der Etagenbackofen. Da dieser Parameter allerdings als nicht signifikant von der ANOVA eingestuft wurde, unterscheiden sich die Ergebnisse in den drei Öfen nicht eindeutig, weshalb sie alle drei in Gruppe A zu finden sind (Tab. 45). Bei Optimum 1 hat sich somit der

Etagenbackofen als optimaler Backofen erwiesen. In 3 von 6 relevanten Parametern lieferte die Pizza hier die besten Ergebnisse.

Die ANOVA ermittelte für das **Optimum 2** ebenfalls signifikante p-Werte beim Ofenvergleich. Hier wurden eindeutige Unterschiede bei L*, a*, b*, Craft Knife M, Tensile Rig und dem sensorischen Gesamteindruck ausgemacht.

Bei Optimum 2 wurde die Helligkeit des Pizzateiges im Gastro-Umluftofen am besten optimiert. Hinsichtlich der blau/gelb bzw. rot/grün Farbgebung konnten die besten Ergebnisse im Etagenbackofen verwirklicht werden. Bei Optimum 1 lieferte der Etagenbackofen hinsichtlich dieses Parameters noch die schlechtesten Ergebnisse.

Statistisch nicht signifikant, aber dennoch auffallend war, dass der Pizzarand bei Optimum 2 zwar noch immer um einiges härter war als der Rand der Weizenpizza. Allerdings musste nicht bei allen Öfen fast doppelt so viel Kraft aufgewendet werden, um diesen zu zerschneiden, wie dies bei Optimum 1 der Fall war. Dieser Umstand ist vermutlich auf die glutenfreie Weizenstärke zurückzuführen.

Die Pizzamitte ließ sich am besten durchschneiden, nachdem die Pizza im Gastro-Umluftofen gebacken wurde. Da in der Gruppe A ebenfalls der Haushalts-Umluftofen zu finden ist, ist davon auszugehen, dass dieser ähnlich gute Ergebnisse lieferte.

Der Beiß-bzw. Reißvorgang konnte bei Optimum 2 im Etagenbackofen erleichtert werden. Da die anderen beiden Öfen in der Gruppe B waren, konnte hier der Haushalts-Umluftofen als Favorit identifiziert werden.

Den besten sensorischen Gesamteindruck hat der Etagenbackofen geliefert. Da dieser Parameter allerdings mit dem Haushalts-Umluftofen in die gleiche homogene Gruppe A eingeteilt wurde, konnte hier kein Favorit identifiziert werden.

Bei Optimum 2 hat sich somit noch eindeutiger als bei Optimum 1 der Etagenbackofen als optimaler Backofen erwiesen. In 4 von 6 relevanten Parametern lieferte die Pizza hier die besten Ergebnisse.

8.8 Sensorische Beurteilung der glutenfreien Pizza

Zum Abschluss dieser Masterarbeit wurde eine große Verkostung durchgeführt. Dazu wurde aufgrund der durchwegs besseren Ergebnisse in den Backversuchen das Optimum 2 mit glutenfreier Weizenstärke und drei Proteinmehlen ausgewählt, um von der breiten Masse bewertet zu werden. Dieses eigene Optimum wurde gegen das Optimum der Masterarbeit von HINTERREITER (2015) und der am Markt erhältlichen Pizzabackmischung von SPAR free from verkostet.

Die Vorbereitungen und Durchführung der Verkostung ist dem Kapitel 7.6 zu entnehmen.

Aufgrund der guten Ergebnisse während der Backversuche wurde der Etagenbackofen zum Backen der Verkostungspizzen verwendet.

Von den 69 teilnehmenden Personen waren knapp 73 % im Alter zwischen 20 und 25 Jahren, 20 % waren zwischen 26 und 30 (Abb. 61).

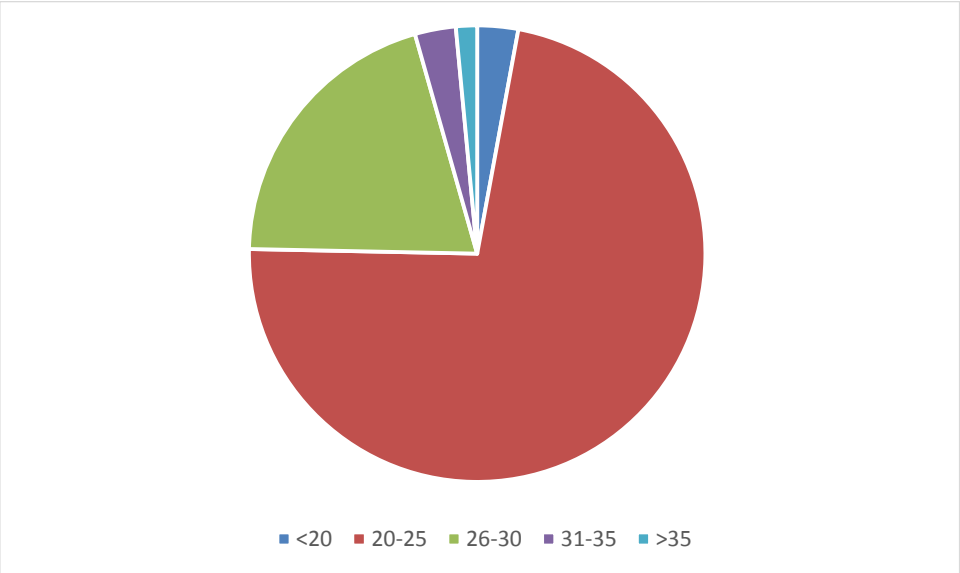

Abb. 61: Altersverteilung der teilnehmenden Testpersonen [%]

Den größten Anteil dieser Probanden machten Frauen aus mit 55 %. Knapp 96 % der Testpersonen verneinten die Frage nach einer Glutenunverträglichkeit, lediglich drei Personen bejahten diese. Einmal im Monat eine Pizza zu konsumieren gaben 55 % der teilnehmenden Personen an. Rund 30 % gaben an, dies einmal in

der Woche zu tun (Abb. 62). Von den 69 Testpersonen hatten zwölf schon einmal eine glutenfreie Pizza probiert.

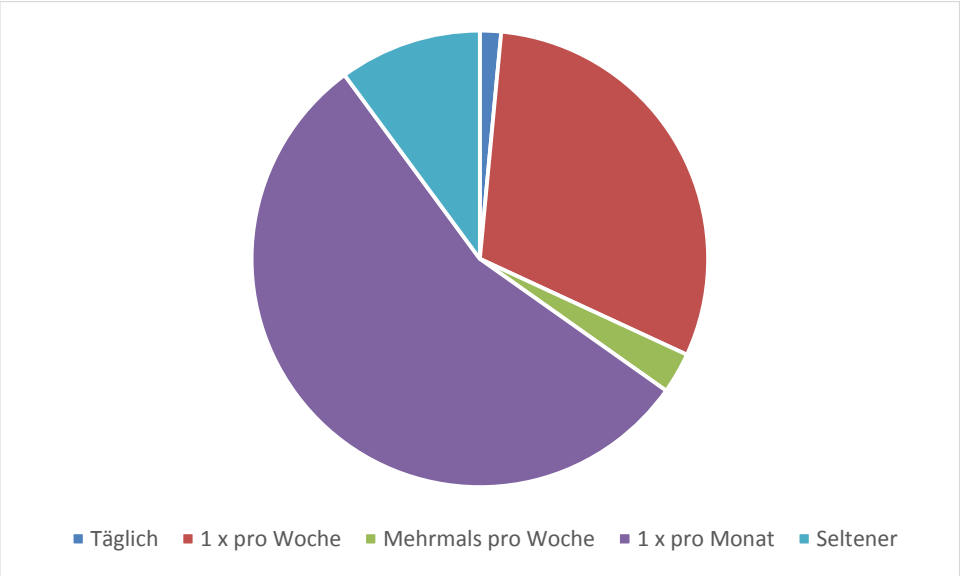

Abb. 62: Angaben zum Pizzakonsum der Testpersonen [%]

Die Ergebnisse der Verkostung werden in Tab. 46 bzw. Abb. 63 dargestellt, wobei in Tab. 46 die einzigen Merkmale, die statistisch signifikante Resultate lieferten, hervorgehoben wurden.

Anhand dieser Daten lässt sich erkennen, dass die bereits am Markt erhältliche Pizzabackmischung von SPAR free from in fast allen Prüfmerkmalen am besten abschnitt. Dieses Ergebnis ist insofern sehr interessant, da HINTERREITER bei ihrer Verkostung ebenfalls diese Fertigbackmischung verkosten ließ und diese Pizza am schlechtesten abschnitt. Nach eingehender Prüfung der Zutatenliste der Spar free from Pizza konnte festgestellt werden, dass diese Rezeptur geringfügig verändert wurde: Bei der Pizzamischung die HINTERREITER benutzte bildeten Reisvollkornmehl, Maisstärke und Reisquellmehl die Basis des Pizzateiges. Bei der derzeit erhältlichen Pizzabackmischung von Spar free from wurde allerdings das Reisquellmehl gegen Reismehl ausgetauscht (HINTERREITER, 2015).

Das eigentliche Ziel dieser Masterarbeit, nämlich die Rezepturoptimierung vom Optimum von HINTERREITER (2015), scheint bei näherer Betrachtung der Resultate allerdings geglückt zu sein. Das eigene entwickelte Optimum wurde in allen Testmerkmalen, zumindest geringfügig, besser bewertet als die

Ausgangsrezeptur. Bei dem durchgeführten Multiple Range Test dieser Verkostungsergebnisse wurden die statistisch signifikanten Ergebnisse wieder in homogene Gruppen eingeteilt. Hier sei anzumerken, dass bei der Teigdicke, Textur und dem Geschmack das Optimum 2 in der gleichen homogenen Gruppe wie Spar free from war.

Tab. 46: Ergebnisse der Verkostung

	Gesamteindruck	Aussehen	Teigfarbe	Teigdicke	Geruch	Textur	Geschmack
Spar free from	6,54	6,57	6,23	**6,43**	6,80	**6,16**	**6,09**
STABW	1,70	1,81	2,02	1,76	1,43	1,75	1,94
Optimum 2	6,38	6,30	5,86	**6,01**	6,81	**5,83**	**5,72**
STABW	1,76	1,79	2,07	2,07	1,56	2,12	2,24
Optimum HINTERREITER	6,09	6,09	6,29	**5,75**	6,39	**5,36**	**5,32**
STABW	1,46	1,60	1,76	2,03	1,83	2,07	2,03

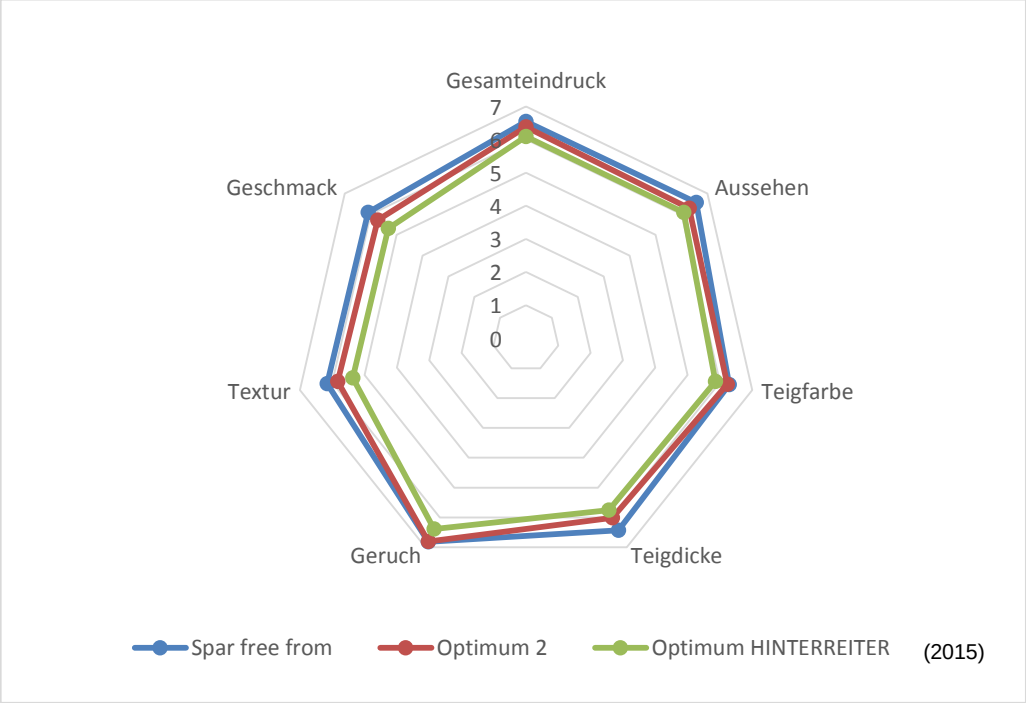

Abb. 63: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Verkostung

Weiters wurden folgende Attribute der Pizzateige von den Probanden bewertet:

- Klebt der Teig an den Zähnen?
- Dünner Pizzaboden
- Dicker Pizzaboden

Die Ergebnisse der Befragung nach der Klebrigkeit an den Zähnen wird in Abb. 64 graphisch dargestellt, wobei hier zu erwähnen ist, dass das eigene Optimum am wenigsten an den Zähnen klebte.

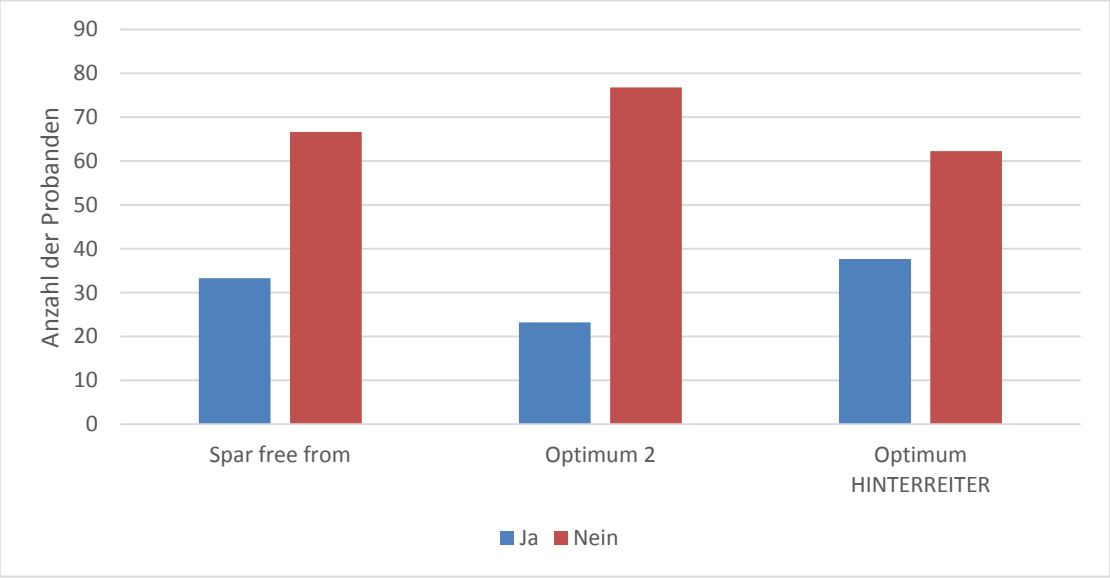

Abb. 64: Graphische Darstellung der Ergebnisse zur Beurteilung der Klebrigkeit an den Zähnen

Fazit

Die Ausgangsrezeptur von HINTERREITER konnte optimiert werden, wenngleich die gekaufte Pizzateigmischung von SPAR free from in allen Bereichen am besten abschnitt. Das Optimum 2 wurde in allen Merkmalen durchwegs besser als die Ausgangsrezeptur bewertet.

8.9 Preiskalkulation

Um auch den wirtschaftlichen Aspekt in die Beurteilung des eigenen Optimums einfließen zu lassen und um einen Vergleich mit bereits erhältlichen Pizzabackmischungen ziehen zu können, wurde eine Preiskalkulation durchgeführt (Tab. 47).

Als Referenz diente wieder die glutenfreie Backmischung von SPAR free from mit einem Verkaufspreis von 2,59 € inkl. MWSt. pro 350 g Packung. Umgerechnet auf 444 g (wie bei der eigenen Rezeptur) wären das 3,29 € pro Packung. Im Vergleich dazu kommt die eigene Pizzabackmischung bei dieser Menge auf 0,97 €, wobei hier zu beachten ist, dass es sich um Einkaufspreise exkl. MWSt. und exkl. Herstellungs-, Verpackungs- und Betriebskosten handelt. Darüber hinaus, verhält ist der Preis bei größeren Chargen billiger.

Tab. 47: Preiskalkulation Optimum 2

Rohstoff	Firma	Preis / kg exkl. MWSt [€]	Menge [kg]	Preis [€]
Buchweizen extrudiert aus Buchweizenmehl	Caj. Strobl Naturmühle	1,510	0,029	0,044
Buchweizenmehl aus Buchweizenkernen		1,550	0,088	0,137
glutenfreie Weizenstärke	Körnerstärke	0,800	0,088	0,071
Reisvollkornmehl	Caj. Strobl Naturmühle	2,020	0,140	0,283
Maismehl extrudiert aus Maisgrieß Polenta		0,610	0,013	0,008
Guarkernmehl	KUK Austria	8,500	0,015	0,128
Vegacon 90	Eurosoy	3,200	0,005	0,015
Nutralys	Roquette	3,120	0,004	0,014
Kichererbsenmehl	Nestelberger Naturprodukte	5,780	0,035	0,202
Trockenhefe	Lesaffre Austria	5,870	0,010	0,059
Salz	Salinen Austria	0,510	0,008	0,004
Zucker	Agrana Zucker	1,050	0,008	0,009
Summe			**0,444**	**0,973**

9. SCHLUSSFOLGERUNG

Das Ziel dieser Arbeit war es, die Ausgangsrezeptur eines glutenfreien Pizzateiges hinsichtlich mehrerer Parameter zu optimieren.

Dazu wurde zu aller erst eine optimale Kombination aus drei verschiedenen Proteinmehlen gesucht, die den Pizzateig sowohl ernährungsphysiologisch als auch technologisch verbessern sollte. Danach wurde getestet, ob der Einsatz von glutenfreier Weizenstärke, welche oft bei glutenfreien Lebensmitteln eingesetzt wird, die optimale Rezeptur der ersten Backversuche veränderte. In weiterer Folge wurden die Auswirkungen von Frischhefe auf den Teig und das Backen in unterschiedlichen Öfen untersucht.

Das Ziel des ersten Versuchsplans, eine ideale Proteinmehlkombination zu finden, konnte im Zuge der praktischen Arbeit und der statistischen Auswertung erreicht werden. Für die optimale Rezeptur ergab sich eine Kombination der Proteinmehle aus Nutralys und Kichererbsen.

Ziel des zweiten Versuchsplans war es, die Auswirkungen von glutenfreier Weizenstärke auf die optimale Rezeptur des ersten Versuchsplans herauszufinden. Werden die Ergebnisse der Analysen betrachtet, lässt sich erkennen, dass sich die Auswirkungen von glutenfreier Weizenstärke auf die optimale Rezeptur aus Versuchsplan 1 neben anderen Parametern vor allem in der Schneidbarkeit der Pizza äußerten. Diese Mehlmischung bewirkte eine Abnahme der Härte des Pizzarandes und somit eine erleichterte Schneidbarkeit. Vegacon 90 hatte in Kombination mit glutenfreier Weizenstärke den stärksten optimierenden Einfluss auf den Pizzarand.

Im Zuge des Vergleichs der beiden ersten Versuchspläne konnten einige signifikante Unterschiede der beiden Rezepturen festgestellt werden. Folglich hat glutenfreie Weizenstärke statistisch eindeutige Auswirkungen auf die Pizzateigeigenschaften. Wenn glutenfreie Weizenstärke verarbeitet wurde, konnte beim Parameter Extensogramm max. Kraft eine Verbesserung des Teiges hinsichtlich dieser Eigenschaft erkannt werden. Allerdings war dies nur der Fall, wenn beim Teig die Proteinmehle in Kombination eingesetzt wurden. Weitere

signifikante Unterschiede waren vor allem bei der Schneidbarkeit der Pizza zu erkennen. Wurde beispielsweise nur Nutralys als Proteinmehl eingesetzt, führte dies bei der Verwendung von glutenfreier Weizenstärke zu einem mehr als doppelt so hohem Kraftaufwand beim Zerschneiden der Pizzamitte. Wurden die drei Proteinmehle zu gleichen Teilen dem Teig beigemengt, konnte ein verminderter Kraftaufwand beim Durchschneiden des Pizzarandes, aber ein erschwertes Durchschneiden der Pizzamitte dokumentiert werden. Hier schnitt also das Reismehl schlechter ab, da mit der glutenfreien Weizenstärke die Referenzwerte besser erreicht wurden. Genau umgekehrt verhielt sich der Pizzateig, wenn nur Kichererbsenmehl als zusätzliche Proteinmenge zugegeben wurde. Beim alleinigen Einsatz von Vegacon 90 allerdings, wurde der Pizzateig gesamtheitlich härter bzw. stabiler.

Trotz dieser unterschiedlichen Ergebnisse konnte eine leichte Tendenz hin zur glutenfreien Weizenstärke erkannt werden, vor allem dann, wenn alle drei Proteinmehle in Kombination eingesetzt wurden. Es ist jedoch anzumerken, dass trotz der geringfügig schlechteren Ergebnisse mit dem Optimum 1 aus VP1 die Pizzamischung mit Reismehl ernährungsphysiologisch wertvoller ist als das Optimum 2 mit glutenfreier Weizenstärke.

Weiters wurde der Einfluss der Verwendung von Frischhefe anstatt von Trockenhefe untersucht. Es konnten ein paar Unterschiede bei den fertig gebackenen Pizzen festgestellt werden. Beispielsweise kam die glutenfreie Weizenstärke, in Kombination mit allen drei Proteinmehlen und Frischhefe, bei fast allen Parametern am besten den Referenzwerten nach. Bei der sensorischen Gesamtanalyse ließ sich allerdings ein leichter Trend hin zur Trockenhefe erkennen. Da eine fertige Pizzabackmischung entwickelt werden sollte, bei der der Konsument nur noch Wasser und Öl hinzufügen sollte, wurde in weiterer Folge darauf verzichtet, Frischhefe zu verwenden.

Abschließend konnten einige signifikante Unterschiede der gebackenen Pizzen in den unterschiedlichen Öfen ermittelt werden. Daraus lässt sich ableiten, dass nicht nur unterschiedlichen Rezepturen Auswirkungen auf die Ergebnisse hatten. Auch die verschiedenen Backverhältnisse nahmen Einfluss auf das Endprodukt.

Bei der Verkostung der Pizzen konnte festgestellt werden, dass die Ausgangsrezeptur von HINTERREITER optimiert werden konnte, wenngleich die gekaufte Pizzateigmischung von SPAR free from in allen Bereichen am besten abschnitt. Das Optimum der vorliegenden Masterarbeit wurde aber in allen Merkmalen besser bewertet als die Ausgangsrezeptur.

10. ZUSAMMENFASSUNG

Die zunehmende Zahl der Menschen, die an Zöliakie leiden, ist ein Indikator für die Notwendigkeit von glutenfreien Lebensmitteln. Denn die einzig wirksame Therapie für die Patienten besteht aus einer lebenslangen glutenfreien Ernährung. Einen annähernd gleichwertigen Ersatz für die mit Weizen hergestellten Lebensmittel zu bieten, ist eine große technologische Herausforderung, da die gerüstgebenden Strukturen fehlen und es keine gleichwertigen Kleberproteine gibt.

Das Ziel dieser Arbeit war es, die Ausgangsrezeptur eines glutenfreien Pizzateiges hinsichtlich mehrerer Parameter zu optimieren.

Es wurde eine optimale Kombination aus drei verschiedenen Proteinmehlen gesucht, die den Pizzateig sowohl ernährungsphysiologisch als auch technologisch verbessern sollte. Die besten Ergebnisse konnten mit einer Kombination aus einem Erbsenproteinisolat und Kichererbsenmehl erreicht werden.

Danach wurde getestet, ob der Einsatz von glutenfreier Weizenstärke, welche oft bei glutenfreien Lebensmitteln eingesetzt wird, die optimale Rezeptur der ersten Backversuche veränderte. Hierbei wurde das Reismehl gegen die glutenfreie Weizenstärke ausgetauscht und eine Kombination aus einem Sojaproteinisolat, einem Erbsenproteinisolat und Kichererbsenmehl eingesetzt. Diese Mehlmischung schnitt besser ab als die Rezeptur des ersten Versuchsplanes.

Weiters wurden die Auswirkungen von Frischhefe anstatt Trockenhefe auf den Teig untersucht. Die Ergebnisse der Pizza mit Frischhefe kamen denen der Referenzpizza am nächsten.

Abschließend wurde analysiert, ob das Backen der Pizzen in unterschiedlichen Öfen Auswirkungen auf das Endprodukt zeigte. Es wurden ein Etagen-, Haushalts-Umluft- und Gastro-Umluftofen für diese Backreihen verwendet. Hier zeigte der Etagenbackofen die besten Ergebnisse.

11. SUMMARY

The increasing number of people who suffer from celiac disease is an indicator of the need for gluten-free foods. The only effective therapy for the patients consists of a lifelong gluten-free diet.

It is a major technological challenge to offer an approximately equivalent replacement for food prepared with wheat, since the forming structures are absent and there are no equivalent adhesive proteins such as wheat proteins.

The aim of this study was to optimize the initial mix of a gluten free pizza dough in terms of several parameters.

Finding a perfect combination of three different protein flours that would improve the pizza dough both nutritionally and technologically was one of the main goals of the tests. The best results were found with a combination of a pea protein isolate and chickpea flour.

Also the effects of the use of gluten-free wheat starch considering the optimal formulation of the first baking tests have been examined. Therefore the rice flour was replaced with glutenfree wheat starch and a combination of a soy protein isolate, a pea protein isolate and chickpea flour was applied.

Furthermore, the effects of fresh yeast instead of dried yeast have been analysed. The best results were found during tests with fresh yeast.

Finally, research was done by investigating, whether the baking of the pizzas in different furnaces showed effects on the final product or not. Deck-, fan-forced- and rationaloven were used whereby the best results were delievered by the deckoven.

12. LITERATURVERZEICHNIS

ABDEL-AAL, E. M.: Functionality of starches and hydrocolloids in gluten-free foods. In: Gluten-free science and technology, ed. E. GALLAGHER, Wiley-Blackwell, Oxford (2009) 200-224.

ALENCAR, N.; C. STEEL, I. ALVIM, E. MORAIS und H. BOLINI: Addition of quinoa and amaranth flour in gluten-free breads: Temporal profile and instrumental analysis. LWT- Food and Science Technology 62 (2015): 1011-1018.

ALTMANN R.: Immer noch exotisch: L*a*b* (2008) 7 Online unter: www.heise.de/foto/artikel/Immer-noch-exotisch-L-a-b-228542.html, 13.01.2016

ALVAREZ-JUBETE, L.; E. ARENDT, E. GALLAGHER: Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. Food Science and Technology 21 (2010) 106-113.

ANDERSSON, H.; C. ÖHGREN, D. JOHANSSON, M. KNIOLA und M. STADING: Extensional flow, viscoelasticity and bakind performance of gluten-free zein starch doughs supplemented with hydrocolloids. Food Hydrocolloids 25 (2011) 1587-1595.

AGES: Allergene. Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, Wien (2015). Online unter: http://www.ages.at/themen/lebensmittel/allergene/gluten/, 10.04.2015.

ARENDT, E.; S. RENZETTI und F. DAL BELLO: Dough Microstructure and Textural Aspects of Gluten-Free Yeast Bread and Biscuits. In: Gluten-Free Food Science and Technology. Hrgb.: E. GALLAGHER, John Wiley & Sons, United Kingdom. ISBN 978-1-4051-5915-9 (2009) 107-129.

ARENDT, E.; E. ZANNINI: Amaranth. In: Cereal Grains for the Food and Beverage Industries. 1. Auflage, Woodhead Publishing Limited, Cambridge. ISBN 978-0-85709-413-1 (2013a) 439-473.

ARENDT, E.; E. ZANNINI: Quinoa. In: Cereal Grains for the Food and Beverage Industries. 1. Auflage, Woodhead Publishing Limited, Cambridge. ISBN 978-0-85709-413-1 (2013b) 409-438.

ARENDT, E.; E. ZANNINI: Maize. In: Cereal Grains for the Food and Beverage Industries. 1. Auflage, Woodhead Publishing Limited, Cambridge. ISBN 978-0-85709-413-1 (2013c) 67-113.

BARAK, S.; D. MUDGIL, B. KHATKAR: Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties. Food Science and Technology 51 (2013) 211-217.

BELITZ, H.; W. GROSCH und P. SCHIEBERLE: Lehrbuch der Lebensmittelchemie. 6. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-540-73201-3 (2008) 731-732

BIESALKI, H. und P. GRIMM: Taschenatlas der Ernährung. 4. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart. ISBN 978-3-13-115354-8 (2007) 40.

BONAFACCIA, G.; M. MAROCCHINI und I. KREFT: Composition and technological properties oft he flour and bran from common and tartary buckwheat. Food Chemistry 80 (2003) 9-15.

BUDERUS, S. und M.J. LENTZE: Serologische Diagnostik der Zöliakie. Monatsschrift Kinderheilkunde 151 (2003) 715-718.

BUONASSISI, R.: Pizza: from its Italian origins to the modern table. 1. Auflage, Firefly Books Ltd, Ontario. ISBN 1-55209-321-2 (2000) 16.

COLLAR, C.: Barley, Maize, Sorghum, Millet and Other Cereal Grains. In: Bakery Products Science and Technology. Ed. by: ZHOU W., John Wiley & Sons Ltd., West Sussex. ISBN 978-1-119-96715-6 (2014) 107 ff.

COMAI, S.; A. BERTAZZO, C. COSTA und G. ALLEGRI: Quinoa: Protein and Nonprotein Tryptophan in Comparison with Other Cereal and Legume Flours and Bread. In: Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention. Ed. by: V. PREEDY, R. WATSON und V. PATEL., Academic Press, London. ISBN: 978-0-12-380886-8 (2011) 113-125.

CORNEJO, F.; C. ROSELL: Physicochemical properties of long rice grain varieties in relation to gluten free bread quality. Food Science and Technology 62 (2015) 1203-1210.

DE LA HERA, E.; C. ROSELL und M. GOMEZ: Effect of water content and flour particle size on gluten-free bread quality and digestibility. Food Chemistry 151 (2014) 526-531.

DERNDORFER, E.: Lebensmittelsensorik. 4. Auflage, Facultas.wuv – Universitätsverlag, Wien. ISBN: 978-3-70890-588-4 (2010) 102-103.

DOOSE, O.: Verfahrenstechnik Bäckerei. 6. Auflage, Gildefachverlag, Alfeld. ISBN 3-7734-0112-4 (1982) 32 ff.

DUDEN: Stichwort Gluten, Bibliographisches Institut, Berlin (2015). Online unter: http://www.duden.de/node/675664/revisions/1193335/view, 10.04. 2015.

DZG: Antikörperbestimmungen. Deutsche Zöliakie Gesellschaft e.V., Stuttgart (2015). Online unter: https://www.dzg-online.de/antikoerperdiagnostik.88.0.html, 11.04.2015.

FASANO A.: Fatale Darmkrankheit Zöliakie. Spektrum der Wissenschaft (2010) 52-59.

HINTERREITER, M.: Entwicklung eines glutenfreien Pizzateiges unter Anwendung von extrudierten Mehlen, Verdickungsmitteln und einem Proteinisolat. Masterarbeit an der BOKU Wien, Wien (2015).

HOUBEN, A.; A. HÖCHTSTÖTTER und T. BECKER: Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview. Eur Food Res Technol 235 (2012) 195-209.

HÜTTNER, E. und E. ARENDT: Recent advances in gluten-free baking and the current status of oats. Trends in Food Science & Technology 21 (2010) 303-312.

KASPER, H.: Ernährungsmedizin und Diätetik. 11. Auflage, Urban & Fischer Verlag, München. ISBN 978-3-437-42012-2 200 ff.

KITTISUBAN, P.; P. RITTHIRUANGDEJ und M. SUPHANTHARIKA: Optimization of hydroxypropylmethylcellulose, yeast β-glucan, and whey protein levels based on physical properties of gluten-free rice bread using response surface methodology. LWT- Food Science and Technology 57 (2014) 738-748.

LAZARIDOU, A. und G. BILIADERIS: Gluten-Free Doughs: Rheological Properties, Testing Procedures – Methods and Potential Problems. In: Gluten-Free Food Science and Technology. Ed. by: E. GALLAGHER, Wiley-Blackwell, West Sussex. ISBN 978-1-4051-5915-9 (2009) 52-82.

LAI, H.: Effects of hydrothermal treatment on the physicochemical properties of pregelatinized rice flour. Food Chemistry 72 (2001) 455-463.

LE CLAIR, H., D. BLIGH, R. KENNEDY, A. LESON, F. HICKMAN und S. FREDERICK: Pizza making and baking machine. US-Patent 5121677 A (1992).

LIPPERT, H.: Lehrbuch Anatomie. 6. Auflage, Urban & Fischer Verlag, München. ISBN 3-437-42361-4 (2003) 298 ff.

MARANGONI, A.; A. GOLDSTEIN und K. SEETHARAMAN: Lipids: Properties and Functionality. In: Bakery Products Science and Technology. Ed. by: ZHOU W., John Wiley & Sons Ltd., West Sussex. ISBN 978-1-119-96715-6 (2014) 223 ff.

MARENGO, M.; F. BONOMI, A. MARTI, M. PAGANI, A. ELKHALIFA und S. IAMETTI: Molecular features of fermented and sprouted sorghum flours relate to their suitabilibty as components of enriched gluten-free pasta. LWT- Food Science and Technology 63 (2015) 511-518.

MARIOTTI, M. und M. LUCISANO: Sugar and Sweeteners. In: Bakery Products Science and Technology. Ed. by: ZHOU W., John Wiley & Sons Ltd., West Sussex. ISBN 978-1-119-96715-6 (2014) 199ff.

MATISSEK, R.; G. STEINER und M. FISCHER: Allgemeine Bestimmungen in Lebensmitteln. In: Lebensmittelanalytik. Hrgb.: R: MATISSEK, G. STEINER und M. FISCHER, 4. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg. ISBN: 978-3-540-92204-9 (2010a) 1-28.

MATISSEK, R.; G. STEINER und M. FISCHER: Fette und Fettbegleitstoffe. In: Lebensmittelanalytik. Hrgb.: R: MATISSEK, G. STEINER und M. FISCHER, 4. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg. ISBN: 978-3-540-92204-9 (2010b) 31-33.

MATISSEK, R.; G. STEINER und M. FISCHER: Aminosäuren, Peptide, Proteine und Nucleinsäuren. In: Lebensmittelanalytik. Hrgb.: R: MATISSEK, G. STEINER

und M. FISCHER, 4. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg. ISBN: 978-3-540-92204-9 (2010c) 103-109.

MINH-CHAU-DANG, J. und L. COPELAND: Genotype and environmental influences on pasting properties of rice flour. Cereal Chem. 81 (2004) 486-489.

MILAN-CARRILLO, J.; C. REYES-MORENO, E. ARMIENTA-RODELO, A. CARABEZ-TREJO und R. MORA-ESCOBEDO: Physicochemical and Nutritional Characteristics of Extruded Flours from Fresh and Hardened Chickpeas. Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 33 (2000) 117-123.

NIEWINSKI, M.: Advances in Celiac Disease and Gluten-Free Diet. J Am Diet Assoc. 108 (2008): 661-672.

ONYANGO C.; C. MUTUNGI, G. UNBEHEND und M. LINDHAUER: Rheological and baking characteristics of batter and bread prepared from pregelatinised cassava starch and sorghum and modified using microbial transglutaminase. Journal of Food Engineering 97 (2010) 465-470.

PAGANI, M.; M. LUCISANO, M. MARIOTTI: Italian Bakery Products. In: Bakery Products Science and Technology. Ed. by: ZHOU W., John Wiley & Sons Ltd., West Sussex. ISBN 978-1-119-96715-6 (2014) 703-706.

RANDEZ-GIL, F.; L. BALLESTER-TOMAS und J. PRIETO: Yeast. In: Bakery Products Science and Technology. Ed. by: ZHOU W., John Wiley & Sons Ltd., West Sussex. ISBN 978-1-119-96715-6 (2014) 153ff.

ROSELL, C. und C. MARCO: Rice. In: Gluten-Free Cereal Products and Beverages. Ed. by: E. ARENDT und F. DAL BELLO, Elsevier, Burlington. ISBN 979-0-12-373739-7 (2008) 81ff.

ROSELL, C. und M. GOMEZ: Rice. In: Bakery Products Science and Technology. Ed. by: ZHOU W., John Wiley & Sons Ltd., West Sussex. ISBN 978-1-119-96715-6 (2014) 90-106.

ROSIEN, U.; S. THIEL und N. JESSE: Zöliakie (einheimische Sprue). DoctorConsult – The Journal. Wissen für Klinik und Praxis 1 (2010) e163-e165.

SANZ-PANELA, J.; M. WRONKOWSKA, M. SORAL-SMIETANA und M. HAROS: Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value. LWT-Food Science and Technology 50 (2013) 679-685.

SCHOBER, T.; S. BEAN: Sorghum and maize. In: Gluten-Free Cereal Products and Beverages. Ed. by: E. ARENDT und F. DAL BELLO, Elsevier, Burlington. ISBN 979-0-12-373739-7 (2008) 101 ff.

SCHOBER, T.; S. BEAN, D. BOYLE und S. PARK: Improved viscoelastic zein-starch doughs for leavened gluten-free breads: Their rheology and microstructure. Journal of Cereal Science 48 (2008) 755-767.

SCHÖNLECHNER, R.; S. SIEBENHANDL und E. BERGHOFER: Pseudocereals. In: Gluten-Free Cereal Products and Beverages. Ed. by: E. ARENDT und F. DAL BELLO. Elsevier, Burlington. ISBN 979-0-12-373739-7 (2008) 148 ff.

SCHÖNLECHNER, R.; J. DRAUSINGER, V. OTTENSCHLÄGER, K. JURACKOVA und E. BERGHOFER: Functional Properties of Gluten-Free Pasta Produced from Amaranth, Quinoa and Buckwheat. Plant Foods Hum Nutr 65 (2010) 339-349.

SCHWYN, H. und C. LIENERS: Lebensmittelunverträglichkeit. 1. Auflage, AT Verlag, Baden und München. ISBN 978-3-03800-415-8 (2009) 92ff.

SKOBRANEK, H.: Bäckerei Technologie. 2. Auflage, Dr. Felix Büchner Verlag, Hamburg. ISBN 3-582-40101-4 (1995) 186-187.

STABLE MICRO SYSTEMS: The texture analysis applications directory. Vienna Court, Lammas Road, Godalming, Surrey GU7 1YL, UK. SMS/REF/N/0807.

STATPOINT TECHNOLOGIES: Statgraphics® Centurion XVI Benutzerhandbuch (2010).

TAYLOR, J.; P. BELTON, T. BETA und K. DUODU: Increasing the utilisation of sorghum, millets and pseudocereals: Developments in the science of their phenolic phytochemicals, biofortification and protein funktionality. Journal of Cereal Science 59 (2014) 257-275.

THOMPSON, T.: The Nutritional Quality of Gluten-Free Foods. In: Gluten-Free Food Science and Technology. Ed. by: E. GALLAGHER, Wiley-Blackwell, West Sussex. ISBN 978-1-4051-5915-9 (2009) 42ff.