



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Herstellung von Backwaren aus gefärbten Nacktgerste-Genotypen
unter Berücksichtigung der funktionellen Inhaltsstoffe

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Verfasserin:	Kronawetter Gabriele
Matrikel-Nummer:	0307007
Studienrichtung /Studienzweig (lt. Studienblatt):	Ernährungswissenschaften / A 474
Betreuer:	Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Emmerich Berghofer

Wien, im Oktober 2010

Danksagung

Herrn Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Emmerich Berghofer danke ich für die Möglichkeit die Diplomarbeit am Department für Lebensmittelwissenschaften und Lebensmitteltechnologie der Universität für Bodenkultur Wien schreiben zu dürfen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Mathias Kinner für die persönliche Betreuung meiner Diplomarbeit.

Ein herzliches Dankeschön auch an Frau Dr. Susanne Siebenhandl-Ehn, Frau Dipl.-Ing. Angelika Petrasch und Frau Dipl.-Ing. Gertrud Linsberger-Martin für die freundliche Unterstützung.

Gleichermaßen möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Alfred Mar und Herrn Dipl. Päd. Karl Lengauer für die Kooperation an der HTL für Lebensmitteltechnologie Wels bedanken.

Meinen Eltern schulde ich Dank für die Unterstützung.

Meinem Freund Gregor und seinen Eltern danke ich für die vielen kleinen und großen Hilfestellungen während des Studiums.

Schlussendlich möchte ich mich noch bei meinen Studienkolleginnen Rosi, Sonja und Isabella für die schöne gemeinsame Studienzeit bedanken.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Literaturteil	3
2.1	Gerste	3
2.1.1	Nacktgerste.....	5
2.2	Ballaststoffe	6
2.2.1	Arabinoxylan	7
2.2.2	β -Glucan	9
2.3	Brotherstellung aus Nacktgerste	11
2.3.1	Einfluss von β -Glucan auf die Brotherstellung	11
2.3.2	Einfluss von Arabinoxylan auf die Brotherstellung	12
2.4	Backmittel	13
2.4.1	Ascorbinsäure	13
2.4.2	Enzyme	14
2.4.2.1	α -Amylase (EC 3.2.1.1.)	15
2.4.2.2	Xylanase (EC 3.2.1.8.)	17
2.4.2.3	Protease (EC 3.4.21.19.)	19
2.4.2.4	Glucoseoxidase (EC 1.1.3.4.)	20
2.4.2.5	Transglutaminase (EC 2.3.2.13.)	21
2.4.2.6	Laccase (EC 1.10.3.2.)	21
2.4.3	Hydrokolloide	22
2.4.3.1	Hydroxypropylmethylcellulose (HPMC)	23
2.4.4	Milchbestandteile	24
2.4.4.1	Casein	25
2.4.4.2	Molkenprotein	25
2.4.5	Emulgatoren	26
2.4.5.1	DATEM	28
2.5	Gesundheitliche Aspekte	29
2.5.1	Ernährungsphysiologische Auswirkung von β -Glucan	29
2.5.2	Functional Food	30
2.5.3	Health Claims	30
3	Aufgabenstellung	33
4	Material und Methoden	35
4.1	Mehlherstellung	35
4.1.1	Mühle	35
4.1.2	Mahlvorgang	36
4.1.3	Rohstoff	39
4.1.4	Analytische Methode zur Bestimmung der Feuchtigkeit des Mehles	39
4.1.4.1	Verwendete Geräte	39
4.1.4.2	Durchführung	40
4.1.4.3	Auswertung des prozentualen Trockensubstanzgehaltes T	40
4.1.4.4	Auswertung des prozentualen Wassergehaltes W	40
4.2	Brotherstellung	41
4.2.1	Verwendete Zutaten	41
4.2.2	Verwendete Backhilfsmittel	41
4.2.3	Verwendete Geräte	42
4.2.4	Teigzusammensetzung	43
4.2.5	Durchführung	45
4.3	Methoden zur Bewertung der Eigenschaften von Brot	48

4.3.1	Bestimmung des Brotvolumens auf Basis der Rapssamenverdrängungsmethode nach Fornet	48
4.3.1.1	Verwendete Geräte	48
4.3.1.2	Durchführung.....	49
4.3.1.3	Auswertung des Volumens.....	49
4.3.2	Messung des Umfanges nach Jorgensen	49
4.3.2.1	Verwendete Geräte	50
4.3.2.2	Durchführung.....	50
4.3.2.3	Auswertung.....	50
4.3.3	Bestimmung der Farbe.....	51
4.3.3.1	Verwendete Geräte	51
4.3.3.2	Bestimmung der Krusten- und Krumenfarbe	52
4.3.3.3	Auswertung.....	52
4.3.4	Bestimmung der texturalen Eigenschaften der Brotkrume	52
4.3.4.1	Verwendete Geräte	53
4.3.4.2	Parameter und Einstellungen	53
4.3.4.3	Durchführung.....	54
4.3.4.4	Auswertung.....	54
4.3.5	Sensorische Beurteilung	55
4.4	Statistische Methoden	56
4.4.1	Vergleich mehrerer Stichproben (Multiple Sample Comparison).....	56
4.4.2	Statistische Versuchsplanung	56
4.4.3	Auswertung	57
4.4.4	Mehrgrößen-Optimierung.....	57
5	Versuchsdurchführung	59
5.1	Vorversuch	59
5.2	Versuche zur Bestimmung der optimalen Enzymkonzentrationen	61
5.3	Versuche zur Bestimmung der optimalen Enzymkombination	63
6	Versuchsergebnisse und Diskussion.....	65
6.1	Ergebnisse der Vermahlung.....	65
6.2	Ergebnisse aus dem Vorversuch.....	66
6.3	Ergebnisse aus den Versuchen zur Bestimmung der optimalen Enzymkonzentrationen.....	68
6.3.1	Ergebnisse zum Brotvolumen	69
6.3.2	Ergebnisse zum Brotumfang.....	69
6.3.3	Ergebnisse zur Krusten- und Krumenfarbe	70
6.3.4	Ergebnisse zur texturalen Eigenschaft.....	71
6.3.5	Ergebnisse zur sensorischen Analyse	73
6.3.6	Zusammenfassung der Ergebnisse	76
6.4	Ergebnisse aus dem Versuch zur Bestimmung der optimalen Enzymkombinationen.....	79
6.4.1	Ergebnisse zum Brotvolumen	79
6.4.2	Ergebnisse zum Brotumfang.....	80
6.4.3	Ergebnisse zur Krusten- und Krumenfarbe	80
6.4.4	Ergebnisse zur texturalen Eigenschaft.....	81
6.4.5	Ergebnisse zur sensorischen Analyse	83
6.4.6	Ergebnis der Mehrgrößen-Optimierung.....	86
7	Schlussfolgerungen	89
8	Zusammenfassung.....	91
9	Summary	93
10	Literaturverzeichnis	95

11 Anhang.....	103
11.1 Daten und Bilder der Versuchsbrote des Versuches zur optimalen Enzymkonzentration	103
11.2 Daten und Bilder der Versuchsbrote des Versuches zur optimalen Enzymkombination	114

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: <i>Hordeum vulgare</i> [THOME, 1885].....	4
Abb. 2: Chemische Struktur von Arabinoxylan.....	8
Abb. 3: Einteilung des Arabinoxylans nach seinen physikochemischen Eigenschaften [COURTIN und DELCOUR, 2002].....	8
Abb. 4: Chemische Struktur von β -Glucan	9
Abb. 5: Enzymwirkung im Teig [SCHARF, 1986].....	15
Abb. 6: Einflussmöglichkeiten von Emulgatoren auf die Herstellung und Qualität von Backwaren [SCHUSTER, 1986]	27
Abb. 7: Schrotstuhl	38
Abb. 8: Plansichter mit sichtbarem Siebstapel.....	35
Abb. 9: Gliederwalzentuhl	38
Abb. 10: Mehlsammelschnecke.....	36
Abb. 11: Ablaufschema der Vermahlung	38
Abb. 12: Küchenmaschine Kenwood....	45
Abb. 13: Backofen mit Gärschrank.....	43
Abb. 14: Geformter Teigling mit Kastenform.....	46
Abb. 15: Allgemeines Schema der Herstellung von Brot	47
Abb. 16: Volumeter.....	48
Abb. 17: Messung des Quer- und Längsumfanges	50
Abb. 18: Microcolor Farbmessgerät.....	51
Abb. 19: Texture Analyzer TA-XT2i®	53
Abb. 20: Mehlausbeute [%] der verschiedenen Nacktgerstesorten	65
Abb. 21: Aussehen und Form der Versuchsbrote aus den drei Fraktionen des Nacktgerstengenotypes <i>BVAL 350010</i> („HORA“).....	66
Abb. 22: Krumbild der Versuchsbrote aus den drei Fraktionen des Nacktgerstengenotypes <i>BVAL 350010</i> („HORA“).....	67
Abb. 23: Volumen [cm ³] pro kg Mehl	69
Abb. 24: Umfang [cm] pro kg Mehl	70
Abb. 25: Vergleich des L*-Wertes der Krusten- und Krumbenfarbe	71
Abb. 26: Relative Krumbenfestigkeit (KEL)	72
Abb. 27: Maximalkraft [N]	72
Abb. 28: Widerstandskraft bei 25% Stauchung [N].....	72
Abb. 29: Aussehen und Form	74
Abb. 30: Bräunung der Kruste	74
Abb. 31: Krumbenporung und Lockerung.....	75
Abb. 32: allgemeines Mundgefühl	75
Abb. 33: Geschmack und Geruch.....	75
Abb. 34: Konsistenz der Kruste	76
Abb. 35: Pareto-Diagramm für Volumen [cm ³] pro kg Mehl	79
Abb. 36: Pareto-Diagramm für Umfang [cm] pro kg Mehl.....	80
Abb. 37: Pareto-Diagramm für den L-Wert der Krustenfarbe.....	81
Abb. 38: Pareto-Diagramm für den L-Wert der Krumbenfarbe	81
Abb. 39: Pareto-Diagramm für die relative Krumbenelastizität (KEL).....	82
Abb. 40: Pareto-Diagramm für die Maximalkraft F_{max} [N].....	82
Abb. 41: Pareto-Diagramm für F_{25} [N]	82
Abb. 42: Pareto-Diagramm für das Aussehen und die Form	84
Abb. 43: Pareto-Diagramm für die Bräunung der Kruste	84
Abb. 44: Pareto-Diagramm für die Krumbenporung und Lockerung.....	84

Abb. 45: Pareto-Diagramm für das allgemeine Mundgefühl.....	85
Abb. 46: Pareto-Diagramm für den Geschmack und Geruch	85
Abb. 47: Pareto-Diagramm für die Konsistenz der Kruste	85
Abb. 48: Diagramm zum Vergleich der sensorischen Beurteilung.....	87
Abb. 49: Versuchsbrot „HORA“ ohne Enzymzusatz	109
Abb. 50: Versuchsbrote mit Enzymzusatz Fungamyl® 2500 SG in allen drei Konzentrationsstufen	109
Abb. 51: Versuchsbrote mit Enzymzusatz AMG® 1100 BG in allen drei Konzentrationsstufen	110
Abb. 52: Versuchsbrote mit Enzymzusatz Pentopan® Mono BG in allen drei Konzentrationsstufen	110
Abb. 53: Versuchsbrote mit Enzymzusatz Pentopan® 500 BG in allen drei Konzentrationsstufen	111
Abb. 54: Versuchsbrote mit Enzymzusatz Celluclast® BG in allen drei Konzentrationsstufen	111
Abb. 55: Versuchsbrote mit Enzymzusatz Gluzyme® 10000 BG in allen drei Konzentrationsstufen	112
Abb. 56: Versuchsbrote mit Enzymzusatz Laccase NS 27011 in allen drei Konzentrationsstufen	112
Abb. 57: Versuchsbrote mit Enzymzusatz Lipopan® F BG in allen drei Konzentrationsstufen	113
Abb. 58: Versuchsbrote mit Enzymzusatz Novamyl® 10000 BG in allen drei Konzentrationsstufen	113
Abb. 59: Versuchsbrot ohne Enzymzusatz.....	119
Abb. 60: Versuchsbrote der Zentralpunktwiederholungen.....	119
Abb. 61: Versuchsbrote mit Enzymzusatz laut Versuchsplan	120
Abb. 62: Versuchsbrote mit Enzymzusatz laut Versuchsplan	121
Abb. 63: Versuchsbrot Nr. 12 und Wiederholung	122

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Inhaltsstoffe der Gerste entspelzt, ganzes Korn [SENER und SOUCI, 2004]	4
Tab. 2: Zusammensetzung [%] von Gesamtballaststoff von Kleie und Mehl aus Nacktgerste [BHATTY, 1999]	10
Tab. 3: Gesundheitsbezogene Angaben auf Lebensmitteln gemäß EG-Verordnung Nr. 1924/2006.....	32
Tab. 4: Mahlfractionen.....	37
Tab. 5: Verwendete Nacktgerstesorten	39
Tab. 6: Verwendete Enzyme	42
Tab. 7: Optimierte Rezeptur 1 nach NITSCHKO [2009]	44
Tab. 8: Optimierte Rezeptur 2 nach NITSCHKO [2009]	44
Tab. 9: Zusammensetzung der Zucker-Salz-Lösung nach NITSCHKO [2009].	44
Tab. 10: Zusammensetzung der Zucker-Lösung nach NITSCHKO [2009].....	44
Tab. 11: Parametereinstellungen für die Texturmessung.....	54
Tab. 12: Die Prüfmerkmale der sensorischen Beurteilung	55
Tab. 13: Zielgrößen und ihre Gewichtung [NITSCHKO, 2009]	58
Tab. 14: Experimentell ermittelte Teigwassermenge [g] im Vorversuch	60
Tab. 15: Optimierte Rezeptur 1A.....	62
Tab. 16: Verwendete Enzymkonzentrationen.....	62
Tab. 17: Optimierte Rezeptur 2A.....	63
Tab. 18: Verwendete Enzymkonzentrationen.....	64
Tab. 19: 2 ⁴ - Faktorieller Versuchsplan.....	64
Tab. 20: Ergebnisse zu Sandigkeit und Bitterkeit der Versuchsbrote aus dem Vorversuch	67
Tab. 21: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse.....	78
Tab. 22: Vergleich der Messwerte des Versuchsbrot Nr. 12, der Wiederholung und des Kontrollbrot.....	87
Tab. 23: Abweichung [%] zwischen den Messwerten des Versuchsbrot Nr. 12, der Wiederholung und des Kontrollbrot	88
Tab. 24: Statistisch optimierte Werte und ihre Abweichung zu den Messdaten des Versuchsbrot Nr. 12.....	88
Tab. 25: Enzymkonzentration und Enzymmenge	103
Tab. 26: Daten der Beurteilung der Versuchsbrote aus dem Versuch zur optimalen Enzymkonzentration	104
Tab. 27: Mittelwert und Standardabweichung der Beurteilung der Versuchsbrote aus dem Versuch zur optimalen Enzymkonzentration.....	107
Tab. 28: Enzymkonzentration und Enzymmenge	114
Tab. 29: Primärdaten der Messungen zum Versuch der optimalen Enzymkombination	114
Tab. 30: Mittelwert und Standardabweichung der Beurteilung der Versuchsbrote aus dem Versuch zur optimalen Enzymkombination.....	117
Tab. 31: Mittelwertvergleich des Versuchs Nr. 12 und der Wiederholung des Versuchs Nr. 12 laut Versuchsplan	118

1 Einleitung

Lebensmittel auf Getreidebasis werden als Lieferanten für Energie und Nährstoffe geschätzt. In den heutigen Ernährungsempfehlungen bilden sie die Basis einer ausgewogenen Ernährung.

Das steigende Ernährungsbewusstsein der Verbraucher führt zur Nachfrage nach Nahrungsmitteln mit gesundheitsförderndem Zusatznutzen. Solche „funktionelle Lebensmittel“ enthalten bestimmte Inhaltsstoffe, die nicht als essentiell angesehen werden, aber im Körper eine physiologische Wirkung erfüllen.

Die Gerste bzw. Nacktgerste könnte dabei einen interessanten Beitrag zur menschlichen Ernährung liefern, da sie wegen ihrem hohen Gehalt an Ballaststoffen, v.a. β -Glucan, und sekundären Pflanzenstoffen als ernährungsphysiologisch wertvoll betrachtet wird.

Die technische Herausforderung liegt nun darin aus dem Nicht-Brotgetreide Gerste ein Brot mit hohem Genuss-, Gebrauchs- und Nährwert herzustellen.

Der gezielte Einsatz von Backmitteln kann dabei durch die Natur bedingte Mängel im Backverhalten ausgleichen.

1. Einleitung

2 Literaturteil

2.1 Gerste

Die Gerste, *Hordeum vulgare* oder *Hordeum sativum*, ist eine einjährige Getreidepflanze und gehört zur Familie der Süßgräser (Poaceae). Man unterscheidet dabei zwischen zwei- und mehrzeiligen Arten. Außerdem kann die Gerste nach ihrer Anbauzeit in Sommer- und Wintergerste unterteilt werden [KÖRBER-GROHNE, 2001; LANGER und HILL, 1991].

Abb. 1 zeigt die zeichnerische Darstellung einer zwei- und sechszeiligen Gerste. Die Körner der Ähre werden von Spelzen flankiert, die in langen Grannen enden. Die Spelze ist fest mit dem Samenkorn verwachsen und bleibt auch beim Dreschen mit dem Korn verbunden [LINDHAUER, 2005; KÖRBER-GROHNE, 2001; BHATTY, 1986b].

Bevor die Gerste in der menschlichen Ernährung verwendet werden kann, muss sie entspelzt werden, wobei gleichzeitig die Aleuronschicht und der Embryo entfernt werden. Das Polieren ist der traditionelle Weg um Gerste zu bearbeiten. Es ist ein grobes Scheuern, das schichtweise die verschiedenen Schalen des Gerstenkorns entfernt. Das Polieren vor dem Mahlvorgang reduziert den Mehl- und Ballaststofftrag [IZYDORCZYK et al., 2002 und 2003; LANGER und HILL, 1991].

Die Zusammensetzung des Getreidekorns wird von Genetik und Umweltfaktoren beeinflusst [IZYDORCZYK et al., 2002]. Die energieliefernden Kohlenhydrate bilden, wie in Tab. 1 zu sehen, den Hauptbestandteil. Außerdem sind relativ viele Ballaststoffe im Gerstenkorn enthalten.

Die Inhaltsstoffe sind im Getreidekorn ungleichmäßig verteilt [IZYDORCZYK et al., 2002]. Die äußeren Schalen, die Aleuron- und Subaleuronschicht, sind besonders reich an den Ballaststoffen Arabinoxylan und β -Glucan [LINDHAUER, 2005; MCITNOSH et al., 1995].

Eine weitere Unterteilung kann nach der Nutzung der Gerste in Futter-, Brau- und Speisegerste erfolgen. Die Produktpalette bei Nahrungsmitteln beschränkt

2. Literaturteil

sich dabei auf Graupen, Grützen, Malzkaffee und Bier [KÖRBER-GROHNE, 2001].

Die Gerste zählt nicht zu den Brotgetreidesorten, weil sie einen niedrigen Glutengehalt in den Speicherproteinen im Korn aufweist [LINDHAUER, 2005; SLAFER et al., 2002].

Der Großteil der weltweit angebauten Gerste findet Verwendung im Brauwesen und als Tierfutter [IZYDORCZYK et al., 2002].



Abb. 1: Hordeum vulgare [THOME, 1885]

Tab. 1: Inhaltsstoffe der Gerste entspelzt, ganzes Korn [SENER und SOUCI, 2004]

Hauptbestandteile aus 100g essbaren Anteil:	[g]
Wasser	12,7
Eiweiß	9,8
Fett	2,1
Kohlenhydrate	63,3
Ballaststoffe	9,8
Mineralstoffe	2,3

2.1.1 Nacktgerste

Züchterische Bearbeitung hat zu Nacktformen der Gerste, *Hordeum vulgare ssp. nudum*, geführt. Die Nacktgerste unterscheidet sich von der herkömmlichen Gerste insofern, als dass die Spelze weniger fest am Samenkorn befestigt ist und sich deswegen während des Dreschvorgangs leicht ablöst. Dadurch entfällt der Bearbeitungsschritt des Polierens und der äußere Teil, das Aleuron, mit seinen wertvollen Nährstoffen bleibt erhalten. [LINDHAUER, 2005; BAIDOO und LIU, 1998; MCINTOSH et al., 1995; BHATTY, 1986b].

Die Nacktgerste lässt sich auch gut in herkömmlichen Mühlen, wie sie für Weizen verwendet werden, vermahlen. Es kommt zu keiner Behinderung durch die Spelzen. Probleme beim Mahlen von Nacktgerste ergeben sich durch die Tendenz des Mehles klebrig und daher wenig rieselfähig zu sein [BHATTY, 1986a und 1986b].

Nacktgerstenmehl ist reich an Ballaststoffen. Es beinhaltet 1,6–2,1 % Arabinoxylan, wovon 49 % wasserlöslich sind, und 1,2–1,5 % β -Glucan, wovon 17 % wasserlöslich sind. Die Kleie enthält mehr Ballaststoffe als die fein gemahlene Mehle [ANDERSSON et al., 2003; BHATTY, 1999].

2.2 Ballaststoffe

Die Ballaststoffe sind eine heterogene Gruppe von Substanzen, deren Grundbausteine einfache Zucker darstellen. Sie werden von den körpereigenen Enzymen des Magen-Darm-Traktes nicht abgebaut. Diese Nahrungsfasern werden im Dickdarm zum Teil von Bakterien zu kurzkettigen Fettsäuren umgesetzt. Sie sind die Hauptbestandteile der Zellwände von Pflanzen mit vielfältigen physiologischen Wirkungen und Funktionen. Die Nahrungsfasern binden Wasser und verlängern dadurch die Verweilzeit der Nahrung im Magen. Das Hungergefühl wird gedämpft und die Sättigung setzt ein. Ballaststoffe in der Nahrung vermehren das Stuhlvolumen, erhöhen die Entleerungshäufigkeit und wirken einer Verstopfung entgegen [PLASCH, 2006; ELMADFA und LEITZMANN, 2004].

Die löslichen Ballaststoffe sollen das Plasmacholesterin reduzieren und präventiv gegen koronare Herzerkrankungen wirken [MCINTOSH et al., 1995], die postprandiale Glucose- und Insulinantwort niedrig halten [HALLFRISCH et al., 2003a; LU et al., 2000], blutdrucksenkend wirken [HALLFRISCH et al., 2003b] und das Risiko von Kolonkrebs vermindern [JACOBS et al., 1998; MCINTOSH et al., 1995].

Die D-A-CH-Referenzwerte [2008] empfehlen für Erwachsene zwischen 25 und 51 Jahren eine Ballaststoffzufuhr von mindestens 30 g/Tag.

Gerste ist eine hervorragende Quelle für lösliche und unlösliche Ballaststoffe. Die beiden wichtigsten Nicht-Stärke-Polysaccharide der Gerste sind β -Glucan und Arabinoxylan. Diese beiden sind konzentriert in den Aleuron- und Endospermzellwänden zu finden und machen zusammen ca. 16 % des Gerstenkorns aus [IZYDORCZYK et al., 2001; MCINTOSH et al., 1995].

2.2.1 Arabinoxylan

Arabinoxylan (AX) ist ein komplexes Polymer bestehend aus einer (1→4)-β-D-Xylankette mit unterschiedlich verknüpften α-L-Arabinofuranose-Seitenketten [MCINTOSH et al. 1995] (Abb. 2).

Die Konformation dieses Nicht-Stärke-Polysaccharides ist abhängig von der Länge der Xylankette, dem Grad der Substitution, d.h. dem Verhältnis von Arabinose zu Xylose, dem Muster mit dem die Arabinosereste an die Xylankette gebunden werden und der Koppelung von Ferulasäure an die Arabinoxylan-Seitenketten. Die Struktur und die Konformation des Arabinoxylans beeinflussen wiederum seine physikochemischen Eigenschaften [COURTIN und DELCOUR, 2002].

Arabinoxylan wird nach seinen physikochemischen Eigenschaften in zwei Gruppen differenziert (Abb. 3). Einerseits gibt es Arabinoxylan, das mit Wasser extrahierbar ist, so genanntes „water-extractable arabinoxylan“ (WEAX) und andererseits Arabinoxylan, das nicht mit Wasser extrahierbar ist, so genanntes „water-unextractable arabinoxylan“ (WUAX). Zusätzlich kann man eine Unterscheidung in wasserlösliche und -unlösliche Arabinoxylanfraktionen durchführen. Arabinoxylan, das in Wasser nicht löslich ist, besitzt eine sehr starke Wasserbindungskapazität. Es kann das Zehnfache seines Gewichtes an Wasser binden. Der Gehalt der wasserlöslichen Arabinoxylane ergibt sich aus der Summe des mit Wasser extrahierbaren Arabinoxylans (WUAX) und dem alkalisch oder enzymatisch gelösten Arabinoxylan, so genanntes „solubilised arabinoxylan“ (SAX). Diese haben einen starken Einfluss auf die Viskosität des wässrigen Mediums [DORNEZ et al., 2007; WANG et al., 2003; COURTIN und DELCOUR, 2002; MOONEN, 1998; MEUSER und SUCKOW, 1986].

2. Literaturteil

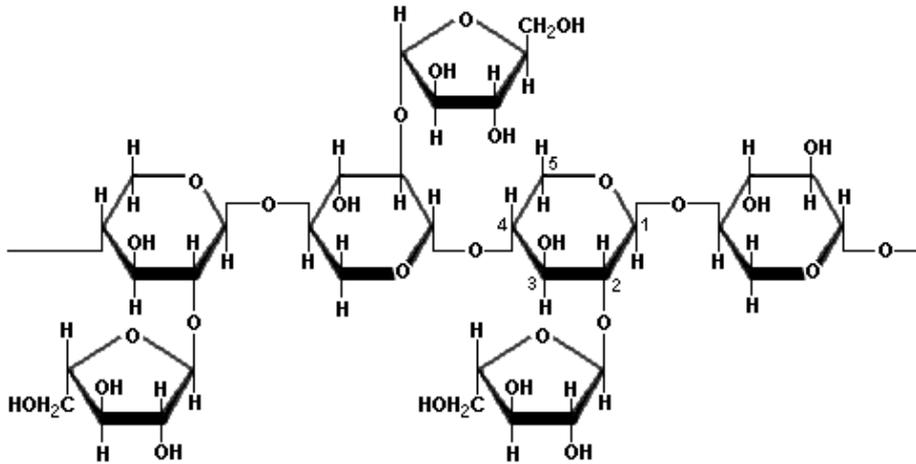


Abb. 2: Chemische Struktur von Arabinoxylan
 [http://www.scientificpsychic.com/fitness/arabinoxylan.gif]

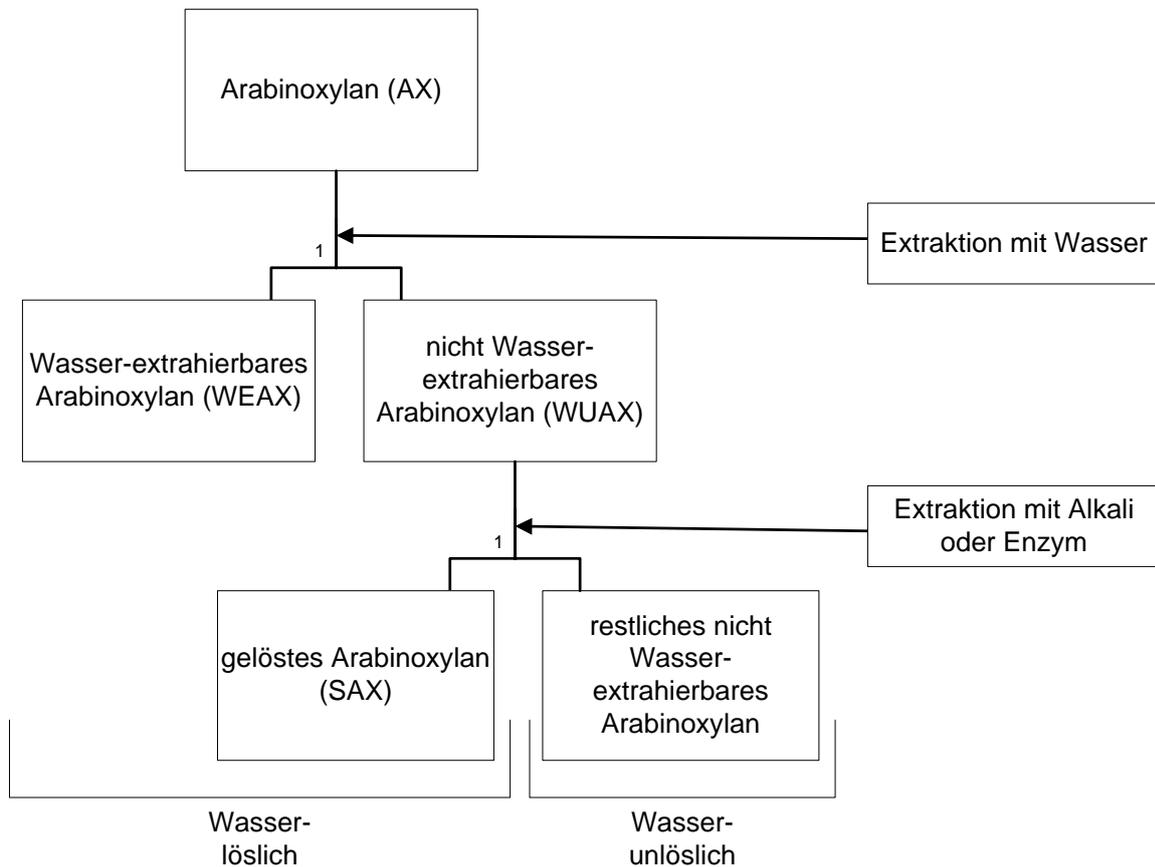


Abb. 3: Einteilung des Arabinoxylans nach seinen physikochemischen Eigenschaften [COURTIN und DELCOUR, 2002]

2.2.2 β -Glucan

(1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)- β -Glucan ist ein lineares Polymer bestehend aus D-Glucoseeinheiten (Abb. 4). Es ist unverdaulich und bildet, wenn es in Wasser gelöst wird, eine hochviskose Lösung [MCINTOSH et al., 1995].

Das β -Glucan ist ein Polysaccharid in der Zellwand von Getreide und kommt in großer Menge in Gerste vor. Der β -Glucangehalt in Gerste variiert in sehr großer Bandbreite und beträgt zusammengefasst ca. 3–11 % [BHATTY, 1999 und 1992; BEER et al., 1998; AMAN und GRAHAM, 1987].

Dieser Ballaststoff kommt im ganzen Gerstenkorn vor. Tab. 2 zeigt den Anteil β -Glucans am Ballaststoffgehalt. In der Kleie ist davon prozentuell gesehen mehr enthalten als im Mehl. In der Kleiefraktion kann sogar bis annähernd doppelt so viel β -Glucan als in der Mehlfraktion gefunden werden [BHATTY, 1999b; BHATTY, 1992].

Die chemische Zusammensetzung der verschiedenen Gerstensorten variiert. Bei den sechzehn Gerstegenotypen, die OSCARSSON et al. [1996] untersuchten, verfügten die Wachskerzen und amylosereichen Gerstentypen über einen hohen β -Glucangehalt, wobei der Anteil an löslichem β -Glucan in der amylosereichen Sorte sehr niedrig ist.

Aber auch die Umwelteinflüsse während der Wachstumsphase beeinflussen den β -Glucangehalt. Niedrige Temperaturen und viel Niederschlag wirken sich negativ aus und warmes trockenes Wetter fördert die Menge an β -Glucan [EHRENBERGEROVA et al., 2008; SOARES et al., 2007; BHATTY, 1999b].

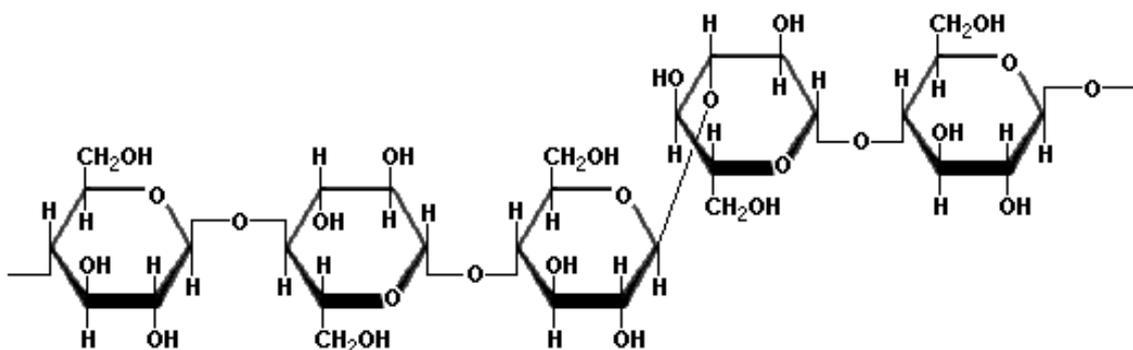


Abb. 4: Chemische Struktur von β -Glucan

[<http://www.scientificpsychic.com/fitness/glucan.gif>]

2. Literaturteil

Tab. 2: Zusammensetzung [%] von Gesamtballaststoff von Kleie und Mehl aus Nacktgerste [BHATTY, 1999]

		Gesamtballaststoff	
		Kleie	Mehl
β -Glucan		22,4 %	20,3 %

2.3 Brotherstellung aus Nacktgerste

Vor allem das reichlich vorhandene Glutenprotein macht aus Weizenmehl einen begehrten Bestandteil der Brotherstellung. Das viskoelastische Netzwerk, das vom Gluten während des Knetvorganges vermehrt gebildet wird, hält das bei der Fermentation entstehende Gärgas zurück und lässt den Teig schön aufgehen [COURTIN und DELCOUR, 2002].

Aber gerade dieses Protein ist in Gerste bzw. Nacktgerste nur in geringer Menge vorhanden. Dieser Umstand stellt eine Herausforderung bei der Brotherstellung aus diesem Rohmaterial dar. Das Nacktgerstenmehl hat einige negative Effekte auf die Teig- und Brotcharakteristik. Der Teig ist, im Vergleich zu Weizenmehlteig, nicht so elastisch und vor allem das Volumen des Brotes wird stark vermindert. Die Supplementation von Gerstenmehl in eine Weißbrotrezeptur erhöht den β -Glucangehalt um ein vielfaches, was ernährungsphysiologisch positiv zu bewerten ist. Der Zusatz von ballaststoffreichen Bestandteilen in eine Weizenbrotmischung verschlechtert aber das Glutennetzwerk durch Dilution des Klebers. Das dadurch verminderte Gasrückhaltevermögen des Teiges verändert die Textur und das Aussehen des Brotes.

Bei Vollkornbroten ergeben sich aber, im Gegensatz zu den feinen Brotsorten, keine Verminderung des Brotvolumens und keine Beeinflussung der Brotform durch das hinzugefügte Gerstenmehl [SKRBIC et al., 2009; TROGH et al., 2004a und 2004b; GILL et al., 2002a und 2002b; BHATTY, 1986a].

2.3.1 Einfluss von β -Glucan auf die Brotherstellung

Schon der Zusatz einer kleinen Menge aus Gerste extrahierten β -Glucans zu einer Weißbrotrezeptur reduziert das Volumen des Brotes signifikant und beeinflusst zudem Aussehen und die Krumenstruktur nachteilig [JACOBS et al., 2008; GILL et al., 2002b]. Nur WANG et al. [1998] berichten von einer feineren Porung durch den Zusatz von β -Glucan.

Der β -Glucangehalt wird während der Brotherstellung durch starke Abbautätigkeit besonders beeinflusst. Die beobachtete Degradation kommt durch die

2. Literaturteil

endogene β -Glucanaseaktivität im Mehl zustande. Deshalb muss, um hochmolekulares, ernährungsphysiologisch wertvolles β -Glucan zu bewahren, die Knet- und Garzeit so kurz wie möglich gehalten werden. Der Backprozess selbst übt keinen Einfluss auf die Länge des β -Glucans aus [TROGH et al., 2004b; ANDERSSON et al., 2004].

2.3.2 Einfluss von Arabinoxylan auf die Brotherstellung

Das Arabinoxylan beeinflusst bei der Brotherstellung die rheologischen Eigenschaften des Teiges und die Textur des Brotes. Die hohe Wasserbindungskapazität dieses Schleimstoffes hilft Mehlen, die kein Klebergerüst bilden können, bei der Teigbereitung. Zusätzlich wirkt sich diese Eigenschaft positiv auf die Frischhaltung des Brotes aus. Das Wasser wird während des Backvorganges gehalten und durch die kontinuierliche Abgabe an die Stärke wird deren Retrogradation verlangsamt. Außerdem hat Arabinoxylan die Fähigkeit, das Gas im Teig zurückzuhalten, weil es ohne in Lösung zu gehen aufquillt. Das führt zu einem erhöhten Volumen des Brotes und einer verbesserten Krumenstruktur.

Roggenmehl enthält doppelt so viel lösliche Pentosane, vor allem Arabinoxylan, wie Weizenmehl. Deshalb bleibt die saftige Krume eines Roggenbrotes länger frisch und trocknet nicht so schnell aus wie bei einem Weißbrot [COURTIN und DELCOUR, 2002; MEUSER und SUCKOW, 1986].

2.4 Backmittel

Um ein geschmackvolles und ansprechendes Brot aus Nacktgerstenmehl herzustellen, können Backmittel zum Einsatz kommen.

In Österreich sind Backmittel durch das BMSG GZ 31.901/25-IX/B/12/01 vom 03. 07. 2001 wie folgt definiert:

„Backmittel sind Mischungen von Lebensmitteln, die dazu bestimmt sind, die Herstellung von Backwaren zu erleichtern oder zu vereinfachen, die wechselnden Verarbeitungseigenschaften der Rohstoffe auszugleichen und die Qualität der Backwaren zu beeinflussen. Sie werden meist in einer Menge von weniger als 10 % (auf Mehl gerechnet) bei der Teigbereitung zugegeben“ fasst WASSER-MANN [2009] zusammen.

Auf europäischer Ebene gibt es keine festgelegten Definitionen oder entsprechende gesetzliche Regelungen.

Die Backmittel wirken während der verschiedenen Phasen der Brotherstellung. Sie verbessern die Eigenschaften des Teiges und des fertigen Brotes. Backmittel beeinflussen die Oberflächenbeschaffenheit (Krustenfarbe, Rösche), erhöhen das Volumen, verbessern die Porung und nehmen Einfluss auf die Krumenelastizität. Ebenso wichtig sind die Auswirkungen auf die Schneidfähigkeit, die Kaubarkeit, den Geschmack und die Frischhaltung [ANONYM, 1999].

2.4.1 Ascorbinsäure

Die Ascorbinsäure (E300) wird als Mehlbehandlungsmittel eingesetzt. Sie gleicht den Mangel an Gluten im Mehl aus und verbessert die Backfähigkeit des behandelten Mehles [MEYER, 2006].

Die Ascorbinsäure oxidiert zu Dehydroxyascorbinsäure, welche das endogen im Mehl vorliegende reduzierte Glutathion (GSH) in die oxidierte Form (GSSG) überführt. Die Bildung von Disulfidbrücken zwischen reduziertem Glutathion und Kleberprotein wird verhindert, wodurch die teigerweichende Depolymerisation der Proteine nicht stattfindet. Die oxidierte Form des Glutathions reagiert mit den noch

2. Literaturteil

freien Thiolgruppen des Glutens. Die Verknüpfung der Cysteineinheiten des Getreideproteins mit Hilfe von Luftsauerstoff stabilisiert das Klebergerüst. Dieser Umstand strafft den Teig, erhöht die Gärtoleranz und bringt voluminöses Brot hervor [MEYER, 2006; KÖHLER, 2001].

Die Ascorbinsäure ist ein schnell wirkendes oxidierendes Agens und entfaltet daher ihre maximale Wirkung während der Teig gemischt wird und aufgeht [SI und DROST-LUSTENBERGER, 2002].

Ascorbinsäurehaltige Teige zeichnen sich außerdem durch erhöhte Dehnwiderstände und Knettoleranz aus [KÖHLER, 2001].

2.4.2 Enzyme

Enzyme sind Proteine und reagieren hoch spezifisch. Sie nehmen bei der Brotherstellung Einfluss auf den Teig während Gare und Ofentrieb. Beim gebackenen Brot beeinflussen Enzyme das Brotvolumen, sowie die Zartheit und Struktur der Krume (Abb. 5). Außerdem können sie das Altbackenwerden von Brot begünstigen oder verlangsamen [CABALLERO et al. 2007, MOONEN, 1998].

Da sie im Endprodukt nicht mehr aktiv sind, müssen sie nicht deklariert werden [MOONEN, 1998].

Sie lassen sich nach ihrer Wirkung in polysaccharidabbauende, glutenabbauende und glutenvernetzende Enzyme unterteilen.

Enzyme, die Polysaccharide abbauen, werden wegen ihrer qualitätssteigernden Wirkung bei frischem Brot eingesetzt. Sie erzielen eine ansprechende Form, ein höheres spezifisches Volumen und eine regelmäßige Porendichte. Außerdem werden diese Enzyme gegen das schnelle Altbackenwerden von Bäckereiprodukten eingesetzt, da sie eine von Beginn an weichere Krume herbeiführen. Zu den polysaccharidabbauenden Enzymen zählen die Hydrolasen α -Amylase und Xylanase.

Andere Enzyme wirken spezifisch auf das Getreideprotein Gluten. Die Protease baut es ab und kann so die Teigführung und die maschinelle Verarbeitbarkeit verbessern. Die Enzyme Glucoseoxidase, Transglutaminase und Laccase wiederum beeinflussen das Klebnetzwerk [CABALLERO et al., 2007].

2. Literaturteil

Werden mehrere Enzyme gleichzeitig verwendet, müssen synergistische und antagonistische Wirkungen beachtet werden.

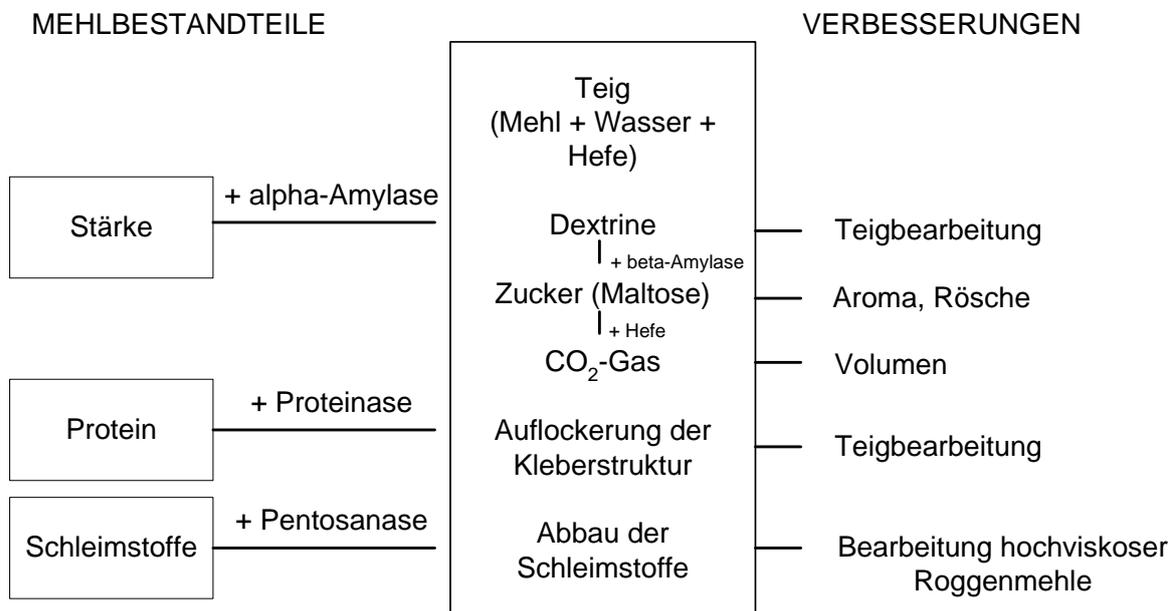


Abb. 5: Enzymwirkung im Teig [SCHARF, 1986]

2.4.2.1 α -Amylase (EC 3.2.1.1.)

Die α -Amylase baut in der Teigphase das Polysaccharid Stärke durch Hydrolyse der α -1,4-glykosidischen Bindung ab, wobei kurze Ketten niedrigmolekularer Polysaccharide entstehen. Der dabei entstandene vergärbare Zucker, die Maltose, wird von der Hefe in Alkohol und Kohlendioxid umgewandelt. Dieser Umstand führt dazu, dass sich beim Ofentrieb durch die Temperaturerhöhung die Gasblasen im Teig ausdehnen und zu einem höheren Teigvolumen führen [CABALLERO et al., 2007; MOONEN, 1998; SCHARF, 1986].

Die α -Amylase beeinflusst die Viskosität des Teiges. Beim fertigen Brot führt sie zu mehr Volumen und Lockerheit der Krume. Die α -Amylase erhöht die durchschnittliche Porengröße und verbessert damit die Krumenoberfläche. Äußerlich kommt es zu einer erhöhten Stabilität der Kruste.

Der gezielte Einsatz der α -Amylase spielt auch eine große Rolle in der Frischhaltung des Brotes während der Lagerung. Dieses Enzym bewirkt eine Verminderung der Retrogradation der Stärke und verzögert so den Effekt des

2. Literaturteil

Altbackenwerdens. Die Lagerfähigkeit wird durch die Hydrolyse der bereits verkleisterten Stärke verlängert, da die Austrocknung hinausgezögert wird [PRIMO-MARTIN et al., 2008; CABALLERO et al., 2007; SI und DROST-LUSTENBERGER, 2002; ROSELL et al., 2001b; CHAMPENOIS et al., 1999; MILLER et al., 1953].

Die Amylasen können aus verschiedenen Quellen gewonnen werden:

Die bakterielle α -Amylase aus *Bacillus subtilis* ist sehr thermostabil und bei Temperaturen von bis zu 80 °C aktiv.

Wenn während des Backvorganges viele lösliche Dextrine entstehen, kann sich die hohe Thermostabilität auch nachteilig auswirken. Das daraus resultierende Brot hat eine gummiartige oder klebrige Krume und ist problematisch beim Schneiden und für den Verbraucher nicht akzeptabel.

Bei einer Überdosierung der bakteriellen α -Amylase wird die Stärke zu exzessiv abgebaut und das Brot fällt beim Herausnehmen aus dem Ofen in sich zusammen [SI und DROST-LUSTENBERGER, 2002; SCHARF, 1986].

Die Pilz- α -Amylase ist im Allgemeinen weniger thermostabil und wird bei einer Temperatur von ca. 65 °C inaktiviert. Da die Verkleisterungstemperatur von Stärke höher liegt, wirkt sie lediglich auf bereits beschädigte Stärke und liefert fermentierbaren Zucker [MOONEN, 1998; SCHARF, 1986].

Das Ergebnis des Enzymeinsatzes bei Weizenmehlverarbeitung zeigt sich im Anstieg des Teigvolumens während des Ofentriebs. Die α -Amylase erhöht die Klebrigkeit und Weichheit des Teiges. Bei zu hoher Dosierung wird der Teig aber zu klebrig um damit arbeiten zu können.

Das Brotvolumen und die Krumenstruktur verbessern sich jedoch mit steigender Dosis mikrobieller α -Amylase. Eine Verbesserung der Krustenfarbe und des Geschmacks des Endproduktes wird ebenso angezeigt.

Wegen ihrer limitierten Thermostabilität hat die Pilz- α -Amylase nur einen eingeschränkten Effekt auf die Frischhaltung [SI und DROST-LUSTENBERGER, 2002; SI, 1994].

2. Literaturteil

Um die Wirkung von α -Amylase auf die Alterung des Brotes weiter zu verbessern, bietet sich die Kombination mit einem weiteren Enzym, der Xylanase, an [GAMBARO et al., 2006].

2.4.2.2 Xylanase (EC 3.2.1.8.)

Die Xylanasen fallen unter die Oberbegriffe Hemicellulasen bzw. Pentosanasen. Sie unterscheiden sich in ihrer Herkunft und Wirkung. Diese Enzyme bauen das wasserlösliche Nicht-Stärke-Polysaccharid Arabinoxylan durch Hydrolyse ab [COURTIN et al., 2001; MOONEN, 1998].

Eine Xylanase, die aus dem Schimmelpilz *Aspergillus aculeatus* gewonnen wird baut wasserlösliches Arabinoxylan durch Hydrolyse ab. Dies geschieht vor allem während der Fermentation. Das dadurch verkleinerte Arabinoxylan hat ein niedriges Molekulargewicht und kann weniger Wasser binden.

Diese Pilz-Xylanase zeigt bezüglich des Brotvolumens nur kleine Effekte [COURTIN et al., 2001].

Aus *Bacillus subtilis* gewonnene Xylanase, findet in vielen Nahrungsmitteln Verwendung. Sie hydrolysiert das wasserunlösliche Arabinoxylan vor allem während des Mischvorganges der Brotherstellung. Das nun wasserlösliche Arabinoxylan hat ein höheres Molekulargewicht als das durch Pilz-Xylanase hydrolysierte wasserlösliche Arabinoxylan und kann große Mengen an Wasser binden. Wird das wasserlösliche Arabinoxylan weiter zu kleineren Oligosacchariden abgebaut, wird das gebundene Wasser wieder freigegeben.

Der Einsatz bakterieller Xylanase führt zu einem höheren Brotvolumen [COURTIN et al., 2001].

Je höher die Xylanasedosis ist, desto mehr Arabinoxylan wird gelöst und umso höher wird der Anteil an löslichem Arabinoxylan. Der Gesamtgehalt an wasserlöslichen Polysacchariden ändert sich aber nur geringfügig, da er sich hauptsächlich aus β -Glucan zusammensetzt und diese von der Xylanase nicht beeinflusst wird [FLANDER et al., 2008; TROGH et al., 2004b].

2. Literaturteil

Für die Brotherstellung gestaltet sich der enzymatische Umbau von wasserunlöslichem zu löslichem Arabinoxylan wegen seiner positiven Wirkung bezüglich der Wasserbindungskapazität als vorteilhaft [COURTIN et al., 2001; MOONEN, 1998; ROUAU et al., 1994].

Der Zusatz von Xylanase erhöht die Festigkeit von Brot aus Hafermehl, nimmt aber keinen Einfluss auf dessen spezifische Volumen [FLANDER et al., 2008].

Die technologische Wirkung der Xylanase ergibt eine Verbesserung der Qualität des Teiges. Die Struktur und Kneteigenschaften, sowie die Regulierung der Viskosität und des Wasserbindungsvermögens des Teiges werden optimiert. Dieses Enzym zeigt bei optimaler Dosierung perfekte Fließ- und Gäreigenschaft beim Teig, wodurch dieser, weil er nicht zu hart oder klebrig ist, angenehm in der Handhabung und Maschinengängigkeit bleibt [BASINSKIENE et al., 2007; GAMBARO et al., 2006; MEYER, 2006; GUY und SAHI, 2003; SI und DROST-LUSTENBERGER, 2002; COLLAR et al., 2000; COURTIN et al., 2001, ROUAU et al., 1994].

Schon eine niedrige Dosis der Xylanase ergibt ein großvolumiges Brot. Dieses polysaccharidabbauende Enzym bewirkt von Anfang an eine sehr weiche Krume und verlangsamt damit das Altbackenwerden des Brotes [CABALLERO et al., 2007; BASINSKIENE et al., 2007; MEYER, 2006; JIANG et al., 2005; GUY und SAHI, 2003; SI und DROST-LUSTENBERGER, 2002; WANG et al., 1998; ROUAU et al., 1994].

Der Einsatz von Xylanase erzielt bei Verwendung von so genannten schwachen Mehlen mit niedrigem Proteingehalt gute Ergebnisse bezüglich des Volumens und der Krumenqualität des Brotes [ROUAU et al., 1994].

Die Studie von TROGH et al. [2004b] ergab, dass die Beeinträchtigung des Brotvolumens angesichts einer Beimischung von 40 % Nacktgerstenmehl zur Brotrezeptur durch Zusatz von Xylanase teilweise beseitigt wird. Es wurden 60, 12 und 2,4 Units einer Xylanase aus *Bacillus subtilis* pro Kilogramm Mehl beigemischt. Das Volumen stieg dabei proportional zur hinzugefügten Xylanasemenge. Bei der höchsten Dosis vergrößerte sich das Brotvolumen des Weizen-

2. Literaturteil

Hafer-Mischbrot, im Vergleich zum ungesüßtem Brot, um 20,1 % [TROGH et al., 2004b].

Der Effekt der Xylanase wird von endogenen Xylanaseinhibitoren gehemmt. Es gibt 2 Arten von Inhibitoren in der Gerste. Der erste wird *Triticum-aestivum*-L-Xylanase-Inhibitor (TAXI) und der zweite Xylanase-Inhibiting-Protein-Like-Inhibitor (XIP) genannt [TROGH et al., 2004a; SORENSEN, 2003; GOESAERT et al., 2003a und 2003b; DEBYSER et al., 1999].

Die Xylanase wird häufig in Kombination mit anderen Enzymen verwendet.

Die Enzymkombination von Xylanase mit α -Amylase führt in Broten aus Weizenmehl zu einem Anstieg des Volumens ohne Problematik des klebrigen Teiges. Zusätzlich wird die Krumenstruktur verbessert [GAMBARO et al., 2006; SI und DROST-LUSTENBERGER, 2002]. GAMBARO et al. [2006] verwendeten in ihrer Studie 60 mg/100 g Mehl einer 1:1-Mischung von Xylanase und α -Amylase.

Der Zusatz des Enzyms Laccase verbessert die Verfügbarkeit des Ballaststoffs Arabinoxylan für die Xylanase. Die Degradation des wasserunlöslichen Arabinoxylans durch die Xylanase erlaubt es der Laccase mehr β -Glucan abzubauen. Der Synergieeffekt dieser beiden Enzyme reduziert die Menge und Größe wasserlöslicher Polysaccharide und bewirkt, dass mehr Wasser für das Gluten zur Verfügung steht. Dies lässt den Teig weicher und dehnbarer werden als bei Behandlung durch Xylanase alleine und ist der Hauptgrund für das erhöhte Brotvolumen bei Weizenbrot, Haferbrot und Hafer-Weizen-Mischbrot [FLANDER et al., 2008].

2.4.2.3 Protease (EC 3.4.21.19.)

Die glutenabbauende Protease beeinflusst im speziellen das Glutenin. Dies führt zu einer Änderung der Elastizität des Glutenkomplexes. Die Proteaseaktivität bewirkt eine Verbesserung der Form, des spezifischen Volumens und der Porenbildung des Brotes, sowie eine weichere elastischere Krume. Die Protease zeigt einen signifikanten positiven Effekt auf die Alterung des Brotes. Die Kombination von Protease mit α -Amylase verstärkt ihre Effekte und vermindert das Hartwerden des Brotes während der Lagerung [CABALLERO et al., 2007].

2.4.2.4 Glucoseoxidase (EC 1.1.3.4.)

Glucoseoxidase oxidiert Glucose zu Gluconsäure und Wasserstoffperoxid (H_2O_2). Letzteres fördert die Ausbildung von Disulfidbrücken im Gluten. Die Wirkung der Glucoseoxidase beschränkt sich zeitlich auf das Kneten des Teiges und die erste Phase der Gärung, weil währenddessen die Hefe den ganzen Sauerstoff verbraucht. Der Zusatz von Glucoseoxidase beeinflusst die Brotqualität signifikant. Die oxidative Aktivität der Glucoseoxidase führt zu steiferen und weniger dehnfähigen Teigen. Supplementierte Teige resultieren in Broten mit elastischer zusammenhaltender Krume und hohem spezifischen Volumen [CABALLERO et al., 2007; DAGDELEN und GOCMEN, 2007; MOONEN, 1998].

Glucoseoxidase wird meist in Kombination mit anderen Enzymen oder Ascorbinsäure angewendet. Die Auswirkung auf die Teig rheologie und die Brotqualität sind stark abhängig von der Enzymmenge und der Mehlqualität [DAGDELEN und GOCMEN, 2007; MOONEN, 1998].

Die Ascorbinsäure macht aus der Glucoseoxidase ein exzellentes Backmittel. DAGDELEN und GOCMEN [2007] beschreiben die Mischung von 2 mg Glucoseoxidase pro kg Mehl mit 30 mg Ascorbinsäure pro kg Mehl als optimal. Diese Kombination erhöht die Widerstandsfähigkeit des Teiges und das spezifische Volumen des fertigen Brotes [DAGDELEN und GOCMEN, 2007].

Zur Verbesserung des Teiges kann eine Enzymkombination aus Glucoseoxidase, Xylanase, α -Amylase und Ascorbinsäure eingesetzt werden. Diese besondere Mischung verbessert das Aufgehen des Teiges und die Teigstabilität während der Herstellung. Sie bringt Brote mit höherem Volumen und einer knusprigen Kruste hervor [SI und DROST-LUSTENBERGER, 2002].

Trotz einiger wünschenswerter Effekte von Glucoseoxidase auf das Brotvolumen wird eine Kombination von Glucoseoxidase und Xylanase nicht empfohlen. Die Xylanase fördert eine weiche Krume und verlangsamt so den Alterungsprozess. Dieser positive Effekt würde durch die Glucoseoxidase vermindert werden [COLLAR et al., 2000].

2.4.2.5 Transglutaminase (EC 2.3.2.13.)

Das Enzym Transglutaminase katalysiert die Bildung einer kovalenten Bindung zwischen den Aminosäuren Lysin und Glutamin in Proteinen [REINIKAINEN et al., 2003].

Der vernetzende Effekt der Transglutaminase auf verschiedene Proteinfractionen erzeugt eine Versteifung des Teiges und damit einhergehend eine Reduktion der Dehnbarkeit des Teiges. Die Addition von Transglutaminase bewirkt eine signifikante Senkung des spezifischen Brotvolumens wobei sich an der Brotform keine Veränderung zeigt. Das Oberflächenbild der Krume zeigt eine hellere Farbe und durch die Gleichmäßigkeit der kleinen Poren eine allgemein feinere und ebenmäßigere Struktur. Die Transglutaminase fördert das Altbackenwerden des Brotes. Daher muss ein weiteres Backmittel eingesetzt werden das dem entgegenwirkt [CABALLERO et al., 2007].

Alle Enzyme, außer Glucoseoxidase, zeigen einen sichtbaren Effekt in Kombination mit Transglutaminase.

Die Xylanase wirkt der Versteifung des Teiges entgegen. Und obwohl die Transglutaminase den Erweichungseffekt der Xylanase vermindert, bewirkt die Kombination der beiden Enzyme bei Weißbrot eine weniger harte Krume.

Die Kombination von Transglutaminase mit Laccase beeinflusst hingegen nur die Krumenoberfläche. Die Krumenfarbe wird dann dunkler und die Krume durch größere Poren gröber.

Durch Interaktion mit Protease wird die Porendichte erhöht und die Gleichmäßigkeit der Krumenoberfläche verbessert. Gleichzeitig wird der Härtegrad der Krume von Weizenmehlbrot mit Transglutaminase vermindert [CABALLERO et al., 2007].

2.4.2.6 Laccase (EC 1.10.3.2.)

Die Laccase ist eine Oxidoreduktase. Dieses Enzym katalysiert die Oxidation von phenolischen Substanzen zu Chinonen und gleichzeitig die Reduktion von Luftsauerstoff zu Wasser. Einerseits reagiert die Laccase mit dem Gluten und beeinflusst positiv die rheologischen Eigenschaften des Teiges indem sie seine

2. Literaturteil

Dehnbarkeit sichtbar erhöht, aber seine Viskosität nicht beeinträchtigt. Andererseits katalysiert die Laccase die oxidative Gelbildung von Arabinoxylan durch Dimerisierung seiner Ferulasäureester. Das hat eine Verminderung des Gehalts an wasserlöslichem Arabinoxylan zur Folge. Außerdem führt als Nebenaktivität der Laccasebehandlung die Glucanase zum Abbau von β -Glucan [FLANDER et al., 2008; CABALLERO et al., 2007].

SI [1994] beschreibt in ihrem Patent, dass der Zusatz von Laccase die Klebrigkeit eines Weizenvollkornteiges reduziert.

Weißbrot erfährt durch vorangegangene Supplementierung mit Laccase eine Erhöhung des spezifischen Volumens, der Festigkeit der Krume und der Knusprigkeit der Kruste. Bei einem Mischbrot aus Weizen und Hafer zeigt der Enzymeinsatz ebenso einen positiven Effekt, aber bei reinem Haferbrot bleibt das Volumen unbeeinflusst [FLANDER et al., 2008].

In Kombination mit Xylanase oder Pilz- α -Amylase, die klebrige und weiche Teige verursachen können, wirkt die Laccase dem entgegen und ergibt festere Teige. Die Kombination von Laccase mit Xylanase ergibt zwar nur das gleich hohe Brotvolumen wie der alleinige Einsatz von Xylanase, verfeinert aber die Krumenstruktur. Laccase in Verbindung mit Transglutaminase oder Protease vergrößert die durchschnittliche Porengröße und die Krumenstruktur erscheint rauer [FLANDER et al., 2008; CABALLERO et al., 2007; REINIKAINEN et al., 2003; SI, 1994].

2.4.3 Hydrokolloide

Die Supplementierung verschiedener Hydrokolloide mit unterschiedlicher chemischer Struktur und Herkunft wirkt sich in der Brotherstellung individuell auf die Qualität von frischem Brot und seine Alterung aus. Der Zusatz von Hydrokolloiden zur Brotrezeptur führt allgemein zu einer Verbesserung der Qualität und Verlängerung der Haltbarkeit [BARCENAS et al., 2004].

Zu den oft verwendeten Hydrokolloiden zählen Natrium-Alginat, Xanthan, κ -Carrageen, Carboxymethylcellulose (CMC) und Hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) [GUARDA et al., 2004].

2. Literaturteil

Die Wasserabsorption des Teiges wird durch den Hydrokolloidzusatz erhöht. Die höchste Absorption wird bei Addition von Natrium-Alginat und HPMC beobachtet.

Die Beimengung von Hydrokolloiden beeinflusst das viskoelastische Verhalten des Teiges. Die Dehnfähigkeit des Teiges wird zum Beispiel durch die Hydrokolloidwirkung, allen voran HPMC, verbessert. Xanthan interagiert mit den Mehlproteinen und bewirkt im Vergleich zu den anderen Hydrokolloiden die höchste Stabilität beim Weizenmehlteig. Im Gegensatz dazu verschlechtert der Einsatz von κ -Carrageen die Stabilität des Teiges.

Alle Hydrokolloide, mit Ausnahme von Natrium-Alginat, erhöhen das spezifische Volumen des fertigen Brotes. Die Verwendung von Hydrokolloiden wirkt sich sehr unterschiedlich auf die Krume aus. Während der Einsatz von HPMC eine weiche Krume mit sich bringt, erhöht Xanthan den Härtegrad der Brotkrume. Eine Supplementierung mit κ -Carrageen zeigt, außer bei ROSELL et al. [2001a] wo ein Anstieg des Härtegrads beschrieben wird, keinen Einfluss auf die Krume. Natrium-Alginat und HPMC bewirken, im Vergleich zu κ -Carrageen und Xanthan, neben der röschesten Kruste auch ein besseres Aussehen des Brotlaibes.

Alle Hydrokolloide reduzieren den Verlust an Feuchtigkeit während der Lagerung des Brotes indem sie die Verhärtung der Krume hinauszögern.

Um die Effekte zu verbessern können die Hydrokolloide nicht nur untereinander, sondern auch zum Beispiel mit Molkenprotein, kombiniert werden [BARCENAS und ROSELL, 2006; BARCENAS et al., 2004; GUARDA et al., 2004; ROSELL et al., 2001a].

2.4.3.1 Hydroxypropylmethylcellulose (HPMC)

Die Hydrokolloide Carboxymethylcellulose und Hydroxypropylmethylcellulose sind Derivate der Cellulose. Im Gegensatz zur Cellulose, die in Wasser weder löslich noch quellfähig ist, bewirken die hydrophilen Gruppen, wie Methyl- und Hydroxylreste, am Cellulosegerüst der Polymere deren Wasserlöslichkeit. HPMC bindet sich an die Stärke, während CMC bevorzugt mit Gluten interagiert [COLLAR et al., 2001; SARKAR und WALKER, 1995].

Dem Zusatz von HPMC wird ein positiver Effekt auf die Brotqualität zugeschrieben. Die Aktivität dieses Hydrokolloids erhöht das spezifische Brotvolumen,

2. Literaturteil

steigert den Feuchtigkeitsgehalt und verbessert die Krumenstruktur bei Versuchen mit Weizenmehl. Die Addition von HPMC verstärkt die Porosität der Krume beträchtlich, ähnlich wie das Enzym Amylase.

Auch die sensorischen Eigenschaften für Aussehen, Aroma, Geschmack und Knusprigkeit von frischem Brot können verbessert werden. Die Aktivität von HPMC fördert, durch den höheren Feuchtigkeitsgehalt, eine weichere Krume und verlangsamt das Altbackenwerden des Brotes ohne Beeinträchtigung der sensorischen Attribute. Das Hartwerden der Krume und die Retrogradation von Amylopektin werden während der Lagerung hinausgezögert. Diese Emulgatorwirkung von HPMC zeigt sich signifikant in Weizenvollkornbrot und steigt mit der Dauer der Lagerzeit an [PRIMO-MARTIN et al., 2008; BARCENAS und ROSELL, 2006 und 2005; BARCENAS et al., 2004; GUARDA et al., 2004; ROSELL et al., 2001a; ARMERO und COLLAR, 1998].

2.4.4 Milchbestandteile

Die Einarbeitung von Milchbestandteilen hat sich in der Backindustrie durch deren funktionellen und gesundheitlichen Nutzen etabliert [KENNY et al., 2000; ZADOW und HARDAM, 1981].

Das Milcheiweiß stellt eine gute Ergänzung zum Mehlprotein dar.

Die funktionellen Vorteile umfassen die Verbesserung der Teighandhabung und der Brotqualität in Geschmack, Krustenfarbe, Röstcharakteristik, Krumenstruktur und -textur. Der Zusatz von Milchbestandteilen im Allgemeinen erhöht die Wasserabsorption und verkürzt die Mischzeit. Zu den traditionell verwendeten Milchbestandteilen zählen Voll- und Magermilchpulver, Natrium-Caseinat, Caseinhydrolysat und Molkenproteinkonzentrate. Voll- und Magermilchpulver dienen der Verbesserung der sensorischen Charakteristik. Das Milchpulver kann durch weniger kostenintensive Milchbestandteile wie Molkenpulver und Milchproteine mit ihren besonderen funktionellen Eigenschaften ersetzt werden [KENNY et al., 2000; ERDOGDU-ARNOCZKY et al., 1996].

2.4.4.1 Casein

Das Casein ist ein hochwertiges Nahrungsprotein mit spezifischen funktionellen Eigenschaften [MEHRENS und REIMERDES, 1991].

Casein liegt in der Milch als Calciumverbindung vor. Infolge des Austausches von Calciums durch Natrium erhält das Casein emulgierende Eigenschaften. Die funktionellen Vorteile von Natrium-Caseinat und hydrolysiertes Casein zeigen sich in der Brotherstellung durch eine kürzere Gärzeit, höheres Volumen und niedrigere Festigkeit des Teiges. Die Wirkung von Natrium-Caseinat auf die Backqualität ist daher vergleichbar mit jener von Ascorbinsäure und Emulgatoren [KENNY et al., 2000; LÜCK und KUHNERT, 1998].

2.4.4.2 Molkenprotein

Dieses Protein zeigt ernährungsphysiologisch eine sehr hohe biologische Wertigkeit [LORENZEN und REIMERDES, 1991].

Das Einarbeiten von unbehandeltem Molkenprotein wirkt sich generell nachteilig auf die Teig- und Brotqualität aus. Die vielen reaktiven Thiolgruppen des Molkenproteins behindern die Glutenentwicklung. Die Konsequenz daraus ist ein feuchter, klebriger Brotteig mit niedriger Teighöhe, der in kleinen Laiben resultiert [KENNY et al., 2000; KADHARMESTAN et al., 1998; ERDOGDU-ARNOCZKY et al., 1996; ZADOW et al., 1983; ZADOW und HARDMAN, 1981].

Dem negativen Effekt von Molkenprotein auf die Brotqualität kann durch Proteindenaturierung mittels Hitze- oder Hochdruckbehandlung entgegengewirkt werden.

Die thermische Behandlung des Molkenproteins bewirkt eine Konformationsänderung. Die Denaturierung des kompakt gefalteten, wasserlöslichen Proteins führt zu einer ungefalteten Struktur mit verminderter Löslichkeit und einer Blockade der Thiolgruppen. Durch die Hitzebehandlung wird das Molkenprotein zwar unlöslich und verliert seine emulgierende und schäumende Fähigkeit, dafür kann es aber zur Modifikation von Backprodukten verwendet werden. Das thermisch behandelte Molkenprotein zeigt in jeder Hinsicht verbesserte Eigen-

2. Literaturteil

schaften im Vergleich zu unbehandeltem. Es reduziert die Aufgezeit des Teiges, verbessert die Teighandhabung, steigert das Brotvolumen und wirkt sich positiv auf die Textur aus. Gleichzeitig wird das Altbackenwerden verlangsamt, weil der Einsatz von hitzebehandeltem Molkenprotein zu einer weicheren Krume führt. Das hitzebehandelte Molkenprotein zeigt seine Vorteile vor allem bei der Weiterverarbeitung von gefrorenem und wieder aufgetautem Teig [KENNY et al., 2000; KADHARMESTAN et al., 1998; ERDOGDU-ARNOCZKY et al., 1996; DE WIT und KLARENBEEK, 1984; ZADOW et al., 1983].

Die Kombination von Milchbestandteilen mit Hydrokolloiden kann die Teig- und Broteigenschaften verbessern. Das spezifische Brotvolumen wird durch die gemeinsame Verwendung von Molkenprotein mit κ -Carrageen und Casein mit Natrium-Alginat, aber am meisten durch die Verbindung von Molkenprotein mit Natrium-Alginat erhöht. Die Kombination von Casein und κ -Carrageen erzielt den gegenteiligen Effekt und senkt das spezifische Brotvolumen. κ -Carrageen erzielt zusammen mit Casein oder Molkenprotein eine weichere Krume. Natrium-Alginat in Kombination mit Casein senkt ebenfalls den Härtegrad der Krume, aber die Verbindung mit Molkenprotein bringt lediglich das gleiche Ergebnis wie unbehandelte Teigproben. Besonders gute Ergebnisse erzielt die Kombination von Milchbestandteilen mit Hydrokolloiden bei Weizenmehlbrot, das aus gefrorenem und wieder aufgetautem Teig hergestellt wird. Das spezifische Brotvolumen sinkt zwar mit Dauer der Tiefkühlagerung des Teiges, ist aber meist höher als ohne Supplementierung. Die Mischung von Molkenprotein und κ -Carrageen verbessert während der Tiefkühlung sogar die Krumenfestigkeit [JINHAN et al., 2009].

2.4.5 Emulgatoren

Emulgatoren sind grenzflächenaktive Stoffe, die aus nicht-mischbaren Phasen ein feindisperses System bilden können. In Backwaren verwendete Emulgatoren sind Fettstoffderivate aus Glycerin und Fettsäuren, die mit organischen, backtechnisch wirksamen Säuren verbunden sein können. Sie modifizieren das Mehl indem sie die Mehlqualität ausgleichen. Die Emulgatoren zeigen, wie in Abb. 6 zu sehen, während allen Prozessstufen ihre Wirkung. Besonders beim Kneten kommt

2. Literaturteil

es zur Interaktion des Emulgators mit dem Mehlprotein. Es werden kovalente Bindungen ausgebildet, die die Kleberqualität verbessern. Als Zusatz zum Teig erleichtern Emulgatoren die Handhabung der Masse und führen zu höherer Teig- und Gärstabilität. Weiters erhöhen sie das Volumen und verbessern die Krumeigenschaften des fertigen Brotes. Durch die Weichheit der Krume verlängert sich die Frischhaltung und das Altbackenwerden wird verzögert.

Emulgatoren können in Kombination mit Hydrokolloiden optimale rheologische und sensorische Eigenschaften entwickeln [SCHUSTER, 1986; MOLLENHAUER, 1983].

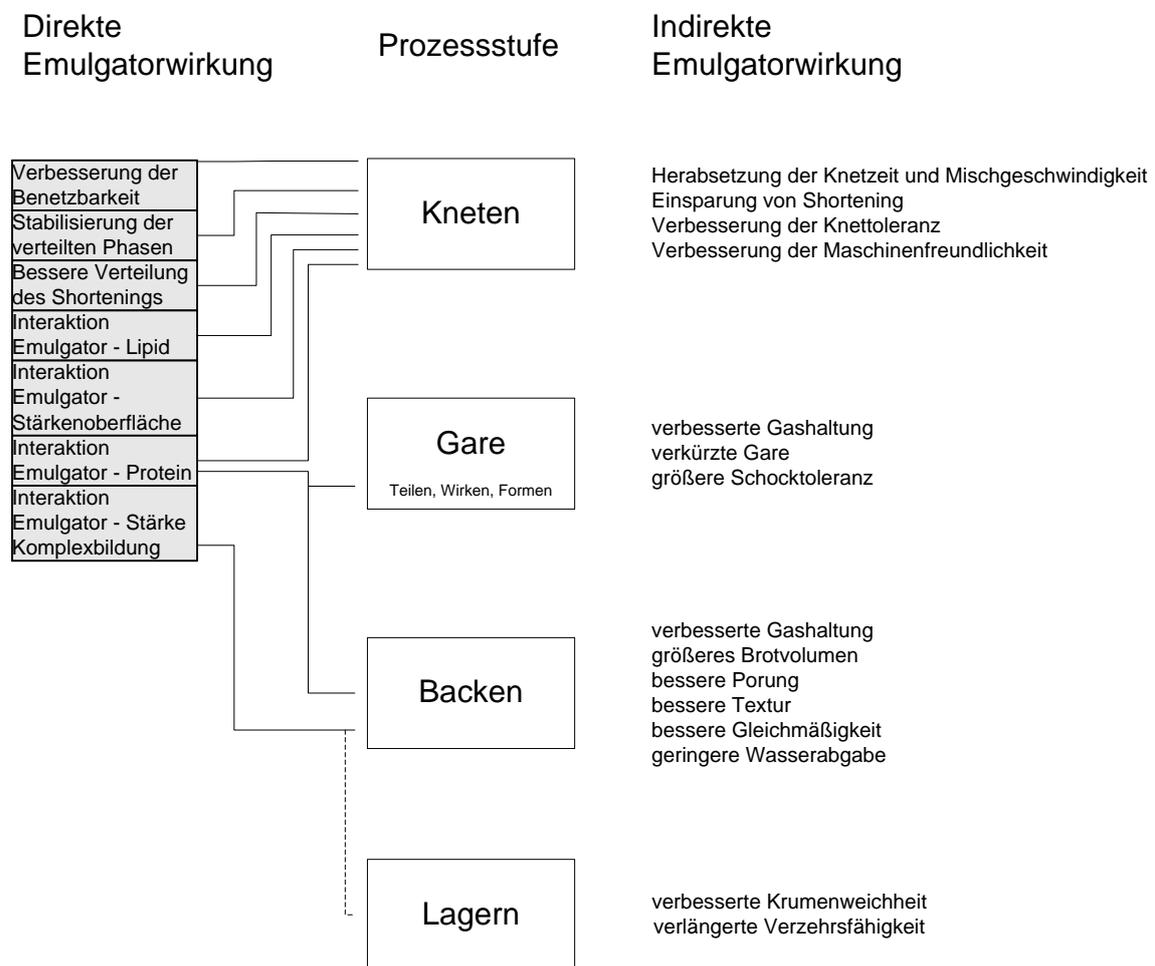


Abb. 6: Einflussmöglichkeiten von Emulgatoren auf die Herstellung und Qualität von Backwaren [SCHUSTER, 1986]

2.4.5.1 DATEM

DATEM ist die Abkürzung für „Diacetyl-Tartaric-Ester-of-Monoglyceride“ und bezeichnet das Diacetylweinsäureglycerid.

Es wird in der Lebensmittelindustrie als Emulgator und als Mehlbehandlungsmittel eingesetzt. DATEM geht starke Wechselwirkungen mit Proteinen ein, besonders mit Gluten [LÜCK und KUHNERT, 1998].

Wird DATEM in die Brotrezeptur eingebracht, erhöht das die viskoelastischen Eigenschaften des Teiges. Es entsteht ein weniger klebriger und leichter zu führender Teig [DEMIRKESEN et al., 2010].

Der Zusatz von DATEM verbessert die Brotqualität bezüglich des spezifischen Volumens, der Farbe und der Textur und der sensorischen Ausprägung. Das Brotvolumen wird erhöht und die Krumenstruktur durch die Anwesenheit des Emulgators stark in Porengröße und -verteilung beeinflusst. Die Aktivität von DATEM führt bei frischem Brot, im Vergleich zu un-supplementierten Proben, zu einer verminderten Krumenhärte. Die Krume ist dementsprechend weicher und bleibt dies auch während der Lagerung. Bei Weizenvollkornbroten ist dieser Effekt noch ausgeprägter. Das Ergebnis des Einsatzes von DATEM ist im Hefeteig durchwegs überlegener als im Sauerteig [NUNES et al., 2009; AZIZI und RAO, 2005; ARMERO und COLLAR, 1998; METTLER et al., 1992].

Die Kombination von DATEM mit einem Hydrokolloid verbessert deutlich das Porenbild und führt zu sehr weichen Brotkrumen [METTLER et al., 1992].

2.5 Gesundheitliche Aspekte

Die folgenden Kapitel befassen sich mit den potentiell positiven Effekten von gerstehaltigen Lebensmitteln bzw. dem darin enthaltenen β -Glucan und der Möglichkeit diese Wirkung in die alltägliche Ernährung einzubauen.

Wegen ihrer Zusammensetzung und natürlichen Herkunft hat die Gerste das Potenzial als Zutat eines funktionellen Lebensmittels [JACOBS et al., 2008].

2.5.1 Ernährungsphysiologische Auswirkung von β -Glucan

Einige wissenschaftliche Publikationen befassen sich mit der Wirkung des regelmäßigen Verzehrs von Gerstenprodukten und dem darin enthaltenen Ballaststoffen. Viele Studien wurden zur ernährungsphysiologischen Auswirkung von β -Glucan durchgeführt.

Es wird vermutet, dass der Verzehr von Gerste zu einer Abnahme des Cholesteringehaltes führen kann. Klinische Humanstudien ergaben, dass die regelmäßige Aufnahme von β -Glucan aus Gerste eine signifikante Reduktion des Gesamt- und LDL-Cholesterins bei Personen mit Hypercholesterinämie bewirken kann [SHIMIZU et al., 2008; BEHALL et al., 2004; IZYDORCZYK et al., 2001, BHATTY, 1999; MCINTOSH et al., 1991].

In der Studie von DELANEY et al. [2003] wurde der cholesterinsenkende Effekt bei Hamstern sowohl von konzentriertem β -Glucan aus Nacktgerste als auch mit β -Glucan aus Hafer erzielt. Die botanische Herkunft des β -Glucans dürfte dabei keine entscheidende Rolle spielen.

Eine Studie an Ratten demonstriert, dass die Langzeiteinnahme von Gerste einen positiven gesundheitlichen Effekt auf die Glucosetoleranz und den Lipidmetabolismus hatte [LI et al., 2003].

Der Glykämischen Index (GI), mit dem die Kohlenhydratwirkung auf den Blutzuckerspiegel erfasst wird, ist nach Verzehr von Gerste und -produkten sehr niedrig. Das β -Glucan der Gerste soll die intestinale Absorption von Glucose senken und somit den Blutglucosegehalt vermindern. Dieser Umstand wirkt sich günstig auf die postprandiale Glucose- und Insulinantwort aus [THONDRE und

2. Literaturteil

HENRY, 2009; SHIMIZU et al., 2008; ÖSTMAN et al., 2006; HALLFRISCH et al., 2003a; LI et al., 2003; CAVALLERO et al., 2002].

Der Aufnahme von ballaststoffreichen Vollkornprodukten wird eine präventive antikanzerogene Wirkung nachgesagt [IZYDORCZYK et al., 2001; JACOBS et al., 1998].

2.5.2 Functional Food

Funktionelle Lebensmittel sollen dem Menschen, über die Zufuhr von Energie und Nährstoffen hinaus, einen zusätzlichen Nutzen bieten. Viele natürliche Lebensmittel weisen bereits ohne weitere Bearbeitung funktionelle Eigenschaften auf. Vor allem Obst, Gemüse, Vollkorngetreide und Nüsse sind gehaltvolle Quellen für eine Palette von funktionellen Inhaltsstoffen. Diese Lebensmittel sind von Natur aus reich an bestimmten Nährstoffen und werden daher „Intrinsic Functional Foods“ genannt. Andererseits erlaubt die Anreicherung von Grundnahrungsmitteln oder anderen viel konsumierten Gütern wichtige Nährstoffe leichter in die tägliche Ernährung einzubauen, so dass eine größere Anzahl an Konsumenten damit versorgt werden kann. Das Konzept der „Functional Foods“ eröffnet der Lebensmittelindustrie die Möglichkeit die Nährstoffqualität von bestehenden Lebensmitteln zu verbessern und so der Behebung oder Vorbeugung eines Ernährungsproblems in der Bevölkerung dienen [ELMADFA et al., 2009; ELMADFA und LEITZMANN, 2004].

2.5.3 Health Claims

Die EU-Gesetzgebung lässt gesundheitsbezogene Angaben auf Nahrungsmitteln zu Werbezwecken nur zu, sofern sie auf aussagekräftige wissenschaftliche Studien gestützt sind. Die rechtliche Voraussetzung für das europaweite vereinheitlichte Inverkehrbringen von Lebensmitteln erfolgt durch eine Verordnung über Nährwert- und gesundheitsbezogene Angaben auf Lebensmitteln (VO (EG) Nr. 1924/2006). In Tab. 3 werden zwei Arten gesundheitsbezogener Aussagen unterschieden [ELMADFA et al., 2009].

2. Literaturteil

Die so genannten Health Claims sind definiert als „Eine gesundheitsbezogene Angabe [...] mit der erklärt, suggeriert oder mittelbar zum Ausdruck gebracht wird, dass ein Zusammenhang zwischen der Lebensmittelkategorie, einem Lebensmittel oder seinen Bestandteilen einerseits und der Gesundheit andererseits besteht“ [MEYER, 2007].

Bei täglichem Genuss über einen längeren Zeitraum übt der Getreideballaststoff β -Glucan offensichtlich eine positive Wirkung auf das Herz-Kreislaufsystem aus und senkt das Risiko für koronare Herzerkrankungen. Darum erlaubt die amerikanische *Food and Drug Administration* (FDA), dass Vollkorngerste und gemahlene Gerstenprodukte wie Flocken, Grieß, Mehl und Rollgerste, welche zumindest 0,75 g lösliche Nahrungsfaser pro Portion beinhalten, mit dem „Health Claim“ beworben werden dürfen [FDA, 2006a und 2006b; LINDHAUER, 2005].

Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (*European Food Safety Authority* - EFSA) bearbeitete den Antrag zur Erstellung eines wissenschaftlichen Gutachtens über den „Zusammenhang von β -Glucan-Aufnahme und dem Aufrechterhalten einer normalen Cholesterinkonzentration im Blut und dem Aufrechterhalten oder Erlangen eines normalen Körpergewichtes“.

Das wissenschaftliche Gremium für Diätetische Produkte, Ernährung und Allergien (*Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies* – NDA) führte dazu eine Risikobewertung durch und kam zu dem Schluss, dass ein Zusammenhang zwischen regelmäßigem Verzehr von β -Glucan und der Reduktion der Cholesterinkonzentration im Blut besteht. Um die Forderung der gesundheitsbezogenen Angabe zu erfüllen müssen täglich mindestens 3 g β -Glucan aus Hafer, Haferkleie, Gerste, Gerstenkleie oder eine Mischung von nicht oder nur minimal bearbeitetem β -Glucan in ein oder mehreren Portionen aufgeboden werden.

Der beanspruchte Effekt β -Glucans auf die Gewichtskontrolle konnte anhand der verfügbaren Daten nicht bewiesen werden [EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2009].

2. Literaturteil

Tab. 3: Gesundheitsbezogene Angaben auf Lebensmitteln gemäß EG-Verordnung Nr. 1924/2006 [ELMADFA et al., 2009]

Angaben zur Körperfunktion	Angaben zu vermindertem Krankheitsrisiko
Nahrungsmittelinhaltsstoff hat Einfluss auf eine oder mehrere Körperfunktionen, die er günstig beeinflusst (z.B. Wachstum, Entwicklung, Erhalt von Körperfunktionen)	Nahrungsmittelinhaltsstoff kann das Risiko für eine bestimmte Krankheit vermindern.

3 Aufgabenstellung

Das Ziel dieser Diplomarbeit war es aus dem „Nicht-Brotgetreide“ Gerste ein wohlgeformtes und wohlschmeckendes Brotprodukt herzustellen. Der Mehnteil sollte dabei zu 100 % durch Nacktgerstenmehl gedeckt werden.

Nachdem der Rohstoff nur wenig kleberbildende Proteine besitzt, sollte durch die Anwendung von Backmitteln eine Verbesserung der Teig- und Brotqualität erlangt werden. Es sollten Standardbackversuche im Labormaßstab mit verschiedenen Enzymen in unterschiedlicher Konzentration und Kombination durchgeführt werden. Zu diesem Zweck sollte ein statistischer Versuchsplan erstellt werden.

Die hergestellten Kastenbrote sollten hinsichtlich ihrer Eigenschaften analysiert und der Einfluss der Enzyme anhand der erhobenen Daten statistisch bewertet werden.

3. Aufgabenstellung

4 Material und Methoden

4.1 Mehlherstellung

Die Herstellung von Mehl erfolgt vorwiegend mittels Walzenstühlen und Plansichtern. Das Getreidekorn wird dabei in seine drei Hauptbestandteile – Endosperm, Keimling und Schale – aufgespalten. LOCKWOOD [1951] bezeichnet den Mahlprozess vereinfacht als Reihenfolge von Mahl- und Trennprozessen. Das Mahlen erfolgt in mehreren Arbeitsschritten zwischen zwei Walzen. Nach jedem Zerkleinerungsschritt wird das Mahlgut gesiebt und im Plansichter nach Korngröße in die einzelnen Fraktionen aufgetrennt.

4.1.1 Mühle

Die Vermahlung des Getreides erfolgte in der HTL für Lebensmitteltechnologie in Wels. Die Versuchsmühle erstreckt sich über drei Etagen und besteht aus folgenden miteinander verbundenen Maschinen:

- Schrotstuhl (*Josef Oser, Krems an der Donau, A*), Abb. 7
- Plansichter (*Hohm, A*), Abb. 8
- Gliederwalzenstuhl (*E. Happel und Sohn, Weissenhorn, D*), Abb. 9
- Mehlsammelschnecke, Abb. 10



Abb. 7: Schrotstuhl



Abb. 8: Plansichter mit sichtbarem Siebstapel

4. Material und Methoden



Abb. 9: Gliederwalzentuhl



Abb. 10: Mehlsammelschnecke

4.1.2 Mahlvorgang

Zuerst gelangt das Getreide zum Schrotstuhl, wo es über das Roggenmahlwerk geführt wird. Hier wird das Korn von den geriffelten Walzenpaaren geöffnet um die Schalenteile vom Mehlkörper (Endosperm) zu trennen. Das entstandene Vermahlungsprodukt wird zum Plansichter geleitet.

Beim Sichten werden die Mehlpartikel nach Größe in mehrere Fraktionen getrennt und dann der nächsten Vermahlung zugeführt.

Im Plansichter befinden sich mehrere Stapel mit je 14 Sieben unterschiedlicher Maschenweite. Durch die sanfte horizontale Rotation wandert das Sichtgut nach unten. Die kleinen Partikel fallen durch die Maschen auf das darunter liegende Sieb. Die großen Partikel werden über den Siebrand gestoßen und gelangen entweder auf ein weiteres Sieb oder gehen über Sichterlaufschläuche zum Gliederwalzenstuhl.

Dort wird, durch die zum Ende hin immer feinere Riffelung der Walzen, das Mahlgut erneut zerkleinert. Das nun kleiner vermahlene Gut wird wieder zum Sichter geführt [LOCKWOOD, 1951]. In Abb. 11 wird das Ablaufschema der Vermahlung ersichtlich.

Die gewonnenen Mehlfraktionen unterscheiden sich in Farbe, Griffigkeit und Zusammensetzung. Zum Schrotmehl zählt man Partikel die größer als 1000 μm sind. Die Teilchen mit einem Durchmesser zwischen 500 und 1.000 μm gehören zu den Grießmehlen und die kleineren Mehlteilchen zu den Dunstmehlen.

Die Fraktionen werden bei dieser Mühle, wie in Tab. 4 angegeben, benannt.

4. Material und Methoden

Das Mehl kommt über Rohrleitungen zur Mehlsammelschnecke, einem einstellbaren Mehlmischsystem. Durch Zusammenführen der einzelnen Fraktionen kann die Farbe und somit die Qualität der drei Mehlfraktionen (hell, mittel und dunkel) eingestellt werden. Die Endprodukte werden im untersten Geschoß in Säcken aufgefangen. Der erste Auszug dieser Mehlfraktionen, die durch Rückstände der vorangegangenen Vermahlung verunreinigt ist, wird separat verpackt. Die Säcke der mittleren, reinen Passage werden mit H2, M2 und D2 gekennzeichnet. Der letzte Mehlstrom wird wiederum in eigenen Säcken gesammelt.

Tab. 4: Mahlfraktionen

Fraktion	Schrotmehle	Grießmehle	Dunstmehle	Kleie	Futtermehl
Name	B1 B2 B3 B4 B5	R1 R2 R3	C1 C2 C3 C4 C5 C6	fein grob	
Partikelgröße [µm]	> 1.000	500 – 1.000	< 500		

4. Material und Methoden

4.1.3 Rohstoff

Die in Tab. 5 angeführten Nacktgerstegenotypen wurden im Rahmen dieses Projektes vom Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität für Bodenkultur Wien zur Verfügung gestellt.

Tab. 5: Verwendete Nacktgerstesorten

Sorten	Farbe
N 308	blau
E 550	blau
Lawina	gelb
BVAL 350010 „HORA“	gelb
C 661	schwarz
Icarda	schwarz
BVAL 358163	schwarz

4.1.4 Analytische Methode zur Bestimmung der Feuchtigkeit des Mehles

Laut ICC-Standard Nr. 110 definiert sich der Wassergehalt als Massenverlust, ausgedrückt in Prozent der Masse der Ausgangsprobe, den das Produkt bei Trocknung unter spezifizierten Bedingungen erfährt [Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung, 1978; Internationale Gesellschaft für Getreidewissenschaft und -technologie, 1996a; American Association of Cereal Chemists, 2000b; MATISSEK und STEINER, 2006].

4.1.4.1 Verwendete Geräte

- Präzisionswaage, (*Sartorius BP 210S*, D)
- Aluminiumschälchen (Durchmesser: 8 cm)
- Trockenschrank, (*Kelvitron®*, *Heraeus Instruments*, D)
- Exsikkator mit Trocknungsmittel

4. Material und Methoden

4.1.4.2 Durchführung

Mit einer Zange wurden dem Exsikkator zwei Aluminiumschälchen entnommen, auf der Präzisionswaage gewogen und ihr Gewicht (Tara) notiert. Anschließend wurde die Mehlprobe in die Schälchen gegeben, gewogen und das Gewicht notiert. Die Aluminiumschälchen mit der Probe wurden über Nacht im Trockenschrank bei 105 °C getrocknet. Nach Ablauf der Trockenzeit verweilten diese zur Abkühlung auf Raumtemperatur für 2 h im Exsikkator. Die Bestimmung des Trocknungsverlusts erfolgte durch erneute Wägung.

4.1.4.3 Auswertung des prozentualen Trockensubstanzgehaltes T

Der prozentuale Trockensubstanzgehalt wurde nach Gl. 1 berechnet.

$$T = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100 \quad \text{Gl. 1}$$

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

4.1.4.4 Auswertung des prozentualen Wassergehaltes W

Der prozentuale Wassergehalt wurde nach Gl. 2 berechnet.

$$W = 100 - T \quad \text{Gl. 2}$$

W ...	Wassergehalt [%]
T ...	Trockensubstanzgehalt [%]

4.2 Brotherstellung

Bei der Herstellung, der aus 100 % Nacktgerstenmehl bestehenden Brote, orientierten sich die Backversuche an den Vorgaben des ICC-Standards Nr. 131 „Methode eines Backversuches mit Weizenmehl“ [Internationale Gesellschaft für Getreidewissenschaft und –technologie, 1996b].

4.2.1 Verwendete Zutaten

- Gerstenmehl aus gelbkörnigem Nacktgerstengenotyp *BVAL 350010* („*HORA*“; Ernte 2009), Gemisch aus den Mehlfraktionen H2 und M2
- Trockenhefe, *Saf-Instant Hefe* (*S.I. Lesaffre*, 59703 Marq, FR)
- Malzmehl (*Stamag – Stadlauer Malzfabrik GesmbH*, A)
- Säuerungsmittel, Teigsäuerungsmittel *Diarol* (*Stamag – Stadlauer Malzfabrik GesmbH*, A)
- Quellmehl, Weizenquellmehl *Risofarin* (*Stamag – Stadlauer Malzfabrik GesmbH*, A)
- Backmargarine (*Senna Nahrungsmittel*, A)
- Salz, feines Speisesalz jodiert (*Gustosal*, A)
- Zucker, Feinkristallzucker (*Wiener Zucker, Agrana Zucker GesmbH*, A)
- Wasser, Leitungswasser

4.2.2 Verwendete Backhilfsmittel

Aus der Literaturrecherche ergab sich kein Hinweis darauf, dass Emulgatoren oder Milchbestandteile für die Backversuche mit Nacktgerstenmehl notwendig wären. Deshalb wurde ausschließlich mit verschiedenen Enzymzusätzen experimentiert.

In den Backversuchen wurden folgende Enzyme der Herstellerfirma *Novozymes A/S* (DK) verwendet. In Tab. 6 ist sind außerdem noch die Art und Aktivität der Enzyme, sowie ihr optimaler Wirkungsbereich angegeben.

4. Material und Methoden

Tab. 6: Verwendete Enzyme (AGU = Amyloglucosidase Units; EGU = Endoglucanase Units; FAU-F = Fungal Alpha Amylase Units; FXU-W = Fungal Xylanase Wheat Units; GODU = Glucose Oxidase Units; KLU = Lipase Units; MANU = Maltogenase Units)

Enzyme	Enzymart	Enzymaktivität	Wirkungsbereich [ppm]
Fungamyl® 2500 SG	Alpha-Amylase	2.500 FAU-F/g	2 – 10
AMG® 1100 BG	Gluco-Amylase	1.100 AGU/g	50 – 400
Pentopan® Mono BG	Xylanase (endo-1,4-)	2.500 FXU-W/g	30 – 75
Pentopan® 500 BG	Xylanase (endo-1,4-)	2.700 FXU-W/g	40 – 90
Celluclast® BG	Cellulase	3.500 EGU/g	50 – 250
Gluzyme® 10000 BG	Glucose-Oxidase	10.000 GODU/g	5 – 40
Laccase® NS 27011	Laccase	keine Angabe	100
Lipopan® F BG	Lipase	25 KLU/g	20 - 40
Novamyl® 10000BG	Maltogenic Amylase	10.000 MANU/g	50 - 150

4.2.3 Verwendete Geräte

- Analysenwaage, Genauigkeit $\pm 0,1$ g; ISO 9001 (*Sartorius*, D)
- Aluminium Rührschüsseln
- Backbleche
- Backformen, 70 mm hohe Kastenformen mit Grundfläche 95 x 135 mm und 120 x 170 mm am oberen Rand
- Backhandschuhe
- Backstation *BS60/3W*: Herdbackofen *60 /3W* kombiniert mit Gärschrank *G66W* und Ablufthaube *AH60W* (*Manz*, D), Abb. 13
- Bechergläser: 100 ml, 250 ml, 400ml
- Brutraum, (*York International Ges.m.b.H.*, A)
- Klimaschrank, *Climacell CLC/CLC 222*, Protective System IP 20 (*MMM Medcenter Einrichtungen GmbH*, D)
- Küchenmaschine mit Knethaken, *KM 020 Titanium Major* (*Kenwood*), Abb. 12
- Magnetrührer (*IKAMAG®RCT*, Nr. 302011, A) und Stabmagnet
- Messzylinder: 500 ml
- Mikrowelle, *Whirlpool Talent Combi Steam 5 MT 267/WH* (*Whirlpool*)
- Nudelwalker
- Stoppuhr
- Teigspachtel
- Thermometer

4. Material und Methoden

- Trennwachs, wasserfreies Spezialtrennmittel für Backwaren, Art.-Nr. 933751 (Boeson, D)



Abb. 12: Küchenmaschine Kenwood



Abb. 13: Backofen mit Gärschrank

4.2.4 Teigzusammensetzung

Die benötigte Mehl- und Backhilfsmittelmenge wurde in einer vorhergehenden Diplomarbeit [NITSCHKO, 2009] anhand der trockenmassebezogenen Formel nach ICC-Standard Nr. 131 [Internationale Gesellschaft für Getreidewissenschaft und –technologie, 1996b] berechnet und durch Backversuche optimiert. Die Berechnung der Mehlmenge in den optimierten Rezepturen (Tab. 7 und Tab. 8) bezieht sich auf Mehl mit 14 % Feuchtigkeit und musste dementsprechend auf die tatsächliche Feuchtigkeit des verwendeten Nacktgerstenmehls korrigiert werden.

Die Zucker-Lösung und Salz-Zucker-Lösung wurde immer in gleicher Konzentration hergestellt (Tab. 9 und Tab. 10).

4. Material und Methoden

Tab. 7: Optimierte Rezeptur 1 nach NITSCHKO [2009]

Rezeptur		
Gerstenmehl	914,3	[g]
Trockenhefe	12,3	
Zucker-Lösung	72,0	
Salz-Zucker-Lösung	230,0	
Wasser	335,1	
Säuerungsmittel	0,2	
Quellmehl	0,9	
Malzmehl	19,1	
Fett	14,6	
Führungsparameter		
Knetstufe	2,5	
Knetzeit	3	[min]
Teiggare	10	
Stückgare	10	
Backzeit	35	

Tab. 8: Optimierte Rezeptur 2 nach NITSCHKO [2009]

Rezeptur		
Gerstenmehl	969,9	[g]
Trockenhefe	12,0	
Zucker-Lösung	72,0	
Salz-Zucker-Lösung	230,0	
Wasser	341,1	
Säuerungsmittel	0,1	
Quellmehl	0,7	
Malzmehl	18,6,	
Fett	9,7	
Führungsparameter		
Knetstufe	2,5	
Knetzeit	3	[min]
Teiggare	18	
Stückgare	10	
Backzeit	35	

Tab. 9: Zusammensetzung der Zucker-Salz-Lösung nach NITSCHKO [2009]

Zutaten	[g]
Zucker	60,0
Salz	60,0
Wasser	800,0

Tab. 10: Zusammensetzung der Zucker-Lösung nach NITSCHKO [2009]

Zutaten	[g]
Zucker	50,0
Wasser	950,0

4.2.5 Durchführung

Die praktische Durchführung der Brotbackversuche erfolgte im Technikum des Departments für Lebensmittelwissenschaften und Lebensmitteltechnologie der Universität für Bodenkultur Wien.

Die nichtflüssigen Zutaten wie Mehl, Säuerungsmittel, Quell- und Malzmehl wurden im Brutraum bei 20 °C und 50 % Luftfeuchtigkeit gelagert. Die Margarine, die Trockenhefe und die Enzyme wurden im Kühlraum bei 4 °C aufbewahrt.

Der Backofen (Ober- und Unterhitze bei 230 °C) und der Gärschrank (30 °C und 85 % RH) wurden vorgeheizt.

An jedem Backtag wurden die Salz-Zucker-Lösung und die Zucker-Lösung frisch hergestellt. Dafür wurden die Zutaten laut Tab. 9 (Kap. 4.2.4) und Tab. 10 (Kap. 4.2.4) in Bechergläser eingewogen und auf dem Magnetrührer zu einer Lösung verrührt. Sofern sie in die Rezeptur eingearbeitet werden sollten, wurden die meist pulverförmigen Enzyme in der Salz-Zucker-Lösung gelöst.

Zur Herstellung der Hefesuspension wurden 72 g der Zucker-Lösung in der Mikrowelle auf 35 ± 1 °C erwärmt und mit der Trockenhefe durch vorsichtiges Schwenken vermischt. Nach der 10-minütigen Abstehtzeit wurde die aufgegangene Hefe vorsichtig zu einer homogenen Suspension verrührt. Währenddessen wurde die Margarine in der Mikrowelle erwärmt und zum Schmelzen gebracht.

Das Gersten-, Malz-, Quellmehl und das Säuerungsmittel wurden in der Rührschüssel auf Stufe 1 mit der Knetmaschine ohne Flüssigkeitszugabe vorgemischt. Danach erfolgten die Zugabe aller flüssigen Zutaten und gelösten Enzyme. Der Teig wurde 3 Minuten auf Stufe 2,5 zu einem homogenen Teig verknetet.

Anschließend wurden drei je 400 g schwere Teigstücke abgetrennt und kurz von Hand rundgewirkt. Der Teig verblieb nun während der Teiggare in der Gärkammer.

Nach Ablauf der Teiggare wurde der Teig gleichmäßig mit dem Nudelwalker ausgerollt, dann dreifach eingeschlagen und von Hand mit wenig Druck in eine zylindrische Form gerollt (Abb. 14). In den eingefetteten Backformen verblieb der Teig während der Stückgare in der Gärkammer.

Beim Einschließen des Brotes in den Ofen wurde Dampf eingeblasen und die Temperatur auf 180 °C gedrosselt. Der Backvorgang selbst dauerte 35 min.

4. Material und Methoden

Die Brote wurden sofort nach dem Backen aus den Formen genommen um auf einem Gitterrost bei Zimmertemperatur abzukühlen.

Die \pm 24-stündige Lagerung bis zur Analyse des Brotes erfolgte bei 20 °C und 50 % relativer Luftfeuchtigkeit im Klimaschrank oder Brutraum.

Abb. 15 zeigt das allgemeine Schema der Herstellung der Versuchsbrote. Die Dauer der Teig- und Stückgare unterschied sich in den verschiedenen optimierten Rezepturen (Tab. 7 und Tab. 8).



Abb. 14: Geformter Teigling mit Kastenform

4. Material und Methoden

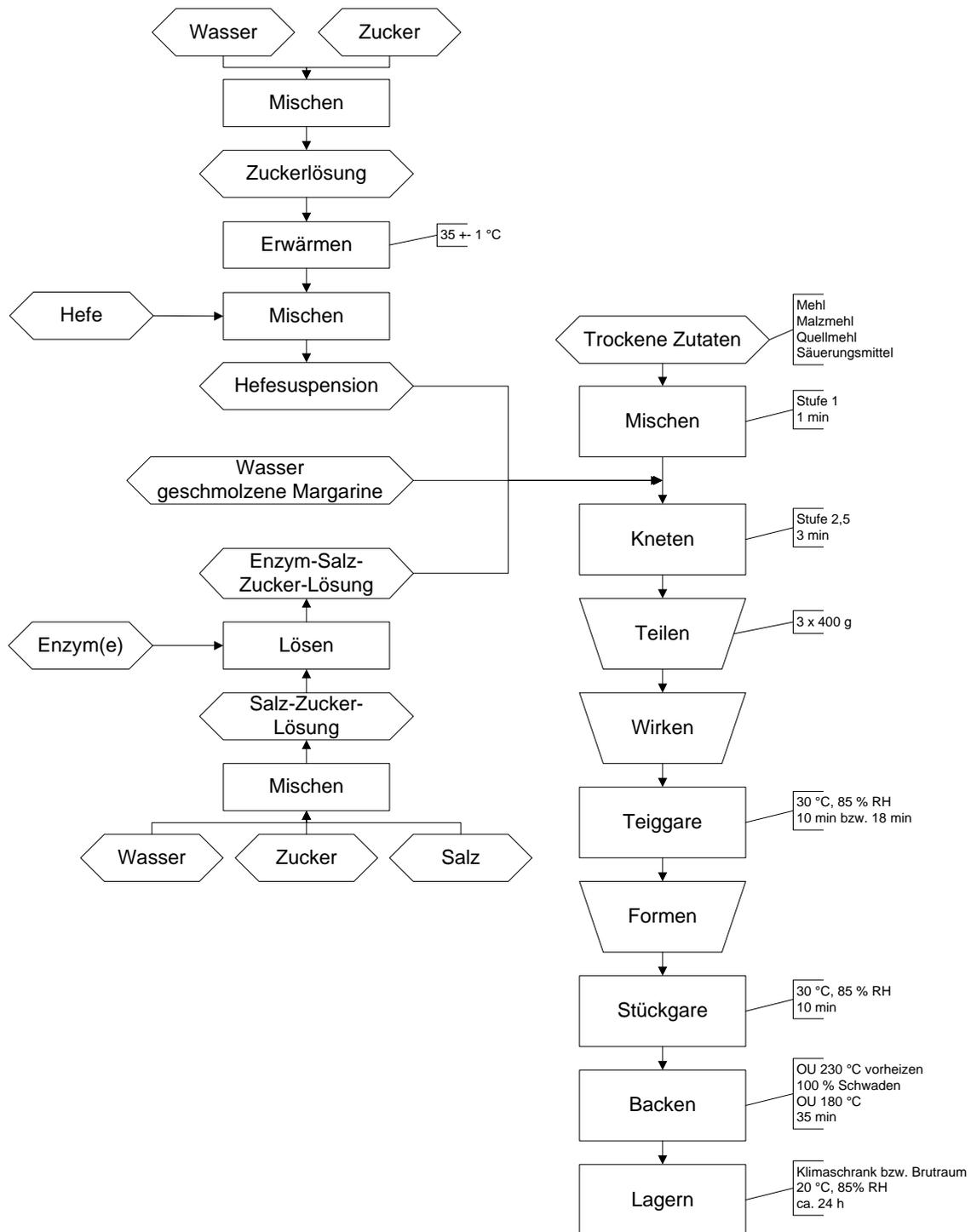


Abb. 15: Allgemeines Schema der Herstellung von Brot (RH ... Relative Humidity – Relative Luftfeuchtigkeit, OU ... Ober- und Unterhitze)

4.3 Methoden zur Bewertung der Eigenschaften von Brot

4.3.1 Bestimmung des Brotvolumens auf Basis der Rapssamenverdrängungsmethode nach Fornet

Die Volumenmessung nach der AACC-Methode 10-05 beruht auf dem Verdrängungsprinzip [American Association of Cereal Chemists, 2000a].

Der von *Fornet* entwickelte Volumenmesser beruht auf der Einbettung des zu messenden Objektes in eine bekannte Menge von Rapssamen. Wie in Abb. 16 zu sehen, hat das Gerät die Form einer Sanduhr. Auf der einen Seite befindet sich eine Kammer für die Rapssamen und auf der anderen Seite eine Kammer in welche das zu bestimmende Objekt eingelegt wird [PELSHENKE, 1938].

4.3.1.1 Verwendete Geräte

- Volumeter, Typ VPP183 (*Chopin*, FR)
- Kunststoffatrappe (1500 cm³)



Abb. 16: Volumeter

4. Material und Methoden

4.3.1.2 Durchführung

Das Volumeter wurde in die Ausgangsstellung gebracht, das Volumen der Rapssamen auf der Skala abgelesen und dieser Wert als Nullwert notiert. Die Gerätschaft wurde um 180° gedreht damit die Rapssamen durch den Verbindungszylinder in ihre Kammer zurückfließen konnten. Nun wurde das Brot eingelegt, das Volumeter wiederum gewendet und das erhöhte Volumen aufgezeichnet.

4.3.1.3 Auswertung des Volumens

Die Differenz aus den beiden notierten Werten ergab das Volumen des Brotes (Gl. 3) in Kubikcentimetern [cm³]. Darüber hinaus wurde das Volumen pro kg Mehl errechnet (Gl. 4).

$$V = V_{\text{Messung}} - V_{\text{Leer}} \quad \text{Gl. 3}$$

$$V / \text{kgMehl} = \frac{V}{\frac{E_{\text{Mehl}}}{E_{\text{Teig}}}} \cdot 1000 \quad \text{Gl. 4}$$

V ...	Brotvolumen [cm ³]
V_{Messung} ...	gemessenes Volumen [cm ³]
V_{Leer} ...	Leervolumen [cm ³]
V / kgMehl ...	Brotvolumen pro kg Mehl [cm ³ /kg]
E_{Mehl} ...	Mehleinwaage [g]
E_{Teig} ...	Teiginwaage [g]

4.3.2 Messung des Umfanges nach Jorgensen

Im Allgemeinen laufen die Werte für Volumen und Umfang weitgehend parallel. Die Prüfung der Brotgröße mittels Umfangmessung ist im Vergleich zur

4. Material und Methoden

Volumsmessung sehr einfach und ohne große Gerätschaft zu bewerkstelligen [PELSHENKE, 1938].

4.3.2.1 Verwendete Geräte

- Bandmaß (*Hoechstmass*, D)

4.3.2.2 Durchführung

Am Tag nach der Herstellung der Brote (ca. 24 Stunden danach) wurden von jedem Brot der größte Quer- und der Längsumfang in Zentimetern [cm] mittels Maßband bestimmt (Abb. 17).

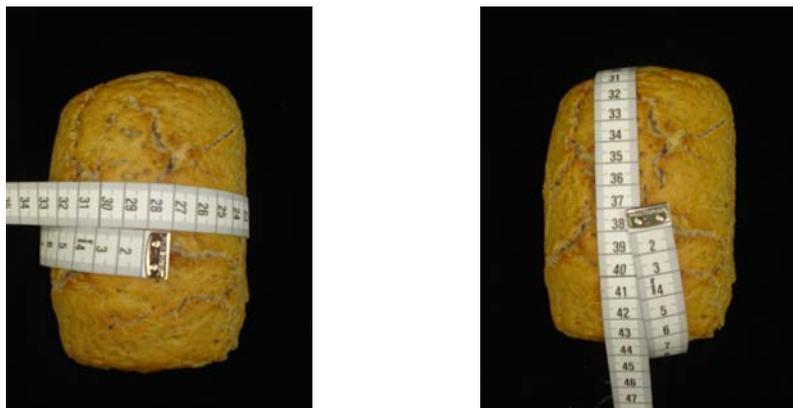


Abb. 17: Messung des Quer- und Längsumfanges

4.3.2.3 Auswertung

Die Summe des Quer- und Längsumfanges wurde bestimmt und damit der Gesamtumfang pro kg Mehl errechnet (Gl. 5 und Gl. 6).

$$U = U_{\text{Quer}} + U_{\text{Längs}} \quad \text{Gl. 5}$$

$U \dots$	Brotumfang [cm]
$U_{\text{Quer}} \dots$	Querumfang [cm]
$U_{\text{Längs}} \dots$	Längsumfang [cm]

4. Material und Methoden

$$U / \text{kgMehl} = \frac{U}{\frac{E_{\text{Mehl}}}{E_{\text{Teig}}}} \cdot 1000 \quad \text{Gl. 6}$$

$U / \text{kgMehl} \dots$	Umfang pro kg Mehl [cm/kg]
$U \dots$	Brotumfang [cm]
$E_{\text{Mehl}} \dots$	Mehleinwaage [g]
$E_{\text{Teig}} \dots$	Teigeinwaage [g]

4.3.3 Bestimmung der Farbe

Die Farbmessung beruht auf dem $L^*a^*b^*$ -System der CIE (*Commission International d'Éclairage*). Nach diesem Prinzip kann eine Farbe anhand dreier Koordinaten exakt im Farbraum beschrieben werden. Die Helligkeit wird als L^* -Wert auf einer Achse zwischen dem perfekten Schwarz ($L^* = 0$), und dem perfekten Weiß ($L^* = 100$) beschrieben. Der a^* -Wert veranschaulicht den Grün-Rot-Bereich und der b^* -Wert den Farbwert auf der Blau-Gelb-Achse.

4.3.3.1 Verwendete Geräte

- Farbmessgerät, *Microcolor* (Dr. Lange, D), Abb. 18
- Weiß-Standard, *Microcolor* Arbeitsstandard LZM 076 (Dr. Lange, D)



Abb. 18: Microcolor Farbmessgerät

4. Material und Methoden

4.3.3.2 Bestimmung der Krusten- und Krumenfarbe

Im ersten Schritt wurde das Gerät laut Vorschrift kalibriert.

Die Krustenfarbe wurde durch direktes Aufsetzen des Messkopfes auf die Oberseite der Brotrinde gemessen. Die Krumenfarbe konnte beim aufgeschnittenen Brot durch zentrales Anhalten des Messkopfes auf der Schnittfläche gemessen werden.

Pro Backversuch ergaben sich je drei L*-Werte für die Krusten- und die Krumenfarbe.

4.3.3.3 Auswertung

Es wurden jeweils der Mittelwert und die Standardabweichung berechnet (Gl. 7 und Gl 8).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{Gl. 7}$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{Gl. 8}$$

\bar{x} ... Mittelwert

s ... Standardabweichung

x ... Wert

n ... Anzahl der Werte

4.3.4 Bestimmung der texturalen Eigenschaften der Brotkrume

Der *Texture Analyzer TA-XT2i®* überprüft computerunterstützt die Textur der Brotkrume nach zuvor festgelegten Parametern.

Der Versuchsablauf erfolgt laut AACC-Methode 74-09 „Measurement of Bread Firmness by Universal Testing Machine“ [American Association of Cereal Chemists, 2000c].

4. Material und Methoden

4.3.4.1 Verwendete Geräte

- *Texture Analyzer TA-XT2i®* und Steuerkonsole (*Stable Micro Systems™*, GB), Abb. 19
- Probentisch mit Prüfplatte
- Zylindrischer Prüfkörper, 36 mm Durchmesser, P/36R
- 5-kg-Gewicht zum Tarieren der Kraft
- Bandmaß (*Hoechstmass*, D)
- Metallsäge und Schneidelehre



Abb. 19: Texture Analyzer TA-XT2i®

4.3.4.2 Parameter und Einstellungen

Tab. 11 zeigt die gewählten Parametereinstellungen für die Messung der texturalen Eigenschaften der Brotkrume. Diese wurden für die bessere Vergleichbarkeit der Daten aus einer vorhergehenden Diplomarbeit [NITSCHKO, 2009] übernommen.

4. Material und Methoden

Tab. 11: Parametereinstellungen für die Texturmessung

Test Methode	Messe Kraft in Druckrichtung Halten auf Zeit	
Parameter	Vor-Geschwindigkeit	1,0 mm/s
	Test Geschwindigkeit	1,7 mm/s
	Rück-Geschwindigkeit	10,0 mm/s
	Bruch Weg	1,0%
	Weg	40,0 %
	Kraft	1,00 N
	Zeit	60 sec
	Wiederholung	8
Auslösewert	Art	automatisch
	Kraft	0,10 N
Einstellungen	Kraft	Newton
	Leistung	% Verformung

4.3.4.3 Durchführung

Aus der Mitte aller Brote wurden drei jeweils 25 mm dicke Scheiben mit einer Säge händisch herausgeschnitten. Jeder Scheibe wurde in der Mitte der Krume ein Quadrat von 40 mm x 40 mm entnommen. Der frisch zugeschnittene Brotquader (40 mm x 40 mm x 25 mm) wurde in die Mitte der Prüfplatte des Proben-tisches gelegt und die Messung gestartet. Der Prüfzylinder presste ihn mit zuvor festgelegter Geschwindigkeit zusammen und das Gerät maß die dabei benötigte Kraft.

4.3.4.4 Auswertung

Das Computerprogramm *Texture Experte* erstellte während der Messung ein Kraft-Zeit-Diagramm. Daraus waren einerseits die Maximalkraft (F_{\max}) und die Residualkraft (F_{res}) in Newton [N] ersichtlich. Die Kraft die nach 25 % (bzw. 6,25 mm) des Weges aufgewendet worden war, konnte durch Umstellung auf das Weg-Kraft-Diagramm ermittelt werden.

Pro Backversuch ergaben sich jeweils 9 Messwerte für F_{\max} , F_{res} und F_{25} aus denen der Mittelwert \bar{x} und die Standardabweichung s berechnet werden konnten.

Die relative Krumenfestigkeit wurde nach Gl. 9 berechnet:

4. Material und Methoden

$$KEL = \frac{F_{res}}{F_{max}} \quad \text{Gl. 9}$$

KEL ... Relative Krumenfestigkeit

F_{res} ... Residualkraft [N]

F_{max} ... Maximalkraft [N]

4.3.5 Sensorische Beurteilung

Für die sensorische Beurteilung wurden die bei der Texturanalyse zerteilten Brote verwendet.

Die ausgewählten Prüfmerkmale wurden nach einem Punktesystem bewertet. Für jedes in Tab. 12 angeführte Prüfmerkmal konnten zwischen 1 und 5 Punkte vergeben werden. Je höher die vergebene Punktezahl war, desto stärker war die Ausprägung des Merkmals.

Tab. 12: Die Prüfmerkmale der sensorischen Beurteilung

Prüfmerkmal
Aussehen und Form
Bräunung
Krumenporung und Lockerung
Allgemeines Mundgefühl
Geschmack und Geruch
Konsistenz der Kruste

4.4 Statistische Methoden

Um aus den Ergebnissen der wissenschaftlichen Arbeit abgesicherte und nachvollziehbare Aussagen zu treffen, ist eine systematische statistische Analyse unverzichtbar.

Die statistische Datenauswertung und –verarbeitung wurden unter Verwendung des Tabellenkalkulationsprogrammes *Microsoft Excel* und der Statistiksoftware *Statgraphics® Centurion XV* für *Microsoft Windows* bewerkstelligt.

4.4.1 Vergleich mehrerer Stichproben (Multiple Sample Comparison)

Der Vergleich mehrerer Stichproben überprüft die Verteilung der Teilstichproben in der Grundgesamtheit.

Die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) zeigt beim Vergleich mehrerer Stichproben anhand des p-Wertes ob ein signifikanter Unterschied in der Wirkung der Faktoren auf die jeweilige abhängige Variable besteht.

Ist dies der Fall, wird mittels „Multiple Range Test“ eine Rangordnung der Einflussnahme aufgestellt.

4.4.2 Statistische Versuchsplanung

Die Erstellung des Versuchsplans erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms *Statgraphics® Centurion XV*.

Durch die Wahl der Kategorie des Versuchsplanes und der Eingabe der Anzahl der Variablen (Zielgrößen) und Faktoren (Einflussgrößen) errechnet die Software verschiedene Arten an Versuchsplänen in denen alle Faktorkombinationen berücksichtigt werden. Es wird dabei angenommen, dass eine lineare Beziehung zwischen den Einflussgröße und der Zielgröße besteht [ANONYM, 2005; PETERSEN, 1991].

Faktorielle Versuchspläne dienen der Interpretation der Auswirkungen verschiedener Einflussgrößen (unabhängige Variablen) auf mehrere Zielgrößen

4. Material und Methoden

(abhängige Variablen) gleichzeitig. Weiters lassen sich Wechselwirkungen zwischen den Faktoren erkennen.

Für jeden Einflussfaktor werden zwei Faktorstufen eingesetzt, wobei „+“ die höhere und „-“ die niedrigere Stufe beschreibt. Ein vollständiger Versuchsplan erfordert 2^n Versuchsdurchläufe, wobei n für die Anzahl der Faktoren steht. Zusätzlich werden Zentralpunkt wiederholungen gleichmäßig innerhalb des Versuchsplanes verteilt um zufallsbedingte Fehler auszugleichen [ANONYM, 2005; PETERSEN, 1991].

4.4.3 Auswertung

Die gemessenen Daten der Zielgrößen werden in den Versuchsplan eingefügt um mit Hilfe des Statistikprogramms *Statgraphics® Centurion XV* den Einfluss der einzelnen Faktoren auf die abhängigen Variablen zu visualisieren.

Die Pareto-Diagramme (Pareto Charts) zeigen grafisch welcher Faktor den größten Einfluss auf eine Zielgröße besitzt. In diesem Diagramm erkennt man an der Länge des Balkens direkt die Wichtigkeit eines Faktors. Durch die unterschiedliche Färbung der Balken kann man den positiven (+, grau) oder negativen (-, blau) Zusammenhang herauslesen. Alle Werte jenseits der vertikalen Linie sind statistisch signifikant [ANONYM, 2005].

4.4.4 Mehrgrößen-Optimierung

Das Statistikprogramm *Statgraphics® Centurion XV* bietet mit der Analyse der Mehrgrößen-Optimierung (Multiple Response Optimization) die Möglichkeit die optimierte Enzymkombination zu errechnen. Dazu werden alle Messdaten aus den, nach dem Versuchsplan angefertigten, Nacktgerstebroten einbezogen.

Die Optimierungsrichtung der 13 Zielgrößen und deren Gewichtung muss angegeben werden (Tab. 13). Je höher der Multiplikationsfaktor ist, desto einflussreicher ist diese Variable im Endergebnis. Die Entscheidung auf Minimierung bzw.

4. Material und Methoden

Maximierung und Gewichtung wurde, zum Zweck der Vergleichbarkeit, aus der einer vorhergehenden Diplomarbeit [NITSCHKO, 2009] übernommen.

Tab. 13: Zielgrößen und ihre Gewichtung [NITSCHKO, 2009]

Variable	Optimierungsrichtung	Gewichtung
Volumen/kg Mehl	maximieren	4
Umfang/kg Mehl	maximieren	4
Farbe Kruste L*-Wert	minimieren	2
Farbe Krume L*-Wert	maximieren	2
Krumenelastizität (KEL)	maximieren	4
Maximalkraft (F_{max})	minimieren	3
Kraft bei 25% des Weges (F_{25})	minimieren	3
Aussehen und Form	maximieren	4
Bräunung der Kruste	maximieren	2
Krumenporung und Lockerung	maximieren	3
allgemeines Mundgefühl	maximieren	5
Geschmack und Geruch	maximieren	5
Konsistenz der Kruste	maximieren	4

5 Versuchsdurchführung

Die praktische Versuchsdurchführung erfolgte in drei Schritten.

Im Vorversuch wurden die einzelnen Mehle der verschiedenen Nacktgerstesorten auf ihre generelle Backfähigkeit getestet.

Im zweiten Versuch wurde dann mit der Erprobung der Enzyme in unterschiedlichen Konzentrationen auf das ausgewählten Gerstenmehles der Sorte *BVAL 350010 („HORA“)* begonnen.

Schlussendlich wurde nach der optimalen Kombination der Erfolg versprechendsten Enzyme geforscht.

Die zugegebenen Enzymmengen richteten sich dabei nach Empfehlungen der Herstellerfirma *Novozymes A/S (DK)*.

5.1 Vorversuch

Im Vorversuch wurde versucht zu klären, welche der Nacktgerstesorten und Mehlfractionen sich am besten zur Brotherstellung eignen würden und ein essbares oder gar schmackhaftes Brot ergeben könnten.

Es wurde genau nach der optimierten Rezeptur 1 (Tab. 7, Kap. 4.2.4) ohne Enzymzusatz gearbeitet. Die Zugabemengen und Führungszeiten wurden nicht verändert. Lediglich die Wassermenge musste bei jeder Fraktion experimentell ermittelt werden (Tab. 14). Verwendet wurden von jedem Nacktgerstengenotyp die drei Fraktionen hell, mittel und dunkel der zweiten Charge (Tab. 5, Kap. 4.1.3).

Je ein Versuchsbrot pro Sorte und Fraktion wurde am Backtag nach dem Auskühlen und ein weiteres am darauf folgenden Tag begutachtet. Die Beurteilung erfolgte sensorisch ohne vorgegebene Prüfparameter. Die beschriebenen Wahrnehmungen wurden stichwortartig festgehalten.

5. Versuchsdurchführung

Tab. 14: Experimentell ermittelte Teigwassermenge [g] im Vorversuch

Sorte	Fraktion	zusätzliches Teigwasser [g]	Teigwasser _{gesamt} [g]
N 308	H2		335,1
	M2	+ 8,6	343,7
	D2	+ 175,3	510,4
E 550	H2		335,1
	M2		335,1
	D2	+ 41,7	376,8
Lawina	H2		335,1
	M2		335,1
	D2		335,1
BVAL 350010 „HORA“	H2		335,1
	M2		335,1
	D2		335,1
C 661	H2		335,1
	M2		335,1
	D2	+ 222,0	557,1
Icarda	H2		335,1
	M2		335,1
	D2	+ 33,3	368,4
BVAL 358163	H2		335,1
	M2		335,1
	D2	+ 71,7	406,8

5.2 Versuche zur Bestimmung der optimalen Enzymkonzentrationen

Die Mehlmenge der optimierten Rezeptur 1 (Tab. 7, Kap. 4.2.4) wurde mit der analysierten Feuchtigkeit von $W = 11,04 \%$ korrigiert. Da während der praktischen Arbeit damit ein viel zu flüssiger Teig entstand, zeigte sich eine Verminderung der Wassermenge für die Verarbeitung als zielführender. In Tab. 15 ist die für diesen Backversuch modifizierte Rezeptur 1A aufgelistet.

Für jedes Enzym wurden drei Konzentrationenstufen (Tab. 16) im äquidistanten Abstand innerhalb des von der Herstellerfirma *Novozymes S/A* (DK) empfohlenen Spektrums angenommen. Die in ppm angegebenen Konzentrationen wurde auf die Mehlmenge berechnet (Tab. 25 im Anhang, Kap. 11.1). Mit allen neun Enzymen wurde mit jeder Enzymmenge je ein Backversuch mit drei resultierenden Broten durchgeführt.

Die Herstellung der Versuchsbrote erfolgte wie in Kap. 4.2.5 beschrieben.

Am darauffolgenden Tag konnten die verschiedenen Analysen zur Bewertung der Broteigenschaft durchgeführt werden.

Die gemessenen Daten wurden mittels einer „Multiple-Sample-Comparison“ statistisch verglichen. Jede Variable wurde einzeln mit allen Enzymen in allen drei Konzentrationen gegenübergestellt. Zeigte der p-Wert der ANOVA-Tabelle einen signifikanten Unterschied in der Wirkung der Faktoren an, so wurden die vier am höchsten gereihten Enzyme aus der Tabelle des „Multiple-Range-Tests“ entnommen. Damit wurden für jede Zielgröße und jede Konzentration die vier einflussreichsten Enzyme erfasst. Zur Auswertung der einzelnen Enzymwirkungen auf die gesamte Brotqualität wurden Punkte vergeben. Die Punktevergabe erfolgte absteigend, wobei das höchstplatzierte Enzym vier Punkte erhielt. Zusätzlich wurde durch die Gewichtung der Zielgrößen laut Tab. 13 (Kap. 4.4.4) ein Augenmerk auf ihre unterschiedliche Wichtigkeit gelegt.

5. Versuchsdurchführung

Tab. 15: Optimierte Rezeptur 1A

Rezeptur		
Gerstenmehl	887,2	[g]
Trockenhefe	12,3	
Saccharose-Lösung	72,0	
Salz-Saccharose-Lösung	230,0	
Wasser	215,1	
Fett	14,6	
Säuerungsmittel	0,2	
Quellmehl	0,9	
Malzmehl	19,1	
Führungsparameter		
Knetstufe	2,5	
Knetzeit	3	[min]
Teiggare	10	
Stückgare	10	
Backzeit	35	

Tab. 16: Verwendete Enzymkonzentrationen (-1 ... niedrigste Enzymkonzentration, 0 ... mittlere Enzymkonzentration, +1 ... höchste Enzymkonzentration)

Enzyme	Konzentrationen [ppm]		
	-1	0	+1
Fungamyl® 2500 SG	2,0	6,0	10,0
AMG® 1100 BG	170,0	290,0	410,0
Pentopan® Mono BG	30,0	52,5	75,0
Pentopan® 500 BG	40,0	65,0	90,0
Celluclast® BG	50,0	150,0	250,0
Gluzyme® 10000 BG	5,0	22,5	40,0
Laccase® NS 27011	50,0	100,0	150,0
Lipopan® F BG	5,0	20,0	35,0
Novamyl® 10000BG	25,0	75,0	125,0

5.3 Versuche zur Bestimmung der optimalen Enzymkombination

Für diesen Versuch wurde die optimierte Rezeptur 2 (Tab. 8, Kap. 4.2.4) mit verlängerter Teiggare angewandt. Die Mehlmenge wurde mit der analysierten Feuchtigkeit des Gerstenmehles *BVAL 350010* („HORA“), $W = 11,04 \%$, korrigiert. Für eine bessere Handhabung des Teiges wurde wiederum die Teigwassermenge experimentell verringert (Tab. 17).

Jene vier Enzyme, die im vorangegangenen Versuch den positivsten Einfluss auf die 13 Zielgrößen hatten, wurden nun in unterschiedlichen Konzentrationen miteinander kombiniert. In jeden Teig wurden alle Enzyme in vom Versuchsplan vorgegebener Kombination eingesetzt. Tab. 18 zeigt die eingesetzten Enzyme und ihre drei verwendeten Konzentrationen. In Tab. 28 im Anhang (Kap. 11.2) ist die auf die Mehlmenge berechnete Enzymmenge angegeben.

In dieser Arbeit wurde mit einem faktoriellen Versuchsplan mit 2^4 , also 16, Versuchsdurchgängen gearbeitet. Wie in Tab. 19 zu sehen, wurden zusätzlich drei Zentralpunkt wiederholungen gleichmäßig verteilt eingefügt.

Tab. 17: Optimierte Rezeptur 2A

Rezeptur		
Gerstenmehl	937,7	[g]
Trockenhefe	12,0	
Saccharose-Lösung	72,0	
Salz-Saccharose-Lösung	230,0	
Wasser	267,1	
Fett	9,7	
Säuerungsmittel	0,1	
Quellmehl	0,7	
Malzmehl	18,6	
Führungsparameter		
Knetstufe	2,5	
Knetzeit	3	[min]
Teiggare	18	
Stückgare	10	
Backzeit	35	

5. Versuchsdurchführung

Tab. 18: Verwendete Enzymkonzentrationen (-1 ... niedrigste Enzymkonzentration, 0 ... mittlere Enzymkonzentration, +1 ... höchste Enzymkonzentration)

Enzyme	Konzentrationen [ppm]		
	-1	0	+1
AMG® 1100 BG	170,0	290,0	410,0
Pentopan® 500 BG	40,0	65,0	90,0
Celluclast® BG	50,0	150,0	250,0
Novamyl® 10000BG	25,0	75,0	125,0

Tab. 19: 2⁴ - Faktorieller Versuchsplan (Faktor A ... Novamyl® 10000BG, Faktor B ... AMG® 1100BG, Faktor C ... Pentopan® 500, Faktor D ... Celluclast® BG; -1 ... niedrigste Enzymkonzentration, 0 ... mittlere Enzymkonzentration, +1 ... höchste Enzymkonzentration)

	Faktor A	Faktor B	Faktor C	Faktor D
1	0	0	0	0
2	-1	-1	-1	-1
3	+1	-1	-1	-1
4	-1	+1	-1	-1
5	+1	+1	-1	-1
6	-1	-1	+1	-1
7	+1	-1	+1	-1
8	-1	+1	+1	-1
9	+1	+1	+1	-1
10	0	0	0	0
11	-1	-1	-1	+1
12	+1	-1	-1	+1
13	-1	+1	-1	+1
14	+1	+1	-1	+1
15	-1	-1	+1	+1
16	+1	-1	+1	+1
17	-1	+1	+1	+1
18	+1	+1	+1	+1
19	0	0	0	0

6 Versuchsergebnisse und Diskussion

6.1 Ergebnisse der Vermahlung

Aus dem Säulendiagramm in Abb. 20 kann direkt die prozentuelle Verteilung zwischen der Mehl-, Kleie- und Futtermehlausbeute entnommen werden. Der Prozentsatz des gewonnenen Mehles liegt bei durchschnittlich $72,7 \% \pm 2,6 \%$, wobei hier alle Mehlfractionen (Hell, Mittel, Dunkel) zusammengefasst werden.

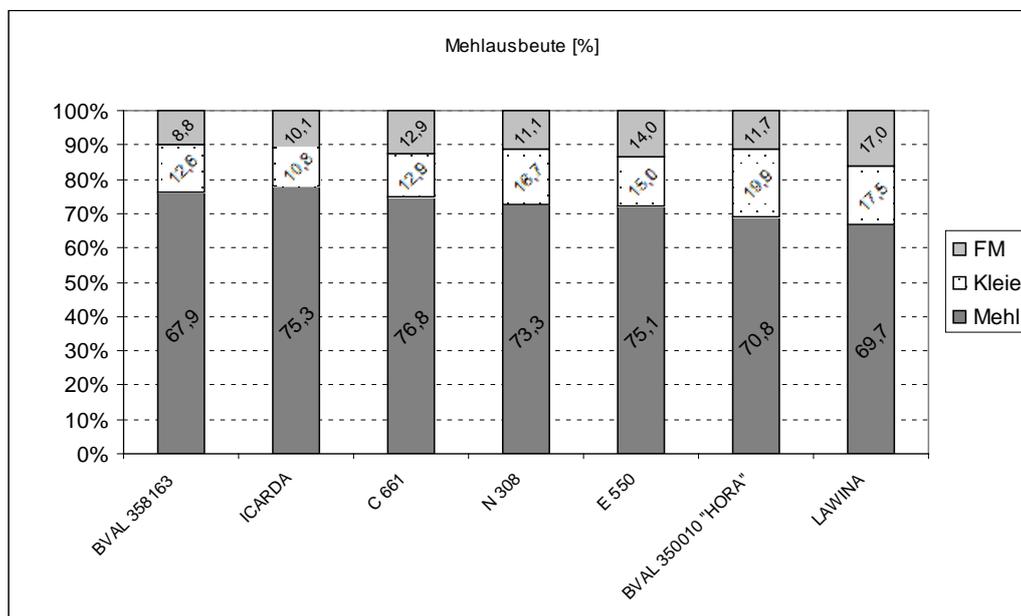


Abb. 20: Mehlausbeute [%] der verschiedenen Nacktgerstesorten

6.2 Ergebnisse aus dem Vorversuch

Die Produkte der Backversuche aus den drei Mehlfraktionen der verschiedenen Nacktgerstegenotypen unterschieden sich stark in Form, Aussehen und Sensorik. Wie in Kap. 5.1 angesprochen, musste bei einigen Mehlen die Teigwassermenge experimentell verändert werden (Tab. 14). Die unterschiedliche Konsistenz der Teige stellte eine Herausforderung beim Kneten, Rundwirken, Ausrollen und Formen dar. Das Erscheinungsbild von Krume und Kruste der fertigen Brote war auch innerhalb der Sorten sehr kontrastreich. Als Beispiel dazu sind die Versuchsbrote aus den drei Mehlfraktionen des Nacktgerstengentyp *BVAL 350010* („HORA“) abgebildet (Abb. 21 und Abb. 22). Auch bezüglich Geruch, Geschmack und Mundgefühl konnten einige Versuchsbrote nicht überzeugen. Ausschlaggebend für die Auswahl des Mehles für die weiteren Versuche waren unter anderem das sandige Mundgefühl und der bittere (Nach-)Geschmack mancher Brote. Die verschiedenen Beobachtungen wurden in Tab. 20 festgehalten.

Bei den Vorversuchsbroten der Sorte *BVAL 358163* wurde in der sensorischen Beurteilung zwar kein sandig knirschendes Mundgefühl oder ein bitter Nachgeschmack wahrgenommen, jedoch war die Mehlmenge für eine umfangreiche Versuchsserie nicht ausreichend. Deshalb fiel die Wahl auf den Nacktgerstengentyp *BVAL 350010* („HORA“).



Abb. 21: Aussehen und Form der Versuchsbrote aus den drei Fraktionen des Nacktgerstengentypes *BVAL 350010* („HORA“)

6. Versuchsergebnisse und Diskussion



Abb. 22: Krumenbild der Versuchsbrote aus den drei Fraktionen des Nacktgerstengenotypes *BVAL 350010* („HORA“)

Tab. 20: Ergebnisse zu Sandigkeit und Bitterkeit der Versuchsbrote aus dem Vorversuch (- ... keine Ausprägung, + ... Ausprägung, ++ ... starke Ausprägung; Tag 1 ... Backtag, Tag 2 ... ca. 24 Stunden nach dem Backen)

Genotyp + Fraktion		Sandigkeit		Bitterkeit	
		Tag 1	Tag 2	Tag 1	Tag 2
BVAL 358163	H2	-	-	-	-
	M2	-	-	-	-
	D2	-	-	-	-
Icarda	H2	-	-	-	-
	M2	-	-	+	-
	D2	-	-	+	++
C 661	H2	++	+	-	-
	M2	++	+	-	-
	D2	+	+	+	+
N 308	H2	+	+	-	-
	M2	+	+	+	+
	D2	-	+	+	+
E 550	H2	+	+	-	-
	M2	++	++	+	++
	D2	+	-	+	++
BVAL 350010 („HORA“)	H2	-	-	-	-
	M2	+	-	-	-
	D2	-	-	-	-
Lawina	H2	+	-	-	-
	M2	+	-	-	-
	D2	-	-	-	-

6.3 Ergebnisse aus den Versuchen zur Bestimmung der optimalen Enzymkonzentrationen

Als Fazit des statistischen Vergleichs der gewonnenen Messdaten ließen die vier Enzyme Novamyl® 10000 BG, Celluclast® BG, Pentopan® 500 BG und AMG® 1100 BG den positivsten Einfluss auf die Brotqualität erkennen.

Die Amylase Novamyl® 10000 BG beeinflusste vor allem die Eigenschaften der Brotkrume positiv. Sie überzeugte bei der texturalen Messung durch besondere Weichheit und Elastizität der Krume. Die Krume wurde durch diesen Enzymzusatz fein und gleichmäßig geport. Bezüglich der sensorischen Eigenschaften punktete Novamyl® 10000 BG beim „Mundgefühl“ und „Geschmack und Geruch“.

Ein herausragender „Brotumfang“ konnte beim Einsatz von Celluclast® BG gemessen werden. Und analog dazu ein positiver Einfluss auf das „Brotvolumen“ festgestellt werden. Außerdem zeigte ihr Einsatz genauso viel versprechende Wirkung auf die Variablen der texturalen Eigenschaften „ F_{max} “ und „ F_{25} “.

Besonders positiven Einfluss auf die sensorischen Zielgrößen „Aussehen und Form“, „Bräunung der Kruste“, „Geschmack und Geruch“ und „Krumenporung und Lockerung“ konnte dem Einsatz von Pentopan® 500 BG nachgewiesen werden. Diese Xylanase beeinflusste die Krume vergleichsweise zurückhaltend in ihrer Weichheit.

Der wesentlichste Einfluss des AMG® 1100 BG beschränkte sich auf die auffällige „Bräunung der Kruste“. Beim Einsatz in seiner höchsten Konzentration war diese dunkle Färbung auch messbar. Diese Amylase zeigte ebenfalls einen positiven Einfluss auf die Zielgrößen „KEL“, „ F_{max} “ und „ F_{25} “.

Im Anhang sind die Daten der Messungen und sensorischen Analyse, sowie deren Mittelwerte und Standardabweichungen tabellarisch aufgelistet (Tab. 26 und Tab 27, Kap. 11.1). Die Abbildungen der Versuchsbrote im Anhang (Abb. 49 bis Abb. 58, Kap. 11.1) veranschaulichen den Unterschied der Wirkung zwischen den verschiedenen Enzymen und zwischen den Konzentrationsstufen innerhalb der Enzyme auf „Aussehen und Form“, „Bräunung der Kruste“ und „Krumenporung und Lockerung“.

6.3.1 Ergebnisse zum Brotvolumen

Das Brotvolumen wurde, wie in Kap. 4.3.1 beschrieben, gemessen und dient als Bewertungskriterium für die Backfähigkeit.

Nur innerhalb der niedrigsten (-1) Enzymkonzentration konnte kein signifikanter Unterschied in der Wirkung der unterschiedlichen Enzyme festgestellt werden (Tab. 21, Kap. 6.3.6).

Die höchsten Volumina wurden durch die Zugabe von Celluclast® BG in mittlerer (0) und höchster (+1) Konzentration und Pentopan® Mono BG in niedrigster (-1) Konzentration erreicht. Die restlichen Versuchsbrote erreichten trotz Enzymzusatz ein geringeres oder nur wenig größeres Volumen als die Nullprobe ohne Enzymzusatz (Abb. 23).

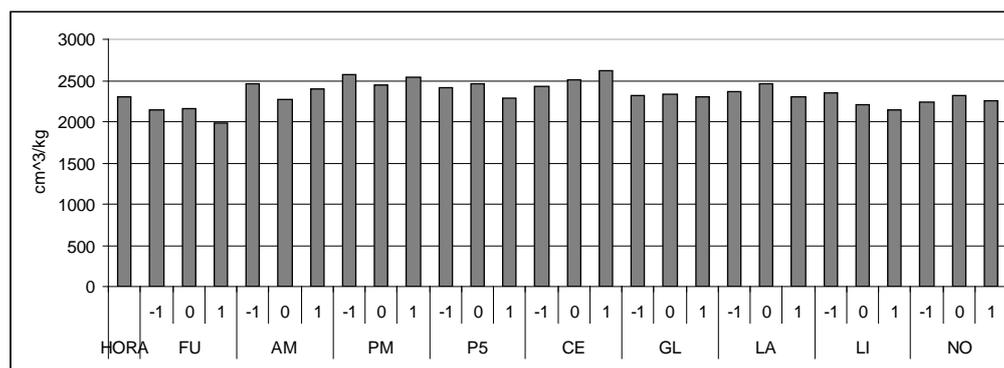


Abb. 23: Volumen [cm³] pro kg Mehl (HORA = ohne Zusatz; FU = Fungamyl 2500 SG; AM = AMG 1100 BG; PM = Pentopan Mono BG; P5 = Pentopan 500 BG; CE = Celluclast BG; GL = Gluzyme 10000 BG; LA = Laccase NS 27011; LI = Lipase F; NO = Novamyl 10000 BG; -1 = niedrigste Konzentration; 0 = mittlere Konzentration; +1 = höchste Konzentration)

6.3.2 Ergebnisse zum Brotumfang

Der Umfang des Brotes wurde, wie in Kap. 4.3.2 beschrieben, gemessen und ausgewertet.

Die Wirkung der Enzyme war innerhalb aller Enzymkonzentrationen signifikant (Tab. 21, Kap. 6.3.6).

Allgemein gesehen, erhöhte ein Enzymzusatz in der Rezeptur den Umfang (Abb. 24).

6. Versuchsergebnisse und Diskussion

Jene Brote, die mit dem Enzym Celluclast® BG angereichert wurden, erreichten in allen Konzentrationen sehr große Umfänge. Das Enzym Pentopan® 500 erreichte hingegen nur in der höchsten (+1) Konzentration einen annähernd bedeutenden Umfang.

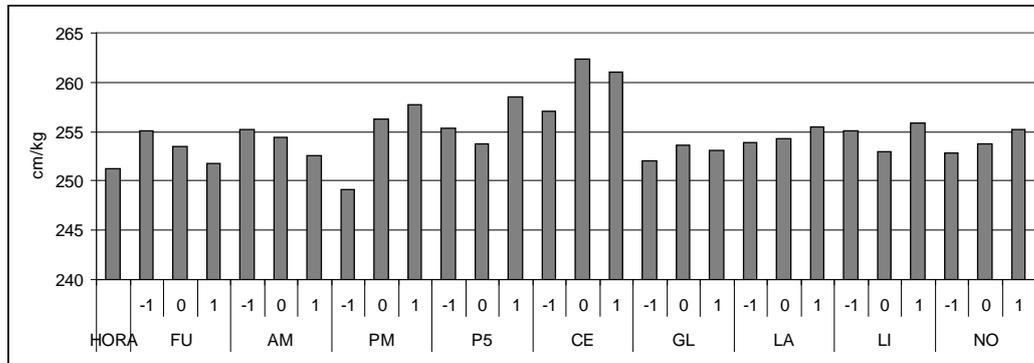


Abb. 24: Umfang [cm] pro kg Mehl (HORA = ohne Zusatz; FU = Fungamyl 2500 SG; AM = AMG 1100 BG; PM = Pentopan Mono BG; P5 = Pentopan 500 BG; CE = Celluclast BG; GL = Gluzyme 10000 BG; LA = Laccase NS 27011 ; LI = Lipase F; NO = Novamyl 10000 BG; -1 = niedrigste Konzentration; 0 = mittlere Konzentration; +1 = höchste Konzentration)

6.3.3 Ergebnisse zur Krusten- und Krumenfarbe

Die Farbbestimmung erfolgte, wie in Kap. 4.3.3. beschrieben, nach dem L*a*b*-System mit einem geeichten Farbmessgerät. In Abb. 25 ist ein Vergleich zwischen der Farbe der Krume und der Kruste gegeben.

Die Krume war, wie erwünscht, heller gefärbt als die Kruste.

Ein signifikanter Unterschied der Krumenfarbe war im Bereich der niedrigsten (-1) und höchsten (+1) Enzymkonzentration gegeben, aber nicht bei der mittleren (0) Konzentration (Tab. 21, Kap. 6.3.6).

Im Vergleich zeigte sich kein signifikanter Farbunterschied der Kruste innerhalb der niedrigsten (-1) Konzentration, sehr wohl aber bei mittlerer (0) und höchster (+1) Konzentration der verschiedenen Enzyme (Tab. 21, Kap. 6.3.6).

Die Krume des unsupplementierten Versuchsbrottes zeigte die dunkelste Färbung, wobei sich dessen Wert aber nicht sehr von den Enzym-supplementierten unterschied. Die höchsten L*-Werte für die Krume wurden bei Broten mit den Enzymen Laccase® NS 27011 und Lipopan® F gemessen.

Die dunkelsten Krusten besaßen die Brote mit Pentopan® 500 BG in niedrigster (-1) Konzentration und AMG® 1100 BG in höchster (+) Konzentration.

6. Versuchsergebnisse und Diskussion

Das drittplatzierte Enzym Fungamyl® 2500 SG erreichte jedoch in der niedrigsten (-1) und höchsten (+1) Konzentration nur ähnliche L*-Werte wie die Rinde der Nullprobe ohne Enzymzusatz. Eine eher blasse Kruste zeigten die Brote mit Novamyl® 10000 BG (niedrigste Konzentration) und Lipopan® F (höchste Konzentration).

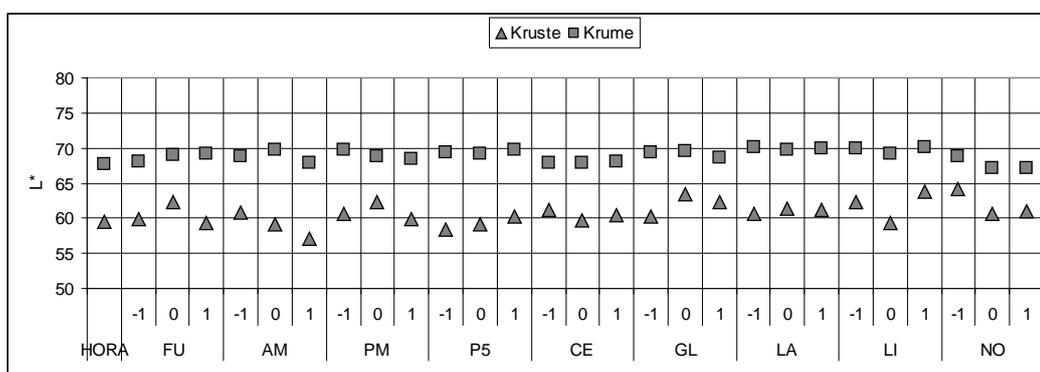


Abb. 25: Vergleich des L*-Wertes der Krusten- und Krumenfarbe (HORA = ohne Zusatz; FU = Fungamyl 2500 SG; AM = AMG 1100 BG; PM = Pentopan Mono BG; P5 = Pentopan 500 BG; CE = Celluclast BG; GL = Gluzyme 10000 BG; LA = Laccase NS 27011 ; LI = Lipase F; NO = Novamyl 10000 BG; -1 = niedrigste Konzentration; 0 = mittlere Konzentration; +1 = höchste Konzentration)

6.3.4 Ergebnisse zur texturalen Eigenschaft

Die Varianzanalyse ergab für alle Zielgrößen der texturalen Eigenschaft einen signifikanten Unterschied innerhalb der drei angewandten Enzymkonzentrationen (Tab. 21, Kap. 6.3.6).

Die relative Krumenfestigkeit ergibt sich als Quotient aus Residualkraft und Maximalkraft. Da dieser dimensionslose Wert so groß wie möglich sein soll, haben darauf, laut Abb. 26, die Enzyme Novamyl® 10000 BG, Lipopan® F und AMG® 1100 BG in allen Konzentrationen den größten Einfluss.

Das Ziel war es ein weiches Brot herzustellen. Daher sollten die gemessenen Werte der F_{max} (Maximalkraft) und F_{25} (Widerstandskraft nachdem der Messkolben ein Viertel des Weges zurückgelegt hat) eher niedrig sein. Jene Krumen bei denen der geringste Widerstand ermittelt wurde, enthielten Novamyl® 10000BG, Celluclast® BG, Pentopan® Mono BG oder AMG® 1100 BG. Tendenziell führte eine Steigerung der Enzymdosis zu einer messbar weicheren Krume. Der Zusatz

6. Versuchsergebnisse und Diskussion

von Laccase® NS 27011 in den verschiedenen Konzentrationen führte zu einer ähnlich festen Krume wie beim unsupplementiertem Brot (Abb. 27 und Abb. 28).

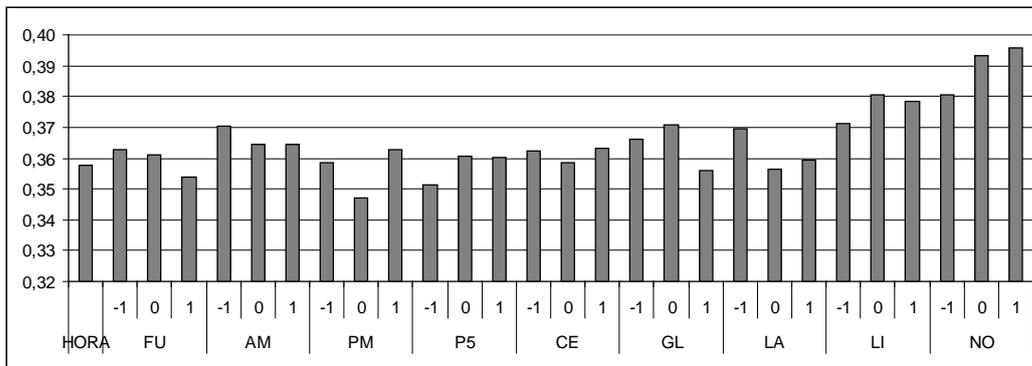


Abb. 26: Relative Krumenfestigkeit (KEL) (HORA = ohne Zusatz; FU = Fungamyl 2500 SG; AM = AMG 1100 BG; PM = Pentopan Mono BG; P5 = Pentopan 500 BG; CE = Celluclast BG; GL = Gluzyme 10000 BG; LA = Laccase NS 27011 ; LI = Lipase F; NO = Novamyl 10000 BG; -1 = niedrigste Konzentration; 0 = mittlere Konzentration; +1 = höchste Konzentration)

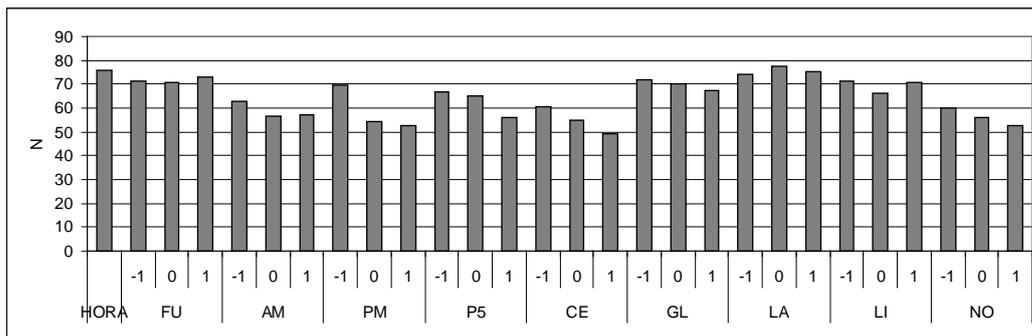


Abb. 27: Maximalkraft [N] (HORA = ohne Zusatz; FU = Fungamyl 2500 SG; AM = AMG 1100 BG; PM = Pentopan Mono BG; P5 = Pentopan 500 BG; CE = Celluclast BG; GL = Gluzyme 10000 BG; LA = Laccase NS 27011 ; LI = Lipase F; NO = Novamyl 10000 BG; -1 = niedrigste Konzentration; 0 = mittlere Konzentration; +1 = höchste Konzentration)

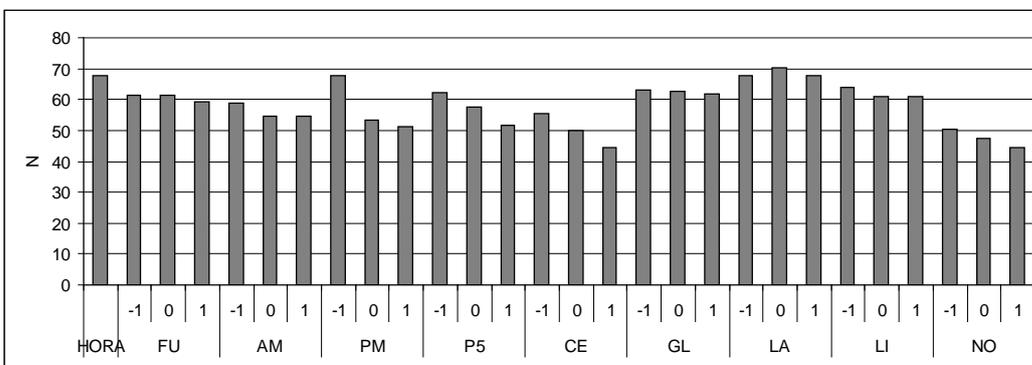


Abb. 28: Widerstandskraft bei 25% Stauchung [N] (HORA = ohne Zusatz; FU = Fungamyl 2500 SG; AM = AMG 1100 BG; PM = Pentopan Mono BG; P5 = Pentopan 500 BG; CE = Celluclast BG; GL = Gluzyme 10000 BG; LA = Laccase NS 27011 ; LI = Lipase F; NO = Novamyl 10000 BG; -1 = niedrigste Konzentration; 0 = mittlere Konzentration; +1 = höchste Konzentration)

6.3.5 Ergebnisse zur sensorischen Analyse

Die Varianzanalyse ergab für alle Zielgrößen der sensorischen Analyse einen signifikanten Unterschied im Bereich der drei angewandten Enzymkonzentrationen (Tab. 21, Kap. 6.3.6).

Bei der Zielgröße „Aussehen und Form“ überzeugte Pentopan® 500 BG in allen angewandten Konzentrationen am meisten. Das Enzym AMG® 1100 BG zeigte seine größte Wirkung in der höchsten (+1) Konzentration (Abb. 29).

Die Enzyme AMG® 1100 BG, Pentopan® 500 BG und Laccase® NS 27011 führten in allen Konzentrationen zu einer hohen Bewertung der „Bräunung der Kruste“ (Abb. 30). Celluclast® BG zeigte in der höchsten (+1) und mittleren (0) Enzymkonzentration seine starke Wirkung auf diese Zielgröße. Es wurden unter anderem die Gleichmäßigkeit der Färbung und die etwas dunklere Bräunung an den Rissen gelobt.

Die „Krumenporung und Lockerung“ wurde positiv von Novamyl® 10000 BG, vor allem in der mittleren (0) und hohen (+1) Konzentration, beeinflusst. Die kleinen und großen Poren waren gleichmäßig verteilt und die Krume fühlte sich sehr weich an. Die Brote mit Fungamyl® 2500 SG in der Rezeptur wurden dagegen wegen ihrer kleinen dichten Poren und dem kompakten Aussehen sehr schlecht bewertet. In der Abb. 31 kann man eindeutig sehen, dass die Beurteilungen der restlichen Enzyme mit der Nullprobe auf einer Linie liegen und somit keine Verbesserung eingetreten war.

Das Enzym Novamyl® 10000 BG konnte in der sensorischen Prüfung, bezüglich des „allgemeinen Mundgefühls“, ebenso überzeugen. Positiv angeführt wurden die gute Kau- und Schluckbarkeit dieses Brotes. Bei allen anderen Enzymen war der Einfluss zwischen den Konzentrationen sehr unterschiedlich (Abb. 32). Fungamyl® 2500 SG konnte nur in seiner niedrigsten (-1) Konzentrationsstufe das Mundgefühl positiv beeinflussen. In der mittleren (0) und höchsten (+1) Konzentration konnte das Enzym Laccase® NS 27011 auf diese

6. Versuchsergebnisse und Diskussion

Zielgröße großen Einfluss nehmen. Die Krume fühlte sich zu Beginn im Mund zwar eher trocken an, konnte aber durch ihre brotige Textur überzeugen.

Der „Geschmack und Geruch“ waren beim Brot mit Fungamyl® 2500 SG nur in der niedrigsten (-1) verwendeten Konzentration sehr positiv bewertet worden. Der Geschmack wurde als sehr aromatisch befunden. Das Enzym Novamyl® 10000 BG wiederum zeigte in allen Konzentrationen einen positiven Einfluss (Abb. 33).

Die „Konsistenz der Kruste“ (Abb. 34) wurde allgemein gesehen sehr durchschnittlich benotet. Am schlechtesten schnitt dabei die lederige Konsistenz bei Verwendung der niedrigsten (-1) Konzentration der Laccase® NS 27011 ab.

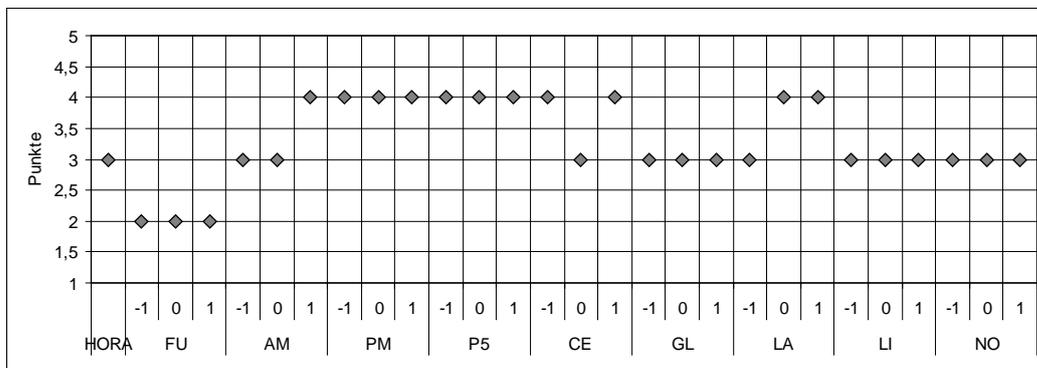


Abb. 29: Aussehen und Form (HORA = ohne Zusatz; FU = Fungamyl 2500 SG; AM = AMG 1100 BG; PM = Pentopan Mono BG; P5 = Pentopan 500 BG; CE = Celluclast BG; GL = Gluzyme 10000 BG; LA = Laccase NS 27011 ; LI = Lipase F; NO = Novamyl 10000 BG; -1 = niedrigste Konzentration; 0 = mittlere Konzentration; +1 = höchste Konzentration)

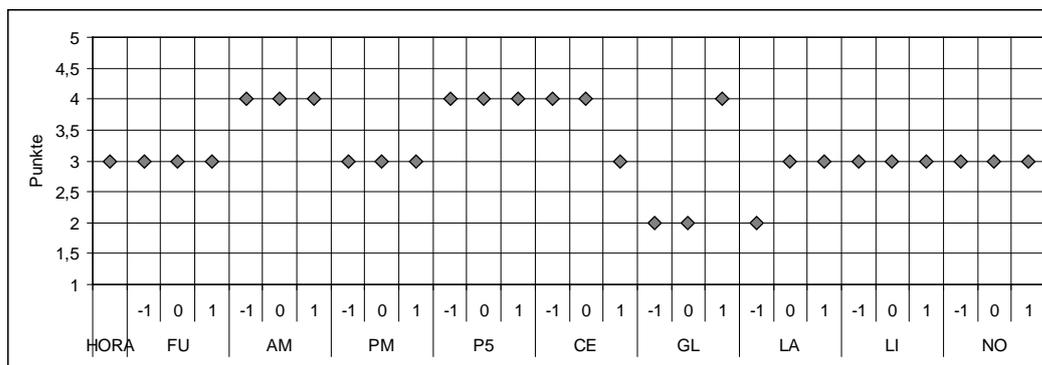


Abb. 30: Bräunung der Kruste (HORA = ohne Zusatz; FU = Fungamyl 2500 SG; AM = AMG 1100 BG; PM = Pentopan Mono BG; P5 = Pentopan 500 BG; CE = Celluclast BG; GL = Gluzyme 10000 BG; LA = Laccase NS 27011 ; LI = Lipase F; NO = Novamyl 10000 BG; -1 = niedrigste Konzentration; 0 = mittlere Konzentration; +1 = höchste Konzentration)

6. Versuchsergebnisse und Diskussion

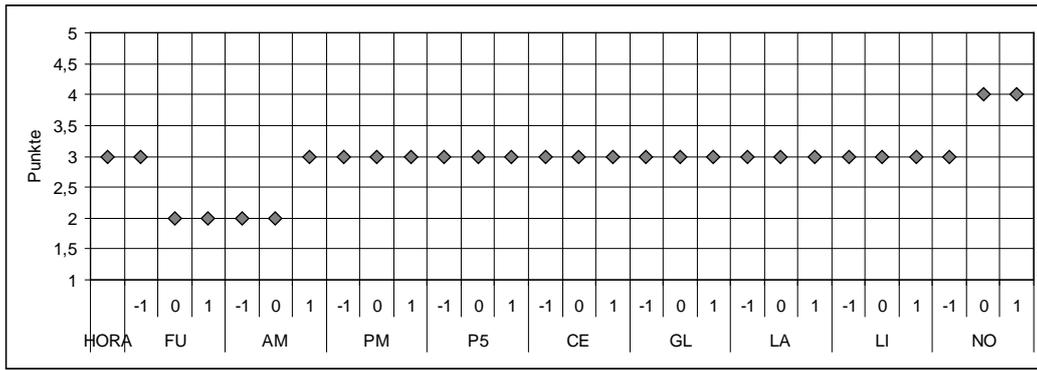


Abb. 31: Krumenporung und Lockerung (HORA = ohne Zusatz; FU = Fungamyl 2500 SG; AM = AMG 1100 BG; PM = Pentopan Mono BG; P5 = Pentopan 500 BG; CE = Celluclast BG; GL = Gluzyme 10000 BG; LA = Laccase NS 27011 ; LI = Lipase F; NO = Novamyl 10000 BG; -1 = niedrigste Konzentration; 0 = mittlere Konzentration; +1 = höchste Konzentration)

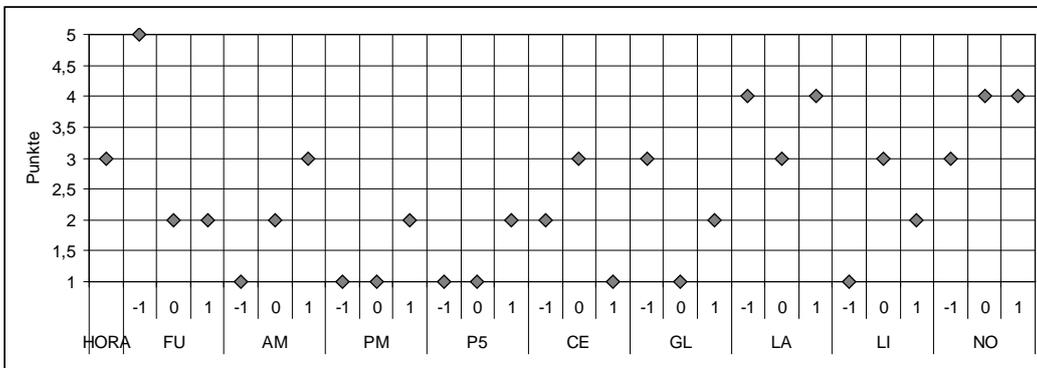


Abb. 32: allgemeines Mundgefühl (HORA = ohne Zusatz; FU = Fungamyl 2500 SG; AM = AMG 1100 BG; PM = Pentopan Mono BG; P5 = Pentopan 500 BG; CE = Celluclast BG; GL = Gluzyme 10000 BG; LA = Laccase NS 27011 ; LI = Lipase F; NO = Novamyl 10000 BG; -1 = niedrigste Konzentration; 0 = mittlere Konzentration; +1 = höchste Konzentration)

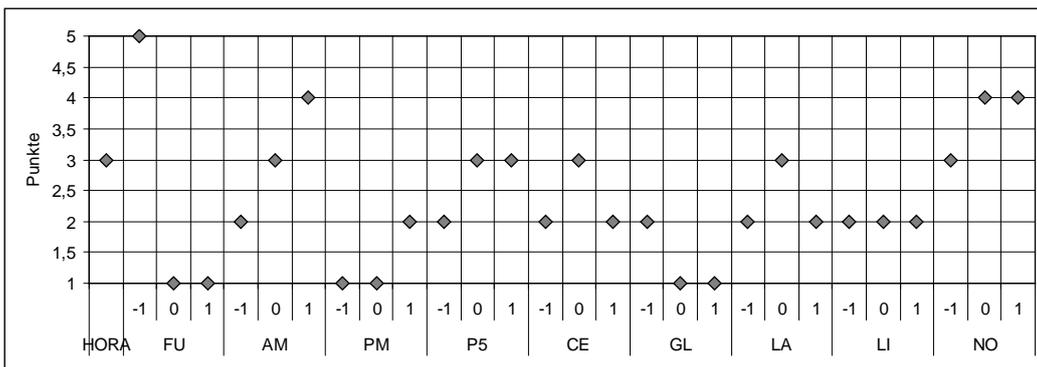


Abb. 33: Geschmack und Geruch (HORA = ohne Zusatz; FU = Fungamyl 2500 SG; AM = AMG 1100 BG; PM = Pentopan Mono BG; P5 = Pentopan 500 BG; CE = Celluclast BG; GL = Gluzyme 10000 BG; LA = Laccase NS 27011 ; LI = Lipase F; NO = Novamyl 10000 BG; -1 = niedrigste Konzentration; 0 = mittlere Konzentration; +1 = höchste Konzentration)

6. Versuchsergebnisse und Diskussion

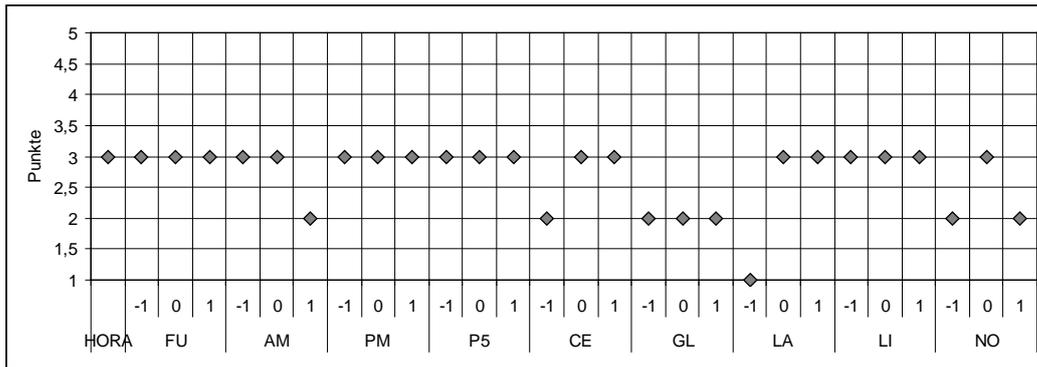


Abb. 34: Konsistenz der Kruste (HORA = ohne Zusatz; FU = Fungamyl 2500 SG; AM = AMG 1100 BG; PM = Pentopan Mono BG; P5 = Pentopan 500 BG; CE = Celluclast BG; GL = Gluzyme 10000 BG; LA = Laccase NS 27011; LI = Lipase F; NO = Novamyl 10000 BG; -1 = niedrigste Konzentration; 0 = mittlere Konzentration; +1 = höchste Konzentration)

6.3.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Jene Enzyme die eine signifikante Wirkung auf die verschiedenen Zielgrößen zeigten wurden anhand der einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) ermittelt (Tab. 21). Zusätzlich half der „Multiple Range Test“ eine Rangordnung ihrer Einflussnahme zu erstellen (Kap. 4.4.1).

Für jede Zielgröße wurden die Enzyme in ihren drei Konzentrationen mit der größten, positiv signifikanten Wirkung anhand ihrer Stellung in der Rangfolge bewertet.

Die Auswertung ergab, dass die vier Enzyme Novamyl® 10000 BG, Celluclast® BG, Pentopan® 500 BG und AMG® 1100 BG die Versuchsbröte am günstigsten beeinflussten.

Novamyl® 10000 BG überzeugte vor allem wegen seiner positiven Wirkung auf die Brotkrume. Es wirkte signifikant positiv auf die Messdaten „KEL“, „F_{max}“ und „F₂₅“. Auch die sensorisch bewerteten Zielgrößen „Geschmack und Geruch“, „Krumenporung und Lockerung“ sowie „allgemeines Mundgefühl“ wurden außerordentlich positiv beurteilt. Die „Konsistenz der Kruste“ wurde allerdings nur beim Einsatz der mittleren (0) Konzentration dieses Enzyms signifikant positiv beeinflusst.

Der Einsatz von Celluclast® BG erhöhte den Umfang und das Volumen der Versuchsbröte hervorragend. Die anhand der Werte von „F_{max}“ und „F₂₅“ beurteilten texturalen Eigenschaften wurden ebenso stark signifikant beeinflusst.

6. Versuchsergebnisse und Diskussion

Die „Bräunung der Kruste“ wurde bei Einsatz von Celluclast® BG für gut befunden. Die Supplementation mit der höchsten (+1) Konzentration beeinflusste „Aussehen und Form“ des Versuchsbrottes signifikant.

Pentopan® 500 BG zeigte seine signifikante Wirkung vor allem bei den sensorisch beurteilten Zielgrößen „Aussehen und Form“, „Bräunung der Kruste“, „Krumenporung und Lockerung“ sowie „Geschmack und Geruch“. Der Umfang der Versuchsbrote konnte nur bei Anwendung der niedrigsten (-1) und der höchsten (+1) Konzentration dieses Enzyms signifikant beeinflusst werden.

Das Enzym AMG® 1100 BG zeigte in allen drei angewandten Konzentrationen die signifikant positivste Wirkung auf die „Bräunung der Kruste“. Bei Einsatz der höchsten (+1) Konzentration konnte diese signifikante Wirkung durch die Farbmessung der Kruste (L^* -Wert) bestätigt werden. Die sensorische Beurteilung von „Geschmack und Geruch“ fiel bei der mittleren (0) und höchsten (+1) Konzentration signifikant positiv aus. Der „KEL“-Wert wurde durchwegs von AMG® 1100 BG signifikant beeinflusst, aber „ F_{max} “ und „ F_{25} “ lediglich durch die Supplementation der niedrigsten (-1) und mittleren (0) Enzymmenge.

6. Versuchsergebnisse und Diskussion

Tab. 21: Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse

Zielgrößen	Konzentration	p-Wert	Signifikanz
Volumen [cm ³] pro kg Mehl	-1	0,0778	nicht signifikant
	0	0,0103	signifikant
	+1	0,0000	signifikant
Umfang [cm] pro kg Mehl	-1	0,0008	signifikant
	0	0,0042	signifikant
	+1	0,0000	signifikant
Krustenfarbe L*	-1	0,0083	nicht signifikant
	0	0,0521	signifikant
	+1	0,0007	signifikant
Krumenfarbe L*	-1	0,0017	signifikant
	0	0,0707	nicht signifikant
	+1	0,0009	signifikant
Relative Krumenfestigkeit (KEL)	-1	0,0028	signifikant
	0	0,0000	signifikant
	+1	0,0000	signifikant
Maximalkraft (F _{max}) [N]	-1	0,0000	signifikant
	0	0,0000	signifikant
	+1	0,0000	signifikant
Widerstandskraft bei 25 % Stauchung (F ₂₅) [N]	-1	0,0000	signifikant
	0	0,0000	signifikant
	+1	0,0000	signifikant
Aussehen und Form	-1	0,0000	signifikant
	0	0,0000	signifikant
	+1	0,0000	signifikant
Bräunung der Kruste	-1	0,0000	signifikant
	0	0,0000	signifikant
	+1	0,0000	signifikant
Krumenporung und Lockerung	-1	0,0000	signifikant
	0	0,0000	signifikant
	+1	0,0000	signifikant
Allgemeines Mundgefühl	-1	0,0000	signifikant
	0	0,0000	signifikant
	+1	0,0000	signifikant
Geschmack und Geruch	-1	0,0000	signifikant
	0	0,0000	signifikant
	+1	0,0000	signifikant
Konsistenz der Kruste	-1	0,0000	signifikant
	0	0,0000	signifikant
	+1	0,0000	signifikant

6.4 Ergebnisse aus dem Versuch zur Bestimmung der optimalen Enzymkombinationen

Zur Bestimmung der optimalen Enzymkombination wurden die vier Enzyme Novamyl® 10000 BG, Celluclast® BG, Pentopan® 500 BG und AMG® 1100 BG wie im Versuchsplan vorgegeben in die Rezeptur eingefügt. Die Wirkung und Wechselwirkung der Enzyme auf die jeweilige Zielgröße wurde in den folgenden Kapiteln anhand von Pareto-Diagrammen erläutert.

Im Anhang sind die Versuchsbrote (Abb. 59 bis Abb. 63, Kap. 11.2) abgebildet. Die Daten der Messungen und sensorischen Analyse, sowie deren Mittelwerte und Standardabweichungen sind in Tab. 29 (Kap. 11.2) und Tab. 30 (Kap. 11.2) aufgeführt.

6.4.1 Ergebnisse zum Brotvolumen

Aus Abb. 35 ist direkt ersichtlich, dass Celluclast® BG als einziges Enzym einen signifikant positiven Einfluss auf die Zielgröße besaß. Die Wechselwirkung mit Novamyl® 10000 BG schwächte diese positive Wirkung ab. Die Kombination von Novamyl® 10000 BG mit Pentopan® 500 BG hatte einen starken negativen Einfluss und verringerte das Volumen der Versuchsbrote.

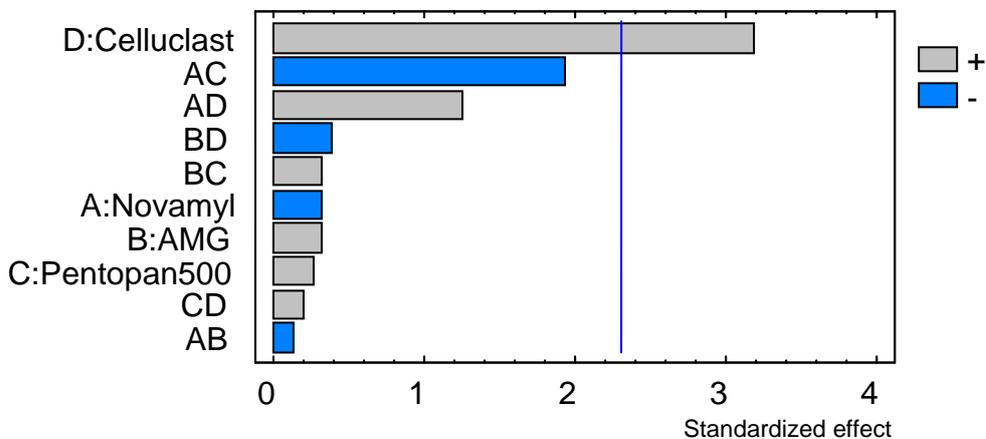


Abb. 35: Pareto-Diagramm für Volumen [cm³] pro kg Mehl

6.4.2 Ergebnisse zum Brotumfang

Da die Zielgrößen „Volumen“ und „Umfang“ miteinander Hand in Hand gehen, war es voraus zu sehen, dass hier ebenfalls das Enzym Celluclast® BG einen signifikant positiven Einfluss hatte. Die restlichen Enzyme zeigten, weder alleine noch in Interaktion, einen signifikanten Einfluss auf den Umfang der Versuchsbrote (Abb. 36).

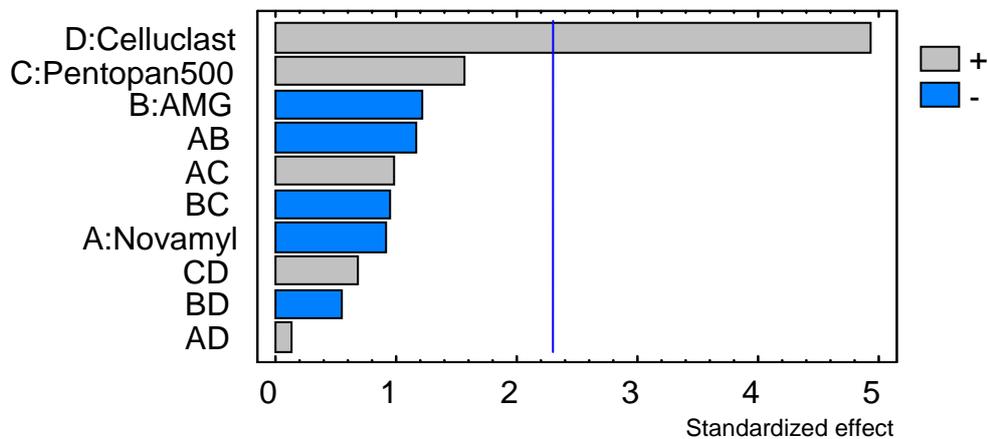


Abb. 36: Pareto-Diagramm für Umfang [cm] pro kg Mehl

6.4.3 Ergebnisse zur Krusten- und Krumenfarbe

Die Farbe der Kruste soll eher dunkel sein und daher einen niedrigeren Wert aufweisen. Im Pareto-Diagramm werden niedrige Messwerte als „negativ“ beschrieben. Wie in Abb. 37 zu sehen hatte das Enzym Celluclast® BG einen signifikanten Einfluss auf die Dunkelheit der Krustenfarbe. Die Wechselwirkungen von AMG® 1100 BG mit Novamyl® 10000 BG bzw. Penopan® 500 BG hingegen führten zu einer Aufhellung der äußeren Bräunung des Brotes.

Die Farbe der Krume soll eher hell, was durch einen hohen Wert dargestellt wird. Im Pareto-Diagramm (Abb. 38) weist der signifikant positive Effekt der Enzymkombination AMG® 1100 BG und Celluclast® BG auf eine helle Krumenfarbe hin. Die signifikant negative Wirkung des Enzyms Novamyl® 10000 BG ist sehr ausgeprägt.

6. Versuchsergebnisse und Diskussion

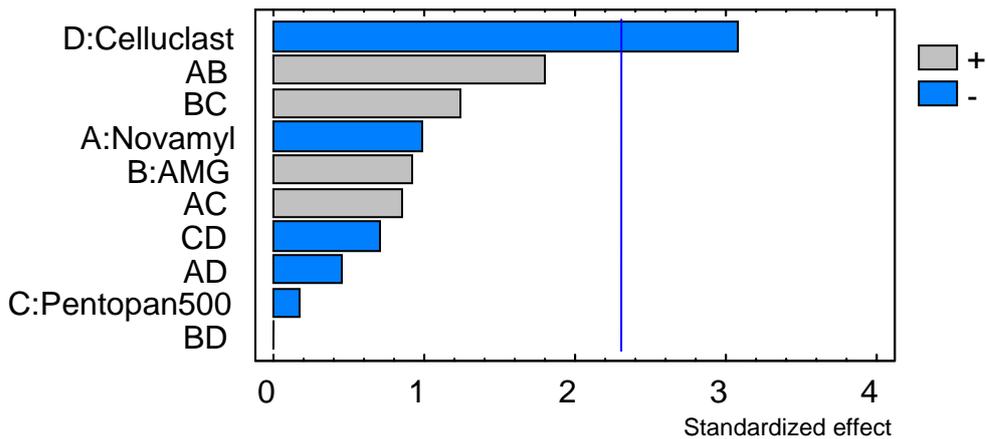


Abb. 37: Pareto-Diagramm für den L-Wert der Krustenfarbe

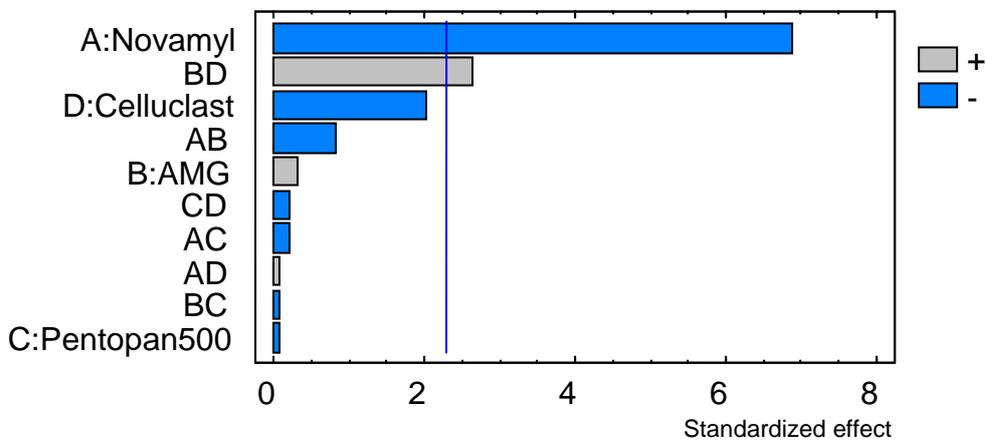


Abb. 38: Pareto-Diagramm für den L-Wert der Krumenfarbe

6.4.4 Ergebnisse zur texturalen Eigenschaft

Der signifikante, stark positive Einfluss von Novamyl® 10000 BG auf die relative Krumenfestigkeit (KEL) wird durch die Kombination mit Celluclast® BG abgeschwächt, ist aber immer noch signifikant positiv (Abb. 39).

Die Enzyme Celluclast® BG, Novamyl® 10000 BG und Pentopan® 500 BG wirken jedes für sich laut Abb. 40 signifikant negativ auf die Höhe der Werte der Maximalkraft aus. Demnach sind diese Enzyme geeignet um Brote mit weicher Krume herzustellen.

Ebenso verhält es sich bei der Zielgröße „F₂₅“. Hier zeigen die gleichen drei Enzyme, allerdings in anderer Reihenfolge, ihren signifikanten Einfluss. Die Interaktion mit den anderen Enzymen schwächte ihre positive Wirkung ab oder wandelte sie ins Gegenteil um (Abb. 41).

6. Versuchsergebnisse und Diskussion

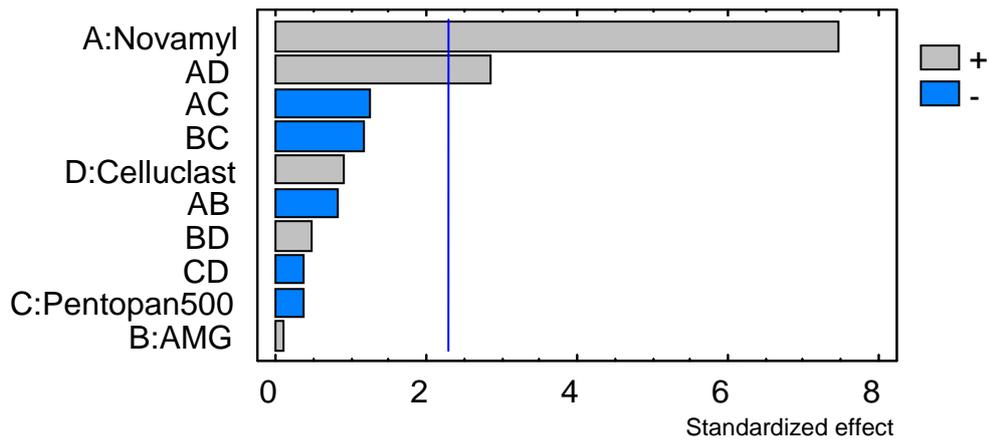


Abb. 39: Pareto-Diagramm für die relative Krümmenelastizität (KEL)

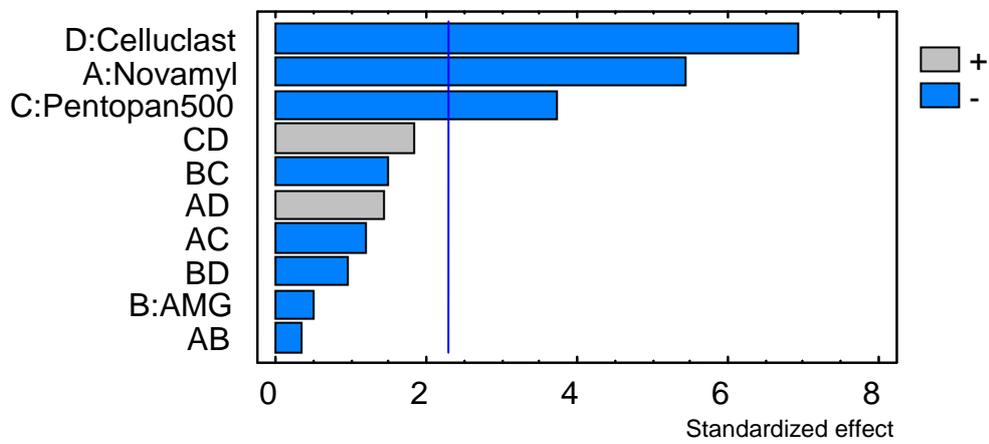


Abb. 40: Pareto-Diagramm für die Maximalkraft F_{max} [N]

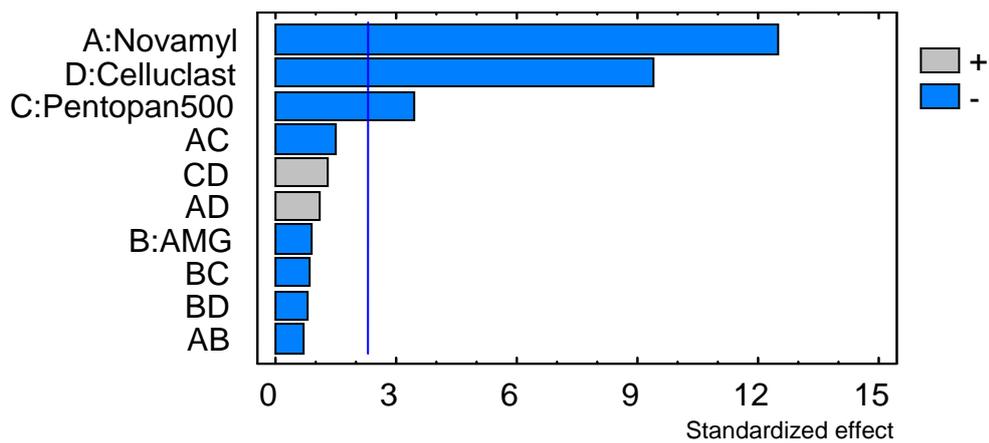


Abb. 41: Pareto-Diagramm für F_{25} [N]

6.4.5 Ergebnisse zur sensorischen Analyse

Für vier der sechs Zielgrößen konnte kein signifikanter Einfluss, weder positiv noch negativ, gefunden werden.

Die Enzyme Novamyl® 10000 BG und Pentopan® 500 BG wirkten jedes für sich alleine nachteilig auf „Aussehen und Form“ der Versuchsbrote aus (Abb. 42). Ihre Interaktion zeigte einen, wenn auch schwachen, positiven Effekt auf diese Zielgröße. Eine Umkehrung ihrer Einzelwirkungen erfuhren auch Novamyl® 10000 BG und Celluclast® BG beim gemeinsamen Einsatz. Im gleichen Ausmaß wirkt AMG® 1100 BG alleine positiv auf das äußere Erscheinungsbild der Brote.

Abb. 43 lässt erkennen, dass die einzelnen Enzyme weniger Einfluss auf die „Bräunung der Kruste“ hatten. Vorteilhaft wirkte sich die Wechselwirkung von AMG® 1100 BG mit Pentopan® 500 BG aus. Die Verbindung dieser beiden Enzyme mit Novamyl® 10000 BG beeinflusste diese Zielgröße jedoch negativ.

Eine starke, aber nicht signifikante, Wirkung kann dem Pareto-Diagramm für „Krumenporng und Lockerung“ (Abb. 44) entnommen werden. Das Enzym Novamyl® 10000 BG alleine und verknüpft mit Celluclast® BG zeigten eine sehr große Wirkung. Das Enzym Pentopan® 500 BG für sich bewirkte einen stark negativen Effekt, der sich in Wechselwirkung mit Celluclast® BG zu einem positiven umwandelte.

Für das „allgemeine Mundgefühl“ (Abb. 45) zeigte Novamyl® 10000 BG einen signifikant positiven Einfluss. In Wechselbeziehung mit den anderen Enzymen wurde ihre Wirkung aber abgeschwächt oder in die negative Richtung beeinflusst. Die Interaktion von AMG® 1100 BG und Celluclast® BG führte zu einem stark negativen, aber nicht signifikanten, Effekt.

Die Variable „Geschmack und Geruch“ wurde von Novamyl® 10000 BG viel versprechend beeinflusst. Die Wechselbeziehung mit dem Enzym Celluclast® BG konnte ihre positiven Fähigkeiten nicht multiplizieren, sondern bewirkte einen mittleren positiven Einfluss. Der ungünstige Einfluss von AMG® 1100 BG verschwand hingegen durch Interaktion mit Celluclast® BG (Abb. 46).

Die „Konsistenz der Kruste“ wurde durch das Enzym Celluclast® BG alleine und seine Interaktion mit AMG® 1100 BG gleich stark positiv signifikant beeinflusst.

6. Versuchsergebnisse und Diskussion

Der eigentlich negative Effekt des Enzyms AMG® 1100 BG wurde durch die positive Wirkung von Celluclast® BG überdeckt (Abb. 47).

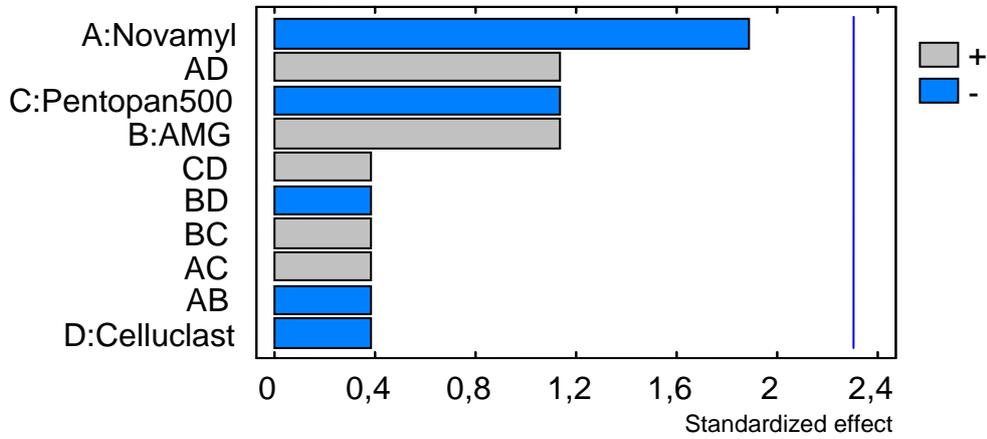


Abb. 42: Pareto-Diagramm für das Aussehen und die Form

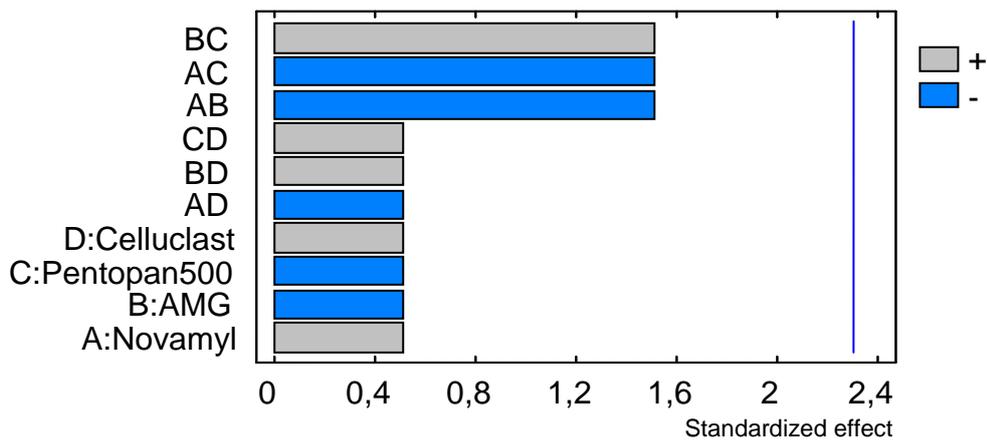


Abb. 43: Pareto-Diagramm für die Bräunung der Kruste

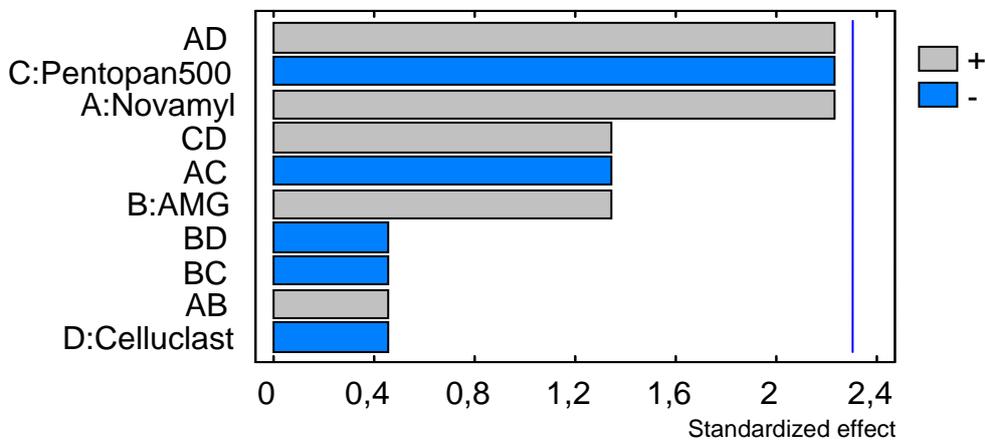


Abb. 44: Pareto-Diagramm für die Krumenporung und Lockerung

6. Versuchsergebnisse und Diskussion

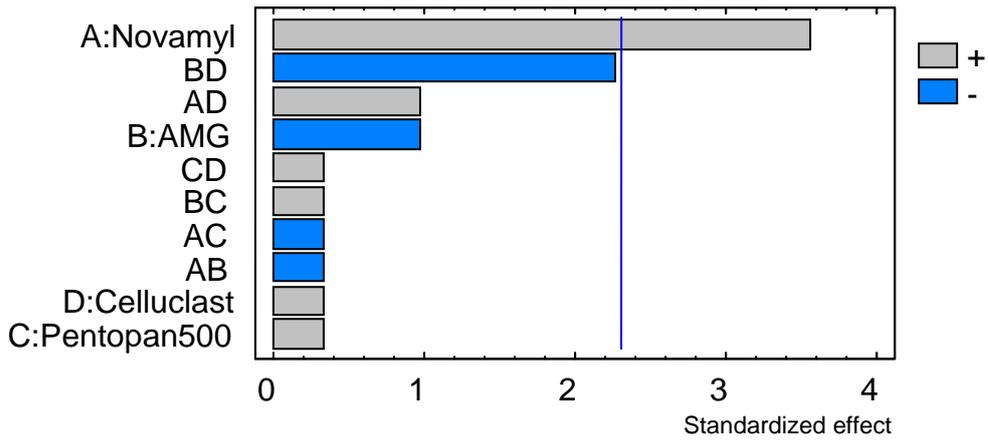


Abb. 45: Pareto-Diagramm für das allgemeine Mundgefühl

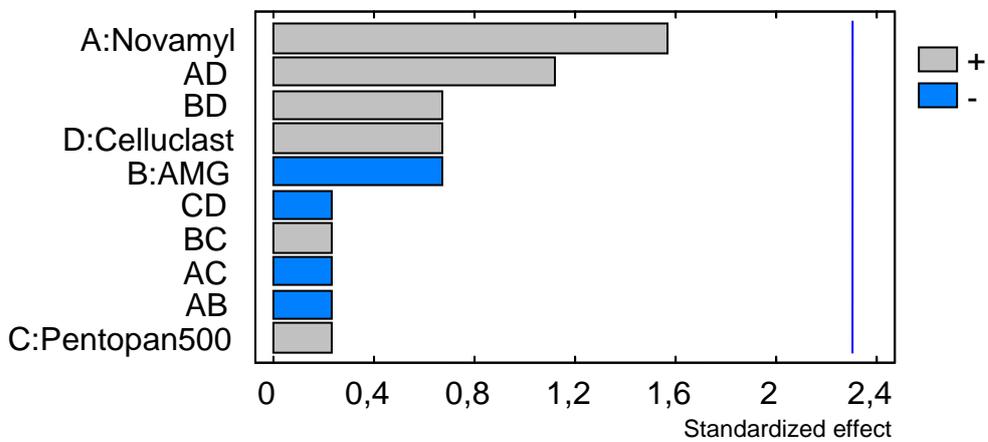


Abb. 46: Pareto-Diagramm für den Geschmack und Geruch

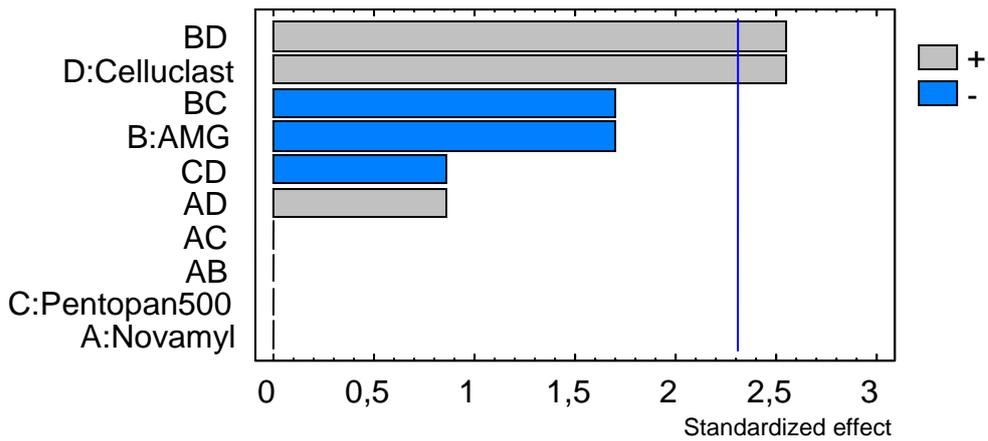


Abb. 47: Pareto-Diagramm für die Konsistenz der Kruste

6.4.6 Ergebnis der Mehrgrößen-Optimierung

Anhand Tab. 13 (Kap. 4.4.4) wurde die gewünschte Optimierung der Zielgrößen in die *Statgraphics® Centurion XV* Software eingetragen. Die Software unterstützte Berechnung ergab, dass das Versuchsbrot Nr. 12 die maximale Übereinstimmung mit den gewollten Parametern erreichte.

Die Kombination von Novamyl® 10000 BG und Celluclast® BG in der höchsten (+1), sowie AMG® 1100 BG und Pentopan® 500 BG in der niedrigsten Konzentration (-1) ergaben ein überzeugendes Brotprodukt.

Vergleicht man die Messwerte des Versuchsbrot Nr. 12 mit jenen des un-supplementierten Kontrollbrot ohne Enzymzusatz, so fallen teils gravierende Unterschiede auf (Tab. 22). Das Volumen und der Umfang des Versuchsbrot waren deutlich größer als jene Werte der Nullprobe. Beim Versuchsbrot Nr. 12 wurden für die Kruste und die Krume niedrigere L^* -Werte gemessen, daraus folgt, dass das Brot mit Enzymzusatz dunkler war. Die ausgewählten Texturparameter (F_{max} und F_{25}) zeigen, dass das Nacktgerstenbrot durch die Enzymgabe eindeutig weicher und elastischer wurde. Das Versuchsbrot Nr. 12 bekam bei der sensorischen Beurteilung durchschnittlich mehr Punkte. Vor allem bei den wichtigen Attributen „Geschmack und Geruch“, „allgemeines Mundgefühl“ und „Porung und Lockerung der Krume“ konnte dieses Brot einen positiveren Eindruck hinterlassen (Abb. 48).

Der positive Effekt der Enzymkombination konnte durch die Wiederholung des Versuches (WH 12) bestätigt werden (Tab. 22).

Die prozentuelle Abweichung zwischen den Messwerten des Versuchsbrot Nr. 12 und der Wiederholung dieses Versuches, sowie den Unterschied zu den Messwerten des Kontrollbrot wird in Tab. 23 gezeigt.

Die statistische Mehrgrößenoptimierung errechnete zusätzlich die attraktivsten Werte für die dreizehn Zielgrößen. Tab. 24 stellt den Unterschied zwischen den statistisch optimierten Werten für die Variablen und den in der Praxis erreichten Messdaten des Versuchsbrot Nr. 12 dar.

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe zeigen, dass der überlegte Einsatz von Backmitteln die Broteigenschaften verbessern kann.

6. Versuchsergebnisse und Diskussion

Tab. 22: Vergleich der Messwerte des Versuchsbrotes Nr. 12, der Wiederholung und des Kontrollbrotes

Zielgrößen	Versuch 12	Wiederholung Versuch 12	Versuch ohne Enzyme
Volumen/kg Mehl [cm ³ /kg]	2737,5	2599,9	2338,5
Umfang/kg Mehl [cm/kg]	268,7	264,9	255,2
Farbe Kruste L*-Wert	55,4	53,87	58,87
Farbe Krume L*-Wert	64,7	64,83	68,40
Krumenelastizität (KEL)	0,413	0,408	0,380
Maximalkraft (F _{max}) [N]	35,939	39,325	65,030
Kraft bei 25% des Weges (F ₂₅) [N]	28,306	30,203	57,244
Aussehen und Form	3	3	4
Bräunung der Kruste	4	4	3
Krumenporung und Lockerung	3	5	2
allgemeines Mundgefühl	5	5	2
Geschmack und Geruch	4	3	2
Konsistenz der Kruste	3	4	4

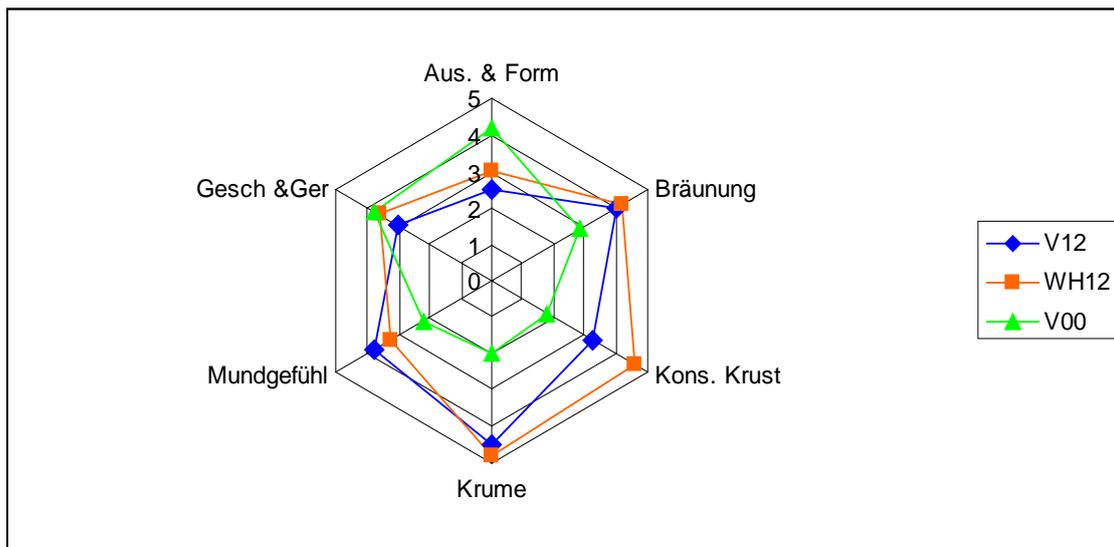


Abb. 48: Diagramm zum Vergleich der sensorischen Beurteilung (V12 ... Versuch Nr. 12 laut Versuchsplan, WH12 ... Wiederholung des Versuch Nr. 12; V00 ... Versuch ohne Enzymzusatz)

6. Versuchsergebnisse und Diskussion

Tab. 23: Abweichung [%] zwischen den Messwerten des Versuchsbrottes Nr. 12, der Wiederholung und des Kontrollbrottes

Zielgrößen	Abweichung [%] V 12 zu WH 12	Abweichung [%] WH 12 zu V 00
Volumen/kg Mehl [cm ³ /kg]	5,0	10,05
Umfang/kg Mehl [cm/kg]	1,4	3,7
Farbe Kruste L*-Wert	2,8	8,5
Farbe Krume L*-Wert	0,2	5,2
Krumenelastizität (KEL)	1,2	6,9
Maximalkraft (F _{max}) [N]	8,6	39,5
Kraft bei 25% des Weges (F ₂₅) [N]	6,3	47,2
Aussehen und Form	0,0	25,0
Bräunung der Kruste	0,0	25,0
Krumenporung und Lockerung	40,0	60,0
allgemeines Mundgefühl	0,0	60,0
Geschmack und Geruch	25,0	33,3
Konsistenz der Kruste	25,0	0,0

Tab. 24: Statistisch optimierte Werte und ihre Abweichung zu den Messdaten des Versuchsbrottes Nr. 12

Zielgrößen	Optimierung Versuch 12	Abweichung [%] V 12 zu Optimierung V 12
Volumen/kg Mehl [cm ³ /kg]	2799,6	2,2
Umfang/kg Mehl [cm/kg]	269,6	0,3
Farbe Kruste L*-Wert	54,5	1,6
Farbe Krume L*-Wert	64,7	0,0
Krumenelastizität (KEL)	0,419	1,4
Maximalkraft (F _{max}) [N]	36,661	2,0
Kraft bei 25% des Weges (F ₂₅) [N]	28,413	0,4
Aussehen und Form	3	0,0
Bräunung der Kruste	4	0,0
Krumenporung und Lockerung	3	0,0
allgemeines Mundgefühl	5	0,0
Geschmack und Geruch	4	0,0
Konsistenz der Kruste	3	0,0

7 Schlussfolgerungen

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, ein Brotprodukt herzustellen, dessen Mehlanteil ausschließlich aus Nacktgerste besteht. Es sollte dabei durch einen hohen Genuss- und Gebrauchswert gekennzeichnet sein.

Bereits die Wahl des Genotyps der Nacktgerste und der Mahlfraction war entscheidend für das Endprodukt. Die Unterschiede bei der Teigbeschaffenheit und Handhabung waren gravierend. Aus dem Mehl der H2-Fraktion entstand oft ein sehr klebriger Teig, der sich als schwer formbar erwies. Die Teige der D2-Mehlfraction hingegen waren oft sehr trocken und brüchig. Deshalb unterschieden sich die Versuchsbrote stark in Form und Aussehen. Bei der sensorischen Beurteilung der Brotkrume fielen einige Nacktgerstegenotypen durch ein sandig knirschendes Mundgefühl und bitteren Geschmack bzw. Nachgeschmack negativ auf.

Bei der Brotherstellung aus 100 % Nacktgerstenmehl ohne Zusatz von Enzymen erhielt man ein sehr kompaktes Brot. Die kleinen Poren der Krumen lagen dicht aneinander. Die Kruste war eher hell und ihre Konsistenz weniger zufriedenstellend.

Die Auswahl der Backhilfsmittel, um den Mangel an Gluten auszugleichen, musste ebenfalls überlegt getroffen werden. Die Angaben in der Literatur beziehen sich meist auf Weizen- oder Weizenmischmehle und konnten daher nur als Basisinformation genutzt werden.

Die Standardbackversuche mit den verschiedenen Enzymen in verschiedenen Konzentrationen und Kombinationen zeigten unterschiedliche Ergebnisse bei den Auswirkungen auf die verschiedenen Qualitätsparameter.

Die Malz-Amylase Novamyl® 10000 BG erfüllte ihre kolportierte Wirkung auf die Brotkrume. Sie sorgte für eine weiche Krume mit hoher Elastizität. Das Mundgefühl beim Kauen und Schlucken wurde als angenehmer bewertet.

7. Schlussfolgerungen

Die sensorischen Parameter wurden stark durch die Xylanase Pentopan® 500 BG beeinflusst.

Das Volumen und der Umfang der Versuchsbrote konnten durch die Wirkung der Cellulase Celluclast® BG erhöht werden.

Die Gluco-Amylase AMG® 1100 BG zeigte ihre Bedeutung vor allem in der positiven Wirkung auf die Bräunung der Kruste.

Die Wechselwirkung zwischen den Enzymen schwächte zwar die signifikante Einzelwirkung ab, konnte aber teilweise die negative Wirkung einzelner Hilfsmittel umkehren. So konnte z.B. der negative Effekt des AMG® 1100 BG auf Umfang und Volumen durch Interaktion mit Celluclast® BG in eine positive, wenn auch nicht signifikante Richtung gelenkt werden.

Die statistische Mehrgrößenoptimierung ergab, dass die Kombination (V 12) von Novamyl® 10000 BG und Celluclast® BG in ihrer höchsten (+1) Konzentration und AMG® 1100 BG und Pentopan® 500 BG in ihrer niedrigsten (-1) Konzentration das attraktivste Brotprodukt erzeugte. Das Volumen und der Umfang waren, im Vergleich zum unsupplementierten Brot, sehr groß. Außerdem bestach das Brot mit der optimierten Enzymkombination durch eine sehr weiche Krume. Dies wurde auch in der sensorischen Beurteilung positiv bewertet.

Bei den Versuchen zur Bestimmung der optimalen Enzymkonzentrationen ergab Fungamyl® 2500 SG in niedrigster (-1) Konzentration ein sehr aromatisches Brot, das sich im Mund angenehm anfühlte. Ein zusätzlicher Backversuch mit der optimierten Enzymkombination aus dem Versuchspaln und dem Enzym Fungamyl® 2500 SG könnte interessante Ergebnisse bezüglich des Brotgeschmacks erbringen.

8 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde der Einsatz verschiedener Backmittel bei der Herstellung von Backwaren aus Nacktgerstenmehl untersucht.

Im Vorversuch wurde der Unterschied der Teig- und Brotqualität zwischen den drei Mehlfraktionen der sieben Nacktgerstegenotypen deutlich. Deshalb wurden die weiteren Backversuche mit der Sorte *BVAL 350010* („HORA“) ausgeführt.

Das Gerstenbrot ohne Enzymzusatz war sehr kompakt und dadurch mühevoll zu kauen. Die Krume erschien sehr fest und war wenig elastisch.

Zur Überprüfung der Wirkung der unterschiedlichen Enzymkonzentrationen wurden verschiedene Qualitätsparameter definiert. Es wurden das Volumen, der Umfang, die Färbung der Kruste und der Krume sowie die texturalen Eigenschaften der Brotkrume gemessen. Die sensorische Beurteilung umfasste sechs Zielgrößen vom äußeren Erscheinungsbild bis zum Geschmack.

Von jedem der neun untersuchten Enzympräparaten der Fa. *Novozymes S/A(DK)* wurden, innerhalb seines vorgegebenen Wirkungsspektrums, drei Konzentrationen im gleichen Abstand von einander festgelegt und einzeln in die Brotrezeptur eingebracht. Jene mit der aussichtsreichsten Wirkung auf unterschiedliche Qualitätsparameter für einen Kombinationsversuch ausgewählt.

Auf der Grundlage des faktoriellen 2^4 -Versuchsplanes wurden die vier Enzyme *Novamyl® 10000 BG*, *AMG® 1100 BG*, *Pentopan® 500 BG* und *Celluclast® BG* gemeinsam in ihren unterschiedlichen Konzentrationsstufen in die Rezeptur eingebracht. Damit konnten die Auswirkungen der verschiedenen Einflussgrößen und deren Wechselwirkungen auf die Zielgrößen bewertet werden.

Die statistische Mehrgrößenoptimierung zeigte jene Enzymkombination an, die das attraktivste Versuchsbrot hervorbrachte. Dieses Brot besaß eine ansprechende Form und eine schönen Bräunung. Das Mundgefühl wurde aufgrund der weichen und elastischen Krume als sehr positiv bewertet.

Allgemein lässt sich ein positiver Einfluss einzelner Enzyme und Enzymkombinationen auf die Broteigenschaften beobachten.

8. Zusammenfassung

9 Summary

This diploma thesis researched the use of different bread improvers for making bread from hull-less barley flour.

The extensive review of literature of this topic was followed by standardized baking trials on the laboratory scale.

The results of the pre-test showed the differences in quality of dough and bread between using the three fractions of flour from the seven hull-less barley genotypes. All following baking trials were achieved with the variety BVAL 350010 („HORA“).

Hull-less barley bread without add on enzyme remained very compact and thus hard to chew. The crumb seemed to be very tight and little flexible.

For testing the impact of the different enzyme concentrations several quality parameters were defined. The volume, circumference, colour of the crust and the crumb plus textural properties of the bread crumb have been measured. The sensory evaluation included six variables from appearance to flavour. Within the spectrum of activity three equispaced concentrations were determined and included in the bread formulation.

The effect of nine enzyme preparations (Novozyme S/A, DK) in different quality parameters was analyzed. The most promising enzymes, Novamyl® 10000 BG, AMG® 1100 BG, Pentopan® 500 BG and Celluclast® BG, were chosen for the next experimental series.

The factorial 2⁴-experimental design combined these four enzymes together in their determined concentrations. The results showed the effects and interactions of several factors.

The statistical Multiple Response Optimization was presenting the most attractive enzyme combination. This supplemented bread had a nice appearance with a beautiful browning. The mouthfeel was judged very positively because of its soft and elastic crumb.

Generally a positive influence of individual enzymes and enzyme combinations on bread characteristics can be noticed.

9. Summary

10 Literaturverzeichnis

- AMAN, P., GRAHAM, H.: Analysis of total and insoluble mixed-linked (1→3),(1→4)-beta-D-glucans in barley and oats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 35 (1987) 704-709.
- American Association of Cereal Chemists (Hrsg.): AACC-Method 10-05. Guidelines for measurement of volume by rapeseed displacement. In: *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*, 10. Auflage, Minnesota, USA. ISBN-0-913250-31-7 (2000a).
- American Association of Cereal Chemists (Hrsg.): AACC-Method 44-40. Moisture-modified-vacuum-oven-method. In: *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*, 10. Auflage, Minnesota, USA. ISBN-0-913250-31-7 (2000b).
- American Association of Cereal Chemists (Hrsg.): AACC-Method 74-09. Measurement of bread firmness by universal testing machine. In: *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*, 10. Auflage, Minnesota, USA. ISBN-0-913250-31-7 (2000c).
- ANDERSSON, A.A.M, COURTIN, C.M., DELCOUR, J.A., FREDERIKSSON, H., SCHOFIELD, J.D., TROGH, I., TSIAMI, A.A., AMAN, P.: Milling performance of North European hull-less barleys and characterization of resultant millstreams. *Cereal Chemistry* 80 (2003) 667-673.
- ANDERSSON, A.A.M, ARMÖ, E., GRANGEON, E., FREDERIKSSON, H., ANDERSSON, R., AMAN, P.: Molecular weight and structure units of (1→3,1→4)-beta-D-glucans in dough and bread made from hull-less barley milling fractions. *Journal of Cereal Science* 40 (2004) 195-204.
- ANONYM : *Handbuch Backmittel und Backgrundstoffe*. Hrsg.: Backmittelinstitut e.V., Behr Verlag, Hamburg. ISBN-3-86022-430-1 (1999).
- ANONYM : *Statgraphics® Centurion XV User Manual*. Firmenschrift der StatPoint Inc., (2005).
- Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung: ICC-Standard Nr. 110 – Feuchtigkeitsbestimmung. In: *Standardmethoden für Getreide, Mehl und Brot*, 6. erweiterte Auflage, Moritz Schäfer Verlag, Detmold, ISBN-3-87696-006-1 (1978) 39-42.
- ARMERO, E.; COLLAR, C.: Crumb firming kinetics of wheat breads with anti-staling additives. *Journal of Cereal Science* 28 (1998) 165-174.
- AZIZI, M.H., RAO, G.V.: Effect of storage of surfactant gels on the breadmaking quality of wheat flour. *Food Chemistry* 89 (2005) 133-138.
- BAIDOO, S.K., LIU, Y.-G.: Hull-less barley for swine: ileal and faecal digestibility of proximate nutrients, amino acids and non-starch polysaccharides. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 76 (1998) 397-403.
- BARCENAS, M.E., BENEDITO, C., ROSELL, C.M.: Use of hydrocolloids as bread improvers in interrupted baking process with frozen storage. *Food Hydrocolloids* 18 (2004) 769-774.
- BARCENAS, M.E., ROSELL, C.M.: Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread. *Food Hydrocolloids* 19 (2005) 1037-1043.
- BARCENAS, M.E., ROSELL, C.M.: Different approaches for improving the quality and extending the shelf life of the partially baked bread: low temperatures and HPMC addition. *Journal of Food Engineering* 72 (2006) 92-99.
- BASINSKIENE, L., GARMUVIENE, S., JUODEIKIENE, G., HALTRICH, D.: Comparison of different fungal xylanases for wheat bread making. *Getreidetechnologie* 61 (2007) 228-235.

10. Literaturverzeichnis

- BEER, M.U., WOOD, P.J., WEISZ, J., FILLION, N.: Beta-Glucan im Getreide: physikochemische und physiologische Eigenschaften. *Getreide-Mehl-Brot* 52 (1998) 336-340.
- BEHALL, K.M., SCHOFIELD, D.J., HALLFRISCH, J.: Diets containing barley significantly reduce lipids in mildly hypercholesterolemic men and women. *American Journal of Clinical Nutrition* 80 (2004) 1185-1193.
- BHATTY, R.S.: Physiochemical and functional (breadmaking) properties of hull-less barley fractions. *Cereal Chemistry* 63 (1986a) 31-35.
- BHATTY, R.S.: The potential of hull-less barley – a review. *Cereal Chemistry* 63 (1986b) 97-103.
- BHATTY, R.S.: Beta-glucan content and viscosities of barleys and their roller-milled flour and bran products. *Cereal Chemistry* 69 (1992) 469-471.
- BHATTY, R.S.: The potential of hull-less barley. *Cereal Chemistry* 76 (1999) 589-599.
- CABALLERO, P.A., GOMEZ, M., ROSELL, C.M.: Improvement of dough rheology, bread quality and bread shelf-life by enzymes combination. *Journal of Food Engineering* 81 (2007) 42-53.
- CAVALLERO, A., EMPILLI, S., BRIGHENTI, F., STANCA, A.M.: High (1→3,1→4)-beta-glucan barley fractions in bread making and their effect on human glycaemic response. *Journal of Cereal Science* 36 (2002) 59-66.
- CHAMPENOIS, Y., DELLA VALLE, G., PLANCHOT, V., BULEON, A., COLONNA, P.: Influence of the alpha-amylases on bread staling and on retrogradation of wheat starch models. *Sciences des Aliments* 19 (1999) 471-486.
- COLLAR, C., MARTINEZ, J.C., ANDREU, P., ARMERO, E.: Effects of enzyme associations on bread dough performance. A responded surface analysis. *Food Science and Technology International* 6 (2000) 217-226.
- COLLAR, C., MARTINEZ, J.C., ROSELL, C.M.: Lipid binding of fresh and stored formulated wheat breads. Relationships with dough and bread technological performance. *Food Science and Technology International* 7 (2001) 501-510.
- COURTIN, C.M., GELDERS, G.G., DELCOUR, J.A.: Use of two endoxylanases with different substrate selectivity or understanding arabinoxylan functionality in wheat flour breadmaking. *Cereal Chemistry* 78 (2001) 564-571.
- COURTIN, C.M., DELCOUR, J.A.: Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour bread-making. *Journal of Cereal Science* 35 (2002) 225-243.
- D-A-CH-Referenzwerte: Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährungsforschung, Schweizer Vereinigung für Ernährung, 1. Auflage, 3. Nachdruck, Neuer Umschau Buchverlag, Neustadt a. d. Weinstraße. ISBN- 978-3-86528-128-9 (2008).
- DAGDELEN, A.F., GOCMEN, D.: Effects of glucose oxidase, hemicellulase and ascorbic acid on dough and bread quality. *Journal of Food Quality* 30 (2007) 1009-1022.
- DEBYSER, W., PEUMANS, W.J., VAN DAMME, E.J.M., DELCOUR, J.A.: Triticum aestivum xylanase inhibitor (TAXI), a new class of enzyme inhibitor affecting breadmaking performance. *Journal of Cereal Science* 30 (1999), 39-43.
- DELANEY, B., NICOLOSI, R.J., WILSON, T.A., CARLSON, T., FRAZER, S., ZHENG, G.H., HESS, R., OSTERGREN, K., HAWORTH, J., KNUTSON, N.: Beta-glucan fractions from barley and oats are similarly antiatherogenic in hypercholesterolemic Syrian golden hamsters. *The Journal of Nutrition* 133 (2003) 468-475.

10. Literaturverzeichnis

- DEMIRKESEN, I., MERT, B., SUMNU, G., SAHIN, S.: Rheological properties of gluten-free bread formulation. *Journal of Food Engineering* 96 (2010) 295-303.
- DE WIT, J.N., KLARENBECK, G.: Effects of various heat treatments on structure and solubility of whey proteins. *Journal Dairy Science* 67 (1984) 2701-2710.
- DORNEZ, E., GEBRUERS, K., CUYVERS, S., DELCOUR, J.A., COURTIN, C.M.: Impact of wheat flour-associated endoxylanases on arabinoxylan in dough after mixing and resting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55 (2007) 7149-7155.
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA): Scientific opinion on the substantiation of health claims related to beta-glucans and maintenance of normal blood cholesterol concentrations (ID 754, 755, 757, 801, 1465, 2934) and contribution to the maintenance and/or achievement of a normal body weight (ID 820, 823) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006 on request from the European Commission. *EFSA Journal* 2009; 7(9):1254. [18 pp.]. doi:10.2903/j.efsa.2009.1254. Available online: www.efsa.europa.eu.
- EHRENBERGEROVA, J., BREZINOVA BELCREDI, N., PSOTA, V., HRSTKOVA, P., CERKAL, R., NEWMAN, C.W.: Changes caused by genotype and environmental conditions in beta-glucan content of spring barley for dietetically beneficial human nutrition. *Plant Food for Human Nutrition* 63 (2008) 111-117.
- ELMADFA, I., FREISLING, H., NOWAK, V., HOFSTÄDTER, D., HASENEGGER, V., FERGE, M., FRÖHLER, M., FRITZ, K., MEYER, A.L., PUTZ, P., RUST, P., GROSSGUT, R., MISCHKE, D., KIEFER, I., SCHÄTZER, M., SPANBLÖCHEL, J., STURTZEL, B., WAGNER, K.-H., ZILBERSZAC A., VOJIR, F., PLSEK, K.: Österreichischer Ernährungsbericht 2008. Hrsg.: Institut für Ernährungswissenschaften der Universität, Robidruck, Wien, 2. Auflage, Wien. ISBN-978-3-901861-99-4 (2009) 186-190 262-264.
- ELMADFA, I., LEITZMANN, C.: Ernährung des Menschen. 4. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. ISBN- 3-8001-2830-6 (2004).
- ERDOGDU-ARNOCZKY, N., CUZHAJOWSKA, Z., POMERANZ, Y.: Functionality of whey and casein in fermentation and in breadbaking by fixed and optimized procedures. *Cereal Chemistry* 73 (1996) 309-316.
- FDA (2006a): FDA Finalizes health claim associating consumption of barley products with reduction of risk of coronary heart disease (2006). Online unter: <http://www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/PressAnnouncements/2006/ucm108657.htm>, 9.10.2009.
- FDA (2006b): Federal Register – 71 FR 29248 May 22, 2006: Health claims; soluble dietary fiber from certain foods and coronary heart disease; Final Rule (2006). Online unter: <http://www.fda.gov/Food/LabelingNutrition/LabelClaims/HealthClaimsMeetingSignificantScientificAgreementSSA/ucm074291.htm>, 9.10.2009.
- FLANDER, L., ROUAU, X., MOREL, M.H., AUTIO, K., SEPPANEN-LAAKSO, T., KRUIUS, K., BUCHERT, J.: Effects of laccase and xylanase on the chemical and rheological properties of oat and wheat doughs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56 (2008) 5732-5742.
- GAMBARO, A., GIMENEZ, A., ARES, G., GILARDI, V.: Influence of enzymes on the texture of brown pan bread. *Journal of Texture Studies* 37 (2006) 300-314.
- GILL, S., VASANTHAN, T., OORAIKUL, B., ROSSNAGAL, B.: Wheat bread quality is influenced by the substitution of waxy and regular barley flours in their native and extruded forms. *Journal of Cereal Science* 36 (2002a) 219-237.

10. Literaturverzeichnis

- GILL, S., VASANTHAN, T., OORAİKUL, B., ROSSNAGAL, B.: Wheat bread quality is influenced by the substitution of waxy and regular barley flours in their native and cooked forms. *Journal of Cereal Science* 36 (2002b) 239-251.
- GOESAERT, H., GEBRUERS, K., BRIJS, K., COURTIN, C.M., DELCOUR, J.A.: XIP-type endoxylanase inhibitors in different cereals. *Journal of Cereal Science* 38 (2003a) 317-324.
- GOESAERT, H., GEBRUERS, K., BRIJS, K., COURTIN, C.M., DELCOUR, J.A.: TAXI Type endoxylanase inhibitors in different cereals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 (2003b) 3770-3775.
- GUARDA, A., ROSELL, C.M., BENEDITO, C., GALOTTO, M.J.: Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids* 18 (2004) 241-247.
- GUY, R.C.E., SAHI, S.S.: Comparison of effects of xylanases with fungal amylases in five flour types. In: *Recent advances in enzymes in grain processing. Laboratory of food and chemistry.* Hrsg.: COURTIN, C.M., VERAVERBEKE, W.S., DELCOUR J.A., Laboratory of Food and Chemistry, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven. ISBN-90-9016671-8 (2003) 235-239.
- HALLFRISCH, J., SCHOLFIELD, D.J., BEHALL, K.M.: Physiological responses of men and women to barley and oat extracts (Nu-trimX). II. Comparison of glucose and insulin responses. *Cereal Chemistry* 80 (2003a) 80-83.
- HALLFRISCH, J., SCHOLFIELD, D.J., BEHALL, K.M.: Blood pressure reduced by whole grain diet containing barley or whole wheat and brown rice in moderately hypercholesterolemic men. *Nutrition Research* 23 (2003b) 1631-1642.
- Internationale Gesellschaft für Getreidewissenschaft und -technologie (Hrsg.): ICC-Standard Nr. 110. Praktische Methode zur Wassergehaltsbestimmung bei Getreide und Getreideprodukten. In: *ICC-Standardmethoden*, (1996a).
- Internationale Gesellschaft für Getreidewissenschaft und -technologie (Hrsg.): ICC-Standard Nr. 131. Methode eines Backversuches mit Weizenmehl. In: *ICC-Standardmethoden*, (1996b).
- IZYDORCZYK, M.S., HUSSAIN, A., MACGREGOR, A.W.: Effect of barley and barley components on rheological properties of wheat dough. *Journal of Cereal Science* 34 (2001) 251-260.
- IZYDORCZYK, M.S., SYMONS, S.J., DEXTER, J.E.: Fractionation of wheat and barley. In: *Whole-grain foods in health and disease.* Hrsg.: MARQUART, L., SLAVIN, J.L., FULCHER, R.G, Verlag AACC - American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota. ISBN- 1-891127-29-2 (2002) 47-82.
- IZYDORCZYK, M.S., DEXTER, J.E., DESJARDING, R.G., ROSSNAGEL, B.G., LAGASSÉ, S.L., HATCHER, D.W.: Roller milling of Canadian hull-less barley: optimization of roller milling conditions and composition of mill streams. *Cereal Chemistry* 80 (2003) 637-644.
- JACOBS, D.R. JR, MARQUART, L., SLAVIN, J., KUSHI, L.H.: Whole-grain intake and cancer: an expanded review and meta-analysis. *Nutrition and Cancer* 30 (1998) 85-96.
- JACOBS, M.S., IZYDORCZYK, M.S., PRESTON, K.R., DEXTER, J.E.: Evaluation of baking procedures for incorporation of barley roller milling fractions containing high levels of dietary fibre into bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88 (2008) 558-568.
- JIANG, Z., LI, X., YANG, S., LI, L., TAN, S.: Improvement of the breadmaking quality of wheat flour by the hyperthermophilic xylanase B from *Thermotoga maritima*. *Food Research International* 38 (2005) 37-43.

10. Literaturverzeichnis

- JINHAN, S., YOUNG, Y., MALSCHIK, S., KOO, B.C., JONG-BANG, E.: Effects of milk proteins and gums on quality of bread made of frozen dough. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89 (2009) 1407-1415.
- KADHARMESTAN, C., BAIK, B.K., CZUCHAJOWSKA, Z.: Whey protein concentrate treated with heat or high hydrostatic pressure in wheat based products. *Cereal Chemistry* 75 (1998) 762-766.
- KENNY, S., WEHRLE, K., STANTON, C., ARENDT, E.K.: Incorporation of dairy ingredients into wheat bread: effects on dough rheology and bread quality. *European Food Research Technology* 210 (2000) 391-396.
- KÖHLER, P.: Ascorbinsäure als Regulator der Redoxreaktion bei Teigbereitung. *Getreide-Mehl-Brot* 55 (2001) 211-216.
- KÖRBER-GROHNE, U.: Nutzpflanzen in Deutschland – von der Vorgeschichte bis heute. Nikol Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, Hamburg. ISBN-3-933203-40-6 (2001) 47-55.
- LANGER, R.H.M., HILL, G.D.: *Agricultural Plants*. 2. Edition, Cambridge University Press, Cambridge. ISBN-0-521-40545-9 (1991), 62-70.
- LINDHAUER, M.G.: Ernährungsphysiologische Bedeutung von Getreide. *Getreide, Mehl, Brot* 59 (2005) 4-9.
- LI, J., KANEKO, T., QIN, L.Q., WANG, J., WANG, Y., SATO, A.: Long-term effects of high dietary fiber intake on glucose tolerance and lipid metabolism in GK rats: comparison among barley, rice and cornstarch. *Metabolism: Clinical and Experimental* 52 (2003) 1206-1210.
- LOCKWOOD, J.F.: *Die Mehlmüllerei*. Dt. Auflage, Komm.-Verlag Die Mühle, Detmold. (1951).
- LORENZEN, P.C., REIMERDES, E.H.: Molkenproteine. In: *Milchproteine*. Hrsg.: Fachgruppe Lebensmittelchemie und gerichtliche Chemie in der Gesellschaft deutscher Chemiker, Behr Verlag, Hamburg. ISBN-3-86022-015-2 (1991) 63-81.
- LU, Z.X., WALKER, K.Z., MUIR, J.G., MASCARA, T., O'DEA, K.: Arabinoxylan fiber, a byproduct of wheat flour processing, reduces the postprandial glucose response in normoglycemic subjects. *American Journal of Clinical Nutrition* 71 (2000) 1123-1128.
- LÜCK, E., KUHNERT, P. (Hrsg): *Lexikon Lebensmittelzusatzstoffe*. 2. Auflage, Behr Verlag, Hamburg. ISBN-3-86022-462-X (1998).
- MATISSEK, R., STEINER, G.: *Lebensmittelanalytik – Grundzüge, Methoden, Anwendungen*. 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin. ISBN-3-540-62513-5 (2006) 10-12.
- MCINTOSH, G.H., WHYTE, J., MCARTHUR, R., NESTEL, P.J.: Barley and wheat foods: Influence on plasma cholesterol concentrations in hypercholesterolemic men. *American Journal of Clinical Nutrition* 53 (1991) 1205-1209.
- MCINTOSH, G.H., NEWMAN, R.K., NEWMAN, C.W.: Barley foods and their influence on cholesterol metabolism. *World review of nutrition and dietetics*. Vol. 77, Karger Verlag, Basel. ISSN- 0084-2230 (1995) 89-108.
- MEHRENS, H.-A., REIMERDES, E.H.: Einsatz von Milchproteinen in Lebensmitteln. In: *Milchproteine*. Hrsg.: Fachgruppe Lebensmittelchemie und gerichtliche Chemie in der Gesellschaft deutscher Chemiker, Behr Verlag, Hamburg. ISBN-3-86022-015-2 (1991) 51-61.
- METTLER, E., SEIBEL, W., BRUEMMER, J.M., PFEILSTICKER, K.: Experimentelle Studien der Emulgator- und Hydrokolloidwirkung zur Optimierung der funktionellen Eigenschaften von Weizenbroten. V. Einfluss der Emulgatoren und

10. Literaturverzeichnis

- Hydrokolloide auf die funktionellen Eigenschaften von Weizenbrot. Getreide-Mehl-Brot 46 (1992) 43-47.
- MEUSER, F., SUCKOW, P.: Non starch polysaccharides. In: Chemistry and physics of baking. Hrsg.: BLANSHARD, J.M.V., FRAZIER, P.J., GALLIARD, T., The Royal Society of Chemistry, Cambridge. ISBN-0-85186-995-5 (1986) 43-61.
- MEYER, B.: Backmittel - Komponenten und Wirkung. Getreidetechnologie 60 (2006) 35-39.
- MEYER, F.: Health Claims Verordnung - Fragen und Antworten. 1. Auflage, Behr Verlag, Hamburg. ISBN-978-3-89947-348-3 (2007)
- MILLER, B.S., JOHNSON, J.A., PALMER, D.L.: A comparison of cereal, fungal and bacterial alpha amylases as supplements for breadmaking. Food Technology 7 (1953) 38.
- MOLLENHAUER, H.P. (Red.): Emulgatoren – Ihre Wirkung in Lebensmitteln. Hrsg.: Lebensmittelchemische Gesellschaft – Fachgruppe in der Gesellschaft deutscher Chemiker, Behr Verlag, Hamburg. ISBN-3-922528-52-X (1983).
- MOONEN, H.: Die Bedeutung von Enzymen für die Herstellung von Backwaren. Getreide-Mehl-Brot 52 (1998) 270-277.
- NITSCHKO, S.: Herstellung von Backwaren aus einer Nacktgersten-Varietät unter Berücksichtigung der funktionellen Inhaltsstoffe. Diplomarbeit an der Universität Wien, Wien (2009).
- NUNES, M.H.B., MOORE, M.M., RYAN, L.A.M., ARENDT, E.K.: Impact of emulsifiers on the quality and rheological properties of gluten-free breads and batters. European Food Research and Technology 228 (2009) 633-642.
- OSCARSSON, M., ANDERSSON, R., SALOMONSSON, A.-C., AMAN, P.: Chemical composition of barley samples focusing on dietary fibre components. Journal of the Cereal Science 24 (1996) 161-170.
- ÖSTMAN, E., ROSSI, E., LARSSON, H., BRIGHTENTI, F., BJORCK, I.: Glucose and insulin responses in healthy men to barley bread with different levels of (1→3,1→4)-beta-glucans; predictions using fluidity measurements of in vitro enzyme digests. Journal of Cereal Science 43 (2006) 230-235.
- PELSHENKE, P.: Untersuchungsmethoden für Brotgetreide, Mehl und Brot. Verlag Moritz Schäfer, Leipzig. (1938).
- PETERSEN, H.: Grundlagen der Statistischen Versuchsplanung. Band 2, Ecomed Verlagsgesellschaft mbH, Landsberg. ISBN-3-609-65340-X (1991).
- PLASCH, G.: Die Bedeutung von Getreide in der menschlichen Ernährung. Getreidetechnologie 60 (2006) 211-217.
- PRIMO-MARTIN, C., BEUKELAER, H. DE; HAMER, R.J., VAN VLIET, T.: Fracture behaviour of bread crust: effect of ingredient modification. Journal of Cereal Science 48 (2008) 604-612.
- REINIKAINEN, T., LANTTO, R., NIKU-PAAVOLA, M.-L., BUCHERT, J.: Enzymes for cross-linking of cereal polymers. In: Recent advances in enzymes in grain processing. laboratory of food and chemistry. Hrsg.: COURTIN, C.M., VERA-VERBEKE, W.S., DELCOUR J.A., Laboratory of Food and Chemistry, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven. ISBN-90-9016671-8 (2003) 91-95.
- ROSELL, C.M., ROJAS, J.A., BENEDITO, C.: Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. Food Hydrocolloids 15 (2001a) 75-81.
- ROSELL, C.M., HAROS, M., ESCRIVA, C., BENEDITO DE BARBER, C.: Experimental approach to optimize the use of alpha-amylases in breadmaking. Journal of Agricultural and Food Chemistry 49 (2001b) 2973-2977.

10. Literaturverzeichnis

- ROUAU, X., EL-HAYEK, M.-L., MOREAU, D.: Effect of an enzyme preparation containing pentosanases on the bread-making quality of flours in relation to changes in pentosan properties. *Journal of Cereal Science* 19 (1994) 259-272.
- SARKAR, N., WALKER, L.C.: Hydration – dehydration properties of methylcellulose and hydroxymethylcellulose. *Carbohydrate Polymers* 27 (1995) 177-185.
- SCHARF, U.: Enzyme in der Lebensmitteltechnologie. In: *Zusatzstoffe – Ihre Wirkung und Anwendung in Lebensmitteln*. Red.: LÜCK, E., Hrsg.: Fachgruppe Lebensmittelchemie und gerichtliche Chemie in der Gesellschaft deutscher Chemiker, Behr Verlag, Hamburg. ISBN-3-925673-04-0 (1986), 140-160.
- SCHUSTER, G.: Emulgatoren als Zusatzstoffe in Lebensmitteln. In: *Zusatzstoffe – Ihre Wirkung und Anwendung in Lebensmitteln*. Red.: LÜCK, E., Hrsg.: Fachgruppe Lebensmittelchemie und gerichtliche Chemie in der Gesellschaft deutscher Chemiker, Behr Verlag, Hamburg. ISBN-3-925673-04-0 (1986), 53-76.
- SENER, F. (Bearb.), SOUCL, S.W. (Begr.): *Der kleine Souci-Fachmann-Kraut. Lebensmitteltabelle für die Praxis*. Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (Hrsg.), 3. Auflage, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart. ISBN-3-8047-2037-4 (2004).
- SHIMIZU, C., KIHARA, M., AOE, S., ITO, K., HAYASHI, K., WATARI, J., SAKATA, Y., IKEGAMI, S.: Effect of high beta-glucan barley on serum cholesterol concentrations and visceral fat area in Japanese men – a randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. *Plant Food for Human Nutrition* 63 (2008) 21-25.
- SI, J.Q.: Use of laccase in baking. International Patent Application PCT/DK94/00232 (1994).
- SI, J.Q., DROST-LUSTENBERGER, C.: Enzymes for bread, pasta and noodle products. In: *Enzymes in food technology*. Hrsg.: WHITEHURST, R.J., LAW, B.A., Sheffield Academic Press Ltd., Sheffield. ISBN-1-84127-223-X (2002) 19-56.
- SKRBIC, B., MILOVAC, S., DODIG, D., FILIPCEV, B.: Effect of hull-less barley flour and flakes on bread nutritional composition and sensory properties. *Food Chemistry* 115 (2009) 982-988.
- SLAFER, G.A., MOLINA-CANO, J.L., SAVIN, R., AROMS, J.L., ROMAGOSCH, I.: *Barley science – Recent advantages from molecular biology to agronomy of yield and quality*. Food Products Press, New York. ISBN-1-56022-910-1 (2002).
- SOARES, R.M.D., DEFRANCISCO, A., RAYAS-DUARTE, P., SOLDI, V.: Brazilian hull-less and malting barley genotypes: I. Chemical composition and partial characterization. *Journal of Food Quality* 30 (2007) 357-371.
- SORENSEN, J.F.: Novel tailor-made xylanases: their characterisation, performance in cereal processing and use as tool understand xylanase functionality in baking. In: *Recent advances in enzymes in grain processing*. laboratory of food and chemistry. Hrsg.: COURTIN, C.M., VERAVERBEKE, W.S., DELCOUR J.A., Laboratory of Food and Chemistry, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven. ISBN-90-9016671-8 (2003) 241-245.
- THOME, O.W.: *Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz*. Köhler Verlag, Gera, Deutschland, (1885). Online unter: http://www.biologie.uni-hamburg.de/online/thome/band1/tafel_050.html, 25.05.2010.
- THONDRE, P.S., HENRY, C.J.K.: High-molecular-weight barley beta-glucan in chapatis (unleavened Indian flatbread): *Nutrition Research* 29 (2009) 480-468.
- TROGH, I., SORENSEN, J.K., COURTIN, C.M., DELCOUR, J.A.: Impact of inhibition sensitivity on endoxylanase functionality in wheat flour breadmaking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52 (2004a) 4296-4302.
- TROGH, I., COURTIN, C.M., ANDERSSON, A.A.M., AMAN, P., SORENSEN, J.F., DELCOUR, J.A.: The combined use of hull-less barley flour and xylanase as a

10. Literaturverzeichnis

- strategy for wheat/hull-less barley flour breads with increased arabinoxylan and (1→3,1→4)-beta-D-glucan levels. *Journal of Cereal Science* 40 (2004b) 257-267.
- WANG, L., MILLER, R.A., HOSENEY, R.C.: Effects of (1→3,1→4)-beta-D-glucans of wheat flour on breadmaking. *Cereal Chemistry* 75 (1998) 629-633.
- WANG, M., HAMER, R.J., VAN VLIET, T., GRUPPEN, H., MARSEILLE, H., WEEGELS, P.L.: Effect of water unextractable solids on gluten formation and properties: Mechanistic considerations. *Journal of Cereal Science* 37 (2003) 55-64.
- WASSERMANN, L.: Was sind Backmittel. Hrsg.: Wissensforum Backwaren e.V., Bonn Wien, 5. Auflage (2009). Online unter: www.wissensforum-backwaren.de/files/wfb_broschuere01_d.pdf, 15.10.2009.
- ZADOW, J.G., HARDHAM, J.F.: Studies of the use of whey protein concentrates in bread. *Australian Journal Dairy Technology* 36 (1981) 60-63.
- ZADOW, J.G., HARDHAM, J.F., MARSHAL, S.C.: Sulphydryl residues in whey protein concentrates and their effect on bread baking characteristics in a model system. *Australian Journal Dairy Technology* 38 (1983) 27-28.
- Chemische Struktur von Arabinoxylan. Online unter: <http://www.scientificpsychic.com/fitness/arabinoxylan.gif>, 11.12.2009.
- Chemische Struktur von beta-Glucan. Online unter: <http://www.scientificpsychic.com/fitness/glucan.gif>, 11.12.2009

11 Anhang

11.1 Daten und Bilder der Versuchsbrote des Versuches zur optimalen Enzymkonzentration

Tab. 25: Enzymkonzentration und Enzymmenge

Enzym	Konzentration [ppm]	Menge [mg]
Fungamyl® 2500 SG	2,0	1,83
	6,0	5,49
	10,0	9,14
AMG® 1100 BG	170,0	155,43
	290,0	265,15
	410,0	374,86
Pentopan® Mono BG	30,0	27,43
	52,5	48,00
	75,0	68,57
Pentopan® 500 BG	40,0	36,57
	65,0	59,43
	90,0	82,29
Celluclast® BG	50,0	45,72
	150,0	137,15
	250,0	228,58
Gluzyme® 10000 BG	5,0	4,57
	22,5	20,57
	40,0	36,57
Laccase® NS 27011	50,0	45,72
	100,0	91,43
	150,0	137,15
Lipopan® F	5,0	4,57
	20,0	18,29
	35,0	32,00
Novamyl® 10000 BG	25,0	22,86
	75,0	68,57
	125,0	114,29

Tab. 26: Daten der Beurteilung der Versuchbrote aus dem Versuch zur optimalen Enzymkonzentration (HORA = ohne Zusatz; FU = Fungamyl 2500 SG; AM = AMG 1100 BG; PM = Pentopan Mono BG; P5 = Pentopan 500 BG; CE = Celluclast BG; GL = Gluzyme 10000 BG; LA = Laccase NS 27011 ; LI = Lipase F; NO = Novamyl 10000 BG; -1 = niedrigste Konzentration; 0 = mittlere Konzentration; +1 = höchste Konzentration; KEL ... Relative Krumenfestigkeit; F_{max} ... Maximalkraft [N], F₂₅ ... [N], F_{res} ... Residualkraft [N])

Enzym	Konzentration	Probe	Volumen/ kg Mehl	Umfang/ kg Mehl	Kruste Farbe L*	Krume Farbe L*	KEL	F _{max}	F ₂₅	F _{res}	Aussehen & Form	Bräunung der Kruste	Konsistenz der Kruste	Krumen- porung	Mund- gefühl	Geschmack & Geruch
HORA		1	2249,4	248,3	60,3	67,7	0,354	74,798	66,470	26,493	3	3	3	3	3	3
HORA		2	2331,2	253,2	58,1	68,2	0,363	73,139	65,366	26,518	3	3	3	3	3	3
HORA		3	2331,2	252,3	60,2	67,4	0,356	78,828	71,099	28,093	3	3	3	3	3	3
FU -1	-1	1	2126,7	255,6	59,5	68,5	0,363	72,892	63,104	26,432	2	3	3	3	5	5
FU -1	-1	2	2044,9	256,4	60,4	67,6	0,362	72,086	59,576	26,082	2	3	3	3	5	5
FU -1	-1	3	2249,4	253,2	59,8	68,1	0,364	69,762	61,366	25,409	2	3	3	3	5	5
FU 0	0	1	1963,1	249,9	63,6	67,5	0,361	67,764	59,814	24,449	2	3	3	2	2	1
FU 0	0	2	2249,4	256,8	59,3	68,9	0,363	69,424	59,145	25,204	2	3	3	2	2	1
FU 0	0	3	2249,4	253,6	64,0	70,5	0,359	74,585	65,231	26,779	2	3	3	2	2	1
FU +1	+1	1	1963,1	251,1	58,6	69,2	0,353	75,594	66,340	26,673	2	3	3	2	2	1
FU +1	+1	2	2044,9	253,2	59,2	69,6	0,344	71,270	65,633	24,551	2	3	3	2	2	1
FU +1	+1	3	1963,1	251,1	60,4	68,9	0,364	72,642	66,889	26,477	2	3	3	2	2	1
AM -1	-1	1	2658,4	252,8	59,3	69,2	0,379	63,586	56,468	24,077	3	4	3	2	1	2
AM -1	-1	2	2576,6	254,0	62,1	68,7	0,363	62,064	59,921	22,553	3	4	3	2	1	2
AM -1	-1	3	2167,6	258,9	60,9	68,4	0,369	62,253	59,650	22,997	3	4	3	2	1	2
AM 0	0	1	2085,3	254,7	57,1	69,5	0,365	55,648	54,328	20,333	3	4	3	2	2	3
AM 0	0	2	2330,6	253,1	59,7	70,5	0,369	55,273	53,231	20,394	3	4	3	2	2	3
AM 0	0	3	2371,5	255,6	60,7	69,2	0,359	59,328	56,574	21,307	3	4	3	2	2	3
AM +1	+1	1	2453,9	252,3	57,5	68,4	0,365	57,133	55,213	20,850	4	4	2	3	3	4
AM +1	+1	2	2413,0	251,9	54,8	66,6	0,370	57,673	52,649	21,320	4	4	2	3	3	4
AM +1	+1	3	2331,2	253,6	59,0	68,6	0,358	56,430	55,338	20,211	4	4	2	3	3	4
PM -1	-1	1	2862,9	249,1	58,7	68,9	0,362	71,148	69,041	25,768	4	3	3	3	1	1
PM -1	-1	2	2535,7	247,4	60,8	70,4	0,358	68,842	66,686	24,678	4	3	3	3	1	1
PM -1	-1	3	2331,2	250,7	62,1	69,9	0,355	68,665	67,343	24,394	4	3	3	3	1	1
PM 0	0	1	2576,6	255,6	60,3	68,9	0,352	54,667	53,116	19,256	4	3	3	3	1	1
PM 0	0	2	2453,9	254,4	61,2	69,1	0,348	56,392	55,466	19,634	4	3	3	3	1	1
PM 0	0	3	2290,3	258,9	65,3	68,3	0,340	52,637	51,154	17,912	4	3	3	3	1	1

Enzym	Konzentration	Probe	Volumen/ kg Mehl	Umfang/ kg Mehl	Kruste Farbe L*	Krume Farbe L*	KEL	F _{max}	F ₂₅	F _{res}	Aussehen & Form	Bräunung der Kruste	Konsistenz der Kruste	Krumen porung	Mund gefühl	Geschmack & Geruch
PM +1	+1	1	2699,3	258,1	58,6	67,6	0,363	52,385	50,312	19,047	4	3	3	3	2	2
PM +1	+1	2	2372,1	258,5	60,8	68,9	0,360	52,847	51,091	19,043	4	3	3	3	2	2
PM +1	+1	3	2535,7	256,4	60,3	68,7	0,364	53,140	51,738	19,337	4	3	3	3	2	2
P5 -1	-1	1	2372,1	254,0	59,2	69,2	0,358	66,921	60,467	23,953	4	4	3	3	1	2
P5 -1	-1	2	2535,7	256,4	58,4	69,1	0,345	65,999	62,572	22,756	4	4	3	3	1	2
P5 -1	-1	3	2331,2	255,6	57,3	69,6	0,352	66,870	63,271	23,523	4	4	3	3	1	2
P5 0	0	1	2413,0	252,8	58,7	68,9	0,352	66,912	60,784	23,551	4	4	3	3	1	3
P5 0	0	2	2535,7	254,0	59,2	68,4	0,369	63,480	51,491	23,405	4	4	3	3	1	3
P5 0	0	3	2453,9	254,4	59,3	70,0	0,362	64,765	60,997	23,459	4	4	3	3	1	3
P5 +1	+1	1	2331,2	258,1	59,1	69,0	0,364	57,563	52,390	20,934	4	4	3	3	2	3
P5 +1	+1	2	2208,5	259,3	61,6	70,7	0,356	53,866	50,237	19,174	4	4	3	3	2	3
P5 +1	+1	3	2331,2	258,1	60,1	69,8	0,362	57,720	52,651	20,912	4	4	3	3	2	3
CE -1	-1	1	2331,2	256,8	61,5	67,1	0,370	64,492	57,554	23,832	4	4	2	3	2	2
CE -1	-1	2	2494,8	256,8	58,8	68,5	0,359	58,219	54,394	20,876	4	4	2	3	2	2
CE -1	-1	3	2453,9	257,7	63,0	68,2	0,359	58,882	54,372	21,116	4	4	2	3	2	2
CE 0	0	1	2617,5	263,0	58,6	67,7	0,361	54,483	49,642	19,657	3	4	3	3	3	3
CE 0	0	2	2494,8	261,3	59,3	67,4	0,358	58,241	52,786	20,838	3	4	3	3	3	3
CE 0	0	3	2413,0	262,6	61,1	68,4	0,357	52,470	47,789	18,754	3	4	3	3	3	3
CE +1	+1	1	2658,4	260,1	60,3	69,1	0,363	50,228	45,288	18,253	4	3	3	3	1	2
CE +1	+1	2	2576,6	262,6	60,5	66,9	0,363	48,415	44,106	17,592	4	3	3	3	1	2
CE +1	+1	3	2617,5	260,5	60,3	68,0	0,362	49,666	43,783	17,989	4	3	3	3	1	2
GL -1	-1	1	2453,9	252,3	58,8	68,8	0,364	69,696	61,876	25,404	3	2	2	3	3	2
GL -1	-1	2	2249,4	251,5	60,0	70,0	0,371	71,447	63,043	26,504	3	2	2	3	3	2
GL -1	-1	3	2249,4	252,3	62,0	69,3	0,363	75,268	64,888	27,347	3	2	2	3	3	2
GL 0	0	1	2208,5	251,1	62,6	71,0	0,365	67,761	61,891	24,762	3	2	2	3	1	1
GL 0	0	2	2413,0	258,5	63,9	68,5	0,366	74,257	65,861	27,193	3	2	2	3	1	1
GL 0	0	3	2372,1	251,1	63,5	69,2	0,381	69,039	60,444	26,295	3	2	2	3	1	1
GL +1	+1	1	2208,5	253,2	62,0	69,0	0,371	63,294	61,538	23,476	3	4	2	3	2	1
GL +1	+1	2	2372,1	253,6	62,6	68,2	0,340	67,133	59,387	22,834	3	4	2	3	2	1
GL +1	+1	3	2331,2	252,8	62,1	68,8	0,357	71,071	64,333	25,396	3	4	2	3	2	1

Enzym	Konzentration	Probe	Volumen/ kg Mehl	Umfang/ kg Mehl	Kruste Farbe L*	Krume Farbe L*	KEL	F _{max}	F ₂₅	F _{res}	Aussehen & Form	Bräunung der Kruste	Konsistenz der Kruste	Krumen porung	Mund gefühl	Geschmack & Geruch
LA -1	-1	1	2290,3	254,4	60,3	70,6	0,368	75,424	68,385	27,720	3	4	2	3	2	1
LA -1	-1	2	2372,1	255,2	60,4	70,0	0,365	73,950	67,655	27,021	3	4	2	3	2	1
LA -1	-1	3	2453,9	251,9	61,3	69,7	0,376	73,739	66,729	27,708	3	4	2	3	2	1
LA 0	0	1	2453,9	254,4	58,7	69,6	0,365	84,693	75,639	30,904	4	3	3	3	3	3
LA 0	0	2	2535,7	254,8	62,4	69,8	0,355	72,435	66,101	25,723	4	3	3	3	3	3
LA 0	0	3	2413,0	253,6	62,8	69,9	0,348	75,928	68,891	26,425	4	3	3	3	3	3
LA +1	+1	1	2372,1	255,2	60,5	69,1	0,359	74,262	67,274	26,685	4	3	3	3	4	2
LA +1	+1	2	2249,4	256,0	61,7	70,2	0,359	72,149	66,420	25,871	4	3	3	3	4	2
LA +1	+1	3	2290,3	255,2	61,1	70,7	0,361	79,541	69,801	28,685	4	3	3	3	4	2
LI -1	-1	1	2249,4	253,2	61,5	70,4	0,362	72,348	63,886	26,190	3	3	3	3	1	2
LI -1	-1	2	2372,1	256,0	63,8	70,2	0,378	71,210	64,216	26,938	3	3	3	3	1	2
LI -1	-1	3	2413,0	256,0	61,5	69,2	0,374	70,756	63,727	26,432	3	3	3	3	1	2
LI 0	0	1	2085,8	251,1	60,4	69,0	0,387	73,054	65,739	28,240	3	3	3	3	3	2
LI 0	0	2	2290,3	251,1	58,4	70,9	0,386	69,962	63,443	27,023	3	3	3	3	3	2
LI 0	0	3	2249,4	256,8	59,2	67,9	0,366	56,465	53,967	20,687	3	3	3	3	3	2
LI +1	+1	1	2004,0	254,8	63,3	69,9	0,372	71,710	61,853	26,700	3	3	3	3	2	2
LI +1	+1	2	2208,5	256,4	64,2	70,7	0,384	69,404	61,189	26,672	3	3	3	3	2	2
LI +1	+1	3	2208,5	256,4	63,8	69,6	0,379	70,477	60,419	26,739	3	3	3	3	2	2
NO -1	-1	1	2290,3	253,2	66,2	69,3	0,368	62,232	53,103	22,923	3	3	2	3	3	3
NO -1	-1	2	2208,5	251,5	64	67,9	0,390	58,055	47,043	22,649	3	3	2	3	3	3
NO -1	-1	3	2208,5	254,0	62,5	69,1	0,384	59,722	51,431	22,910	3	3	2	3	3	3
NO 0	0	1	2249,4	254,0	59,1	67,8	0,392	57,401	49,111	22,480	3	3	3	4	4	4
NO 0	0	2	2331,2	252,3	61,6	65,9	0,395	55,219	46,186	21,816	3	3	3	4	4	4
NO 0	0	3	2372,1	254,8	61,2	67,9	0,393	55,629	46,777	21,881	3	3	3	4	4	4
NO +1	+1	1	2331,2	254,4	58,1	67,3	0,395	54,049	45,893	21,366	3	3	2	4	4	4
NO +1	+1	2	2167,6	256,0	62,7	67,1	0,398	51,784	42,468	20,588	3	3	2	4	4	4
NO +1	+1	3	2249,4	255,2	62,1	67,1	0,395	52,703	44,443	20,792	3	3	2	4	4	4

Tab. 27: Mittelwert und Standardabweichung der Beurteilung der Versuchsbrote aus dem Versuch zur optimalen Enzymkonzentration
 (HORA = ohne Zusatz; FU = Fungamyl 2500 SG; AM = AMG 1100 BG; PM = Pentopan Mono BG; P5 = Pentopan 500 BG; CE = Celluclast BG; GL = Gluzyme 10000 BG; LA = Laccase NS 27011 ;
 LI = Lipase F; NO = Novamyl 10000 BG; -1 = niedrigste Konzentration; 0 = mittlere Konzentration; +1 = höchste Konzentration; KEL ... Relative Krumenfestigkeit; F_{max} ... Maximalkraft [N], F₂₅ ...
 [N], F_{res} ... Residualkraft [N])

Enzym	Konzentration	Volumen/ kg Mehl	s	Umfang/ kg Mehl	s	Kruste Farbe L*	s	Krume Farbe L*	s	KEL	F _{max}	s	F ₂₅	s	Aussehen & Form	Bräunung der Kruste	Konsistenz der Kruste	Krumen- porung	Mund- gefühl	Geschmack & Geruch
HORA		2303,9	33,1	251,3	1,8	59,5	0,9	67,8	0,3	0,358	75,588	3,8	67,645	3,1	3	3	3	3	3	3
FU -1	-1	2140,3	72,0	255,1	1,2	59,9	0,3	68,1	0,3	0,363	71,580	3,0	61,348	4,6	2	3	3	3	5	5
FU 0	0	2154,0	115,7	253,4	2,4	62,3	1,8	69,0	1,1	0,361	70,591	3,7	61,397	4,3	2	3	3	2	2	1
FU +1	1	1990,4	33,1	251,8	0,8	59,4	0,6	69,2	0,2	0,354	73,169	3,3	59,272	18,7	2	3	3	2	2	1
AM -1	-1	2467,5	184,1	255,2	2,3	60,8	1,0	68,8	0,3	0,371	62,634	3,0	58,680	5,0	3	4	3	2	1	2
AM 0	0	2262,5	108,4	254,5	0,9	59,2	1,3	69,7	0,5	0,364	56,750	3,0	54,711	2,8	3	4	3	2	2	3
AM +1	1	2399,4	43,7	252,6	0,6	57,1	1,5	67,9	0,8	0,364	57,079	3,1	54,400	4,3	4	4	2	3	3	4
PM -1	-1	2576,6	187,7	249,1	1,1	60,5	1,2	69,7	0,5	0,359	69,552	2,8	67,690	2,4	4	3	3	3	1	1
PM 0	0	2440,3	100,5	256,3	1,6	62,3	1,9	68,8	0,3	0,347	54,565	2,4	53,245	2,3	4	3	3	3	1	1
PM +1	1	2535,7	114,5	257,7	0,8	59,9	0,8	68,4	0,5	0,363	52,791	1,3	51,047	1,0	4	3	3	3	2	2
P5 -1	-1	2413,0	75,7	255,3	0,9	58,3	0,7	69,3	0,2	0,352	66,597	4,4	62,103	3,9	4	4	3	3	1	2
P5 0	0	2467,5	43,7	253,7	0,6	59,1	0,2	69,1	0,6	0,361	65,052	2,6	57,757	7,3	4	4	3	3	1	3
P5 +1	1	2290,3	49,6	258,5	0,5	60,3	0,9	69,8	0,6	0,360	56,236	4,2	51,680	2,7	4	4	3	3	2	3
CE -1	-1	2426,6	59,6	257,1	0,3	61,1	1,5	67,9	0,5	0,362	60,531	4,2	55,440	2,7	4	4	2	3	2	2
CE 0	0	2508,4	72,0	262,3	0,6	59,7	0,9	67,8	0,4	0,359	55,065	3,2	50,072	2,4	3	4	3	3	3	3
CE +1	1	2617,5	28,6	261,1	0,9	60,4	0,1	68,0	0,8	0,363	49,436	3,3	44,393	2,1	4	3	3	3	1	2
GL -1	-1	2317,6	82,6	252,1	0,3	60,3	1,1	69,4	0,4	0,366	72,137	3,6	63,269	3,0	3	2	2	3	3	2
GL 0	0	2331,2	75,7	253,6	3,0	63,3	0,5	69,6	0,9	0,371	70,352	3,7	62,732	3,0	3	2	2	3	1	1
GL +1	1	2303,9	59,6	253,2	0,3	62,2	0,2	68,7	0,3	0,356	67,166	4,8	61,753	2,6	3	4	2	3	2	1
LA -1	-1	2372,1	57,3	253,8	1,2	60,7	0,4	70,1	0,3	0,370	74,371	2,0	67,590	2,4	3	2	1	3	4	2
LA 0	0	2467,5	43,7	254,3	0,4	61,3	1,6	69,8	0,1	0,356	77,685	5,5	70,210	4,3	4	3	3	3	3	3
LA +1	1	2303,9	43,7	255,5	0,3	61,1	0,4	70,0	0,6	0,360	75,317	4,6	67,831	2,7	4	3	3	3	4	2
LI -1	-1	2344,8	59,6	255,1	1,2	62,3	0,9	69,9	0,5	0,371	71,438	3,7	63,943	2,6	3	3	3	3	1	2
LI 0	0	2208,5	75,7	253,0	2,3	59,3	0,7	69,3	1,1	0,381	66,494	7,4	61,050	5,5	3	3	3	3	3	2
LI +1	1	2140,3	82,6	255,9	0,7	63,8	0,3	70,1	0,4	0,379	70,530	3,1	61,154	2,7	3	3	3	3	2	2

Enzym	Konzentration	Volumen/ kg Mehl	s	Umfang/ kg Mehl	s	Kruste Farbe L*	s	Krume Farbe L*	s	KEL	F _{max}	s	F ₂₅	s	Aussehen & Form	Bräunung der Kruste	Konsistenz der Kruste	Krumen porung	Mund gefühl	Geschmack & Geruch
NO -1	-1	2235,8	33,1	252,9	0,9	64,2	1,3	68,8	0,5	0,380	60,003	2,4	50,526	2,6	3	3	2	3	3	3
NO 0	0	2317,6	43,7	253,7	0,9	60,6	0,9	67,2	0,8	0,393	56,083	1,9	47,358	1,6	3	3	3	4	4	4
NO +1	1	2249,4	57,3	255,2	0,6	61,0	1,8	67,2	0,1	0,396	52,845	2,2	44,268	1,9	3	3	2	4	4	4



Abb. 49: Versuchsbrot „HORA“ ohne Enzymzusatz



Abb. 50: Versuchsbrote mit Enzymzusatz Fungamyl® 2500 SG in allen drei Konzentrationsstufen (Tab. 16)



Abb. 51: Versuchsbrote mit Enzymzusatz AMG® 1100 BG in allen drei Konzentrationsstufen (Tab. 16)



Abb. 52: Versuchsbrote mit Enzymzusatz Pentopan® Mono BG in allen drei Konzentrationsstufen (Tab. 16)



Abb. 53: Versuchsbrote mit Enzymzusatz Pentopan® 500 BG in allen drei Konzentrationsstufen (Tab. 16)



Abb. 54: Versuchsbrote mit Enzymzusatz Celluclast® BG in allen drei Konzentrationsstufen (Tab. 16)



Abb. 55: Versuchsbrote mit Enzymzusatz Gluzyme® 10000 BG in allen drei Konzentrationsstufen (Tab. 16)



Abb. 56: Versuchsbrote mit Enzymzusatz Laccase NS 27011 in allen drei Konzentrationsstufen (Tab. 16)



Abb. 57: Versuchsbrote mit Enzymzusatz Lipopan® F BG in allen drei Konzentrationsstufen (Tab. 16)



Abb. 58: Versuchsbrote mit Enzymzusatz Novamyl® 10000 BG in allen drei Konzentrationsstufen (Tab. 16)

11.2 Daten und Bilder der Versuchsbrote des Versuches zur optimalen Enzymkombination

Tab. 28: Enzymkonzentration und Enzymmenge

Enzym	Konzentration [ppm]	Menge [mg]
Novamyl® 10000 BG	25	24,25
	75	72,75
	125	121,24
AMG® 1100 BG	170	164,89
	290	281,28
	410	397,67
Pentopan® 500 BG	40	38,80
	65	63,05
	90	87,29
Cellulclast® BG	50	48,50
	150	145,49
	250	242,48

Tab. 29: Primärdaten der Messungen zum Versuch der optimalen Enzymkombination (NO = Novamyl 10000 BG; AM = AMG 1100 BG; P5 = Pentopan 500 BG; CE = Cellulclast BG; -1 = niedrigste Konzentration; 0 = mittlere Konzentration; +1 = höchste Konzentration ; V01 bis V19 ... Versuche laut Versuchsplan; V00 ... Versuch ohne Enzyme; KEL ... Relative Krumenfestigkeit; F_{max} ... Maximalkraft [N], F₂₅ ... [N], F_{res} ... Residualkraft [N])

	NO	AM	P5	CE	Probe	Volumen/ kg Mehl	Umfang/ kg Mehl	Kruste Farbe L*	Krume Farbe L*	KEL	F _{max}	F ₂₅	F _{res}	Aussehen & Form	Bräunung der Kruste	Krumen porung	Mund gefühl	Geschmack & Geruch	Konsistenz der Kruste
V01	0	0	0	0	1	2517,4	266,6	57,7	66,3	0,399	38,114	30,132	15,225	3	4	3	4	3	4
V01	0	0	0	0	2	2517,4	267,4	55,3	65,4	0,401	35,893	29,431	14,389	3	4	3	4	3	4
V01	0	0	0	0	3	2558,6	268,7	57,2	64,8	0,397	37,411	31,639	14,852	3	4	3	4	3	4
V02	-1	-1	-1	-1	1	2434,8	266,2	57,0	65,8	0,389	46,517	40,943	18,081	3	3	3	2	3	3
V02	-1	-1	-1	-1	2	2558,6	266,2	61,6	68,4	0,389	46,119	38,714	17,933	3	3	3	2	3	3
V02	-1	-1	-1	-1	3	2599,9	262,9	58,7	65,9	0,389	44,941	38,486	17,495	3	3	3	2	3	3
V03	+1	-1	-1	-1	1	2517,4	262,9	55,4	65,0	0,412	42,842	35,405	17,634	2	4	3	3	2	3
V03	+1	-1	-1	-1	2	2682,4	266,6	57,1	65,2	0,412	40,045	31,843	16,518	2	4	3	3	2	3
V03	+1	-1	-1	-1	3	2517,4	261,6	57,2	66,5	0,405	39,926	32,475	16,168	2	4	3	3	2	3
V04	-1	+1	-1	-1	1	2517,4	266,6	56,6	67,1	0,395	47,985	42,288	18,955	4	3	3	3	1	2
V04	-1	+1	-1	-1	2	2517,4	267,4	57,2	67,0	0,393	46,449	40,434	18,277	4	3	3	3	1	2
V04	-1	+1	-1	-1	3	2558,6	268,7	55,8	66,6	0,393	45,886	39,163	18,038	4	3	3	3	1	2

	NO	AM	P5	CE	Probe	Volumen/ kg Mehl	Umfang/ kg Mehl	Kruste Farbe L*	Krume Farbe L*	KEL	F _{max}	F ₂₅	F _{res}	Aussehen & Form	Bräunung der Kruste	Krumen porung	Mund gefühl	Geschmack & Geruch	Konsistenz der Kruste
V05	+1	+1	-1	-1	1	2352,3	260,4	59,9	65,2	0,409	42,278	32,072	17,278	3	3	4	3	2	2
V05	+1	+1	-1	-1	2	2517,4	262,9	60,2	64,4	0,404	41,652	33,586	16,840	3	3	4	3	2	2
V05	+1	+1	-1	-1	3	2599,9	262,9	58,9	64,9	0,408	42,505	33,613	17,330	3	3	4	3	2	2
V06	-1	-1	+1	-1	1	2517,4	263,3	59,0	66,9	0,394	43,348	39,043	17,090	3	3	2	2	2	4
V06	-1	-1	+1	-1	2	2599,9	265,4	60,4	66,8	0,395	42,271	37,574	16,684	3	3	2	2	2	4
V06	-1	-1	+1	-1	3	2641,2	267,0	58,7	66,8	0,389	41,460	38,119	16,142	3	3	2	2	2	4
V07	+1	-1	+1	-1	1	2269,7	266,2	53,2	66,7	0,413	39,819	31,000	16,449	2	3	2	3	3	3
V07	+1	-1	+1	-1	2	2311,0	272,4	56,2	65,0	0,409	36,641	29,503	14,998	2	3	2	3	3	3
V07	+1	-1	+1	-1	3	2517,4	265,4	59,1	66,1	0,407	37,283	31,253	15,185	2	3	2	3	3	3
V08	-1	+1	+1	-1	1	2641,2	263,3	59,0	67,2	0,400	45,125	39,369	18,070	3	3	3	2	2	2
V08	-1	+1	+1	-1	2	2682,4	266,6	58,3	66,9	0,400	42,718	36,994	17,070	3	3	3	2	2	2
V08	-1	+1	+1	-1	3	2641,2	264,9	58,5	65,5	0,392	39,979	36,459	15,687	3	3	3	2	2	2
V09	+1	+1	+1	-1	1	2517,4	262,9	59,3	64,8	0,396	37,587	30,823	14,866	2	3	2	4	2	2
V09	+1	+1	+1	-1	2	2517,4	264,1	59,1	65	0,407	37,064	29,583	15,082	2	3	2	4	2	2
V09	+1	+1	+1	-1	3	2558,6	266,2	59,7	64,9	0,395	35,930	29,314	14,194	2	3	2	4	2	2
V10	0	0	0	0	1	2641,2	262,1	54,6	65,3	0,415	43,277	34,616	17,967	3	4	3	3	3	3
V10	0	0	0	0	2	2641,2	267,4	56,1	65,9	0,413	38,422	31,496	15,877	3	4	3	3	3	3
V10	0	0	0	0	3	2723,7	267,8	58,2	66,7	0,409	40,248	32,823	16,458	3	4	3	3	3	3
V11	-1	-1	-1	+1	1	2517,4	267,0	58,1	66,2	0,389	40,194	35,410	15,634	3	3	2	2	1	3
V11	-1	-1	-1	+1	2	2682,4	271,1	58,8	65,9	0,384	37,393	33,809	14,376	3	3	2	2	1	3
V11	-1	-1	-1	+1	3	2641,2	275,3	55,5	66,3	0,391	39,392	32,919	15,420	3	3	2	2	1	3
V12	+1	-1	-1	+1	1	2765,0	271,1	57,8	65,2	0,418	34,887	26,981	14,572	3	4	3	5	4	3
V12	+1	-1	-1	+1	2	2765,0	266,6	52,1	64,6	0,415	36,666	28,750	15,221	3	4	3	5	4	3
V12	+1	-1	-1	+1	3	2682,4	268,2	56,4	64,3	0,406	36,263	29,187	14,739	3	4	3	5	4	3
V13	-1	+1	-1	+1	1	2599,9	267,8	57,6	65,8	0,390	37,849	33,024	14,749	3	3	2	1	2	4
V13	-1	+1	-1	+1	2	2641,2	269,9	58,5	66,6	0,388	37,228	31,966	14,454	3	3	2	1	2	4
V13	-1	+1	-1	+1	3	2558,6	267,4	57,6	66,6	0,382	37,811	33,174	14,432	3	3	2	1	2	4
V14	+1	+1	-1	+1	1	2971,3	267,0	53,1	65,7	0,425	39,367	29,100	16,748	2	3	4	3	3	4
V14	+1	+1	-1	+1	2	2888,8	268,2	50,5	64,4	0,426	38,333	28,144	16,333	2	3	4	3	3	4
V14	+1	+1	-1	+1	3	2641,2	272,8	57,0	66,0	0,425	36,234	28,138	15,406	2	3	4	3	3	4
V15	-1	-1	+1	+1	1	2723,7	267,4	53,7	66,0	0,384	37,817	33,631	14,540	2	3	2	3	2	3

	NO	AM	P5	CE	Probe	Volumen/ kg Mehl	Umfang/ kg Mehl	Kruste Farbe L*	Krume Farbe L*	KEL	F _{max}	F ₂₅	F _{res}	Aussehen & Form	Bräunung der Kruste	Krumen porung	Mund gefühl	Geschmack & Geruch	Konsistenz der Kruste
V15	-1	-1	+1	+1	2	2806,2	275,3	56,5	66,9	0,393	41,871	35,067	16,473	2	3	2	3	2	3
V15	-1	-1	+1	+1	3	2682,4	274,0	54,3	65,0	0,387	36,129	31,061	13,965	2	3	2	3	2	3
V16	+1	-1	+1	+1	1	2641,2	272,8	52,7	64,2	0,412	37,018	27,992	15,242	2	3	3	4	3	4
V16	+1	-1	+1	+1	2	2847,5	273,6	53,2	64,6	0,420	36,661	26,911	15,388	2	3	3	4	3	4
V16	+1	-1	+1	+1	3	2765,0	276,5	55,5	64,4	0,424	35,294	27,085	14,962	2	3	3	4	3	4
V17	-1	+1	+1	+1	1	2847,5	272,0	56,9	67,5	0,389	37,550	32,876	14,605	3	4	2	2	2	3
V17	-1	+1	+1	+1	2	2641,2	272,4	55,7	65,9	0,388	38,404	34,076	14,915	3	4	2	2	2	3
V17	-1	+1	+1	+1	3	2847,5	273,2	52,3	67,1	0,391	39,038	33,568	15,259	3	4	2	2	2	3
V18	+1	+1	+1	+1	1	2558,6	2558,6	58,4	64,9	0,411	33,441	25,769	13,729	3	3	3	3	3	3
V18	+1	+1	+1	+1	2	2723,7	2723,7	56,7	65,3	0,401	32,391	25,248	13,002	3	3	3	3	3	3
V18	+1	+1	+1	+1	3	2558,6	2558,6	58,9	65,2	0,421	29,516	23,474	12,417	3	3	3	3	3	3
V19	0	0	0	0	1	2806,2	269,9	55,7	65,3	0,399	40,020	32,051	15,972	4	4	4	4	5	4
V19	0	0	0	0	2	2971,3	272,4	55,1	64,6	0,409	39,457	31,675	16,131	4	4	4	4	5	4
V19	0	0	0	0	3	2806,2	273,6	56,6	65,2	0,390	38,501	32,021	15,005	4	4	4	4	5	4
V00					1	2393,6	253,0	58,9	68,0	0,379	64,241	57,579	24,368	4	3	2	2	2	4
V00					2	2269,7	256,7	58,1	69,0	0,383	63,375	55,000	24,287	4	3	2	2	2	4
V00					3	2352,3	255,9	59,6	68,2	0,378	67,474	59,154	25,480	4	3	2	2	2	4

Tab. 30: Mittelwert und Standardabweichung der Beurteilung der Versuchsbrote aus dem Versuch zur optimalen Enzymkombination (NO = Novamyl 10000 BG; AM = AMG 1100 BG; P5 = Pentopan 500 BG; CE = Celluclast BG; -1 = niedrigste Konzentration; 0 = mittlere Konzentration; +1 = höchste Konzentration ; V01 bis V19 ... Versuche laut Versuchsplan; V00 ... Versuch ohne Enzyme; KEL ... Relative Krumenfestigkeit; F_{max} ... Maximalkraft [N], F₂₅ ... [N])

	NO	AM	P5	CE	Volumen/ kg Mehl	s	Umfang/ kg Mehl	s	Kruste Farbe L*	s	Krume Farbe L*	s	KEL	F _{max}	s	F ₂₅	s	Aussehen & Form	Bräunung der Kruste	Krumen porung	Mund gefühl	Geschmack & Geruch	Konsistenz der Kruste
V01	0	0	0	0	2531,1	16,8	267,6	0,7	56,7	0,9	65,5	0,5	0,399	37,139	1,3	30,401	1,3	3	4	3	4	3	4
V02	-1	-1	-1	-1	2531,1	60,7	265,1	1,3	59,1	1,6	66,7	1,0	0,389	45,859	2,6	39,381	2,1	3	3	3	2	3	3
V03	1	-1	-1	-1	2572,4	67,4	263,7	1,8	56,6	0,7	65,6	0,6	0,410	40,938	2,1	33,241	2,1	2	4	3	3	2	3
V04	-1	1	-1	-1	2531,1	16,8	267,6	0,7	56,5	0,5	66,9	0,2	0,394	46,773	2,7	40,628	2,4	4	3	3	3	1	2
V05	1	1	-1	-1	2489,8	89,1	262,1	1,0	59,7	0,5	64,8	0,3	0,407	42,145	1,7	33,090	1,2	3	3	4	3	2	2
V06	-1	-1	1	-1	2586,1	44,6	265,2	1,3	59,4	0,6	66,8	0,0	0,393	42,360	2,7	38,246	2,2	3	3	2	2	2	4
V07	1	-1	1	-1	2366,0	93,8	268,0	2,7	56,2	2,1	65,9	0,6	0,410	37,915	2,5	30,585	1,6	2	3	2	3	3	3
V08	-1	1	1	-1	2654,9	16,8	264,9	1,2	58,6	0,3	66,5	0,6	0,398	42,608	2,8	37,607	1,7	3	3	3	2	2	2
V09	1	1	1	-1	2531,1	16,8	264,4	1,2	59,4	0,2	64,9	0,1	0,399	36,860	1,9	29,907	1,6	2	3	2	4	2	2
V10	0	0	0	0	2668,7	33,7	265,8	2,3	56,3	1,3	66,0	0,5	0,412	40,649	2,0	32,978	1,2	3	4	3	3	3	3
V11	-1	-1	-1	1	2613,6	60,7	271,1	2,9	57,5	1,2	66,1	0,1	0,388	38,993	2,9	34,046	2,1	3	3	2	2	1	3
V12	1	-1	-1	1	2737,5	33,7	268,7	1,6	55,4	2,1	64,7	0,3	0,413	35,939	1,9	28,306	1,6	3	4	3	5	4	3
V13	-1	1	-1	1	2599,9	29,2	268,4	0,9	57,9	0,4	66,3	0,3	0,387	37,630	1,8	32,722	2,1	3	3	2	1	2	4
V14	1	1	-1	1	2833,7	121,5	269,3	2,2	53,5	2,3	65,4	0,6	0,426	37,978	1,8	28,461	1,1	2	3	4	3	3	4
V15	-1	-1	1	1	2737,5	44,6	272,2	3,0	54,8	1,0	66,0	0,7	0,388	38,606	3,0	33,253	2,3	2	3	2	3	2	3
V16	1	-1	1	1	2751,2	73,4	274,3	1,4	53,8	1,1	64,4	0,1	0,418	36,325	1,4	27,329	1,2	2	3	3	4	3	4
V17	-1	1	1	1	2778,7	84,2	272,5	0,4	55,0	1,7	66,8	0,6	0,389	38,331	2,0	33,507	1,9	3	4	2	2	2	3
V18	1	1	1	1	2613,6	67,4	268,4	1,4	58,0	0,8	65,1	0,1	0,411	31,783	2,0	24,830	1,5	3	3	3	3	3	3
V19	0	0	0	0	2861,3	67,4	272,0	1,3	55,8	0,5	65,0	0,3	0,399	39,326	1,0	31,916	1,1	4	4	4	4	5	4
V00					2338,5	44,6	255,2	1,4	58,9	0,5	68,4	0,4	0,380	65,030	3,0	57,244	3,0	4	3	2	2	2	4

Tab. 31: Mittelwertvergleich des Versuchs Nr. 12 und der Wiederholung des Versuchs Nr. 12 laut Versuchsplan (NO = Novamyl 10000 BG; AM = AMG 1100 BG; P5 = Pentopan 500 BG; CE = Celluclast BG; -1 = niedrigste Konzentration; 0 = mittlere Konzentration; +1 = höchste Konzentration; V12 ... Versuch Nr. 12 laut Versuchsplan, WH12 ... Wiederholung des Versuchs Nr. 12, MW ... Mittelwert, s ... Standardabweichung; KEL ... Relative Krumenfestigkeit; F_{max} ... Maximalkraft [N], F₂₅ ... [N])

	NO	AM	P5	CEt	Volumen/ kg Mehl	Umfang/ kg Mehl	Kruste Farbe L*	Krume Farbe L*	KEL	F _{max}	F ₂₅	Aussehen & Form	Bräunung der Kruste	Krumen porung	Mund gefühl	Geschmack & Geruch	Konsistenz der Kruste
V12	+1	-1	-1	+1	2737,5	268,7	55,4	64,7	0,413	35,939	28,306	3	4	3	5	4	3
WH12	+1	-1	-1	+1	2599,9	264,9	53,9	64,8	0,408	39,325	30,203	3	4	5	5	3	4
MW					2668,7	266,8	54,7	64,8	0,410	37,632	29,255	3	4	4	5	3,5	3,5
s					56,2	1,5	0,6	0,1	0,0	1,4	0,8	0	0	0,8	0	0,2	0,2

11. Anhang



Abb. 59: Versuchsbrot ohne Enzymzusatz



Abb. 60: Versuchsbrote der Zentralpunkt wiederholungen (laut Tab. 19, Kap. 5.3)

11. Anhang

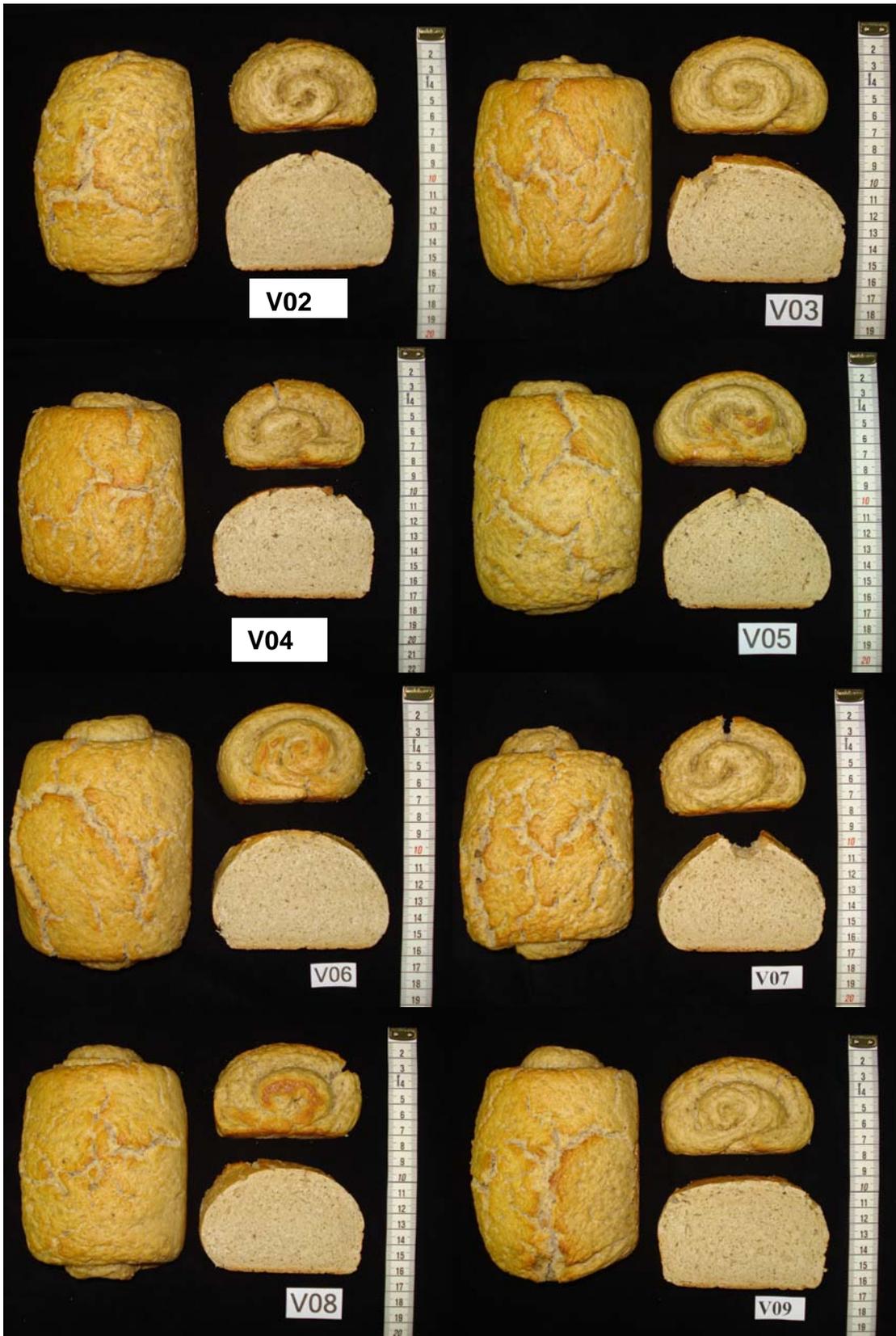


Abb. 61: Versuchsbrote mit Enzymzusatz laut Versuchsplan (laut Tab. 19, Kap. 5.3)

11. Anhang

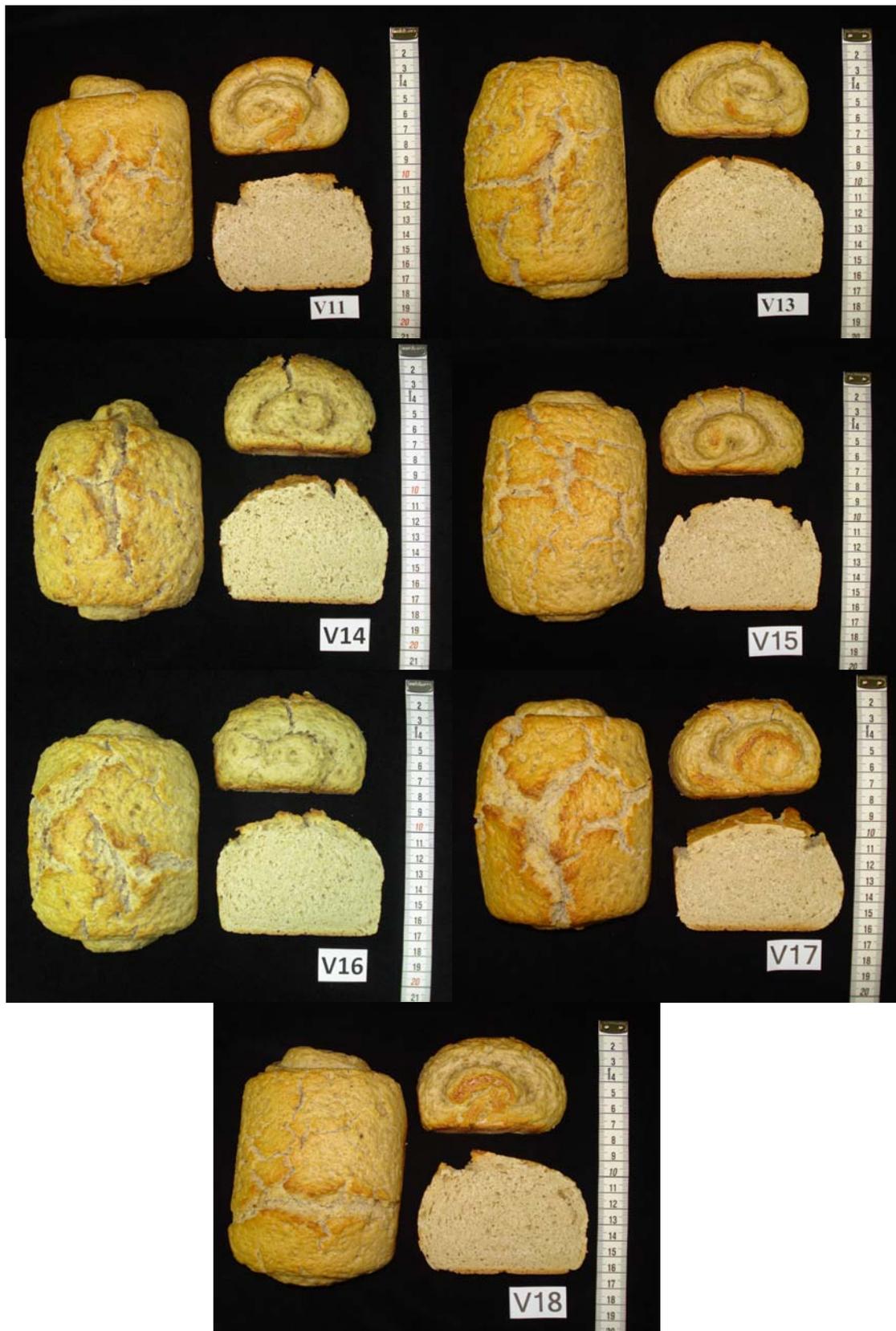


Abb. 62: Versuchsbrote mit Enzymzusatz laut Versuchsplan (laut Tab. 19, Kap. 5.3)

11. Anhang



Abb. 63: Versuchsbrot Nr. 12 und Wiederholung (laut Tab. 19, Kap. 5.3)

Erklärung

Ich erkläre hiermit eidesstattlich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

Ich versichere, dass diese Diplomarbeit bisher weder im Inland oder Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt wurde.

Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt.

Wien, Oktober 2010

Gabriele Kronawetter

Lebenslauf

K r o n a w e t t e r G a b r i e l e

Lederergasse 29/24
1080 Wien
g.kronawetter@ymail.com

geboren am	17. 05. 1981
in	9800 Spittal/Drau
Staatsbürgerschaft	Österreich
Studium	Studium der Ernährungswissenschaften an der Universität Wien
Schulbildung	2000/01 Kolleg für Mode und Textildesign Herbststraße, Wien 1996 – 2000 Bundesoberstufenrealgymnasium Spittal/Drau, Matura 1995/96 Hauptschule 3, Spittal/Drau 1991 – 1995 Bundesrealgymnasium Spittal/Drau 1987 – 1991 Volksschule 4 Ost, Spittal/Drau
Praktikum	September 2007 und 2008 Backaldrin, QS-Labor, Asten Juni 2008 Kärntnermilch, QS-Labor, Spittal/Drau
Arbeit	Dezember 2001 – Oktober 2003 Bäckerei Ritz, Verkaufskraft, Wien
Ferial- und Nebenjobs	Bäckerei Ritz, Verkaufskraft, Wien Steiermark Frühling, Standbetreuung, Wien Komödienspiele Porcia, Garderobiere, Spittal/Drau Masterfoods, Regalbetreuung, Spittal/Drau PapStar, Produktionsarbeiterin, Spittal/Drau Cityrestaurant, Kaffeekraft, Klagenfurt
Besonderes	B-Führerschein Englisch Italienisch Grundkenntnisse

Wien, im Oktober 2010