



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Herstellung von Backwaren aus einer Nacktgersten-Varietät unter
Berücksichtigung der funktionellen Inhaltsstoffe

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Verfasserin / Verfasser:	Stefanie Nitschko
Matrikel-Nummer:	0340285
Studienrichtung / Studiengang (lt. Studienblatt):	Ernährungswissenschaften / A 474
Betreuerin / Betreuer:	Ao.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr. Emmerich Berghofer

Wien, im September 2008

DANKSAGUNG

Mein besonderer Dank an dieser Stelle gilt Herrn Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. E. Berghofer für die Gelegenheit, meine Diplomarbeit am Department für Lebensmitteltechnologie und –wissenschaft schreiben zu dürfen.

Dipl.-Ing. Mathias Kinner danke ich für seine Unterstützung als Mitbetreuer meiner Arbeit.

Ich möchte mich ganz herzlich bei Frau Dipl.-Ing. Angelika Petrasch und Frau Dipl.-Ing. Gertrud Linsberger-Martin bedanken, die mich freundlich aufnahmen und unterstützten.

Großer Dank gebührt Severin Humer, der mich im Labor tatkräftig unterstützt hat. Ein Dank gilt auch Viola Zahlner, die mir stets zu Seite stand und mir im Labor mit wertvollen Ratschlägen weiterhalf.

Ebenso möchte ich mich für die freundliche Zusammenarbeit an der HTL für Lebensmitteltechnologie Wels bei Herrn Dipl.-Ing. Alfred Mar, Dipl.-Ing. Johann Kapplmüller und Dipl.-Päd. Karl Lengauer bedanken.

Für ihre Geduld, Verständnis und viele kleine und große Hilfeleistungen danke ich meiner Mutter, meinem Vater, meiner Schwester und ihrer Familie, sowie meiner Oma und meinen Freunden.

Über alles möchte ich Jakob Gager danken, ohne seine liebevolle Unterstützung wäre dies alles nicht möglich gewesen. Vielen Dank!

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
2	GERSTE	3
2.1	Taxonomie und Herkunft	3
2.2	Morphologie und Klassifikation	4
2.3	Adaption und Nutzung	8
2.4	Zusammensetzung des Gerstenkornes	10
2.4.1	Kohlenhydrate.....	10
2.4.2	Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe	14
3	GERSTE - BEDEUTENDER ROHSTOFF FÜR FUNKTIONELLE LEBENSMITTEL. 17	
3.1	Gerste als Nahrungsmittel	17
3.2	Gerste - Rohstoff von morgen	18
3.3	Terminus „Funktionelle Lebensmittel“	19
3.4	β -Glucan - ernährungsphysiologische Wirkung.....	21
4	VOM MEHL ZUM BROT	25
4.1	Brotherstellung - ein Handwerk für sich	25
4.2	Mahlerzeugnisse – vom Getreidekorn zum Mehl	26
4.3	Technologische Realisierung der Weizenteigherstellung - Verfahrensstufen.....	29
4.3.1	Aufbereitung der Roh- und Zusatzstoffe und Dosierung	31
4.3.2	Teigbereitung und Teigentwicklung	31
4.3.3	Teigreifung	35
4.3.4	Teigverarbeitung	35
4.3.5	Stückreifung	36
4.3.6	Biochemie der Teigverarbeitung	37
4.4	Technologische Realisierung der Roggenteigherstellung.....	38
4.4.1	Säuerung von Roggenteig.....	39
4.4.2	Sauerteigführung	39
4.4.3	Teigbereitung und Teigentwicklung	40
4.4.4	Teigreifung	40
4.4.5	Teigverarbeitung	41
4.4.6	Stückreifung	41
4.5	Backprozess	41
4.5.1	Biochemie der Brotentwicklung	43
4.6	Technologische Realisierung der Gerstenbrotherstellung	44
4.6.1	Gerste - als Nichtbrotgetreide zur Verarbeitung in Brot und Backwaren geeignet?	44
4.6.2	Beeinflussung der Brotqualität durch β - Glucan und Pentosane	49
4.6.3	Auswirkungen von Verfahrensprozessen auf die gesundheitsfördernden und rheologischen Eigenschaften von β - Glucan..	51
5	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	53
6	AUFGABENSTELLUNG	55
7	MATERIAL UND METHODEN.....	57
7.1	Verwendete Rohstoffe und Zutaten.....	57
7.1.1	Gelbkörnige Nacktgerste.....	57

7.1.2 Sonstige verwendete Backzutaten	57
7.2 Vermahlung	58
7.2.1 Prinzip	58
7.2.2 Verwendete Geräte	58
7.2.3 Durchführung	59
7.2.4 Auswertung	64
7.3 Analytische Methoden.....	64
7.3.1 Bestimmung der Trockensubstanz (nach ICC-Standard 110/1).....	64
7.3.3 Bestimmung des Aschegehaltes (nach ICC-Standard 104/1)	66
7.3.4 Bestimmung des Rohproteingehaltes nach Kjeldahl (nach ICC-Standard 105/2)	67
7.3.5 Bestimmung des pH-Wertes.....	70
7.4 Rheologische Methoden	71
7.4.1 Bestimmung des Knetwiderstands von Teigen (Farinogramm nach ICC-Standard 115/1).....	71
7.4.2 Bestimmung der Klebrigkeit	74
7.5 Methoden zur Bewertung der funktionellen und qualitativen Eigenschaften von Teigen.....	78
7.5.1 Beurteilung der Teigbeschaffenheit und Teigverarbeitungsfähigkeit.....	78
7.6 Methoden zur Bewertung der funktionellen und qualitativen Eigenschaften von Broten	79
7.6.1 Bestimmung des Brotvolumens auf Basis der Rapssamenverdrängungsmethode nach <i>Fornet</i>	79
7.6.2 Umfangmessung des Brotes nach <i>Jørgensen</i>	81
7.6.3 Bestimmung der texturalen Eigenschaften der Brotkrume (nach AACC 74-09)	82
7.6.4 Messung der Farbe im CIE – L*a*b* – Farbsystem	86
7.6.5 Sensorische Beurteilung der Brote.....	88
7.7 Herstellung der Versuchsbrote	90
7.7.1 Berechnung der Teigzusammensetzung	90
7.7.2 Herstellungsprozess.....	92
7.8 Statistische Methoden.....	97
7.8.1 Prüfung auf Ausreißerfreiheit	97
7.8.2 Statistische Versuchsplanung	98
8 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	103
8.1 Vorversuchsreihe mit 20 % Weizenmehl und 80 % Gerstenmehl.....	103
8.2 Hauptversuchsreihe mit 100 % Gerstenmehl.....	106
8.2.1 Handelsübliche Vergleichsbrote.....	107
8.3 Optimiertes Gerstenbrot	108
9 VERSUCHSERGEBNISSE UND DISKUSSION	111
9.1 Chemische Analysen.....	111
9.2 Vermahlung	112
9.2.1 Vorversuchsreihe	112
9.2.2 Hauptversuchsreihe.....	114
9.3 Rheologische Untersuchung mittels Brabender Farinograph	115

9.4 Bewertung der funktionellen und qualitativen Eigenschaften der Teige und Brote des Vorversuches	116
9.4.1 Beurteilung der Teigbeschaffenheit und Teigverarbeitung	116
9.4.2 Messung der Farbe im CIE – L*a*b* - Farbsystem	118
9.4.3 Volumen- und Umfangmessung der Brote.....	120
9.4.4 Bestimmung der texturalen Eigenschaften der Brotkrume (nach AACC 74-09)	121
9.4.5 Sensorische Beurteilung der Brote	122
9.5 Auswertung des Plackett-Burman-Versuchsplanes	123
9.6 Bewertung der funktionellen und qualitativen Eigenschaften der Teige und Brote des Hauptversuches.....	126
9.6.1 Bestimmung der Klebrigkeit des Teiges.....	126
9.6.2 Beurteilung der Teigbeschaffenheit und Teigverarbeitungsfähigkeit	129
9.6.3 Bestimmung des pH-Wertes.....	132
9.6.4 Messung der Farbe im CIE - L*a*b* - Farbsystem.....	132
9.6.5 Volumen- und Umfangmessung der Brote.....	136
9.6.6 Bestimmung der texturalen Eigenschaften der Brotkrume (nach AACC 74-09)	139
9.6.7 Sensorische Beurteilung der Brote	144
9.7 Optimiertes Gerstenbrot.....	146
9.7.1 Bestimmung der Klebrigkeit des Teiges.....	147
9.7.2 Beurteilung der Teigbeschaffenheit und Teigverarbeitungsfähigkeit	148
9.7.3 Bestimmung des pH-Wertes.....	149
9.7.4 Bestimmung der Farbe im CIE – L*a*b* - Farbsystem	149
9.7.5 Volumen und Umfangmessung der Brote	150
9.7.6 Bestimmung der texturalen Eigenschaften der Brotkrume (nach AACC 74-09)	150
9.7.7 Sensorische Beurteilung des Brotes	151
10 SCHLUSSFOLGERUNGEN	155
11 ZUSAMMENFASSUNG	161
12 SUMMARY	163
13 LITERATURVERZEICHNIS	165
13.1 Verwendete Internetquellen	171
14 ANHANG	173

1 EINLEITUNG

In einer Zeit, in der eine nach oben hin zunehmende Alterspyramide in den Industrie-Nationen und eine Zunahme von ernährungsbedingten Erkrankungen in steigendem Maße zu beobachten sind, ist es von enormer Bedeutung, dass der Fokus auf eine präventiv-medizinische Ernährung gelegt wird. Das Konsumieren von ballaststoffreichen, komplexen Kohlenhydraten ist ein wesentlicher Aspekt dabei. Leider werden bei unserer heutigen Vielfalt an Lebensmitteln immer weniger Pflanzenarten zu deren Herstellung verwendet. Eine wieder entdeckte Getreideart, die sich durch besonderen ernährungsphysiologischen Wert und interessanten lebensmitteltechnologischen Eigenschaften auszeichnet, gewinnt zunehmend an Interesse als Brotgetreide. Es handelt sich um die Kulturgerste, im speziellen Fall um Nacktgerste, die im Gegensatz zur herkömmlichen Spelzgerste bessere zukunftsweisende Eigenschaften als Speisegerste mitbringt.

Der hohe Gehalt an Ballaststoffen (insbesondere β -Glucane) und sekundären Pflanzenstoffen (Polyphenole und Carotinoide) macht Gerste zu einer attraktiven und präventiv vorsorgenden Getreideart, die wieder einen entscheidenden Platz in der täglichen Ernährung einnehmen sollte. Vor allem die β -Glucane gewinnen derzeit, als interessanter und wertvoller Rohstoff, zunehmend an Bedeutung am Markt für funktionelle Lebensmittel. Tatsache ist aber, dass die tägliche Ballaststoffaufnahme des durchschnittlichen Bürgers in Österreich unzureichend ist und zu wenig an Getreideprodukten, vorrangig an vollkornreichen Lebensmitteln, konsumiert wird ([Elmadfa et. al., 2009](#)).

Daraus schließend sollte das „Nichtbrotgetreide“ Gerste wieder für die menschliche Ernährung eingesetzt und seine biologisch aktiven Inhaltstoffe gezielt genutzt werden, um ernährungsbedingten Krankheiten vorzubeugen.

2 GERSTE

2.1 Taxonomie und Herkunft

Die Gattung *Hordeum* gehört innerhalb der Familie der Süßgräser (*Poaceae*) zum Tribus *Triticeae* und umfasst in etwa 30 verschiedene Arten, wobei die Kulturgerste *Hordeum vulgare* in Europa die Vorherrschende ist.

Gerste zählt zusammen mit Einkorn zu einer der ältesten kultivierten Getreidearten. Es wird heute davon ausgegangen, dass die Kulturgerste *Hordeum vulgare* ursprünglich aus dem Gebiet des „Fruchtbaren Halbmondes“ stammte (Saisho und Purugganan, 2007). Der „Fruchtbare Halbmond“ erstreckt sich von Israel über Syrien und die Türkei bis zum Iran und Irak. In dieser Region wurde erstmals Ackerbau zur Produktion von Nahrungsmitteln betrieben. Als Vorläufer der Kulturgerste gilt die zweizeilige Wildform *H. spontaneum*, deren Domestikation vor rund 10.000 Jahren erfolgte. Archäologische Ausgrabungen belegen, dass Gerste 16.000 v.Chr. in Ägypten bereits in der Form, wie sie wir heute kennen, genutzt und 8000 v.Chr. im Iran kultiviert wurde (MacGregor und Bhatty, 1993). Durch die Neolithischen Revolution und dem Beginn von landwirtschaftlichen Handelsstraßen verbreitete sich das Kulturgetreide Gerste bis nach Europa, wo es von den antiken Griechen zur Herstellung von ungesäuertem Brot verwendet wurde (Newman und Newman, 2006).

Mit dem Aufkommen anderer Getreidesorten reduzierte sich schon sehr früh der Anteil an Gerste auf den fruchtbareren Böden des europäischen Flachlandes. Daraufhin eroberte Gerste vor allem die weniger fruchtbaren Böden, Höhenlagen und Standorte mit einer kürzeren Vegetationsperiode.

2.2 Morphologie und Klassifikation

Gerste wird anhand ihrer unterschiedlichen Ähren in zwei- und mehrzeilige Formen unterteilt, wobei mengenmäßig den zweizeiligen und sechszeiligen Sorten in unseren Breiten die größte Bedeutung zukommt. In Abb. 1 sind die beiden Ährenformen jeweils von der Vorder- und Seitenansicht abgebildet.

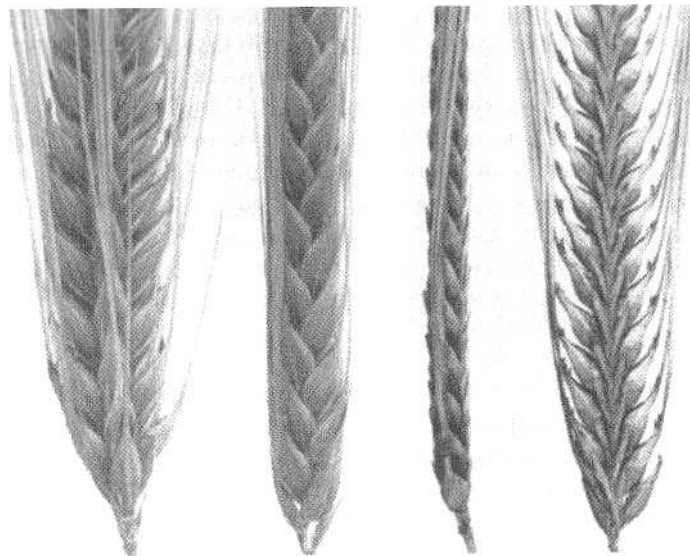


Abb. 1: Gerstenähren. Links: Vorder- und Seitenansicht von einer sechszeiligen Gerste. Rechts: Vorder und Seitenansicht von einer zweizeiligen Gerste (nach [Newman](#) und [Newman](#), 2008).

Der Unterschied der beiden Formen liegt in der Ährchenmorphologie, genauer in den lateralen Ährchen, die mit einem Blütenstiel ausgestattet sind. Sind die lateralen Ährchen (zwei der drei einblütigen Ährchen pro Ährenspindelglied) steril, werden sie als zweizeilige Gerste bezeichnet, sind sie fertil als mehrzeilige ([MacGregor](#) und [Bhatty](#), 1993). Anhand von einer sechszeiligen und einer zweizeiligen Gerste wird dieser Unterschied nochmals in Abb. 2 verdeutlicht.

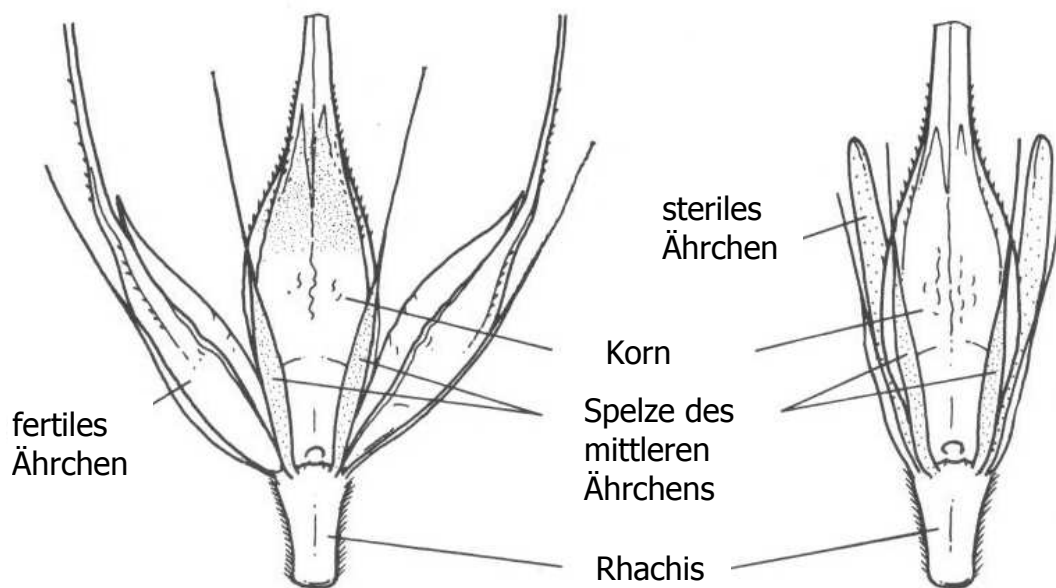


Abb. 2: Anordnung der Körner bei der sechszeiligen Gerste (links) und der zweizeiligen Gerste (rechts) (modifiziert nach Jarman, 1995).

Die Verwendung der beiden Formen ist weltweit sehr unterschiedlich (Henry und Kettlewell, 1996), wobei die zweizeiligen Formen vorwiegend einjährig als Sommergerste und die mehrzeiligen vorwiegend überjährig als Wintergerste genutzt werden.

Man unterscheidet je nach Reproduktion zwischen Sommer- und Wintergerste. Generell gilt, dass Sommergerste, um einen möglichst hohen Ertrag zu erhalten, so früh als möglich im Frühling (Mitte März) gesät werden sollte, außer zu starker Frost verhindert dies. Wintergerste wird im Herbst (Ende September - Anfang Oktober) ausgesät, jedoch ist eine zu frühe Aussaat zu vermeiden, da Blattläuse und Krankheitsbefall zu Problemen führen können (Grausgruber et al., 2008; Hockett, 1991).

Eine weitere Klassifikation erfolgt in Spelzgerste und Nacktgerste, die wahrscheinlich als eine Mutation aus bespelzter Gerste hervorgegangen ist (Saisho und Purugganan, 2007). In Abb. 3 sind die Körner von einer Spelzgerste im Vergleich zu einer Nacktgerste dargestellt.

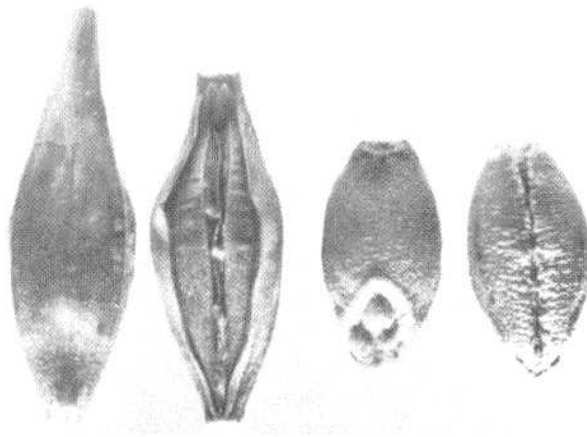


Abb. 3: Links: Körner einer Spelzgerste. Rechts Körner einer Nacktgerste (nach [Newman](#) und [Newman](#), 2008).

In ihrem morphologischen Aufbau der Randschichten, des Pericarps und der Aleuronschicht, ist die bespelzte Gerste dem der nacktkörnigen Gerste vergleichbar ([Getreidezüchtungsforschung Darzau](#), 2006a).

Bei der Spelzgerste ist die Spelze fest mit dem Pericarp, der äußeren Samenschicht, verwachsen und kann sich auch beim Drusch nicht von dieser lösen. Im Gegensatz dazu fallen bei der Nacktgerste beim Drusch die Körner getrennt von den Spelzen an, weil zwischen Spelze und Pericarp keine verbindende, zementartige Zwischenschicht ausgebildet ist. Der Rohfaseranteil wird durch den Verlust der Spelze erheblich reduziert - die bespelzte Art weist gegenüber der Nacktgerste fast die dreifache Menge an Rohfasern auf - was die Nacktgerste zu einer begehrenswerten Speisegerste macht ([Gerstenkorn et al.](#), 1988). Der reduzierte Rohfaseranteil ist bei Futtergetreide eher unerwünscht und deshalb bevorzugt man, genauso wie in der Brauindustrie, die Spelzgerste als geeignete Form. Bei Speisegerste muss es sich aber nicht unbedingt um Nacktgerste handeln, sondern auch Spelzgerste kann nach dem Schälen des Kornes als solche eingesetzt werden (Rollgerste). Jedoch wird beim Entfernen der Spelze nicht nur diese allein, sondern auch ein Großteil ernährungsphysiologisch wertvoller Inhaltsstoffe wie z.B. Vitamine, Mineralstoffe, Spurenelemente und sekundäre Pflanzenstoffe, die sich hauptsächlich in den Frucht- und Samenschalen befinden, entfernt.

Vielfältig sind auch die Farberscheinungen, die sich an den Gersten unterschiedlicher Herkunft beobachten lassen. Neben Gersten mit Spelzen in strohgelber Farbe findet man auch Gersten mit schwarzen Spelzen vor. Die Körner, vom Spelz befreit, haben bei den meisten bespelzten Gersten an ihrer Oberfläche eine graublau und bei den meisten Nacktgersten eine beige-gelbe Färbung. Daneben können auch schwarz-, violett-, und blaukörnige Nacktgersten vorkommen. In Abb. 4 sind die Körner einer gelben Nacktgerstenart und in Abb. 5 jene einer schwarzen dargestellt. Die unterschiedlichen Färbungen kommen auf Grund erhöhter Einlagerungen von Farbstoffen, wie z.B. Anthocyanen in der Fruchtschale und Aleuronschicht zustande (Gerstenkorn et al., 1988).



Abb. 4: Gelbkörnige Nacktgerste (Crop Research Institute Prague, o.J.).



Abb. 5: Schwarzkörnige Nacktgerste (Purcell Mountain Farms, 2008).

Einen zusammenfassenden Überblick der Einteilungskriterien von Gerste bietet Tab. 1.

Tab. 1. Einteilung von Gerste nach verschiedenen Kriterien (nach Grausgruber et al., 2008)

Merkmal	Ausprägung
Reproduktion	Winter- / Sommergerste
Ährenmorphologie	Zwei- / Mehrzeilige Gerste
Nutzung	Futter- / Brau- / Speisegerste
Karyopse	Spelz- / Nacktgerste
Kornfarbe	schwarzkörnig/ violettkörnig / blaukörnig / weißkörnig

2.3 Adaption und Nutzung

Kulturgerste zeichnet sich durch ihre weite Adaptionfähigkeit aus und wird deshalb mehr als jede andere Getreidesorte über ein ausgesprochen breites geographisches Gebiet kultiviert. Gerste gedeiht am besten unter kühlen trockenen Bedingungen, toleriert aber durchaus auch hohe Temperaturen unter trockenen Bedingungen sowie hohe Feuchtigkeit unter kühlen Bedingungen. Einzig in tropisch warmen, feuchten Klimaten wächst Gerste nicht sehr gut, dies aber hauptsächlich auf Grund von Krankheitsursachen. Gerste wird durch ihr breit gefächertes klimatisches Toleranzspektrum von Finnland und Norwegen, Alaska bis Chile und Neuseeland angebaut. Sogar in den Hochgebirgen Tibets und Äthiopien findet man sie vor (Newman und Newman, 2006).

Kulturgerste reiht sich nach Mais, Reis und Weizen auf den vierten Platz, der weltweit am meisten produzierten Getreidearten. Laut Angaben der *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAOSTAT) wurden im Jahr 2007 weltweit 136 Mio. Tonnen Gerste geerntet (FAOSTAT, 2008).

Es haben sich je nach Kulturkreis verschiedene Schwerpunkte in der Verwendung der Gerste herausgebildet und man unterscheidet heute drei verschiedene Nutzungsarten. Hauptsächlich wird Gerste als Futtergetreide verwendet, gefolgt von Malz in der Brauindustrie, sowie zu einem bedeutend geringeren Anteil als Speisegetreide.

Obwohl Kulturgerste als Grundnahrungsmittel lange Zeit eine wichtige Rolle spielte, wurde sie mit dem Aufkommen anderer Speisegetreide (Weizen, Reis und Hafer) in ihrer bedeutenden Funktion als Lebensmittel verdrängt und erhielt den Status als „Brot der Armen“ (Newman und Newman, 2006). Vor allem die ansteigende Verfügbarkeit und die besseren qualitativen Eigenschaften des Weizenkornes (*Triticum aestivum*), machten die Gerste zu einem weniger bis kaum genutzten Brotgetreide. Bemerkenswert erscheint jedoch die Tatsache, dass vor allem Nacktgerste bis heute in vielen Regionen der Erde in erster Linie als Nahrungsmittel verwendet wird. Die spelzenfreien Gersten finden sich insbesondere dort im Anbau, wo sich die weizenartigen Getreide auf Grund

der klimatischen Bedingungen oder wegen magerer oder salziger Böden nicht so gut anbauen lassen. Die Anbauflächen für Kulturgerste werden jedoch meist für bespelzte Gerste genutzt, da Nacktgerste auf Grund der geringeren Winter- und Standfestigkeiten sowie geringerer Ertragsleistungen wirtschaftlich gesehen weniger rentabel ist (Gerstenkorn et al., 1988).

Gerste gewann zunehmend an Bedeutung als Futter- und Braugetreide. Als Futtermittel für Wiederkäuer und Schweine verzeichnet die Kulturgerste bis heute ihren höchsten Marktanteil (Newman und Newman, 2006; Henry und Kettlewell, 1996). Den Anstieg der Nutzung als Futtermittel verdankt Gerste ihrer ausgesprochen weiten Adaptionfähigkeit, was Gerste zu einem weltweit verfügbaren Getreide macht. Ihre Anpassungsfähigkeit und ihr Ertragsreichtum auch in höheren Lagen führt zu geringen Preisen im Anbau – der Preis ist eine der Schlüsselkomponenten, wenn es um Futtergetreide geht. Futtergerste zeichnet sich weiters durch ihre vielen verschiedenen Verarbeitungsmöglichkeiten aus. So kann sie folgenderweise eingesetzt werden: als Silage, Treber, ganzes Korn oder zerkleinert, mit oder ohne Zusätze, oder im Gemisch mit anderen Getreidesorten (Schmidt, 2007).

Seine Popularität als Malzerzeugnis in der Brauerei gewann Gerste dank ihrer besonders geeigneten qualitativen Eigenschaften. Die Spelzen des Gerstenkornes schützen den keimenden Kern während dem Mälzen und bilden im Läuterbottich eine Art Kuchen, der als Filterschicht für Schwebstoffe dient. Die Möglichkeit große Mengen an Enzymen während der Keimung zu produzieren, machen sie zusätzlich attraktiv für die Brau- und Destillierindustrie. Ein weiterer Vorteil ist die Beständigkeit (Festigkeit) von eingeweichter Gerste, was eine einfache Handhabung beim Mälzen ermöglicht (Belitz et al., 2008). Schlussendlich führt Gerste bzw. Gerstenmalz zum einzigartigen Aroma von alkoholischen Getränken, wodurch sie eigentlich ihren Ruhm erlangte (Henry und Kettlewell, 1996).

2.4 Zusammensetzung des Gerstenkornes

Neben biologisch wertvollem Eiweiß, hochwertigem Pflanzenfett, sowie einer Vielzahl von Mineralien und Vitaminen, machen die energieliefernden Kohlenhydrate den höchsten Anteil an Trockenmasse im Gerstenkorn aus. Der Gehalt an Inhaltsstoffen variiert bei verschiedenen Gerstekulturen von den Anbau- und Wachstumsbedingungen. Die durchschnittliche Zusammensetzung eines Spelz- und eines Nacktgerstenkornes ist in Tab. 2 zusammengefasst.

Tab. 2. Durchschnittliche Zusammensetzung eines Spelz- und eines Nacktgerstenkornes in g/kg (Trockenmasse bezogen) (modifiziert nach Newman und Newman, 2008).

Inhaltsstoffe	Spelzgerste		Nacktgerste	
	Durchschnitt ¹	Bereich	Durchschnitt ¹	Bereich
Stärke	58,2	57,1-59,5	63,4	60,5-65,2
Zucker ²	3,0	2,8-3,3	2,9	2,0-4,2
Proteine ³	13,7	12,5-15,4	14,1	12,1-16,6
Fette	2,2	1,9-2,4	3,1	2,7-3,9
Ballaststoffe	20,2	18,8-22,6	13,1	12,6-15,6
Mineralstoffe	2,7	2,3-3,0	2,8	2,3-3,5

¹ n = 3.

² Glucose, Fructose, Saccharose und Fructan

³ N x 6.3.

2.4.1 Kohlenhydrate

Den Hauptinhaltsstoff der Kohlenhydrate im Gerstenkorn bildet die Stärke. Gerste enthält neben der Stärke weitere hochmolekulare Polysaccharide, die besonders in den Zellwänden lokalisiert sind und mehr als 10 % der Trockenmasse bilden. Es handelt sich um Pentosane, (1→3), (1→4)-β-Glucane und um Cellulose. Sie bilden überwiegend die Gerüstsubstanz der Zellwände und gelten im Gegensatz zur Stärke als unverdaulich. Die löslichen und unlöslichen Nicht-Stärke-Polysaccharide und das Lignin werden aus ernährungsphysiologischer Sicht auch als Ballaststoffe bezeichnet (Elmadfa und Leitzmann, 2004).

2.4.1.1 Stärke

Der Reservestoff Stärke kommt im Getreidekorn nur im Mehlkörper vor und ist ein Gemisch von zwei Glucanen, Amylose und Amylopektin. Normalerweise enthält Gerste durchschnittlich 20 bis 30 % der Stärke in Form von Amylose (70 bis 75 % Amylopektin) (MacGregor und Bhatty, 1993). Es sind aber auch Gerstesorten bekannt, deren Stärke einen geringeren Amyloseanteil (5 % oder weniger) hat. Solche Gerstensorten werden als Wachskerze („waxy barley“ im Englischen) bezeichnet. Bei Vorhandensein von „Waxy“ Genen wird Stärke produziert, die hauptsächlich aus Amylopektin aufgebaut ist. Es konnte beispielsweise gezeigt werden, dass Gerstensorten mit veränderter Stärkezusammensetzung signifikant höhere β -Glucan Gehalte aufwiesen als jene mit normalem Amylose und Amylopektin Anteil (Wood et al., 2001; Izydorczyk et al., 2000). Storsley et al. (2003) demonstrierten weiter, dass die Nicht-Stärke-Polysaccharide von amylosereichen und „waxy“ Gerstensorten ein höheres Molekulargewicht als jene von normalen Gerstegenotypen hatten.

Das Polysaccharid Amylose besteht aus Ketten von (1→4)-verknüpften α -D-Glucopyranosylresten und wird bei der enzymatischen Hydrolyse durch α -Amylasen, β -Amylasen und Glucoamylasen zum Großteil zu Maltose abgebaut. Amylose besitzt eine gelierende Wirkung und neigt stärker zu Retrogradation als Amylopektin. Das verzweigte Amylopektin ist aus D-Glucose-Monomeren aufgebaut (1→4- α -D-glykosidische Bindung). Man findet zusätzlich an den Verzweigungsstellen (1→6)- α -glykosidische Bindungen. Bei Amylopektin ist kaum eine Neigung zur Retrogradation und Gelbildung vorhanden. Beim Erhitzen in Wasser gibt Amylopektin klare, hochviskose Lösungen, die fadenziehend und zusammenhaltend sind (verdickende Wirkung) (Belitz et al., 2008).

Einer der wichtigsten Eigenschaften von Stärkekörnern ist ihre Fähigkeit zur Quellung und Verkleisterung, wodurch sie einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung von Brot- und Backwaren leisten. Durch den hohen Grad der Vernetzbarkeit, zeigt Stärke eine sehr hohe Viskosität bei Erwärmung und kann zusätzlich auch viel Wasser binden. Die Verkleisterungseigenschaften sind zum

einen Sorten spezifisch und zum anderen hängen sie vom mehr oder weniger fortgeschrittenen Keimungsstadium des Kornes ab.

2.4.1.2 Nicht-Stärke-Polysaccharide

Die Nicht-Stärke-Polysaccharide bilden überwiegend die Gerüstsubstanz der Zellwände und sind zumeist in den äußeren Teilen des Getreidekornes in höheren Konzentrationen eingelagert. Den überwiegenden Anteil bilden die Pentosane (auch genannt Arabinoxylane) und die (1→3), (1→4)-β-Glucane. Die Zellwand des Endosperms der Gerste enthält sortenabhängig zwischen 70 und 75 % (1→3), (1→4)-β-Glucane und zwischen 20 und 25 % Arabinoxylan, die Aleuron-Zellwand dagegen 26 % (1→3), (1→4)-β-Glucane und 71 % Arabinoxylan. Cellulose und Glucomannane sind in nahezu gleichen Konzentrationen (rund 2 %) in beiden Schichten enthalten (Brennan und Cleary, 2005; MacGregor und Bhatty, 1993; Graham und Graham, 1987). Zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang, dass die Angaben hierzu in der Literatur häufig variieren, was vermutlich auf verschiedene Einflussfaktoren wie Sorte, regionale Herkunft, Klima und Reifestadium des Getreidekornes zur Erntezeit zurückzuführen ist. Die Art und Weisen der Bestimmungsmethodiken sind ebenfalls wesentliche Einflussgrößen.

Es zeigte sich, dass sowohl β-Glucane als auch Pentosane teilweise mit Wasser extrahierbar sind, wenngleich eine Extraktion mit Alkali bei Pentosanen bessere Resultate liefert (Storsley et al., 2003).

Pentosane (Arabinoxylane)

Diese Polysaccharide bestehen hauptsächlich aus den Pentosen D-Arabinose und D-Xylose und werden deshalb auch als Pentosane bezeichnet (MacGregor und Bhatty, 1993). Pentosane sind eine heterogene Gruppe aus Makromolekülen, wobei die überwiegende Struktur des Hauptstranges ein Xylan ist (eine Kette von β-(1→4)-verknüpften D-Xylose Einheiten). Viele andere Zucker sind durch eine α-(1→3)-Bindung an diese Kette geknüpft. Neben

D-Arabinose, diese bildet den dominierenden Seitenkettenzucker, findet man auch kleine Mengen an Glucose, Fructose und Mannose vor. Im wasserlöslichen Anteil liegt auch eine signifikante Menge an Arabinogalactan vor (Staufer, 1998). Außerdem findet man noch kleine Mengen an Ferulasäure (ca. 0,05 % in der Zellwand des Endosperms und 1,2 % in der Aleuron-Zellwand) vor. Ferulasäure ist eine α,β -ungesättigte aromatische Carboxylsäure, die durch eine Esterverbindung mit Arabinoxylan substituiert ist (MacGregor und Bhatti, 1993). Pentosanlösungen formen bei Behandlung mit H_2O_2 /Peroxidase Gele. Es läuft eine Phenoxidation ab, bei der Hydrogenperoxid die Vernetzung von Ferulasäureresten mit benachbarten Polymerketten fördert. Die Anwesenheit von Ferulasäureresten an Arabinoxylanketten kann zu kovalenten Polysaccharid-Polysaccharid oder Polysaccharid-Protein Interaktionen führen. Änderungen der Moleküleigenschaften (z.B. Grad der Verzweigung oder der Gehalt an Ferulasäure) können die viskoelastischen Wirkungen der Gele verändern, infolgedessen die Elastizität, Festigkeit und Porosität der Zellwandmatrix (Izydorczyk et al., 1995).

Obwohl diese Polysaccharide nur einen marginalen Teil des ganzen Getreidekornes ausmachen, spielen sie eine wichtige Rolle. Pentosane bauen zusammen mit anderen Polysacchariden die Zellwand des Korngewebes auf. Auf Grund ihrer Eigenschaft hohe Mengen an Wasser zu binden, können sie mögliche Brüchigkeit, bei Beschädigung des Kornes, reduzieren. Eine weitere Funktion der Pentosane in der Zellwand ist die Inhibition von intrazellulärer Eisbildung bei Kälte, wodurch ein Überleben des Getreidekornes über den Winter über möglich ist (Izydorczyk et al., 1995).

Pentosane können in wasserlöslich und wasserunlöslich unterteilt werden. Letztere können durch Behandlung mit Alkali in die wasserlösliche Form umgewandelt werden. Die löslichen Pentosane, die aus annähernd mengenmäßig gleichen Anteilen von Arabinoxylanen und Arabinogalactanen bestehen, sind zusammen mit den unlöslichen Pentosanen, die vorwiegend Xylane sind, unter anderem für die Backeigenschaften der Getreidearten von Bedeutung (Staufer, 1998).

β-Glucan

β-Glucan ist ein lineares Polysaccharid, das hauptsächlich in den Zellwänden des stärkehaltigen Endosperms von Hafer und Gerste vorkommt. Man findet es außerdem in den Zellwänden der Bäckerhefe *Saccharomyces cerevisiae* und in einigen Pilzen (MacGregor und Bhatty, 1993).

Das Polymer β-Glucan besteht aus β-(1→3)-verknüpften und β-(1→4)-verknüpften D-Glucopyranosyleinheiten. Es ist jedoch nicht möglich eine allgemein gültige Formel für eine Einheit anzugeben, da unregelmäßige Anordnungen der Bindungen und dichte Vernetzungen mit anderen Zellwandbestandteilen dies erschweren. Zudem ist das Verhältnis und die Regelmäßigkeit der Anordnung der (1→3), (1→4)-Bindungen sortenabhängig. Es handelt sich somit beim β-Glucan um ein gemischt verknüpftes (1→3), (1→4)-β-D-Glucan. Die chemische Struktur der Zellwandkomponenten und die Wechselwirkung zwischen ihnen, beeinflussen sowohl die Stabilität der Zellwände als auch ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften (MacGregor und Bhatty, 1993; Graham und Graham, 1987). Der β-Glucangehalt im Gerstenkorn variiert zwischen 5 und 11 % (bezogen auf die Trockenmasse) (Brennan und Cleary, 2005).

2.4.2 Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe

Pflanzen zeichnen sich durch einen außerordentlichen Stoffwechsel aus. Sie produzieren neben ihren Hauptstoffwechselprodukten (primäre Pflanzenstoffe) auch sogenannte sekundäre Pflanzenstoffe. Zu den erstgenannten gehören Kohlenhydrate, Fette, Eiweiße und Nukleinsäuren. Primäre Pflanzenstoffe sind für die menschliche Ernährung essentiell und müssen daher täglich aufgenommen werden. Obwohl sekundäre Pflanzenstoffe für den Menschen nicht lebenswichtig sind, nehmen sie jedoch in der präventiv-medizinischen Ernährung einen hohen Stellenwert ein. Eine große Zahl von sekundären Pflanzeninhaltsstoffen kann im menschlichen Organismus entweder als

Antioxidantien und Radikalfänger fungieren oder sie wirken sekundär antioxidativ. Sie gelten daher als äußerst interessant und relevant im Hinblick auf die menschliche Gesundheit und Ernährung. Auf Grund ihrer chemischen Struktur und funktionellen Eigenschaften werden sekundäre Pflanzenstoffe in zehn Großgruppen eingeteilt: Carotinoide, Glucosinolate, Lecitine, Monoterpene, Phytoöstrogene, Phytosterine, Polyphenole, Proteaseinhibitoren, Saponine und Sulfide. Man findet sie in vielen Obst- und Gemüsesorten vor, sowie in Kräutern und Gewürzen, in Getreide, Nüssen, Samen und daraus hergestellten Ölen (Claus, 2004).

Polyphenole

Eine im Pflanzenreich weit verbreitete und hinsichtlich ihres chemischen Baues und ihrer Funktion größte Gruppe innerhalb der sekundären Pflanzenstoffe, stellt die Gruppe der Polyphenole dar. In Pflanzen kommen sie als bioaktive Substanzen vor, die unterschiedliche Aufgaben erfüllen. Sie dienen als Farb-, Geruchs- und Geschmackstoffe. Sie werden nach heutiger Auffassung in die Untergruppen Phenolcarbonsäuren und Flavonoiden eingeteilt (Claus, 2004).

Die höchsten Konzentrationen an Polyphenolen in Pflanzen findet man in den äußeren Schichten wie Schalen oder äußere Blätter vor.

Im Laborversuch besitzen vor allem Phenolsäuren antioxidative, antikanzerogene und antimikrobielle Wirkung, wenngleich die Wirkmechanismen weitgehend unbekannt sind (Watzl und Rechkemmer, 2001). Die in der Nahrung weit häufiger vorkommenden Flavonoide werden in die zwei Verbindungsklassen Anthocyane und Flavone unterteilt und stellen Pflanzenfarbstoffe dar (Claus, 2004).

Flavone sind in der Natur oft für die gelbliche Färbung verantwortlich, hingegen sind Anthocyane als rote, violette und blaue Blüten- und Fruchtfarbstoffe bekannt.

Carotinoide

Carotinoide zählen auf Grund ihres weitläufigen Farbspektrums, das von gelb bis tiefviolett reicht, zu den verbreitetsten natürlichen Farbstoffen. Chemisch betrachtet zählen die Carotinoide zu den Tetraterpenen, die aus einem aus acht Isopren-Einheiten zusammengesetzten Kohlenstoffgerüst bestehen (Claus, 2004).

Carotinoide lassen sich auf Grund ihrer chemischen Struktur in die stark lipophilen Carotene und in die sauerstoffhaltigen Xanthophylle unterteilen. Man findet Carotene überwiegend in orange-gelb-rotem Gemüse und Obst vor, wohingegen Xanthophylle hauptsächlich in grünblättrigem Gemüse vorkommen (Watzl und Bub, 2001).

Von den mittlerweile 650 bekannten Carotinoiden können 50 vom Menschen in Vitamin A umgewandelt werden (Watzl und Bub, 2001). Für den menschlichen Organismus ist sowohl die ernährungsphysiologisch bedeutende Wirkung der Carotinoide als Vitamin relevant als auch ihr beträchtliches antioxidatives Potential.

3 GERSTE - BEDEUTENDER ROHSTOFF FÜR FUNKTIONELLE LEBENSMITTEL

3.1 Gerste als Nahrungsmittel

Obwohl Gerste als Speisegetreide in der Antike enormen Ruhm weltweit erlangte, reduzierte sich der Konsum von Gerste vor allem in Industrieländern im letzten Jahrhundert deutlich.

Als Speisegetreide wurde sie, hauptsächlich auf Grund ihrer verminderten Backfähigkeit und ihren organoleptischen Eigenschaften, von anderen Getreidesorten verdrängt.

Gerste geriet jedoch bis heute nicht in Vergessenheit. Das vielfältig verwendbare Korn stellt in einigen Teilen der Erde ein wichtiges Grundnahrungsmittel da oder fungiert als Teil eines nationalen Gerichtes.

In Tibet ist heute noch vor allem Nacktgerste ein fester Bestandteil der täglichen Ernährung. Ein traditionelles Tibetisches Gerstengericht ist *tsampa*. Die Getreidekörner werden zuerst sorgfältig geröstet, gemahlen und anschließend auf unterschiedliche Art mit Milch, Tee oder Joghurt zubereitet. *Tsampa* kann gesüßt oder gesalzen als dünner oder dickflüssiger Brei gegessen werden. Eine andere Zubereitungsart wäre gekocht als Suppe oder als eine Art Polenta zu verzehren. Ähnlich zubereitet wie *tsampa* wird *gofio* als nationales Getreidegericht auf den Kanarischen Inseln gegessen (Sonam's Tsampa, o.J.). In Indien findet man ein kaltes Gerstengerränk namens *sattu* vor. Ein russisches und polnisches Nationalgericht ist *kasha*, ein Gerstenbrei. *Giotta* heißt die zu Speisezwecken aufbereitete Nacktgerste im schweizerischen Graubünden, die als „Bündner Gerstensuppe“ verzehrt wird (Getreidezüchtungsforschung Darzau, 2006b). In Regionen von Äthiopien werden zahlreiche auf Gerste basierende Lebensmittel in Form von Backwaren (z.B. *injera*, *kita*, *dabo*, etc.), Soßen (z.B. *wot*), Suppen (z.B. *shorba*, *atmit*), Vollkorn-Snacks (z.B. *aka'i*, *kori*, etc.), alkoholische (z.B. *bikil*, *areki*, *farso*, etc.) und nicht alkoholische Getränken

(z.B. *jusi*) konsumiert (Bokore, 2008). Gerstentee, der traditionell aus Nacktgerste hergestellt wird, ist in Japan und Korea ein wohltuendes Getränk.

In westlichen Ländern wird Gerste hauptsächlich in Form von Malzextrakt oder Malzsirup in kleinen Mengen zu Lebensmitteln zugesetzt (Ames et al., 2006). Frühstückscerealien oder Backwaren beispielsweise erhalten dadurch ein besseres Aroma und eine charakteristische Farbgebung. In fermentierten Backwaren stellt Malzextrakt eine gute Quelle für Zucker und hydrolytisch wirkende Enzyme wie α -Amylasen im Teig dar. Der Malzzucker fördert die Aktivität der Hefe, wodurch eine bessere Teiggärung, damit verbunden eine gleichmäßigere Textur und ein größeres Brotvolumen erzielt werden kann. In der westlichen Welt wird Gerste sonst nur in geringen Mengen als Graupen in Frühstückscerealien, Suppen, Eintöpfen oder Breis gegessen.

Obwohl die römischen Gladiatoren, die *hordearii* oder „Gersten-Männer“ genannt wurden, noch an die kraftspendende Wirkung des damals verzehrten Gerstenbrotes glaubten, konnte sich Gerste als Brotgetreide bis in die heutige Zeit nicht durchsetzen (Newman und Newman, 2006). Hauptgrund dafür war, dass andere Getreidearten wie beispielsweise Weizen oder Roggen bessere Back- und Geschmackeigenschaften mitbrachten als Gerste. Obgleich diese nicht im annähernd selben Maße mit den ernährungsphysiologisch wertvollen Inhaltsstoffen von Gerste konkurrieren können. Genau diese Inhaltsstoffe ließen in den letzten Jahren die westliche Welt aufblicken, und es wurde zunehmend daran gearbeitet Gerste auch wieder in die tägliche Ernährung vermehrt mit einzubinden.

3.2 Gerste - Rohstoff von morgen

Gerstenprodukte gewinnen seit einigen Jahren wieder an Bedeutung und Anerkennung. Den Terminus „das Brot der Armen“ (Newman und Newman, 2006) scheint Gerste auf Grund zahlreich durchgeführter in-vivo, in-vitro und klinischer Humanstudien verloren zu haben (Lochte-Holtgreven, 2006). Es konnte aufgezeigt werden, dass Gerste zusammen mit Hafer über einen großen

Anteil an funktionellen Inhaltsstoffen verfügt. Hervorzuheben wäre der hohe Gehalt an Ballaststoffen - vorrangig β -Glucan - und sekundären Pflanzenstoffen (Polyphenole und Carotinoide). Die wissenschaftlichen Ergebnisse werden durch die Erteilung eines *health claims* in den USA auf Gerstenprodukte bekräftigt. Die FDA (Food and Drug Administration) bewilligte einen „*heart health claim*“ der besagt, dass bei einer Aufnahme von 3 g/d β -Glucan aus Gerste (dies entspricht vier Portionen zu je 0,75 g β -Glucan) das Risiko von Herz-Kreislauf-Erkrankungen gemindert werden kann. Es dürfen somit Produkte, die mindestens 0,75 g β -Glucan aus Gerste pro Portion enthalten, mit diesem *health claim* beworben werden (Hampshire, 2007; FDA, 2006; Lochte-Holtgreven, 2006).

Die „Wiederentdeckung“ der Gerste als Speisegetreide und die Einbindung dieser in die tägliche Ernährung kann als eine präventive Maßnahme im Kampf gegen ernährungsabhängige und -bedingte Erkrankungen gesehen werden. Denn gerade in einer Zeit, in der sich Adipositas und Diabetes mellitus zu einer Volkskrankheit etabliert haben, sollte auf eine Auseinandersetzung mit denen in der Natur reichlich vorkommenden funktionellen Rohstoffen nicht verzichtet werden. Ihr Einsatz sollte mehr denn je in Betracht gezogen werden, um die teilweise starken Defizite in der menschlichen Ernährung auszugleichen.

3.3 Terminus „Funktionelle Lebensmittel“

Funktionelle Lebensmittel oder „Functional Food“ im Englischen ist mehr ein Lebensmittelkonzept als eine genau definierte Produktgruppe (Kunz, 2003). Obwohl es keine EU-rechtliche Definition für diesen Begriff gibt, versteht man im Allgemeinen darunter aber „Lebensmittel, die eine positive Wirkung auf den Gesundheitszustand und das Wohlbefinden und/oder die Verringerung eines Erkrankungsrisikos“ bewirken sollen (Elmadfa und Leitzmann, 2004). Zunehmende Popularität gewinnen funktionelle Lebensmittel dadurch, weil sie neben der primären (Deckung des physiologischen Bedarfs) und der sekundären Funktion (hedonistische Bedürfnisse), auch über eine tertiäre Funktion, die der Gesundheitsförderung, verfügen (Elmadfa und Leitzmann, 2004).

In Japan beschritt man bereits in den 80er Jahren eine Vorreiterrolle im Gebiet der funktionellen Lebensmittel, wo FOSHU (Food for Specified Health Use) auf den Markt kam. Man findet neben dem Begriff „Functional Food“ auch die Synonyme: Nutraceuticals, Designer Food, Health Food oder auch Pharma Food (Kiefer et al., 2002). Im Allgemeinen kann es sich bei funktionellen Lebensmitteln, um natürliche Lebensmittel handeln, oder um Lebensmittel, zu denen ein oder mehrere Bestandteile hinzugefügt oder auch weggenommen werden, oder auch um Lebensmittel, in denen die natürliche Struktur einer oder mehrerer Komponenten modifiziert oder deren Bioverfügbarkeit verändert wurde. In jedem Fall handelt es sich um Lebensmittel und nicht um Pillen, Kapseln oder Pulver. Der Begriff „Intrinsic Functional Food“ (Elmadfa und Leitzmann, 2004) wird verwendet, wenn die Wirkung von funktionellen Lebensmitteln auf eine im Lebensmittel natürlich enthaltene Komponente zurückzuführen ist, wie z.B. β -Glucan in Gerste. Im Gegensatz dazu spricht man bei „Extrinsic Functional Foods“ (Elmadfa und Leitzmann, 2004) von funktionellen Lebensmitteln, bei denen die Wirkung auf eine exogen zugesetzte Substanz zurück zu führen ist, wie z.B. Phytosterin und Phytostanol angereicherte Margarine.

Lebensmittel mit gesundheitlichem Zusatznutzen bieten durchaus eine Möglichkeit, die Gesundheitssituation der Bevölkerung günstig zu beeinflussen. Voraussetzung dafür ist aber, dass sie im Rahmen einer ausgewogenen Ernährung konsumiert werden.

Brot und Backwaren sind auf Grund ihres relativ hohen Verbrauchs und Verzehr frequenz, vor allem im europäischen Raum, in besonderer Weise geeignet, als funktionelle Lebensmittel zu fungieren. So könnte das Brot mit natürlich enthaltenen funktionellen Inhaltsstoffen, wie z.B. gerstenhaltiges Vollkornmischbrot mit β -Glucan und sekundären Pflanzeninhaltsstoffen als funktioneller Wirkstoff, die Prävention von morgen sein. Man könnte durch Brot und Backwaren, die neben ihrem ernährungsphysiologischen Wert auch den Gesundheitszustand und das Wohlbefinden positiv beeinflussen sowie Krankheitsrisiken senken, eine breite Bevölkerungsgruppe erreichen unabhängig von Alter und Geschlecht. Das Angebot an Brot und Backwaren mit funktionellen Inhaltsstoffen

könnte gesteigert werden, wenn geeignete Verfahren zur Herstellung entwickelt werden. Gerste bietet sich als vorteilhaftes Ausgangsmaterial für solche Entwicklungen.

3.4 β -Glucan - ernährungsphysiologische Wirkung

Es gilt als erwiesen, dass Ballaststoffe eine entscheidende Rolle in der Prävention und Behandlung von Cardiovasculären Krankheiten, Diabetes und Darmkrebs spielen (Conway und Behall, 2005; Burton-Freeman, 2000). In zahlreichen Studien konnte der positive Effekt, den lösliche und unlösliche Ballaststoffe auf Risikofaktoren dieser Krankheiten ausüben, gezeigt werden (Timm und Slavin, 2008; Pins und Kaur, 2006; Maki et al., 2003; Burton-Freeman, 2000).

In epidemiologischen Beobachtungsstudien konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen einer hohen täglichen Aufnahme von Ballaststoffen und einem sinkenden Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowohl bei Männern (Smith et al., 2008; Behall et al., 2004; Rimm et al., 1996) als auch bei Frauen (Behall et al., 2004; Wolk et al., 1999) festgestellt werden. Ein verringertes Risiko für cardiovaskuläre Krankheiten bei moderatem Vollkornverzehr wurde auch in der Nurses' Health Study (NHS) beobachtet. Nach Berücksichtigung verschiedener Faktoren ging in der NHS ein hoher Vollkornverzehr im Vergleich mit einem sehr niedrigem Verzehr mit einem um 25-30 % verringerten Risiko für Herzinfarkt und Schlaganfall einher (Wolk et al., 1999).

Weitere positive Effekte bei täglichem Verzehr von Ballaststoffen konnte in einer in Schweden an Männern und Frauen durchgeführten Querschnittsstudie gezeigt werden. In der Studie konnte eine inverse Assoziation zwischen hohen Aufnahmen an Ballaststoffen und dem Risiko für metabolisches Syndrom und seinen Risikofaktoren festgestellt werden (Wirfält et al., 2001).

Außerdem können Ballaststoffe zu einem länger anhaltenden Sättigungsgefühl beitragen, was zu einer verminderten täglichen Energieaufnahme führen

kann und im weiteren Verlauf Übergewicht reduzieren könnte (USHHS und USDA, 2005; Burton-Freeman, 2000).

In den letzten Jahren wurde besonderes Augenmerk auf die löslichen Ballaststoffe, insbesondere auf β -Glucan, in Hafer- und Gerstensorten gelegt. Zahlreiche Studien bewiesen die gesundheitsfördernde Wirkung und β -Glucan wurde daraufhin zu einem begehrenswerten Studienobjekt.

Die physiologische Wirkung von β -Glucan, speziell in Gerste und Hafer, bezieht sich vorwiegend auf den Cholesterinstoffwechsel, den Blutzuckerspiegel, den Blutdruck und den Gastrointestinal Trakt.

Die cholesterinsenkende Wirkung von β -Glucan in Gerste wurde bei Patienten mit Hypercholesterinämie (Smith et al., 2008; Behall et al., 2004; Bourdon et al., 1999; McIntosh et al., 1991), sowie in Tierversuchen (Bird et al., 2004; Delaney et al., 2003) belegt. In den Humanstudien wurde beobachtet, dass insbesondere die LDL-Cholesterinfraktion im Serum gesenkt wird (Behall et al., 2004; McIntosh et al., 1991). Das HDL-Cholesterin wurde kaum bis gar nicht beeinflusst (Behall et al., 2004). Auch Bird et al. (2004) bestätigten die postprandial cholesterinsenkende Wirkung von β -Glucan in jungen Schweinen, sowie Delaney et al. (2003) bei Syrischen Goldhamstern.

Nicht in allen Studien konnte eine eindeutige Wirkung von Gerstenprodukten auf die Serumlipide gefunden werden. In einer von Keogh et al. (2003) durchgeführten Studie mit 18 Männern, die erhöhte Cholesterinspiegel aufwiesen, erzielten Beigaben von β -glucanreichen Gerstensorten (8,1-11,9 g β -Glucan/d) zur vorgeschriebenen Diät keine signifikanten Unterschiede im Gesamt- und LDL-Cholesterin sowie in den Triglyceriden im Blut. Als mögliche Ursachen wurden neben technologischen Einflüssen auch ein enzymatischer Abbau und eine schlechte Löslichkeit der β -Glucane und eine damit einhergehende geringe Viskosität diskutiert.

Einer der wichtigsten physiologischen Nutzen von β -Glucan ist sein Regulationseinfluss auf den Blutzuckerspiegel. Der Effekt von β -Glucan auf Blutzucker und Insulinpegel konnte in zahlreichen Studien durch Darreichung von traditionell hergestellten β -Glucan reichhaltigen Produkten (Brot, „Cookies“, Crackers)

an die jeweiligen Testpersonen belegt werden (Casiraghi et al., 2006; Cavallero et al., 2002; Urooj et al., 1998; Lilijeberg et al., 1996). Diese Studien postulierten auf der einen Seite recht deutlich, dass durch Verwendung von β -Glucan der Blutzuckerspiegel bei Diabetikern gesenkt werden kann, andererseits dies nur eintraf, wenn β -Glucan in höheren Dosen im Lebensmittel vorhanden war als normal. Casiraghi et al. (2006) machten auch darauf aufmerksam, dass die Form der Verabreichung ebenfalls eine bedeutende Rolle spiele. So konnte Casiraghi et al. (2006) in seiner Versuchsreihe zeigen, dass die an die zehn Testpersonen ausgegebenen „Cookies“ die ebenfalls verabreichten Cracker in ihrer Fähigkeit zur postprandialen Senkung des glykämischen Index übertrafen. Von Cavallero et al. (2002) konnte weiters festgestellt werden, dass mit steigender Konzentration an β -Glucan eine lineare Abnahme des glykämischen Indexes assoziiert werden konnte. Die Zugabe von 20 % wasserlöslichen Gerstenfraktionen (löslicher β -Glucangehalt von 5,7 %) zu 80 % Weizenmehl führte zu einer signifikanten Senkung des Glykämischen Indexes im Vergleich zu den Kontrollbrotten.

Izydorczyk et al. (2008) konnten in ihren *in vitro* Versuchen ebenfalls zeigen, dass eine Beimengung von Gersten-Ballaststoff-Fraktionen zu Fladenbrotten die Löslichkeit und Verdaubarkeit der Stärke signifikant minderte und somit den Glykämischen Index der Fladenbrote senkte.

Es gibt auch einige Hinweise darauf, dass β -Glucan eine präventive Rolle bei der Ätiologie von kolonrektalem Krebs spielen könnte (Brennan und Cleary, 2005; Bingham et al., 2003), jedoch weiß man über den genauen Mechanismus, der dafür verantwortlich sein könnte, noch nicht Bescheid (Lindhauer et al., 2005; Katina, 2003).

Die Eigenschaften von β -Glucan, die in Zusammenhang mit der cholesterinsenkenden Wirkung sowie einer Senkung des Darmkrebsrisikos gebracht werden könnten, sind laut Izydorczyk et al. (2008) Partikelgröße, Quellungsvermögen, Hydratation, Viskosität und Adsorptionskapazität von Mineralstoffen und organischen Molekülen. Die dadurch hervorgerufenen Effekte können mechanischer Natur sein (vergrößertes Stuhlvolumen, beschleunigte Darmpassage,

etc.) oder physiologischer (Bindung von Gallensäure und -salze, Produktion von kurzkettigen Fettsäuren) (Katina, 2003).

4 VOM MEHL ZUM BROT

4.1 Brotherstellung - ein Handwerk für sich

Der Bedarf der Menschen an Getreide und dessen Verarbeitung zu Brot und Backwaren hat seine Geschichte, die Jahrtausende zählt und die in zahlreichen Publikationen beschrieben wurde. Das umfangreiche Brotsortiment basiert heute in Österreich zum größten Teil noch immer auf der Verarbeitung von Roggen- und Weizenmehlerzeugnissen. Auf Grund ihrer geeigneten Backeigenschaften dominieren sie den Markt für Brot und Backwaren.

Es zeigt sich jedoch seit den letzten Jahrzehnten ein leicht ansteigender Gegentrend bezüglich einer Erweiterung des Angebotes an manchen Nicht-Brotgetreide Produkten. Die seitens der Ernährungswissenschaft ausgesprochenen Empfehlungen für die Steigerung des Verzehrs von ballaststoffreichen, komplexen Kohlenhydraten sowie die Ausrichtung bestimmter Verbrauchergruppen zu gesundheitsfördernder, bewusster Ernährungsweise hat auch zu einem verstärkten Interesse an alternativen Getreiderohstoffen geführt. Die Angebotspalette an Mehrkornbroten wurde vermehrt, jedoch noch lange nicht ausgeschöpft.

Beinahe so vielfältig wie das Brot- und Backwarensortiment ist auch die Arbeitsweise, mit welcher diese Produkte hergestellt werden. Um ein qualitativ hochwertiges Produkt zu erhalten, müssen die einzelnen Verarbeitungsschritte der Teigbereitung, Teigreifung, Aufarbeitung und der Backprozess richtig aufeinander abgestimmt sein. Einflussfaktoren, die den Backerfolg des Herstellers gewährleisten, sind unter anderem die Verarbeitungsfähigkeit (Maschinengängigkeit) der Teige, Kneteigenschaften, Gäreigenschaften und das Backverhalten. Man könnte die Brotherstellung auch mit einem Uhrwerk vergleichen, in dem nur die präzise Abstimmung der einzelnen Komponenten zueinander zum gewünschten Resultat, der richtigen Zeitangabe, führt.

4.2 Mahlerzeugnisse – vom Getreidekorn zum Mehl

Getreidekörner bedürfen einer weitgehenden technischen Verarbeitung, um aus ihnen die wichtigste Grundzutat eines Brotes, das Mehl, herzustellen. Das Getreidekorn ist in mehreren Schichten aufgebaut, wobei der Mehlkörper den größten Anteil bildet, gefolgt von der Aleuronschicht, der Frucht- und Samenschale und des Keimlings. Abb. 6 zeigt die Anatomie eines Weizenkornes.

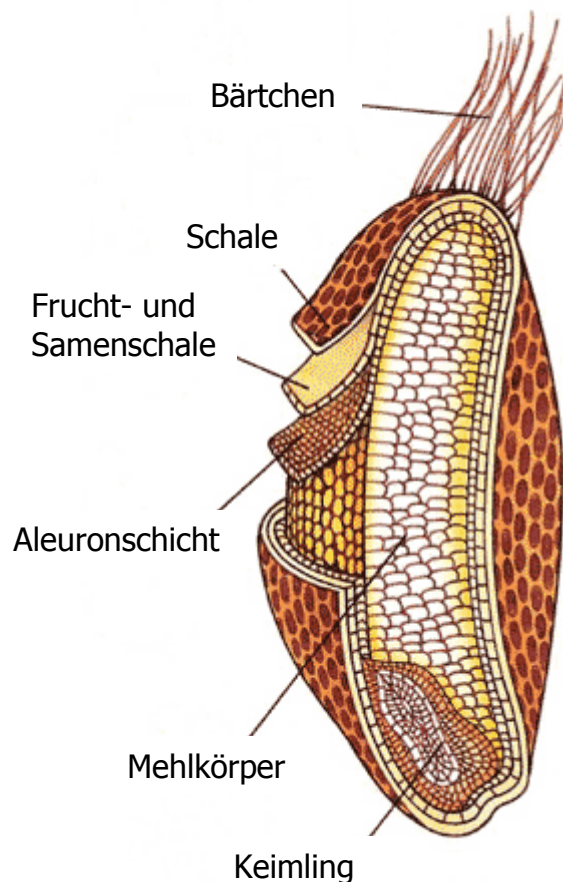


Abb. 6: Aufbau eines Weizenkornes (Erste Wiener Walzmühle Vonwiller GmbH, o.J.).

Damit aus Getreidekörnern Mehle verschiedenen Feinheitsgrades erzeugt werden können, müssen die Körner zunächst von unerwünschtem Besatz (Verunreinigungen jeglicher Art wie Unkrautsamen, Steine, Bruchkorn usw.) befreit werden (Schwarzreinigung). Anschließend werden sie einer Konditionierung unterzogen (Getreidevorbereitung), mit dem Ziel das Schalengefüge des Kornes

zu lockern, um die nachfolgende Oberflächenreinigung des Getreidekornes (Weißreinigung) zu erleichtern. Schließlich werden die vorbereiteten und geputzten Körner zerkleinert bzw. vermahlen (Ebermann und Elmadfa, 2008).

Die Vermahlung findet hauptsächlich in sogenannten Walzenstühlen statt. Die Getreidekörner werden durch Druck- und Scherkräfte zerkleinert und mit Hilfe von Plansichtern und Sieben nach Teilchengröße aufgetrennt. Dadurch wird eine stufenweise Trennung des Mehlkörpers von der Frucht- und Samenschale, von der Aleuronschicht sowie vom Keimling ermöglicht. Die Getreidevermahlung zielt auf die Gewinnung von Mehlen ab, die je nach gewünschtem Verwendungszweck abgestimmte Backeigenschaften und/oder ernährungsphysiologisch wertvolle Inhaltsstoffe aufweisen. Durch stufenweises Vermahlen werden unterschiedliche Mahlerzeugnisse gewonnen, deren Unterteilung nach Partikeldurchmesser in Schrot ($>500\ \mu\text{m}$), Grieß ($>200\ \mu\text{m}$), Dunst ($>120\ \mu\text{m}$) und Mehl ($14\text{-}120\ \mu\text{m}$) erfolgt (Ebermann und Elmadfa, 2008).

Der Ausmahlungsgrad eines Mehles bezeichnet die Menge an Mehl, die aus 100kg ungemahlenen Getreides gewonnen werden können (Schünemann und Treu, 1993). Ein hoher Ausmahlungsgrad bedeutet eine hohe Ausbeute, die aus ganzen Getreidekörnern erzielt werden kann. Mit steigendem Ausmahlungsgrad steigt der Anteil an Schale, Aleuronschicht etc., wodurch Mehle mit erhöhtem Mineralstoff-, Fett-, Protein- und Vitamingehalten hergestellt werden können. Vollkornmehl, das nahezu 100 % Ausmahlung aufweist, wird deshalb als besonders wertvoll für die menschliche Ernährung betrachtet. Im Gegensatz dazu weisen Mehle für Weißgebäck (z.B. Semmeln) nur einen Ausmahlungsgrad von 65-75 % auf, was einerseits mit besseren Backeigenschaften verbunden ist, aber andererseits auch mit verminderten Anteilen an bedeutenden Nährstoffen (Ebermann und Elmadfa, 2008).

Die Kennzeichnung von Mehlen erfolgte anhand einer sogenannten Typenzahl, die angibt wieviel mg Asche (Mineralstoffe) in 100 g Mehl-trocken-substanz enthalten sind (Ebermann und Elmadfa, 2008). Die Typenzahl kann ansatzweise Rückschlüsse über die Backfähigkeit des Mehles liefern, ist aber keine Kennzahl für gewisse Güteeigenschaften des Mehles.

Die Prüfung der Mehlqualität bzw. der Backfähigkeit von Mehlen sollte sowohl durch einfache Proben (Feststellung des Wassergehaltes und der Griffigkeit von Mehlen, sowie der Mehlfarbe und des Mehlgertes) als auch durch chemische und physikalische Mehl- und Teiguntersuchungen beurteilt werden.

Zu den üblich durchgeführten Prüfungsmethoden gehört laut Schünemann und Treu (1993) die Bestimmung

- des Wassergehaltes (z.B. kann dadurch die Lagerfähigkeit des Mehles besser abgeschätzt werden),
- des Säuregrades (man kann durch diesen Wert Rückschlüsse auf den Grad des Mehlabbaus und somit auf die zu erwartenden Backeigenschaften ziehen),
- des Feuchtklebergehaltes (bietet einen Ansatz über die Backfähigkeit des Mehles) ,
- des Sedimentationswertes (in Verbindung mit dem Feuchtklebergehalt kann die Backfähigkeit der Mehle noch besser beurteilt werden),
- der Fallzahl (dient zur Bestimmung der Amylase-Aktivität und lässt somit Rückschlüsse über den Gärverlauf, vorrangig in Weizenteigen, zu) und
- der Maltosezahl (durch sie kann die Enzymtätigkeit im Mehl bestimmt werden und somit die Triebkraft des Mehles).

Zu den am häufigsten angewandten physikalischen Methoden zählen die Bestimmung des Knetwiderstandes mittels Farinograph und die Bestimmung der Teigelastizität mittels Extensograph. Obwohl man aus der Gesamtheit der Prüfungsergebnisse einige Voraussagen über das Backverhalten des Mehles treffen kann, stimmt jedoch das Backergebnis nicht immer mit diesen Voraussagen überein. Deshalb sind anschließende Backversuche unerlässlich.

Durch die folgende Graphik (Abb. 7) soll die enge Beziehung zwischen Getreide-, Mehl- und Gebäckqualität verdeutlicht werden.

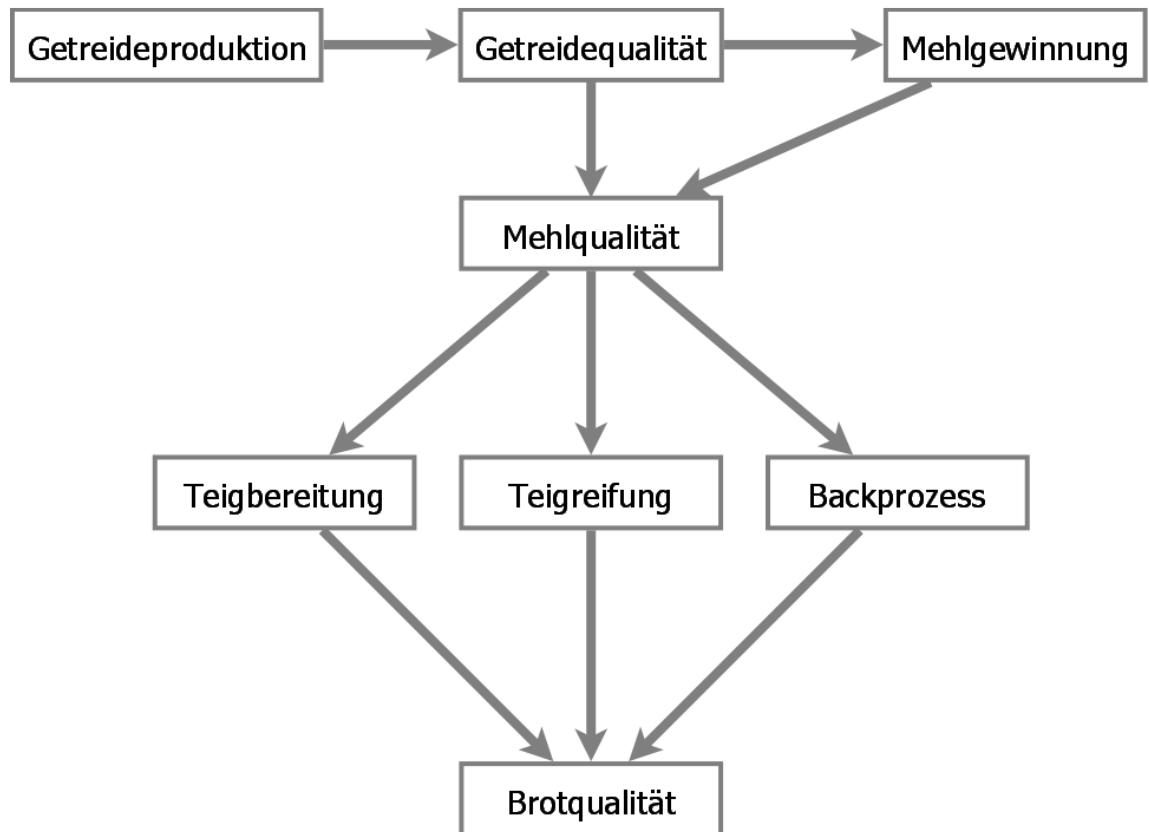


Abb. 7: Darstellung der Beziehung zw. Getreide, Mehl und der Brotqualität (nach Löttsche, o.J.).

Das Endprodukt Brot ist ein Zusammenspiel vieler einzelner Faktoren, die nur durch fachgerechte Handhabung zum gewünschten Ergebnis führen können.

4.3 Technologische Realisierung der Weizenteigherstellung - Verfahrensstufen

Die erfolgreiche Erzeugung von verzehrfähigen Broten hoher Qualität hängt einerseits von chemischen, biochemischen, mikrobiologischen und physikalischen Vorgängen im Teig selber ab, andererseits von der sinnvollen Verknüpfung einzelner Prozessstufen bei der Herstellung. Die Zusammenhänge zwischen den Verfahrensstufen werden in Abb. 8 dargestellt.

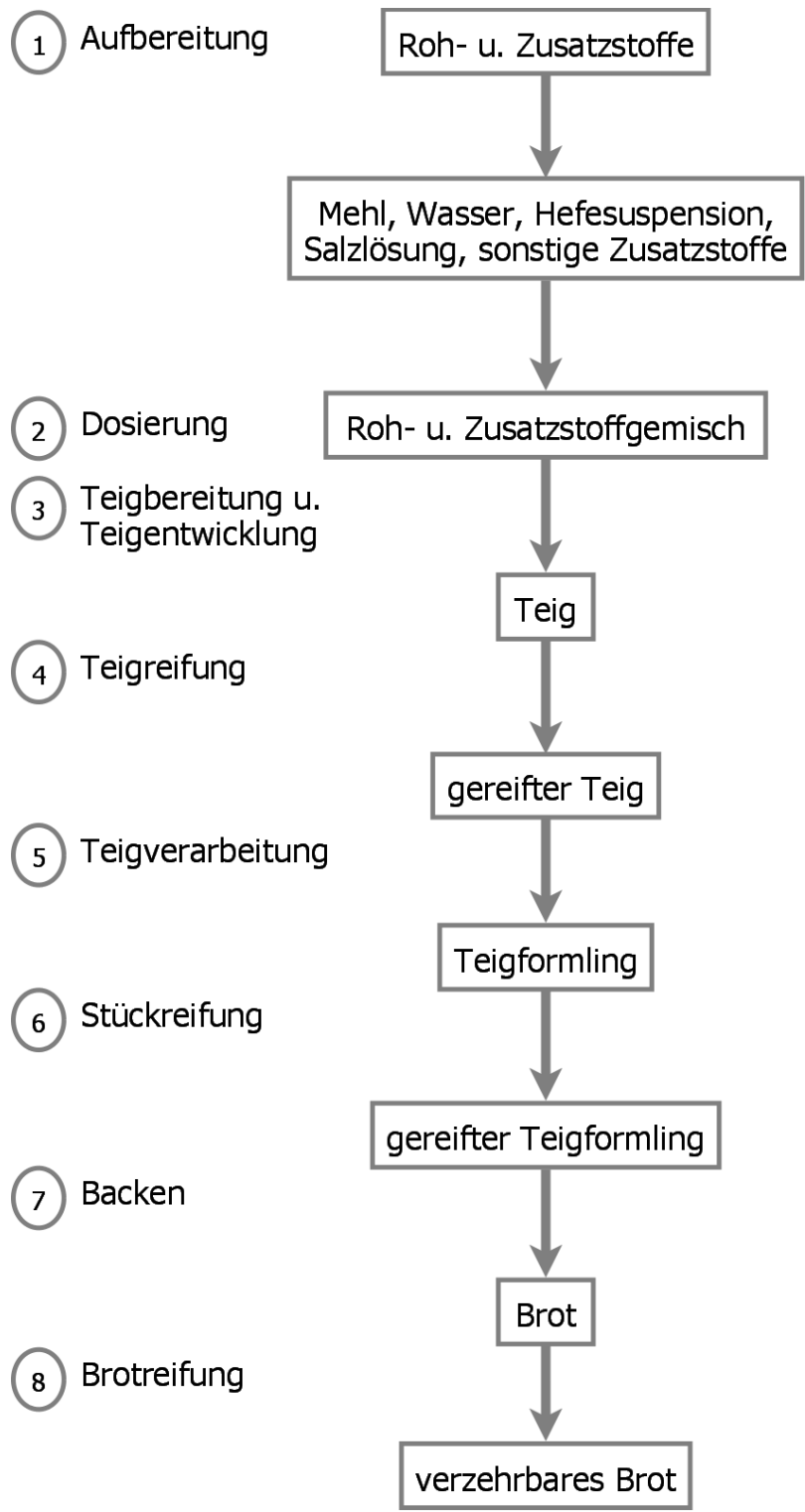


Abb. 8: Einzelne Verfahrensstufen der Brotherstellung (modifiziert nach Dörfer 1981).

4.3.1 Aufbereitung der Roh- und Zusatzstoffe und Dosierung

Das Aufbereiten - im Regelfall handelt es sich um das Mehlsieben - des Mehles erfolgt mit dem Ziel, dass mögliche Verunreinigungen beseitigt und Mehlklumpen aufgelöst werden. Außerdem sollen die Mehlpartikeln Luft absorbieren, damit die Anzahl der die Lockerung begünstigenden Mikroeinschlüsse von Gasen vermehrt werden. Die Zugussflüssigkeit - es handelt sich in den meisten Fällen um Wasser - wird durch Temperieren vorbereitet. Um eine optimale und gleichmäßige Brotqualität zu gewährleisten, ist eine feine Verteilung von Roh- und Zusatzstoffen im Teig notwendig. Deshalb wird Kochsalz in der Zugussflüssigkeit gelöst, andere Zutaten wie beispielsweise Hefe oder Backmittel werden darin suspendiert.

Die richtige Dosierung der Roh- und Zusatzstoffe soll ein festgelegtes quantitatives Verhältnis der Rezepturbestandteile zueinander sichern. Wodurch Voraussetzungen für einen gleich bleibenden technologischen Ablauf und für qualitativ hochwertig, verzehrbare Brote geschaffen werden.

4.3.2 Teigbereitung und Teigentwicklung

Bei der Weizenteigbereitung werden Mehl, Wasser, Hefe und Salz unter Einsatz von Misch- und Knetmaschinen (können auch durch Menschenhand ersetzt werden) zu einem geschmeidigen Teig verarbeitet. Auf die Teigentwicklung wirken, als wesentliche Einflussgrößen, vor allem die Mehlqualität, der Wassergehalt, die zugeführte mechanische Energie, sowie die Dauer des Knetprozesses und die Teigtemperatur ein.

Im Wesentlichen unterscheidet man zwei Arten der Teigbereitung:

Direkte Führung - In einem einzigen Arbeitsgang werden alle Rezepturbestandteile (Mehl, Flüssigkeit, Hefe, Salz) zu einem Teig gefertigt. Es ergibt sich eine Verkürzung der Prozessdauer im Vergleich zur indirekten Teigführung.

Indirekte Führung - Der Teig wird in zwei oder mehreren Arbeitsschritten hergestellt. Zuerst wird aus einem Teil des Mehles, der Flüssigkeit und der Hefe

ein Vorteig bereitet, danach entsteht durch Zugabe des Salzes der Hauptteig. Im Vergleich zur direkten Führung kommt es zur Bildung eines höheren Anteils an Aromastoffen.

Um eine ausreichende Entwicklung des Teiges zu gewährleisten, muss dieser geknetet werden. Dadurch erfolgt eine intensive Durchmischung der Teigbestandteile, gleichzeitig wird der Teig reichlich mit Sauerstoff versorgt. Im Laufe des Knetprozesses tritt eine durch Reibung bedingte Teigerwärmung auf, die einerseits die Gärstabilität (Fettverteilung und Emulsionsbildung wird begünstigt) und andererseits die Hefegärung beeinflusst. Die optimale Knetdauer (wird auch als Teigentwicklungszeit bezeichnet) ist individuell verschieden und wird im Wesentlichen bestimmt von der Qualität des Mehles, den Zusätzen sowie von der Teigtemperatur und -festigkeit. Einfluss nehmen auch das Knet-system und die Knetgeschwindigkeit. Der nach dem Kneten resultierende Teigklumpen muss einer Teigruhezeit (Teigentwicklung) unterzogen werden.

4.3.2.1 Backhilfsmittel

Erst nach Zugabe von Flüssigkeit (vorwiegend Wasser), Teiglockerungsmitteln (Hefe, Sauerteig, Backpulver) und anderen Zusätzen (Salz, Backmittel, Backhilfsmittel), sowie durch technische Bearbeitung während des Herstellungsprozesses werden die backtechnischen Eigenschaften des Mehles zur Wirkung gebracht. Um diese voll zur Entfaltung zu bringen, schwankende Verarbeitungseigenschaften der Rohstoffe auszugleichen sowie bestimmte Qualitätsstandards während der Verarbeitung zu gewährleisten, kommen verschiedene Backmittel bzw. -hilfsmittel bei der Herstellung von Brot- und Backwaren zur Anwendung. Allgemein sollen sie die Prozessabläufe erleichtern und die Qualität von Brot- und Backwaren optimieren (Wassermann, 1999).

Die Einteilung der Backmittel bzw. -hilfsmittel kann folgender Maßen vorgenommen werden (Pelshenke, 1941):

- nach dem Rohstoff,
- nach der Wirkung und
- nach Art ihrer Verwendung.

Folgende ausgewählte Backmittel und -hilfsmittel können sowohl bei Weizen- als auch bei Roggenteigen eingesetzt werden:

Malzmehle und Malzextrakte

Backmalz ist eines der ältesten Backmittel und wird aus unter kontrollierten Bedingungen gekeimtem, gedarrtem Getreide (Gerste, Weizen, Roggen) gewonnen. Die lockernde, gärfördernde und bräunende Wirkung des Malzes beruht in erster Linie auf dessen erhöhte enzymatische Kraft. Im Verlauf der Keimung steigen u.a. die α -Amylaseaktivität und auch der Gehalt an Maltose und Glucose im Korn, wodurch das Hefewachstum bei Zugabe von Malz erheblich gefördert wird. Außerdem wird der Abbau von Stärke zu Maltose und Dextrinen durch die getreideeigenen Amylasen (α - und β -Amylasen) gesteigert, sowie Viskosität und Elastizität des Teiges verbessert (Ebermann und Elmadfa, 2008). Allerdings sollte die ebenfalls vorhandene proteolytische Aktivität des Backmalzes bei Zugabe zu kleberschwachen Mehlen nicht unterschätzt werden. Backmalz wird in Brot- und Backwaren hauptsächlich in Form von Malzmehl oder Malzextrakt zugefügt. Beide finden aber auch Anwendung in Backmittel, Backmischungen oder Fertigmehlen (Belitz et al., 2008; Meyer, 1999).

Quellmehle

Quellmehle sind aufgeschlossene Getreidemehle, deren Stärke, unter Benutzung von verschiedenen Verfahren, weitgehend verkleistert wurde. Sie ergeben bereits bei Raumtemperatur dicke Kleister (Meyer, 1999). Durch ihr erhöhtes Wasserbindungsvermögen (binden 3-6 mal so viel Wasser als herkömmliche Mehle) dienen Quellmehle in erster Linie zur Regulierung des Wassergehaltes in Teig und Brot. So geben sie beispielsweise während des

Backprozesses das gebundene Wasser an die noch nicht verkleisterte Stärke des Mehles ab und erhöhen damit einerseits die Saftigkeit der Krume (der lockere, voluminöse Teil des Brotes), andererseits beugen sie Brotfehlern, wie Reißen und Springen der Krume, vor. Außerdem wirken Quellmehle durch ihr hohes Wasserhaltevermögen der Stärkeretrogradation entgegen und verzögern somit das Altbackenwerden von Broten (Verbesserung der Frischhaltung) (Belitz et al., 2008).

Teigsäuerungsmittel

Künstliche (chemische) Säuerungsmittel sind Essigsäure, Milchsäure, Citronensäure, Weinsäure und deren Salze. Daneben werden auch andere Präparate zur Teigsäuerung verwendet, welche aus Quellmehlen, mit Essig- oder Milchsäurebakterien oder Sauerteig bestehen (Ebermann und Elmadfa, 2008). Teigsäuerungsmittel dienen in erster Linie dazu, dass durch ihren Zusatz, zu den bei der Teigbereitung verwendeten Mehlen, die natürliche Säuerung des Teiges beschleunigt oder vollständig ersetzt wird. Außerordentlich große Bedeutung kommt der Säure bei der Roggenbrotherstellung zu (vgl. 4.4.1.). Erst durch Säuerung erhält der Roggenteig genügend Lockerung und ausreichende Bindung. Pelshenke (1941) schreibt der Säure weitere positive Wirkungen zu, wie z.B. Förderung der Quellfähigkeit bei Proteinen und Stärke (wirkt ausbeuteerhöhend) und das Vermögen zur Aufhellung der Brotkrume, die auf die bleichende Wirkung der Milchsäure zurückzuführen sei.

Fette

Für die Brotherstellung stehen, von der Zusammensetzung her, unterschiedliche Fette zur Verfügung:

- Fette und Öle, wie Olivenöl, Kokosfett, Schmalz, etc., oder
- Fettemulsionen, wie Butter oder Margarine.

Durch Zugabe von Speisefetten werden die Klebereigenschaften des Teiges verbessert und der Teig wird geschmeidiger und dehnfähiger. Fett hat sowohl auf die Verarbeitungseigenschaften des Teiges als auch dessen

Gärstabilität und Gärtoleranz positiven Einfluss. Brot- und Backwaren erhalten durch Fettzugabe einen höheren Genusswert und eine längere Frischhaltung, sowie eine feinere Krumenporung und teilweise ein größeres Volumen (Schünemann und Treu, 1993).

4.3.3 Teigreifung

„Teigreife ist der für die Teigaufbereitung günstigste Quell- und Gärzustand des Teiges“ (Schünemann und Treu, 1993). Die Teigreifung beginnt schon während des Knetprozesses und wird in der Phase der Teigruhe (Teig muss sich vor der Teigverarbeitung entspannen) fortgesetzt. Während der Teigreifung quellen die Teiginhaltsstoffe nach, wodurch der Teig mit fortschreitender Verquellung seine Klebrigkeit verliert und standfester wird. Der Teig erlangt die für die Verarbeitung nötige trockene Konsistenz und Plastizität. Außerdem wird der Hefestoffwechsel intensiviert, was zur Bildung von Teiglockerungsgasen und Aromavorstufen sowie Aromastoffen führt. Die Dauer der Teigreifung wird einerseits nach der Art der Teigbereitung (direkt oder indirekt), andererseits nach Intensität des Knetprozesses festgelegt (Dörfer et al., 1981). Im Laufe der Teigreifung sollen die durch den Knetprozess eingeleiteten Teigbildungs- und Quellvorgänge zum Abschluss kommen und die Hefe die erforderliche Triebleistung für die nachfolgende Stückgare und den Backprozess entwickelt haben.

4.3.4 Teigverarbeitung

Die Teigverarbeitung umfasst folgende Prozessstufen: Teigteilung, Rundwirken der Teigstücke, Zwischenreifung und Formgebung.

Die Teigteilung kann händisch oder maschinell erfolgen. Um die gewünschten Massen der fertigen Brote zu erzielen, werden die Massenverluste beim Backen der Teigstücke und beim Abkühlen und Lagern der Brote berücksichtigt.

Nachdem die Teigstücke gewogen und geteilt wurden, erfolgt das Rundwirken der Teiglinge, d.h., sie werden in eine kugelartige Form gebracht. Dies dient einerseits zur Beseitigung von Gärblasen und andererseits zur Erzielung einer regelmäßigen Teigbeschaffenheit sowie einer regelmäßigeren Porung des Endproduktes (Seibel und Spicher, 2004).

Die rundgewirkten Teigstücke benötigen vor der weiteren Formgebung eine Zwischenreifung, die der Entspannung und dem Angaren des Teiges dient (Seibel und Spicher, 2004). Während der Teigteilung und des sich anschließenden Rundwirkens bauen sich innere Spannungen im Teig auf, und einzelne Elemente des Kleberstrukturgerüsts werden zerstört. Damit sich die physikalischen Eigenschaften des Teiges nicht weiter durch mechanische Einwirkungen verschlechtern, ist eine Relaxationspause (Abbau der inneren Spannungen) erforderlich. Während der Zwischenreifung bilden sich die inneren Spannungen im Teig zurück, und die zerstörten Elemente der Teigstruktur werden teilweise wieder aufgebaut (Auerman, 1977). Die Dauer der Zwischengare (5 bis 30 min) sollte so gewählt werden, dass sie zu einer eindeutigen Verbesserung der Teigbeschaffenheit führt (Seibel und Spicher, 2004).

Nach der Zwischenreifung erfolgt die Formgebung, bei der die rundgewirkten Teigstücke ihre für die fertigen Erzeugnisse charakteristische Form bekommen.

4.3.5 Stückreifung

Bevor die geformten Teigstücke gebacken werden können, müssen sie einer Endgärung, oder auch Stückreifung genannt, unterzogen werden. Die Stückreifung dient primär der Teiglockerung und der Bildung weiterer Aromavorstufen sowie Aromastoffen. Ohne Stückreifung würden Brote mit fester, schlecht gelockerter Struktur und mit Rissen und Sprüngen auf der Kruste entstehen.

Um das Gärverhalten und die Teigentwicklung gezielt steuern zu können, sollte die Stückgare unter bestimmten klimatischen Verhältnissen erfolgen. Der

ideale Temperaturbereich liegt dabei zwischen 30 °C und 40 °C und die optimale relative Luftfeuchtigkeit sollte zwischen 60 % und 80 % betragen. Die Dauer der Stückreifung (30 bis 60 min) ist davon abhängig, ob die Teigformlinge freigeschoben oder in Kästen gebacken werden (Seibel und Spicher, 2004). Sie ist beendet, wenn die Teiglinge den gewünschten Lockerungsgrad, der zur Erzielung einer optimalen Brotqualität führt, erlangt haben. Man spricht in diesem Fall auch von Gärreife oder Ofenreife (Schünemann und Treu, 1993). Ist die gewünschte Gärreife festgestellt worden, kann mit der Vorbereitung der Teiglinge für den Backprozess begonnen werden.

4.3.6 Biochemie der Teigverarbeitung

Die Brotbereitung wird mit der Vermengung der einzelnen Teigzutaten gestartet. Nach Zugabe der Zugussflüssigkeit und der Hydratation der Proteine des Mehles werden die mehleigenen Enzyme (Amylasen, Proteasen und Peroxidasen) aktiv. Gleichzeitig werden auch Enzyme der zur Teiglockerung zugegebenen Mikroorganismen (Hefe bzw. Sauerteig) wirksam und es folgt eine fermentative Umwandlung der Mehlinhaltsstoffe. Die Mikroorganismen metabolisieren dabei hauptsächlich Kohlenhydrate (Glucose, Saccharose und Maltose), was aber primär ihrer eigenen Vermehrung dient. Durch den Abbau von Stärkepolysacchariden (durch Amylasen) wird laufend Maltose nachgeliefert, wodurch zusätzlich die mikrobielle Vermehrung begünstigt wird. Durch die einsetzenden fermentativen Prozesse kommt es zu einer verstärkten Produktion von CO₂, Alkohol und flüchtigen organischen Säuren, die allgemein zur Teiglockerung beitragen. Eine Verstärkung dieser Prozesse findet während der Teigruhe und dem anschließenden Backverlauf statt (Ebermann und Elmadfa, 2008).

4.4 Technologische Realisierung der Roggenteigerstellung

Die Verfahrensführung zur Herstellung von Roggen- und Roggenmischbrot unterscheidet sich von der zur Weizenbrotherstellung und ist in den unterschiedlichen Eigenschaften und Anteilen der Mehlinhaltsstoffe begründet (Dörfer et al., 1981). Roggenmehle enthalten mehr wasserbindende Schleimstoffe (Pentosane), die zu einer höheren Wasserbindung bei der Teigbereitung führen, die Teigausbeute dadurch erhöhen und schließlich die feuchte und kurze Teigbeschaffenheit des Roggenteiges bedingen. Man findet auch mehr aktive stärkeabbauende Enzyme (Amylasen) in Roggenmehlen. Der geringere Anteil an quellfähigen Proteinen führt zu einem geringeren Gashaltevermögen des Roggenteiges.

Die besonderen Eigenschaften des Roggens sind bei der Herstellung von roghenhaltigen Brot und Backwaren zu berücksichtigen. Es ist grundsätzlich festzustellen, dass Roggen ohne Säuerung nicht backfähig ist. Eine entsprechende Struktur im Teig würde sich ohne Säuerung nur schwer bilden. Während man aus Weizenmehl nach Zugabe von Wasser einen viskoelastischen, kohäsiven Teig kneten kann, wird die Bildung eines Klebergerüsts, das vorwiegend durch Kleberproteine und Lipide gebildet wird, bei Roggenteig durch die vermehrte Anwesenheit von Pentosanen und stärkeabbauenden Amylasen verhindert (Belitz et al., 2008). Durch Säuerung bei Roggenmehl wird hingegen der Quellungszustand der Pentosane und bestimmter Proteine so verändert, dass sie an der Gashaltung und damit an der Teiglockerung mitwirken können. Außerdem wird die Aktivität der Amylasen durch die Säure-Salz-Kombination bei Verwendung eines Sauerteiges geschwächt. Die Säuerung dient daher in erster Linie zur Erzielung der Backfähigkeit des Roggenmehles und der Lockerung des Teiges, des Weiteren der Ausbildung von charakteristischen Geruchs- und Geschmacksstoffen. Es werden normalerweise ein Anteil von 30 bis 40 % des Roggenmehles versäuert (Schünemann und Treu, 1993).

4.4.1 Säuerung von Roggenteig

Laut des Codex alimentarius austriacus (1966) ist demnach ein Sauerteig, „ein aus Mehl oder Schrot mit Wasser bereiteter, in saurer Gärung befindlicher Teig. Die Gärung und Säuerung kann entweder spontan erfolgen oder durch Zusatz einer über Reinzucht herangeführter Mischkultur von Sauerteighefen und Säurebildnern hervorgerufen werden. Nach Art des Entstehens von Sauerteig unterscheidet man daher Natursauer und Reinzuchtsauer.“

Für die Gewinnung eines Sauerteiges werden als Anstellgut - entnommene Menge aus einem Vollsauer, die für die Heranzüchtung eines neuen Sauerteiges verwendet wird - Spontansauerteig, Sauerteigstarter und Teigsäuerungsmittel (getrockneter Sauerteig und Sauerteigkonzentrat) als Möglichkeiten vorgeschlagen (Schünemann und Treu, 1993).

4.4.2 Sauerteigführung

Sauerteig kann nach verschiedenen Techniken geführt werden, entscheidend ist aber, dass dadurch genügend Milchsäurebakterien und Hefen gezüchtet werden, um eine geeignete Teigsäuerung und -lockerung zu gewährleisten. Die Sauerteigführungen unterscheiden sich erheblich im Zeitbedarf (von 3 bis 40 h Reifezeit) (Spicher und Stephan, 1993) und Anzahl der Stufen (einstufig oder mehrstufig). Die gängigsten Sauerteigführungsmethoden sind laut Spicher und Stephan (1993):

- Klassische Dreistufige Sauerteigführung (gliedert sich in Anfrischsauer, Grundsauer und Vollsauer)
 - Detmolder Dreistufenführung
- Zweistufensauerteigführung (gliedert sich in Grundsauer und Vollsauer, Anfrischsauer entfällt)
 - Detmolder Zweistufenführung
- Einstufensauerteigführung (nur in einer Stufe, dem Vollsauer, geführt)
 - Detmolder Einstufenführung

- Berliner Kursauerverfahren
- Monheimer-Salzsauer-Verfahren

4.4.3 Teigbereitung und Teigentwicklung

Es haben sich bei der Roggenteigherstellung, neben obiger Klassifizierung in verschiedene Stufen, drei Teigführungsarten herauskristallisiert, die sich in der Art der Säuerung unterscheiden: direkte Teigführung, indirekte Teigführung und kombinierte Teigführung.

Von direkter Teigführung spricht man, wenn ausschließlich teigsäuernde Backmittel zur Säuerung von roggenhaltigen Teigen verwendet werden. Teigsäuerungsmittel enthalten vor allem organische Genusssäuren (z.B. Milchsäure, Zitronensäure, Weinsäure) oder deren Salze. Sie werden als gesäuerte Quellmehle, saure Salze, getrocknete Sauerteigextrakte oder Sauerteigkonzentrate angeboten.

Bei der indirekten Teigführung wird über ein oder mehrere Stufen unter Verwendung von Sauerteig geführt.

Die kombinierte Führung wird mit Sauerteig und Säuerungsmittel durchgeführt und vereint die geschmacklichen Vorteile des Sauerteiges mit den Verarbeitungseigenschaften von teigsäuernden Backmitteln.

Die Roggenteigherstellung kann unabhängig von der Führungsart mit Langsam- und Schnellknetern erfolgen, wobei auf die geringe mechanische Belastbarkeit der Roggenteige geachtet und deshalb schonend gearbeitet werden sollte. Im Vergleich zur Weizenteigbereitung, muss bei Roggenteigen, auf Grund eines höheren Anteils an Pentosanen (binden große Mengen an Wasser), mehr Wasser zu gesetzt werden (Schünemann und Treu, 1993).

4.4.4 Teigreifung

Die Art der Teigführung ist für die Dauer der Teigreifung (Teigruhe) verantwortlich. Grundsätzlich lässt sich aber feststellen, dass bei der direkten

Führung eine längere Teigreife als bei den übrigen Führungsarten erforderlich ist (Auerman, 1977).

4.4.5 Teigverarbeitung

Die Aufarbeitung der Roggenteige muss schonend erfolgen, da eine geringere Strukturstabilität im Verhältnis zu Weizenteigen vorhanden ist. Sonst werden die gleichen Prozessstufen wie bei der Weizenteigverarbeitung angewandt: Teigteilung, Rundwirken der Teigstücke, Zwischenreifung und Formgebung (vgl. 4.3.4.). Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass Roggenteig im stärkeren Maße klebt als Weizenteig. Um Störungen beim Formen zu vermeiden, sollte die Teigoberfläche deshalb mit einem Mehlfilm eingestäubt werden (Schünemann und Treu, 1993).

4.4.6 Stückreifung

Der Fokus sollte auf eine geeignete Klimatisierung im Hinblick auf Temperatur und Luftfeuchtigkeit gelegt werden. Eine längere Stückreifung bei hoher Luftfeuchtigkeit ist für die Ausbildung eines optimalen Brotvolumens vorteilhaft. Es sei jedoch hervorzuheben, dass sowohl die Aufarbeitung als auch die anschließende Stückreifung von Roggenteigen stark von der Mehlmischung im Teig abhängig ist (Auerman, 1977).

4.5 Backprozess

Während des Backprozesses sollten sich die bei der Stückreifung gelockerten Teiglinge zu haltbaren, verdaulichen und wohlschmeckenden Gebäckstücken entwickeln. Das Backen ist ein endothermer Prozess, bei dem Wärmeenergie auf unterschiedliche Art auf die Teigstücke übertragen wird. Die äußere Wärmeübertragung bis zur Teigoberfläche erfolgt in gewöhnlichen Backöfen durch Strahlung, Konvektion oder Leitung. Die innere Wärmeübertragung im

Teigstück ist durch gekoppelte Wärme- und Stofftransporte gekennzeichnet (Dörfer et al., 1981). Der Temperaturverlauf (Anfangstemperatur, Abfall oder Anstieg der Temperatur im Laufe des Backprozesses) ist von entscheidender Bedeutung für das Backergebnis, da die im Teig enthaltenen Inhaltsstoffe im unterschiedlichen Maße durch die Temperatur beeinflusst werden. Es sollte deshalb auf eine individuelle und optimal abgestimmte Gestaltung der Temperaturführung geachtet werden, um den bestimmten Anforderungen jeder Brot- und Gebäckart gerecht zu werden. Die Backtemperatur liegt meistens zwischen 200 und 250 °C, wobei häufig mit hoher Anfangstemperatur und dann mit abfallender Hitze gebacken wird (Seibel und Spicher, 2004). Bei der Entwicklung spezieller Temperatur- und Feuchtigkeitsprofile ist auch auf die angewendete Verfahrensführung, den Backofentyp und die Backdauer zu achten, da diese wichtige Einflussgrößen darstellen.

Durch Schwadengabe - hierunter versteht man das Zuführen von Wasserdampf zu Beginn des Backprozesses, auch als „Schwaden“ oder „Wrasen“ bezeichnet - kann die Wasserdampfkonzentration im Backofen reguliert werden (Schünemann und Treu, 1993). Der Schwaden sorgt für eine feuchte Backatmosphäre und verhindert dadurch das Austrocknen der Randschichten des Teiges. Beim Beschwaden schlägt sich der Wasserdampf auf den noch kühlen Teig nieder, wobei es zur Bildung von Kondenswasser kommt, welches weiteres Reißen der Krustenhaut verhindert und das Brotvolumen positiv beeinflusst. Außerdem wird die Wärmeübertragung auf das Brot verbessert sowie die Krustenbräunung intensiviert. Die Brotkrume erreicht ihre höchste Temperatur bei 98 °C. Beim Erreichen der Siedetemperatur von Wasser (100 °C) wird die zugeführte Wärme zum Verdampfen des Teigwassers verbraucht, weshalb ein weiterer Temperaturanstieg in der Brotkrume nicht möglich ist (Schünemann und Treu, 1993).

Der Backprozess bei Roggen- und Roggenmischbroten weicht dem bei Weizen- und Weizenmischbroten geringfügig ab. So müssen Roggenhaltige Brote bei hoher Temperatur und viel Dampf gebacken werden. Außerdem muss bei Roggen- und Roggenmischbroten der Schwaden nach einer gewissen

Einwirkungszeit wieder aus dem Backraum abgezogen werden, da sonst Qualitätsmängel, wie beispielsweise gerissene Oberflächen, entstehen könnten (Schünemann und Treu, 1993).

4.5.1 Biochemie der Brotentwicklung

Im Verlauf der Umwandlung der aufgelockerten, rohen Teigstücke zu gut bekömmlichen, schmackhaften und möglichst haltbaren Gebäckstücken finden einige chemische und physikalische Veränderungen im Teig bzw. im Backstück statt. Diese werden vor allem durch die Wärmeenergie im Backofen hervorgerufen und führen dazu, dass sich die schaumige Textur des rohen Teiges in die schwammige Textur der Krume umwandelt. Außerdem kommt es zur Krustenbildung der Außenschicht des Teigformlings und zur Entwicklung einer Fülle an Aroma- und Geschmacksstoffen (Auerman, 1977).

Während des Backprozesses durchläuft der Teigling im Wesentlichen drei zeitlich aufeinanderfolgende Abschnitte um zu einem verzehrbaren Gebäckstück zu werden: Ofentrieb-, Krumenausbildungs- und Krustenausbildungsphase.

- Erste Phase: kontinuierlicher Temperaturanstieg (von anfänglicher Teigtemperatur von 30 °C bis 60-70 °C) (Seibel und Spicher, 2004); es finden intensive enzymatische Prozesse sowie intensive Ausdehnungen des in den Poren zurückgehaltenen CO₂ und somit Volumenzunahme statt. Außerdem kommt es zum Absterben von Hefen und anderen Mikroorganismen.
- Zweite Phase: im Temperaturbereich von 55 und 60 °C (bei Roggenteigen setzt die Stärkeverkleisterung früher ein) bis 90 °C kommt es zu einer intensiven Stärkequellung und -verkleisterung, sowie zur Denaturierung der Proteine (Seibel und Spicher, 2004). Außerdem erreicht die Amylaseaktivität ihren Höhepunkt (Temperatur-Optimum α-Amylase 65-90 °C, β-Amylase 56-74 °C) (Ebermann und Elmadfa, 2008).

- Dritte Phase: gekennzeichnet durch die Bildung von Bräunungs- und Geschmackstoffen vor allem in der Kruste. Während die Temperatur in der Brotkrume unter 100 °C bleibt, kommt es durch die hohen Temperaturen in den äußeren Partien der Teigstücke (100 bis 200 °C und mehr) zu einschneidenden Veränderungen gewisser Inhaltsstoffe. Im Vordergrund stehen nichtenzymatische Bräunungsreaktionen (Maillard-Reaktion), die zur Bildung von Röstprodukten führen. Diese sind unter anderem für die Brotfarbe, für das Aroma und den Brotgeschmack verantwortlich. Neben den Röststoffen tragen auch die beim Abbau von Stärke gebildeten Dextrine, Mono- und Disaccharide sowie bei Karamellisierungsreaktionen entstehende Stoffe zur Aroma- und Farbausbildung der Kruste bei (Ebermann und Elmadfa, 2008).

Nur durch richtig abgestimmte und durchgeführte Verfahrensstufen im Verlauf der Teig- und Brotentwicklung kann eine vollelastische, dabei aber flaumige, gut bindige und saftige Krume sowie rösche Kruste entstehen.

4.6 Technologische Realisierung der Gerstenbrotherstellung

4.6.1 Gerste - als Nichtbrotgetreide zur Verarbeitung in Brot und Backwaren geeignet?

Obwohl Gerste eine hervorragende Quelle für lösliche und unlösliche Ballaststoffe ist, spielt diese Getreideart im Vergleich zu Weizen – der in vielen Ländern die Hauptkomponente in Grundnahrungsmitteln darstellt - eine eher untergeordnete Rolle vor allem auf dem Sektor für Brot und Backwaren. Demzufolge wäre ein viel versprechender Weg Gerste vermehrt in Lebensmittel einzubinden, jener des funktionellen Bestandteiles in weizen- oder roggenhaltigen Produkten, wie Brot und Backwaren.

Die Beimischung von Gerste und Gerstenfraktionen zu verschiedenen Brotmehlen (vorrangig Weizen) führte schon früh zu zahlreichen widersprüchlichen Aussagen bezüglich einer möglichen Beeinflussung der Brotqualität. So wurde häufig berichtet, dass eine Zugabe von Gerstenkomponenten einen signifikanten Einfluss auf verschiedene Brotqualitätsparameter, wie Brotvolumen, Krumentextur, Krustenbildung und -farbe, sowie Geschmack hat (Jacobs et al., 2008; Izydorczyk et al., 2008; Grausgruber et al., 2008; Nagel-Held et al., 1997; Gerstenkorn et al., 1988; Brümmer et al., 1988; Magnus et al., 1987; Bhatty 1986).

Der Verlust der Brotqualität, der mit vermehrter Zugabe von Gerste assoziiert wird, ist so weit nicht überraschend, da man weiß, dass ballaststoffreiche Ingredienzien zur Verdünnung und Zerstörung des Glutennetzwerkes im Teig, zur Beeinflussung des Gasrückhaltevermögens und zur Veränderung der Brottextur sowie der Krustenbräunung führen können (Jacobs et al., 2008; Izydorczyk et al., 2008; Katina, 2003; Izydorczyk et al., 1995; Biliaderis et al., 1995).

Im Bereich der Brotherstellung kann die Getreideart Gerste einerseits als dominierende Komponente („Gerstenbrot“, also mehr als 20 % bezogen auf Weizen- und/ oder Roggenprodukte), andererseits als in Spuren vorkommender Rezepturbestandteil (z.B. 5 % Gerstenprodukt in Mehrkornbroten) eingesetzt werden (Nagel-Held et al., 1997).

Die Mehrzahl der in den letzten Jahren durchgeführten Studien mit Gerstenfraktionen strebte einen Prozentsatz von mindestens 20 an, da ab dieser Grenze zumindest in Deutschland ein Brot als Gerstenbrot eingestuft werden darf (DLG-Prüfbestimmungen, 2008). So unterschiedlich wie die Herstellungs- und Durchführungsarten, so konträr waren auch teilweise die Ergebnisse, zu denen folgende Beispielstudien kamen:

Bhatty (1986) und Cheigh (1979) waren der Meinung, dass man nicht mehr als 5 % (max. 10 %) des Weizenmehls durch Gerstenmehl ersetzen sollte. Sie postulierten, dass höhere Zugabengrade an Gerstenmehl mit einem verminderten Brotvolumen, einer Verdünnung des Glutennetzwerkes und einer

Beeinträchtigung des Gashaltevermögens verbunden waren. Folglich resultierten unansehnliche Brote.

Etwas höhere Zugabemengen mit akzeptablem Endergebnis brachten Prentice et al. (1979) in ihren Versuchen mit einer Nacktgerstenart, die reich an der Aminosäure Lysin war, hervor. Prentice et al. (1979) verarbeiteten die Nacktgerstefraktion in Frühstückscerealien, „Cookies“ und Brot. Obwohl das Brotvolumen im Vergleich zur Kontrolle geringer war, konnten jedoch bei 15 %igem Zusatz von Gerstenmehl ein zufrieden stellendes Backergebnis erzielt werden. In einer in Norwegen durchgeführte Studie von Magnus et al. (1987) versuchte man den Gerstenanteil durch Zugabe von Backfett und verlängerten Fermentationszeiten zu erhöhen. Es konnte gezeigt werden, dass 20 %ige Zugabemengen von Gerstemehl zu einem Mix aus Weizenmehl und Weizenvollkornmehl zu respektablen Broten führten. Es wurde jedoch hervorgehoben, dass man die Höhe des Gerstenanteiles durch Verwendung von Backfett und/oder verlängerten Fermentationszeiten steigern könnte. Zusätzlich könnte sich die Qualität der Brote durch Einsatz von Backfett erhöhen.

Dass die Verfahrensmethode bei der Herstellung von gerstenhaltigen Broten eine wichtige Rolle spielt, demonstrierten auch Jacobs et al. (2008). Sie versuchten aus zwei unterschiedlichen Weizenmehlsorten, denen jeweils 20 % einer ballaststoffreichen Nacktgerstefraktion zugesetzt wurde, durch Anwendung von drei verschiedenen Verfahrensformen qualitativ gesundheitsfördernde Brote herzustellen. Die beiden einstufig geführten Formen (Langfermentationsverfahren [„remix-to-peak baking“] und Kurzfermentationsverfahren [„Canadian short-process baking“]) eigneten sich nur bedingt für die Brotherstellung, wobei das „remix-to-peak baking“ deutlich bessere Resultate lieferte. Man vermutete, dass durch die längeren Fermentationszeiten eine prozentuell höhere Umverteilung der Wassermoleküle von den Nicht-Stärke-Polysaccachriden zu Gluten erfolgte, wodurch die Ausbildung eines Glutennetzwerkes effektiver gewährleistet werden konnte. Respektable Ergebnisse konnten jedoch nur mit dem zweistufig geführten Verfahren („sponge-and-dough“) erzielt werden. Jacobs et al. (2008) begründeten dies

durch den positiven Einfluss, den die Vorteigfermentation auf die Kleberentwicklung und Hydratation des Teiges ausübte. In einer weiteren Versuchsreihe erzielten sie noch bessere Ergebnisse mit dem gleichen Verfahren durch Anwendung von Xylanase in der Teigmischung. Sie bestätigten somit die Resultate von Trogh et al. (2004), die in ihren Versuchen mit Nacktgerstemehlfractionen demonstrierten, dass eine Zugabe von Xylanase das Brotvolumen, die Krumenstruktur und die Härte von ballaststoffreichen Broten verbesserte. Dennoch sollte bei der Anwendung von Xylanase auf eine sorgfältige Balance geachtet werden, um die Brotqualität zu optimieren ohne jedoch die Bearbeitbarkeit des Teiges zu beeinträchtigen. Es zeigte sich nämlich, dass Xylanase bei der Teigentwicklung das Fortschreiten einer möglichen Teigerweichung nicht zu stoppen, und noch viel gravierender, die Klebrigkeit des Teiges sogar zu verstärken vermochte (Katina, 2003; Basman et al., 2003). Al-Widyan et al. (2008) wiesen ebenfalls darauf hin, dass auf eine optimale Dosierung der Enzyme sowie auf eine geeignete Einsatzmethode geachtet werden sollte, um die Vorzüge von Xylanase in Hinblick auf die Brotqualität gezielt zu nutzen. Neben Xylanase können auch Amylasen und Proteasen zu einer Verbesserung des Brotvolumens und zu einer weicheren Krumenbeschaffenheit bei ballaststoffreichen Broten führen (Moss, 1989).

Ganz ohne enzymatische Zusätze kam die Versuchsreihe von Grausgruber et al. (2008) aus, wobei hier respektable Ergebnisse mit einer Gerstenmehlsubstitution von bis zu 25 % erzielt werden konnten. Grausgruber et al. (2008) bekräftigten die These von Jacobs et al. (2008), dass es durchaus machbar ist auch bei entsprechender Zugabe von Gerstenmehl ansprechende, luftig-lockere und wohlschmeckende Brote herzustellen. Allerdings müsse man auf „eine schonende Teigverarbeitung und bezüglich Zeit optimierte Gär-/Fermentationsphasen“ achten (Grausgruber et al., 2008).

Nagel-Held et al. (1997) konnten in ihren Backversuchen zeigen, dass auch entsprechend höhere (bis zu 40 %) Zugaben von Gerstenmehl möglich sind, ohne gravierende Einbußen in der Brotqualität zu verzeichnen. Erfolgreiche Ergebnisse mit verschiedenen Spelzgerstensorten und einer

Nacktgerstensorte konnten sowohl unter Verwendung von Hefeteig als auch von Sauerteig erzielt werden.

Bei Gerstenkorn et al. (1988) wurden ebenfalls mit Spelz- und Nacktgerstesorten, unter Verwendung von Sauerteig und Hefeteig, Untersuchungen durchgeführt, allerdings mit weitaus ernüchternden Ergebnissen. Es konnte festgestellt werden, dass eine Zugabe von 20 Teilen Gerstenschrot sowohl in der Hefeteigverarbeitung als auch unter Verwendung von Sauerteig zu akzeptablen Backresultaten führten. Man betonte jedoch ebenso wie Brümmer et al. (1988), um „den optischen Eindruck der Anreicherung mit einer Nicht-Brot-Getreideart hervorzuheben“ (Brümmer et al., 1988) wären gröbere Gerstenfraktionen den Mehlen vorzuziehen, „da in diesem Fall – relativ gesehen – kaum Unterschiede in den Backeigenschaften auftreten“ (Gerstenkorn et al., 1988). Dass dies nicht unbedingt immer zutrefte relativierte die von Nagel-Held et al. (1997) durchgeführte Studie.

Es gab auch Bestrebungen die Qualität von gerstenhaltigen Broten zu verbessern, indem man Gerstenfraktionen einem Wärmebehandlungs- und Extrusionsverfahren aussetzte (Gill et al., 2002a; Gill et al., 2002b). Ames et al. (2006) konnten demonstrieren, dass eine Infrarot Wärmebehandlung verschiedene positive Einflüsse auf das ganze Gerstenkorn sowie in gemahlener Form - in Abhängigkeit vom Genotyp, Grad und Dauer der Korntemperierung, sowie Zeit und Intensität der Infrarotwärme - haben kann. Beispielsweise konnten abbauende Enzyme im Korn stabilisiert, die ernährungsphysiologische Wirkung des Gerstenkornes optimiert (erhöhter Ballaststoffgehalt), sowie die Korntextur modifiziert werden. In ihren Versuchen konnten schlussendlich aus Gerste hergestellte, Infrarot wärmebehandelte Tortillas hergestellt werden, die sowohl ballaststoffreich als auch farbstabil waren. Durch Infrarot Wärmebehandlung könnte die Verwendung von Gerste in Lebensmitteln erweitert werden und so zu einer Erhöhung der täglichen Ballaststoffaufnahme beitragen.

4.6.2 Beeinflussung der Brotqualität durch β - Glucan und Pentosane

Die Zugabe von aufbereiteten Ballaststoffen zu Lebensmittel hat normalerweise das Ziel den Nährwertcharakter von diesen zu bessern. Man darf jedoch nicht außer Acht lassen, dass aufbereitete Ballaststoffe neben physiologischen Eigenschaften auch technologisch funktionelle mit sich bringen, und dass deren Zugabe sowohl Herstellung und Verarbeitung von Lebensmitteln als auch deren Textur, Farbe, Aroma und Geschmack ändern können (Izydorczyk et al., 2008). Man weiß heute, dass vor allem β -Glucane und Pentosane die Qualität von Brot und Backwaren im erheblichen Maße mit beeinflussen können. Die Beimengung dieser zu Brot und Backwaren zeigte, dass die Eigenschaften der Produkte (Backfähigkeit, Wasserbindungskapazität, Textur und Aussehen) in engem Zusammenhang mit der Konzentration, dem Molekulargewicht und der Struktur der Polysaccharide stehen (Lazaridou und Biliaderis, 2007).

Während bestimmte Stärke- und Proteincharakteristiken Gerste für deren Verwendung in Nahrungsmitteln ausschließen, könnten im Vergleich dazu der Gehalt und die Wirkung von β -Glucan und Pentosanen eine tragende Rolle im Ausmaß und Umfang der Anwendung in Lebensmitteln spielen.

Es wurden zahlreiche Ansichten über die funktionelle Rolle der Pentosane, allem voran ihre Funktion bei der Brotherstellung, verlautbart. Die Meinungen bezüglich ihres positiven oder negativen Nutzens im Brotteig gehen jedoch teilweise gravierend auseinander (Biliaderis et al., 1995; Izydorczyk et al., 1995). Biliaderis et al. (1995) meinten, dass die Gründe hierfür bei folgenden Faktoren liegen könnten: Unterschiede im Reinheitsgrad und Aufbau der Pentosanpräparate, Grad der Beimengung, Unterschiede im Wassergehalt zwischen Kontroll- und Versuchsbrot, sowie unterschiedliche Backsysteme.

Biliaderis et al. (1995) konnten beispielsweise zeigen, dass die Zugabe von geringen Mengen an aufbereiteten, hochmolekular wasserlöslichen Pentosanen zu Weizenmehl die Viskosität des Teiges erhöhte, und außerdem positive Effekte auf die Teigstruktur und –stabilität, sowie auf das Brotvolumen hatte.

Hingegen verursachten höhere Zugaben von Pentosanen - über das Optimum hinaus - einen Viskositätsschwund und ein geringeres Brotvolumen. Wenngleich nur zwei verschiedene Pentosanfraktionen und zwei unterschiedliche Weizensorten für die Backversuche verwendet wurden, konnte eindeutig festgehalten werden, dass sowohl die Menge an Pentosanen, deren Molekülgröße als auch die Qualität der eingesetzten Mehle eine bedeutende Rolle in den Ergebnissen spielten.

Auf der anderen Seite konnte festgestellt werden, dass wasserunlösliche Arabinoxylane, gleichgültig in welchem Maße zugesetzt, die Brotqualität mindern (Izydorczyk et al., 2008, Courtin und Delcour, 2002).

Sowohl Jacobs et al. (2008) als auch Symons und Brennan (2004) konnten zeigen, dass kleine Mengen von konzentriertem β -Glucan-Extrakten aus Gerste, bei Zudosierung zu einer Weizenteigmischung, signifikant das Brotvolumen reduzierte, sowie das Aussehen und die Krumenstruktur negativ beeinträchtigte. Man wies jedoch daraufhin, dass das eingesetzte β -Glucan ein wasserlösliches Extrakt war und deshalb nicht zu vergleichen sei mit jenem zum größten Teil in Gerste vorliegenden unlöslichen β -Glucan, welches wahrscheinlich die Brotqualität im geringeren Maße beeinträchtigen dürfte. Resultate oder gar Beweise hierzu konnten nicht erbracht werden (Jacobs et al., 2008). Brennan und Cleary (2005) postulierten ebenfalls, dass extrahiertes, wasserlösliches β -Glucan sich eher negativ auf das Brotvolumen auswirkte, wenngleich ihr Effekt von der Zugabenhöhe zu Weizenmehl und der Qualität des Weizenmehles abhängig war.

Es konnte des Weiteren gezeigt werden, dass neben der Konzentration auch das Molekulargewicht des isolierten β -Glucans eine wesentliche Rolle bei der Herstellung von Brot und Backwaren spielte (Cleary et al., 2007; Skendi et al., 2006).

Gill et al. (2002a) begründeten das verminderte Brotvolumen und die festere Krumenstruktur von gerstenhaltigen Broten darin, dass β -Glucan Wasser im Teig fest bindet und dadurch die Verfügbarkeit von Wasser zur Ausbildung eines Glutennetzwerkes reduziert. Nagel-Held et al. (1997) konnten allerdings keinen Zusammenhang zwischen Backergebnis und β -Glucangehalt der

verwendeten Gerstenmahlfraktionen beobachten. Man stellte sogar die Vermutung an, dass „ein ernährungsphysiologisch erwünschter, hoher β -Glucangehalt keine negativen backtechnischen Folgen haben wird“ (Nagel-Held et al., 1997). Man wies jedoch darauf hin, dass „der mögliche Abbau von β -Glucanen in der Teigphase durch im Mahlprodukt enthaltene β -Glucanasen“ untersucht werden müsste (Nagel- Held et al., 1997).

4.6.3 Auswirkungen von Verfahrensprozessen auf die gesundheitsfördernden und rheologischen Eigenschaften von β - Glucan

Der gesundheitliche Nutzen den β -Glucan reichhaltige Produkte mit sich bringen, wurde in den letzten Jahrzehnten oftmals in zahlreichen Forschungsergebnissen bestätigt (vgl. Kap. 3.4.). Hingegen welche Auswirkungen der Herstellungs- und Verarbeitungsprozess auf die rheologische und ernährungsphysiologische Charakteristik des β -Glucans hat, darüber herrschen noch einige Unklarheiten. Brennan und Cleary (2005) vermuten, dass Verarbeitungsprozesse (z.B. bei der Herstellung von β -Glucan haltigen Brotteigen) die molekularen (chemische Struktur und Grad der Polymerisation), strukturellen (molekulare Interaktionen) und funktionellen Eigenschaften (Viskosität, Wasserbindungskapazität und Löslichkeit) des β -Glucans beeinflussen könnten. Daraus resultierend, könnten der sensorische, physiologische und letztendlich der gesundheitliche Nutzen des β -Glucans gemindert werden. Vor allem mechanische Verarbeitungsvorgänge (Wood et al. 1989) sowie Wärmebehandlung des Getreidekornes können zu Veränderung der Eigenschaften bzw. Wirkung des β -Glucans führen. Andersson et al. (2004) konnten zeigen, dass das durchschnittliche Molekulargewicht des β -Glucans während der Mischung von Teigzutaten sowie im Zeitraum der Fermentation deutlich sank. Folgende Schlüsse wurden daraus gezogen: Die Mischungs- und Fermentationszeit sollte so kurz als möglich gehalten werden, um den gesundheitlichen Nutzen, den β -Glucan reiche Produkte mit sich bringen, zu erhalten. Es konnten keine weiteren Beeinträchtigen

des β -Glucans im Verlauf der Brotherstellung – vom fermentierten Teig zum fertigen Brot – beobachtet werden, was vermuten lässt, dass der Backprozess keinen gravierenden Einfluss auf das Molekulargewicht haben dürfte. Allerdings liegen keine Daten darüber vor, welche Auswirkungen verkürzte Mischungs- und Fermentationszeiten auf den Geschmack und Geruch des Endproduktes Brot hatten.

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Durch das in den letzten Jahren aufkommende, ständig steigende Gesundheitsbewusstsein der europäischen Bevölkerung könnte das heute noch immer in vielen Kulturen verwendete Grundnahrungsmittel Gerste durch seine wertvollen Inhaltsstoffe, allen voran β -Glucan, ein Revival erleben. Durch Erlangung eines health-claims in den Vereinigten Staaten von Amerika wurde β -Glucan in kürzester Zeit zu einem verheißungsvollen Studienobjekt. Auf Grund der präventiven Wirkung des β -Glucans gegen ernährungsbedingte und -assoziierte Erkrankungen könnte dieses Faktum den Verbraucher inspirieren vermehrt ballaststoffreiche Getreideprodukte zu konsumieren. Dabei würde neben Hafer auch Gerste eine wichtige Rolle spielen, weil vor allem in diesen beiden Getreidearten vermehrt β -Glucan vorhanden ist. Doch leider fiel Gerste als Brotgetreide, unter anderem wegen solch eines wertvollen Inhaltsstoffes, in Ungnade, da man schon früh erkannte, dass sich aus Weizen und Roggen qualitativ besseres Brot herstellen lässt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass ein steigender Grad an Nicht-Stärke-Polysacchariden durchaus mit einer verminderten Brotqualität in Verbindung gebracht werden kann, jedoch ist der gesundheitliche Vorteil dieser bedeutenden Ballaststoffkomponenten bei Weitem höher zu bewerten.

In den letzten Jahren konnten einige Ansätze und auch sehr erfolgreiche Resultate mit Brotbackversuchen aus Gerstenmehl erzielt werden. Qualitativ geschmackliche und ansehnliche Produkte resultierten allerdings nur, wenn gewisse Prozentsätze von Gerste zu Weizen- oder Roggenmehlmischungen zugesetzt wurden. Ein 100 % Gerstenbrot scheint im Moment für industrielle Massenproduktion nicht realisierbar zu sein, da Gerste keine vergleichbaren, backfähigen Eigenschaften aufweist wie Weizen und Roggen. Man könnte sicherlich mit Hilfe von diversen Zusatzstoffen und unter Einsatz von Enzymen zu gewünscht höheren Prozentsätzen kommen, jedoch würden diese Brote in keinem Zusammenhang mit dem im Moment herrschenden Boom „zurück zum Ursprung, zurück zur Natur“ stehen.

6 AUFGABENSTELLUNG

Die vorliegende Arbeit ist Teil eines umfangreichen Forschungsprojektes. In diesem wird in drei Arbeitsbereichen (Analytik, Selektion und Produktion) versucht ernährungsphysiologisches, technologisches und agrarökonomisches Fachwissen zu kombinieren, um neue zukunftsweisende Ansätze im Bereich der Getreidetechnologie zu bieten. Die Hauptrolle in diesem Projekt spielt die zum Teil in Vergessenheit geratene Nacktgerste, die sowohl interessante technologische als auch ernährungsphysiologisch bedeutende Eigenschaften mit sich bringt.

Ihren Beitrag zu diesem Projekt sollte die vorliegende Diplomarbeit darin leisten, dass aus einer selektierten gefärbten Nacktgerste-Genotype Mahlfraktionen hergestellt, diese zu einer homogenen Mehlmischung zusammengefasst und in weiterer Folge als Grundzutat für die Entwicklung von gerstenhaltigen Broten eingesetzt werden. Anhand von Vor- und Hauptversuchen sollten optimale Prozessabläufe und geeignete Zusatzstoffe etabliert werden, die schlussendlich zu einem Brotprodukt führen sollten, das sich durch einen hohen Nacktgerstenmehlanteil und brotähnliche Textur- und Geschmackseigenschaften auszeichnen.

Es war auf folgende Schwerpunkte Wert zu legen:

1. Ausgehend von einem Mischungsverhältnis von 20 % Weizenmehl und 80 % Gerstenmehl sollte ein Herantasten an die Herstellung eines Kastenbrotes erfolgen, welches aus 100 % Gerstenmehl bestehen sollte.
2. Es sollte versucht werden mit einer geringen Anzahl von Zutaten auszukommen, um Brote herzustellen, die eine brotähnliche Textur sowie einen aromatischen Geschmack und Geruch aufweisen.
3. Außerdem sollte Augenmerk darauf gelegt werden, welchen Einfluss die Rohstoffe bzw. der Herstellungsprozess auf das Erscheinungsbild der Brote haben.

7 MATERIAL UND METHODEN

7.1 Verwendete Rohstoffe und Zutaten

7.1.1 Gelbkörnige Nacktgerste

Für die Herstellung der Versuchsbrote wurde im Rahmen dieser Diplomarbeit ausschließlich mit dem Genotyp Hiberna (Erntejahr 2008), einer gelbkörnigen Nacktgerste, gearbeitet. Die unter Bedingungen des konventionellen Landbaus gezüchtete Nacktgerste wurde von den Versuchsfeldern in Raasdorf (16°35' E, 48°13' N) der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur, Groß-Enzersdorf bezogen.

7.1.2 Sonstige verwendete Backzutaten

- Backmargarine [SPEZIALMARGARINE UNGEHÄRTET, Block zu 2,5 kg; Zutaten: Pflanzliche Fette und Öle (ungehärtet), Wasser, Speisesalz (0,1%), Emulgator (Zitronensäureester von Mono- und Diglyceriden von Speisefettsäuren, Mono- und Diglyceride von Speisefettsäuren, Säuerungsmittel Zitronensäure, Aroma natürlich; Art. Nr.:1312420; SENNA Nahrungsmittel, Ö]
- Malzmehl (STAMAG Stadlauer Malzfabrik GesmbH, Ö)
- Quellmehl (RISOFARIN-Weizenquellmehl; Zutaten: Weizenmehl, -speisekleie; Art. Nr. 02921; STAMAG Stadlauer Malzfabrik GesmbH, Ö)
- Säuerungsmittel (DIAROL-konzentriertes Teigsäuerungsmittel; Zutaten: Säuerungsmittel Zitronensäure, Säureregulator Monocalciumphosphat, Weizenmehl; Art. Nr. 02739; STAMAG Stadlauer Malzfabrik GesmbH, Ö)
- Speisesalz fein, jodiert (Gustosal Salinen, Ö)
- Trockenhefe (Saf-Instant Hefe, S.I. Lesaffre 59703 Marq, FR)
- Weizenmehl (Typ W 480 glatt, Fa. Vonwiller, Ö)

- Wiener Hochquellwasser aus der Leitung
- Zucker (Feinkristallzucker - Wiener Zucker, AGRANA Zucker GsmBH, Ö)

7.2 Vermahlung

7.2.1 Prinzip

Die technische Ausführung einer Getreidemühle hängt in erster Linie von der Struktur des Mahlgutes und vom gewünschten Endprodukt (Vermahlungsziel) ab. Die Vermahlungsstrategie bei der Herstellung von hellen Mehlen ist dahingehend ausgerichtet, dass die Kornstruktur zunächst unter weitgehender Schonung der Schalenteile aufgebrochen wird und gleichzeitig der Mehlkörper aus der Schale herausgelöst wird. Die großstückigen Schalenteile werden dann als Kleie abgesiebt bzw. abgetrennt und die Endospermzellen stufenweise weiter zerkleinert, bis sie als Mehl oder Futtermehl anfallen.

7.2.2 Verwendete Geräte

- Magnetabscheider (Goudsmit magnetic systems, AALST-WAALRE, BL)
- Mischer in Wels (Patterson Kelley V-Mischer, Inhalt 85 Liter, USA)
- Plastiksäcke (50 kg)
- Umluft-Trockenschrank (Memmert UFE 600, Schwabach, D)
- Vermahlungsautomat (Labor-Mahlautomat MLU-202, der Fa. Bühler, D)
- Waage ± 50 g (Karl Ollinger, SNR 2241997, D)

7.2.3 Durchführung

7.2.3.1 Probenvorbereitung

Aufgrund von Verunreinigungen des Getreides, musste dieses vor der Konditionierung bzw. in weiterer Folge der Vermahlung von Unkrautgräsern und Steinen befreit werden. Dazu wurde das Getreide portionsweise durch einen Magnetabscheider geschickt und anschließend manuell von vorhandenen Gräsern gesäubert.

Die Durchführung der Vortrocknung der dafür bestimmten Menge an gelbkörniger Nacktgerste erfolgte im Umluft-Trockenschrank. Die Nacktgerste wurde dabei bis zu einem Feuchtigkeitsgehalt von 7,56 % herunter getrocknet.

Für die Vorversuche wurde sowohl unbehandeltes Getreide (Ausgangsfeuchte 13,5 %) als auch vorgetrocknetes Getreide (7,56 % Ausgangsfeuchte) definiert benetzt. Aus Tab. 1 sind die Beschaffenheit des Kornes vor und nach der Konditionierung ersichtlich.

Tab. 1: Feuchtigkeitsgehalte [%] der zu vermahlenden Nacktgerste.

Feuchtigkeit des Kornes				
vor		und	nach der Konditionierung	
Beschaffenheit des Kornes	Feuchte		Konditionierungszeit	Feuchte
Nativ ¹	13,5 %	⇨	-	13,5 %
Nativ ¹	13,5 %	⇨	1 h	14,5 %
Nativ ¹	13,5 %	⇨	9 ^{1/2} h	14,5 %
Trocken ²	7,56 %	⇨	-	7,56 %
Trocken ²	7,56 %	⇨	1 h	8,56 %

¹ Nacktgerste unbehandelt

² Nacktgerste vorgetrocknet

Die zum Anfeuchten benötigte Wassermenge wurde nach Gl.1 berechnet.

$$\text{benötigte Wassermenge [ml]} = GM \cdot \frac{EF - AF}{100 - EF} \quad (\text{Gl. 1})$$

GM zu benetzende Getreidemenge [g]

EF Endfeuchte [%]

AF Ausgangsfeuchte [%]

Im Hauptversuch wurde die gesamte Getreidemenge von 180 kg von 13,5 % auf 14,5 % Feuchte konditioniert. Die verwendende Menge an Wasser wurde nach Gl. 1 berechnet. Nach sorgfältigem Verschließen der Säcke wurden diese in zweistündigen Zeitabständen insgesamt dreimal per Hand kräftig geschüttelt, um eine gleichmäßige Benetzung des Getreides zu ermöglichen.

7.2.3.2 Vermahlung

Das primäre Ziel der Vorversuche war es, genügend Mehl für die Backversuche zu gewinnen. Außerdem wurde versucht herauszufinden bei welchem Feuchtigkeitsgehalt des zu vermahlenden Kornes die höchste Mehlausbeute erzielt werden kann.

Der Hauptversuch diente ausschließlich der Gewinnung von Mehl für die Backversuche.

Die Vermahlung wurde in der Versuchsmühle der HTL für Lebensmitteltechnologie in Wels (OÖ) am Vermahlungsautomat der Fa. Bühler (vgl. Abb.9) durchgeführt.



Abb. 9: Vermahlungsautomat der Fa Bühler.

Das Vermahlungsschema und die daraus ersichtlichen Mahlbedingungen sind in Abb. 10 dargestellt. Der Walzenstuhl ist mit geriffelten Walzen (für die Mahlpassagen B1, B2 und B3) und mit glatten Walzen (für die Mahlpassagen C1, C2 und C3) ausgestattet.

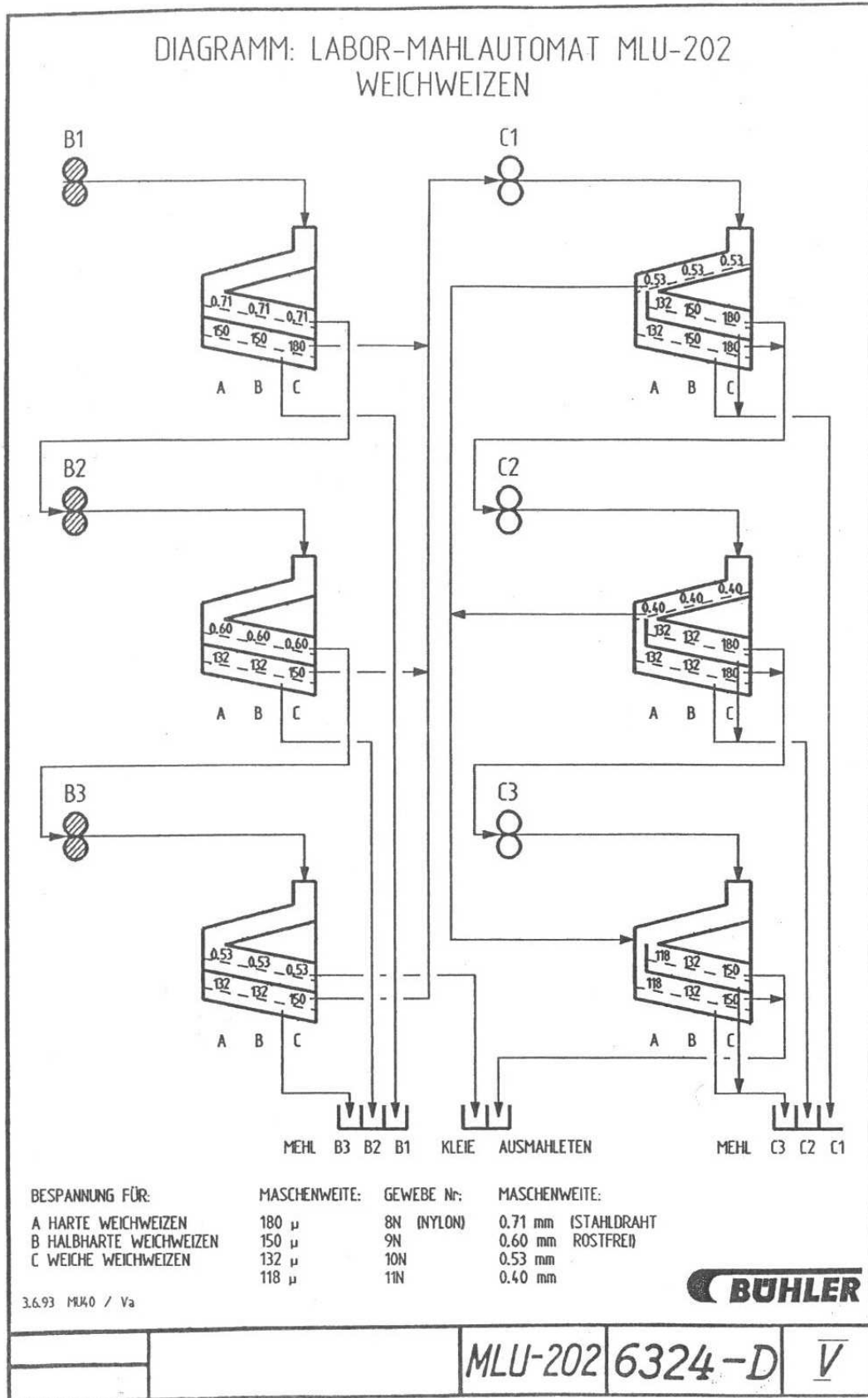


Abb. 10: Vermahlungsschema des Vermahlungsautomaten (bereitgestellt von HTL für Lebensmitteltechnologie in Wels, o.J.).

Die gewählten Einstellungen der Mahlspalte basierten auf Erfahrungswerten. Aus Tab. 2 bis Tab. 4 gehen die gewählten Abstände zwischen den einzelnen Mahlspalten hervor, wobei die Einstellungen aus Tab. 2 und Tab. 3 bei dem Vorversuch zu tragen kamen und jene aus Tab. 4 beim Hauptversuch.

Tab. 2: Gewählte Einstellungen zur Vermahlung der vorgetrockneten Nacktgerste (Vorversuch).

Mahlspalt von	Abstand zwischen den Walzen in μm
B1	250
B2	80
B3	80
C1	80
C2	100
C3	100

Tab. 3: Gewählte Einstellungen zur Vermahlung der nativen Nacktgerste (Vorversuch).

Mahlspalt von	Abstand zwischen den Walzen in μm
B1	150
B2	80
B3	80
C1	80
C2	100
C3	100

Tab. 4: Gewählte Einstellungen zur Vermahlung der nativen Nacktgerste (Hauptversuch).

Mahlspalt von	Abstand zwischen den Walzen in μm
B1	200
B2	100
B3	100
C1	80
C2	80
C3	80

Auf Grund von Materialmangel wurden sämtliche erhaltenen Mehlfraktionen (B1 bis C3) zusammengemischt. Die Homogenisierung erfolgte in einem speziell für Getreideprodukte vorgesehenen Mischer in der Versuchsmühle in Wels. Die separat anfallenden Fraktionen von Kleie und Futtermehl wurden getrennt in Plastiksäcke gefüllt. Die erhaltenen Mahlfraktionen sind aus Abb. 11

ersichtlich. Das gesamte erhaltene Material wurde verpackt und im Kühlraum bei 4 °C trocken gelagert.



Abb. 11: Mahlfractionen (aus Hauptversuch).

7.2.4 Auswertung

Sowohl für den Vorversuch als auch für den Hauptversuch wurde die Ausbeute der einzelnen Mahlfractionen ermittelt.

7.3 Analytische Methoden

Zur Charakterisierung des erhaltenen Nacktgerstemehles wurde dieses auf seinen Trockensubstanz-, Asche- und Proteingehalt untersucht.

7.3.1 Bestimmung der Trockensubstanz (nach ICC-Standard 110/1)

7.3.1.1 Prinzip

Die Trockensubstanz eines Stoffes umfasst sämtliche seiner organischen und mineralischen Bestandteile, die nach vollständigem Entzug des Wassers verbleiben. Zur Ermittlung der Trockensubstanz wird das zu untersuchende

Material bei normalem Luftdruck im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

7.3.2.2 Verwendete Materialien und Geräte

- Analysenwaage Genauigkeit: $\pm 0,1$ mg (Sartorius BP210S, D)
- Aluschalen
- Exsikkator mit Silicagel
- Tiegelzange
- Trockenschrank (Typ UT6060, Heraeus, D)

7.3.2.3 Durchführung

Für die Bestimmung wurden $4 \text{ g} \pm 1 \text{ mg}$ Probe in eine konstant getrocknete, ausgewogene Aluschale eingewogen. Die Aluschale samt Probe wurde anschließend im Trockenschrank bei $105 \text{ }^\circ\text{C}$ über Nacht getrocknet (bis zur Gewichtskonstanz) und am nächsten Tag zur Abkühlung auf Raumtemperatur in den Exsikkator für rund 2 h gestellt. Im Anschluss wurde die Aluschale mit der Probe ausgewogen und die Trockensubstanz nach Gl. 2 berechnet. Die Analysen wurden im Dreifachansatz bestimmt.

7.3.2.4 Berechnung

$$\text{Trockensubstanz [\%]} = \frac{m_1 - m_2}{EW} \cdot 100 \quad (\text{Gl. 2})$$

m_1 Auswaage [g]

m_2 Aluschale leer [g]

EWEinwaage [g]

7.3.3 Bestimmung des Aschegehaltes (nach ICC-Standard 104/1)

7.3.3.1 Prinzip

Unter Asche wird der mineralische Rückstand einer veraschten Probe verstanden. Die Probe wird langsam und vorsichtig verascht und anschließend im Muffelofen ausgeglüht bis der Rückstand eine weiß-graue Farbe angenommen hat.

7.3.3.2 Verwendete Materialien und Geräte

- Analysenwaage Genauigkeit: $\pm 0,1$ mg (Sartorius BP210S, D)
- Exsikkator mit Silicagel
- Muffelofen (Typ ELF 11/6B, Fa. Carbolite, GB)
- Porzellantiegel
- Schnellverascher (Typ SVR/E, 220 V, CH)
- Tiegelzange

7.3.3.3 Durchführung

Für die Bestimmung wurden $2 \text{ g} \pm 1 \text{ mg}$ Probe in einen vorher ausgeglühten, abgekühlten und ausgewogenen Porzellantiegel auf der Analysenwaage eingewogen. Im Anschluss wurde das Untersuchungsmaterial im Abzug in einem Schnellverascher für 2 h und 10 min vorverascht. Um eine mögliche Entflammung der Probe zu verhindern, wurde die Leistung des Gerätes, im Verlauf der Vorveraschung, alle 20 min schrittweise gesteigert (beginnend mit 20 % und endend mit 60 % der Leistung des Gerätes). Die brennheißen Porzellantiegel wurden dann in den vorgeheizten Muffelofen (Vorheizen auf 300 °C) überführt, wo sie 4 h bei langsam ansteigender Temperatur (alle 30 min Temperaturerhöhung um 100 °C bis 700 °C, dann 2 h auf 700 °C halten) verblieben. Nach Verstreichen der Glühzeit wurde die Probe noch eine Stunde im

abgeschalteten Muffelofen belassen und anschließend zur weiteren Abkühlung auf Raumtemperatur für ca. 2 h in den Exsikkator gestellt. Danach wurde die Probe ausgewogen und der Aschegehalt nach Gl. 3 berechnet. Die Bestimmung erfolgte im Doppelansatz.

7.3.3.4 Berechnung

$$\text{Aschegehalt [\%]} = \frac{m_1 - m_2}{EW} \cdot 100 \quad (\text{Gl. 3})$$

m_1 Auswaage [g]

m_2 Porzellanschale leer [g]

EWEinwaage [g]

7.3.4 Bestimmung des Rohproteingehaltes nach Kjeldahl (nach ICC-Standard 105/2)

7.3.4.1 Prinzip

Die analytische Erfassung des Rohproteingehaltes (Gesamtprotein) einer Substanz erfolgt über die Bestimmung ihres Stickstoffanteils nach dem Kjeldahlverfahren. Die organische Substanz wird dabei mit konzentrierter Schwefelsäure unter Verwendung eines Katalysatorgemisches oxidativ aufgeschlossen. Aus dem entstandenen Ammoniumsulfat wird der nach Zusatz von NaOH freigesetzte Ammoniak mit Hilfe einer Wasserdampfdestillation in eine Vorlage mit Borsäurelösung mit Mischindikator überdestilliert und anschließend durch Titration mit 0,1 N HCl bestimmt. Der Proteingehalt der Substanz kann alsdann unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Stickstoffanteils der vorliegenden Proteinart errechnet werden.

7.3.4.2 Verwendete Geräte und Reagentien

- Abwägeschiffchen
- Analysenwaage Genauigkeit: $\pm 0,1$ mg (Sartorius BP210S, D)
- Aufschlußeinrichtung (BÜCHI Digest System K437, CH)
- Destillationseinrichtung (BÜCHI 411 Scrubber, CH)
- Erlenmeyerkolben: 300 ml
- Glasperlen
- Langhalskolben (Kjeldahl-Kolben): 250 ml
- Titrationseinrichtung (Metrohm 775-Dosimat, CH)
- Borsäure 2 % vol. (Nr. 6943.1, Fa. Roth, D)
- 0,1 mol/L HCl (Nr. 1.09973.0001, Fa. Merck, D)
- Kjeldahl-Tabletten (5 g / Tablette, quecksilber- und selenfrei, Nr. 1.15348.1000, Fa. Merck, D)
- Mischindikator nach SHER (Nr. 003512, Fa. BÜCHI, CH)
- Natronlauge 32 % vol. (Nr. T197.3, Fa. Roth, D)
- Schwefelsäure 95 % vol. (Nr. 20685.364, EC)

7.3.4.3 Durchführung

Aufschluss

Es wurden 1 g \pm 1 mg der Probe in ein Wägeschiffchen eingewogen und vollständig in einen trockenen mit einer Glaskugel versehenen Kjeldahl-Kolben quantitativ überführt. Anschließend wurden eine Katalysator-Tablette (Kjeldahl-Tablette) sowie 20 ml stickstofffreie Schwefelsäure eingebracht. Um das gesamte Material mit Schwefelsäure zu benetzen, musste der Inhalt des Kjeldahl-Kolbens vorsichtig umgeschwenkt werden. Danach wurde der Kolben mit der Absaugeinheit verbunden und in der Aufschlussapparatur im Abzug langsam erwärmt. Um starkes Schäumen bzw. Überkochen zu verhindern wurde mit einer niedrigen Anfangstemperatur (200 °C) begonnen. Die Temperatur wurde sukzessiv auf 420 °C gesteigert und die Aufschlusslösung schließlich so lange

am Kochen gehalten bis sie klar und schwach bläulich-grün gefärbt war. Nach 30 min Nacherhitzungszeit wurde die Lösung zum Abkühlen stehen gelassen.

Destillation

Der Kjeldahl-Kolben samt Aufschlusslösung wurde an die Destillationsapparatur angeschlossen und die Destillation gestartet. Dabei wurden 40 ml dest. Wasser und 60 ml stickstofffreie NaOH (33%ig) automatisch vom Apparat zu dosiert. Das Destillat wurde in einer Vorlage von 20 ml Borsäurelösung (2%ig), in welche 1-2 Tropfen Sher-Mischindikator zugetropft wurden, aufgefangen.

Titration

Das Wasserdampfdestillat wurde mit 0,1 N HCl bis zum ersten Farbumschlag (von grün nach blau) schnell und dann bis zum zweiten Farbumschlag (von blau nach grau-braun) tropfenweise titriert. Das Ergebnis des HCl-Verbrauches wurde für die Berechnung des Stickstoffgehaltes nach Gl. 4 und in weiterer Folge des Proteingehaltes nach Gl. 5 herangezogen.

7.3.4.4 Berechnung

$$\text{Stickstoffgehalt [\%]} = \frac{V \cdot 14,008 \cdot 0,1}{EW \cdot 1000} \quad (\text{Gl. 4})$$

V Verbrauch an 0,1 N HCl [ml]

EW Einwaage [g]

14,008... Molekulargewicht von N

0,1 c (HCl) = 0,1 mol/l

1000..... Umrechnungsfaktor [mol/L] auf [mol/mL]

$$\text{Protein [g]} = N \cdot 5,83 \quad (\text{Gl. 5})$$

N..... Stickstoffgehalt [%]

5,83..... Umrechnungsfaktor von [%] N auf [%] Protein

7.3.5 Bestimmung des pH-Wertes

7.3.5.1 Prinzip

Der pH-Wert ist ein Maß für die Stärke der sauren bzw. basischen Wirkung einer Lösung. Die Bestimmung des pH-Wertes wird elektrometrisch mit einem pH-Messgerät mit Messelektrode durchgeführt. Dabei wird die elektrische Spannung zwischen der Bezugselektrode und der Lösung gemessen.

7.3.5.2 Verwendete Geräte und Reagenzien

- Becherglas: 250 ml
- pH-Meter (Typ-1120, Mettler Toledo, D)
- destilliertes Wasser

7.3.5.3 Durchführung

Im Zuge dieser Diplomarbeit wurde eine pH-Wert Messung nur bei den 100 %igen Gerstenmehlteigen der Hauptversuchsreihe durchgeführt.

Vor Beginn der Messung wurde die Messelektrode aus dem Elektrodenköcher entnommen und mit destilliertem Wasser gereinigt. Im Anschluss wurde der pH-Wert durch Einstechen der Messelektrode an unterschiedlichen Stellen des Teigklumpens ermittelt. Nach erfolgter Messung wurde die Messelektrode feinsäuberlich gereinigt und zurück in den Elektrodenköcher gesteckt.

7.3.5.4 Auswertung

Die Ergebnisse der pH-Wertmessungen wurden in Form eines Säulendiagrammes graphisch dargestellt.

7.4 Rheologische Methoden

7.4.1 Bestimmung des Knetwiderstands von Teigen (Farinogramm nach ICC-Standard 115/1)

7.4.1.1 Prinzip

Mit dem Farinographen wird das Verhalten des Teiges auf mechanische Beanspruchung durch Messung des Widerstandes gegenüber der Drehung der Knetarme bestimmt (Pelshenke, 1938). Der Widerstand, den der Teig den Knet-schaufeln während des Knetens entgegensetzt, wird in einem genormten Kraft-Zeit-Diagramm (Farinogramm) aufgezeichnet. Das Farinogramm beschreibt die Entwicklung sowie weitere Reaktionen eines Teiges als Funktion der Knetdauer bei einer konstanten Knetgeschwindigkeit (Weipert, 1993). Einer Farinograph-Knetkurve, wie sie in Abb. 12 dargestellt ist, sind die Merkmale Teigentwicklungszeit, -stabilität und -erweichung zu entnehmen. Weiteres kann die Wasseraufnahmefähigkeit des Mehles festgestellt werden. Darunter ist die Menge an Wasser zu verstehen, die zur Erreichung einer Teigkonsistenz entsprechend 500 FE (Farinogramm-Einheiten) erforderlich ist.

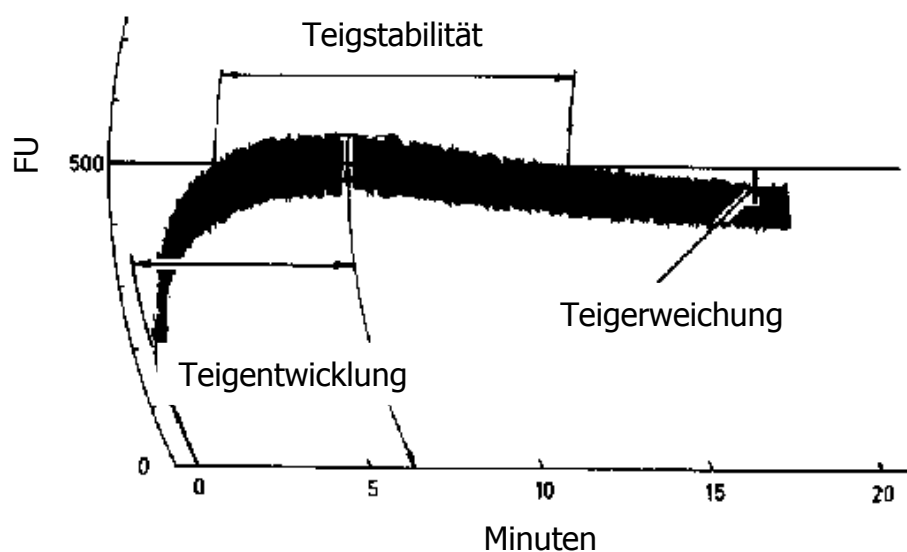


Abb. 12: Farinogramm als Kraft-Zeit-Diagramm (modifiziert nach Weipert, 1993).

7.4.1.2 Verwendete Materialien und Geräte

- Analysenwaage Genauigkeit: $\pm 0,1$ mg
- Brabender[®] Feuchtigkeitsbestimmer (Meßgerät zur Bestimmung des Wassergehaltes von Getreide, Fabr. Nr. 185579, Baujahr 1986)
- Brabender[®] Farinograph (Knetgröße 300 g) mit Bürette und Thermostat
- Spachtel

7.4.1.3 Durchführung

Die Versuche mit dem Brabender[®] Feuchtigkeitsbestimmer und dem Brabender[®] Farinographen wurden an der HTL für Lebensmitteltechnologie in Wels (OÖ) durchgeführt.

7.4.1.3.1 Probenvorbereitung (Feuchtebestimmung des Mehles)

In Anlehnung an das ICC-Standardverfahren 110/1 wurde zunächst die Feuchte des Mehles mittels dem Brabender[®] Feuchtigkeitsbestimmer ermittelt. Der Feuchtigkeitsgehalt wurde dann zur Berechnung (Gl. 6) der korrekten Mehleinwaage herangezogen.

$$\text{korrigierte Einwaage [g]} = 300 \text{ g} \cdot \frac{100 \% - 14 \%}{100 \% - FG} \quad (\text{Gl. 6})$$

FG..... Feuchtigkeitsgehalt des zu untersuchenden Mehles [%]

300 g theoretisch einzuwiegende Mehlmenge

14 % theoretischer Feuchtigkeitsgehalt von Mehl

7.4.1.3.2 Bestimmung der Wasseraufnahmefähigkeit

Als Erstes wurde die korrigierte, eingewogene Mehlmenge in den Knetraum des Farinographen mit Hilfe einer Spachtel gegeben. Der Knetraum wurde mit einer Plexiglasplatte, zum Schutze vor Eingreifen in die Knetwerkzeuge und

Verhinderung der Austrocknung des Teiges, abgedeckt. Anschließend wurde die Bürette mit destilliertem, temperiertem (30 °C) Wasser korrekt bis zur Nullmarke gefüllt. Ein Filzschreiber wurde in die am Messgerät befindliche Schreibvorrichtung arretiert und auf das Diagrammpapier gesetzt. Nun konnte die Apparatur eingeschaltet werden und das Mehl solange durchmischt werden, bis der Schreiberling auf dem Papier die Nulllinie erreicht hatte. Sodann ließ man soviel Wasser aus der Bürette zulaufen bis der entstehende Teig eine Konsistenz von 500 FE (rote Linie auf dem Papier) erreicht hat. Die Bestimmung der Wasseraufnahme war dann beendet, wenn die Kurve eine gewisse Zeit auf der roten Linie verblieb.

7.4.1.3.3 Erstellung des Farinogrammes

Nach Ermittlung der Wassermenge konnte mit dem eigentlichen Farinogramm gestartet werden, wobei die Vorgangsweise, bis auf ein paar Abweichungen, gleich blieb. So wurde die vorher bestimmte Menge an Wasser bei Beginn der Messung (Schreiberling auf der Nulllinie) auf Anhieb mit der Bürette zu dosiert. Außerdem wurde der Knetprozess auf 15-20 min ausgedehnt.

7.4.1.4 Auswertung

Das Hauptaugenmerk wurde auf die Wasseraufnahme und prozentuelle Wasserabsorption gerichtet. Weitere Beurteilungsfaktoren (Teigentwicklungszeit, -stabilität und -erweichung) der Farinogrammkurve wurden hier außer Acht gelassen.

Die für die Teig- bzw. Brotherstellung benötigte Wassermenge wurde exakt, sowohl in % als auch in ml, auf der Skala der Bürette abgelesen.

7.4.2 Bestimmung der Klebrigkeit

Die Maschinengängigkeit von Teigen ist ein wesentlicher und nicht zu vernachlässigender Aspekt bei der Produktion von Brot- und Backwaren. Zur Bestimmung der Klebrigkeit der Hauptversuchsteige wurde eine instrumentell objektive Methode herangezogen.

7.4.2.1 Prinzip

Eine Kompressionskraft wird auf den Teig aufgebracht und die Kraft, die zum Wegziehen des Stempels von der Teigoberfläche notwendig ist, wird in Form eines Kraft-Zeit-Diagrammes dargestellt.

7.4.2.2 Verwendete Geräte und Materialien

- Gewichte: 2 kg
- Intel Pentium-Prozessor (133 MHz Taktfrequenz) mit Software Texture Expert Ver. 1.22_de für WINDOWS 98
- Probevorrichtung: SMS/Chen-Hoseney Teig-Klebrigkeits-Testvorrichtung
- Prüfkörper: Prüfkörperadapter (h 60 mm) mit Plexiglas Zylinder 25 mm (P/25P)
- Spatel
- Reinigungstuch
- Texture Analyzer (TA-XT2i[®] mit 5 kg-Kraftmessdose und Steuerkonsole; Fa.Stable Micro Systems[™], GB)

7.4.2.3 Durchführung

Zu Beginn jedes Arbeitstages wurde laut Arbeitshandbuch eine Kalibration des Textur Analyse Gerätes durchgeführt, sowie die Sondenhöhe gemäß Arbeitsanweisung (15 mm) eingestellt. Zuletzt wurden die notwendigen Parameter

für eine exakte Steuerung der Messung eingegeben. Aus Abb. 13 sind die gewählten Einstellungen zu entnehmen.

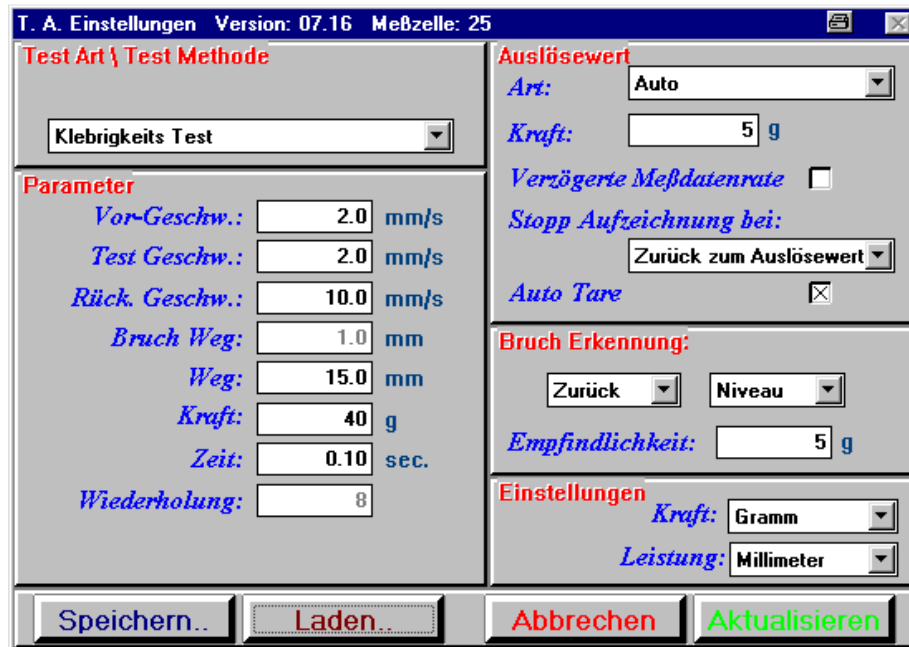


Abb. 13: Gewählte Parametereinstellungen im Menü des TA-Programms.

Pro Backversuch wurden zwei Teigproben (a und b) für die Klebrigkeitsmessung verwendet. Probe a wurde direkt nach dem Kneten dem fertigen Teigklumpen (nach der Teigabwaage) entnommen und Probe b wurde nach der Stückgare aus einem Becherglas entnommen, das eine Teigprobe enthielt.

Zur Bestimmung der Teigklebrigkeit wurde die SMS/Chen-Hoseney Teigklebrigkeits-Testvorrichtung, welche in Abb. 14 dargestellt ist, herangezogen.

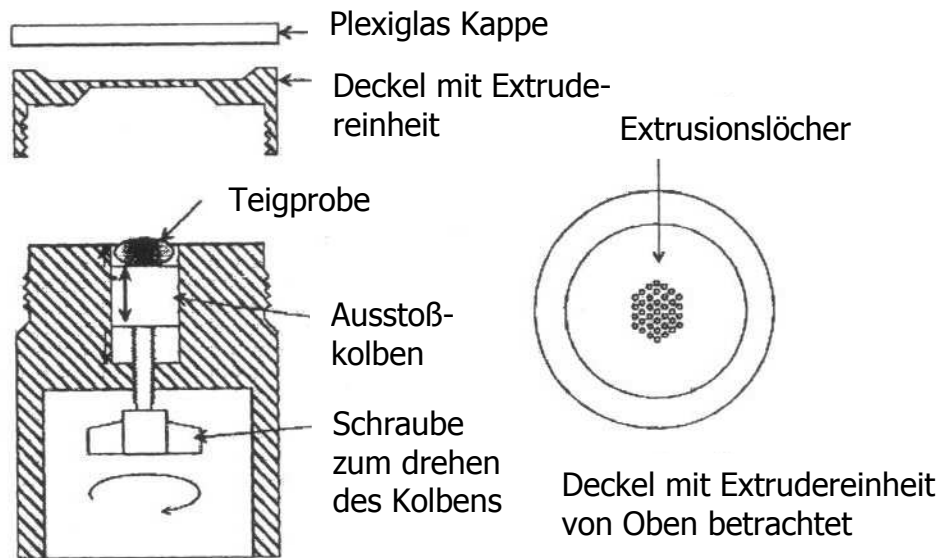


Abb. 14: Chen-Hoseney Teig-Klebrigkeits-Testvorrichtung (modifiziert nach Grausgruber et al., 2003).

Die Probenvorbereitung kann anhand von Abb. 14 recht deutlich erklärt werden. Zunächst wurde mit Hilfe der Schraube der Ausstoßkolben bis zum Anstoß nach unten gedreht, sodass die Teigprobe in die nun frei gewordene Kammer eingelegt werden konnte. Mit einer Spatel wurden überstehende Teigreste sorgfältig entfernt und sogleich die Extrudereinheit auf die Teigvorrichtung aufgeschraubt. Durch Drehen der Schraube wurden geringe Mengen an Teig aus den Extrusionslöchern gedrückt. Dieser Teig wurde mittels Spatel entfernt und erneut eine ca. 1 mm hohe Teigprobe aus der Kammer extrudiert. Bevor mit der Messung begonnen werden konnte, positionierte man die Vorrichtung samt Probe zentral unter den Stempel und ließ den Teig 30 sec rasten. Aus Abb. 15 und Abb. 16 geht die genaue Anordnung hervor. Nach Verstreichen der Entspannungszeit konnte die Messung gestartet werden. Danach wurde der Teig mittels Spatel entfernt. Auf diese Art und Weise wurden insgesamt pro Teigprobe 10 Messungen durchgeführt.

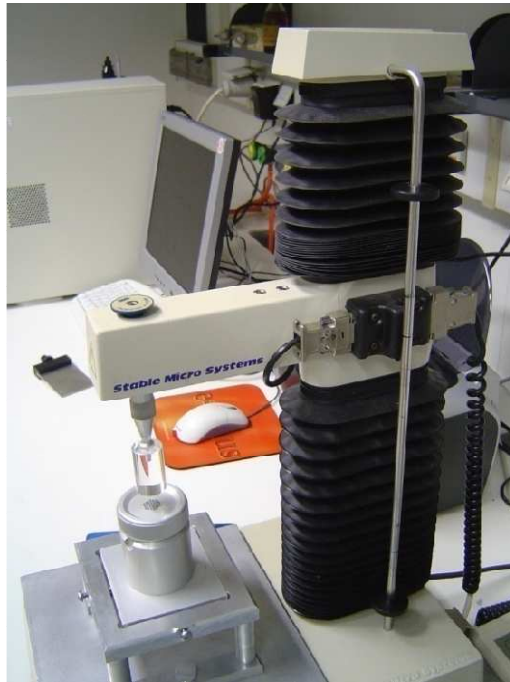


Abb. 15: Texture Analyzer (TA-XT2i®) inklusive Probevorrichtung.



Abb. 16: SMS/Chen-Hoseney Teig-Klebrigkeits-Testvorrichtung im Gebrauch.

7.4.2.4 Auswertung

Pro Backversuch wurden insgesamt 20 Teigmessungen (jeweils 10 Messungen bei Probe a und b) erhalten. Die Auswertung und graphische Darstellung der Messdaten (Kraft-Zeit-Diagramme) wurde mit Hilfe der Software durchgeführt. Durch Anklicken des entsprechenden Buttons (vgl. Abb. 17) ließ sich die *positive Maximalkraft*, welche „das Maß der Klebrigkeit“ darstellt (Grausgruber et al. 2003), ermitteln.

Für die Auswertung wurden die erhaltenen Daten (*positive Maximalkräfte*) auf Ausreißer geprüft.

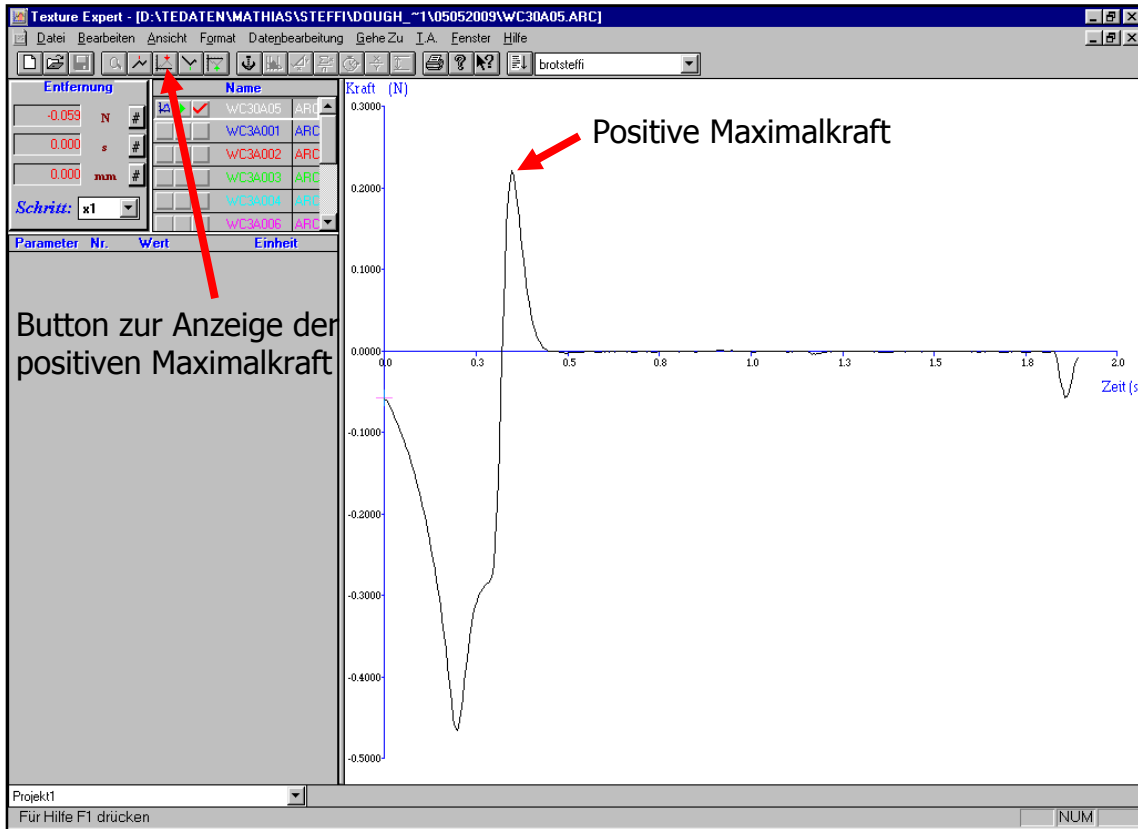


Abb. 17: Kraft-Zeit Diagramm mit Markierungen für die positive Maximalkraft.

7.5 Methoden zur Bewertung der funktionellen und qualitativen Eigenschaften von Teigen

7.5.1 Beurteilung der Teigbeschaffenheit und Teigverarbeitungsfähigkeit

Eine subjektive und gefühlsmäßige Beurteilung der Teigbeschaffenheit nach dem Kneten und Formen kann als verarbeitungsrelevante Bewertungsgröße herangezogen werden.

Im Zuge dieser Arbeit wurde jenes in Tab. 5 dargestellte deskriptive Schema zur subjektiven Beurteilung der Teigbeschaffenheit (Oberfläche und Struktur), sowie der Verarbeitungsfähigkeit herangezogen.

Tab. 5: Deskriptives Schema zur Beurteilung der Teigbeschaffenheit und der Teigverarbeitungsfähigkeit.

Oberfläche	Struktur (Elastizität)	Teigverarbeitung
trocken	etwas elastisch ¹	sehr gut
normal	plastisch/etwas kurz	gut
etwas feucht	plastisch/kurz	normal ²
feucht	nachlassend/etwas zäh	mangelhaft
feucht-klebend	breitlaufend/zäh	kaum verarbeitungsfähig

¹ Das Attribut wurde bei Teigen verwendet, die eine minimale Elastizität im Vergleich zu den anderen Teigen aufwiesen, allerdings kann es nicht mit der elastischen Struktur eines Weizensteiges verglichen werden.

² Es ergaben sich keine negativen Effekte bezüglich Teigklebrigkeit und maschineller Teigverarbeitung.

7.6 Methoden zur Bewertung der funktionellen und qualitativen Eigenschaften von Broten

7.6.1 Bestimmung des Brotvolumens auf Basis der Rapssamenverdrängungsmethode nach *Fornet*.

Neben der Umfangmessung (vgl. 7.6.2), ist die Volumenmessung eine von zwei Meßmethoden zur Bestimmung der Größe eines Brotes. Für die Beurteilung der Backfähigkeit stellt die Volumenausbeute ein wichtiges Bewertungsmerkmal dar, welches in direktem Zusammenhang mit zahlreichen anderen Broteigenschaften, wie etwa der Krumenporung, steht.

7.6.1.1 Prinzip

Ganz allgemein wendet man für die Bestimmung des Volumens als Meßprinzip die Verdrängung fester oder flüssiger Körper durch das Brot- oder Gebäckstück an. Kleinsamige Körnerfrüchte, wie Rapssamen, können dabei als feste Körper eingesetzt werden, Wasser wird als Flüssigkeit gewählt (Pelshenke, 1938).

Die Bestimmung der Brotvolumina wird mit Hilfe eines Volumeters durchgeführt. Der Apparat selbst setzt sich aus zwei geschlossenen Metallgefäßen, die durch einen graduierten Kunststoffzylinder miteinander verbunden sind, zusammen. Zur Volumenmessung wird das Brot in den dafür vorgesehenen oberen Messbehälter gelegt, der untere (Rapsbehälter) beinhaltet eine bekannte Menge an Rapssamen. Nach einer 180°-Drehung der Vorrichtung rieseln die Rapssamen auf das Brot im gegenüberliegenden Behälter herab. Das Meßgefäß füllt sich sodann mit Rapssamen und die vom Brot verdrängte Menge an Samen kann an dem graduierten Kunststoffzylinder in [cm³] abgelesen werden.

7.6.1.2 Verwendete Geräte und Materialien

- Volumeter (Typ VPP183, Fa. Chopin, FRA)
- Kunststoffatrappe (1,5 cm³)

7.6.1.3 Durchführung

Zum Trieren wurde der Füllstand in Messstellung notiert und als Nullwert angenommen. Der Vorgang wurde zum Kalibrieren der Skala mit einer normierten Kunststoffatrappe wiederholt. Für die Messung selbst wurde jedes Brot einzeln eingelegt und das Volumen notiert. In Abb. 18 ist die Handhabung des Volumeters schematisch dargestellt.

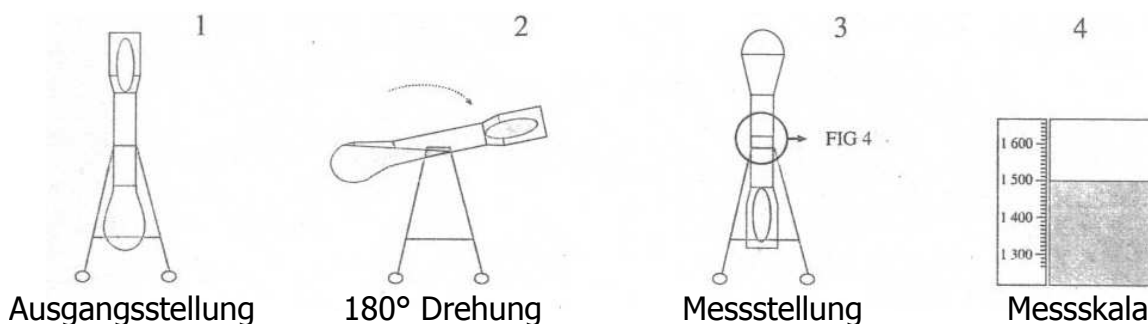


Abb. 18: Handhabung des Volumeters (nach Tripette & Renaud, o.J.).

Innerhalb eines Brotbackversuches mit à drei Broten wurde mit jedem Brot nur eine Volumenmessung durchgeführt und aus den drei erhaltenen Werten der Mittelwert berechnet.

7.6.1.4 Auswertung

Das Brotvolumen wurde nach Gl. 7 berechnet.

$$V_{Brot} = V_{Mess} - V_{leer} \quad (Gl. 7)$$

V_{Brot} tatsächliches Brotvolumen

V_{Mess} gemessenes Volumen

V_{Leer} Leervolumen

7.6.2 Umfangmessung des Brotes nach *Jørgensen*

7.6.2.1 Prinzip

Mit Hilfe eines Bandmaßes werden jeweils der größte Umfang des Brotes längs und quer gemessen und beide Maße addiert. Mit dieser Methode nach *Jørgensen* erhält man, bei in der Form regelmäßig ausgebildeten Broten, Werte, die mit dem Volumen in enger Korrelation stehen. Der Korrelationskoeffizient nach Fisher wird mit $0,963 \pm 0,0051$ angegeben (Pelshenke, 1938).

7.6.2.2 Verwendete Materialien

- Bandmaß

7.6.2.3 Durchführung

Die Umfangmessung mittels Bandmaß wurde am Tag nach der Herstellung der Brote (20-24 h später) durchgeführt.

7.6.2.4 Auswertung

Für die Auswertung wurden Längs- und Querumfang addiert. Zur Feststellung einer möglichen linearen Beziehung zwischen Brotumfang und -volumen, wurden auch Korrelationsberechnungen durchgeführt.

7.6.3 Bestimmung der texturalen Eigenschaften der Brotkrume (nach AACC 74-09)

Die instrumentelle Texturanalyse kann sensorische Tests weitgehend nachbilden und stellt gleichzeitig ein normiertes und objektives Prüfverfahren dar.

7.6.3.1 Prinzip

Für die Bestimmung der visko-elastischen Eigenschaften der Brotkrume wurde ein einachsiger Druckversuch mit anschließender Relaxation gewählt. Ein Stempel wird weggesteuert mit konstanter Geschwindigkeit in die Brotkrume gedrückt und die dazu nötige Kraft gemessen. Nach Erreichen einer vorgegebenen Tiefe wird die Position gehalten und die mit der Zeit abnehmende Kraft aufgezeichnet. Diese Abnahme der Kraft bei konstant gehaltener Stauchung wird als Relaxation bezeichnet.

7.6.3.2 Verwendete Geräte und Materialien

- Gewichte: 2 kg und 5 kg
- Intel Pentium-Prozessor (133 MHz Taktfrequenz) mit Software Texture Expert Ver. 1.22_de für WINDOWS 98
- Probehalterung: Probentisch (HDP/90) mit Basisplatte
- Prüfkörper: Prüfkörperadapter (h 60 mm) mit Zylinder 36 mm f. Brot (AACC) P/36R
- Schneidelehre und Metallsäge

- Schneidemaschine Bosch electronic (Fa.Bosch, D)
- Texture Analyzer (TA-XT2i[®] mit 25 kg- und 5 kg-Kraftmessdose und Steuerkonsole; Fa.Stable Micro Systems[™], GB)

7.6.3.3 Durchführung

7.6.3.3.1 Probenvorbereitung

Die Kastenbrote wurden zunächst mit Hilfe einer Schneidemaschine in 2,5 cm dicke Scheiben geschnitten. Die jeweils mittlere Scheibe wurde für die Farbmessung der Krume herangezogen (vgl. 7.6.4) Aus den Scheiben wurde mittels spezieller Schneidelehre und einer Metallsäge (Abb. 19) gemäß Abb. 20 jeweils ein genau definierter Brotkrumenquader mit den Abmessungen 4 x 4 x 2,5 cm (L x B x H) herausgeschnitten.



Abb. 19: Schneidelehre mit Metallsäge.

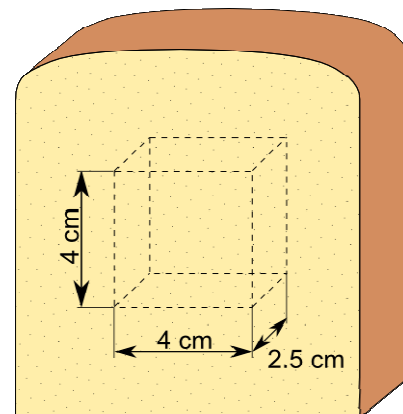


Abb. 20: Brotquaderabmessungen für die Texturmessung.

Um eine Austrocknung der Brotwürfel zu verhindern, wurden diese erst unmittelbar vor den einzelnen Messungen frisch ausgeschnitten. Aus den pro Backversuch erhaltenen drei Broten konnten jeweils drei Scheiben bzw. drei Würfel für die Textur Analyse verwendet werden, somit wurden je Versuch neun Messungen durchgeführt.

7.6.3.3.2 Durchführung der Messung

Bevor mit der Texturmessung begonnen werden konnte, musste zu Beginn jedes Versuchstages eine Kalibration des Gerätes laut Arbeitshandbuch durchgeführt werden. Sowie die Sondenhöhe gemäß Arbeitsanweisung (30 mm) eingestellt werden. Anschließend wurden die notwendigen Parameter für die Steuerung der Messung eingegeben (Abb. 21).



Abb. 21: Gewählte Parametereinstellungen im Menü des TA-Programms für die Texturmessung.

Die frisch zugeschnittenen Krumenquader wurden zentriert auf die Basisplatte des Probenstisches gelegt und die Messung gestartet (Abb. 22).



Abb. 22: Darstellung eines Texturanalysevorganges.

7.6.3.4 Auswertung

Der Kraftverlauf während der gesamten Messung wurde graphisch in einem Kraft-Zeit-Diagramm (Abb. 23) dargestellt. Die relevanten Texturparameter *Kraft bei 25 % Stauchung* (F_{25} = Widerstandskraft bei 25 % Pressung), *Maximalkraft* (F_{\max} = Krumenfestigkeit) und *Residualkraft* (F_{res} = Wert gegen den die Kraft konvertiert) wurden manuell mittels Anklicken ermittelt und schriftlich festgehalten.

Nach Eliminierung von etwaigen Ausreißern wurde mittels MS-EXCEL Mittelwert und Standardabweichung dieser Parameter berechnet. Weiteres zog man F_{\max} und F_{res} für die Berechnung der *relativen Krumenelastizität* (KEL = Relation von F_{res} nach Stauchung und 60 sec Halten des Stempels und F_{\max}) laut Gl. 8 heran.

$$\text{relative Krumenfestigkeit} = \frac{F_{\text{res}}}{F_{\max}} \quad (\text{Gl. 8})$$

F_{\max} ...*Maximalkraft* [N]

F_{res}*Residualkraft* [N]

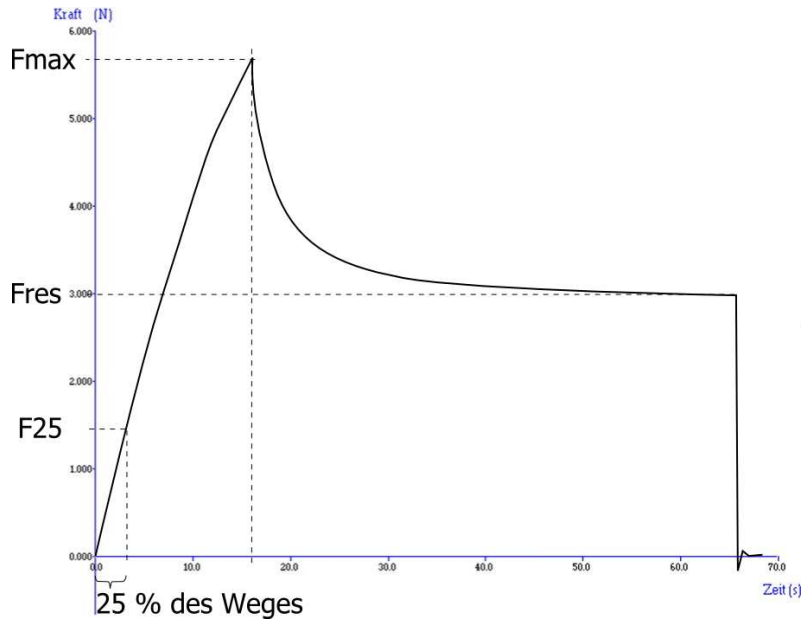


Abb. 23: Kraft-Zeit-Verlauf der Texturmessung.

7.6.4 Messung der Farbe im CIE – L*a*b* – Farbsystem

7.6.4.1 Prinzip

Das 1976 von der CIE (Commission Internationale d’Eclairage) vor allem für Oberflächenfarben empfohlene CIE – L*a*b* – System ist in Abb. 24 dargestellt.

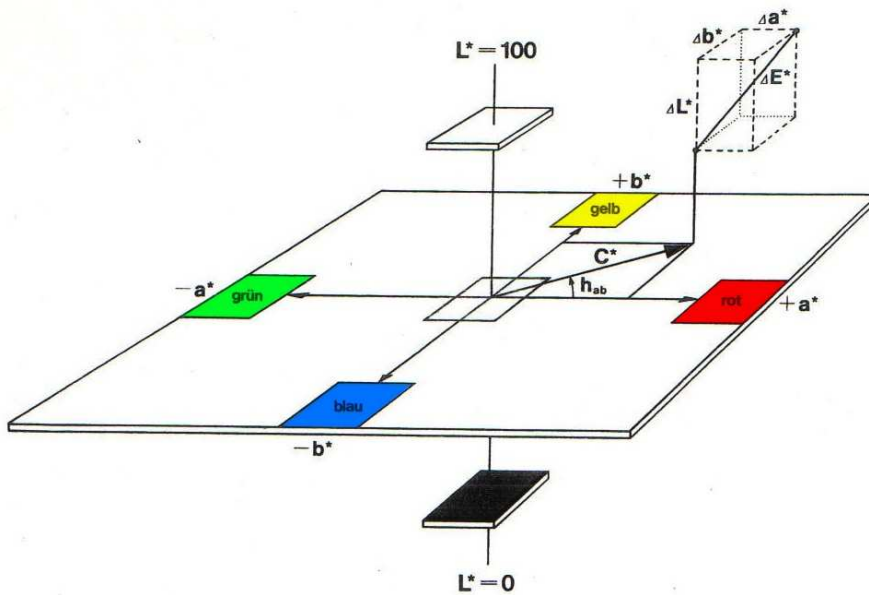


Abb. 24: Schema des L*a*b* Farb-Systems (nach Systembeschreibung „Micro Color“ Fa. Dr. Lange, 2001).

Im CIE – L*a*b* – System werden die CIE-Normfarbwerte X, Y und Z in drei neue Farbmaßzahlen überführt, die als L*, a* und b* bezeichnet werden. Diese ergeben sich aus den Normfarbwerten durch folgende Transformation:

$$L^* = 116 \cdot \left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (\text{Gl. 9})$$

$$a^* = 500 \cdot \left[\left(\frac{X}{X_0}\right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (\text{Gl. 10})$$

$$b^* = 200 \cdot \left[\left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_0}\right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (\text{Gl. 11})$$

X_0, Y_0, Z_0 sind die Werte für Normalweiß gemäß DIN 6174.

Das CIE – L*a*b* – System beruht auf einem dreidimensionalen, kartesischen Koordinatensystem, wobei der L*-Wert die Lage auf der Hell-Dunkel-Achse (0 für ideales schwarz und 100 für weiß), a*-Wert die Lage auf der Rot-Grün-Achse (negative Werte sind grünlich, positive Werte sind rötlich) und der b*-Wert die Lage auf der Gelb-Blau-Achse (negative Werte sind bläulich, positive gelblich) angibt.

7.6.4.2 Verwendete Materialien und Geräte

- Farbmessgerät (Micro Color, Fa.Dr. Lange, D), Messgeometrie Diffus d/8°, Xenon-Blitz-Lampe.
- Weiß-Standard (Microcolor Arbeitsstandard LZM 076, Dr. Lange, D)

7.6.4.3 Durchführung

Es wurde sowohl die Krustenfarbe, als auch die Krumenfarbe gemessen, wobei pro Backversuch jeweils drei Messungen durchgeführt wurden.

Bevor mit den Messungen gestartet werden konnte, musste eine Kalibration des Gerätes laut Arbeitsanweisung vorgenommen werden.

Für die Krustenfarbmessung wurden die noch unbehandelten, ganzen Brote verwendet. Der Messkopf wurde direkt auf die Oberseite der Brotkruste aufgesetzt und es folgte pro Brot eine Messung. Die für die Textur Analyse vorbereiteten 2,5 cm dicken Brotscheiben (vgl. 7.6.3) wurden für die Farbmessung der Krume herangezogen, wobei hier der Messkopf direkt auf die Brotkrume aufgesetzt wurde.

7.6.4.4 Auswertung

Für die Auswertung wurden die L^* , a^* , b^* -Werte von Kruste und Krume herangezogen, wobei für die statistische Auswertung nur die L^* -Werte genommen wurden.

7.6.5 Sensorische Beurteilung der Brote

Bei der Beurteilung von Broten spielt die äußere Beschaffenheit der Kruste sowie der Krume eine tragende Rolle, denn von deren Ausbildung hängt nicht nur das gefällige Aussehen, die Form und Gestalt der Brote, sondern auch deren Bekömmlichkeit und Schmackhaftigkeit ab (Neumann und Pelshenke, 1954).

7.6.5.1 Beurteilung der Brote anhand von ausgewählten Prüfmerkmalen

7.6.5.1.1 Prinzip

Die Brote werden anhand von ausgewählten Prüfmerkmalen hinsichtlich ihrer Qualität beurteilt.

7.6.5.1.2 Verwendete Materialien

- Protokollbuch
- Prüfschema
- Testbrote

7.6.5.1.3 Durchführung

Es wurden sowohl die noch in Form gebliebenen ganzen Brote herangezogen, als auch die zerteilten Stücke, welche nach der Textur Analyse (vgl. 7.6.3) übrigblieben.

Für die Qualitätsprüfung wurde folgendes in Tab. 6 dargestelltes Prüfschema herangezogen.

Tab. 6: Prüfschema zur Beurteilung der Versuchsbrote aus der Hauptversuchsreihe.

Prüfmerkmal	Bewertung					Punkte
	5	4	3	2	1	
Aussehen und Form	5	4	3	2	1	...
Bräunung	5	4	3	2	1	...
Konsistenz der Kruste	5	4	3	2	1	...
Krumenporung und -lockerung	5	4	3	2	1	...
Allgemeines Mundgefühl	5	4	3	2	1	...
Geschmack und Geruch	5	4	3	2	1	...
Summe						...

7.6.5.1.4 Auswertung

Bei der Beurteilung konnten pro Prüfmerkmal maximal 5 Punkte (optimal ausgeprägt) und minimal 1 Punkt (kaum oder gar nicht ausgeprägt) vergeben werden.

Je besser die Brotqualität, umso höher war die vergebene Punktzahl, die das Brot, nach Addition der Einzelbewertungen, erhalten konnte. Die Höchstpunktzahl betrug 30.

Ein Brot mit 26-30 ist als sehr gut,
 mit 21-25 als gut,
 mit 16-20 als mäßig gut,
 mit 11-15 als mangelhaft und
 mit 10 oder weniger Punkten als ungenügend zu bezeichnen.

7.7 Herstellung der Versuchsbrote

7.7.1 Berechnung der Teigzusammensetzung

Zur Berechnung der Teigzusammensetzung wurden in den beiden Versuchsreihen unterschiedliche Lösungswege herangezogen, wobei die Zusammensetzung der Salz-Saccharose-Lösung (Tab. 7) und der Saccharose-Lösung (Tab. 8) - für die Herstellung der Hefesuspension (Tab. 9) - konstant gehalten wurde.

Tab. 7: Zusammensetzung der Salz-Saccharose-Lösung.

Zutaten	[g]
Salz	60
Saccharose	60
Wasser	800

Tab. 8: Zusammensetzung der Saccharose-Lösung für die Hefe-Suspension.

Zutaten	[g]
Saccharose	50
Wasser	950

Tab. 9: Zusammensetzung Hefe-Suspension.

Zutaten	[g]
Saccharose-Lösung	72
Trockenhefe	x

7.7.1.1 Vorversuch

Die Berechnung der notwendigen Mehl- und Backhilfsmittelmengen (Malzmehl, Quellmehl, Säuerungsmittel oder Backmargarine) erfolgte nach der Gl. 12. In dieser Gleichung wird eine feuchtigkeitsbezogene Betrachtung verwendet.

$$M = \frac{FG}{14} \cdot 1000 \text{ g} \cdot PG \quad (\text{Gl. 12})$$

M.....notwendige Mehl- und Backhilfsmittelmenge [g]

FGFeuchtigkeitsgehalt des Mehls und Backhilfsmittels [%]

14.....Bezugsfeuchtigkeit entspricht Weizenmehl auf 14 %iger Feuchtigkeitsbasis

1000 gfür 1 kg Mehl auf 14 %iger Feuchtigkeitsbasis

PGproz. Mehl- und Backhilfsmittelgehalt im fertigen Teig [%]

Die zu ergänzende Wassermenge wurde nach Gl. 13 berechnet.

$$\text{Wasserbedarf [g]} = \sum_i \left(\frac{TW_i \cdot 10}{3} \cdot PG_i \right) - 68,4 - 200 \quad (\text{Gl. 13})$$

TW_i.....Menge des Teigwassers im Farinographen für 300g Mehl der jeweiligen ausgewählten Teigzutaten [g]

PG_i.....proz. Mehlgehalt im fertigen Teig der jeweiligen ausgewählten Teigzutat [%]

68,4.....Wasser aus Hefe-Suspension [g]

200.....Wasser aus 230 ml Zucker-Salz-Lösung [g]

7.7.1.2 Hauptversuch

Zur Berechnung der notwendigen Mehl- und Backhilfsmittelmenge die trockenmassenbezogene Formel nach ICC-Standard Nr.131 Gl. 14 verwendet.

$$M = \frac{86}{100 - FG} \cdot 1000 \text{ g} \cdot PG \quad (\text{Gl. 14})$$

Mnotwendige Mehl- und Backhilfsmittelmenge [g]

FGFeuchtigkeitsgehalt des Mehls und Backhilfsmittels [%]

86Bezugstrockenmasse entspricht Weizenmehl auf 14 %iger Feuchtigkeitsbasis

1000 gfür 1 kg Mehl auf 14 %iger Feuchtigkeitsbasis

PGproz. Mehl- und Backhilfsmittelgehalt im fertigen Teig [%]

In der Hauptversuchsreihe wurde zur Ermittlung des zusätzlichen Wasserbedarfs nur mehr der vom Gerstenmehl stammende Anteil verwendet Gl. 15. Die Backhilfsmittelzusätze wurden in dieser Berechnung nicht mehr berücksichtigt.

$$\text{Wasserbedarf [g]} = \frac{TW \cdot 10}{3} \cdot PG - 68,4 - 200 \quad (\text{Gl. 15})$$

TWMenge des Teigwassers im Farinographen für 300g Gerstenmehl [g]

PGproz. Gerstenmehlgehalt im fertigen Teig [%]

68,4Wasser aus Hefe-Suspension [g]

200Wasser aus 230 ml Zucker-Salz-Lösung [g]

7.7.2 Herstellungprozess

7.7.2.1 Prinzip

Das allgemeine Prinzip der Weizen- und Roggenbrotherstellung wurde bereits eingangs im Literaturteil in Kap. 4.3. und 4.4. ausführlich behandelt. Das in Abb. 8 dargestellte Verfahrensschema für Weizenbrot hatte, letztendlich in Anpassung an das ICC-Standardverfahren Nr. 131, auch für die Herstellung der Versuchsbröte dieser Arbeit Gültigkeit. Abb. 25 zeigt das detaillierte, teils modifizierte Verfahrensschema zur Herstellung der Versuchsbröte.

7.7.2.2 Verwendete Geräte und Materialien

- Analysenwaage Genauigkeit: $\pm 0,1$ g (ISO 9001 Sartorius, D)
- Aluminium Rührschüsseln
- Backformen (Grundfläche: 95 x 135 mm; obere Maße: 120 x 170 mm; Höhe 70 mm)
- Backstation (MANZ Backstation BS60/3W: MANZ Herdbackofen 60/3W kombiniert mit Gärschrank G66W und Ablufthaube AH60W, D)
- Becherglas: 100 ml, 250 ml, 400 ml und 5000 ml
- Klimaschrank (Climacell, CLC/CLC 222, Protective System IP 20, MMM Medcenter Einrichtungen GmbH, D)
- Kunststoff-Nudelwalker
- Küchenmaschine mit Knethaken (KM020 Titanium Major)
- Magnetrührer (IKAMAG[®]RCT, Nr. 302011, Ö)
- Messzylinder: 100 ml, 250 ml und 500 ml
- Metall-Backbleche
- Mikrowelle (Whirlpool Talent, Combi Steam 5, MT 267/WH)
- Spateln
- Stabmagnet
- Stoppuhr
- Teigspachtel
- Thermometer
- Trennwax (Boeson Trennwax; wasserfreies Spezialtrennmittel für Backwaren, Art.-Nr. 933751, D)

7.7.2.3 Durchführung

Die praktische Durchführung der Brotbackversuche wird mit Bezug auf das in Abb. 25 dargestellte Verfahrensschema näher erklärt.

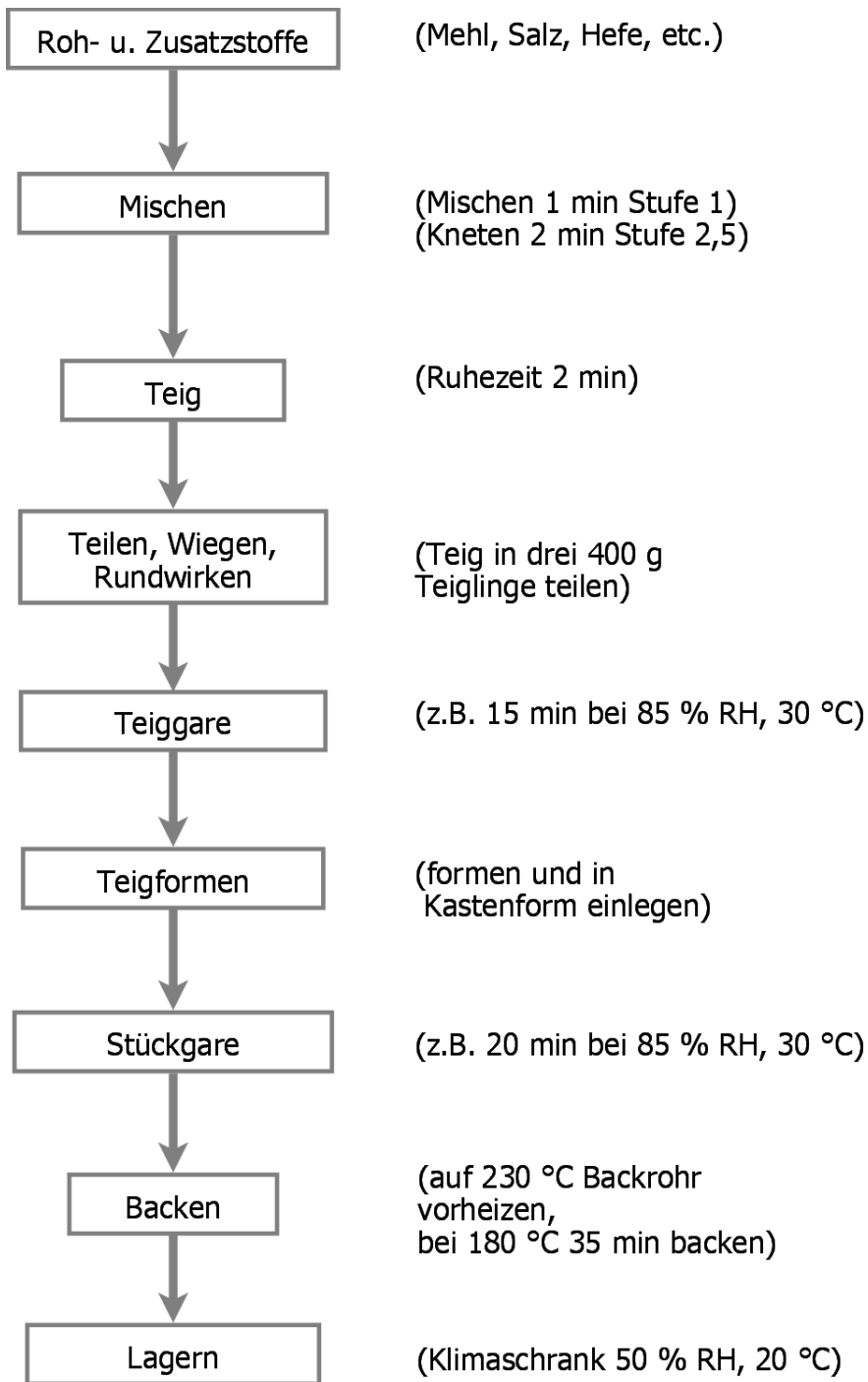


Abb. 25: Allgemeines Schema zur Herstellung der Versuchsbrote. Alle in Klamme stehenden Einflussgrößen wurden, bis auf die Dauer der Teig- und Stückgare, sowie der Lagerung im Klimaschrank, bei beiden Versuchsreihen gleich angewandt.

1. Alle für die Brotherstellung relevanten nicht flüssigen Zutaten wurden aus dem Kühlraum (Lagertemperatur von 4 °C) geholt und nach Teigrezeptur entsprechend in eine Schüssel eingewogen.
2. Sowohl der Backofen (Ober- und Unterhitze bei 230 °C) als auch der Gärschrank (30 °C und 85 % RH) wurden auf Betriebstemperatur bzw. -luftfeuchtigkeit gebracht.
3. Zur Herstellung der Zucker-Lösung wurden 950 g Leitungswasser und 50 g Kristallzucker in einem Becherglas auf einem Magnetrührer in Lösung gebracht.
4. Für die Zucker-Salz-Lösung wurden 800 g Leitungswasser und jeweils 60 g Zucker und Salz eingewogen und ebenfalls auf dem Magnetrührer zu einer Lösung verrührt.
5. 72 g der Zucker-Lösung wurden in der Mikrowelle auf 35 ± 1 °C temperiert, anschließend in ein 500 ml Becherglas geschüttet und mit der entsprechenden Menge an Trockenhefe versehen. Das Becherglas samt Zucker-Hefe-Lösung wurde vorsichtig mehrmals geschwenkt und an einem zugluftgeschützten Platz für 10 min stehen gelassen.
6. In der Zwischenzeit wurde eine bestimmte Menge an handwarmem Leitungswasser (zusätzliches Teigwasser) in einen Messzylinder gefüllt, ebenso 230 ml der zuvor hergestellten Zucker-Salz-Lösung. Wenn von der Rezeptur vorgesehen, wurde eine definierte Menge an Backmargarine in ein 250 ml Becherglas eingewogen, in der Mikrowelle zum Schmelzen gebracht und bis zur Weiterverarbeitung in einer mit heißem Wasser gefüllten Schüssel stehen gelassen.
7. Nach Verstreichen der Abstehtzeit der Trockenhefe wurde vorsichtig mit Hilfe eines Esslöffels umgerührt bis eine homogene Suspension erzielt wurde.
8. Die genau abgewogenen pulverförmigen Zutaten wurden in die Rührschüssel der Küchenmaschine gegeben und für 1 min auf Stufe 1 verrührt.

9. Die Hefe-Zucker-Suspension wurde langsam zugegeben, sowie die restlichen flüssigen Zutaten. Auf Stufe 2-3 wurde der sich bildende Teig ca. 3 min geknetet.
10. Während einer 2 minütigen Rastzeit des Teiges wurde dessen pH-Wert gemessen und die Verarbeitungseigenschaften schriftlich festgehalten.
11. Der gesamte Teigklumpen wurde anschließend gewogen, in drei gleich schwere Teiglinge (à 400 g) geteilt und diese von Hand rundgewirkt. Der restliche Teig wurde für den unter Kap. 7.4.2 beschriebenen Klebrigkeitstest verwendet. Alle rundgewirkten Teiglinge wurden in den vorbereiteten Gärschrank überführt und für eine bestimmte Zeit ruhen gelassen.
12. Nach der Teiggare wurden alle Teiglinge aus dem Gärschrank entnommen. Auf einer bemehlten Unterlage wurden die Teiglinge nun nacheinander geformt. Dazu wurde der Teig zunächst mit Hilfe eines Nudelwalkers auf ca. 1 cm dick ausgewalkt, wobei eine quadratische Fläche angestrebt wurde. Der ausgewalkte Teig wurde von Hand zweimal eingeschlagen und eingerollt. Der Teigformling war so in die ausgefettete Backform zu legen, dass der Teigschluss auf den Boden der Form kam. Dieser Vorgang wurde mit den zwei anderen Teiglingen wiederholt.
13. Bei Beibehaltung der Gärschrankbedingungen wurden die in den Backformen befindlichen geformten Teigstücke für eine gewisse Zeit im Gärschrank stehen gelassen (Stückgare).
14. Anschließend wurden die Teigformlinge ins vorgeheizte Backrohr eingeschoben. Beim Einschließen der zu backenden Brote fand eine Beschwädung, sowie eine Temperaturdrosselung auf 180 °C statt. Die Brote waren 35 min zu backen.
15. Unmittelbar nach dem Backen wurden die Brote aus den Formen gestülpt, auf einen Gitterrost gelegt und zum Abkühlen bei Raumtemperatur ca. 1 h stehen gelassen.
16. Lagerung: In der Vorversuchsreihe wurden die Brote am Gitterrost über Nacht auf Raumtemperatur abgekühlt. Im Rahmen des Hauptversuches

wurden die Brote in einem Klimaschrank bis zur Durchführung der Messungen, am nächsten Tag, gelagert.

7.8 Statistische Methoden

7.8.1 Prüfung auf Ausreißerfreiheit

7.8.1.1 Prinzip

In der Statistik versteht man unter einem Ausreißer, jenen extrem hohen oder niedrigen Wert, der nicht innerhalb einer Reihe üblich mäßig unterschiedlicher Messwerte passt oder anderes formuliert außerhalb des zu erwarteten Streubereiches liegt. Zur Identifizierung eines Ausreißers existieren unterschiedliche Tests, die anhand rechnerischer oder graphischer Modelle ausreißerverdächtige Werte aufzeigen.

7.8.1.2 Durchführung

Eine Methode um Extremwerte zu identifizieren, ist die Anwendung des Box-and-Whiskers-Diagrammes nach *John Tukey* (1977). Ein typisches Box-and-Whiskers-Diagramm ist in Abb. 26 dargestellt. Sämtliche Überprüfungen auf Ausreißer wurden mit der Software STATGRAPHICS[®] durchgeführt.

Es können folgende Werte herausgelesen werden (UMEX GmbH, 2008):

- *Ausreißer*: Datenwerte die außerhalb des Bereiches zwischen Maximal- und Minimalwert liegen
- *Interquartil-Abstand*: oberes minus unteres Quartil (In diesem Intervall liegen 50% aller Werte)
- *Maximalwert*: größte Datenwert der kleiner ist, als das obere Quartil + 1.5facher Interquartilabstand
- *Minimalwert*: kleinste Datenwert der größer ist, als das untere Quartil – 1.5facher Interquartilabstand

- *Oberes Quartil (75 % Perzentil)*: 75 % aller Merkmalswerte sind kleiner oder gleich dem Perzentil
- *Unteres Quartil (25 % Perzentil)*: 25 % aller Merkmalswerte sind kleiner oder gleich dem Perzentil

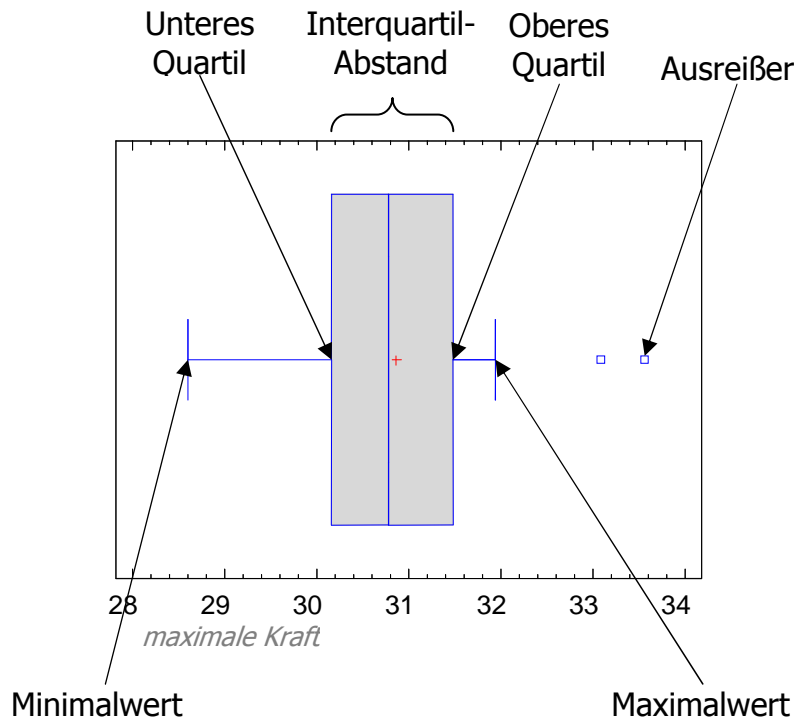


Abb. 26: Box-and-Whiskers-Plot.

7.8.2 Statistische Versuchsplanung

7.8.2.1 Prinzip

Die Aufgabe der statistischen Versuchsplanung ist es, die Beziehungen zwischen Einflussgrößen und Zielgrößen zu ermitteln (Petersen, 1991). Unter Einflussgrößen (unabhängige Variable) werden diejenigen Größen verstanden, durch welche die erwarteten Zielgrößen womöglich während der Versuchsdurchgänge beeinflusst werden. Als Zielgrößen (abhängige Variable) bezeichnet man die Ergebnisse (Messwerte) eines durchgeführten Versuches.

Bei der Durchführung von faktoriellen Versuchsplänen (2^n -Plänen) werden n -Faktoren auf zwei Extremwerten variiert und deren Effekt auf die Zielgrößen auf Signifikanz geprüft. Dies ergibt eine Gesamtzahl von 2^n nötigen Versuchen.

7.8.2.2 Durchführung

Für die systematische Planung und Auswertung der im Rahmen dieser Diplomarbeit durchgeführten Versuche wurde das Statistikprogramm STATGRAPHICS® verwendet. Dieses Programm unterstützt den Benutzer bei der Erstellung von Versuchsplänen, indem es verschiedene Verfahren (voll-faktoriell, halb-faktoriell, Plackett-Burman, etc.) anbietet.

Im Zuge dieser Arbeit wurde die Beziehung von acht Einflussgrößen zu 16 Zielgrößen untersucht. Da eine vollständige faktorielle Versuchsplanung zu $2^8=256$ Versuchen führen würde, wählte man das *Folded Plackett-Burman* Verfahren zur Versuchsplanermittlung. Es ergab sich eine Gesamtzahl von 24 Versuchen. Zusätzlich wurden noch drei Zentralpunkt Wiederholungen gewählt, um einen zufallsbedingten Versuchsfehler auszugleichen. Dadurch ergaben sich in Summe 27 Versuchsdurchgänge.

Die folgenden Punkte sollen nun die Schritte zur Erstellung des Versuchsplanes erörtern:

1. Auswahl der Kategorie des Versuchsplanes (*Siebplan*) und Festlegung der Anzahl der Ziel- und Einflussgrößen.
2. Definition der Einflussgrößen und deren Wertebereich
3. Definition der Zielgrößen
4. Auswahl der Art des Versuchsplanes (*Folded Plackett-Burman*)
5. Festlegung der Anzahl und Position der Zentralpunkt Wiederholungen

7.8.2.3 Auswertung

Nach Erstellen und Einfügen der gemessenen Daten in den Versuchsplan, wurde mit Hilfe von STATGRAPHICS® ein statistisches Modell jeder einzelnen Zielgröße erstellt. Diese Modelle haben eine Form wie Gl. 16.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^8 \beta_i X_i + \epsilon \quad (\text{Gl. 16})$$

Wobei Y der Wert der Zielfunktion der jeweiligen Zielgröße ist, X_i sind die Eingangsvariablen, β_n für $n \in \{0; 8\}$ sind lineare Faktoren und ϵ ist der Versuchsfehler. Die unbekanntenen β_n werden aus den Daten des Versuchsplanes berechnet, und der Versuchsfehler ϵ zufällig aus der Standardnormalverteilung gezogen.

Diese statistischen Modelle dienen dazu, um sogenannte Pareto-Diagramme der einzelnen Zielgrößen zu erstellen. In einem Pareto-Diagramm wird die Änderung der Zielfunktion Y , bei maximaler Änderung einer Eingangsgröße dargestellt. Alle übrigen Eingangsgrößen werden dazu im Mittel gehalten. Häufig wird das Pareto-Diagramm noch standardisiert, indem durch den Standardfehler dividiert wird. Abb. 27 zeigt ein standardisiertes Pareto-Diagramm. Daraus lässt sich die Signifikanz eines Parameters direkt ablesen. Dies zeigt sich durch das Überschreiten der blauen Linie (im vorliegenden Fall ist α gleich 0.05). Die grau gefärbten Balken (+) bedeuten einen positiven Zusammenhang der Zielgröße und der jeweiligen Eingangsgröße, wogegen die blau gefärbten (-) für einen negativen Zusammenhang stehen (STATGRAPHICS®, 2005).

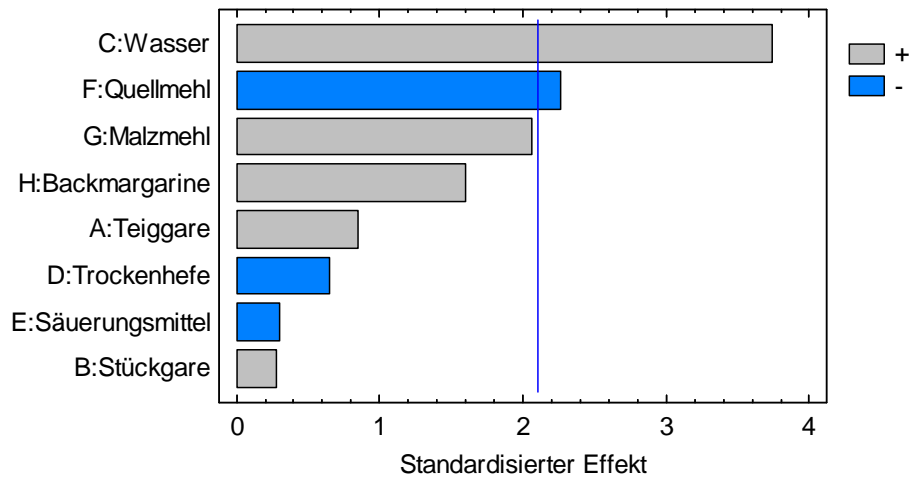


Abb. 27: Standardisiertes Pareto-Diagramm für Brotvolumen.

7.8.2.3.1 Mehrgrößen-Optimierung

In STATGRAPHICS® besteht die Möglichkeit einer Mehrgrößen-Optimierung. Damit lässt sich unter Anwendung der oben bestimmten linearen Modelle eine globale Wunschfunktion D bilden, die durch Variation der Eingangsgrößen optimiert werden kann. Dabei muss angegeben werden ob die jeweilige Zielfunktion maximiert, minimiert oder auf einen bestimmten Wert hin optimiert und wie stark deren Einfluss gewichtet werden soll. Für jede Zielfunktion wird, entsprechend der Optimierungsrichtung, eine Wunschfunktion d gebildet. Eine zu maximierende Wunschfunktion hat die Form laut Gl. 17.

$$d = \begin{cases} 0, & Y < low \\ \left(\frac{Y - low}{high - low} \right)^s, & low \leq Y \leq high \\ 1, & Y > high \end{cases} \quad (\text{Gl. 17})$$

Hier bedeutet Y der berechnete Wert der Zielfunktion, low bzw. $high$ ist ein Wert der als untere bzw. obere zulässige Schranke dient und der Parameter s beschreibt die Form der Wunschfunktion. Für die anderen Optimierungsrichtungen ergeben sich ähnliche Wunschfunktionen.

Alle Wunschfunktionen d_i werden zu der globalen Wunschfunktion D kombiniert, wobei auch die Gewichtungsfaktoren I_i berücksichtigt werden (Gl. 18).

$$D = \left\{ \prod_{i=1}^8 d_i^{I_i} \right\}^{1/\sum_{j=1}^8 I_j} \quad (\text{Gl. 18})$$

Die globale Wunschfunktion D wird durch Variation der Eingangsgrößen maximiert. Daraus folgen die optimierten Eingangsgrößen bzw. im vorliegenden Fall die optimierte Rezeptur (STATGRAPHICS®, 2005).

8 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Die durchgeführten Backversuche lassen sich in eine Vorversuchsreihe und in eine Hauptversuchsreihe gliedern.

Um die geringe Backfähigkeit des Gerstenmehles auszugleichen, wurden bestimmte Backhilfsmittel erprobt. Zur Teigbereitung wurden deshalb, neben Gersten- und Weizenmehl (nur im Vorversuch), auch Malzmehl, Quellmehl, Säuerungsmittel und Backmargarine eingesetzt. Auf deren positiven Einfluss bei der Teig- und Brotentwicklung wurde bereits im Literaturteil Kap. 4.3.2.1 näher eingegangen. Allerdings ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass der Einsatz dieser vier Backhilfsmittel bislang hauptsächlich bei Weizen- und Roggenteigen erfolgte. Berichte über etwaige Verwendung in gerstenhaltigen Mehlmischungen konnten nur im geringen Ausmaß gefunden werden (Magnus et al., 1987, arbeitete mit Backfett vgl. 4.6.1.). Trotzdem schien der Einsatz der Backhilfsmittel zweckmäßig. Die Backfähigkeit des verwendeten Nacktgerstenmehles sollte dadurch genauso optimiert werden, wie die Textur und Schmackhaftigkeit der fertigen Brote.

Die Zugabemenge der verwendeten Backhilfsmittel richtete sich zum einen nach in der Literatur angeführten Erfahrungswerten, zum anderen nach den Herstellerangaben.

8.1 Vorversuchsreihe mit 20 % Weizenmehl und 80 % Gerstenmehl

Diese Versuchsreihe diente in erster Linie zur praktischen Prüfung der in der Literatur beschriebenen positiven Effekte eines Quellmehl-/Malzmehl-/Backmargarine-/Säuerungsmittel-Zusatzes bei der Herstellung von Brot- und Backwaren (vgl. 4.3.2.1). Dabei sollten die in Tab. 10 angeführten Zutaten und Parameter in Backversuchen mit 20 % Weizenmehl und 80 % Gerstenmehl geprüft und deren optimale Zugabemengen bzw. Führungszeiten ermittelt werden.

Tab. 10: Variierte Einflussgrößen bei der Herstellung von den Versuchsbroten.

	Zutaten/Parameter	Variierter Bereich
Rezeptur	Trockenhefe	12 und 18 g je kg Mehl
	Quellmehl	15...30 g je kg Mehl
	Malzmehl	0,5...2 % je kg Mehl
	Backmargarine	10...50 g je kg Mehl
	Säuerungsmittel	4 und 8 g je kg Mehl
Führung	Teiggare	15...30 min
	Stückgare	15...50 min

Zur Herstellung der Vorversuchsbrote wurden insgesamt 14 unterschiedliche Teigrezepturen, anhand von Gl. 12 und Gl. 14 (vgl. 7.7.1), erstellt. Aus Tab. 11 ist der Plan der Rezepturen zur praktischen Durchführung der Backversuche ersichtlich. Der Führungsparameterplan der Brotherstellung wird in Tab. 12 dargestellt.

Tab. 11: Rezepturen der Vorversuchsreihe.

Vorversuchs Nr.	S-S-Lsg. ¹ [g]	GM ² [g]	WZ ³ [g]	Wasser [ml]	TH ⁴ [g]	QM ⁵ [g]	MM ⁶ [g]	SM ⁷ [g]	BM ⁸ [g]
Vv-1	230,0	624,6	202,0	335,6	18	-	-	-	-
Vv-2	230,0	624,6	202,0	335,6	12	-	-	-	-
Vv-3	230,0	624,6	202,0	335,6	18	-	-	-	-
Vv-4	230,0	624,6	202,0	335,6	12	-	-	-	-
Vv-5	230,0	605,8	195,9	335,6	12	19,7	-	-	-
Vv-6	230,0	615,2	199,0	335,6	12	9,9	-	-	-
Vv-7	230,0	610,5	197,5	335,6	18	14,8	-	-	-
Vv-8	230,0	610,5	197,5	335,6	12	14,8	-	-	-
Vv-9	230,0	621,5	201,0	335,6	12	-	3,5	-	-
Vv-10	230,0	612,1	198,0	335,6	12	-	13,9	-	-
Vv-11	230,0	618,3	199,9	335,6	12	-	-	-	10
Vv-12	230,0	593,3	191,9	335,6	12	-	-	-	50
Vv-13	230,0	622,1	201,2	335,6	12	-	-	0,4	
Vv-14	230,0	619,6	200,4	335,6	12	-	-	0,9	

¹ Salz-Saccharose-Lösung

² Gerstenmehl (80%)

³ Weizenmehl (20%)

⁴ Trockenhefe

⁵ Quellmehl

⁶ Malzmehl

⁷ Säuerungsmittel

⁸ Backmargarine

Tab. 12: Führungsparameter der Vorversuchsreihe.

Vorver- suchs Nr.	Knetzeit (Stufe 2,5) [min]	Teiggare [min]	Stückgare [min]	Backzeit [min]
Vv-1	3	15	15	35
Vv-2	3	15	15	35
Vv-3	3	30	50	35
Vv-4	3	30	50	35
Vv-5	3	15	15	35
Vv-6	3	15	15	35
Vv-7	3	15	15	35
Vv-8	3	15	15	35
Vv-9	3	15	15	35
Vv-10	3	15	15	35
Vv-11	3	15	15	35
Vv-12	3	15	15	35
Vv-13	3	15	15	35
Vv-14	3	15	15	35

8.2 Hauptversuchsreihe mit 100 % Gerstenmehl

Die Herstellung der Versuchsbrote im Hauptversuch erfolgte ausschließlich auf Basis von 100 % Gerstenmehl. Die anderen Zutaten bzw. Parameter wurden laut Versuchsplan, der wie in 7.8.2 beschrieben mittels Statistiksoftware STATGRAPHICS® entwickelt wurde, variabel eingesetzt. Der genaue Versuchsplan ist aus dem Anhang Tab. 27 zu entnehmen. Da bei Mehl gewisse Alterungseffekte auftreten, wurden die einzelnen Versuchsreihen randomisiert, um das statistische Ergebnis möglichst repräsentativ zu gestalten. Die im Versuchsplan angeführten Niveaus -1, 0, 1 sind wie folgt (Tab. 13) zu interpretieren.

Tab. 13: Verwendete Niveaus.

Eingangsgröße	-1	0	1
Teiggare [min]	10	15	20
Stückgare [min]	10	15	20
Mehrzugabe Wasser [%]	0	5	10
Trockenhefe [g]	12	15	18
Säuerungsmittel [g]	0	4	8
Quellmehl [g]	0	15	30
Malzmehl [%]	0	1	2
Fett [%]	0	2,5	5

Die genauen Mengenangaben der einzelnen erstellten Brotrezepturen sind im Anhang angeführt. Allerdings ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass für die Hauptversuchsreihe die trockenmassenbezogene Formel nach ICC-Standard Nr. 131 Gl. 14 für die Berechnung der Mehl- und Wassermenge herangezogen wurde. Es wurde nämlich in einem Probebackversuch mit 100 % Gerstenmehl, durch Anwendung der feuchtigkeitsbezogenen Formel (Vorversuch, vgl. Gl. 12), ein viel zu flüssiger Teig, welcher kaum verarbeitungsfähig war, erhalten. Außerdem war die Krume des daraus resultierenden Brotes viel zu fest. Aus diesem Grunde wurde die trockenmassenbezogene Formel für die Berechnung der Hauptversuchsrezepturen gewählt.

8.2.1 Handelsübliche Vergleichsbrote

Um die texturalen Eigenschaften der Versuchsbrote besser vergleichen und bewerten zu können, wurden zusätzlich zu dem Weizen-Standardbrot (siehe Anhang Abb. 62) noch drei handelsübliche Vergleichsbrote (Bio-Roggen-Pur, Bio-Vollkorn und Helles Dinkelbrot, siehe Anhang Abb. 91 bis Abb. 93) herangezogen. Eine ebenfalls durchgeführte Verkostung der Markenbrote sollte Unterschiede zu den hergestellten Versuchsbroten aufzeigen.

Bei der Auswahl der Brote wurde der Fokus sowohl auf den Vermahlungsgrad – handelt es sich um ein feinvermahlendes oder ein grob vermahlendes Brot – gerichtet, als auch auf die Brotform (Laibe, Kasten- oder Korbform). Es

wurden von vornherein 100 % Weizenbrote und Mischbrote (in Laib oder Korbform) ausgeschlossen. Da es sich bei den Versuchsbroten um feinvermahlene Brote in Kastenform handelte, fiel die Wahl auf folgende drei, am Lebensmittelmarkt erhältliche, Brote:

- Bio-Roggen-Pur (feinvermahlene Kastenbrot, Ströck-Brot GmbH)
- Bio-Volkornbrot (feinvermahlene Kastenbrot, Ströck-Brot GmbH)
- Helles Dinkelbrot (feinvermahlene Kastenbrot, Kurt Mann Bäckerei & Konditorei GmbH & Co KG)

8.3 Optimierte Gerstenbrot

Die Rezeptur des optimierten 100 %igen Gerstenbrot (vgl. Abb. 90) wurde mittels STATGRAPHICS[®] anhand der Mehrgrößen-Optimierung erstellt (vgl. 7.8.2.3.1). In Tab. 14 sind die minimierten bzw. maximierten Zielgrößen und deren Gewichtung angegeben, wobei der Faktor 1 den niedrigsten und Faktor 5 den höchsten Stellenwert repräsentiert. Die Entscheidung auf Minimierung bzw. Maximierung wurde durch Erfahrungswerte aus den Vor- und Hauptversuchen getroffen, die Gewichtung erfolgte nach subjektivem Ermessen.

Tab. 14: Mehrgrößen-Optimierungs-Parameter.

Zielgröße	Optimierungsrichtung	Gewichtung
pH-Wert	maximieren	1
Klebrigkeit nach Kneten [N]	minimieren	2
Klebrigkeit nach Rast [N]	minimieren	2
Brot-Umfang [cm]	maximieren	4
Brot-Volumen [cm ³]	maximieren	4
F ₂₅ ¹ [N]	minimieren	3
F _{max} ² [N]	minimieren	3
KEL ³	maximieren	4
L*-Kruste	minimieren	2
L*-Krumme	maximieren	2
Aussehen und Form	maximieren	4
Bräunung	maximieren	2
Konsistenz der Kruste	maximieren	4
Krumenporung und - lockerung	maximieren	3
Allgemeines Mundgefühl	maximieren	5
Geschmack und Geruch	maximieren	5

¹ Widerstandskraft bei 25 % Stauchung

² Maximalkraft

³ relative Krumenelastizität (F_{res}/F_{max})

9 VERSUCHSERGEBNISSE UND DISKUSSION

9.1 Chemische Analysen

Rohprotein, Trockensubstanz und Aschegehalt wurden von den Mehlen (Vor- und Hauptversuch, Vv bzw. Hv) bestimmt und nicht vom ganzen Getreidekorn (Tab. 15). Obwohl die beiden Vermahlungen mit ein und derselben gelbkörnigen Nacktgerstencharge (Erntejahr 2008) durchgeführt wurden, sind Abweichungen, vor allem im Rohproteingehalt, erkennbar. Ein bereits fortgeschrittener Proteinabbau durch mehleigene Enzyme könnte den etwas niedrigeren Rohproteingehalt des Hauptversuchsmehles erklären.

Bezüglich des Aschegehaltes unterscheiden sich die beiden Versuche nur minimal voneinander.

Die ermittelten Werte von Protein- und Aschegehalt des Vor- und Hauptversuches sind annähernd vergleichbar mit jenen von Andersson et al. (2003). In der von Andersson et al. (2003) durchgeführten Studie mit Schwedischen Nacktgersten, welche auf 13 % Feuchte konditioniert und auf einer Bühler MLU 202 Versuchsmühle vermahlen [durchschnittliche Mehlausbeute lag bei 42,0 % (Spanne von 36,9 bis 47,8 %)] wurden, konnte ein durchschnittlicher Proteingehalt von 8,6 % (Spanne von 7,7 bis 9,4 %) und ein durchschnittlicher Aschegehalt von 0,9 % (Spanne von 0,8 bis 1,0 %) erhoben werden.

Tab. 15: Ausgewählte Inhaltsstoffe von der vermahlenden gelbkörnigen Nacktgerste (Trockenmasse bezogene Werte).

Summe aller Mehlfractionen	Protein [%]	Trockensubstanz [%]	Aschegehalt [%]
Vv	9,41±0,053	89,07±0,16	1,16±0,025
Hv	8,40±0,006	90,70±0,05	1,08±0,002

(Mittelwert ± Standardabweichung)

9.2 Vermahlung

9.2.1 Vorversuchsreihe

Die im Rahmen der Vorversuche durchgeführte Vermahlung brachte einen ersten Einblick in das Mahlverhalten der gewählten gelbkörnigen Nacktgerste. Die in Tab. 16 angeführten Daten spiegeln sowohl die Mehlausbeute (Fraktion B1 bis C3) jedes einzelnen Versuches wieder als auch die Summe aller Mahlfractionen (inklusive Futtermehl und Kleie) innerhalb eines Testes.

Ebenfalls ersichtlich sind die Anteile der einzelnen Mehlfractionen, sowie die erhaltenen Futtermehl- und Kleiemengen.

Tab. 16: Ausbeute [%] an Mahlfractionen vom Bühler-Mahlautomat, Mahlversuch im Rahmen der Vorversuche.

Mahlfractionen	Nativ ¹ [%]	Nativ ¹ [%]	Nativ ¹ angefeuchtet (1 h) [%]	Nativ ¹ angefeuchtet (9,5 h) [%]	Trocken ² [%]	Trocken ² angefeuchtet (1 h) [%]
EW [kg]	5,00	10,00	5,00	10,00	9,00	10,00
Feuchte [%]	13,50	13,50	14,50	14,50	7,56	8,56
B1	3,94	4,13	3,60	2,94	5,58	6,65
B2	6,06	6,55	7,52	8,01	1,50	2,86
B3	0,26	0,46	0,62	0,53	0,18	0,29
C1	8,38	7,79	9,64	18,99	6,34	10,41
C2	5,24	4,46	5,60	5,50	3,56	5,19
C3	3,04	3,29	4,04	3,37	1,18	2,02
Mehlausbeute	26,92	26,68	31,02	39,34	18,33	27,42
Kleie	1,08	1,28	2,00	2,29	0,20	0,29
Futtermehl	67,02	59,84	65,28	61,23	52,18	39,15
Vermahlungsausbeute	95,02	87,80	98,30	102,86	70,71	66,86

¹ Nacktgerste unbehandelt

² Nacktgerste vorgetrocknet

Während der ersten Mahlversuche mit nativer Nacktgerste zeigte sich, durch Entnahme von Stichproben aus der ersten Vermahlungspassage, dass die Nacktgerstenkörner sehr spröde waren und dementsprechend zur Zersplitterung neigten. Dadurch kam es zu keiner optimalen Trennung zwischen Samenschale und Mehlkörper. Folglich resultierten geringe Mehlausbeuten von 26,92 bzw. 26,68 % und hohe Futtermehlmengen von 67,02 bzw. 59,84 %. Um der Zersplitterung vorzubeugen wurde das native Korn auf einen Feuchtegehalt von

14,5 % konditioniert (für eine bzw. neuneinhalb Stunden). Das Erhöhen der Kornfeuchte um 1 % wirkte sich zum Teil positiv auf die spröden Samenschalen aus. Obwohl die Mehlausbeute durch die Konditionierung um ca. 15 % (1 h angefeuchtet) bzw. ca. 45 % (9,5 h angefeuchtet) gesteigert werden konnte, wurden annähernd gleich hohe Futtermehlmengen erzielt, wie bei der nativen nicht angefeuchteten Nacktgerste. Außerdem wurde eine fast doppelt so hohe Kleiemenge (2,00 bzw. 2,29 %) gegenüber der nicht angefeuchteten Nacktgerste erhalten.

Bei der Vermahlung der vorgetrockneten bzw. der vorgetrockneten angefeuchteten Nacktgerste wurden, im Vergleich zu der nativen bzw. nativen angefeuchteten Nacktgerste, deutlich geringere Kleiemengen von nur 0,20 bzw. 0,29 % erzielt. Das Anfeuchten der vorgetrockneten Nacktgerste führte zu einer höheren Mehlausbeute und einer geringeren Futtermehlmenge, als bei der nicht angefeuchteten vorgetrockneten Nacktgerste.

Die höchste Mehlausbeute wurde mit der nativen angefeuchteten Nacktgerste erzielt, wobei bei der zeitlich länger angefeuchteten Nacktgerste höhere Mehlausbeuten und geringere Futtermehlmengen erhalten wurden. Aus der Vermahlung der vorgetrockneten (sowohl angefeuchtet als auch nicht) Nacktgersten gingen die geringsten Kleie- und Futtermehlmengen von allen durchgeführten Vermahlungen hervor.

Insgesamt lagen die gewonnenen Mehlausbeuten (zwischen 18,3 und 39,4 %) jedoch unter den in der Literatur angeführten Werten. In einer von Andersson et al. (2003) durchgeführten Studie mit nativen auf 13 % angefeuchteten Schwedischen Nacktgersten – Vermahlung erfolgte auf einer Bühler MLU 202 Versuchsmühle - wurden Mehlausbeuten zwischen 37 und 48 % erzielt. Allerdings wird in der Literatur darauf hingewiesen, dass die Mehlausbeute von Gerste vermutlich stark vom Genotyp abhängig ist (Grausgruber et al., 2008) und deshalb schwanken kann.

Ein möglicher Grund für die geringen Mehlausbeuten konnte darin gefunden werden, dass durch Unerfahrenheit bezüglich der Vermahlung von Gerste am Bühler Versuchsautomat der HTL Wels, vermutlich keine sachgemäße

Einstellungen der Maschine erfolgte. Ein Großteil der bisher dort ausgeführten Versuche wurde mit Weizen- und mit Roggenkörnern durchgeführt. Es bedarf deshalb möglicherweise für die Vermahlung von Gerste geänderten bzw. verbesserten Einstellungen zwischen den Mahlpalten (Abstände zwischen den einzelnen Walzen sollten noch besser der Beschaffenheit des Gerstenkornes angepasst werden).

Um Vermahlungsausbeuten von bis zu 103 % - wie sie bei der nativen angefeuchteten (9,5 h) Nacktgerste erhoben wurde – zu vermeiden, empfiehlt sich für zukünftige Mahlversuche an der Bühler Versuchsmühle den Vermahlungsautomaten regelmäßig gründlich zu reinigen.

Trotz geringer Gesamtmehlausbeute, wurde das Ziel dieser ersten Vermahlungseinheit erreicht, nämlich die Erkenntnis zu erlangen bei welcher Beschaffenheit des Kornes die höchste Mehlausbeute erzielt werden kann. Die höchste Mehlausbeute wurde bei der nativen für 9,5 h auf 14,5 % Feuchte konditionierter Nacktgerste erhalten.

9.2.2 Hauptversuchsreihe

Das Vorhaben die Mehlausbeute beim zweiten Mahlversuch (Hauptversuch) zu steigern, schlug fehl. Die Mehlausbeute von 25,1 % (Tab. 17) lag im Mittelfeld der im Vorversuch festgestellten und deutlich unter denjenigen in der Literatur angeführten.

Tab. 17: Ausbeute [%] an Mahlfractionen vom Bühler-Mahlautomat, Mahlversuch in Wels (Hauptversuch, Feuchte des Kornes lag bei 14,5 %)

Mahlfraction	Hauptversuch [%]
B1	2,2
B2	7,0
B3	0,8
C1	5,1
C2	5,3
C3	4,7
<i>Mehlausbeute</i>	<i>25,1</i>
Futtermehl	67,9
Kleie	0,7
<i>Vermahlungsausbeute</i>	<i>93,7</i>

Der Grund hierfür lag in einer Fehleinschätzung bezüglich der Benetzungszeit. Das Anfeuchten der gesamten Charge wurde, wie schon in Kap. 7.2.3.1 erwähnt, bereits vier Tage vor der Vermahlung durchgeführt. Auf Grund der frühen Benetzung drang das Wasser nicht nur in die äußeren Schalentteile ein, sondern wurde auch vom Mehlkörper aufgesaugt. Dadurch kam es zu einer schmierigen Beschaffenheit des aufgebrochenen Kornes im Laufe der Vermahlung. Dies führte nicht nur zu teilweise verstopften Sieben, sondern auch zum Haftenbleiben der Schale am Mehlkörper, was sich folglich in der geringen Mehlausbeute und erhöhten Futtermehlmenge widerspiegelte.

Für zukünftige Studien rät sich die Dauer der Konditionierung nicht über mehrere Tage zu erstrecken, sondern auf einige Stunden zu verkürzen. Außerdem sollte der Feuchtigkeitsgehalt des Getreidekornes unmittelbar vor der Vermahlung ermittelt werden, um eine etwaige Konditionierung durchzuführen oder diese von vornherein auszuschließen.

9.3 Rheologische Untersuchung mittels Brabender Farinograph

Wie schon unter Kap. 7.4.1 erwähnt, wurde das Augenmerk in erster Linie auf die Wasseraufnahme und prozentuelle Wasserabsorption gerichtet.

Für die Wasseraufnahme wurde im Vorversuch ein Prozentsatz von 60 ermittelt. Für die Berechnung des Teigwassers (vgl. 7.7.1) musste auch die Wasseraufnahme des verwendeten Weizenmehles berücksichtigt werden. Diese lag laut Herstellerangaben bei 62 %.

Die prozentuelle Wasserabsorption des 100 % Gerstenmehles aus der zweiten Vermahlungseinheit lag bei 57 %.

9.4 Bewertung der funktionellen und qualitativen Eigenschaften der Teige und Brote des Vorversuches

9.4.1 Beurteilung der Teigbeschaffenheit und Teigverarbeitung

Anhand des unter Kap. 7.5.1 in Tab. 5 angeführten Schemas erfolgte die subjektive Beurteilung der Teigbeschaffenheit (Oberfläche und Struktur), sowie der generellen Teigverarbeitungsfähigkeit.

Es konnte kein einziger Teig in seiner Struktur als normal elastisch (wie es bei dem 100 %igen Weizenmehlteig der Fall war) eingestuft werden. Dadurch, dass Gerstenmehl nur über einen äußerst geringen Gehalt an Gluten (Kleber) verfügt, konnten bei der Teigbereitung nach Zugabe von Wasser zum Mehl auch keine vergleichbaren viskoelastischen, kohäsiven Teige hergestellt werden.

Bis auf drei Ausnahmen waren alle Teige mangelhaft oder kaum verarbeitungsfähig, das heißt es kam zu teils gravierenden Negativeffekten bezüglich Teigklebrigkeit und manueller Verarbeitbarkeit. Vermutlich ergaben sich durch Verwendung der feuchtigkeitsbezogenen Formel (vgl. 7.7.1) ungünstige Mehl- zu Wasser-Verhältnisse, welche zu einer schlechten manuellen Verarbeitbarkeit führten. Allerdings könnten auch die eingesetzten Backhilfsmittel sich negativ auf die Teigbeschaffenheit ausgewirkt haben, jedoch gab es dafür keine festgestellten Anhaltspunkte.

Einer, der drei als „normal“ verarbeitungsfähig bezeichneten Teige, enthielt eine gewisse Menge an Malzmehl, die beiden anderen Teige eine gewisse Menge an Säuerungsmittel. Anscheinend dürfte ein minimaler Säuerungsmittelzusatz (≤ 0.9 g), genauso wie eine geringe Menge an Malzmehl (3,5 g) sich positiv auf die Teigbeschaffenheit ausgewirkt haben. Die drei Teige konnten ohne gröber auftretende Schwierigkeiten, wie Klebenbleiben an Schüsselboden und –rand, sowie an Nudelwalker oder Arbeitsfläche, verarbeitet werden.

Tab. 18: Subjektive Beurteilung der Teigbearbeitungseigenschaften der Brote aus der Vorversuchsreihe.

Versuchs-Nr.	Oberfläche	Struktur (Elastizität)	Teigverarbeitungsfähigkeit
100 % Weizen	feuchtklebind	elastisch	sehr gut
18 g TH ¹	feuchtklebind	plastisch/kurz	kaum verarbeitungsfähig
12 g TH ¹	feuchtklebind	plastisch/kurz	kaum verarbeitungsfähig
18 g TH ¹ (lang) ²	normal	plastisch/kurz	kaum verarbeitungsfähig
12 g TH ¹ (lang) ²	normal	plastisch/kurz	mangelhaft
12 g TH ¹ , 19,7 g QM ³	etwas feucht	nachlassend/etwas zäh	mangelhaft
12 g TH ¹ , 9,9 g QM ³	feuchtklebind	nachlassend/etwas zäh	mangelhaft
18 g TH ¹ , 14,8 g QM ³	normal	nachlassend/etwas zäh	kaum verarbeitungsfähig
12 g TH ¹ , 14,8 g QM ³	normal	nachlassend/etwas zäh	mangelhaft
12 g TH ¹ , 3,5 g MM ⁴	trocken	plastisch/kurz	normal
12 g TH ¹ , 13,9 g MM ⁴	etwas feucht	nachlassend/etwas zäh	mangelhaft
12 g TH ¹ , 10,0 g BM ⁵	normal	nachlassend/etwas zäh	mangelhaft
12 g TH ¹ , 50,0 g BM ⁵	feuchtklebind	breitlaufend/zäh	kaum verarbeitungsfähig
12 g TH ¹ , 0,4 g SM ⁶	normal	plastisch/kurz	normal
12 g TH ¹ , 0,9 g SM ⁶	etwas-feucht	plastisch/kurz	normal

¹ Trockenhefe

² Teiggare 30 min, Stückgare 50 min

³ Quellmehl

⁴ Malzmehl

⁵ Säuerungsmittel

⁶ Backmargarine

9.4.2 Messung der Farbe im CIE – L*a*b* - Farbsystem

Wie in Abb. 28 ersichtlich ist, lagen die L*-Farbwerte (Helligkeit) sowohl der Kruste als auch der Krume bei einem Großteil der Vorversuchsbrote unter jenen des Weizen-Standardbrot. Die vorliegenden Ergebnisse werden, durch jene in der Literatur angeführten Erfahrungen, bestätigt. Bei hoher Gerstemehlzugabe ist die Helligkeit der Brotkrume und -kruste im Vergleich zu einer Weizenbrotkrume bzw. -kruste deutlich geringer (Grausgruber et al., 2008).

Es wurde allerdings auch festgestellt, dass drei Brote über einen annähernd gleich hohen Krusten-Helligkeitswert verfügten, wie das Weizen-Standardbrot (L*-Wert von 67,4). Jenes Brot mit 10 g Backmargarinezusatz kam, mit einem ermittelten L*-Wert von 66,2, am Nächsten an den Krustenwert des Weizenbrot heran. Die beiden anderen reihten sich mit L*-Werten von 65,3 (Brot hatte 3,5 g Malzmehlzusatz) und 65,2 (Brot hatte 0,9 g Säuerungsmittelzusatz) knapp dahinter. Die fünffache Menge an Backmargarine (50 g) und in etwa die vierfache Menge an Malzmehl (13,9 g) wirkte sich erkennbar auf die Helligkeit der Kruste aus (die Oberseite der Kruste war dunkler, als mit weniger Backhilfsmittelzugabe).

Interessanterweise wiesen die ersten vier Versuchsbrote (ohne Backhilfsmittel) und jenes Versuchsbrot mit 14,8 g Quellmehlzusatz und 18 g Trockenhefe (das einzige Brot mit Backhilfsmittelzusatz und 18 g Trockenhefe) die niedrigsten Krusten L*-Werte auf. Anscheinend dürfte sowohl die Backhilfsmittelzugabe, als auch die Menge an eingesetzter Trockenhefe einen deutlichen Einfluss auf die Krusten Helligkeit gehabt haben. Bei der Krumen Helligkeit dieser eben erwähnten fünf Brote konnte dies allerdings nicht festgestellt werden.

Alle Vorversuchsbrote wiesen geschlossen höhere Rotwerte (a*) und Gelbwerte (b*) auf, als das Weizen-Standardbrot (Abb. 29). Dieser Sachverhalt war sowohl bei der Krume, als auch bei der Kruste deutlich ersichtlich.

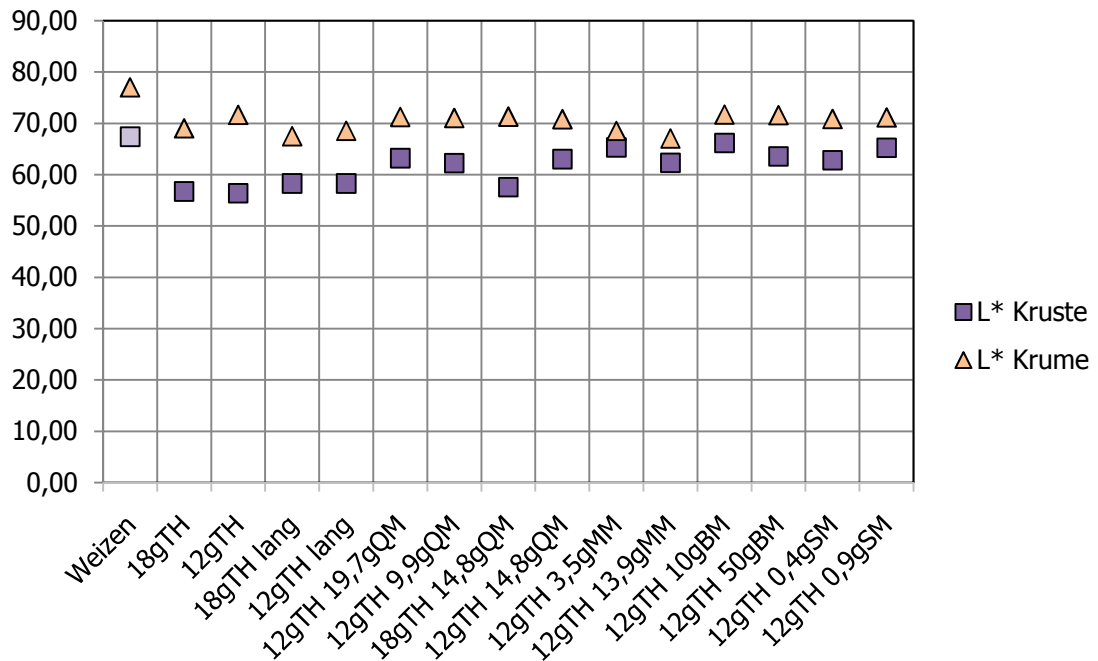


Abb. 28: Farbwert L* von der Kruste und Krume der Vorversuchsbrote (inklusive Weizen-Standard). TH = Trockenhefe; lang = 30 min Teiggare, 50 min Stückgare; QM = Quellmehl; MM = Malzmehl; BM = Backmargarine; SM = Säuerungsmittel.

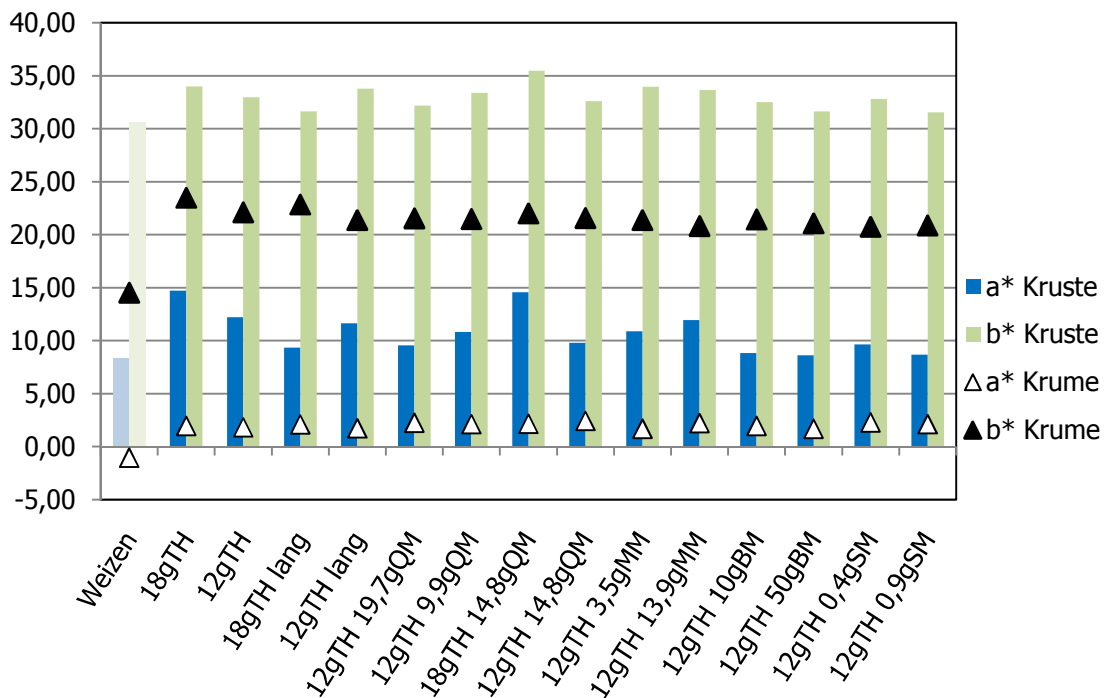


Abb. 29: Farbwerte a*, b* von der Kruste und Krume der Vorversuchsbrote (inklusive Weizen-Standard). TH = Trockenhefe; lang = 30 min Teiggare, 50 min Stückgare; QM = Quellmehl; MM = Malzmehl; BM = Backmargarine; SM = Säuerungsmittel.

9.4.3 Volumen- und Umfangmessung der Brote

Durch die hohe Gerstenmehlzugabe waren die Brotvolumina der Vorversuchsreihe, im Vergleich zum Standard-Weizenbrotvolumen, deutlich reduziert (Abb. 30). Es ließ sich allerdings erkennen, dass die Vorversuchsbrote mit Quellmehlzugabe $\leq 14,8$ g über ein merklich größeres Volumen verfügten, als die anderen Versuchsbrote. Dieses Faktum wurde nicht nur auf die Verwendung des Backhilfsmittels Quellmehl, sondern auch auf dessen Zugabenhöhe zurückgeführt. Dass vor allem die Höhe der Zugabe eine entscheidende Rolle bei der Volumenbildung gespielt hatte, zeigte sich im deutlich kleiner geratenen Volumen des Vorversuchsbrottes, welchem die vom Hersteller maximal empfohlene Menge an Quellmehl (19,7 g) zugegeben wurde.

Das kleinste Volumen wies jenes Versuchsbrot mit 10 g Backmargarinezusatz auf. Es hatte ein um 30 % geringeres Volumen ($713,3 \text{ cm}^3$) als jenes Brot (14,8 g Quellmehl und 18 g Trockenhefe) mit dem größten Volumen ($1030,0 \text{ cm}^3$).

Die Umfangmesswerte der einzelnen Vorversuchsbrote unterschieden sich nur minimal voneinander (Durchschnittswert von 70 cm). Außerdem lagen sie im Durchschnitt um 15 % unter jenen des Weizen-Standardbrottes.

Es wurde ermittelt, dass die Ergebnisse der Volumen- und Umfangmessung der Vorversuchsreihe im Durchschnitt etwas höher lagen als jene der Hauptversuchsreihe. Ob die höheren Volumina der Vorversuchsbrote ausschließlich auf die Weizenmehlzugabe zurückzuführen sind, wurde nicht näher erforscht. Jedoch würden diese Ergebnisse jenen in der Literatur angeführten entsprechen - bei zunehmender Gerstenmehlzugabe nimmt das Volumen der Brote ab (vgl. 4.6.1).

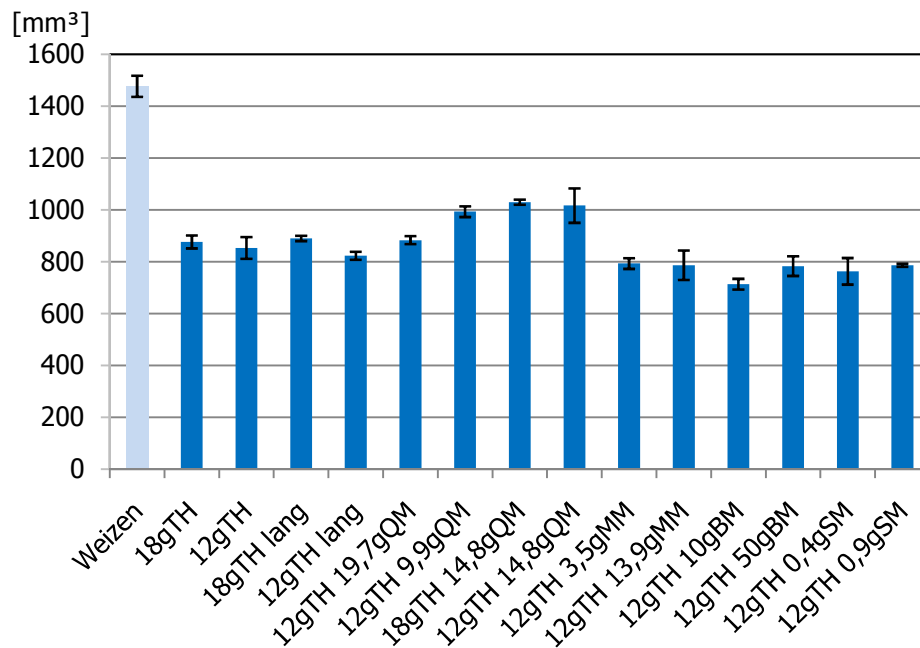


Abb. 30: Volumen (inkl. Standardabweichung) der Vorversuchsbrote inklusive Weizen-Standard. TH = Trocken-hefe; lang = 30 min Teiggare, 50 min Stückgare; QM = Quellmehl; MM = Malzmehl; BM = Backmargarine; SM = Säuerungsmittel.

9.4.4 Bestimmung der texturalen Eigenschaften der Brotkrume (nach AACC 74-09)

Es wurde mit der 5 kg-Kraftmessdose gearbeitet. Alle Vorversuchsbrote wiesen im Vergleich zum Weizen-Standardbrot erhöhte Krumenfestigkeitswerte (F_{25} , F_{max}) auf (Abb. 31). Besonders bei jenen Versuchspaaren mit Backmargarine- oder Säuerungsmittelzusatz wurden merklich höhere Krumenfestigkeiten festgestellt. Geringere Krumenfestigkeiten wurden bei jenen Broten gemessen, denen kein Backhilfsmittel zugegeben wurde und die keiner längeren Gärzeit ausgesetzt waren.

Teilweise übte vor allem die Zugabenmenge einen deutlichen Einfluss auf die Festigkeit der Brotkrume aus. So erwiesen sich höhere Mengen an Malzmehl (13,9 g) und Backmargarine (50 g) als vorteilhaft, die F_{max} -Werte dieser Versuchsbrote waren in etwa um 15 % geringer, als jene von deren Vergleichsbrotten (Brote mit geringeren Malzmehl- bzw. Backmargarinemengen).

Die *relative Krumenelastizität* (KEL) der Versuchsbrote war im Durchschnitt um ein Drittel niedriger als jene des Weizenbrotes. Zu einer deutlichen Abnahme der *relativen Krumenelastizität* kam es vor allem dann, wenn die Versuchsteige einer verlängerten Gärzeit (80 min statt 30 min) ausgesetzt waren.

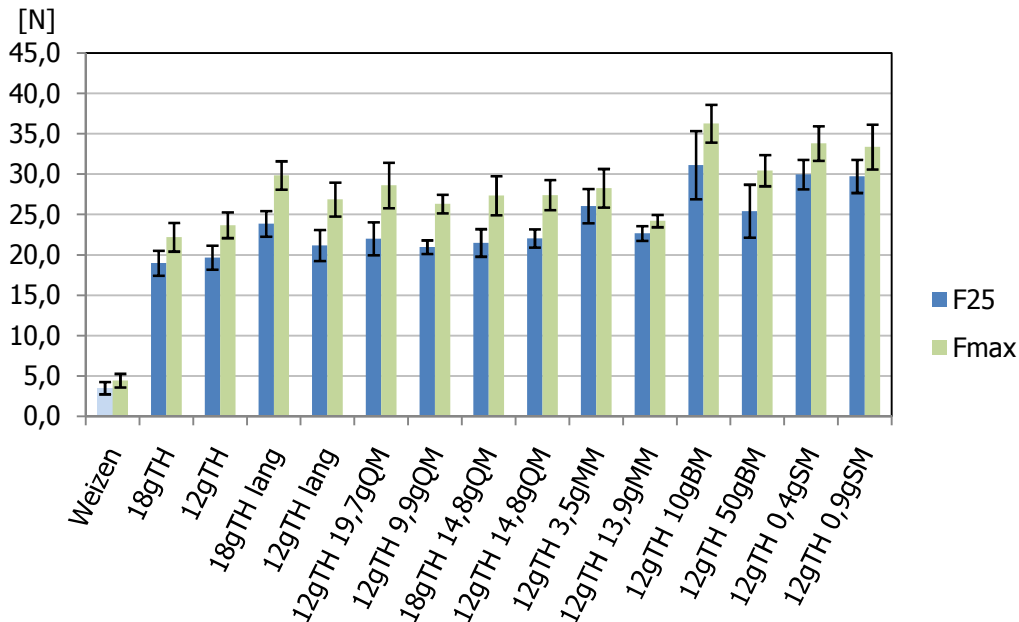


Abb. 31: Krumenfestigkeit (F25, Fmax) (inkl. Standardabweichung) der Vorversuchsreihe inklusive Weizen-Standard. TH = Trockenhefe; lang = 30 min Teiggare, 50 min Stückgare; QM = Quellmehl; MM = Malzmehl; BM = Backmargarine; SM = Säuerungsmittel.

9.4.5 Sensorische Beurteilung der Brote

Die Beurteilung der Vorversuchsbrote erfolgte nach keinem vorgegebenen Prüfschema. Die sensorischen Eindrücke wurden in Form von Stichwörtern festgehalten (siehe Anhang Abb. 55 bis Abb. 61). Größere Unterschiede wurden vor allem im Erscheinungsbild der Krumenporung, sowie in der Beschaffenheit der Krume bzw. Kruste festgestellt. Ebenfalls wurden Unterschiede bei den Prüfmerkmalen Geruch und Geschmack, sowie Krustenbräunung wahrgenommen.

Besonders hervorstachen jene Brote, denen die maximale, vom Hersteller empfohlene, Zugabemenge an Quellmehl- oder Säuerungsmittel zugesetzt wurde. Der erhöhte Quellmehlzusatz führte zu einer annähernd goldgelb gebräunten Brotkruste und zu einer brotähnlichen Textur. Außerdem wurden ein

angenehm getreidiger, leicht malziger Geruch und ein süßlicher, sowie abgerundeter Geschmack wahrgenommen. Bei der Verkostung jener Brote mit Säuerungsmittelzusatz viel die stabile und zähe Kruste der Brote genauso positiv auf, wie der aromatische, leicht säuerliche Geruch und Geschmack. Allerdings brachte der Säuerungsmittelzusatz bzw. die pH-Wertsenkung dennoch nicht die erhofften Effekte, welche bei einer Roggenteigsäuerung beobachtet werden (vgl. 4.4), mit sich. Es kam weder zu einer Teig- bzw. Brotlockerung, noch zu einer Volumensteigerung. Dies wurde durch die Volumen- und Texturergebnisse der Vorversuchsreihe eindeutig bestätigt (vgl. dazu Vv-13 und Vv-14 in Abb. 30 und Abb. 31).

9.5 Auswertung des Plackett-Burman-Versuchsplanes

Durch die Anwendung des Plackett-Burman-Versuchsplanes war es möglich mit einer minimalen Anzahl an Versuchen ($n=24$) den Zusammenhang der Einflussgrößen mit den Zielgrößen zu bestimmen. Durch dieses Verfahren können gute Schätzungen der Haupteffekte (Einfluss einer Eingangsvariablen bei konstant halten aller übrigen) ermittelt werden, es ist aber nicht in der Lage Zweifachwechselwirkungen voneinander zu unterscheiden. Deshalb konnten solche Interaktionen in der Auswertung nicht berücksichtigt werden.

In Tab. 19 sind die Beziehungen zwischen Einflussgrößen und Zielgrößen dargestellt. Der Zahlenwert gibt die Differenz zwischen der Zielgröße bei dem kleinsten Wert der Einflussgröße (-1) und der Zielgröße beim größten Wert der Einflussgröße (+1), bei konstant halten aller anderen Einflussgrößen, an. Der Wert in Klammer gibt den dazu gehörigen p-Wert an.

Mit Hilfe der in Tab. 19 angeführten Ergebnisse und deren zugrundeliegenden Modellen, konnte mittels Mehrgrößen-Optimierung ein optimiertes Brotrezept generiert werden.

Aus Tab. 19 lässt sich recht deutlich erkennen, dass weder die Einflussgröße „Teiggare“, noch „Trockenhefe“ einen signifikanten Einfluss auf irgendeine der 16 Zielgrößen ausübten. Ähnliches konnte bei der Zielgröße „Stückgare“

festgestellt werden, diese hatte lediglich einen signifikanten Einfluss auf den „Brotumfang“. Ein Großteil der Zielgrößen wurde vor allem von den Einflussgrößen „Wasser“, „Säuerungsmittel“ und „Backmargarine“ beeinflusst. Die Einflussgrößen „Quellmehl“ und „Malzmehl“ zeigten hingegen nur etwa bei der Hälfte der Zielgrößen signifikante Wirkung.

Tab. 19: Auswertung der Einflussgrößen bezüglich Signifikanz ($\alpha=0,05$) mit STATGRAPHICS®. Zahlenwert gibt die Differenz zwischen der Zielgröße bei dem kleinsten Wert der Einflussgröße (-1) und der Zielgröße beim größten Wert der Einflussgröße (+1), bei konstant halten aller anderen Einflussgrößen, an. Der Wert in Klammer ist der zugehörige p-Wert.

		Einflussgrößen							
		TG ¹	SG ²	Wasser	TH ³	SM ⁴	QM ⁵	MM ⁶	BM ⁷
Zielgrößen	pH-Wert	+n	+n	+n	+n	-0,96 (0,0000)	+n	+n	+n
	Klebrigkeit nach Kneten	+n	+n	0,007 (0,0065)	+n	-n	-n	+n	0,006 (0,0193)
	Klebrigkeit nach Rast	+n	+n	0,006 (0,0231)	-n	-n	-n	+n	0,007 (0,0075)
	Brotumfang	-n	-0,59 (0,0395)	1,8 (0,0000)	-n	-1,03 (0,0011)	-1,43 (0,0000)	1,04 (0,0010)	0,96 (0,0015)
	Brotvolumen	+n	+n	71,98 (0,0015)	-n	-n	-43,61 (0,0360)	+n	+n
	F25	-n	+n	-15,12 (0,0000)	+n	7,57 (0,0010)	8 (0,0006)	-8,46 (0,0004)	-6,49 (0,0034)
	Fmax	+n	+n	-16,05 (0,0000)	+n	7,73 (0,0017)	8,82 (0,0005)	-8,59 (0,0007)	-9,53 (0,0003)
	KEL	-n	-n	-0,013 (0,0107)	+n	-0,038 (0,0000)	+n	0,015 (0,0049)	-0,012 (0,0227)
	L*-Kruste	-n	+n	-n	-n	5,84 (0,0000)	-n	-n	-6,36 (0,0000)
	L*-Krumme	-n	-n	-1,05 (0,0039)	+n	1,48 (0,0043)	-n	-1,49 (0,0041)	-n
	Aussehen Form	-n	-n	0,92 (0,0049)	-n	-n	-n	+n	-n
	Bräunung	-n	-n	+n	+n	-1,08 (0,0000)	-n	0,42 (0,0067)	1,25 (0,0000)
	Konsistenz Kruste	-n	-n	0,75 (0,0139)	-n	-0,75 (0,0139)	-0,58 (0,0483)	-n	-1,58 (0,0000)
	Krumenporung	-n	+n	+n	+n	-0,75 (0,0162)	-n	0,75 (0,0162)	0,75 (0,0162)
	Mundgefühl	-n	-n	1 (0,0095)	+n	-n	+n	+n	-n
Geschmack Geruch	+n	+n	+n	+n	-1,83 (0,0000)	+n	+n	-n	

+xx	signifikant positiv
-xx	signifikant negativ
+n	nicht signifikant positiv
-n	nicht signifikant negativ

- ¹ Teiggare
- ² Stückgare
- ³ Trockenhefe
- ⁴ Säuerungsmittel
- ⁵ Quellmehl
- ⁶ Malzmehl
- ⁷ Backmargarine

9.6 Bewertung der funktionellen und qualitativen Eigenschaften der Teige und Brote des Hauptversuches

9.6.1 Bestimmung der Klebrigkeit des Teiges

In Abb. 32 sind die *positiven Maximalkräfte* nach dem Kneten und nach der Stückgare der Hauptversuchsbrote dargestellt. Man sieht anhand der Abnahme der *positiven Maximalkraft* vom Zeitpunkt des Knetens bis nach der Stückgare, dass etwa 80 % der Teige im Laufe der Gärzeiten an Klebrigkeit verloren haben. Die Zunahme der *positiven Maximalkraft* bei einigen Teigen ließ sich nicht begründen. Es konnte kein Zusammenhang mit denen im Teig eingesetzten Backhilfsmitteln oder Prozessparameter festgestellt werden. Deshalb kann nur die Vermutung angestellt werden, dass die Zunahme entweder auf den Einfluss von zufälligen Messfehlern zurückzuführen ist, oder auf extrinsische Faktoren, wie unterschiedliche Teig- und Raumtemperaturen. Möglich wäre auch, dass es zu zeitlichen Verzögerungen während der ersten Messung (nach dem Kneten) kam, die Teige dadurch länger den Raumbedingungen ausgesetzt waren und folglich vermehrt an Feuchtigkeit verloren. Es empfiehlt sich deshalb die Teigklebrigkeitsmessungen möglichst schnell und präzise durchzuführen, sowie die Teigproben, durch Abdeckung, vor Austrocknung zu schützen.

Jenen Teigen, deren *positive Maximalkraft* nach dem Kneten und teilweise auch nach der Stückgare über 0,015 N war, wurde eine gewisse Menge an Backmargarine und/oder zusätzliches Teigwasser zugesetzt (mit Ausnahme von Versuchsteig Hv-2). Ein Großteil dieser Teige zeigte im Laufe der Teigführung eine „normale“, „gute“ oder „sehr gute“ Verarbeitungsfähigkeit (vgl. 9.6.2 Tab. 20). Mehr als die Hälfte jener Teige, deren *positive Maximalkraft* (sowohl nach dem Kneten als auch nach der Stückgare) kleiner war als 0,015 N, enthielten weder Backmargarine noch zusätzliches Teigwasser. Dem Rest wurde entweder keine Backmargarine oder kein zusätzliches Wasser beigemischt. Insgesamt wurden die Teige mit *positiver Maximalkraft* kleiner als 0,015 N als

„normal“, „mangelhaft“ oder „kaum verarbeitungsfähig“ eingestuft (vgl. 9.6.2 Tab. 20). Eine Ausnahmeerscheinung stellte hier der Versuchsteig Hv-19 dar, welcher mit „sehr gut“ in seiner Verarbeitbarkeit bewertet wurde. Das heißt, dass höhere Klebrigkeitswerte, welche vor allem durch die Verwendung von Backmargarine und/oder zusätzlichem Teigwasser verursacht wurden, zwar größtenteils mit einer „guten“ bis „sehr guten“ Teigverarbeitungsfähigkeit in Verbindung gebracht werden konnten, allerdings dies nicht zwangsläufig zutreffen musste.

Durch die Pareto-Diagramme (Abb. 33 und Abb. 34) wird der signifikante Einfluss, welchen sowohl Backmargarine, als auch zusätzliches Teigwasser auf die Klebrigkeit der Teige ausübte, bestätigt.

Gründe für die deutlich höhere Klebrigkeit der Versuchsteige Hv-5 bis Hv-8 konnten nicht gefunden werden. Es wurde lediglich gemutmaßt, dass messtechnische Fehler an dem Arbeitstag, an dem diese vier Teige untersucht wurden, auftraten.

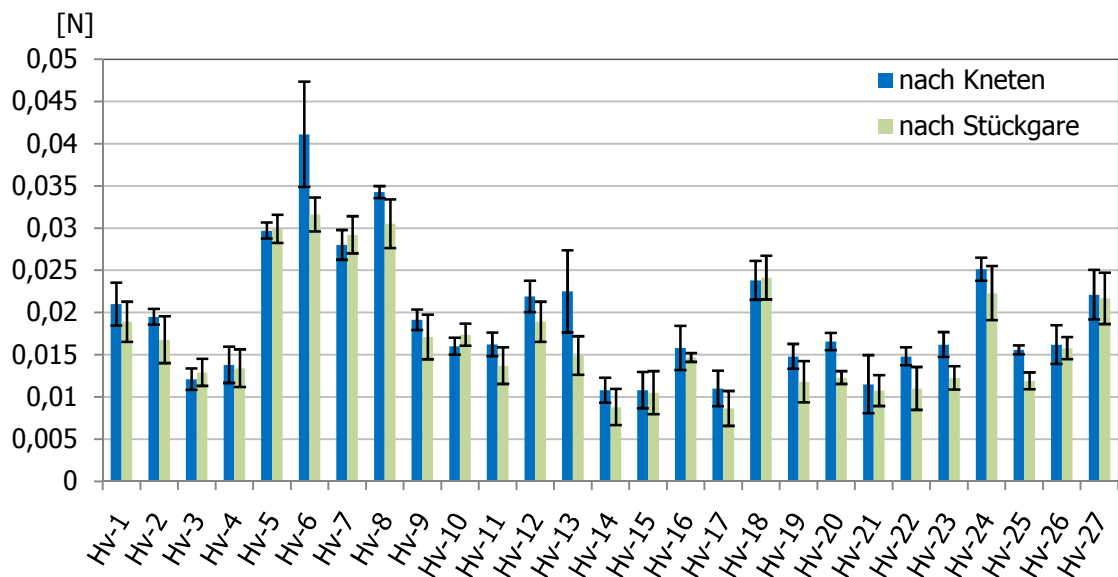


Abb. 32: Positive Maximalkraft [N] (inkl. Standardabweichung) der Hauptversuchsteige nach dem Kneten und nach der Stückgare.

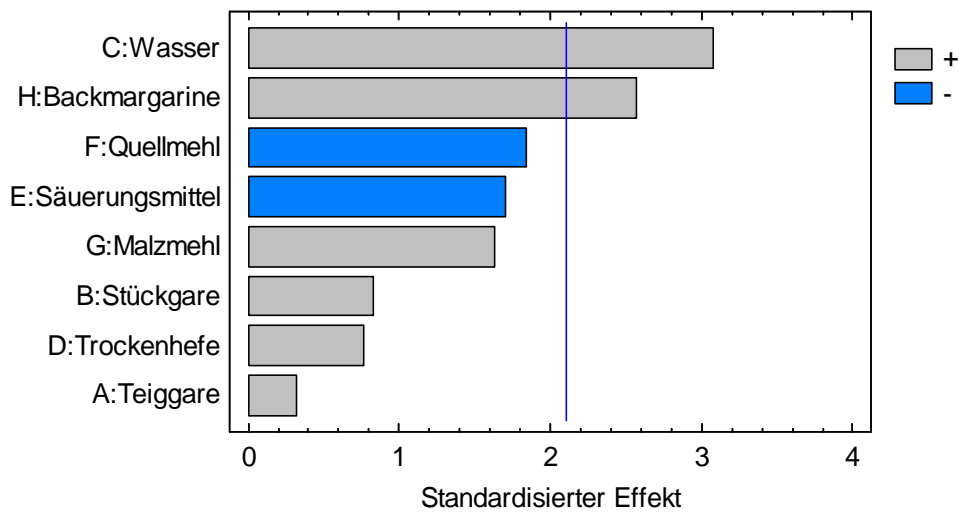


Abb. 33: Standardisiertes Pareto-Diagramm für die Klebrigkeit nach dem Kneten.

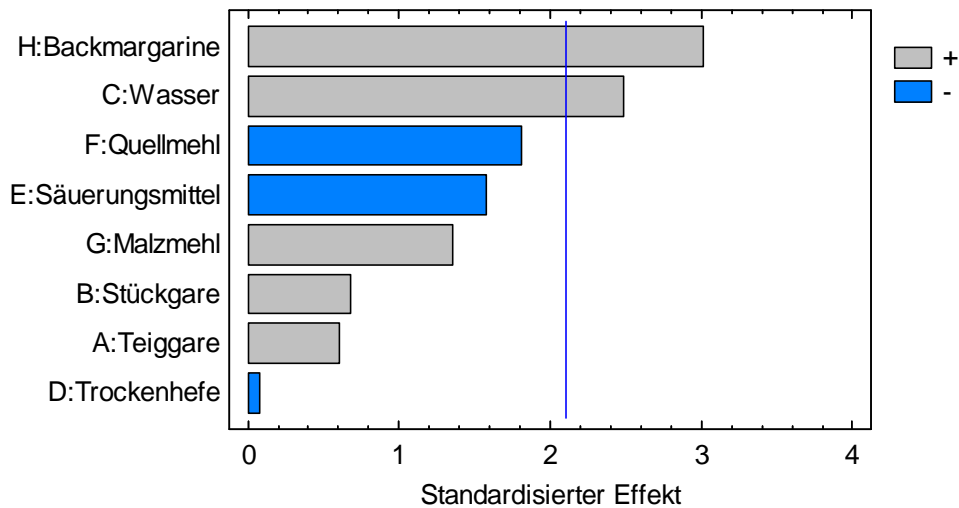


Abb. 34: Standardisiertes Pareto-Diagramm für die Klebrigkeit nach der Stückgare.

Aus Abb. 35 ist der Zusammenhang der *positiven Maximalkräfte* (nach dem Kneten und nach der Stückgare) der Hauptversuchsteige im Bezug zum 100 %igen Weizenmehlteig zu entnehmen. Die Gerstenmehlteige wiesen maximal ein Fünftel der Klebrigkeit des Weizenmehlteiges auf, jedoch verloren die Gerstenmehlteige bezogen auf den Weizenmehlteig im Laufe der Gärzeiten weniger an Klebrigkeit. Dies zeigte sich im Anstieg der prozentuellen *positiven Maximalkraft* nach der Stückgare.

Vermutlich führten vor allem intrinsische Faktoren des Gerstenmehles, wie beispielsweise wasserbindende β -Glucane oder lösliche Pentosanfraktionen, zu einer deutlich geringeren Klebrigkeit. Allerdings ist die geringere Klebrigkeit der

Gerstenteige nicht als negativ zu bewerten, da einige Teige, wie zuvor erwähnt, in ihrer Verarbeitungsfähigkeit trotzdem als „gut“ oder „sehr gut“ eingestuft wurden. Dass heißt, obwohl die Verarbeitungsfähigkeit des 100 %igen Weizenmehlteiges ebenfalls als „sehr gut“ beurteilt wurde, müssen Gerstenteige nicht zwangsläufig annähernd gleich hohe Klebrigkeitswerte aufweisen, um als „sehr gut“ in ihrer Verarbeitungsfähigkeit bezeichnet zu werden.

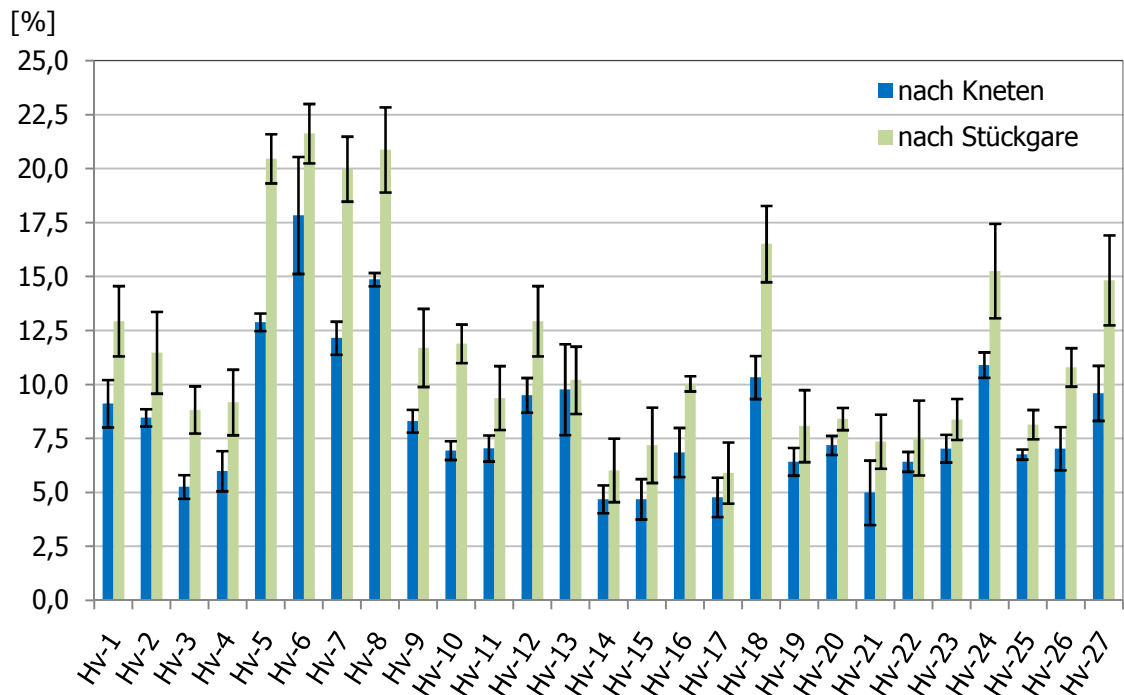


Abb. 35: Prozentuelle *positive Maximalkraft* (inkl. Standardabweichung) der Hauptversuchsteige bezogen auf den Weizenteig nach dem Kneten und nach der Stückgare.

9.6.2 Beurteilung der Teigbeschaffenheit und Teigverarbeitungsfähigkeit

Im Hauptversuch erschwerte vor allem die Trockenheit einzelner Teige die manuelle Verarbeitbarkeit. Einige Teigklumpen hatten einen sehr mangelhaften Zusammenhalt und rissen immer wieder bei der Formgebung ab. Der Grund lag hauptsächlich darin, dass diesen Teigen kein zusätzliches Wasser beigemischt wurde und sie folglich zu trocken gerieten. Allerdings konnten bis auf jene Teige, die dadurch als „mangelhaft“ oder „kaum verarbeitungsfähig“ bewertet wurden, alle übrigen Teige ohne gravierende Schwierigkeiten verarbeitet

werden. Jene Teige, die als „gut“ oder sogar als „sehr gut“ (vergleichbar mit der Teigverarbeitungsfähigkeit des 100%igen Weizenteiges) beurteilt wurden, enthielten eine gewisse Menge an Backmargarine und/oder zusätzliches Teigwasser.

Inwiefern sich die Trockenheit mancher Teige auf deren Maschinengängigkeit auswirkte, konnte nicht erhoben werden. Es konnte lediglich bei der manuellen Verarbeitung festgestellt werden, dass sich einzelne Teige nur mit einem erhöhten Kraftaufwand ausrollen ließen und bei der Formgebung teilweise durch die bröselige Beschaffenheit abrissen. Um eine konkrete Aussage über die Maschinengängigkeit der Versuchsteige machen zu können, empfiehlt es sich in zukünftigen Studien, neben den rheologischen Messwerten (vgl. 9.6.1) auch die von Wang et al. (1994) erstellte Klebrigkeitsskala zur subjektiven Bewertung von Teigen heranzuziehen. Dadurch kann ein präziser Vergleich zwischen den erhobenen Daten hergestellt und folglich die maschinelle Verarbeitbarkeit besser eingeschätzt werden – durch die in Tab. 20 angeführte deskriptive Beurteilung war dies nicht möglich.

Tab. 20: Subjektive Beurteilung der Teigbearbeitungseigenschaften der Brote aus der Hauptversuchsreihe.

Versuchs-Nr.	Oberfläche	Struktur (Elastizität)	Teigverarbeitungs-fähigkeit
100 % Weizen	feucht-klebind	elastisch	sehr gut
Hv-1	normal	plastisch/kurz	normal
Hv-2	trocken	plastisch/kurz	mangelhaft
Hv-3	trocken	plastisch/kurz	kaum verarbeitungsfähig
Hv-4	trocken	plastisch/kurz	normal
Hv-5	normal	plastisch/kurz	gut
Hv-6	normal	plastisch/kurz	mangelhaft
Hv-7	etwas feucht	plastisch/etwas kurz	gut
Hv-8	normal	etwas elastisch	sehr gut
Hv-9	etwas feucht	plastisch/kurz	normal
Hv-10	etwas feucht	plastisch/etwas kurz	gut
Hv-11	normal	plastisch/kurz	normal
Hv-12	feucht	nachlassend/etwas zäh	gut
Hv-13	normal	plastisch/etwas kurz	normal
Hv-14	trocken	plastisch/kurz	kaum verarbeitungsfähig
Hv-15	trocken	plastisch/kurz	mangelhaft
Hv-16	normal	plastisch/etwas kurz	gut
Hv-17	normal	plastisch/kurz	normal
Hv-18	feucht	etwas elastisch	gut
Hv-19	etwas feucht	etwas elastisch	sehr gut
Hv-20	trocken	plastisch/kurz	normal
Hv-21	etwas feucht	plastisch/kurz	mangelhaft
Hv-22	trocken	plastisch/kurz	mangelhaft
Hv-23	feucht	plastisch/etwas kurz	sehr gut
Hv-24	feucht-klebind	plastisch/kurz	mangelhaft
Hv-25	etwas feucht	plastisch/etwas kurz	gut
Hv-26	normal	plastisch/kurz	normal
Hv-27	etwas feucht	etwas elastisch	gut

9.6.3 Bestimmung des pH-Wertes

Jene Versuchsteige, denen 7,0 g an Säuerungsmittel zugesetzt wurde, hatten einen pH-Wert von $\leq 4,1$ (vgl. Abb. 36). Bei den Teigen Hv-10, Hv-16 und Hv-27 handelte es sich um die Zentralpunkte des Versuchsplanes. Diese enthielten nur die halbe Menge an Säuerungsmittel, deshalb hatten sie, im Vergleich zu den anderen säuerungsmittelhaltigen Broten, einen etwas höheren pH-Wert.

Positive Auswirkungen auf die Teig- bzw. Brotbeschaffenheit konnten durch den Säuerungsmittelzusatz bzw. durch die pH-Wertsenkung, zumindest im Hauptversuch, nicht festgestellt werden. Das zu hoch beigemengte Säuerungsmittel übte vielmehr einen negativen Einfluss auf beispielsweise die Krustenfarbe (vgl. 9.6.4) oder den Geruch und Geschmack aus (vgl. 9.6.7).

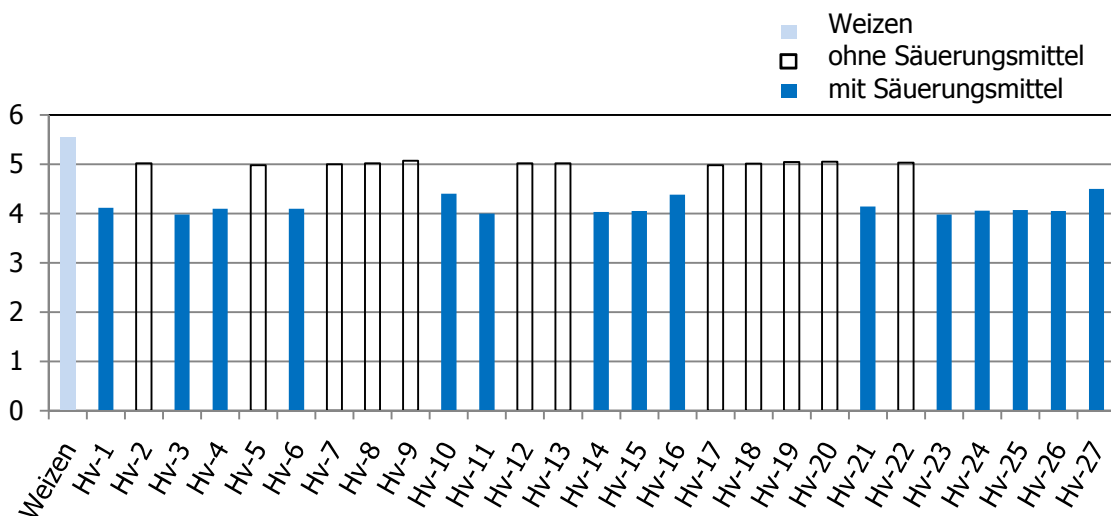


Abb. 36: pH-Werte der Hauptversuchsbrote inklusive dem Weizenstandardbrot.

9.6.4 Messung der Farbe im CIE - L*a*b* - Farbsystem

In Abb. 37 sind die L* Werte (Helligkeit) (sowohl der Kruste als auch der Krume) der Hauptversuchsbrote und des Weizen-Standards abgebildet. Die L*-Werte der Kruste lagen alle über jenen des Weizen-Standardbrot. Die Helligkeit der Krume war, bis auf zwei Ausnahmen (Hv-15 und Hv-17), bei allen

Versuchsbroten geringer, als die Helligkeit der Weizenbrotkrume. Wie aus Abb. 37 erkennbar ist, lagen die L*-Werte der Kruste bei einem Großteil der Brote über jenen der Krume – was normalerweise bei richtiger Teig- und Backführung nicht auftreten sollte. Die deutlich hellere Kruste (als Krume) bei mehr als zwei Drittel dieser Brote konnte auf die Säuerungsmittelzugabe zurückgeführt werden. Dem Rest (Hv-2, Hv-8, Hv-13, Hv-17, Hv-19 und Hv-22) wurde allerdings kein Säuerungsmittel zugemischt.

Jenen Broten, deren L*-Werte der Kruste annähernd gleich (± 4) waren wie jene der Krume, wurde eine gewisse Menge an Backmargarine beigemischt. Es zeigte sich, dass durch Backmargarinezusatz die Ausbildung einer blassen bis fast schneeweißen Kruste verhindert werden konnte (vgl. im Anhang „Sensorische Beurteilung der Brote“). Obwohl die L*-Werte der Kruste von den Broten Hv-17, Hv-19 und Hv-22 ebenfalls annähernd gleich waren (± 4) wie jene der Krume, konnte dies nicht auf eine Backmargarinezugabe zurückgeführt werden.

Dass heißt, dass sich bei einem Großteil der Brote durch Säuerungsmittelzugabe eine deutlich hellere Kruste als Krume entwickelte. Allerdings konnte einer fast schneeweißen (salzteigartigen) Kruste durch Zusatz von Backmargarine vorgebeugt werden.

Jene Brote mit Backmargarinezusatz (Hv-5, Hv-7, Hv-9, Hv-12, Hv-18, Hv-20) und ohne Zusatz von Säuerungsmittel wiesen, sowohl bei der Kruste als auch bei der Krume, Helligkeitswerte unter 75 auf und lagen damit unter einem Großteil der restlichen Versuchsbrote.

Der Zusammenhang zwischen L*-Wert und Säuerungsmittel bzw. Backmargarine wurde auch durch die Ergebnisse der Pareto Chart Analyse (vgl. Abb. 38) als signifikant dargestellt.

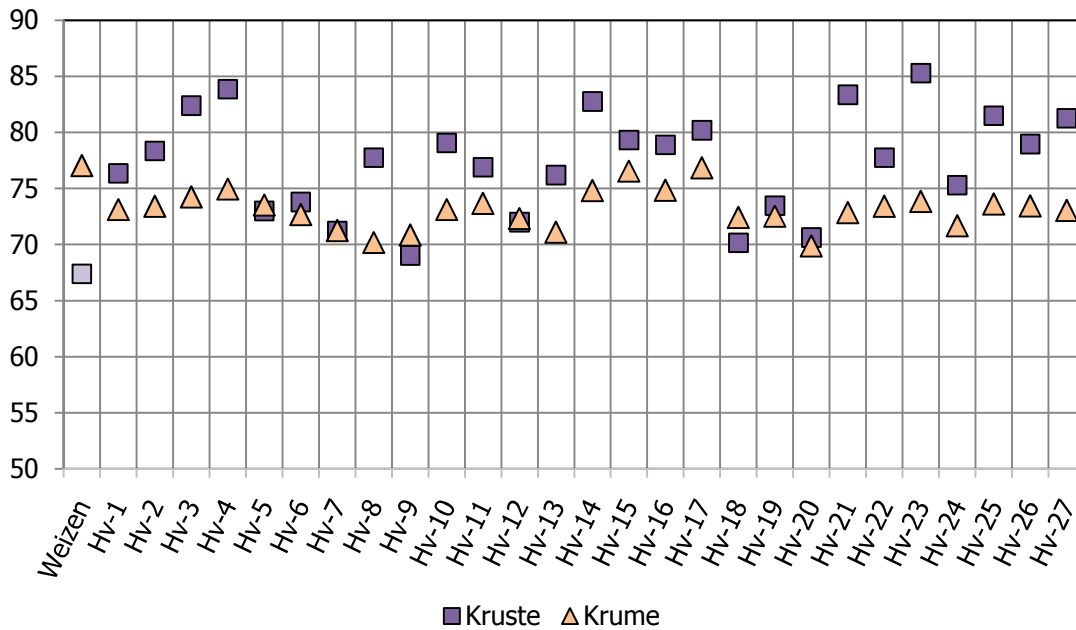


Abb. 37: Farbwert L* von der Kruste und Krumme der Hauptversuchsbrote (inklusive Weizen-Standard).

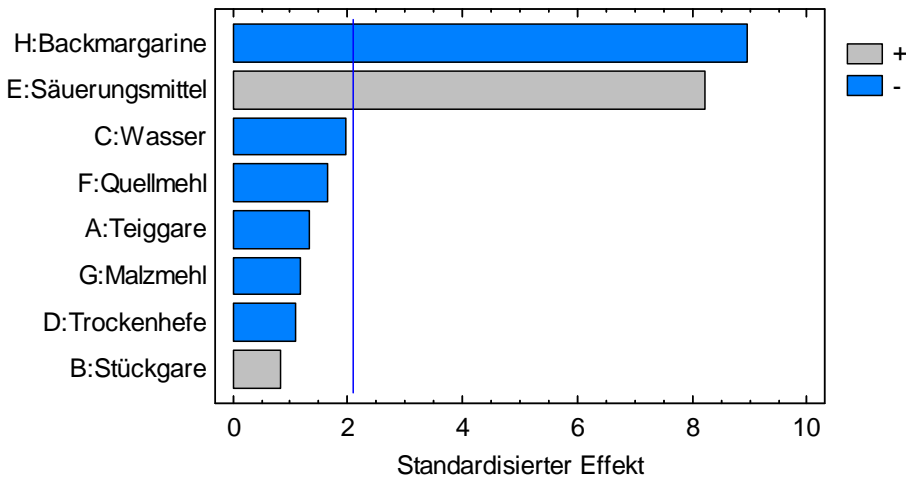


Abb. 38: Standardisiertes Pareto-Diagramm für L*-Werte (Helligkeit) der Kruste (Hauptversuchsbrote).

Für die Farbachsen a* (rot) und b* (gelb) zeigte sich, dass die Krumme der Hauptversuchsbrote eine intensivere gelbe bzw. rote Farbe hatte als jene des Weizen-Standardbrottes (Tab. 21). Die Farbmesswerte der Kruste wiesen eine starke Streuung innerhalb der Versuchsreihe (a*: min. 1,5 – max. 10,7; b*: min. 15,5 – max. 33,0) auf. Außerdem siedelte sich ein Großteil der erhobenen Werte unterhalb jener des Weizen-Standards an. Der breite Wertebereich der Krusten-Farbmesswerte ergab sich vermutlich auf Grund der variabel

eingesetzten Backhilfsmittel. Allerdings könnten auch ungleichmäßige Schwandengaben beim Einschließen der Brote in den Backofen dazu geführt haben.

Tab. 21: Farbwerte a* und b* von Kruste und Krume der Hauptversuchsbrote (inklusive Weizen-Standard).

	Kruste		Krume	
	a*	b*	a*	b*
Weizen	8,33	30,67	-1,03	14,53
Hv-1	3,17	24,87	2,93	20,93
Hv-2	4,57	24,70	2,50	22,10
Hv-3	1,60	17,43	3,10	20,43
Hv-4	1,50	17,17	2,40	21,13
Hv-5	4,23	29,40	1,93	21,57
Hv-6	7,10	29,53	2,17	21,57
Hv-7	7,80	31,17	2,77	21,13
Hv-8	4,33	23,30	2,27	22,67
Hv-9	10,07	32,70	3,07	21,60
Hv-10	4,00	23,40	2,57	21,33
Hv-11	4,23	27,60	2,07	21,10
Hv-12	6,17	29,83	2,03	21,87
Hv-13	4,20	23,80	2,87	21,70
Hv-14	1,83	16,80	2,77	20,03
Hv-15	3,67	27,87	2,80	21,10
Hv-16	6,20	26,97	2,57	21,33
Hv-17	3,87	23,93	2,27	21,00
Hv-18	10,70	33,00	2,33	22,40
Hv-19	6,07	27,37	2,77	21,83
Hv-20	8,80	31,23	3,27	21,70
Hv-21	2,00	17,30	3,00	20,77
Hv-22	2,90	21,47	2,67	20,60
Hv-23	1,60	15,47	2,13	20,87
Hv-24	3,20	23,43	2,93	21,17
Hv-25	3,80	21,10	2,23	21,40
Hv-26	2,93	23,57	2,53	20,77
Hv-27	2,43	21,80	2,37	21,63

9.6.5 Volumen- und Umfangmessung der Brote

In Abb. 39 sind die Volumina und in Abb. 40 die Umfänge der Hauptversuchsbrote bezogen auf Weizen dargestellt. Insgesamt gesehen erreichten fast alle Versuchsbrote nur 40 bis 50 % des Weizenbrotvolumens. Die Ergebnisse der Umfangmessung zeigten, dass die Versuchsbrote zwischen 72 % und 80 % des Umfanges vom Weizenbrot erzielten.

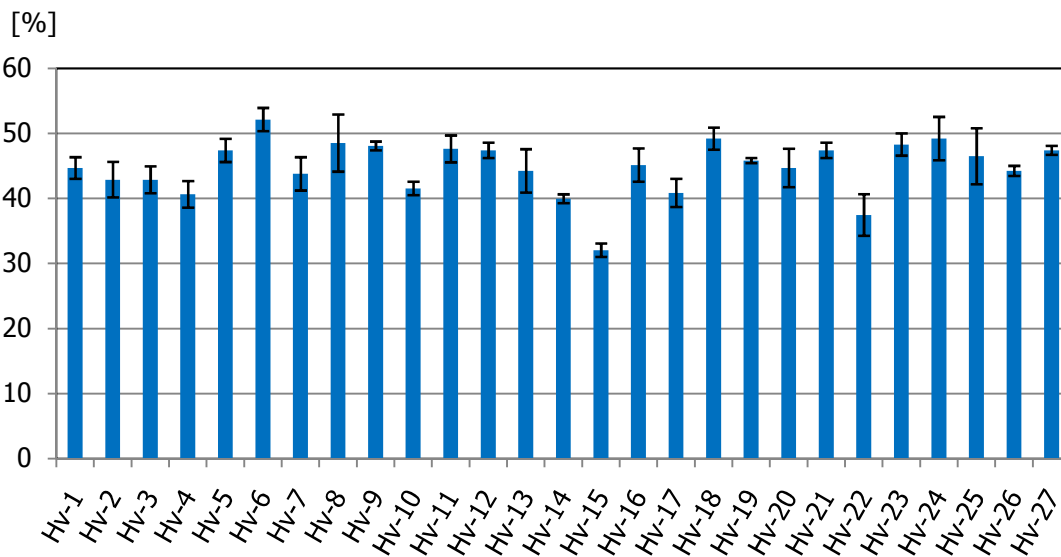


Abb. 39: Volumen (inkl. Standardabweichung) der Hauptversuchsbrote bezogen auf Weizen-Standard.

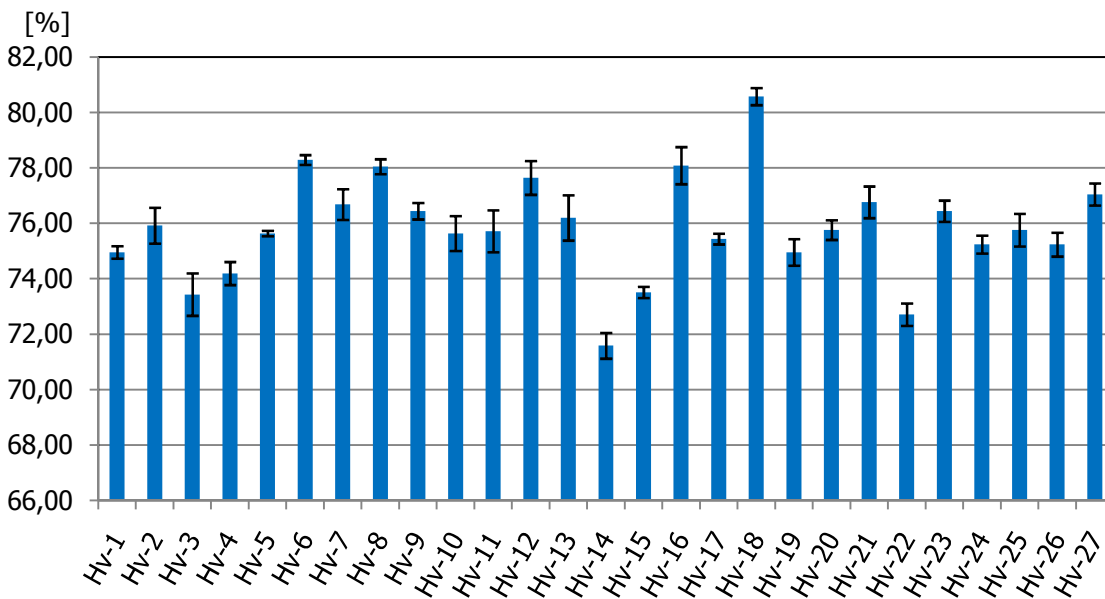


Abb. 40: Summe der Umfänge (längs/quer) (inkl. Standardabweichung) der Hauptversuchsbrote bezogen auf Weizen-Standard.

Obwohl die statistische Auswertung in STATGRAPHICS® (Abb. 41) einen signifikanten Einfluss von Wasser und Quellmehl auf die Volumina der Brote darlegte, konnte nicht allein durch Betrachtung der Brotrezepturen, auf die unterschiedlichen Volumina der Brote geschlossen werden, da auch weitere Zutaten, wie aus dem Pareto-Diagramm des Brotvolumens (Abb. 41) ersichtlich, einen Einfluss – wenn auch nicht signifikant – auf das Brotvolumen hatten. Ausnahmen stellten die Versuchsbrote Hv-15 und Hv-22 dar, deren merklich kleineres Volumen auf eine fehlende zusätzliche Teigwassermenge und dem Zusatz einer gewissen Menge an Quellmehl zurückgeführt werden konnte.

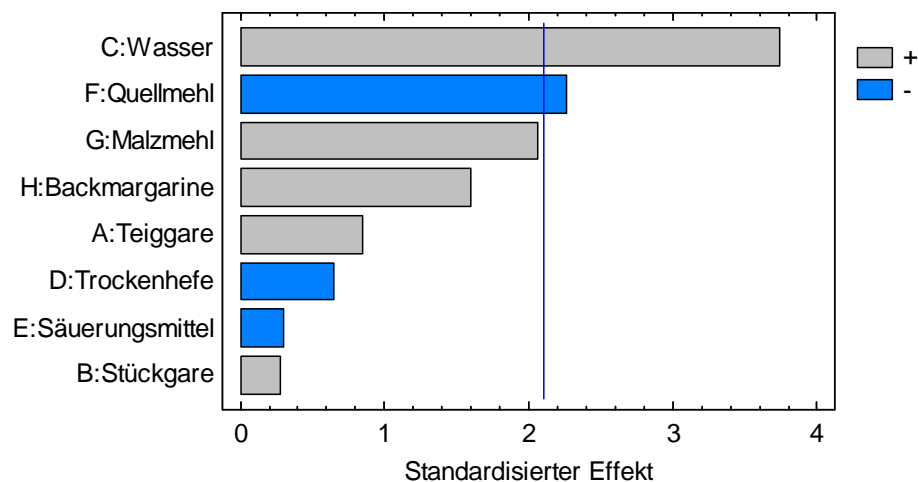


Abb. 41: Standardisiertes Pareto-Diagramm für das Brotvolumen (Hauptversuchsbrote).

Aus dem in Abb. 42 dargestellten Pareto-Diagramm geht hervor, dass zusätzliches Teigwasser, Malzmehl und Backmargarine einen signifikant positiven Einfluss auf den Brotumfang ausübten. Hingegen wurde dieser signifikant negativ von Säuerungsmittel, Quellmehl und der Stückgare beeinflusst. Der signifikant positive/negative Einfluss der erwähnten Einflussgrößen geht auch deutlich bei Betrachtung der einzelnen Brotumfänge hervor. Jenen Broten, deren Umfang kleiner war als 61 cm (Hv-3, Hv-14, Hv-15 und Hv-22) und damit um 10 % geringer als jener des Brotes mit dem größten Umfang (Hv-18), wurde eine gewisse Menge an Quellmehl und Säuerungsmittel zugesetzt (Ausnahme Hv-22, dem wurde nur Quellmehl beigemischt). Zusätzlich wurde dem Brot Hv-3 noch

Malzmehl und dem Brot Hv-15 Backmargarine zugemischt - vermutlich führte der signifikant positive Einfluss dieser beiden Backhilfsmittel zu einem etwas größeren Umfang im Vergleich zu den beiden anderen Broten (Hv-14 und Hv-22). Jene Brote (Hv-6, Hv-8, Hv-12 und Hv-16), deren Umfang nur um 3 % geringer war, als jener des Hv-18 Brotes, enthielten hingegen eine gewisse Mengen an zusätzlichem Teigwasser, Malzmehl und Backmargarine.

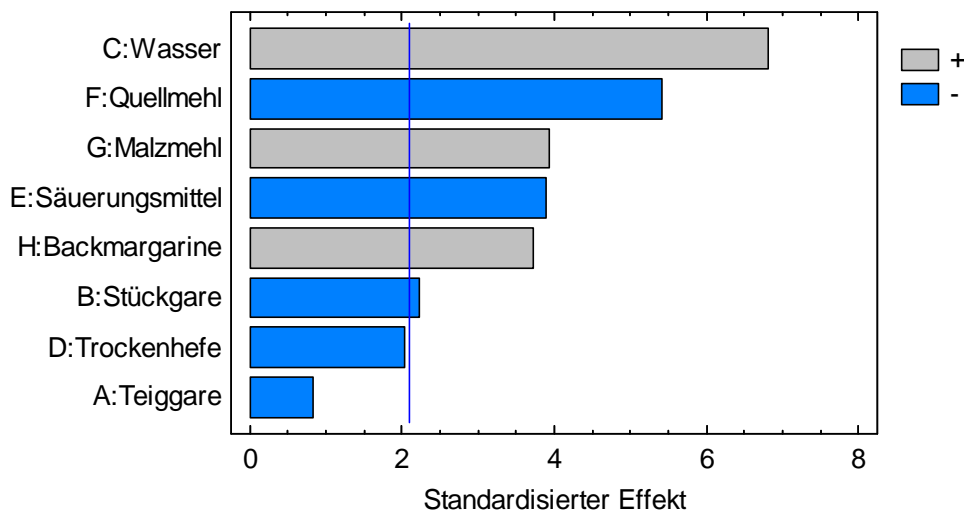


Abb. 42: Standardisiertes Pareto-Diagramm für den Brotumfang (Summe aus Längs- und Querumfang).

Allgemein gesehen, waren die bei der Volumen- und der Umfangmessung erhobenen Messwerte, aufgrund der gewählten Messmethoden, mit einem nicht zu vernachlässigendem Messfehler behaftet. Dieser Messfehler zeigte sich besonders in denen, von der Literatur, abweichenden Korrelationskoeffizienten. Laut Literatur sollte der Brotumfang in sehr enger Korrelation mit dem Brotvolumen stehen (Korrelationskoeffizient nach Fisher $0,963 \pm 0,0051$) (Pelshenke, 1938). Die ermittelten Werte für den Korrelationskoeffizienten lagen mit 0,845 (Vorversuchsreihe) und 0,706 (Hauptversuchsreihe) deutlich darunter. Es existierte allerdings laut STATGRAPHICS® eine statistisch signifikante Beziehung zwischen Brotvolumen und Brotumfang ($\alpha=0,05$; $P=0,0000$).

Die Gründe für die Abweichung könnten in der geometrischen Unförmigkeit der Brote (Krusteneinrisse, ungleichmäßige Form) gelegen haben. Durch

die auftretende Schwankungsbreite zwischen den Einzelmessungen bei der Volumenbestimmung, sollten zukünftig für jedes der gemessenen Brote mehrmalige ($n \geq 5$) Messwiederholungen durchgeführt werden, um eventuelle Ausreißer aus der Mittelwertbildung auszuschließen und damit einer hohen Standardabweichung entgegenzuwirken.

9.6.6 Bestimmung der texturalen Eigenschaften der Brotkrume (nach AACC 74-09)

Bei den Hauptversuchen musste, auf Grund der Massivität und Festigkeit der Brotkrumen, die 25 kg-Kraftmessdose eingesetzt werden. Das Weizen-Standardbrot wurde, genauso wie die drei handelsüblichen Brote, ebenfalls mit der 25 kg-Kraftmessdose gemessen.

Innerhalb der Hauptversuchsreihe zeigten die F_{res} - und F_{max} -Werte eine erhebliche Schwankungsbreite (Tab. 22 und Abb. 43), welche vor allem auf die variabel eingesetzten Backhilfsmittel und unterschiedlichen Gärzeiten zurückgeführt werden konnte.

Welchen Einfluss gewisse Teigzutaten und Führungsparameter auf die *Maximalkraft* (F_{max}) der Hauptversuchsbrote hatten, ist in Abb. 44 dargestellt. Dass sich vor allem die Kombination aus zusätzlichem Teigwasser, Backmargarine und Malzmehl positiv auf die Krumenfestigkeit auswirkte, wurde anhand des Brotes Hv-18 demonstriert (enthielt alle drei Zutaten). Jenen Broten (Hv-3, Hv-4, Hv-14, Hv-15, Hv-17 und Hv-22), deren F_{max} -Wert mehr als doppelt so hoch war (über 50 N) als jener des Brotes Hv-18 (F_{max} -Wert 22 N), wurden hingegen kein zusätzliches Wasser und keine Backmargarine zugesetzt (Ausnahme Hv-15, enthielt Backmargarine). Umgekehrt enthielten jene Brote (Hv-6, Hv-7, Hv-12, Hv-13, Hv-16, Hv-18, Hv-23, Hv-24 und Hv-27), die eine um die Hälfte kleinere Krumenfestigkeit aufwiesen als die des massivsten Brotes (Hv-14), zusätzliches Teigwasser und größtenteils auch zugesetzte Backmargarine- und/oder Malzmehlmengen.

Tab. 22: Zusammenfassung ausgewählter Texturparameter der Hauptversuchsbrote (Hv).

Versuch	Anzahl	F ₂₅ [N]			F _{max} [N]			KEL		
		min	max	∅	min	max	∅	min	max	∅
Hv	27	22,12	72,44	41,26	22,52	78,21	44,63	0,28	0,38	0,34

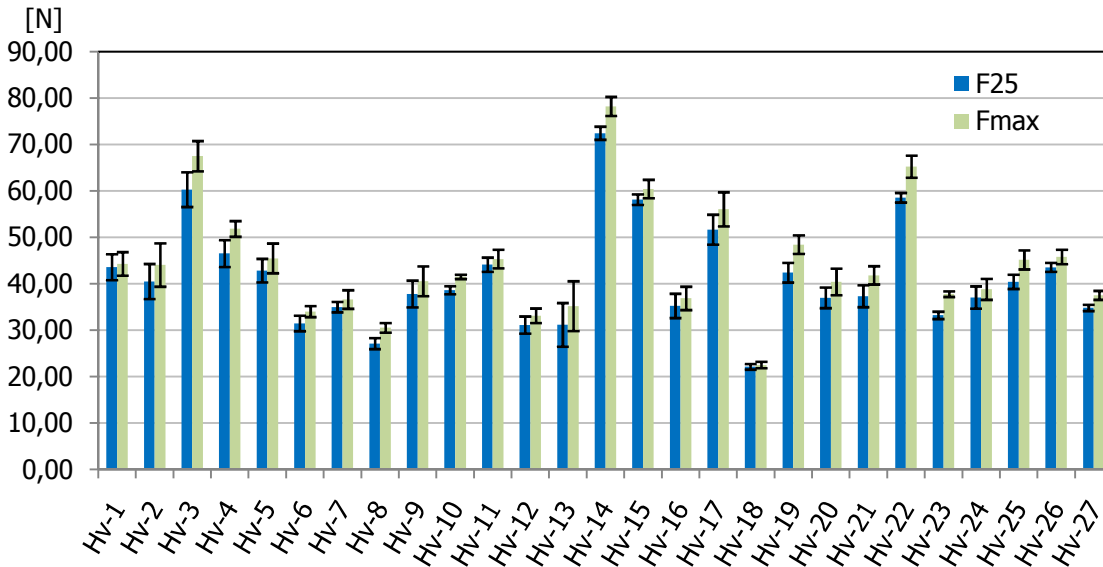


Abb. 43: Krumenfestigkeit (F₂₅, F_{max}) (inkl. Standardabweichung) der Hauptversuchsreihe.

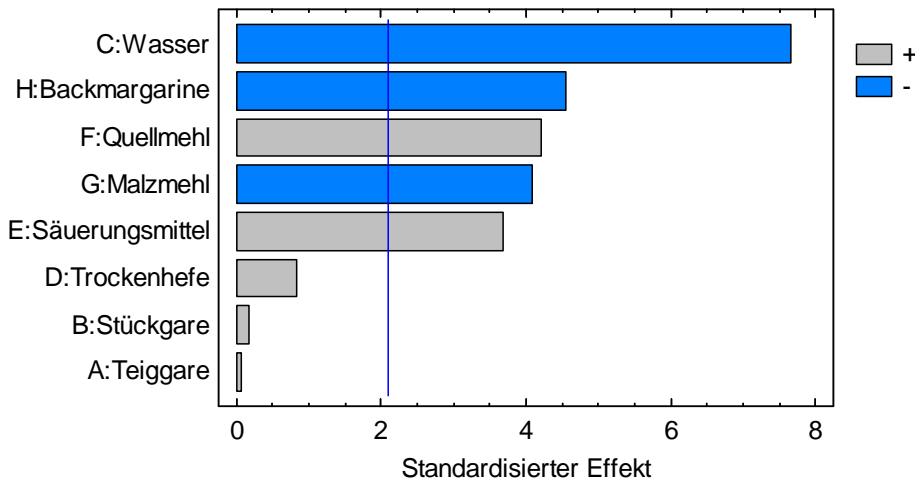


Abb. 44: Pareto-Diagramm für die Maximalkraft der Hauptversuchsbrote.

Auch wenn die Krumenfestigkeit der Hauptversuchsbrote teilweise deutlich höher war als jene des 100 %igen Weizenbrot (Abb. 45), ist dies nicht negativ zu bewerten. Da die festgestellten F_{max}-Werte annähernd jenem eines handelsüblichen Vergleichsbrot (vgl. Abb. 47 „Bio-Vollkornbrot“) entsprachen.

Bezogen auf die beiden anderen Markenbrote wiesen die Hauptversuchsbrote jedoch eine etwas höhere Krumenfestigkeit auf (vgl. Abb. 46 und Abb. 48).

Die Ergebnisse der *relativen Krumenelastizität* und der organoleptischen Prüfung zeigten, dass die Anforderungen, die an die Elastizität einer Brotkrume gestellt werden, von Brotsorte zu Brotsorte unterschiedlich sein müssen. Obwohl die Werte von einem Großteil der Versuchsbrote im Bereich des Bio-Vollkornbrotet etwa bei 0,36 lagen (Abb. 49), wurden vergleichsweise einige Versuchsbrote organoleptisch nicht als elastisch und kohäsiv eingestuft – wie es beim Bio-Vollkornbrot der Fall war. Vielmehr wurden sie beim Kauen plastisch verformt und verblieben als klebriger Belag auf den Zähnen. Im Gegensatz dazu ballte die Krume des Bio-Vollkornbrotet beim Kauen nicht zusammen, ließ sich gut einspeicheln und schlucken. Auf Grund dieser Ergebnisse wurde aufgezeigt, dass es wahrscheinlich keinen eindeutig anzustrebenden Wert für die *relative Krumenelastizität* geben kann. Vermutlich wäre es ratsam für jede Brotsorte ihre individuelle *relative Krumenelastizität* festzulegen.

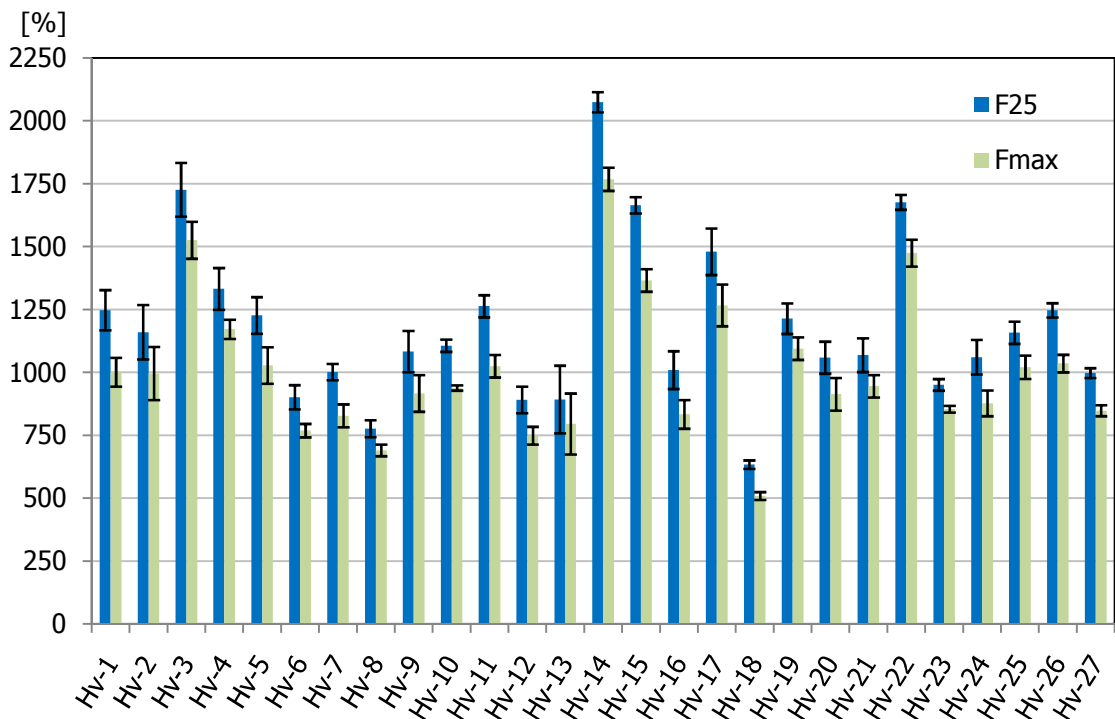


Abb. 45: Prozentuelle *Widerstandskraft bei 25 % Stauchung* (F_{25}) und der *Maximalkraft* (F_{max}) (inkl. Standardabweichung) bezogen auf das Weizen-Standardbrot.

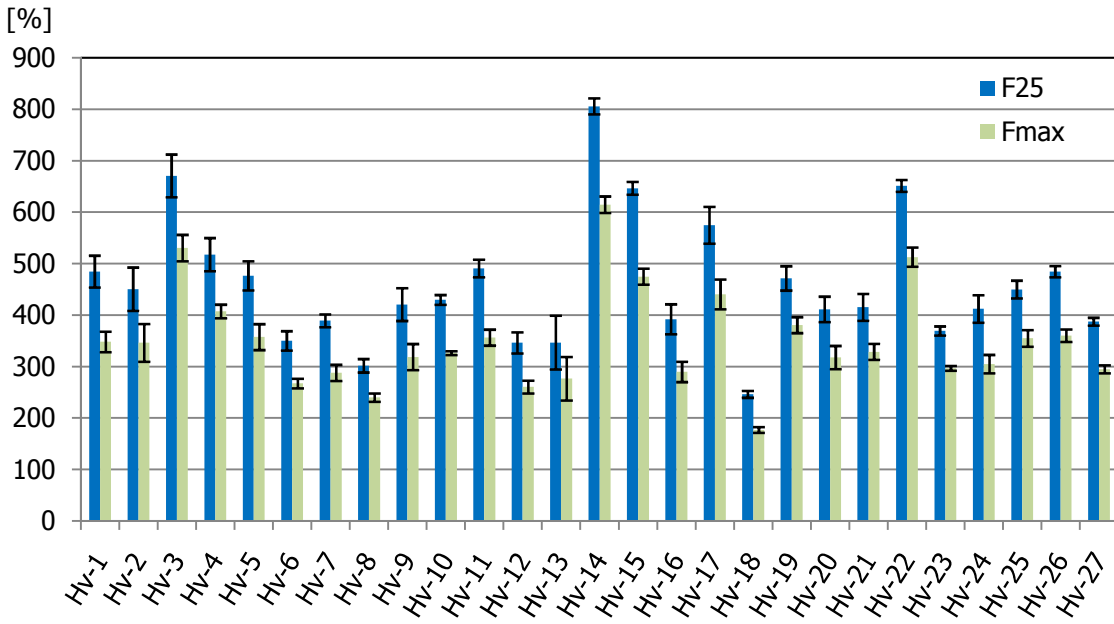


Abb. 46: Prozentuelle *Widerstandskraft bei 25 % Stauchung* (F₂₅) und der *Maximalkraft* (F_{max}) (inkl. Standardabweichung) bezogen auf Bio-Roggen-Pur (100 %) von Ströck GmbH.

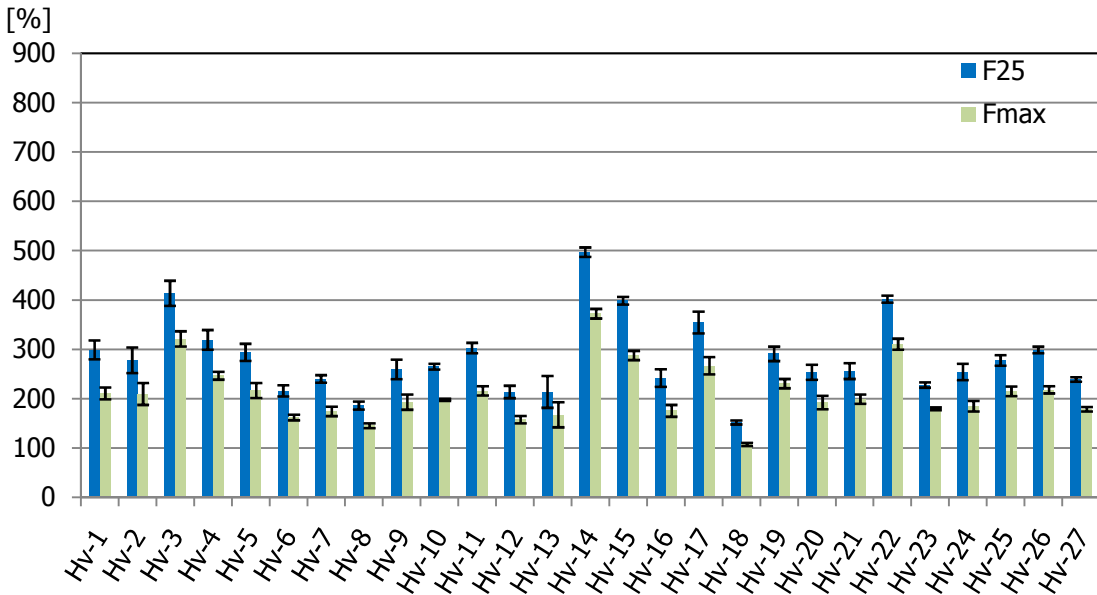


Abb. 47: Prozentuelle *Widerstandskraft bei 25 % Stauchung* (F₂₅) und der *Maximalkraft* (F_{max}) (inkl. Standardabweichung) bezogen auf Bio-Vollkornbrot (100 %) von Ströck GmbH.

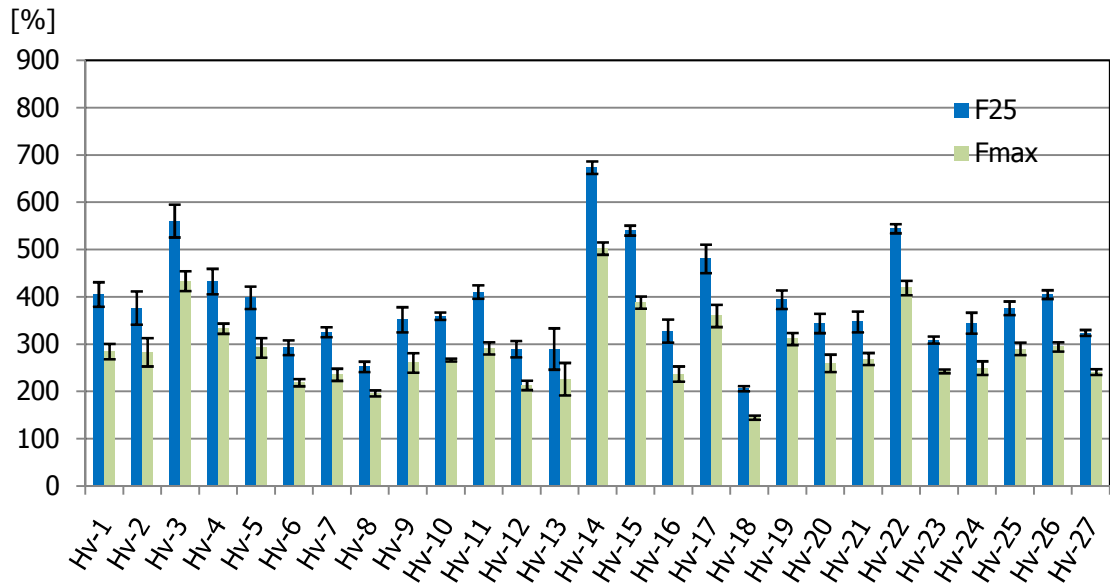


Abb. 48: Prozentuelle *Widerstandskraft bei 25 % Stauchung* (F_{25}) und der *Maximalkraft* (F_{max}) (inkl. Standardabweichung) bezogen auf Helles Dinkelbrot (100 %) von Kurt Mann Bäckerei & Konditorei GmbH & Co KG.

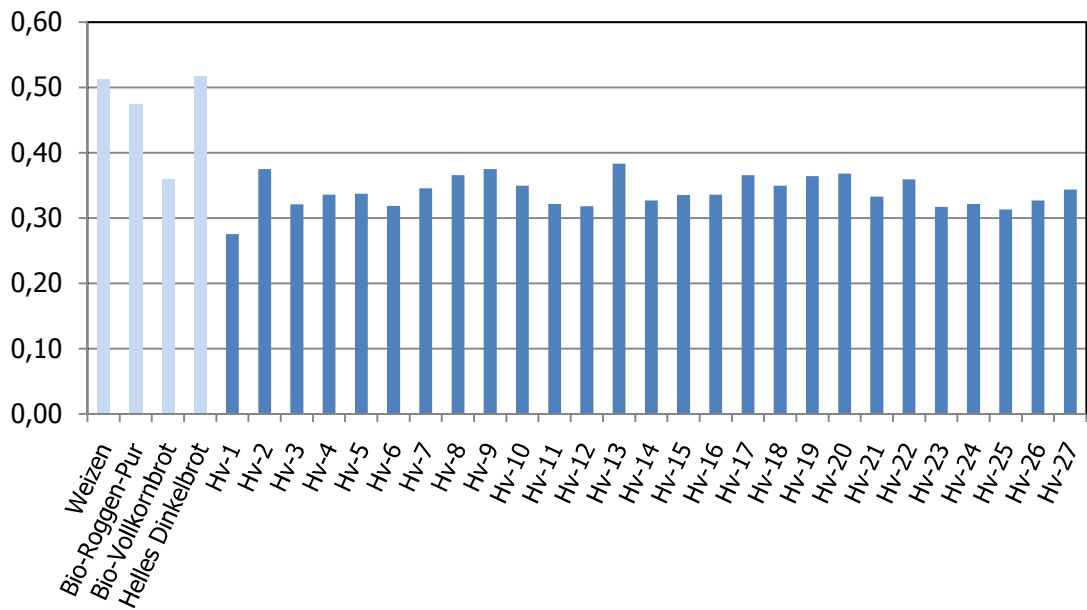


Abb. 49: *Relative Krumenelastizität* (KEL) der Bezugsbrote (100 % Weizen-Standardbrot, Bio-Roggen-Pur-Brot und Bio-Vollkornbrot von Ströck GmbH, Helles Dinkelbrot von Kurt Mann Bäckerei & Konditorei GmbH & Co KG) und den Hauptversuchsbrotten.

9.6.7 Sensorische Beurteilung der Brote

Anhand des erstellten Prüfschemas (vgl. 7.6.5, Tab. 6) wurden sowohl die Hauptversuchsbrote und das Weizen-Standardbrot, als auch die drei handelsüblichen Vergleichsbrote bewertet. Die sensorische Auswertung der handelsüblichen Brote wurde allerdings etwas differenzierter betrachtet. Vergleiche geruchlicher und geschmacklicher Art ließen sich nur mäßig gut anstellen. Durch Zugabe von speziellen Brotgewürzen hatten die Markenbrote einen für sie typischen aromatischen und abgerundeten Eigengeschmack. Ein Großteil der Versuchsbrote hatte hingegen einen leeren und faden Eigengeschmack, welcher hauptsächlich durch fehlende Salz- und Gewürzbeigabe verursacht wurde.

Aus Abb. 50 lässt sich erkennen, dass kein einziges der geprüften Brote mit „sehr gut“ (26-30 Punkte) bewertet wurde. Ein Großteil der Hauptversuchsbrote wurde als „mäßig gut“ (16-20 Punkte) oder „mangelhaft“ (11-15 Punkte) eingestuft. 22 % der Brote wurde sogar mit „ungenügend“ (10 oder weniger Punkte) beurteilt. Mit „gut“ (21-25 Punkte) wurde lediglich ein einziges der Hauptversuchsbrote (Hv-18) benotet, jedoch alle handelsüblichen Brote und das Weizen-Standardbrot.

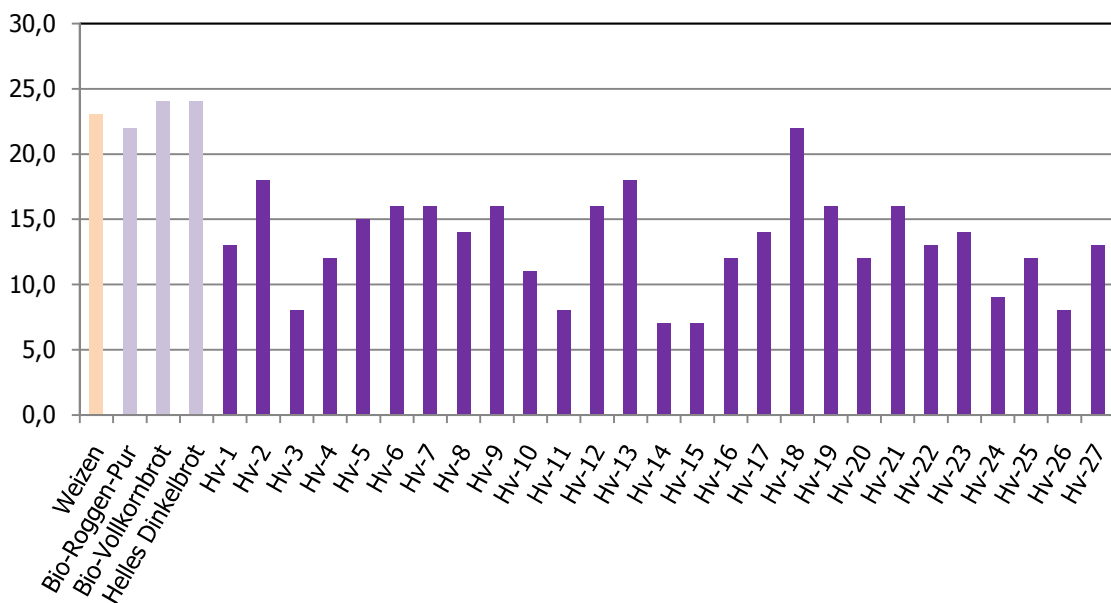


Abb. 50: Summe der sensorischen Werte der Bezugsbrote (100% Weizen-Standardbrot, Bio-Roggen-Pur-Brot und Bio-Vollkornbrot von Ströck GmbH, Helles Dinkelbrot von Kurt Mann Bäckerei & Konditorei GmbH & Co KG) und den Hauptversuchsbrotten.

Die im Anhang angeführten Abbildungen Abb. 63 bis Abb. 89 geben nicht nur die genaue Rezeptur jedes der 27 Brote wieder, sondern auch die vollständige Auswertung der sensorischen Prüfung. In den angeführten Spinnendiagrammen sind sowohl die subjektive Beurteilung des jeweiligen Versuchsbrottes als auch jene des Weizen-Standards (Bezugsbrot) enthalten. Die Summe der geprüften Merkmale ist direkt unter dem Spinnendiagramm angegeben. Die Teigrezepturen und Diagramme werden durch das Schnittbild der Brote und deren Ansicht von oben ergänzt. Zusätzlich findet sich eine detailliertere Beschreibung des gesamten Brotes in Form von Stichwörtern vor.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass ein Großteil der Hauptversuchsbrote als „mangelhaft“ oder sogar „ungenügend“ eingestuft wurden. Gründe konnten vor allem im zu hoch beigemengten Säuerungsmittelzusatz und in der fehlenden zusätzlichen Wassermenge gefunden werden. Die Ergebnisse der statistischen Auswertung bestätigten einen signifikanten Zusammenhang zwischen einzelnen sensorischen Zielgrößen und den Eingangsgrößen Säuerungsmittel und Wasser (vgl. Tab.19). Obwohl ein signifikanter Einfluss auch von Backmargarine, Malzmehl und Quellmehl eruiert wurde, spielten diese bei der sensorischen Beurteilung der Brote eine eher untergeordnete Rolle.

Einen einschneidenden Eindruck hinterließ die bei bestimmten Broten zugesetzte Säuerungsmittelmenge. Der äußerst saure und bittere Geschmack des Brotes, der durch das Säuerungsmittel verursacht wurde, übertönte nicht nur übrige Geschmackseindrücke, sondern führte teilweise auch zu adstringierendem Mundgefühl. Auf Grund dieses Sachverhaltes wurden einzelne Brote bei den Prüfmerkmalen „Geruch und Geschmack“ und „allgemeines Mundgefühl“ unterdurchschnittlich beurteilt.

Neben dem zugesetzten Säuerungsmittel wirkte sich auch eine fehlende zusätzliche Wassermenge negativ auf die sensorischen Eigenschaften der Versuchsbrote aus. Ein Großteil der Brote mit geringerem Wasserzusatz hatte eine viel zu feste und trocken-bröselige Krume, außerdem war die Porung sehr dicht und die Kruste teilweise sehr instabil und bröselig.

Backmargarine führte in den meisten Fällen zu einem buttrigen Geruch und Geschmack, sowie zu einem angenehmen Mundgefühl. Malzmehl hinterließ teilweise einen süßlichen, herben Geschmack und führte zu einer guten Krustenbräunung.

9.7 Optimiertes Gerstenbrot

Die Rezeptur des optimierten 100 %igen Gerstenbrot (vgl. Abb. 90) wurde mittels STATGRAPHICS® anhand der Mehrgrößen-Optimierung erstellt (vgl. 7.8.2.3.1).

Zur Verifizierung des Optimierungsmodells wurden die berechneten zu erwartenden Zielgrößen mit den experimentell ermittelten verglichen (siehe Tab. 23). Dabei sollten die sensorischen Zielgrößen gesondert betrachtet werden, weil es sich um subjektive Daten handelt, die aufgrund der Erwartungen an das optimierte Brot teilweise verzerrt sein können. Man sieht, dass für die objektiven Zielgrößen (messbare Größen) eine gute Übereinstimmung erzielt werden konnte. Einzig die Klebrigkeit (*positive Maximalkraft*) nach dem Kneten stellte hier einen Ausreißer dar.

Tab. 23: Vergleich der berechneten zu erwartenden Zielgrößen mit den experimentell bestimmten.

Zielgröße	berechnet	experimentell	Abweichung
pH-Wert	5,0	4,8	4%
Klebrigkeit nach Kneten [N]	0,025	0,036	45%
Klebrigkeit nach Rast [N]	0,022	0,024	8%
Brot-Umfang [cm]	65,9	65,5	1%
Brot-Volumen [cm ³]	725,4	756,7	4%
F ₂₅ [N]	23,7	24,2	2%
F _{max} [N]	26,4	25,8	2%
KEL	0,4	0,4	2%
L*-Kruste	76,0	72,4	5%
L*-Krume	72,0	71,5	1%
Aussehen und Form	3,7	4,0	8%
Bräunung	2,9	3,0	3%
Konsistenz der Kruste	3,9	4,0	4%
Krumenporung und -lockerung	3,1	4,0	29%
Allgemeines Mundgefühl	3,0	3,0	1%
Geschmack und Geruch	3,1	4,0	29%

Um eine Zuordnung in den schon erhobenen Datenbereich der Versuchsbrote machen zu können, wurden die optimierten Gerstenbrotergebnisse, im Folgenden mit jenen des 100 %igen Weizen-Standardbrotes und des in fast allen Analysen am Besten abschneidenden Hauptversuchsbrottes Hv-18 verglichen. Zusätzlich wurden bei der Auswertung der texturalen Eigenschaften und der sensorischen Analysen auch die Datenwerte der handelsüblichen Brote herangezogen, um die Position des optimierten Brotes gegenüber den handelsüblichen Broten darstellen zu können.

9.7.1 Bestimmung der Klebrigkeit des Teiges

Wie schon bei den Hauptversuchsteigen in Abb. 35 aufgezeigt, wies auch das optimierte Brot einen Bruchteil der Klebrigkeit des Weizenteiges auf (Abb. 51). Seine Klebrigkeitswerte nach dem Kneten (0,036 N) bzw. nach der Stückgare (0,024) ordneten sich, bei Vergleich der in Abb. 32 angeführten

positiven Maximalkräfte, im oberen Drittel der Werteskala ein. Außerdem kam es, wie in etwa 80 % der Hauptversuchsteige, im Laufe der Gärzeiten zu einer Abnahme der *positiven Maximalkraft*.

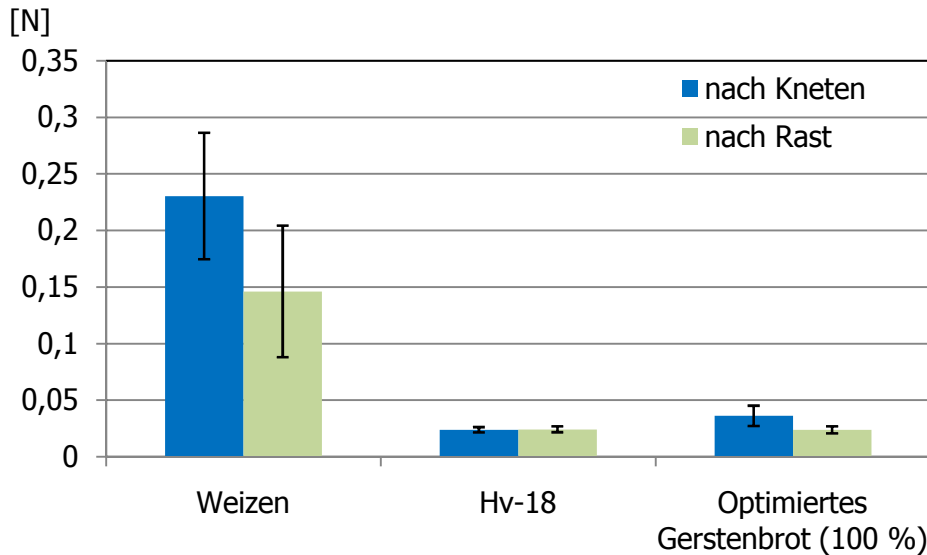


Abb. 51: Positive Maximalkraft (inkl. Standardabweichung) von ausgewählten Versuchsbroten.

9.7.2 Beurteilung der Teigbeschaffenheit und Teigverarbeitungsfähigkeit

Die Teigverarbeitungsfähigkeit des optimierten Brotes wurde als „sehr gut“ eingestuft (Tab. 24). Es wurden keine negativen Effekte bezüglich manueller Verarbeitbarkeit festgestellt. Obwohl die Teigoberfläche als „etwas feucht“ beurteilt wurde, ergaben sich auch hinsichtlich Teigklebrigkeit keine groben Mängel. Die „etwas elastische“ Struktur des optimierten Teiges fiel, bei Betrachtung der übrigen Hauptversuchsbrote (vgl.Tab. 20), genauso positiv auf, wie seine Beschaffenheit als Ganzes.

Tab. 24: Beurteilung der Teigbearbeitungseigenschaften von ausgewählten Versuchsbroten.

Testbrote	Oberfläche	Struktur	Verarbeitungsfähigkeit
Weizen	feucht-klebrig	elastisch	sehr gut
Hv-18	feucht	etwas elastisch	gut
Optimiertes Gerstenbrot (100%)	etwas feucht	etwas elastisch	sehr gut

9.7.3 Bestimmung des pH-Wertes

Das optimierte Brot hatte in etwa einen gleich hohen pH-Wert (4,8), wie jene Hauptversuchsbrotteige, denen kein Säuerungsmittel zugesetzt wurde. Anscheinend dürfte sich die Säuerungsmittelzugabe beim optimierten Brot von 0,23 g pro 1000 g Mehl nur minimal auf die Höhe des pH-Wertes ausgewirkt haben.

9.7.4 Bestimmung der Farbe im CIE – L*a*b* - Farbsystem

Die Helligkeitswerte der Kruste lagen über jenen der Krume, was bedeutet, dass die Krume auch beim optimierte Brot, genauso wie bei einem Großteil der Hauptversuchsbrote, um eine Spur dunkler war als jene der Kruste. Im vorliegenden Fall handelte es sich wirklich um minimale Größenunterschiede (L*-Werte: Krume 71,53 und Kruste 72,40), die mit dem freien Auge nicht erkennbar waren (vgl. Abb. 52). Das Hauptversuchsbrot Hv-18 hatte vermutlich auf Grund höherer Backmargarinemengen eine dunklere Kruste (L*-Wert: Kruste 70,27) als das optimierte Brot.

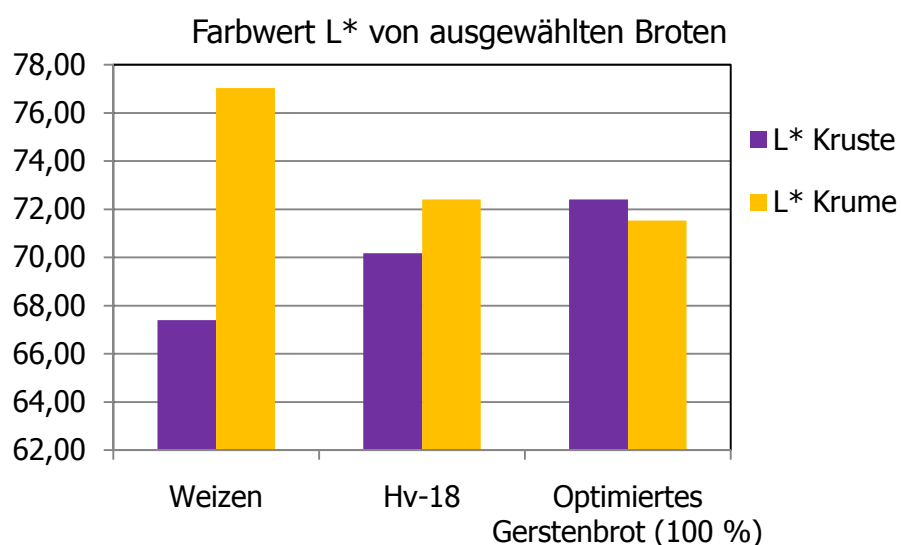


Abb. 52: Farbwert L* der Kruste und Krume von ausgewählten Versuchsbroten.

9.7.5 Volumen und Umfangmessung der Brote

Bei Vergleich der ermittelten Werte des optimierten Brotes mit jenen des Hauptversuchsbrottes Hv-18, zeigte sich, dass das Volumen des optimierten Brotes zwar größer war, aber die Summe seines längs- und quer Umfanges kleiner war (vgl. Tab.25). Es wurde die Vermutung angestellt, dass es sich hier wiederum um eine Messungenauigkeit handelte, welche schon unter 9.6.5 hervorgehoben wurde.

Es wurde auch festgestellt, dass das Volumen des optimierten Brotes fast um die Hälfte kleiner war als jenes des Weizen-Standardbrottes.

Tab. 25: Brotvolumen und Brotumfang von ausgewählten Versuchsbroten.

Testbrote	Brotvolumen [cm ³]	Brotumfang ¹ [cm]
Weizen	1477	83
Hv-18	727	67
Optimiertes Gers- tenbrot (100 %)	757	66

¹ Summe aus Längs- und Querumfang

9.7.6 Bestimmung der texturalen Eigenschaften der Brotkrume (nach AACC 74-09)

Bei Betrachtung von Abb. 53 geht augenscheinlich hervor, dass sowohl das optimierte Brot als auch das Hauptversuchsbrot Hv-18 über eine deutlich höhere Krumenfestigkeit verfügten als das 100 % Weizen-Standardbrot. Vergleichbare Werte ergaben sich allerdings mit dem Bio-Volkornbrot, wobei nicht nur die Werte der Krumenfestigkeit sehr ähnlich waren, sondern auch jene der relativen Krumenelastizität (Tab. 26).

Ein Grund für die etwas höhere Krumenfestigkeit des optimierten Brotes (vgl. Tab. 26) im Vergleich zum Hauptversuchsbrot Hv-18 konnte darin gefunden werden, dass dem Teig des Hv-18 mehr als 3 mal so viel Backmargarine bei der Teigbereitung zugesetzt wurde als dem optimierten Brot. Und wie schon

unter Kap. 9.6.6 erwähnt, wirkte sich unter anderem vor allem Backmargarine sehr positiv auf die Krumenfestigkeit aus.

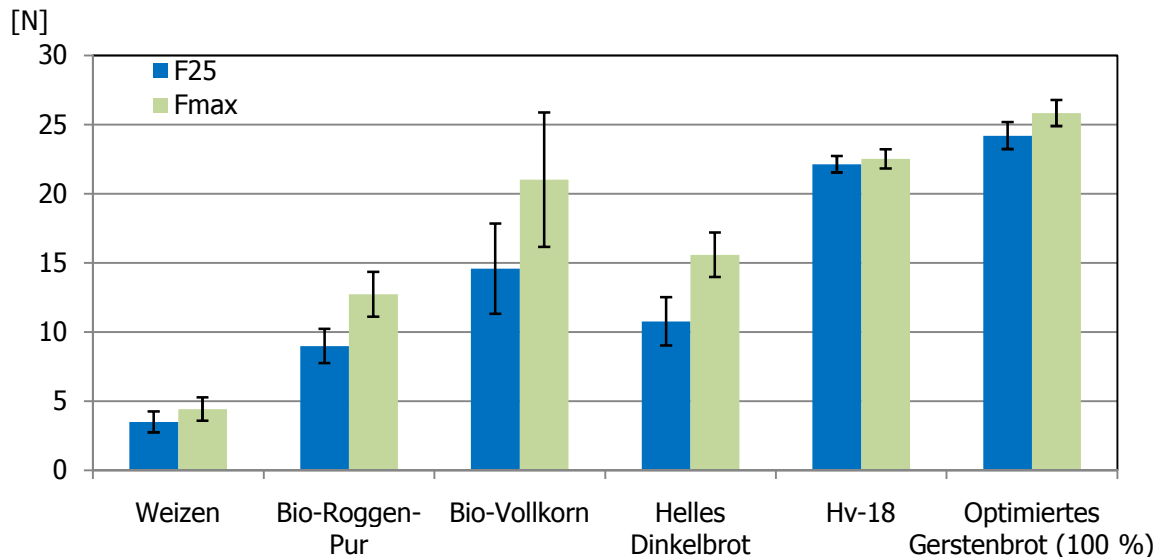


Abb. 53: Ausgewählte Texturparameter (F_{25} und F_{max}) (inkl. Standardabweichung) von Bezugsbrot (100% Weizen-Standardbrot, Bio-Roggen-Pur-Brot und Bio-Vollkornbrot von Ströck GmbH, Helles Dinkelbrot von Kurt Mann Bäckerei & Konditorei GmbH & Co KG) und Versuchsbroten (Hv-18 und optimiertes Brot).

Tab. 26: Ausgewählte Texturparameter.

Testbrote	F_{25}^1 [N]	F_{max}^2 [N]	KEL ³
Weizen	3,49	4,42	0,51
Bio-Roggen-Pur ⁴	8,99	12,72	0,47
Bio-Vollkornbrot ⁴	14,58	21,01	0,36
Helles Dinkelbrot ⁵	10,76	15,59	0,52
Hv-18	22,12	22,52	0,35
Optimiertes Gerstenbrot (100 %)	24,20	25,83	0,36

¹ F_{25} = Widerstandskraft bei 25 %iger Stauchung (6,25 mm)

² F_{max} = Maximalkraft

³ KEL = relative Krumenelastizität (F_{res}/F_{max})

⁴ Ströck GmbH

⁵ Kurt Mann Bäckerei & Konditorei GmbH & Co KG

9.7.7 Sensorische Beurteilung des Brotes

In seiner sensorischen Gesamtbeurteilung wurde das optimierte Brot mit „gut“ bewertet. In fast allen sechs Prüfmerkmalen erhielt es vier Punkte.

Ausnahmen stellten die Prüfmerkmale „allgemeines Mundgefühl“ und „Bräunung“ dar, an welche jeweils nur drei Punkte vergeben wurden. Im Vergleich zu den übrigen in Abb. 54 dargestellten Broten schnitt das optimierte Brot bezüglich dem Prüfmerkmal „Bräunung“ am schlechtesten ab, in den weiteren sensorischen Merkmalen konnte es durchaus mit den anderen konkurrieren. An das Hauptversuchsbrot Hv-18 und das optimierte Brot wurde in fast allen Prüfmerkmalen die gleiche Punktzahl vergeben, nur in den Prüfkriterien „Bräunung“ und „Konsistenz der Kruste“ wurden sie unterschiedlich beurteilt (Hv-18 erhielt vier Punkte bei „Bräunung“ und das optimierte Brot nur drei Punkte; bei „Konsistenz der Kruste“ wurden die Punkte genau umgekehrt vergeben).

Das optimierte Brot hinterließ einen durchaus positiven Gesamteindruck beim Prüfkomitee. Wenn noch einige Verbesserungen vorgenommen werden, vor allem bezüglich des Geschmacks und der Bräunung, könnte es durchaus auf dem heimischen Brot- und Gebäckmarkt als marktfähig eingestuft werden. Nähere Angaben zur sensorischen Beurteilung des optimierten Brotes finden sich in dieser Arbeit im Anhang unter Abb. 90.

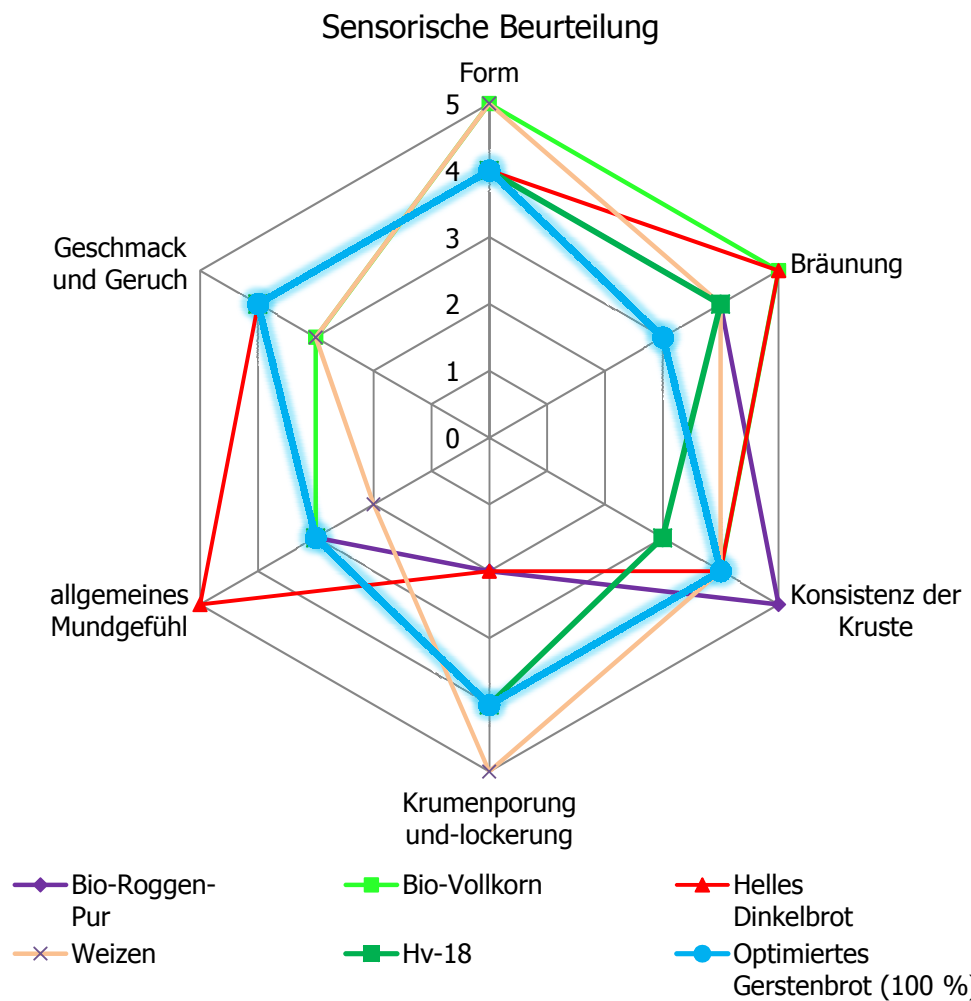


Abb. 54: Sensorische Beurteilung ausgewählter Brote (optimiertes Brot, Hv-18, 100 % Weizen-Standardbrot, Bio-Roggen-Pur-Brot und Bio-Vollkornbrot von Ströck GmbH und Helles Dinkelbrot von Kurt Mann Bäckerei & Konditorei GmbH & Co KG). Das „optimale“ Brot ist hervorgehoben.

10 SCHLUSSFOLGERUNGEN

In der vorliegenden Arbeit wurden aus dem Mehl einer Nacktgerstenart Versuchsbrote hergestellt, die auf ihre rheologischen, physikalischen, texturalen, farblichen und sensorischen Eigenschaften hin, mittels ausgewählten Methoden, geprüft wurden.

Unter Anwendung der erhaltenen Analysenergebnisse wurde eine optimierte Brotrezeptur entwickelt, welche die Basis zur Herstellung des optimierten Brotes darstellte. Dieses zeichnete sich durch gute sensorische Qualitäten aus.

Die vorliegende Arbeit sollte erste Anhaltspunkte in der Herstellung von Broten aus 100 % Nacktgerstenmehl liefern. Es konnte gezeigt werden, dass Nacktgerste nicht nur als funktioneller Bestandteil in weizenhaltigen Broten fungieren kann, sondern auch ausschließlich, und damit komplett ohne Weizenmehlzugabe, für die Herstellung von Broten eingesetzt werden kann. In Versuchsreihen wurde demonstriert, dass mit einer minimalen Anzahl an Backhilfsmitteln sensorisch ansprechende Brote hergestellt werden konnten.

Es zeigte sich, dass sich die verwendete gelbkörnige Nacktgerste einigermaßen gut vermahlen ließ. Allerdings war die Mehlausbeute in beiden Mahlversuchsreihen nicht sehr zufriedenstellend. Durch die lange Benetzungszeit war das Korn zu feucht geworden und die Kornschale konnte sich nicht einwandfrei vom Mehlkörper trennen, wodurch es zu einer vermehrten Futtermehlausbeute kam. Um die Mehlausbeute zu steigern empfiehlt sich, die Dauer der Benetzung so zu wählen, dass sich die Feuchtigkeit nicht bis in das Korninnere hineinzieht, sondern nur die äußere Schale des Kornes anfeuchtet. Weiteres sollte die auf Weizen abgestimmte Technologie bei der Vermahlung mit alternativen Getreidesorten überarbeitet werden, um auch Getreidesorten wie Gerste effektiv vermahlen zu können.

Aus den Backversuchen der Vorversuchsreihe entstanden ansehnliche und bekömmliche Brote, welche aus der Mehlmischung 20 % Weizenmehl und 80 %

Nacktgerstenmehl bestanden. Auch wenn die Verarbeitbarkeit mancher Teige als „mangelhaft“ eingestuft wurde, konnte dies nicht auf den hohen Gerstengehalt oder die eingesetzten Backhilfsmittel zurückgeführt werden. Es wurde vielmehr die Vermutung angestellt, dass durch die verwendete Berechnungsart für die Teigrezepturen ein ungünstiges Wasser zu Mehl-Verhältnis entstand und dies zu klebrigen Teigen führte.

Bei der Farbmessung der Vorversuchsbrote zeigte sich, dass der L^* -Wert, sowohl der Krume als auch Kruste, aller Gerstenversuchsbrote kleiner war als jener des Weizen-Standardbrot. Der Krusten L^* -Wert jenes Brotes mit minimaler Zugabemenge an Backmargarine war annähernd gleich hoch, wie jener des Weizen-Standardbrot. Es konnte weiteres festgestellt werden, dass bei höherer Zugabe an Backmargarine- oder Malzmehl die Helligkeit der Kruste, abnahm.

Das Volumen der Vorversuchsbrote war im Vergleich zu jenem des Weizen-Standardbrot deutlich kleiner. Es zeigte sich, dass gewisse Mengen an Quellmehl förderlich für die Volumenausbildung waren (Brote mit Quellmehlzusatz wiesen das größte Volumen auf). Hingegen führten gewisse Mengen an Backmargarine zu etwas kleineren Volumina.

Die Vorversuchsbrote wiesen eine deutlich höhere Krumenfestigkeit auf als das Weizen-Standardbrot. Die höchste Krumenfestigkeit konnte bei jenen Broten festgestellt werden, denen entweder eine gewisse Menge an Backmargarine oder an Säuerungsmittel zugesetzt wurde. Kleinere Krumenfestigkeitswerte wiesen hingegen jene Brote auf, denen kein Backhilfsmittel zugesetzt wurde und die keinen verlängerten Gärzeiten ausgesetzt waren.

Einen positiven Eindruck, bei der sensorischen Prüfung, hinterließen vor allem jene Brote mit Säuerungsmittel- oder Quellmehlzusatz.

Die Ergebnisse und gesammelten Erfahrungen der Vorversuchsreihe schafften eine Basis zur Erstellung des Hauptversuchsplanes mittels STATGRAPHICS®.

Nach Auswertung des Plackett-Burman-Versuchsplanes konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen den Einflussgröße „Teiggare“ und „Trockenhefe“, und einer der Zielgrößen festgestellt werden. Die Einflussgröße „Stückgare“ übte ausschließlich auf den „Brotumfang“ einen signifikant negativen Einfluss aus. Ein Großteil der Zielgrößen wurde vor allem von den Einflussgrößen „Wasser“, „Säuerungsmittel“ und „Backmargarine“ beeinflusst. Die Einflussgrößen „Quellmehl“ und „Malzmehl“ zeigten hingegen nur etwa bei der Hälfte der Zielgrößen signifikante Wirkung.

Die ermittelten Ergebnisse der Teigklebrigkeitsmessung zeigten, dass die Teige maximal ein Fünftel der Klebrigkeit des Weizenteiges aufwiesen. Trotz geringerer Klebrigkeit ließen sich einige Gerstenteige ähnlich gut verarbeiten wie der Weizenteig. Sowohl beim Weizenteig als auch bei einem Großteil der Versuchsteige nahm die *positiven Maximalkraft* während den Gärzeiten ab. In Kombination mit der Teigklebrigkeitsmessung sollten Teigbewertungen mittels einer Klebrigkeitsskala durchgeführt werden, um konkretere Aussagen über die Maschinengängigkeit der Teige geben zu können.

Durch den Umstieg auf die trockenmassenbezogene Berechnungsformel ergaben sich bessere Mehl- zu Wasserverhältnisse und in weiterer Folge viel festere und verarbeitungsfähigere Teige, als bei Anwendung der feuchtigkeitsbezogenen Formel. Es traten größtenteils keine negativen Effekte bezüglich Teigklebrigkeit und manueller Verarbeitbarkeit auf. Jene Teige mit zusätzlichem Teigwasser und/oder Backmargarine ließen sich besonders gut verarbeiten.

Ein Großteil der Versuchsbrote wies höhere Krusten L*-Werte und niedrigere Krumen L*-Werte auf als das 100 %ige Weizenbrot. Die Helligkeit der Kruste, nahezu aller Hauptversuchsbrote, war höher als jene der Kruste. Die extrem blasse bis fast schneeweiße Krustenfarbe mancher Brote wurde primär auf das zu hoch beigemengte Säuerungsmittel zurückgeführt. Eine merkliche Krustenbräunung konnten durchaus bei jenen Broten erzielt werden, denen kein Säuerungsmittel, jedoch Backmargarine zugesetzt wurde. Eine Optimierung der

Backzeiten bzw. –temperaturen könnte, bei den Broten ohne Säuerungsmittelzusatz, zu einer noch besseren Krustenbräunung führen.

Anhand der Ergebnisse der Volumen- und Umfangmessung konnte gezeigt werden, dass die Gerstenbrote über ein deutlich geringeres Volumen und einen kleineren Gesamtumfang im Vergleich zu dem 100 %igen Weizenbrot verfügten. Durch zusätzliches Teigwasser wurde das Volumen der Brote signifikant positiv, hingegen durch Quellmehl signifikant negativ beeinflusst. Nachforschungen sollten vor allem auf dem Gebiet der Teigführung bzw. Teigformung gemacht werden. Durch eine präzisere Abstimmung der Knetzeit (Vermeidung des Überknetens), sowie durch eine strukturschonendere Teigformung (Vermeidung des Teigausrollens mit einem Nudelwalker) könnte das Volumen der Brote gesteigert werden. Neben dem augenscheinlich verringertem Volumen der Brote wurde auch festgestellt, dass die beiden Messmethoden mit einem nicht zu vernachlässigten Messfehler behaftet sind. Deshalb sollte in zukünftigen Studien mehrmalige Messungen durchgeführt werden, um die Standardabweichung möglichst gering zu halten.

Die Krumenfestigkeit (F_{25} , F_{\max}) der Versuchsbrote war teilweise deutlich höher als jene der handelsüblichen Vergleichsbrote und des Weizen-Standardbrottes. Wie aus der Pareto-Diagramm-Analyse hervorging, übte vor allem die Wasser- und Backmargarinemenge einen signifikanten Einfluss auf die Krumenfestigkeit aus. Obwohl die Werte der *relativen Krumenelastizität* im Durchschnitt einem der vier im Handel erhältlichen Vergleichsbrote entsprachen, konnten die ermittelten Ergebnisse, bei den sensorischen Tests, nicht bestätigt werden. Die Brotkrume mancher Versuchsbrote war unelastisch und fest, was sich auch negativ auf die Kaueigenschaft auswirkte.

Bei der sensorischen Beurteilung wurden zahlreiche Brote als „mangelhaft“ und „ungenügend“ eingestuft. Hauptgrund dafür war die zu hoch zugesetzte Menge an Säuerungsmittel und die zu geringe Menge an zusätzlichem Teigwasser. Manche Brote waren nicht nur im Geschmack zu sauer und bitter, sondern

fürten auch zu einem adstringierenden Mundgefühl. Andere Brote wiederum ballten beim Kauen im Mund dermaßen zusammen, dass es enorm viel Speichel bedurfte um diese schlucken zu können. Die „buttrige“ Nuance mancher Brote, denen Backmargarine zugesetzt wurde, erinnerte eher an den Geschmack einer Feinbackware, als an einen typischen Brotgeschmack. Allerdings führte der Zusatz von Backmargarine größtenteils zu einer weichen und annähernd elastischen Brotkrume. Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass kein einziges der Brote die Höchstbewertung von „sehr gut“ erhielt. Jedoch wurde ein Drittel der Brote mit „mäßig gut“ und eines sogar mit „gut“ bewertet.

Anhand der Ergebnisse der Hauptversuchsreihe konnte durch die Mehrgrößenoptimierung mittels STATGRAPHICS® die Rezeptur des optimierten Brotes erstellt werden. Diese unterschied sich nur geringfügig von jener Teigrezeptur, aus welcher das am besten bewertete aller Hauptversuchsbrote gebacken wurde.

Das optimierte Brot schnitt nicht nur beinahe in allen durchgeführten Analysen gut ab, sondern zeichnete sich auch durch ein optisch ansprechende Form und einen angenehmen Geruch und Geschmack aus. Verbesserungsbedarf besteht vor allem in der Krustenbräunung und in der Krumenbeschaffenheit.

Als Ausgangspunkt für weitere Studien kann die optimierte Teigrezeptur durchaus herangezogen werden. Jedoch empfiehlt sich die Gärzeiten etwas auszudehnen (vorteilhaft für Volumenbildung) und die Backmargarinemengen minimal zu erhöhen. Denn eine Steigerung der Backmargarinemenge kann die Krumenfestigkeit etwas erniedrigen, die Krustenbräunung verbessern und einer bröslig, trockenen Krumenbeschaffenheit vorbeugen.

Die aus den Ergebnissen erworbenen Erkenntnisse stellen eine mögliche Basis der Anwendung ballaststoffreicher Nacktgerstenmehle in der Lebensmittelindustrie dar. Die angeführten Backversuche demonstrierten eindrucksvoll, dass einer Nutzung von Nacktgerstenmehl zur Herstellung von Broten nichts im Wege steht.

Der Markt an funktionellen Lebensmitteln verzeichnet vor allem im nord- und mitteleuropäischen Raum enorme Zuwachsraten. Die in dieser Arbeit hergestellten Brote sind als funktionelle Lebensmittel einzuordnen, allerdings liegt es in der Hand von weiteren Studien diese Brote nicht nur marktfähiger zu machen, sondern auch die positiv wirkenden Inhaltsstoffe der Nacktgerste durch züchterische Entwicklung zu steigern.

Vor allem in unseren Breiten sollte das „Nichtbrotgetreide“ Gerste wieder vermehrt für die menschliche Ernährung eingesetzt und seine biologisch aktiven Inhaltsstoffe gezielt genutzt werden. Das ehemals bezeichnete „Brot der Armen“ könnte einen wesentlichen Beitrag zur präventiven und gesunden Ernährung leisten. Zusätzlich könnte unserem teilweise eintönig geratenen täglichen Speiseplan Abwechslung geboten werden.

Im Interesse der Wissenschaft als auch der gesamten Bevölkerung ist es, dass die Entwicklung ballaststoffreicher und wohlschmeckender, sowie bekömmlicher Nacktgerstenbrote gefördert wird.

11 ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurden Mehlfraktionen einer gelbkörnigen Nacktgerstenart und ausgewählte Backhilfsmittel (Quellmehl, Malzmehl, Säuerungsmittel und Backmargarine) für die Herstellung von Broten herangezogen. Die Brote wurden auf ihre rheologischen, physikalischen, texturalen, farblichen und sensorischen Eigenschaften hin, mittels ausgewählten Methoden, geprüft. Unter Anwendung der erhaltenen Analyseergebnisse wurde eine optimierte Brotrezeptur mittels Mehrgrößentheorie entwickelt, welche die Basis zur Herstellung eines optimierten Gerstenbrotes darstellte.

Es konnte gezeigt werden, dass Nacktgerste nicht nur als funktioneller Bestandteil in weizenhaltigen Broten fungieren kann, sondern auch ausschließlich, und damit komplett ohne Weizenmehlzugabe, für die Herstellung von Broten eingesetzt werden kann.

Um die Teigverarbeitungsfähigkeit der Gerstenteige zu verbessern scheint es ratsam zusätzliche Teigwasser- und Backmargarinemengen ein zu setzen. Da sich zeigte, dass durch Beimengung dieser beiden Zutaten einer trockenen und bröseligen Teigbeschaffenheit vorgebeugt werden kann.

Der Einsatz gewisser Mengen an zusätzlichem Teigwasser, Backmargarine, sowie an Malzmehl erwies sich als effektiv, um die im Vergleich zum 100%igen Weizenbrot erhöhte Krumenfestigkeit zu senken und das deutlich geringere Brotvolumen zu steigern.

Eine passable Krustenbräunung konnte durch eine vermehrte Zugabemenge an Backmargarine und Malzmehl (bei Verzicht auf Säuerungsmittel) erzielt werden.

Das optimierte Brot zeichnete sich durch eine optisch ansprechende Form und einen angenehmen Geruch und Geschmack aus. Seine guten sensorischen Eigenschaften konnten auf die Beimengung von ausreichend zusätzlichem Teigwasser und der Kombination aus Backmargarine, Malzmehl und minimalen Säuerungsmittelmengen zurückgeführt werden.

12 SUMMARY

In the present thesis a mixture of fractions of a yellow-grained naked barley with additional bakery improvers (swelling flour, malted flour, acidifier and bakery margarine) was used to produce a 100 % barley bread. The breads were analyzed with specific methods to determine the rheological, physical, textural, color and sensorial qualities. On the basis of a multiple response optimization an optimized bread recipe was designed. With this recipe the optimized barley bread was baked.

The experiments showed that naked barley flour can not only be an additive to wheat flour, but also be used without any wheat flour to produce acceptable breads.

To optimize the ability of dough processing additional dough water and bakery margarine should be used, because the addition of these ingredients prevented a dryly and crumbly dough consistence.

Additional dough water, bakery margarine and malted flour were useful to reduce the, in comparison with pure-wheat-breads, high crumb strength and to increase the bread volume.

A good looking crust browning was produced by additions of bakery margarine and malted flour (without addition of acidifier).

The optimized barley bread featured an optical attractive shape and a pleasant odor and taste. The good sensorial properties were the result of sufficient dough water and a combination of bakery margarine, malted flour and a little bit of acidifier.

13 LITERATURVERZEICHNIS

- Al-Widyan, O.; Khataibeh, M. H. and Abu-Alruz, K. (2008): The use of xylanases from different microbial origin in bread baking and their effects on bread qualities. *J. Applied Sci.* 8: 672-676.
- Ames, N.; Rhymer, C.; Rosnagel, B.; Therrien, M.; Ryland, D.; Dua, S. and Ross, K. (2006): Utilization of diverse hulless barley properties to maximize food product quality. *Cereal Foods World* 51: 23-28.
- Andersson, A. A. M.; Courtin, C. M.; Delcour, J. A.; Fredriksson, H.; Schofield, J. D.; Trogh, I.; Tsiami, A. A. and Åman, P. (2003): Milling performance of North European hull-less barleys and characterization of resultant mill-streams. *Cereal Chem.* 80: 667-673.
- Andersson, A. A. M.; Armo, E.; Grangeon, E.; Fredriksson, H.; Andersson, R. and Aman, P. (2004): Molecular weight and structure of (1 → 3)(1 → 4)-β-D-glucans in dough and bread made from hull-less barley milling fractions. *J. Cereal Sci.* 40: 195-204.
- Auerman, L. Ja. (1977): Technologie der Brotherstellung. Übers. deutschspr. Ausg. VEB Fachbuchverlag Leipzig.
- Basman, A.; Köksel, H.; Ng, P. K. W. (2003): Utilization of transglutaminase to increase the level of barley and soy flour incorporation in wheat flour blends. *J. Food Sci.* 68: 2453-2460.
- Behall, M. K.; Scholfield, D. J. and Hallfrisch, J. (2004): Diets containing barley significantly reduce lipids in mildly hypercholesterolemic men and women. *Am. J. Clin. Nutr.* 80: 1185-1193.
- Belitz, H.-D.; Grosch, W. und Schieberle, P. (2008): Lehrbuch der Lebensmittelchemie. 6. vollst. überarb. Aufl., Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Berghofer, E. (2008): Allgemeine Lebensmitteltechnologie - Vorlesungsunterlagen 2008.
- Bhatty, R. S. (1986): Physicochemical and functional (breadmaking) properties of hull-less barley fractions. *Cereal Chem.* 63: 31-35.
- BIB-Ulmer Spatz (2006): Perfekte Brotqualität – Brotfehler erkennen und vermeiden. Publikation für das Backgewerbe in Zusammenarbeit mit der BFEL und der DLG, Aufl. 2, Heft 4, Bingen am Rhein.
- Biliaderis, C. G.; Izydorczyk, M. S. and Rattan, O. (1995): Effect of arabinoxylans on bread-making quality of wheat flours. *Food Chem.* 53: 165-171.
- Bingham, S. A.; Day, N. E.; Luben, R.; Ferrari, P.; Slimani, N.; Norat, T.; Clavel-Chapelon F.; (...) and Riboli, E. (2003): Dietary fibre in food and protection against colorectal cancer in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC): An observational study. *Lancet* 361 (9368): 1496-1501.
- Bird, A. R.; Jackson, M.; King, R. A.; Davies, D. A.; Usher, S. and Topping, D. L. (2004): A novel high-amylose barley cultivar (*Hordeum vulgare* var. *Himalaya 292*) lowers plasma cholesterol and alters indices of large-bowel fermentation in pigs. *Brit. J. Nutr.* 92: 607-615.

- Bokore, F. E. (2008): Hull-less barley (*Hordeum vulgare* L.) and pigmented wheat (*Triticum* L.): Genetic diversity for healthy food. Dissertation, Institut Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung des Departments für Angewandte Pflanzenwissenschaften und Pflanzenbiotechnologie an der Universität für Bodenkultur, Wien.
- Bourdon, I.; Yokoyama, W.; Davis, P.; Hudson, C.; Backus, R.; Richter, D.; Knuckles, B. and Schneeman, B. O. (1999): Postprandial lipid, glucose, insulin, and cholecystokinin responses in men fed barley pasta enriched with beta-glucan. *Am. J. Clin. Nutr.* 69: 55.
- Brennan, C. S. and Cleary, L. J. (2005): The potential use of cereal (1 → 3), (1 → 4)-β-D-glucans as functional food ingredients. *J.Cereal Sci.* 42: 1-13.
- Brümmer, J.-M.; Morgenstern, G. und Neumann, H. (1988): Herstellung von Hafer-, Gerste-, Mais-, Reis-, Hirse- und Buchweizenbrot. *Getreide, Mehl und Brot* 42: 153-158.
- Burton-Freeman, B (2000): Dietary fiber and energy regulation. *J. Nutr.* 130: 272-275.
- Casiraghi, M.C.; Garsetti, M.; Testolin, G. and Brighenti, F. (2006): Post-prandial responses to cereal products enriched with barley β-glucan. *J. Am. Coll. Nutr.* 25: 313-320.
- Cavallero, A.; Empilli, S.; Brighenti, F. and Stanca, A.M. (2002): High (1 → 3, 1 → 4)-β-glucan barley fractions in bread making and their effects on human glycemic response. *J. Cereal Sci.* 36: 59-66.
- Cheigh, H. K. (1979): Rheological, baking and noodle making properties of barley-wheat flour blends. In: *Proc. Joint Barley Utilization Seminar*, Feb. 26-March 6, 1979: 48. Korea Science and Engineering Foundation: Suweon, Korea.
- Claus, P. (2004): *Chemie der Naturstoffe. Vorlesung für die Studienrichtung Ernährungswissenschaften (WS 2004/2005)*, Universität Wien, herausgegeben und verlegt am Institut für Organische Chemie der Universität Wien.
- Cleary, L. J.; Andersson, R. and Brennan, C. S. (2007): The behaviour and susceptibility to degradation of high and low molecular weight barley β-glucan in wheat bread during baking and in vitro digestion. *Food Chem.* 102: 889-897.
- Codex alimentarius Austriacus = (Österreichisches Lebensmittelbuch). Hrsg. vom Bundesministerium für Soziale Verwaltung auf Grund d. Beschlüsse d. Codexkommission . Backhefe, Sauerteig, Backpulver, Triebmittel für besondere Zwecke. Band II, 3. Aufl., Verlag Brüder Hollinek, Purkersdorf.
- Courtin, C. M. and Delcour, J. A. (2002): Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour bread-making. *J. Cereal Sci.* 35: 225-243.
- Delaney, B.; Nicolosi, R. J.; Wilson, T. A.; Carlson, T.; Frazer, S.; Zheng, G. H.; Hess, R.; Ostergren, K.; Haworth, J. and Knutson, N. (2003): β-glucan fractions from barley and oats are similarly antiatherogenic in hypercholesterolemic Syrian golden hamsters. *J. Nutr.* 133: 468-495.
- DLG (Deutsche Landwirtschafts- Gesellschaft) (Hrsg.) (2008): *Prüfbestimmungen 2009*. DLG- Verlag, Frankfurt am Main.

- Dörfer, H.-J.; Fischer, W.; Friedrich, P.; Hünecke, H.; Jaenecke, H.-U.; Kriems, P.; Kunis, J.; (...) und Zehle, G. (1981): Verfahren der Backwarenherstellung- Stoffumwandelnde und stoffstrukturierende Vorgänge in den Verfahrensstufen der Backwarenherstellung. In: Schneeweiß, R und Klose, O. (Hrsg.). Technologie der industriellen Backwarenproduktion. VEB Fachbuchverlag Leipzig.
- Ebermann, R. und Elmadfa, I. (2008): Lehrbuch Lebensmittelchemie und Ernährung. Springer-Verlag/Wien.
- Elmadfa, I. und Leitzmann, C. (2004): Ernährung des Menschen. 4., korr. akt. Aufl., Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Elmadfa, I.; Freisling, H.; Nowak, V.; Hofstädter, D. et al. (2009): Österreichischer Ernährungsbericht 2008. 1. Aufl., Wien.
- Fa. Dr. Lange (2001): Systembeschreibung „MICRO COLOR“.
- FDA - *Food and Drug Administration*. (2006): Food labeling: health claims; soluble dietary fiber from certain foods and coronary heart disease. Docket No. 2004P-0512. Federal Register 71:29248-29250. Food & Drug Association, U.S. Dept. of Health and Human Services, Rockville, MD.
- Gerstenkorn, P.; Meyer, D. and Brümmer, J.-M. (1988): Vergleichende Untersuchungen zum Einsatz von Nacktgerste und bespelzter Gerste zur Herstellung von Graupen und Mischbrot. Getreide Mehl und Brot 42: 208-211.
- Gill, S; Vasanthan, T; Ooraikul, B and Rossnagel, B. (2002a): Wheat bread quality as influenced by the substitution of waxy and regular barley flours in their native and extruded forms. J. Cereal Sci. 36: 219-237.
- Gill, S; Vasanthan, T; Ooraikul, B and Rossnagel, B. (2002b): Wheat bread quality as influenced by the substitution of waxy and regular barley flours in their native and cooked forms. J. Cereal Sci. 36: 239-251.
- Graham, A. and Graham, H. (1987): Content and solubility of mixed-linked β -(1 \rightarrow 3), (1 \rightarrow 4)-D-glucans in Swedish barleys and oats. Department of Animal Nutrition and Management, Swedish University of Agricultural Sciences. In: Morton, I. D. (Hrsg.). Cereals in a European context/ 1. Europ. Conference on Food Science and Technology. Ellis Horwood Ltd., Chichester, England and VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Germany: 480
- Grausgruber, H.; Bokore, F. E. and Kinner, M. (2008): Schwarze Nacktgerste- Ein neuer Rohstoff für funktionelle Lebensmittel. Endbericht Projekt H-1761/2006, Hochschuljubiläumstiftung der Stadt Wien, Department für Angewandte Pflanzenwissenschaften und Pflanzenbiotechnologie & Department für Lebensmittelwissenschaft und Lebensmitteltechnologie, Wien.
- Grausgruber, H.; Hatzenbichler, E. und Ruckenbauer, P. (2003): Analysis of repeated stickiness measures of wheat dough using a texture analyser. J. texture studies Vol. 34: 69-82.
- Hampshire, J. (2007): Gesundheitsbezogene Angaben bei Getreidenährmitteln. Getreidetechnologie 61: 304-308.
- Henry, R. J. and Kettlewell, P.S. (Hrsg.) (1996): Cereal grain quality. Chapman & Hall, London, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras.
- Hockett, E. A. (1991): Barley. In: Lorenz, K. J. and Kulp K. (Hrsg.). Handbook of cereal science and technology. Marcel Dekker, New York: 133-198.

- Izydorczyk, M. S. and Biliaderis, C. G. (1995): Cereal arabinoxylans: advances in structure and physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers* 28: 33-48.
- Izydorczyk, M. S.; Chornick, T. L.; Paulley, F. G.; Edwards, N. M. and Dexter, J. E. (2008): Physicochemical properties of hull-less barley fibre-rich fractions varying in particle size and their potential as functional ingredients in two-layer flat bread. *Food Chem.* 108: 561-570.
- Izydorczyk, M. S.; Storsley, J.; Labossiere, D.; MacGregor, A. W. and Rosnagel, B. G. (2000): Variation in total and soluble β -glucan content in hullless barley: Effects of thermal, physical, and enzymic treatments. *J. Agric. Food Chem.* 48: 982-989.
- Jacobs, S. M.; Izydorczyk, M. S.; Preston, K.R. and Dexter, J.E. (2008): Evaluation of baking procedures for incorporation of barley roller milling fractions containing high levels of dietary fibre into bread. *J. Sci. Food Agric.* 88: 558-568.
- Jarman, R. J. (1995): Visual Identification by Grain Characteristics. In: Wrigley, C. W. (Hrsg.). *Identification of Food-Grain Varieties*. American Association of Cereal Chemists.
- Katina, K. (2003): High-fibre baking. In: Cauvain, S. P. (Hrsg.). *Bread making-Improving quality*. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, England: 487-499.
- Keogh, G. F.; Cooper, G. JS; Mulvey, T. B.; McArdle, B. H.; Coles, G. D.; Monro, J. A. and Poppitt, S. D. (2003): Randomized controlled crossover study of the effect of a highly β -glucan-enriched barley on cardiovascular disease risk factors in mildly hypercholesterolemic men. *Am. J. Clin. Nutr.* 78: 711-8.
- Kiefer, I.; Burger, P.; Blass, M.; Berghofer, E. and Hoppichler, F. (2002): Functional Food-Lebensmittel mit Zusatznutzen?. *J. für Ernährungsmed.* 4 (2) (Ausgabe für Österreich): 10-15.
- Kunz, C. (2003): Functional Food - Entwicklung und Hypothesen. Arbeitsgemeinschaft Ernährungsverhalten e.V. (AGEV), 25. wissenschaftliche Jahrestagung, Functional Food - Forschung, Entwicklung und Verbraucherakzeptanz. Abstract- Band, Gießen.
- Lazaridou, A. and Biliaderis, C.G. (2007): Molecular aspects of cereal β -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects. *J. Cereal Sci.* 46: 101-118.
- Liljeberg, H.; Granfeldt, Y. and Bjorek; I. (1996): Product based on a higher fiber barley genotype, but not on common barley or oats, lower postprandial glucose and insulin responses in healthy humans. *J. Nutr.* 126: 458-466.
- Lindhauer, M. G.; Hollmann, J. und Pool-Zobel, B. L. (2005): Untersuchung des gesundheitsfördernden Potentials von Pentosanen der Weizenkleie zur Erschließung einer neuen wertschöpfenden Verwendung. AiF- Forschungsvorhaben 13065 BG. Gemeinschaftsprojekt der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Detmold, und Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Ernährungstoxikologie.
- Lochte-Holtgreven, H. (2006): Gerste- Rohstoff der Zukunft. *Food Techn. Mag.* 11: 2-4.

- MacGregor, A. W. and Bhatta, R. S. (Hrsg.) (1993): Barley- Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, St.Paul, Minnesota, USA.
- Magnus, E. M.; Fjell, K. M. and Steinsholt, K. (1987): Barley flour in Norwegian wheat bread. Dept. of Dairy and Food Industries, The Agric. University of Norway. In: Morton, I.D. (Hrsg.). Cereals in a European context/ 1. Europ. Conference on Food Science and Technology. Ellis Horwood Ltd., Chichester, England and VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Germany: 377.
- Maki, K. C.; Davidson, K.; Ingram, P.; Veith, M.; Bell, M. and Gugger, E. (2003): Lipid responses to consumption of beta-glucan containing ready-to-eat cereal in children and adolescents with mild-to-moderate primary hypercholesterolemia. *Nutr. Res.* 23: 1527-1535.
- McIntosh, G. H.; Whyte, J. McArthur, R. and Nestel, P. J. (1991): Barley and wheat foods: Influence on plasma cholesterol concentrations in hypercholesterolemic men. *Am. J. Clin. Nutr.* 53: 1205-1209.
- Meyer, B. (1999): Backmittel für Brot. In: Backmittelinstitut e.V. (Hrsg.). Handbuch Backmittel und Backgrundstoffe. Behr's Verlag Hamburg: 21-33.
- Moss, R. (1989): Wholemeal bread quality-processing and ingredient interactions. *Food Australia* 41: 694-697.
- Nagel-Held, B.; Marklinder, I.; Seibel, W. und Schildbach, R. (1997): Herstellung ernährungsphysiologisch wertvoller Fraktionen aus Gerste und deren Verarbeitung in Backwaren- 2. Teil: Herstellung gerstenhaltiger Mischbrote unter besonderer Berücksichtigung mahlprodukt- und sortenspezifischer Backeigenschaften. *Getreide, Mehl und Brot* 51: 56-60.
- Neumann, M. P. und Pelshenke, P. F. (1954): Brotgetreide und Brot- Handbuch für die Theorie und Praxis der Brotgetreideverarbeitung. 5., neubearb. Aufl. von Pelshenke, P. F., Parey Verlag Berlin und Hamburg.
- Newman, C. W. and Newman, R. K. (2006): A brief history of barley foods. *Cereal Food World* 51: 4-7.
- Newman, R. K. und Newman, C. W. (2008): Barley for Food and Health- Science, Technology and Products. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Pelshenke, P. (1938): Untersuchungsmethoden für Brotgetreide, Mehl und Brot. Moritz Schäfer, Leipzig.
- Pelshenke, P. (1941): Die Backmittel-Herstellung, Wirkung, Zusammensetzung und Anwendung. Parey, Berlin.
- Petersen, H. (1991): Grundlagen der statistischen Versuchsplanung. Bd. 2, ecomed Verlagsgesellschaft mbH, Landsberg/Lech.
- Pins, J. J. and Kaur, H. (2006): A review of the effects of barley β -glucan on cardiovascular and diabetic risk. *Cereal Food World* 51: 8-11.
- Prentice, N.; Burger, W. C. and D'Appolonia, B. L. (1979): Rolled high-lysine barley in breakfast cereal, cookies, and bread. *Cereal Chem.* 56: 413-416.
- Rimm, E. B.; Ascherio, A.; Giovannucci, E.; Spiegelmann, D.; Stampfer, M.J. and Willett, W. C. (1996): Vegetable, fruit, and cereal fiber intake and risk of coronary heart disease among men. *JAMA* 275: 447-451.

- Saisho, D. and Purugganan, M. D. (2007): Molecular phylogeography of domesticated barley traces expansion of agriculture in the old world. *Genetics* 177: 1765-1776.
- Schmidt, J. (2007): Adaption der Nahinfrarotspektroskopie zur Quantifizierung von β - Glucan und Protein in Nacktgerste. Diplomarbeit, Abteilung Lebensmitteltechnologie des Departments für Lebensmittelwissenschaften und –technologie an der Universität für Bodenkultur, Wien.
- Schünemann, C. und Treu, G. (1993): Technologie der Backwarenherstellung- Fachkundliches Lehrbuch für Bäcker/Bäckerinnen. 5.Aufl., Gildefachverlag GmbH & Co. KG, Alfeld (Leine).
- Seibel, W. und Spicher, G. (2004): Backwaren. In: Heiss, R. (Hrsg.). *Lebensmitteltechnologie-Biotechnologische, chemische, mechanische und thermische Verfahren der Lebensmittelverarbeitung*. 6., voll. überarb. und erweit. Aufl., Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York: 209-223.
- Skendi, A.; Papageorgiou, M. and Biliaderis, C. G. (2006): Molecular size and concentration effects of barley β -glucan supplementation on dough and bread characteristics. In: *Book of Abstracts of Dietary Fibre Conference 2006: Multifunctional Complex of Components*, Helsinki, Finland, June 2006: 200.
- Smith, K. N.; Queenan, K. M.; Thomas, W.; Gary, R. and Slavin, J. L. (2008): Physiological effects of concentrated barley β -glucan in mildly hypercholesterolemic adults. *J. of the Am. Coll. Nutr.* 27: 434-440.
- Spicher, G. und Stephan, H. (1993): *Handbuch des Sauerteiges-Biologie, Biochemie, Technologie*. 4. Aufl., Neuaufl., B. Behr's Verlag GmbH & Co., Hamburg.
- STATGRAPHICS® (2005): *Design of Experiments – Screening Designs*. Dokumentation (Rev. 6/3/2005).
- Stauffer, C. E. (1998): Principles of dough formation. In: Cauvain, S. P. and Young, L. S. (Hrsg.). *Technology of breadmaking*. Blackie Academic & Professional, an imprint of Chapman & Hall, London, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras: 262-295.
- Storsley, J. M.; Izydorczyk, M. S.; You, S.; Biliaderis, C. G. and Rossnagel, B. (2003): Structure and physicochemical properties of β - glucans and arabinoxylans isolated from hull-less barley. *Food Hydrocolloids* 17: 831-844.
- Symons, L. J. and Brennan, C. S. (2004): The influence of (1 \rightarrow 3) (1 \rightarrow 4)- β -D-glucan-rich fractions from barley on the physicochemical properties and *in vitro* reducing sugar release of white wheat breads. *J. Food Sci.* 69: 463-467.
- Timm, D. A. and Slavin, J. L. (2008): Dietary fiber and the relationship to chronic Diseases. *Am. J. Lif. Med.* 2: 233-240.
- Tripette & Renaud (o.J.): *Chopin Bread Volumeter – Measurement of the Volume of Baked Products*. France.

- Trogh, I; Courtin, CM; Andersson, AAM; Åman, P; Sørensen, JF and Delcour, JA (2004): The combined use of hull-less barley flour and xylanase as a strategy for wheat/hull-less barley flour breads with increased arabinoxylan and (1 → 3, 1 → 4)-β-D-glucan levels. *J Cereal Sci* 40: 257-267.
- Urooj, A.; Vinutha, S. R.; Puttaraj, S.; Leelavathy, K. and Rao, H. (1998): Effect of barley incorporation in bread on its quality and glycemic responses in diabetics. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 49: 265-270.
- Vollmar, A. (2005): Neues Meßgerät zur Ermittlung des Brotvolumens. *Getreide-technologie* 59: 57-59.
- Wang, S.M., Watts, B.M., Betker, S.E., Lukow, O.M. und Bushuk, W. (1994): A sensory method of dough stickiness measurement. *Cereal Foods World* 39: 831-834.
- Wassermann, L. (1999): Backmittel, Allgemeines. In: Backmittelinstitut e.V. (Hrsg.). *Handbuch Backmittel und Backgrundstoffe*. Behr's, Hamburg: 5-8.
- Watzl, B. und Bub, A. (2001): Carotinoide. *Ernährungs-Umschau* 48, Heft 2: 71-74.
- Watzl, B. und Rechkemmer, G. (2001): Phenolsäuren. *Ernährungs-Umschau* 48, Heft 10: 413-416.
- Weipert, D. (1993): Brotgetreide und seine Produkte. In: Weipert, D.; Tscheuschner, H.-D. und Windhab, E. (Hrsg.). *Rheologie der Lebensmittel*. Behr's, Hamburg: 303-364.
- Wirfält, E.; Hedblad, B; Gullberg, B.; Mattisson, I.; Andrén, C.; Rosander, U.; Janzon, L. and Berglund, G. (2001): Food patterns and components of the metabolic syndrome in men and women: A cross-sectional study within the Malmö Diet and Cancer cohort. *Am. J. Epidemiol.* 154: 1150-1159.
- Wolk, A.; Manson, J. E.; Stampfer, M. J.; Colditz, G. A.; Hu, F. B.; Speizer, F. E.; Hennekens, C. H. and Willett, W. C. (1999): Long-term intake of dietary fiber and decreased risk of coronary heart disease among women. *JAMA* 281:1998-2004.
- Wood, P. J.; Newman, C. W. and Newman, R. K. (2001): Beta-glucan structure in waxy and non-waxy barley. AACC Annual Meeting, Charlotte, North Carolina October 14-18, 2001, Charlotte Convention Center.
- Wood, P. J.; Weisz, J.; Fedec, P. and Burrows, V. D. (1989): Large scale preparation and properties of oat fractions enriched in (1 → 3, 1 → 4)-β-D-glucan. *Cereal Chemistry* 66: 97-103.

13.1 Verwendete Internetquellen

- Conway, J.M. and Behall, K. M. (2005): Health Effects of Barley Consumption. Diet & Human Performance Laboratory, Beltsville Human Nutrition Research Center, Agricultural Research Center, United States Department of Agriculture, Beltsville, MD 20705. Online unter: www.barleyfoods.org/article-03-2005-4.pdf (Stand: 10.11.08).

- Crop Research Institute Prague-Ruzyne. (o.J.): Alternative Crops in the Czech Republic. Online unter: <http://www.vurv.cz/altercrop/images/n-barley3.jpg> (Stand 12.02.2009).
- Dieckmann, K. (Dieckmann Seeds) waxyGerste - Erste waxy-Wintergerste in Europa zugelassen für Dieckmann Seeds. In Press. Online unter: <http://www.dieckmann-seeds.de/pres01.html> (Stand: 10.11.08).
- Erste Wiener Walzmühle Vonwiller GmbH. (o.J.): Kleine Mehlkunde. Online unter: <http://www.vonwiller.at/frames/mehlkunde.htm> (Stand 04.04.2009).
- Fa. Texture Technologies (2009): TA.XT2i Texture Analyzer Specifications. Online unter: http://www.texturetechnologies.com/TAXT2_Texture_Analyzer.htm (Stand 20.04.2009).
- FAOSTAT - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2008): ProdSTAT- Crops. Online unter: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor> (Stand: 30.10.08).
- Getreidezüchtungsforschung Darzau. (2006a): Von Speisegersten, Tsampa, Giotta und Gofio. Online unter: <http://www.darzau.de/index.php?id=7> (Stand: 09.11.08).
- Getreidezüchtungsforschung Darzau. (2006b): Von Speisegersten, Tsampa, Giotta und Gofio. Online unter: <http://www.darzau.de/index.php?id=37> (Stand: 10.11.08).
- Lötsche, K. (o.J.): Biochemie der Getreideverarbeitung. Backeigenschaften von Mehlen. In: Allgemeine Produkttechnologie pflanzlicher Lebensmittel. Skriptum zur Vorlesung. Online unter: www1.hs-bremerhaven.de/pll/assets/applets/BIOCHEMIE_DER_GETREIDEVERAR.pdf (Stand:04.04.09).
- Purcell Mountain Farms (2008): Black Barley Grain. Online unter: <http://www.purcellmountainfarms.com/Black%20Barley%20Grain.htm> (Stand 12.02.2009).
- Sonam's Tsampa (o.J.): Das tibetische Grundnahrungsmittel. Online unter: <http://www.tsampa.ch/produkt/index.html> (Stand: 10.11.08).
- Ströck-Brot GmbH (2009a): Produktdetails – Bio-Roggen-Pur. Online unter: http://www.stroeck.at/frameset.html?page=produkt_details.aspx?queue=600&ceid=2816 (Stand: 04.05.09).
- Ströck-Brot GmbH (2009b): Produktdetails – Bio-Volkornbrot. Online unter: http://www.stroeck.at/frameset.html?page=produkte_category.aspx?queue=600&breadcrumb=bio%20bereich (Stand: 04.05.09).
- UMEX GmbH (2008): Praxishandbuch STATGRAPHICS®. Online unter: <http://www.statgraphics.info/stat/hct/main.pdf> (Stand 25.05.2009).
- USHHS und USDA - U.S. Department of Health and Human Services and U.S. Department of Agriculture (2005): Dietary Guidelines for Americans 2005. Online unter: <http://www.health.gov/dietaryguidelines/dga2005/document/pdf/DGA2005.pdf> (Stand: 11.11.08).

14 ANHANG

- Plackett-Burman Versuchsplan
- Sensorische Beurteilung der Vorversuchsbrote
- Sensorische Beurteilung der Hauptversuchsbrote

Tab. 27: Verwendeter Plackett-Burmann Versuchsplan.

	TG ¹	SG ²	Wasser	TH ³	SM ⁴	QM ⁵	MM ⁶	BM ⁷
Hv-16	0	0	0	0	0	0	0	0
Hv-18	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1
Hv-5	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1
Hv-23	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1
Hv-19	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1
Hv-4	1	1	-1	1	1	-1	1	-1
Hv-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1
Hv-13	-1	1	1	1	-1	1	1	-1
Hv-6	-1	-1	1	1	1	-1	1	1
Hv-15	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1
Hv-3	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
Hv-9	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1
Hv-17	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Hv-10	0	0	0	0	0	0	0	0
Hv-14	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1
Hv-21	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1
Hv-20	1	-1	-1	1	-1	1	1	1
Hv-26	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1
Hv-7	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
Hv-2	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1
Hv-11	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1
Hv-22	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1
Hv-8	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
Hv-12	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1
Hv-25	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1
Hv-24	1	1	1	1	1	1	1	1
Hv-27	0	0	0	0	0	0	0	0

¹ Teiggare

² Stückgare

³ Trockenhefe

⁴ Säuerungsmittel

⁵ Quellmehl

⁶ Malzmehl

⁷ Backmargarine



Vv-1 18 g Hefe	Vv-2 12 g Hefe
	
<ul style="list-style-type: none"> ○ größere Porung ○ fester im Biss als Vv-2 ○ brotähnliche Textur 	<ul style="list-style-type: none"> ○ mehr und größere Oberflächenrisse ○ regelmäßige Porung als Vv-1 ○ runder im Geschmack

Abb. 55: Sensorische Beurteilung der Vorversuchsbrote Vv-1 und Vv-2, welche sich durch unterschiedliche Hefemengen unterscheiden.

Vv-3 18 g Hefe; längere Gärzeiten	Vv-4 12 g Hefe; längere Gärzeiten
	
<ul style="list-style-type: none"> ○ flache bis eingefallene schwammige Oberfläche ○ bröselig, erinnert an Sandmassenkuchen-Textur ○ aromaarm 	<ul style="list-style-type: none"> ○ flache bis leicht gewölbte Oberfläche ○ bröselig, erinnert an Sandmassenkuchen-Textur ○ fade im Geschmack

Abb. 56: Sensorische Beurteilung der Vorversuchsbrote Vv-3 und Vv-4, welche sich durch unterschiedliche Hefemengen unterscheiden. Von Vv-1 und Vv-2 unterschieden sie sich durch längere Gärzeiten.

Vv-5 12 g Hefe; 19,7 g Quellmehl	Vv-6 12 g Hefe; 9,9 g Quellmehl
	
<ul style="list-style-type: none"> ○ große Risse auf der gesamten Oberfläche verteilt ○ knusprige Kruste ○ fast goldgelb gebräunt ○ brotähnliche Textur, nicht so bröselig wie Vv-6 ○ im Geruch eine getreidig, malzige Note, leicht süßlich im Geschmack, insgesamt schön abgerundet 	<ul style="list-style-type: none"> ○ große Risse an der Oberfläche ○ knusprige Kruste ○ gut gebräunt ○ brotähnliche Textur, trockener und bröseliger als Vv-5 ○ nicht so süßlich im Geschmack wie Vv-5, aromatisch

Abb. 57: Sensorische Beurteilung der Vorversuchsbrote Vv-5 und Vv-6, welche sich durch unterschiedliche Quellmehlmengen unterschieden.



Vv-7 18 g Hefe; 14,8 g Quellmehl	Vv-8 12 g Hefe; 14,8 g Quellmehl
	
<ul style="list-style-type: none"> ○ gute Wölbung, große Risse ○ knusprige Kruste ○ regelmäßig gebräunt ○ größere Porung - vor allem im Krustenbereich – als Vv-8 ○ getreidige Note im Geruch, voller und intensiver im Geschmack als Vv-8, leicht süßlich, leicht unharmonischer Nachgeschmack 	<ul style="list-style-type: none"> ○ extrem große Risse auf der Oberfläche ○ nicht so regelmäßig und gut gebräunt wie Vv-7 ○ trockener und bröseliger als Vv-7 ○ Krume ballt beim Kauen ○ leer und fade im Geschmack

Abb. 58: Sensorische Beurteilung der Vorversuchsbrote Vv-7 und Vv-8, welche sich durch unterschiedliche Hefemengen unterschieden.



Vv-9 12 g Hefe; 3,5 g Malzmehl	Vv-10 12 g Hefe; 13,9 g Malzmehl
	
<ul style="list-style-type: none"> ○ ansehnliche Risse auf der Oberfläche ○ regelmäßige goldgelbe Bräunung ○ regelmäßige Porung ○ leicht bröselige Krume ○ im Geschmack voller und intensiver als Vv-10 	<ul style="list-style-type: none"> ○ gut gewölbte Oberfläche ○ nicht so regelmäßig und schön gebräunt wie Vv-9 ○ pappige und klebrige Krume, bleibt auf den Zähnen kleben ○ sehr süßlich im Geschmack

Abb. 59: Sensorische Beurteilung der Vorversuchsbrote Vv-9 und Vv-10, welche sich durch unterschiedliche Malzmehlmengen unterscheiden.



Vv-11 12 g Hefe; 10 g Backmargarine	Vv-12 12 g Hefe; 50 g Backmargarine
	
<ul style="list-style-type: none"> ○ mittelmäßig gut gewölbte Oberfläche ○ leicht goldgelb in der Bräunung ○ große Risse auf der Oberfläche ○ knusprige Kruste ○ bröseliger und trockener als Vv-12 ○ dichte Porung ○ geschwächte Krumenelastizität ○ trocknet Mund während des Kauens aus ○ fade im Geschmack 	<ul style="list-style-type: none"> ○ mittelmäßig gut gewölbte Oberfläche ○ etwas heller in der Bräunung als Vv-11 ○ große Risse auf der Oberfläche ○ knusprige Kruste ○ größere und unregelmäßigere Porung als Vv-11 ○ angenehmes Mundgefühl geschmacklich und geruchlich abgerundeter

Abb. 60: Sensorische Beurteilung der Vorversuchsbrote Vv-11 und Vv-12, welche sich durch unterschiedliche Backmargarinemengen unterscheiden.


<p>Vv-13 12 g Hefe; 0,4 g Säuerungsmittel</p>	<p>Vv-14 12 g Hefe; 0,9 g Säuerungsmittel</p>
	
<ul style="list-style-type: none"> ○ gut gewölbte Oberfläche ○ mittelgroße Risse ○ leicht gebräunt ○ knusprige Kruste ○ leicht trockene Krume, zerfällt im Mund zu einzelnen Bröseln ○ Krume ist fester als Vv-14 ○ leicht säuerlich und getreidig im Geruch und Geschmack 	<ul style="list-style-type: none"> ○ gut gewölbte Oberfläche ○ mittelgroße Risse ○ leicht gebräunt ○ teilweise kleine Hohlräume in der Krume ○ etwas luftiger und lockerer als Vv-13 ○ geschmacklich abgerundeter und aromatischer als Vv-13

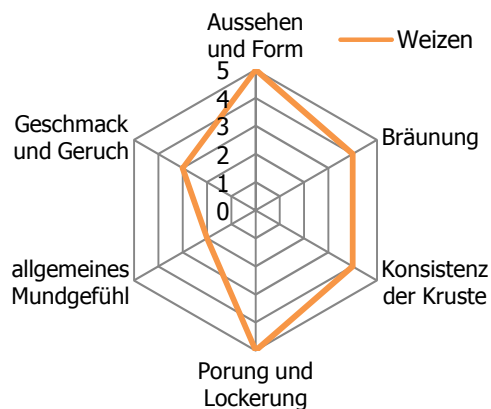
Abb. 61: Sensorische Beurteilung der Vorversuchsbrote Vv-13 und Vv-14, welche sich durch unterschiedliche Säuerungsmittelmengen unterscheiden.

Weizenmehl-Standard

Rezeptur		
Weizenmehl	1001,2	[g]
Trockenhefe	18,0	[g]
Wasser	351,6	[g]
Säuerungsmittel	0	[g]
Quellmehl	0	[g]
Malzmehl	0	[g]
Fett	0	[g]

Führungsparameter		
Knetstufe	2,5	
Knetzeit	3	[min]
Teiggare	30	[min]
Stückgare	50	[min]
Backzeit	30	[min]

Subjektive Bewertung



- gut und regelmäßig gewölbte Oberfläche
- keine Risse auf der Oberfläche
- goldgelbe Krustenfarbe
- gleichmäßige Porung
- stabile und knusprige Kruste
- weich und saftige Krume, nicht bröselig
- hefiger Geruch und Geschmack

Abb. 62: Sensorische Bewertung des Standard-Weizenbrotes.

Hv-1

Rezeptur			Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	864,7	[g]		<p>Σ(Prüfmerkmale) = 13 (mangelhaft)</p>
Trockenhefe	12,0	[g]		
Wasser	305,4	[g]		
Säuerungsmittel	7,0	[g]		
Quellmehl	28,4	[g]		
Malzmehl	0	[g]		
Fett	50,0	[g]		
Führungsparameter				
Knetstufe	2,5			
Knetzeit	3	[min]		
Teiggare	20	[min]		
Stückgare	20	[min]		
Backzeit	35	[min]		



- minimale bis gute Wölbung
- kleine bis mittelgroße Risse auf der gesamten Oberfläche verteilt
- breitlaufend
- recht blasse Krustenfarbe
- dichte Porung, deutlicher Speckgürtel in den Randzonen
- bröselige und säuerlich schmeckende Kruste
- trockene und patzige Krume
- sowohl im Geschmack als auch im Geruch säuerlich

Abb. 63: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-1.

Hv-2

Rezeptur		Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	929,2 [g]		Σ(Prüfmerkmale) = 18 (mäßig gut)
Trockenhefe	18,0 [g]		
Wasser	292,2 [g]		
Säuerungsmittel	0 [g]		
Quellmehl	0 [g]		
Malzmehl	19,1 [g]		
Fett	0 [g]		
Führungsparameter			
Knetstufe	2,5		
Knetzeit	3 [min]		
Teiggare	10 [min]		
Stückgare	10 [min]		
Backzeit	35 [min]		



- mäßige bis gute Wölbung
- große, durchgehend verlaufende Risse auf der Oberfläche
- leichte Blasenbildung auf der Oberfläche
- geschäkerete Bräunung, abwechselnd blasse und rostbraune Stellen
- dichte Porung
- zähe Kruste
- trockene und bröselige Krume, ballt beim Kauen
- riecht getreidig, brotartig, leicht nussig
- schmeckt nach rohem Getreide und intensiv nach Hefe

Abb. 64: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-2.

Hv-3

Rezeptur			Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	893,2	[g]		
Trockenhefe	12,0	[g]		
Wasser	270,4	[g]		
Säuerungsmittel	7,0	[g]		
Quellmehl	28,4	[g]		
Malzmehl	19,1	[g]		
Fett	0	[g]		
Führungsparameter			$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 8$ (ungenügend)	
Knetstufe	2,5			
Knetzeit	3	[min]		
Teiggare	20	[min]		
Stückgare	10	[min]		
Backzeit	35	[min]		



- mäßige bis gute Wölbung
- mittelgroße bis große Risse auf der Oberfläche verteilt
- ausgetrocknete Oberfläche, extrem blass, mit Salzteig vergleichbar
- Volumen der Brote minimal
- dichte Porung, Speckgürtel in den Randzonen
- trockene und bröselige Kruste
- trockene und bröselige Krume, ballt beim Kauen
- unannehmbar in Geschmack und Geruch (zu sauer und bitter), extrem säuerlicher Nachgeschmack

Abb. 65: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-3.

Hv-4

Rezeptur		Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	921,6 [g]		Σ(Prüfmerkmale) = 12 (mangelhaft)
Trockenhefe	18,0 [g]		
Wasser	287,6 [g]		
Säuerungsmittel	7,0 [g]		
Quellmehl	0 [g]		
Malzmehl	19,1 [g]		
Fett	0 [g]		
Führungsparameter			
Knetstufe	2,5		
Knetzeit	3 [min]		
Teiggare	20 [min]		
Stückgare	20 [min]		
Backzeit	35 [min]		



- mäßige bis gute Wölbung
- kleine bis mittelgroße Risse auf der Oberfläche verteilt
- leichte Blasenbildung auf der Oberfläch
- ausgetrocknete Oberfläche, extrem blass, mit Salzteig vergleichbar
- dichte Porung, Speckgürtel in den Randzonen
- leicht trockene, aber stabile Kruste
- trockene und bröselige Krume, ballt beim Kauen
- unannehmbar in Geschmack und Geruch, zu sauer

Abb. 66: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-4.

Hv-5

Rezeptur			Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	900,8	[g]		$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 15$ (mangelhaft)
Trockenhefe	18,0	[g]		
Wasser	275,0	[g]		
Säuerungsmittel	0	[g]		
Quellmehl	0	[g]		
Malzmehl	0	[g]		
Fett	50,0	[g]		
Führungsparameter				
Knetstufe	2,5			
Knetzeit	3	[min]		
Teiggare	20	[min]		
Stückgare	20	[min]		
Backzeit	35	[min]		



- mäßige bis gute Wölbung
- kleine, längliche Löcher auf der Oberfläche verteilt
- leichte Blasenbildung auf der Oberfläche
- breitlaufend
- blass bis leicht bräunlich
- leicht unregelmäßige Porung, Speckgürtel in den Randzonen
- bröselige Kruste
- massive und saftige Krume
- Geruch ist brotähnlich, geschmacklich etwas zu buttrig

Abb. 67: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-5.

Hv-6

Rezeptur		Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	874,2 [g]		
Trockenhefe	18,0 [g]		
Wasser	311,7 [g]		
Säuerungsmittel	7,0 [g]		
Quellmehl	0 [g]		
Malzmehl	19,1 [g]		
Fett	50,0 [g]		
Führungsparameter		$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 16$ (mäßig gut)	
Knetstufe	2,5		
Knetzeit	3 [min]		
Teiggare	10 [min]		
Stückgare	10 [min]		
Backzeit	35 [min]		



- gute Wölbung
- an den Seitenrändern große durchgehende Risse
- blass bis leicht bräunlich
- leicht unregelmäßige Porung, Speckgürtel in den Randzonen
- mürbe Kruste
- leicht bröselige und aufgelockerte Krume
- riecht muffig, stechend säuerlich, schmeckt sehr sauer und bitter im Nachgeschmack

Abb. 68: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-6.

Hv-7

Rezeptur			Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	872,3	[g]		$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 16$ (mäßig gut)
Trockenhefe	12,0	[g]		
Wasser	310,5	[g]		
Säuerungsmittel	0	[g]		
Quellmehl	28,4	[g]		
Malzmehl	0	[g]		
Fett	50,0	[g]		
Führungsparameter				
Knetstufe	2,5			
Knetzeit	3	[min]		
Teiggare	10	[min]		
Stückgare	10	[min]		
Backzeit	35	[min]		



- mäßige bis gute Wölbung
- große durchgehende Risse auf der Oberfläche plus viele kleine, leicht hügelige Oberfläche
- mäßige bis gute Bräunung
- leicht unregelmäßige Porung, Speckgürtel am Krumboden
- bröselige Kruste
- leicht bröselige und massive Krume, Krume ballt beim Kauen
- riecht leicht getreidig, hat eine leicht buttrige Note

Abb. 69: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-7.

Hv-8

Rezeptur		Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	929,2 [g]		
Trockenhefe	12,0 [g]		
Wasser	348,2 [g]		
Säuerungsmittel	0 [g]		
Quellmehl	0 [g]		
Malzmehl	19,1 [g]		
Fett	0 [g]		
Führungsparameter			
Knetstufe	2,5		
Knetzeit	3 [min]		
Teiggare	20 [min]		
Stückgare	20 [min]		
Backzeit	35 [min]	$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 14$ (mangelhaft)	



- mäßige Wölbung
- große durchgehende Risse auf der Oberfläche, hügelige Oberfläche
- breitlaufend
- geschäkerte Bräunung
- leicht unregelmäßige Porung, Speckgürtel am Krumboden
- leicht zähe Kruste
- aufgelockerte und weiche Krume, Krume ballt beim Kauen, bleibt auf den Zähnen kleben
- riecht brotähnlich, kein Fehl- oder intensiv auffallender Nachgeschmack

Abb. 70: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrotes Hv-8.

Hv-9

Rezeptur			Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	853,4	[g]		<p>$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 16$ (mäßig gut)</p>
Trockenhefe	12,0	[g]		
Wasser	246,4	[g]		
Säuerungsmittel	0	[g]		
Quellmehl	28,4	[g]		
Malzmehl	19,1	[g]		
Fett	50,0	[g]		
Führungsparameter				
Knetstufe	2,5			
Knetzeit	3	[min]		
Teiggare	10	[min]		
Stückgare	20	[min]		
Backzeit	35	[min]		



- gute Wölbung
- mittelgroße Risse an den Seitenrändern, hügelige Oberfläche
- teilweise goldgelbe Bräunung
- feine und unregelmäßige Porung mit vereinzelt Hohlräumen, Speckgürtel an den Randzonen
- mehlig und bröselige Kruste
- Krume ballt beim Kauen
- riecht hefig und buttrig, geschmacklich abgerundet, kein Fehlschmack

Abb. 71: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-9.

Hv-10

Rezeptur		Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	896,9 [g]		
Trockenhefe	15,0 [g]		
Wasser	299,8 [g]		
Säuerungsmittel	3,5 [g]		
Quellmehl	14,2 [g]		
Malzmehl	9,5 [g]		
Fett	25,0 [g]		
Führungsparameter		$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 11$ (mangelhaft)	
Knetstufe	2,5		
Knetzeit	3 [min]		
Teiggare	15 [min]		
Stückgare	15 [min]		
Backzeit	35 [min]		



- mittelmäßig bis gute Wölbung
- kleine bis mittelgroße Risse auf der Oberfläche verteilt, hügelige Oberfläche, teilweise runzelige Beschaffenheit
- unregelmäßige Form
- minimale Bräunung
- dichte Porung, Speckgürtel an den Randzonen
- mehlig und bröselige Kruste
- trockene und zu Brei werdende Krume
- riecht strohig und säuerlich, Geschmack ist vorneweg säuerlich und im Nachgeschmack bitter

Abb. 72: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-10.

Hv-11

Rezeptur			Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	893,2	[g]		<p>$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 8$ (ungenügend)</p>
Trockenhefe	12,0	[g]		
Wasser	270,4	[g]		
Säuerungsmittel	7,0	[g]		
Quellmehl	0	[g]		
Malzmehl	0	[g]		
Fett	50,0	[g]		
Führungsparameter				
Knetstufe	2,5			
Knetzeit	3	[min]		
Teiggare	20	[min]		
Stückgare	10	[min]		
Backzeit	35	[min]		



- gute Wölbung
- große Risse an den Seitenrändern, hügelige Oberfläche
- blass, keine deutliche Bräunung ersichtlich
- dichte Porung, Speckgürtel an den Randzonen
- extrem trockene Kruste
- trockene und bröselige Krume, bleibt an den Zähnen kleben
- riecht säuerlich, Geschmack ist vorneweg säuerlich und im Nachgeschmack extrem bitter

Abb. 73: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-11.

Hv-12

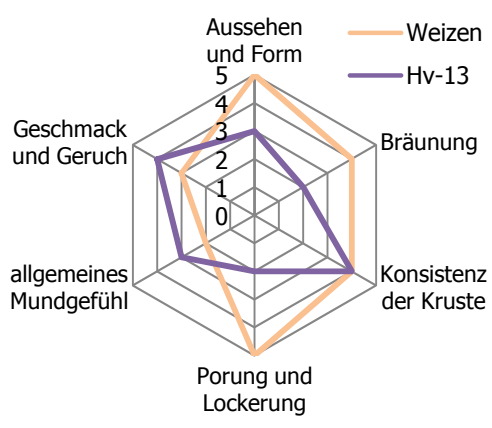
Rezeptur		Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	900,8 [g]		$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 16$ (mäßig gut)
Trockenhefe	18,0 [g]		
Wasser	329,3 [g]		
Säuerungsmittel	0 [g]		
Quellmehl	0 [g]		
Malzmehl	0 [g]		
Fett	50,0 [g]		
Führungsparameter			
Knetstufe	2,5		
Knetzeit	3 [min]		
Teiggare	10 [min]		
Stückgare	20 [min]		
Backzeit	35 [min]		



- gute Wölbung
- mittelgroße Risse an den Seitenrändern, hügelige Oberfläche, leicht runzlige Beschaffenheit
- breitlaufend
- teilweise goldgelbe Bräunung
- regelmäßiges, leicht aufgelockertes Porenbild, leichter Speckgürtel
- zähe und stabile Kruste
- bröselige Krume, braucht lange zum Einspeicheln, wird patzig
- riecht brotäglich, Geschmack ist buttrig und wenig aromatisch

Abb. 74: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-12.

Hv-13

Rezeptur			Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	900,7	[g]		<p>$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 18$ (mäßig gut)</p>
Trockenhefe	18,0	[g]		
Wasser	329,3	[g]		
Säuerungsmittel	0	[g]		
Quellmehl	28,4	[g]		
Malzmehl	19,1	[g]		
Fett	0	[g]		
Führungsparameter				
Knetstufe	2,5			
Knetzeit	3	[min]		
Teiggare	10	[min]		
Stückgare	20	[min]		
Backzeit	35	[min]		



- mäßig bis gute Wölbung
- kleine bis mittelgroße Risse auf der gesamten Oberfläche verteilt, hügelige Oberfläche
- breitlaufend
- geschäkerte Bräunung
- unregelmäßige Porung, leichter Speckgürtel am Boden
- zähe und stabile Kruste
- massive Krume, schwer zum Schlucken, patzig, wird zu Brei im Mund
- riecht strohig-getreidig (nicht unangenehm), Geschmack ist leicht süßlich und wenig aromatisch

Abb. 75: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-13.

Hv-14

Rezeptur		Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	912,2 [g]		$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 7$ (ungenügend)
Trockenhefe	18,0 [g]		
Wasser	281,9 [g]		
Säuerungsmittel	7,0 [g]		
Quellmehl	28,4 [g]		
Malzmehl	0 [g]		
Fett	0 [g]		
Führungsparameter			
Knetstufe	2,5		
Knetzeit	3 [min]		
Teiggare	10 [min]		
Stückgare	20 [min]		
Backzeit	35 [min]		



- mäßige Wölbung
- kleine bis mittelgroße Risse auf der gesamten Oberfläche verteilt, Oberfläche erinnert an vertrockneten Boden
- hat kaum an Volumen gewonnen – extrem klein geblieben
- fast schneeweiße Krustenfarbe, erinnert an vertrockneten Salzteig
- dichte Porung, vereinzelt Hohlräume, dicker Speckgürtel am Boden
- mehlig und bröselige Kruste
- massive Krume, schwer zum Schlucken, wird zu Brei im Mund
- riecht und schmeckt extrem säuerlich (unangenehm)

Abb. 76: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrotes Hv-14.

Hv-15

Rezeptur			Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	864,7	[g]		<p>$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 7$ (ungenügend)</p>
Trockenhefe	18,0	[g]		
Wasser	253,3	[g]		
Säuerungsmittel	7,0	[g]		
Quellmehl	28,4	[g]		
Malzmehl	0	[g]		
Fett	50,0	[g]		
Führungsparameter				
Knetstufe	2,5			
Knetzeit	3	[min]		
Teiggare	10	[min]		
Stückgare	10	[min]		
Backzeit	35	[min]		



- mäßige Wölbung
- mittelgroße bis große Risse auf der gesamten Oberfläche verteilt, runzelige Beschaffenheit
- hat kaum an Volumen gewonnen – extrem klein geblieben
- blass, keine deutliche Bräunung erkennbar
- dichte Porung, vereinzelt Hohlräume, dicker Speckgürtel am Boden, Kruste löst sich von Krume
- Kruste bröselig und bleibt auf den Zähnen kleben
- massive Krume, schwer zum Schlucken, wird zu Brei im Mund
- riecht und schmeckt extrem sauer (unangenehm)

Abb. 77: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-15.

Hv-16

Rezeptur			Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	896,9	[g]		<p>$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 12$ (mangelhaft)</p>
Trockenhefe	15,0	[g]		
Wasser	299,8	[g]		
Säuerungsmittel	3,5	[g]		
Quellmehl	14,2	[g]		
Malzmehl	9,5	[g]		
Fett	25,0	[g]		
Führungsparameter				
Knetstufe	2,5			
Knetzeit	3	[min]		
Teiggare	15	[min]		
Stückgare	15	[min]		
Backzeit	35	[min]		



- mäßig gute Wölbung
- kleine und große Risse vor allem an den Seitenrändern, hügelige Oberfläche
- blass, vereinzelt braune Stellen
- unregelmäßige Porung, vereinzelt Hohlräume, leichter Speckgürtel an den Randzonen, etwas aufgelockerte Krumenstruktur
- Kruste bröselig und mehlig
- Krume mürbe, aber insgesamt angenehmes Mundgefühl
- riecht und schmeckt leicht sauer, im Nachgeschmack etwas bitter

Abb. 78: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-16.

Hv-17

Rezeptur			Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	948,2	[g]		$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 14$ (mangelhaft)
Trockenhefe	12,0	[g]		
Wasser	303,6	[g]		
Säuerungsmittel	0	[g]		
Quellmehl	0	[g]		
Malzmehl	0	[g]		
Fett	0	[g]		
Führungsparameter				
Knetstufe	2,5			
Knetzeit	3	[min]		
Teiggare	10	[min]		
Stückgare	10	[min]		
Backzeit	35	[min]		



- mäßig gute Wölbung
- große durchgehende Risse vor allem an den Seitenrändern, kleine Risse auf der restlichen Oberfläche verteilt, hügelige Oberfläche
- blass, vereinzelt braune Stellen
- dichte Porung (feinporig), Speckgürtel an den Randzonen
- Kruste hart und zäh, löst sich von der Krume
- trockene und bröselige Krume, pappig, wird zu Brei im Mund
- schmeckt leicht säuerlich (angenehm), kein Fehlgeschmack

Abb. 79: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-17.

Hv-18

Rezeptur		Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	881,8 [g]		
Trockenhefe	12,0 [g]		
Wasser	316,8 [g]		
Säuerungsmittel	0 [g]		
Quellmehl	0 [g]		
Malzmehl	19,1 [g]		
Fett	50,0 [g]		
Führungsparameter		$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 22$ (gut)	
Knetstufe	2,5		
Knetzeit	3 [min]		
Teiggare	20 [min]		
Stückgare	10 [min]		
Backzeit	35 [min]		



- sehr gute Wölbung
- große durchgehende Risse vor allem an den Seitenrändern (nicht sehr tief), hügelige Oberfläche
- goldgelbe Bräunung
- leicht unregelmäßige, aber aufgelockerte Porung, leichter Speckgürtel am Krumboden
- Kruste leicht trocken und mürbe
- lockere und saftige Krume, etwas gummielastisch, wird zu Brei im Mund
- riecht und schmeckt brotähnlich, leicht buttrige Note, sonst abgerundet im Geschmack

Abb. 80: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-18.

Hv-19

Rezeptur			Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	919,7	[g]		$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 16$ (mäßig gut)
Trockenhefe	18,0	[g]		
Wasser	341,9	[g]		
Säuerungsmittel	0	[g]		
Quellmehl	28,4	[g]		
Malzmehl	0	[g]		
Fett	0	[g]		
Führungsparameter				
Knetstufe	2,5			
Knetzeit	3	[min]		
Teiggare	20	[min]		
Stückgare	10	[min]		
Backzeit	35	[min]		



- mäßig gute Wölbung
- kleine bis mittelgroße Risse an den Seitenrändern, hügelige Oberfläche
- blass, minimale Bräunung
- leicht unregelmäßige und dichte Porung, leichter Speckgürtel am Krumboden
- Kruste stabil und trocken
- Krume ballt beim Kauen, schwer zum Schlucken, pappig
- riecht und schmeckt brotähnlich, kein Fehlgeschmack oder zu intensiver Nachgeschmack

Abb. 81: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-19.

Hv-20

Rezeptur		Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	853,4 [g]		Σ(Prüfmerkmale) = 12 (mangelhaft)
Trockenhefe	18,0 [g]		
Wasser	246,4 [g]		
Säuerungsmittel	0 [g]		
Quellmehl	28,4 [g]		
Malzmehl	19,1 [g]		
Fett	50,0 [g]		
Führungsparameter			
Knetstufe	2,5		
Knetzeit	3 [min]		
Teiggare	20 [min]		
Stückgare	10 [min]		
Backzeit	35 [min]		



- mäßig gute Wölbung
- mittelgroße bis große, tiefe Risse an den Seitenrändern, hügelige Oberfläche
- mäßige bis gute Bräunung
- unregelmäßige Porung, Speckgürtel an den Krustenrändern, einzelne Hohlräume
- Kruste bröselig und mehlig
- Krume ballt beim Kauen, schwer zum Schlucken, pappig
- getreidiger Geruch, buttrige Geschmacksnote, erinnert an Striezel

Abb. 82: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-20.

Hv-21

Rezeptur			Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	893,2	[g]		<p>$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 16$ (mäßig gut)</p>
Trockenhefe	12,0	[g]		
Wasser	324,3	[g]		
Säuerungsmittel	7,0	[g]		
Quellmehl	28,4	[g]		
Malzmehl	19,1	[g]		
Fett	0	[g]		
Führungsparameter				
Knetstufe	2,5			
Knetzeit	3	[min]		
Teiggare	10	[min]		
Stückgare	10	[min]		
Backzeit	35	[min]		



- gute Wölbung
- kleine, mittelgroße und große Risse verteilen sich auf der gesamten Oberfläche (wirkt sehr harmonisch)
- schneeweiße Krustenfarbe, nur Krustenrisse weisen einen braun Ton auf
- dichte und homogene Porung, dicker Speckgürtel an den Seitenrändern
- stabile und säuerliche Kruste
- lockere, leicht trockene Krume, angenehmes Mundgefühl
- riecht und schmeckt sauer, im Nachgeschmack bitter

Abb. 83: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-21.

Hv-22

Rezeptur		Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	919,7 [g]		$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 13$ (mangelhaft)
Trockenhefe	12,0 [g]		
Wasser	286,4 [g]		
Säuerungsmittel	0 [g]		
Quellmehl	28,4 [g]		
Malzmehl	0 [g]		
Fett	0 [g]		
Führungsparameter			
Knetstufe	2,5		
Knetzeit	3 [min]		
Teiggare	20 [min]		
Stückgare	20 [min]		
Backzeit	35 [min]		



- mäßige Wölbung
- kleine Risse auf der gesamten Oberfläche verteilt, Oberfläche erinnert an vertrockneten Boden
- hat kaum an Volumen gewonnen – extrem klein geblieben
- blass, erinnert an vertrockneten Salzteig
- dichte Porung (feinporig), dicker Speckgürtel an den Seitenrändern
- wohlschmeckende stabile und zähe Kruste
- trockene und mehligte Krume, ballt beim Kauen, pappig, bleibt auf den Zähnen kleben
- riecht leicht sauer und getreidig, aromaarm, kein Fehlgeschmack

Abb. 84: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-22.

Hv-23

Rezeptur			Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	940,6	[g]		<p>$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 14$ (mangelhaft)</p>
Trockenhefe	12,0	[g]		
Wasser	355,8	[g]		
Säuerungsmittel	7,0	[g]		
Quellmehl	0	[g]		
Malzmehl	0	[g]		
Fett	0	[g]		
Führungsparameter				
Knetstufe	2,5			
Knetzeit	3	[min]		
Teiggare	10	[min]		
Stückgare	20	[min]		
Backzeit	35	[min]		



- gute Wölbung
- kleine bis mittelgroße Risse an den Seitenrändern lokalisiert, Oberfläche erinnert an vertrockneten Boden
- fast schneeweiße Farbe, erinnert an vertrockneten Salzteig
- gleichmäßige bis leicht unregelmäßige Porung, dicker Speckgürtel an den Seitenrändern
- mehlig und säuerliche Kruste
- leicht bröselige Krume, angenehmes Mundgefühl
- riecht leicht sauer und getreidig, schmeckt sehr sauer, im Nachgeschmack bitter

Abb. 85: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-23.

Hv-24

Rezeptur		Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	845,8 [g]		Aussehen und Form Bräunung Konsistenz der Kruste Porung und Lockerung allgemeines Mundgefühl Geschmack und Geruch
Trockenhefe	18,0 [g]		
Wasser	292,9 [g]		
Säuerungsmittel	7,0 [g]		
Quellmehl	28,4 [g]		
Malzmehl	19,1 [g]		
Fett	50,0 [g]	$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 9$ (ungenügend)	
Führungsparameter			
Knetstufe	2,5		
Knetzeit	3 [min]		
Teiggare	20 [min]		
Stückgare	20 [min]		
Backzeit	35 [min]		



- mangelhaft gewölbte Oberfläche
- sehr kleine Risse diffus auf der Oberfläche verteilt, runzelige Beschaffenheit
- extrem in die Breite gegangen
- blasse Oberflächenfarbe
- kompakte und unregelmäßige, dicker Speckgürtel an den Seitenrändern
- mehlig, bröselige und säuerliche Kruste
- bröselige und sehr instabile Krume
- riecht und schmeckt sehr sauer, im Nachgeschmack extrem bitter

Abb. 86: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrotes Hv-24.

Hv-25

Rezeptur			Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	940,6	[g]		<p>$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 12$ (mangelhaft)</p>
Trockenhefe	18,0	[g]		
Wasser	355,8	[g]		
Säuerungsmittel	7,0	[g]		
Quellmehl	0	[g]		
Malzmehl	0	[g]		
Fett	0	[g]		
Führungsparameter				
Knetstufe	2,5			
Knetzeit	3	[min]		
Teiggare	20	[min]		
Stückgare	10	[min]		
Backzeit	35	[min]		



- mäßig gute Wölbung
- großer durchgehender längsverlaufender Riss auf der Oberfläche,
- breitlaufend
- blasse Oberflächenfarbe, leichte rostbräunliche Färbung
- gleichmäßige bis leicht unregelmäßige Porung, dicker Speckgürtel an den Seitenrändern
- Kruste ist fest und stabil, weist eine gute Zähigkeit und Konsistenz auf
- pappige und feste Krume, ballt beim Kauen, bleibt an den Zähnen kleben
- riecht leicht sauer und getreidig, schmeckt anfänglich leicht säuerlich, im Abgang extrem sauer

Abb. 87: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-25.

Hv-26

Rezeptur			Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	874,2	[g]		<p>$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 8$ (ungenügend)</p>
Trockenhefe	12,0	[g]		
Wasser	258,9	[g]		
Säuerungsmittel	7,0	[g]		
Quellmehl	0	[g]		
Malzmehl	19,1	[g]		
Fett	50,0	[g]		
Führungsparameter				
Knetstufe	2,5			
Knetzeit	3	[min]		
Teiggare	10	[min]		
Stückgare	20	[min]		
Backzeit	35	[min]		



- mäßig gute Wölbung
- mittelgroße Risse auf der gesamten Oberfläche verteilt, runzelige Beschaffenheit
- breitlaufend
- blasse Oberflächenfarbe, keine bräunliche Farbe angenommen
- unregelmäßige und dichte Porung, dicker Speckgürtel an den Seitenrändern, vereinzelt kleine Hohlräume
- adstringierende und bröselige Kruste, zerfällt sofort im Mund
- pappige, feste und bröselige Krume, ballt beim Kauen
- riecht leicht sauer und getreidig, schmeckt anfänglich leicht säuerlich, im Abgang extrem sauer, bitterer Nachgeschmack

Abb. 88: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-26.

Hv-27

Rezeptur			Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	896,9	[g]		<p>$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 13$ (mangelhaft)</p>
Trockenhefe	15,0	[g]		
Wasser	299,7	[g]		
Säuerungsmittel	3,5	[g]		
Quellmehl	14,2	[g]		
Malzmehl	9,5	[g]		
Fett	25,0	[g]		
Führungsparameter				
Knetstufe	2,5			
Knetzeit	3	[min]		
Teiggare	15	[min]		
Stückgare	15	[min]		
Backzeit	35	[min]		



- mäßig gute Wölbung
- kleine bis mittelgroße Risse auf der gesamten Oberfläche verteilt (ansehnlich aufgesprungen), leicht hügelige Oberfläche
- blasse Oberflächenfarbe, teilweise leicht bräunliche Stellen
- leicht unregelmäßige Porung, Speckgürtel an den Seitenrändern
- säuerliche und bittere Kruste, Konsistenz ist mittelmäßig gut
- leicht pappige und bröselige Krume
- riecht leicht sauer und getreidig, schmeckt anfänglich leicht säuerlich, im Nachgeschmack stärker sauer

Abb. 89: Sensorische Beurteilung des Hauptversuchsbrottes Hv-27.

Optimierte Rezeptur

Rezeptur		Subjektive Bewertung	
Gerstenmehl	914,3 [g]		Σ(Prüfmerkmale) = 22 (gut)
Trockenhefe	12,3 [g]		
Wasser	335,1 [g]		
Säuerungsmittel	0,2 [g]		
Quellmehl	0,9 [g]		
Malzmehl	19,1 [g]		
Fett	14,6 [g]		
Führungsparameter			
Knetstufe	2,5		
Knetzeit	3 [min]		
Teiggare	10 [min]		
Stückgare	10 [min]		
Backzeit	35 [min]		



- gute Wölbung
- kleine bis mittelgroße Risse auf der gesamten Oberfläche verteilt (ansehnlich aufgesprungen), glatte Oberfläche
- leicht bräunlich, bei den Rissen goldgelb gebräunt
- gleichmäßig-unregelmäßige Porung (kleine bis mittelgroße Poren), dünner und durchlöcherter Speckgürtel an den Seitenrändern
- zähe und stabile Kruste, Konsistenz für Gerstenbrot gut
- leicht pappige und bröselige Krume, ballt nicht beim Kauen
- riecht getreidig und brotartig, schmeckt leicht süßlich, abgerundet im Geschmack, keine Fremd- oder Fehlgeschmäcke

Abb. 90: Sensorische Beurteilung des optimierten Brotes.

Bio-Roggen-Pur (Ströck-Brot GmbH)

Zutaten	Subjektive Bewertung
Roggenmehl*	
Wasser	
Roggennatursauerteig*	
Säuerungsmittel Milchsäure	
Roggenmalzmehl*	
jodiertes Salz	
Hefe	
*alle Zutaten landwirtschaftlichen Ursprungs aus kontrolliert-biologischem Anbau.	

$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 22 \text{ (gut)}$



- sehr gute Wölbung
- großer, durchgehender, mittig lokalisierter Riss auf der Oberfläche
- gut und regelmäßig gebräunt, teilweise verbrannte Krustenrisse
- unregelmäßige Porung (großporig), dicker Speckgürtel an den Seitenrändern
- ausgezeichnete Konsistenz der Kruste
- elastische und kohäsive Krume, bleibt auf den Zähnen kleben
- intensiver Geruch und Geschmack, leicht sauer (angenehm), abgerundet im Geschmack

¹ Zutaten sind der Homepage der [Ströck-Brot GmbH](#) (2009a) zu entnehmen.

Abb. 91: Sensorische Beurteilung des Bio-Roggen-Pur Brotes (Ströck-Brot GmbH).

Bio-Vollkornbrot (Ströck-Brot GmbH)

Zutaten ¹	Subjektive Bewertung
Roggenvollkornmehl* und Roggenmehl*	
Weizenvollkornmehl* und Weizenmehl*	
Roggennatursauerteig*	
Wasser	
jodiertes Salz	
Hefe	
<p>*alle Zutaten landwirtschaftlichen Ursprungs aus kontrolliert-biologischem Anbau.</p>	

$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 24$ (gut)



- mäßig gewölbte bis falche Oberfläche
- keine Oberflächenrisse, glatte, leicht hügelige Oberfläche
- gut und regelmäßig gebräunt
- unregelmäßige Porung (großporig), glasiger Teig
- zähe und stabile Kruste
- elastische und kohäsive Krume, fällt im Mund in einzelne Stücke (erinnert an Pumpernickelbrot), teilweise nicht löslich mit Speichel im Mund
- getreidiger, intensiver Geschmack, leicht sauer (angenehm), abgerundet im Geschmack

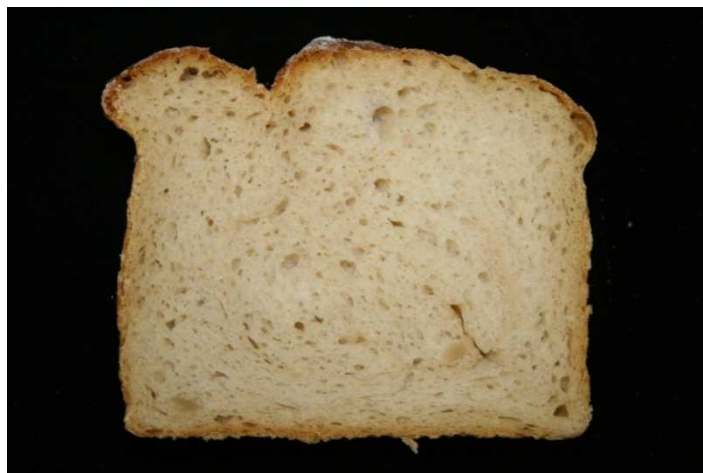
¹ Zutaten sind der Homepage der [Ströck-Brot GmbH](#) (2009b) zu entnehmen.

Abb. 92: Sensorische Beurteilung des Bio-Vollkorn Brot (Ströck-Brot GmbH).

Helles Dinkelbrot (Kurt Mann Bäckerei & Konditorei GmbH & Co KG)

Zutaten ¹	Subjektive Bewertung
Dinkelmehl	
Granderwasser	
jodiertes Salz	
Hefe	

$\Sigma(\text{Prüfmerkmale}) = 24$ (gut)



- gute Wölbung
- interessante Oberflächenbeschaffenheit, hügelig mit Rissen
- gut und regelmäßig goldgelb gebräunt, regelmäßige Bemehlung
- unregelmäßige Porung, teilweise durchzogen mit speckigen Stellen
- ausgezeichnete Konsistenz der Kruste
- geschmeidige und saftige Krume, sehr angenehmes Mundgefühl
- Geruch ist leicht olivenartig, zuerst salzig dann süßlich im Geschmack

¹ alle aufgelisteten Zutaten wurden durch eine Kontaktperson der Kurt Mann Bäckerei & Konditorei GmbH & Co KG mitgeteilt.

Abb. 93: Sensorische Beurteilung des Hellen Dinkelbrotes (Kurt Mann Bäckerei).

Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus anderen Quellen entnommenen Stellen als solche gekennzeichnet habe.

Wien, am 13. September 2009

Stefanie Nitschko

Lebenslauf

Stefanie Nitschko
Hollitzergasse 2-6/17
1100 Wien

PERSÖNLICHE INFORMATION:

Geburtsname: Nitschko
Geburtsdatum: 05.10.1984
Geburtsort: Wien
Eltern: Annemarie und Theodor Nitschko
Beruf der Mutter: Volksschullehrerin
Beruf des Vaters: Ingenieur bei RUAG Aerospace Austria
Familienstand: ledig
Staatsbürgerschaft: Österreich

AUSBILDUNG:

1991- 1995 Besuch der Volksschule
1995- 2003 Ausbildung am BRG 10
Laaerberg, 1100 Wien
Neusprachlicher Zweig
Absolvierung der Matura Juni 03

MOMENTANE TÄTIGKEIT:

Studium an der Hauptuniversität in Wien
Studienzweig: Ernährungswissenschaft

FERIALJOB:

- Ferialjob im Sommer 2001 bei DM- Drogeriemarkt
- Lernhilfe bei den Kinderfreunden im Herbst 2003
- Verkaufskraft in einer Bäckerfiliale (fünfmonatige Berufserfahrung vom März bis August 2004)
- Ferialjob im Juli 2005, 2006 und 2007 bei Ankerbrot
- Praktikum in der Abteilung für Lebensmitteltechnologie des Departments für Lebensmittelwissenschaften und Lebensmitteltechnologie an der Universität für Bodenkultur in Wien, von August bis Oktober 2008

SPEZIELLE QUALIFIKATIONEN:

Sehr gute Englischkenntnisse in Wort und Schrift
und fortgeschrittene Französischkenntnisse