

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

OPTIMIERUNG DER TEIGBEREITUNG
TEILGEGARTER TIEFKÜHLTEIGLINGE UND
QUALITÄTSVERBESSERUNG TEILGEBACKENER
TIEFKÜHLBROTE DURCH ZUSATZ VON
PFLANZENFASERN

eingereicht von
Philipp Niederschick

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

betreut von
Assoc. Prof. Mag. Dr. Regine Schönlechner
mitbetreut von
DI Johannes Frauenlob

Wien, im September 2016

„Wer aufhört, besser zu werden, hat aufgehört, gut zu sein.“

Philip Rosenthal

Danksagung

Ich möchte hier die Möglichkeit ergreifen, um mich bei all jenen Person zu bedanken, die mich auf meinem bisherigen Lebensweg begleitet und einen Beitrag zum Abschluss meines Studiums geleistet haben.

Zunächst sage ich meinen Eltern danke dafür, dass sie mich stets meinen eigenen Weg gehen ließen und auch in turbulenten Zeiten immer hinter mir standen.

Meiner Schwester Laura und vor allem auch meinem Bruder Felix bin ich für viele konstruktive, fordernde und alles in Frage stellende Ansichten und Gespräche dankbar.

Herrn Dipl.-Ing. Alois Kronberger danke ich dafür, dass ich mit ihm während meiner Studienzeit bei zahlreichen Projekten mein theoretisches Wissen in die Tat umsetzen und meine Erfahrung in den verschiedensten Bereichen der Lebensmitteltechnologie auf diese Weise erweitern konnte.

Auch meinen Freunden und Bundesbrüdern danke ich, dass sie mich unterstützt und stets in meine Stärken vertraut haben, vor allem DI Christopher Shelswell.

Frau Prof. Regine Schönlechner hat mich gut betreut und durch die Hilfsbereitschaft von Violet Berger wurde jeder noch so lange Labortag zur Bereicherung.

Für das Gelingen dieser Diplomarbeit gebührt vor allem aber auch meinem Betreuer Herrn Dipl.-Ing. Johannes Frauenlob großer Dank, der mir stets mit seinem tiefen Wissen zur Seite stand und immer ein offenes Ohr für all meine Fragen zeigte.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Literaturteil	2
2.1	Weizenbackwaren	2
2.1.1	Definition	2
2.1.2	Marktentwicklung und -überblick	2
2.1.3	Schritte der Herstellung	3
2.1.4	Qualitätsparameter bei Weizenbackwaren	6
2.1.5	Qualitätsparameter bei Weizenteigen	8
2.1.6	Maschinenverarbeitbarkeit	10
2.1.7	Probleme bei Tiefkühlteiglingen	11
2.2	Physikochemische Grundlagen der Teigbereitung	13
2.3	Der Knetprozess	15
2.3.1	Vorgänge im Teig	16
2.3.2	Einfluss der Knetung auf die Brotqualität	17
2.3.3	Kneten bei Tiefkühlteiglingen	20
2.4	Der Garprozess	20
2.4.1	Vorgänge während der Gare	20
2.4.2	Unterschiedliche Teigführungsarten	24
2.4.3	Teilgegarnte Tiefkühlteiglinge	28
2.5	Teilgebackenes Brot	29
2.6	Einsatz von Emulgatoren, Hydrokolloiden und Fasern	30
2.6.1	Emulgatoren und deren Wirkungsweise	30
2.6.2	Hydrokolloide und deren Wirkungsweise	33
2.6.3	Verwendete Emulgatoren und Hydrokolloide in Backwaren	35
2.6.4	Verwendete Fasern in Backwaren	36
3	Aufgabenstellung	38
4	Material und Methoden	39
4.1	Material	39
4.2	Rohstoffanalysen	40
4.2.1	Feuchtigkeitsbestimmung	40
4.2.2	Aschebestimmung	40
4.2.3	Farinographische Untersuchung	41
4.2.4	Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl	42
4.2.5	Analyse der Verkleisterungseigenschaften mittels RVA	44
4.2.6	Bestimmung des Glutenindex	45
4.3	Teiganalysen	47

4.3.1	Bestimmung der Teigklebrigkeit	47
4.3.2	Gefriertrocknung der Proben	49
4.3.3	Proteinextraktion aus gefriergetrocknetem Teig	50
4.3.4	Stickstoffbestimmung nach Bradford	52
4.3.5	Bestimmung der freien SH-Gruppen	53
4.4	Backversuche	55
4.4.1	Knet- und Garversuche teilgegarter Teige	56
4.4.2	Teilbackversuche mit Pflanzenfasern	62
4.5	Brotanalysen	65
4.5.1	Gewicht	65
4.5.2	Farbbestimmung	65
4.5.3	Bestimmung des spezifischen Brotvolumens	66
4.5.4	Analyse der Krumenfestigkeit mittels Texture Analyser	67
4.5.5	Analyse der Krumenstruktur	68
4.6	Statistische Auswertung	70
4.6.1	Grundlegende statistische Methoden	70
4.6.2	Varianzanalyse / ANOVA	71
4.6.3	Post-hoc-Test	71
4.6.4	Statistischer Versuchsplan	72
5	Versuchsdurchführung	73
5.1	Knet- und Garversuche	73
5.2	Teilbackversuche mit Pflanzenfasern	75
6	Versuchsergebnisse und Diskussion	76
6.1	Ergebnisse der Rohstoffanalysen	76
6.1.1	Allgemeine Rohstoffcharakterisierung	76
6.1.2	RVA	77
6.1.3	Feucht- und Trockenkleber, Glutenindex	80
6.2	Ergebnisse der Knetversuche	80
6.2.1	Teiganalysen	80
6.2.2	Brotanalysen	86
6.3	Ergebnisse der Garversuche	92
6.3.1	Teiganalysen	92
6.3.2	Brotanalysen	95
6.4	Ergebnisse der Teilbackversuche mit Pflanzenfasern	98
7	Schlussfolgerungen	107
7.1	Knetversuche	107
7.2	Garversuche	108
7.3	Teilbackversuche mit Pflanzenfasern	108

INHALTSVERZEICHNIS

8	Zusammenfassung	110
9	Summary	111
10	Anhang	120
11	Lebenslauf	126

Abbildungsverzeichnis

1	Gesamtumsatz mit Backwaren in Österreich	3
2	Umsatz- und Absatzanteile der unterschiedlichen Vertriebssschienen . .	3
3	Prozessdiagramm der Backwarenherstellung	4
4	Volumsänderung während des Gär- und Backprozesses	6
5	Auswertung eines Farinogramms	9
6	Auswertung eines Extensogramms	9
7	Auswertung eines Amylogramms	10
8	Aufbau des Stickiness-Tests und typischer Kurvenverlauf	11
9	Gewichtsverlust von Broten während der TK-Lagerung	13
10	Fraktionen und Charakteristik der Weizenproteine	14
11	Rasterelektronenmikroskopaufnahmen von Weizenteigen	17
12	Strukturformeln von Ascorbinsäure und Dehydroascorbinsäure	20
13	Modell der Teigverbesserung durch Einsatz von Ascorbinsäure	20
14	Unterschiedliche Knetertypen mit charakteristischen Knetzeiten	21
15	Vergleich verschiedener Knetsysteme	21
16	Abhängigkeit des Gebäckvolumens von der Knetenergie	22
17	Zusammenhang Knetleistung, -dauer und Temperatur	22
18	Phasen des Garprozesses	23
19	Übersicht der unterschiedlichen Teigführungsarten	27
20	Weltmarkt Hydrokolloide	33
21	Auswirkungen von DAWE und Guarkehrmehl auf das Volumen	36
22	Eingesetzte Emulgatoren und Hydrokolloide in Backmischungen	37
23	Verlauf des RVA Temperaturprofils	46
24	Fließdiagramm der Proteinanalyse	51
25	Kalibrationsgerade der Bradford-Analyse	52
26	unterschiedlich absorbierende Zustände von Coomassie Blue	52
27	Reaktion des Ellman Reagens	53
28	Kalibrationsgerade der SH-Gruppen-Bestimmung	55
29	Fließdiagramm der Knetversuche	60
30	Fließdiagramm der Garversuche	61
31	Fließdiagramm der teilgebackenen Brote	64
32	Kraft-Zeit-Diagramm zur Analyse der Krumenfestigkeit	68
33	Makro zur Porenanalyse	69
34	Brotscan vor und nach der Bearbeitung mit ImageJ	70
35	Beispielhafte Frostungskurve des Knetversuchs	73
36	Frostungskurve des Garversuchs	74
37	RVA-Verlauf des Probenmehls PC	78
38	RVA-Verlauf des Probenmehls E	79

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

39	LAB-Werte der Knetversuche	89
40	Backverluste der Knetversuche	90
41	Einfluss von Mehl, Zubereitungsart und Knetung auf das Volumen . . .	91
50	RVA Mittelwertkurven Guar	104
51	RVA Mittelwertkurven BBL 100	104
52	RVA Mittelwertkurven BBL 500	105
53	RVA Mittelwertkurven CMC und Compound	105
54	RVA Mittelwertkurven Guar	105
55	RVA Mittelwertkurven WF 200	106
56	RVA Mittelwertkurven WF 600	106
57	RVA Mittelwertkurven WF 600-30	106

Tabellenverzeichnis

1	Temperaturbereiche bei der Backwarenherstellung	6
2	Attribute der österreichischen Brotansprache	7
3	Einteilung der Kleberproteine	14
4	Auflistung Probenmehle, Probencodes	39
5	Messparameter des Teigklebrigkeitstests	49
6	Rezepturen der Knetversuche	58
7	Auflistung der unterschiedlichen Knetbedingungen	58
8	Verlauf der Backprogramme für Knet- und Garversuche	59
9	Auflistung der unterschiedlichen Garbedingungen	59
10	Rezepturen der teilgebackenen Brote	63
11	Auflistung der Zeitpunkte der Teiglings- und Brotverweiegung	65
12	Parameter zur Messung der Krumenfestigkeit	69
13	Auflistung der Zubereitungs- und Aufbackdaten der Backversuche	74
14	Ablauf der Brotanalysen der teilgebackenen Brote	75
15	Wasser-, Protein-, und Aschegehalte der Probenmehle PC und E	76
16	Farinogramm-Ergebnisse der Probenmehle PC und E	76
17	Ergebnisse der RVA-Messungen der Probenmehle PC und E	77
18	Ergebnisse der Feucht-,Trockenkleber- und Glutenindexanalysen	80
19	Ergebnisse der Teigklebrigkeit des Knetversuchs	83
20	Ergebnisse der Bradford-Bestimmung des Knetversuchs	84
21	Ergebnisse der proteinfreien freien SH-Gruppen des Knetversuchs	84
22	Ergebnisse der freien SH-Gruppen des Knetversuchs	85
23	Ergebnisse der pH-Wertdifferenzen der Knetversuche	85
24	Ergebnisse der spezifischen Volumina der Knetversuche	88
25	Ergebnisse der Krumenfestigkeit der Knetversuche	88
26	Ergebnisse der Porosität und der Porenfläche der Knetversuche	89
27	Einfluss von Mehl, Zubereitungsart und Knetung auf das Volumen	90
28	Ergebnisse der Bradford-Analysen der Garversuche	94
29	Ergebnisse der Analysen der SH-Gruppen der Garversuche	94
30	Auswirkungen der Garbedingungen auf die Frostungszeiten	94
31	Spezifisches Volumen, Krumenfestigkeit und RE der Garversuche	96
32	Ergebnisse der teilgebackenen Brote am 1. Lagertag (Teil 1)	100
33	Ergebnisse der teilgebackenen Brote am 1. Lagertag (Teil 2)	100
34	Ergebnisse der Brotumfänge der Teilbackversuche	101
35	Ergebnisse der Krumenfestigkeit der Teilbackversuche	101
36	Ergebnisse der relativen Elastizität der Teilbackversuche	101
37	Ergebnisse der RVA-Fächen der Teilbackversuche	104

Abkürzungsverzeichnis

BSA ... Bovines Serumalbumin
DF ... dietary fibre
HC ... Hydrokolloid
HLB ... hydrophilic-lipophilic balance
OH ... Oberhitze
RH ... relative Feuchte
rpm ... rounds per minute
SH-Gruppen ... Sulfhydryl-Gruppen
TK- ... Tiefkühl
TNB ... 2-nitro-5-Thiobenzoic-Säure
UH ... Unterhitze
VER ... Volumsexpansionsrate

1 Einleitung

Gebackene Produkte, im Speziellen Brote, weisen eine lange historische Tradition auf. Aktuelle archäologische Forschungen zeigten, dass bereits vor rund 23.000 Jahren im Paläolithikum gebacken wurde. Damals entdeckten die Menschen Weizen und formten mit Wasser Teige, die sie als erste Fladenbrote auf mit Feuer erhitzten Steinen buken. 2.600 bis 3.000 v. Chr. verwendeten die Ägypter bereits hefegelockertes Brot, wobei aus Kostengründen meist Vollkornmehl zum Einsatz kam. Seit dem 19. Jahrhundert ist Weißbrot für jedermann verfügbar (Zhou, 2014).

Die Produktion von Brot und Gebäck war in den letzten Jahrzehnten einem kontinuierlichen Veränderungsprozess unterzogen, angetrieben durch die Änderungen der sozialen Gewohnheiten, die Anforderungen der Konsumenten und die generelle Marktentwicklung. Der Preisdruck zwingt die Backwarenproduzenten seit vielen Jahren zu drastischen Personalkürzungen und Kosteneinsparungen. Seit den 90er Jahren verzeichnete die Branche einen steten Rückgang des Brotbedarfs. Eine kürzere Haltbarkeit der Backwaren aus industrieller Produktion ließ viele Konsumenten zu anderen Produkten greifen.

Eine revolutionäre Entwicklung brachte die Einführung der Kältetechnologie. Nach mäßigem Erfolg der direkten Tiefkühlung frischer Brote erfolgte die Konzeptionierung eines Prozesses zur Teigkühlung und Verzögerung des Garprozesses. Obwohl dies heute noch Anwendung zu Qualitätssteigerungszwecken findet, setzte sich ab den 80er Jahren das Tiefrieren von Teiglingen durch und entwickelte sich vom Nischen- zum Hauptmarkt. Neben der wirtschaftlichen Betrachtungsweise zeigt auch jene der Wissenschaft durch die Vervielfachung der Veröffentlichungen zum Thema frozen dough (Rosell and Gómez, 2007), dass das Thema der vorliegenden Arbeit aktueller denn je ist.

In den letzten Jahren entwickelte sich die Technologie teilgegarter Teiglinge weiter hin zu teilgebackenem Brot und Gebäck, das bei Bedarf am Point of Sale lediglich kurz fertiggebacken werden muss. Die Vorteile liegen dabei klar auf der Hand. Das Produkt hat bereits vor dem Fertigbacken seine endgültige Form und Größe und kann so auch durch wenig geschultes Personal mit gleichbleibender Qualität verkauft werden. Weiters verringern sich die Vorlaufzeiten in den Geschäften (Lösche, 2003; Rosell and Gómez, 2007).

2 Literaturteil

2.1 Weizenbackwaren

2.1.1 Definition

Backwaren werden im Allgemeinen aus Massen oder Teigen, die sich aus Mahl- und Schälprodukten und weiteren Zutaten wie Wasser, Milch, Eiern, Eiprodukten und Zucker zusammensetzen, durch Back-, Röst- oder Trocknungsprozesse hergestellt. Nicht fertiggestellte Backwaren, z.B. tiefgekühlt oder nicht ausgebacken, können sinngemäß mit den gleichen Bestimmungen in Verkehr gebracht werden. Der Vorgang des Tiefrierens erfolgt generell direkt nach der Herstellung. Gefrostete und nicht gebackene Backwaren können ohne entsprechende Deklaration in Verkehr gebracht werden. Teil- oder vorgebackene Backwaren, die durch Frosten oder andere physikalische Verfahren lagerfähig gemacht wurden und vor dem Verzehr gebacken werden, dürfen als „frisch“ deklariert werden. Fertig ausgebackene Backwaren, die nach dem Backprozess tiefgefroren und zu Verkaufszwecken wieder aufgetaut werden, können nicht als „frisch“ bezeichnet werden. Backwaren werden in die Gruppen Brot, Gebäck und feine Backwaren eingeteilt. Teige zur Brotherstellung werden meist mit Backhefe oder Sauerteig gelockert. Weitere mögliche Zutaten sind Speisesalz, Saccharose und andere Zuckerarten, Gewürze, Gewürzextrakte, Stärken, Quellmehle, Speisefette und -öle und eiweißreiche Zutaten wie z.B. Sojamehl oder Weizenkleber. Je nach Mehltyp, weiteren Beigaben und Zubereitung werden Roggenbrot, Weizenbrot, Mischbrot und andere Brotsorten unterschieden. Weizenbrot wird aus Mahl- und Schälprodukten unterschiedlicher Weizenmehltypen hergestellt, wobei bis maximal 10 % - bezogen auf das Gesamtgewicht der Mahl- und Schälprodukte - Roggenmehl entsprechend geeigneter Typen zugesetzt werden darf (Bundesministerium für Gesundheit, 2015).

2.1.2 Marktentwicklung und -überblick

Der Markt für Backwaren ist seit vielen Jahren einem starken Wandel unterzogen. Die Zahl der Bäckereien ist in den vergangenen Jahrzehnten stark zurückgegangen, 1965 gab es in Österreich noch 5.120 Betriebe, bis 1975 schrumpfte die Zahl auf 3.618 (News, 2015), 2005 wurden noch 1.920 Bäckereien betrieben und 2013 waren es nur noch 1.597 (KMU Forschung Austria, 2013). 1937 lag der Brotverbrauch pro Woche bei 2,05 kg, 1948 bei 2,54 kg und 1950 bei 1,98 kg (Österreichisches Institut für Konjunkturforschung, 1950), was einem Monatsverbrauch von jeweils 8,2 kg, 10,2 kg t und 7,9 kg Brot entspricht. 1999/2000 lag der monatliche pro-Kopf-Brotkonsum bei insgesamt 2,7 kg, wobei 2,1 kg auf Schwarz- und Vollkornbrot und 0,6 kg auf Weißbrot entfielen (Statistik Austria, 2001). Zehn Jahre später ist zwar der Schwarz- und Vollkornbrotkonsum unverändert, aber es werden pro Kopf monatlich um 0,2 kg mehr Weißbrot verzehrt. Kleingebäck ist in dieser Erhebung nicht berücksichtigt (Statistik Austria,

2 LITERATURTEIL

2011). Abb. 1 zeigt die Entwicklung des Umsatzes mit Backwaren am österreichischen Markt.

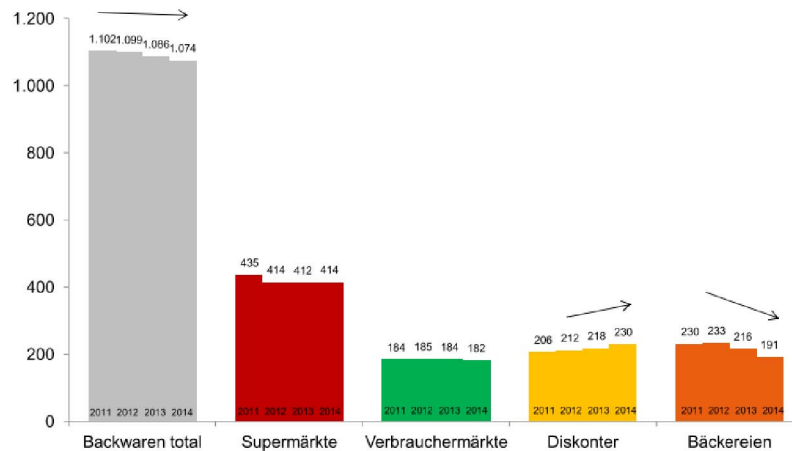


Abb. 1: Gesamtumsatz mit Backwaren in Österreich in Mio. Euro (GfK-Consumer Panel, 2015)

Aus Abb. 2 geht hervor, dass Bäckereien in Österreich im Zeitraum 2011 bis 2014 3,1 % Umsatz und 1,9 % Absatzanteil verloren haben. Nennenswerte Zuwächse können Diskonter in der Größenordnung von 2,7 % bezogen auf Umsatz und 2,4 % Absatzsteigerung erzielen. Alle anderen Marktteilnehmer bleiben nahezu unverändert.

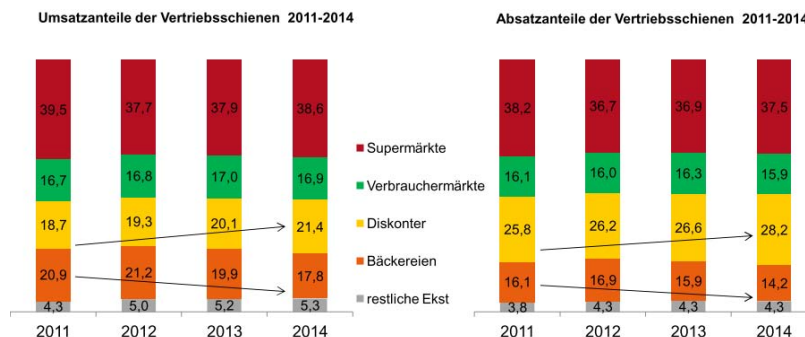


Abb. 2: Umsatz- und Absatzanteile der unterschiedlichen Vertriebsschienen im Zeitraum 2011 bis 2014 (GfK-Consumer Panel, 2015)

Eine Studie unter Bäckern in Österreich und Deutschland aus dem Jahr 2015 ergab, dass 65% der befragten Betriebe Backmittel und andere fertige Backmischungen zur Herstellung ihrer Produkte verwenden. Der nahezu gleiche Anteil der Betriebe (64%) gibt an, seine Kunden aktiv über die Verwendung technologisch wirksamer Zutaten zu informieren (Mühle und Mischfutter, 2015).

2.1.3 Schritte der Herstellung

Die Herstellung von Weizenbrot kann technologisch in die drei übergeordneten Prozessschritte Teigbereitung, Teigaufarbeitung und Backprozess gegliedert werden, wobei

Abb. 3 einen detaillierteren Ablauf zeigt. Die jeweiligen Prozessparameter sind untereinander auf das entsprechende Endprodukt und dessen Eigenschaften abzustimmen (Klinger, 2010).

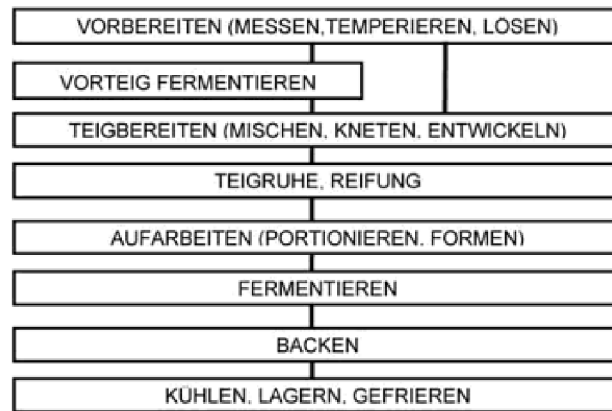


Abb. 3: Prozessdiagramm der Backwarenherstellung (Klinger, 2010)

Die Autoren Mondal and Datta (2008) beschreiben die beiden Zutaten Mehl und Wasser als nicht nur mengenmäßig, sondern auch technologisch bedeutendste Zutaten, da sie den größten Einfluss auf Textur und Krume haben. Die Einwaage an Mehl stellt dabei immer 100 % dar, alle weiteren Zutaten werden als Anteile darauf bezogen. Gemäß Heiss (2004) erfüllt Mehl durch seine Fähigkeit Wasser zu binden und dabei zusammenhängende, dehn- und formbare Massen auszubilden eine zentrale Rolle, da rund drei Viertel aller Qualitätsmerkmale von Backwaren auf die Hauptzutat Mehl zurückzuführen sind. Durchschnittliche Werte für die Dosierung von Wasser sind 60 % bis 75 %, weitere gängige Zutaten sind 2 % Backhefe (mikrobiologisch *Saccharomyces cerevisiae*) 4 % Zucker, 2 % Salz und 3 % Fett (Mondal and Datta, 2008).

Beim ersten Prozessschritt der Teigbereitung werden entsprechend der Rezeptur Mehl, Schüttwasser, eventuelle Vorstufen und die weiteren Zutaten in einem Knetter gleichmäßig und intensiv miteinander vermischt und geknetet (Heiss, 2004). Der Knetvorgang setzt sich aus drei aufeinanderfolgenden Teilschritten zusammen: Homogenisation, Glutenentwicklung und Belüftung (Zhou, 2014). Unter Pkt. 2.3 wird auf die Teigknetung detaillierter eingegangen.

Der nächste Schritt der Teigaufarbeitung umfasst die Teigruhe, das Portionieren und die Formgebung. Die Teigruhe dient dabei der Entspannung des gekneteten Teiges, wobei dieser nachquillt und nachtrocknet (Klinger, 2010). Eine trockene Konsistenz und ein guter Stand (Plastizität) ermöglichen später eine Rückhaltung des bei der Gärung entstehenden Kohlendioxids. Neben der Entwicklung der Triebleistung der Hefe erfolgt während dieser Abstehtzeit auch ein teilweiser enzymatischer Abbau der Weizenstärke (Heiss, 2004) und eine Förderung der Bildung von Geschmacks- und Aromastoffen. Die Teigruhe trägt ebenso dazu bei, dass Disulfid- und nicht-kovalente Bindungen der Proteinaggregate neustrukturiert werden, was den Teig leichter formbar

macht. Die Dauer der Teigruhe für Weizenbrot, die zu keiner wesentlichen Verkürzung der späteren Stückgare führt, hängt von der Kleberqualität, der Teigführung und der Knettechnik ab und beläuft sich auf zehn bis 30 Minuten (Klinger, 2010). Nach erfolgter Teigruhe wird der Teig gleichförmig in Stücke geteilt (Heiss, 2004), wobei der Ausbackverlust, der zwischen zehn und 30 % beträgt, berücksichtigt werden muss. In industriellen Betrieben erfolgt die Teigteilung größtenteils durch kostengünstige Volumensteiler (Kolben- oder Kammerteiler), Kleingebäck wird meist mittels Kopfmaschinen (kombinierte Teigteil- und Rundwirkmaschinen) portioniert (Klinger, 2010). Im Anschluss wird durch kombiniertes Rund- und Langwirken nicht nur die Gebäckform, sondern auch die Porenstruktur gezielt beeinflusst, wobei zäh-elastische und plastische Weizenteige durch intensives Wirken eine gleichmäßige, feine Porung erhalten (Klinger, 2010). Der Wirkprozess beseitigt ebenso vorhandene Gärblasen und definiert die Zahl der Poren im Endprodukt. Weiters ist bei Weizenteigen eine fünf bis 30-minütige Zwischengare zwischen Wirk- und Formgebungsprozess zur Teigentspannung ratsam, um eine gleichmäßige Porung und Volumensvergrößerung zu erzielen und um ein Aufreißen der Oberfläche zu verhindern (Heiss, 2004).

Nach der Formgebung erfolgt eine weitere Abstehezeit (Stückgare) der Wirklinge für 30 bis 60 Minuten (Heiss, 2004) bei 30 bis 40 °C und 60 bis 90 % Luftfeuchte, wobei höhere Temperaturen niedrigere Luftfeuchtigkeiten benötigen. Während der Stückgare entfaltet die Hefe zum Abschluss der Teigbildung ihre volle Gärleistung (Osteroth, 1991). Die dabei entstehenden Gärgase und die durch das Kneten eingebrachte Luft werden durch das vom Kleber gebildete Raumnetz nahezu gänzlich festgehalten (Klinger, 2010), wodurch sich der Teig unter dem Druck der Gase ausdehnt und seine endgültige Lockerung erhält (Heiss, 2004). Für die Gashaltung des Teigs spielen flüssige Filme gelöster Pentosane und Proteine eine wesentliche Rolle, die durch Zugabe oberflächenaktiver Stoffe weiter stabilisiert werden können. Physikalische Messmethoden mittels Extenso- oder Alveograph ermöglichen eine entsprechende Voraussage der Gärtoleranz von Teigen (Klinger, 2010). Tab. 1 fasst die wichtigsten Abläufe und die entsprechenden Temperaturen zusammen. Auf die nun möglichen Schritte der Gärverzögerung oder Gärunterbrechung wird unter Pkt. 2.4 eingegangen.

Der dritte und letzte Prozess ist das Backen des gegarten Teigstückes, wobei physikalische, chemische und biologische Änderungen ablaufen: Verdampfen von Wasser, Ausbildung der Porenstruktur, Volumszunahme, Proteindenaturation, Stärkeverkleisterung und Krustenbildung (Mondal and Datta, 2008). Je nach Endprodukt liegt die Backtemperatur zwischen 200 und 250 °C, wobei bei Weizenbrot beachtet werden muss, dass die Temperatur im Ofenraum konstant gehalten wird. Ziel des Backprozesses ist es, die Trockenstoffe des Teiges auf 100 bis 170 °C und das im Teig verbleibende Wasser auf 100 °C zu erhitzen und überschüssiges Wasser zu verdampfen. Die auftretende Gasentwicklung und -ausdehnung führt zu einer Vergrößerung des Volumens um 40 % und einer Oberflächenzunahme um 10 % (Heiss, 2004). Backöfen können nach ihrer Bauart

Tab. 1: Wesentliche Temperaturbereiche und deren Auswirkungen auf das Produkt während der Backwarenherstellung (Osteroth, 1991)

Temperatur (°C)	Eigenschaften
25 - 30	Teigtemperatur zu Beginn des Backprozesses
35 - 55	intensiver Gärprozess
70 - 85	intensive Weizenstärkeverkleisterung
70 - 90	Eiweißkoagulation und Enzyminaktivierung
90 - 105	Krumenbildung
120 - 150	Dextrinbildung
140 - 180	Karamellisierung
170 - 220	Bildung von Röststoffen

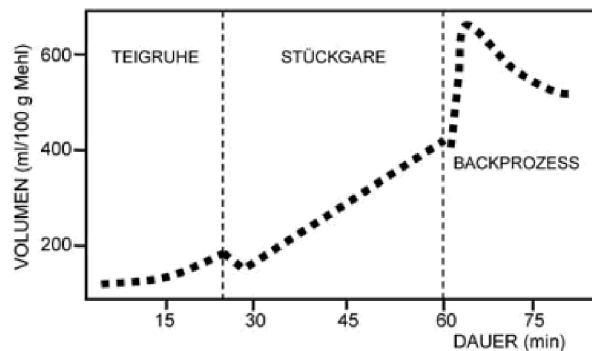


Abb. 4: Veränderung des Teigvolumens über die Zeit des Gär- und Backprozesses (Klinger, 2010)

und Wärmeübertragungsart in Elektroöfen, direkt beheizte Öfen mit oder ohne Heizgasumwälztechnik und indirekt beheizte Thermoöfen unterteilt werden. Nach dem Prinzip der Energiezufuhr auf das Produkt wird zwischen Strahlungsöfen (z.B. Etageöfen) und Konvektionsöfen (z.B. Stikkenöfen) unterschieden. In der Industrie finden entsprechende Durchlauföfen häufig Verwendung, bei denen das Backgut in einem kontinuierlichen Vorgang unterschiedliche Temperaturzonen durchläuft, um eine optimale Temperatur-Zeit-Kurve zu erreichen (Klinger, 2010).

2.1.4 Qualitätsparameter bei Weizenbackwaren

Für (freigeschobenes) Weizenbrot finden sich folgende Qualitätsanforderungen: Großvolumiges Gebäck, rösche, nicht zu dünne Kruste von goldgelber bis leicht bräunlicher Farbe, gleichmäßig feinporige, helle Krume, schnittfeste und gut bestreichbare Krume, ausgeprägtes, leicht hefiges Brotaroma und angenehmer Biss (Skobranek, 1998). Die deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG) hat dazu bis 1982 ein 20-Punkte-Schema zur Beurteilung von Brot und Gebäck verwendet (Doose, 1982), seither findet ein vereinfachtes 5-Punkte-Schema Anwendung. Dabei werden durch geschulte Testpersonen jeweils Form und Aussehen, Oberflächen- und Krusteneigenschaften, Lockerung und Krumenbild, Struktur und Elastizität, Geruch und abschließend der Geschmack der

Brote beurteilt, wobei Punkte von fünf bis null vergeben werden (fünf - keine Abweichung von Qualitätserwartungen bis null - nicht bewertbar). Zusätzlich werden die Testkategorien unterschiedlich gewichtet, wobei Struktur und Elastizität sowie Geschmack den größten Einfluss auf das Endergebnis haben (Meistermarken Ulmerspatz, 2012). Weitere Beurteilungsschemata im deutschsprachigen Raum stellen das Wädenswiler Brotaromarad und die österreichische Brotansprache dar. Beide Bewertungsmethoden bilden die Grundlage zur Beschreibung der wahrgenommenen Sinneseindrücke bei der Produktprüfung und unterscheiden sich dabei vom DLG-Schema, das entsprechende Abweichungen vom Sollzustand beschreibt und bewertet. Tab. 2 zeigt die von Derndorfer et al. (2014) definierten Attribute der österreichischen Brotansprache, zusammengefasst in die fünf Überkategorien Aussehen, Geruch, Geschmack, Textur und Verwendbarkeit. Das Brotaromarad gliedert sich in sieben Kategorien fruchtig, gärig, röstig, pflanzlich, würzig, Geschmack und sonstige und unterscheidet dabei insgesamt 69 verschiedene Geruchs- und Geschmackseindrücke (Verein Schweizer Brot, 2015).

Tab. 2: Attribute der österreichischen Brotansprache (Derndorfer et al., 2014)

Aussehen	Geruch	Geschmack	Textur	Verwendbarkeit
Porengröße	Süßlich	Süß	Saftig	Gut be- streichbar
Flauschig	Milchsäure / Jogurt	Salzig	Elastisch	Gut belegbar
Wattig	Mostig	Frisch, grün und herb	Körnig	Gut schneid- bar
Luftig	Mehlig	Milchig	Al dente	Gut tunkbar
Krumenfarbe	Hefe	Milchsäure / Jogurt	Wattig	
Sichtbare Zutaten in der Krume	Röstaromen	Mostig	Flauschig / flaumig	
Ausgeprägte Kruste	Frisch, grün und erdig	Getreide	Luftig	
	Nussig	Malzig	Knusprig	
	Erdnuss	Karamell	Kompakt	
	Würzig	Röstnote		
		Nussig		
		Erdnuss		
		Würzig		

Im Gegensatz zu bisher beschriebenen subjektiven und deskriptiven Methoden werden im Folgenden objektive Messmethoden erläutert. Das Gebäckvolumen soll nicht nur optisch beurteilt, sondern auch analytisch erfasst werden. Dazu stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Mittels einfacher Verfahren kann das Volumen durch Messen des durch das Gebäckstück verdrängten Wassers erfasst werden, wobei das Testobjekt hierzu vorher mit Paraffin bestrichen werden muss. Weiters besteht die Möglichkeit,

gemäß der Neumannmethode durch Bestimmung des Volumens der verdrängten Rüb- oder Rapssamen auf das Gebäckvolumen zu schließen (Doose, 1982). Neuere Geräte unterschiedlicher Hersteller erfassen das Gebäckvolumen mittels Laserabtastung. Hierbei ergaben sich bei Messungen eines definierten Prüfkörpers maximal 1 % Abweichung vom berechneten Volumen. Im Vergleich dazu brachte die Neumannmethode mittels Rapssamen 9% Abweichung (Vollmar, 2005). Ein Vorteil der neu entwickelten Laserabtastung ist, dass die Probe dabei keine Kompression erfährt, wodurch das Volumen gänzlich unbeeinflusst bleibt. Ausgehend vom ermittelten Volumen des Produkts kann weiters die Dichte bzw. als Kehrwert dazu das spezifische Volumen berechnet und mit vorgegebenen Sollgrößen verglichen werden.

Die Produktfarbe kann durch Vergleiche mit Standardfarbtafeln nach Munsell bewertet werden oder mittels Tristimulus Colorimetern bestimmt werden. Dabei liegt der Fokus für die Beurteilung der Kruste im rot-gelben Farbspektrum, die Farbe der Krume des Produkts hingegen im gelb-weißen Spektralbereich. Bei Weizenmehlprodukten ist die Messung der Krumenhelligkeit wesentlich, da Konsumenten diesen Faktor als qualitätsbestimmend wahrnehmen. Gemessen werden dabei Reflexions- (Y) und Whitenessindex (Cauvain and Young, 2006a). Popov-Raljić et al. (2009) fanden heraus, dass ein linearer Zusammenhang zwischen durchschnittlicher Reflexion und der Lagerdauer unterschiedlicher Brote besteht, wobei die Reflexion mit zunehmender Lagerdauer bei Weizenbrot mit geringem Kleieanteil um 9% anstieg.

Die Krumenstruktur ist ein wesentlicher Einflussfaktor auf die sensorische Qualität der Backware und hat sowohl auf Textur und Knusprigkeit als auch auf das Lagerverhalten und das Altbackenwerden entsprechenden Einfluss (Mondal and Datta, 2008).

2.1.5 Qualitätsparameter bei Weizenteigen

Farinogramm

Nach ICC-Standard Nr. 115/1 werden im Farinographen die Wasseraufnahmefähigkeit und anschließend die Kneteigenschaften des hergestellten Teiges beurteilt. Dabei wird der Teigwiderstand gegen eine konstante mechanische Beanspruchung gemessen und als Kraft-Zeit-Diagramm ausgegeben und ausgewertet (Kirsch and Odenthal, 1999). Abb. 5 zeigt den Verlauf eines Farinogramms inklusive dessen Auswertung. Im Gegensatz zu kleberschwachen Mehlen nehmen kleberstarke Mehle mehr Wasser auf und zeigen längere Teigentwicklungs- und stabilitätszeiten (Belitz et al., 2008).

Extensogramm

Im Extensographen wird ein standardisiertes Teigstück durch eine Hebelarmvorrichtung bis zum Reißen gedehnt und ein Kraft-Weg-Diagramm ausgegeben (Belitz et al., 2008). Bei dieser Untersuchung der Dehnfähigkeit werden physikalische Größen wie Dehnwiderstand, Dehnbarkeit, Energie und das Verhältnis aus Dehnwiderstand und

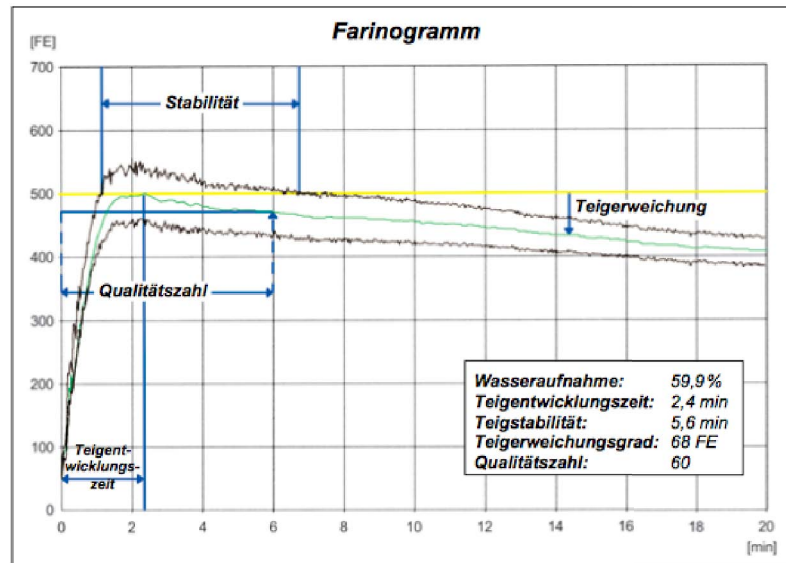


Abb. 5: Farinogramm mit Auswertung von Teigentwicklungszeit, Qualitätszahl, Stabilität und Teigerweichung (Brabender.de)

Dehnbarkeit eruiert, um Vorhersagen über das Teigverhalten während des Gar- und Backprozesses zu treffen (Kirsch and Odenthal, 1999).

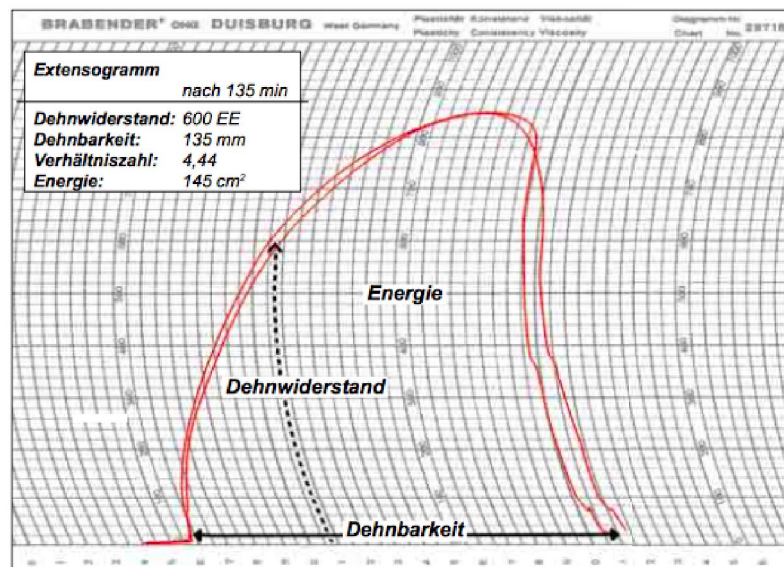


Abb. 6: Auswertungsbeispiel eines Extensogramms (Brabender.de)

Amylogramm

Beim Amylogramm wird die Änderung der Viskosität einer standardisierten Mehl-Wasser-Suspension in einem Rotationsviskosimeter in Abhängigkeit der Temperatur gemessen und als Amylogramm ausgegeben (Belitz et al., 2008). Der Anstieg der Temperatur ist vergleichbar mit jenem während des Backprozesses, weshalb dadurch die Verkleisterung der Stärke und die verflüssigende Wirkung der mehleigenen Amylasen

beurteilt und somit Aussagen über die Backeigenschaften des Mehles getroffen werden können (Kirsch and Odentthal, 1999).

In Abb. 7 entspricht das Verkleisterungsmaximum dem Höhepunkt der Viskosität, der Viskositätsabfall danach ist durch die enzymatische Verflüssigung bedingt. Die Verkleisterungstemperatur errechnet sich aus der konstanten Heizrate von 1,5 °C pro Minute, multipliziert mit der Dauer bis zum Viskositätsmaximum unter Berücksichtigung der Ausgangstemperatur (Erling and Botterbrodt, 2003).

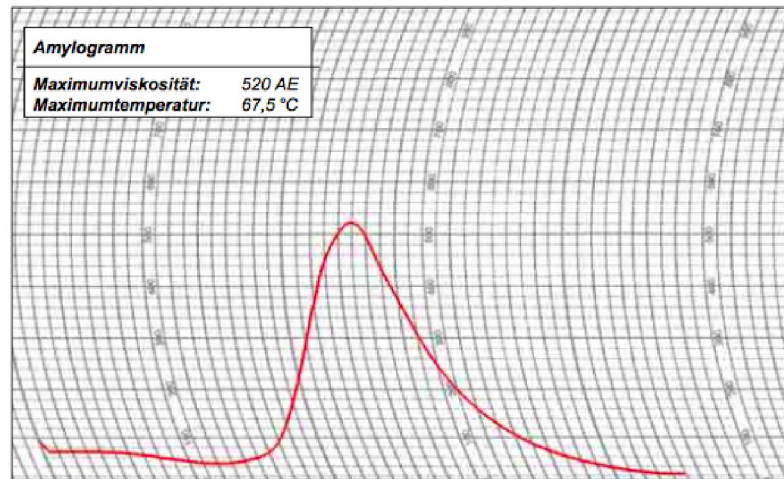


Abb. 7: Auswertungsbeispiel eines Amylogramms; Abszisse: Zeit in Minuten, Ordinate: Viskosität in Amylogrammeinheiten (Brabender.de)

2.1.6 Maschinenverarbeitbarkeit

Klebrigkeit ist jene Eigenschaft, die das Prozessieren und maschinelle Verarbeiten von Teig in Bäckereien, vor allem in Betrieben industriellen Maßstabs, erschwert und den Prozessfluss sogar völlig zum Erliegen bringen kann. Dabei ist es nicht der Teig selbst, der klebrig ist, sondern er entwickelt diese Eigenschaft unter Einfluss von Stress und Scherkräften. Letztere treten vor allem während des Knetens, der Teigteilung und der Formgebung auf. Klebrigkeit, die gleich nach dem Knetprozess auftritt, verringert sich nach einer kurzen Abstehtzeit (Cauvain, 2015).

Die Begriffe Klebrigkeit und Weichheit müssen nicht zwangsläufig korrelieren, da Teige sowohl weich, aber nicht klebrig, als auch umgekehrt sein können (Cauvain, 2009).

Die Autoren Huang und Hoseneý definierten als möglichen Auslöser der Klebrigkeit von Teigen eine beta-Glucankette von etwa 71 Anhydroglucose-Einheiten, gebunden an eine trans-Ferulasäure (Grausgruber et al., 2003).

Die Reduktion der Schüttwassermenge führt zwar möglicherweise zu verbesserter Handhabung, nicht aber zur wesentlichen Reduktion der Klebrigkeit des Teiges (Cauvain, 2015).

Es gibt wenige adäquate Methoden zur Messung der Klebrigkeit von Teigen. Eine

davon stellt die Messung mit dem SMS/Chen-Hoseney dough stickiness cell dar (Grausgruber et al., 2003). Abb. 8 zeigt deren Aufbau und einen typischen Diagrammverlauf.

Durch die Zugabe von Fett zu Teigen verringert sich sowohl die Reibung der ausgebildeten Glutenstränge untereinander als auch jene zwischen den Glutensträngen und den Stärkepartikeln. Beides resultiert in besseren viskoelastischen Teigeigenschaften, die nicht nur die Ausbildung eines feineren Krumenbildes, sondern auch bessere Maschinenverarbeitbarkeit mit sich bringen (Zhou, 2014).

Weiters hat der Zusatz von Enzymen ebenso Auswirkung auf die Klebrigkeit des Teiges und hierdurch auf die Maschinenverarbeitbarkeit. Durch Zugabe von Pullulanasen, die die Verzweigungen von Stärkemolekülen aufspalten, kann die Teigklebrigkeit reduziert werden. Stärke- und Nichtstärkepolysaccharid-hydrolysierende Enzyme, wie beispielsweise alpha-Amylasen, Hemicellulasen/Pentosanasen, fördern die klebrigen Eigenschaften des Teiges. Untersuchungen zeigten, dass auch hinzugefügte Lipasen die Teigklebrigkeit erhöhen (Collar et al., 1998).

Auch Barcenas et al. (2003b) beschreiben eine verbesserte Teigmaschinenverarbeitbarkeit durch Zusatz von Pentosanasen.

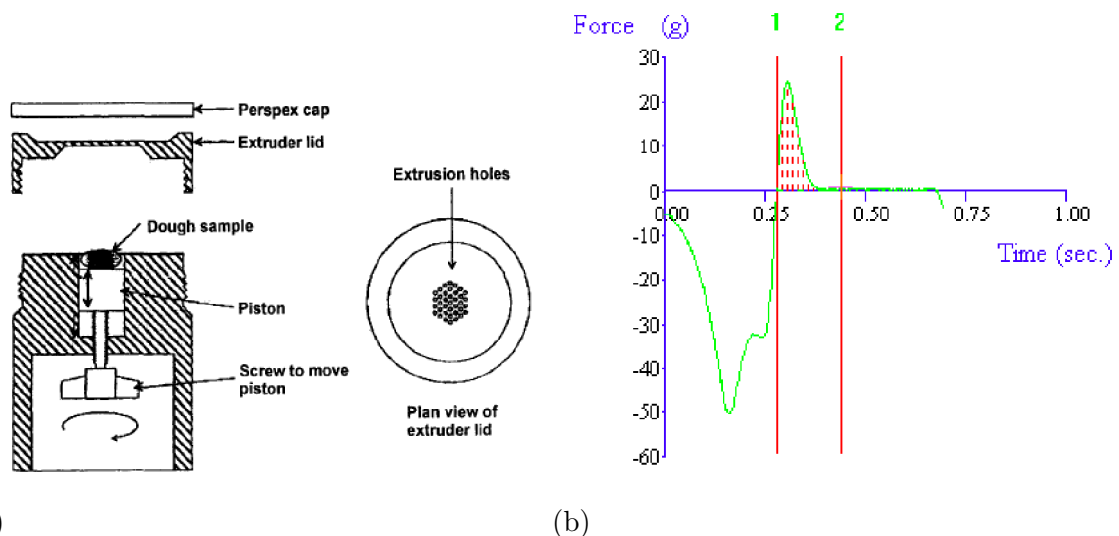


Abb. 8: (a) Aufbau des SMS/Chen-Hoseney Stickiness-Tests (Grausgruber et al., 2003), (b) typischer Verlauf eines Stickiness-Tests: Kraft (Ordinate) gegen Zeit (Abszisse) (Yildiz et al., 2012)

2.1.7 Probleme bei Tiefkühlteiglingen

Die Qualität von Brot aus gefrostenen Teiglingen ist meist niedriger als vergleichbare Produkte aus frischem Teig. Die Verminderung der Brotqualität rührt vom niedrigeren Volumen und einer negativen Beeinflussung der Textur her, wobei die Endproduktqualität eine Funktion unterschiedlicher Faktoren, wie z.B. der Gefriereschwindigkeit und der TK-Lagerungsdauer, darstellt (Silvas-García et al., 2014).

Während des Gefriervorgangs bilden sich Eiskristalle als Folge einer Neuverteilung von Wasser im Teig. Die Größe, Form und Lage der Kristalle können die physikalische

Teigstruktur verändern und schädigen, was sich auch in der Qualität des Endprodukts niederschlägt (Silvas-García et al., 2014).

Untersuchungen zeigen, dass höhere TK-Lagerungstemperaturen (-5 und -10 °C) in Kombination mit längeren Lagerzeiten Gluten größerem Stress aussetzen, als bei vergleichsweise niedrigerer Temperatur (-25 °C). Daraus resultieren steifere Glutenproteine, die zu geringerem Gashaltevermögen führen (Shewry and Tatham, 2000).

Die Vorgänge des Frostens und der TK-Lagerung beeinflussen die Teigeigenschaften insofern, als sie das Gashaltevermögen und den Lebendzellanteil der Hefen senken. Letzteres rührt von intrazellulärem Gefrieren und erhöhten Konzentrationen des gelösten Stoffes, was unter anderem zu niedrigem pH-Wert, Dehydration, ionischer Toxizität, Störung essentieller Membranprozesse und gesenkter Aktivität glykolytischer Enzyme führt (Giannou et al., 2003).

Die endgültige Ausformung des Teiglings wirkt sich auf die Stabilität und die Qualität des Endproduktes aus, wobei rund gewirkte Teigstücke weniger zufriedenstellende Ergebnisse liefern als flache oder zylinderförmige. Weiters ist zu beachten, dass durch exzessives Formen und Wirken der Teiglinge mehr Wärme generiert wird, wodurch die Gare vor dem Frosten beschleunigt wird (Giannou et al., 2003).

Um dem Aktivitätsverlust der Hefe während des Frost- und TK-Lagerungsprozesses Rechnung zu tragen und um angemessene Gärbedingungen sicherzustellen, wird eine Erhöhung der Hefemenge angeraten. Weitere Maßnahmen zur Reduktion negativer Einflüsse sind der Einsatz kältetoleranter Hefestämme, die Verwendung geeigneter Zusätze, wie z.B. Oxidationsmittel, um die rheologischen Teigeigenschaften und die Qualität des Endprodukts zu erhöhen (Giannou et al., 2003).

Giannou and Tzia (2007) beschreiben die Ergebnisse ihrer Studie mit TK-Teiglingen über eine Lagerdauer von bis zu neun Monaten. Sie untersuchten darin unterschiedlich lange tiefgekühlt gelagerte und danach gebackene Teiglinge in Bezug auf die Parameter Gewichtsverlust, spezifisches Volumen, Krusten- und Krumenfarbe, Teigelastizität und -festigkeit und Krumenfestigkeit. Allgemein kann festgestellt werden, dass innerhalb der ersten Monate der Lagerung rasche Abbauprozesse stattfinden, danach allerdings keine nennenswerten Veränderungen mehr zu beobachten sind. Bei Betrachtung des relativen Gewichtsverlusts, der während des Backprozesses auftritt, liegt dieser nach wenigen Tagen TK-Lagerung bei 13,1%, stabilisiert sich aber nach 165 Tagen auf 11,5%. Im Vergleich dazu ist der relative Backverlust von ungefrostedem Brot mit 12,4 % etwas höher als der stabile Wert nach mehrmonatiger Lagerung. Abb. 9 zeigt den gesamten Verlauf des Gewichtsverlustes. Daraus lässt sich ableiten, dass die wesentlichen Änderungen des Glutennetzwerks und der Hefezellen bereits während der ersten Schritte des Frostens eintreten, danach sind die Brote bei sachgemäßer Lagerung über mehrere Monate lagerbar und es treten keine nennenswerten Verluste auf.

Eiskristallbildung ist ein natürliches Phänomen in gefrorenem Teig mit nennenswertem Anteil an Wasser, was letztlich zur Verschlechterung des Glutennetzwerks und

in weiterer Folge zu veränderten teigrheologischen Eigenschaften führt (Asghar et al., 2005). Bei der Tiefkühlagerung sind gleichbleibend tiefe Temperaturen sicherzustellen, um den physikalischen Prozess der Rekristallisation zu unterbinden. Temperaturschwankungen führen zu einem Wachstum der größeren Kristalle auf Kosten der kleineren, da letztere durch Dampfdruckunterschiede verdunsten. Das verdunstete Wasser lagert sich nach erfolgter Abkühlung wieder an die größeren Kristalle an, wodurch diese stetig wachsen (Lösche, 2003).

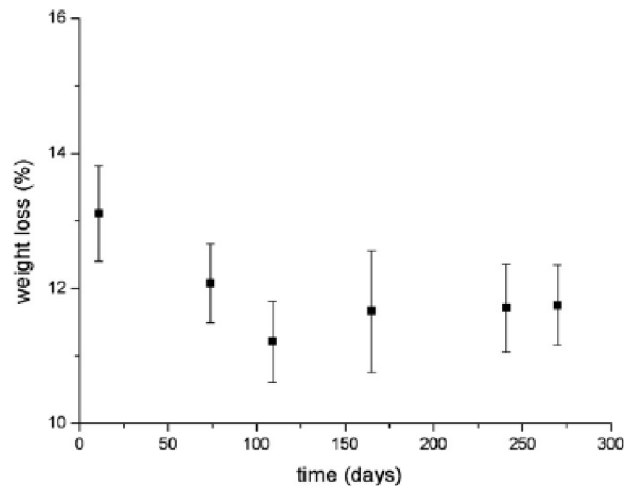


Abb. 9: Gewichtsverlust in Prozent (Ordinate) von Broten während der Tiefkühlagerung in Abhängigkeit der Lagerdauer in Tagen (Abszisse) (Giannou and Tzia, 2007)

2.2 Physikochemische Grundlagen der Teigbereitung

Um die Vorgänge und Zusammenhänge zu verstehen, die bei der Teigbereitung ablaufen, sollen hier zunächst einige Grundlagen zu den Getreideinhaltsstoffen dargelegt werden.

Backweizen setzt sich durchschnittlich aus 62,5% Kohlenhydraten, 13,3% Protein, 7% Lipiden, 2,9% Mineralstoffen und 1,6% Rohfaser zusammen. Weizenproteine sind zu jeweils ca. 30% in den Aleuronzellen und im Keimling lokalisiert, weitere 13% im Endosperm und 7% in den Schalentteilen. Sie können nach ihrem Löslichkeitsverhalten mittels Osbornefraktionierung in vier Fraktionen gegliedert werden: wasserlösliche Albumine, in salzhaltigem Wasser lösliche Globuline, in 70% Ethanol lösliche Gliadine und in Ethanol unlösliche Glutenine. Abb. 10 zeigt charakteristische und unterschiedliche Merkmale der Proteinfractionen und führt die Bezeichnung Kleber. Weizenkleber setzt sich aus den beiden Fraktionen Gliadin und Glutenin zusammen. Durch die singuläre Fähigkeit zur Kleberbildung erfährt Weizen eine Sonderstellung unter den Getreidearten. Die Extrahierbarkeit mit Sodiumdodecylsulfat (SDS) und Fraktionierung mit Ethanol stellen eine weitere Möglichkeit der Einteilung der Weizenproteine dar (Belitz et al., 2008; Klinger, 2010).

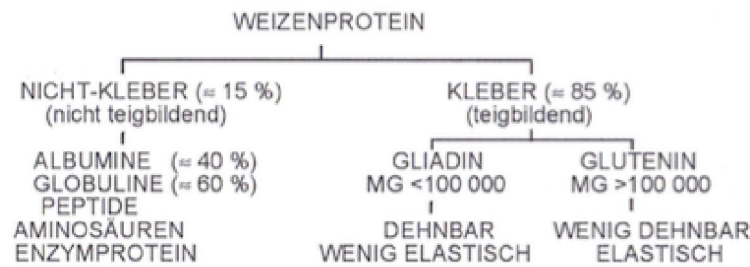


Abb. 10: Fraktionen der Weizenproteine und deren Charakteristik (Klinger, 2010)

Mittels erwähnter Osborne-Fraktionierung ergibt sich in etwa ein Verhältnis Gliadin zu Glutenin von 1:1, wobei sich die beiden Proteinfractionen in hydratisierter Form verschiedenartig auf die Teig rheologie auswirken. Während Gliadine, die als Lösungsmittel für Glutenine dienen, mehrheitlich die Teigviskosität beeinflussen, werden Teigfestigkeit und -elastizität durch die fibrillären, hochmolekularen Glutenine bestimmt. Gliadine lassen sich mittels RP-HPLC in ω -, α -, und γ -Gliadine trennen, wobei sich die Anteile je nach Sorte stark unterscheiden. Klebrige Teige resultieren aus Sorten wie Clement oder Maris Huntsman, bei denen hohe ω -Gliadinanteile nachgewiesen werden können.

Tab. 3 zeigt die Gliederung der Kleberproteine nach ihrem Molekulargewicht in die drei Hauptgruppen HMW, MMW und LMW und deren Untergruppen. Während bei HMW-Untereinheiten die Aminosäuren Glutamin und Glycin dominieren, sind es bei MMW- und LMW-Proteinen Glutamin und Prolin.

Tab. 3: Einteilung der Kleberproteine aufgrund ihres Molekulargewichts (Belitz et al., 2008)

Hauptgruppen	hochmolekular	mittelmolekular	niedermolekular
Untergruppen	HMW-Untereinheiten der Glutenine	ω 5 und ω 1, 2 Gliadine	α - und γ -Gliadine LMW Untereinheiten
Molekülmasse	67.000 - 88.000	34.000 - 55.000	28.000 - 39.000
dominierende Aminosäuren	Glutamin, Glycin	Glutamin, Prolin	Glutamin, Prolin

Im Vergleich zu α - und γ -Gliadinen, die als überwiegend monomere Proteine nur intramolekulare Disulfidbindungen enthalten, stellen Glutenine Proteinaggregate aus HMW- und LMW-Untereinheiten mit Molmassen im Bereich 200.000 bis einige Millionen dar, die nicht nur durch intermolekulare Disulfidbrücken, sondern auch durch hydrophobe Wechselwirkungen und weitere Kräfte stabilisiert werden. Der α -Typ der HMW-Subeinheiten besitzt über zwei Cysteinreste die Fähigkeit lineare Polymere zu bilden, deren Menge in enger Korrelation mit der Festigkeit von Teigen steht. Zusätzlich zeichnen auch die LMW-Untereinheiten für die Teig- und Kleberfestigkeit verantwortlich, da definierte Positionen in der Aminosäuresequenz zu Polymerisation neigen. Um

den gleichen Effekt wie bei HMW-Untereinheiten zu erzielen, ist allerdings die doppelte Menge an LMW-Subeinheiten nötig, da die entsprechenden Bindungen variabel und nicht streng gerichtet sind. Die Teig- und Kleberviskosität werden hingegen von monomeren Gliadinen durch deren Funktion als Lösungs- und Schmiermittel für aggregierte Glutenine bestimmt, wobei nicht die Gliadinmenge sondern das Mengenverhältnis Gliadin zu Glutenin ausschlaggebend ist (Belitz et al., 2008).

Große SS/SH-Verhältnisse und hohe Gehalte an Disulfidbindungen resultieren in starken Klebern, wobei große SS/SH-Verhältnisse kurze Teigeigenschaften mit großem Dehnwiderstand und geringer Dehnbarkeit bedingen. Schwache Kleber weisen hingegen ein kleineres SS/SH-Verhältnis auf, was dehnbare und nachlassende bis klebende Teige ergibt (Belitz et al., 2008).

Weizen enthält neben Mono- und Disacchariden auch Polysaccharide wie Stärke, Dextrine, Cellulose und Hemicellulose. Im Fall der Stärke sind dabei α -D-Glucoseeinheiten linear 1,4-glycosidisch zu Amylose und verzweigtkettig 1,4- und 1,6-glycosidisch zu Amlopektin verknüpft. Die Weizenstärke setzt sich aus 17-28 % Amylose und 72-83 % Amylopektin zusammen und bildet 2-5 μm und 25-30 μm große Stärkekörner aus. Wesentlich dabei ist, dass die gesamte Stärke und auch ca. 15 % des Rohproteins im Endosperm lokalisiert sind (Belitz et al., 2008).

Proteine und Lipide sind Heterobestandteile der Stärke, wobei letztere in den Amylose-Helices eingeschlossen vorliegen. Diese Lipideinschlüsse bringen eine Verzögerung der Quellung und eine Erhöhung der Verkleisterungstemperatur mit sich. Dies wirkt sich auf das Backverhalten und eventuell auch auf die Gebäckeeigenschaften aus.

Zur Gruppe der Nicht-Stärke-Polysaccharide gehörig, finden sich 1,5 % bis 2,5 % Pentosane im Weizen, die größtenteils aus linear aufgebauten Arabinoxylanen bestehen, welche wiederum in die Gruppe der wasserlöslichen und wasserunlöslichen eingeteilt werden. Die Gruppe der wasserextrahierbaren Arabinoxylane zeichnet für bis zu 25 % der Wasserbindung im Teig verantwortlich, erhöht somit die Viskosität und dadurch auch die Stabilität der Gärbläschen im Teig (Belitz et al., 2008).

2.3 Der Knetprozess

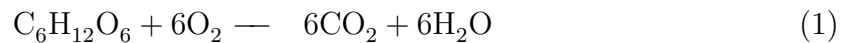
Der erste und zugleich auch wesentlichste Schritt der Teigbereitung ist der Knetvorgang, der sowohl für die Teigentwicklung als auch für das Erreichen der optimalen Teigtemperatur verantwortlich ist. Fehler, die in diesem Stadium auftreten, können zu keinem späteren Zeitpunkt mehr korrigiert werden und wirken sich entsprechend auf das Endprodukt aus (Zhou, 2014).

Einen wesentlichen vorbereitenden Schritt der Teigbereitung stellt das Sieben oder Auflockern des eingesetzten Mehls dar, das eine Volumsvergrößerung von bis zu 60 %

bewirkt, wodurch eine Oberflächenvergrößerung und im Weiteren eine verbesserte Wasseraufnahmefähigkeit bewirkt wird. Durch pneumatische Förderung des Mehls können diese Effekte ebenso erzielt werden (Doose, 1982).

2.3.1 Vorgänge im Teig

Zur Lockerung von Weizenteigen wird Backhefe eingesetzt, die sich abhängig vom Sauerstoffgehalt vermehrt oder gärt. Hohe Sauerstoffgehalte und Temperaturen um die 26 °C begünstigen die Vermehrung (Gl. (1)), während höhere Temperaturen von 28 - 32 °C die Gärung der Hefe forcieren (Gl. (2)) (Klinger, 2010).



An die Verwiegung der Zutaten schließt der Knetprozess an, der in die drei Phasen Mischen der Rohstoffe, Teigentwicklung und -plastifizierung einzuteilen ist (Belitz et al., 2008). Auf Unterschiede zwischen den verschiedenen Knetsystemen wird unter Punkt 2.3.2 näher eingegangen.

Abhängig von der Höhe der Wasseraufnahmefähigkeit und Mehlsorte wird der Teig mit ca. 70 % Wasser angestellt (Belitz et al., 2008). Beim Anteigen werden die Mehlteilchen hydratisiert und bestimmte Mengen an Glutenproteinen durch die mechanische Kneteinkwirkung zerstört, wobei diese in ein kontinuierliches kohäsives viskoelastisches Glutenproteinnetzwerk umgewandelt werden (Goesaert et al., 2005).

Beim Vorgang des Anteigens laufen an den kolloidalen Strukturen der Mehlteilchen Lösungs-, Quell- und hydrolytische Prozesse ab, die zu spezifischen Eigenschaftsveränderungen führen. Dabei hydratisieren Protein- und Pentosananteile und quellen schnell. Unbeschädigte Stärkekörner sorbieren das Schüttwasser, was ihrer großen Oberfläche geschuldet ist. Beschädigte Stärketeile hingegen quellen unter diesen Bedingungen. In etwa die Hälfte des Teigwassers wird von der Stärke immobilisiert, Pentosane und Kleberproteine binden etwa zu gleichen Teilen das restliche Wasser. Untersuchungen ergaben, dass Weizenteige mit 1 % erhöhtem Wassergehalt in 5-15 % veränderten Teigeigenschaften resultieren. Unter den mechanischen Zug-, Druck- und Scherbewegungen des Knetens lösen sich die aufgequollenen Mehlteilchen auf und bilden den Teig als viskose Masse aus (Klinger, 2010). Währenddessen findet eine Dehnung der Proteinmatrix statt und an den Verzweigungspunkten der Stränge bilden sich Proteinfilme

aus. Diese stellen das vorherrschende Strukturelement eines optimal gekneteten Teiges dar und tragen zum Gashaltevermögen bei. Abb. 11 zeigt die schrittweise Entwicklung der Teigstrukturen unter dem Rasterelektronenmikroskop (Belitz et al., 2008).

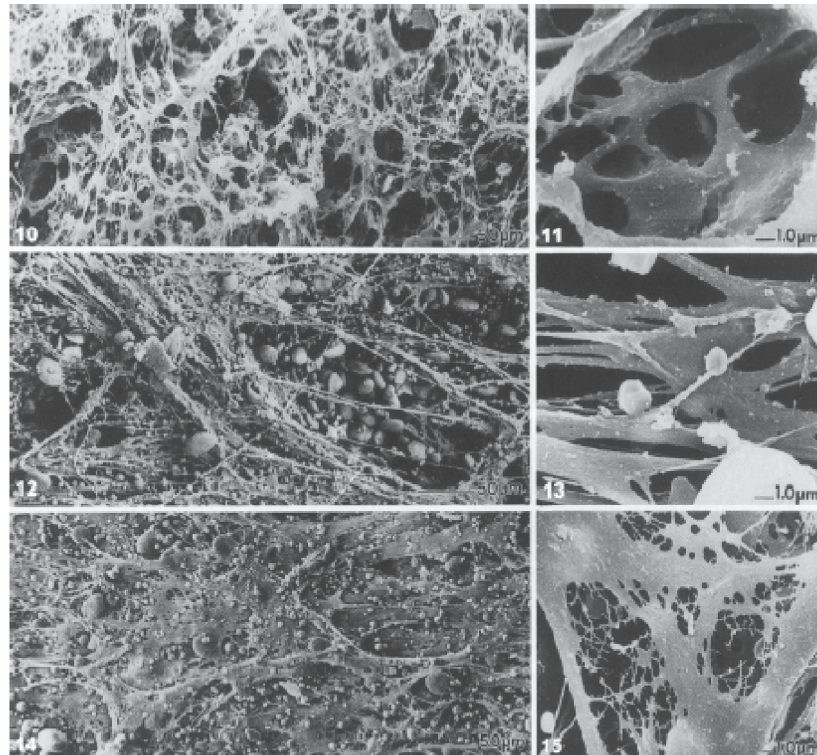


Abb. 11: 10-15: Rasterelektronenmikroskop: Bild 10: ungekneteter Teig nach Wasserzugabe, ungedehntes, zusammenhängendes Proteinnetzwerk; Bild 11: Details zu Bild 10; Bild 12: gekneteter Teig mit gedehntem Netzwerk; Bild 13: Details zu Bild 12, beginnende Filmbildung zwischen den Strängen; Bild 14: optimal gekneteter Teig; Bild 15: Details zu Bild 14 mit teilweise perforiertem Proteinfilm (Belitz et al., 2008)

2.3.2 Einfluss der Knetung auf die Brotqualität

Skobranek (1998) beschreibt die Relevanz der Teigknetung insofern, als sich nur aus einwandfreien Teigen auch einwandfreies Gebäck herstellen lässt und die Qualität des Endprodukts maßgeblich von den Eigenschaften des Teigs abhängt. Cauvain and Young (2006a) gehen noch weiter und sehen den während der Teigbereitung stattfindenden Energietransfer in den Teig als so wesentlich an, dass sie ihn als separate Zutat deklarieren. Der ideale Knetprozess wird als schnell ablaufend, homogen und temperaturkontrolliert beschrieben (Giannou et al., 2003).

Zum Kneten von Teigen werden verschiedene Maschinen eingesetzt, die sich nach unterschiedlichen Kriterien einteilen lassen: Entsprechend der Knetdauer gilt die Einteilung in Schnell-, Intensiv- und Hochleistungsknetter. Mixer hingegen erfüllen nicht die eigentliche Aufgabe der Teigknetung, sondern zerreißen und zerschneiden den Teig, weshalb sie nicht zur Teigbereitung von freigeschobenem Brot eingesetzt werden können. Abb. 14 zeigt die verschiedenen Knetzeiten und Umdrehungszahlen der erwähnten Kne-

tertypen (Belitz et al., 2008). Nach dem Knetsystem und der Art des Energieeintrags kann ebenso unterschieden werden, wobei Abb. 15 gängige Varianten, teils für unterschiedliche Verwendungszwecke zeigt. Die gezeigten Knetmaschinen unterscheiden sich meist in Bauweise, Knetwerkzeugform, Drehzahl und Knetdauer. Zur Weizenteigherstellung finden in der Praxis hauptsächlich Spiral-, Doppelspiral- oder Konusknetter Einsatz, während für Roggenbrote auch Hubknetter verwendet werden (Klinger, 2010). Generell gilt, dass Weizenteige im Vergleich zu Roggenteigen längere Teigentwicklungszeiten aufweisen und daher in etwa doppelt so lange geknetet werden müssen (Belitz et al., 2008).

Belitz et al. (2008) beschreiben, dass die Knetdauer und Knetintensität die Teigtemperatur und in weiterer Folge auch die Konzentration der beiden Streckeraldehyde 2- und 3-Methylbutanal beeinflussen. Diese Aromastoffe rufen in der Kruste von gebackenem Baguette die erwünschte malzige Note hervor, wobei eine Verlängerung der Knetzeit zum Abbau und Verlust der Streckeraldehyde führt.

Abhängig von Mehl- und Klebereigenschaften sind zur Weizenteigbereitung zwischen 6 bis 18 Wh/kg Teig erforderlich, also deutlich mehr Energie als zur Knetung von Roggenteigen.

Klinger (2010) zeigt, dass mit hoher Knetintensität (= Umdrehungszahl binnen kurzer Zeit) sehr große Brotvolumina erreicht werden können. Ein ähnlicher Effekt kann durch ca. zehn Minuten längeres Kneten bei 120 rpm erzielt werden.

Zu Beginn der Knetphase steigt der Teigwiderstand an, bis er ein entsprechendes Optimum erreicht, um nach einer bestimmten Zeit wieder abzunehmen, was als Überkneten von Teigen bezeichnet wird. Sowohl die Quantität als auch die Qualität der Glutenproteine, das Neigen zum Überkneten des Teiges, das Gashaltevermögen und dadurch auch das Gebäckvolumen und die Krumenstruktur bestimmen die Knetanforderungen (Goesaert et al., 2005).

Um ein optimales und gleichbleibendes Endprodukt zu erzeugen, ist es notwendig eine konstante Teigtemperatur nach dem Knetprozess sicherzustellen, um einen einheitlichen weiteren Prozessablauf garantieren zu können (Cauvain, 2015). Dabei sind Knettechnik, Mehlqualität, Teiggröße- und festigkeit, Aufarbeitung und Gärtechnik entscheidend, wobei der Knetprozess und die Raum- und Wassertemperatur den größten Einfluss haben. Mit steigender Knetintensität und -dauer steigt die Teigtemperatur entsprechend an, wie Abb. 14 und Abb. 16 zeigen (Klinger, 2010). Eine über den gewünschten Temperaturanstieg hinausgehende Erwärmung des Teiges kann durch die Temperaturen der Zutaten reguliert werden. Meist erfolgt dies durch entsprechend temperiertes Wasser, wobei die geforderte Wassertemperatur für händisch oder langsam gemischte Teige mittels Gl. (3) berechnet werden kann. Bei Einsatz von mechanischen Knetern, wie z.B. dem Spiralknetter, müssen weitere Terme berücksichtigt werden, wie Gl. (4) zeigt. Klinger (2010) formuliert die Berechnung der Schüttwassertemperatur wie in Gl. (5) dargestellt. Wenn sich dabei Temperaturen um oder unter dem Gefrier-

punkt von Wasser ergeben, können diese durch Zugabe von Scherben- oder Matscheis erreicht werden. Zu beachten ist, dass die Eiszugabe einen hemmenden Effekt auf die Hydratisierung der glutenbildenden Proteine mit sich bringt. Als Alternative können gekühlte Salzlösungen eingesetzt werden, die bis einige Grad unter Null nicht gefrieren. Dabei muss allerdings eine verminderte Hefeaktivität in Kauf genommen werden. Als ideal erweist sich eine Kombination aus gekühlter Salzlösung und gekühltem Wasser. Weitere, eher selten genutzte Möglichkeiten stellen die Kühlung des verwendeten Mehls und der Einsatz von Kohlendioxidschnee dar (Cauvain, 2015). Letzteres erfolgt durch Injektion von Trockeneis während des Knetprozesses, wodurch dem Teig Wärme entzogen wird und dadurch eine konstante Teigtemperatur bei optimaler Ausknetung erzielt werden kann (Lösche, 2003).

$$T(Wasser) = (2xT(Teig)) - T(Mehl) \quad (3)$$

$$T(Wasser) = 2x(T(Teig) - T(Anstieg)) - T(Mehl) \quad (4)$$

$$T(Wasser) = (2xT(Teig)) - T(Mehl) - T(Anstieg) \quad (5)$$

Spiralkneter bringen den Vorteil mit sich, dass sie während des Knetprozesses mehr Luft in den Teig einbringen, wodurch mehr Sauerstoff für Oxidationsreaktionen mit Ascorbinsäure zur Verfügung steht (Cauvain, 2015).

Abb. 12 zeigt die Strukturformeln von L-Ascorbinsäure und die durch Oxidationsprozesse gebildete Dehydro-Ascorbinsäure, die, wie in Abb. 13 gezeigt, sowohl zur Bildung von Glutathion-Disulfid (G-SS-G) aber auch von intermolekularen Disulfidbindungen der Kleberproteine führt (Klinger, 2010).

Der Einsatz von Ascorbinsäure führt zu größerem Brotvolumen und feinerer, einheitlicherer Krumenstruktur, solange durch den Knetprozess ausreichend Sauerstoff eingebracht wird, um Dehydro-Ascorbinsäure zu produzieren. Nach dem Knetprozess kann beinahe kein weiterer Einfluss von Ascorbinsäure beobachtet werden, da die Reaktionen der Hefe und anderer chemischer Reaktionen den vorhandenen Sauerstoff gänzlich aufbrauchen (Zhou, 2014).

Bei langsamen Knetgeschwindigkeiten besteht die Gefahr der Wärmedissipation und folglich keiner Erhöhung der Teigtemperatur. Wird die Knetgeschwindigkeit erhöht, so wird die Wärme im Teig gespeichert, wobei dieser Effekt durch bestimmte Einbauten verstärkt werden kann. Eine Erhöhung der Energietransferrate und eine Verkürzung der Knetzeit, mindestens jedoch 90 bis 120 Sekunden Knetdauer, führen zu erhöhter Gasretention und in weiterer Folge zu größerem Brotvolumen (Cauvain, 2015).

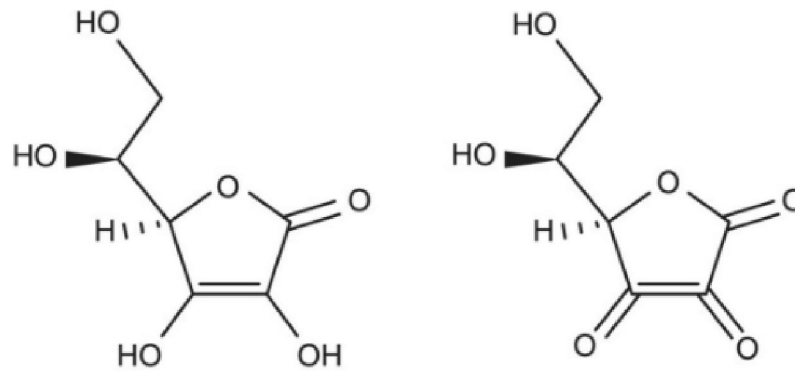


Abb. 12: Strukturformeln von Ascorbinsäure (links) und Dehydroascorbinsäure (rechts) (Zhou, 2014)

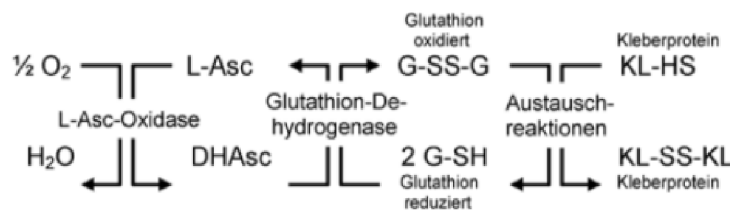


Abb. 13: Modell der Teigverbesserung durch Einsatz von Ascorbinsäure (Klinger, 2010)

2.3.3 Kneten bei Tiefkühlteiglingen

Die Knetdauer und Teigtemperatur stellen wichtige Faktoren der Stabilität von TK - Teiglingen dar. Während des Knetprozesses soll das Glutennetzwerk vollständig ausgebildet werden. Liegt die Temperatur des Teiges nach dem Kneten im Gegensatz zu frischen Teiglingen, die eine Endtemperatur von 24 - 26 °C aufweisen, im Bereich von 19 - 22 °C so wird dadurch eine Reduktion der Hefeaktivität vor dem Frosten erzielt, was bei grünen Teiglingen erwünscht ist (Giannou et al., 2003).

Auch Rouille et al. (2000) beschreiben die Dauer des Knetprozesses und die daraus resultierende Teigtemperatur als wesentlichste Einflussfaktoren auf das Teigvolumen, die produzierte Kohlendioxidmenge und das spezifische Volumen des Endprodukts. Im Gegensatz zu normal prozessierten Teiglingen besteht nach dem Frosten keine Möglichkeit mehr, die Teigrheologie durch anschließendes mechanisches Wiederaufarbeiten zu korrigieren und zu verbessern. Als ideale Temperatur des Teiges nach dem Kneten wird 20 - 21 °C angeführt.

2.4 Der Garprozess

2.4.1 Vorgänge während der Gare

Nach stattgefundenem Knetprozess folgen abwechselnd Gar- und Formprozesse, beginnend mit der Teigruhe oder Teiggare (zehn bis 30 Minuten) mit anschließendem Tei-

Knetter	Umdrehungszahl (min^{-1})	Knetzeit (min)	Teigerwärmung ^a ΔT ($^{\circ}\text{C}$)
Schnellknetter	60–75	20	2
Intensivknetter	120–180	10	5
Hochleistungs-knetter	450	3–5	
Mixer	1 440	1	9
Mixer	2 900	0,75	14

Abb. 14: Unterschiedliche Knetertypen mit charakteristischen Knetzeiten, Umdrehungszahlen und der sich daraus ergebenden Teigerwärmung (Belitz et al., 2008)

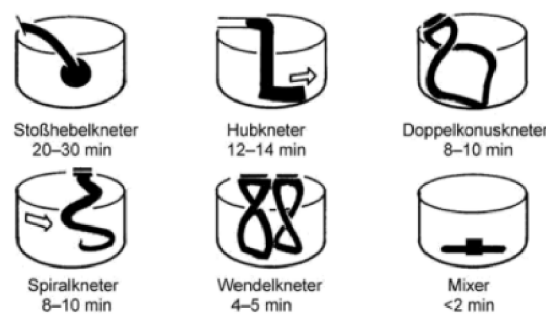


Abb. 15: Vergleich verschiedener Knetsysteme und typische Knetzeiten zur vollständigen Teigentwicklung (Klinger, 2010)

len, Wiegen und Wirken. Nach der Zwischengare (fünf bis zehn Minuten) erfolgt die endgültige Formgebung des Produkts, welches nach 20- bis 50-minütiger Stück- oder Endgare in den Backofen eingebracht wird (Belitz et al., 2008). Die unterschiedlichen Garschritte können in kleineren Betrieben batchweise z.B. auf Blechen in Gärschränken oder in größeren Dimensionen in sogenannten Gehängen in Durchlaufgärschränken prozessiert werden (Cauvain, 2015). Relevante Parameter der Gärführung sind Lufttemperatur, -feuchtigkeit und -geschwindigkeit. Optimale Werte für Weizengebäck sind 75 - 85 % Luftfeuchtigkeit bei 35 $^{\circ}\text{C}$ und Luftgeschwindigkeiten zwischen 0,5 - 1 m s^{-1} (Klinger, 2010).

Die Hauptfunktion der Gare übernimmt die bereits erwähnte Bäckerhefe, indem sie den beim Kneten geformten viskoelastischen Teig durch Gasbildung ausdehnt. Zuerst werden für etwa 100 Minuten Hexosen, wie z.B. Glucose, verstoffwechselt, danach wird das Disaccharid Maltose umgesetzt (Zhou, 2014). Gl. (6) zeigt die Bilanz des während der Gare ablaufenden Abbaus von Zucker in Ethanol und Kohlendioxidgas. Die optimale Temperatur für diese Stoffwechselaktivität der Hefe liegt zwischen 28 und 32 $^{\circ}\text{C}$ (Klinger, 2010), während Cauvain (2015) Hefen aus Großbritannien mit Temperatur-optima im Bereich 40 bis 45 $^{\circ}\text{C}$ beschreibt.

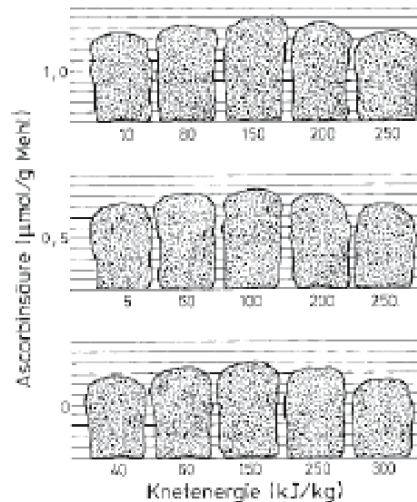


Abb. 16: Abhängigkeit des Gebäckvolumens von der eingebrachten Knetenergie und unterschiedlichen Ascorbinsäuredosagen (Belitz et al., 2008)

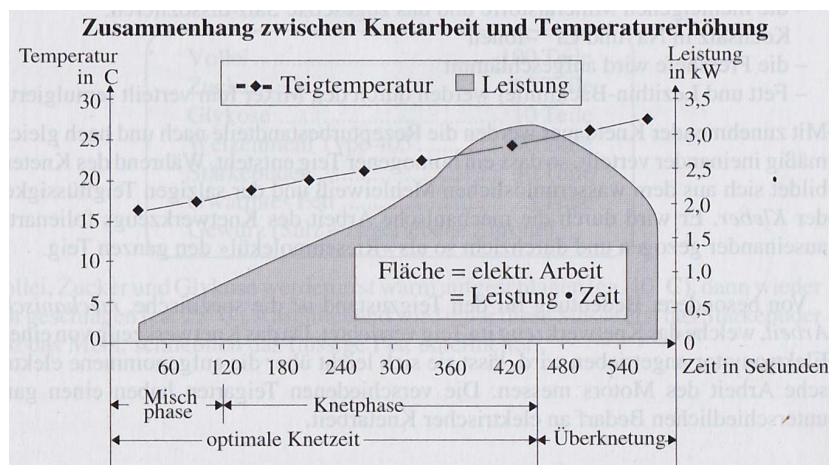
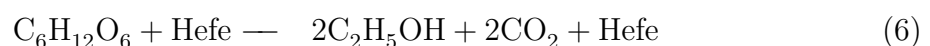


Abb. 17: Anstieg der Knetleistung und der Teigtemperatur über die Knetdauer (Kirsch and Odentthal, 1999)



Kohlendioxid liegt zuerst gelöst in der wässrigen Phase des Teiges vor, wandert dann aber in die während des Knetvorgangs ausgebildeten Luftbläschen, was zur Porenvergrößerung und Koaleszenz im pseudoplastischen Schaum auch als schaumartige Struktur mit Poren bezeichnet führt. Daraus resultiert eine Zunahme des Teigvolumens, wobei der Gärverlauf (vgl. Abb. 18) in drei typische Phasen gegliedert werden kann: Lag-, Wachstums- und stationäre Phase (Zhou, 2014).

In der Lag-Phase finden die initiale Hefegärung und das Eindringen des CO_2 in die Luftbläschen des Teiges statt. In der darauffolgenden Phase erfolgt die Ausdehnung des Teiges hin bis zu einem Maximum (Zhou, 2014), bei Kastenbrotten erhöht sie sich

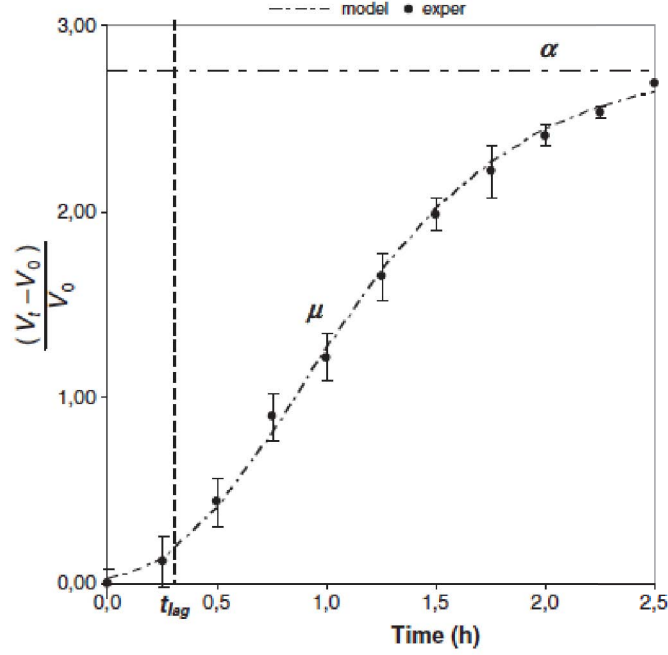


Abb. 18: Verlauf der Volumensexpansionsrate (Ordinate) gegen die Zeit (Abszisse) während des Garprozesses mit lag- und Wachstumsphase (Romano et al., 2012)

auf das Vier- bis Fünffache des Ausgangsvolumens (Belitz et al., 2008). Die stationäre Phase zeigt ein Gleichgewicht zwischen Gasgenerierung und Gasaustritt aus dem Teig, wodurch das Teigvolumen nicht weiter ansteigt. Romano et al. (2007) präsentieren mit der in Gl. (7) gezeigten modifizierten Gompertz-Gleichung eine Möglichkeit der Berechnung der Volumenausdehnungsrate ($y(t)$). Dabei stellt α die maximale relative Volumenausdehnungsrate, μ die maximale spezifische Volumszunahmerate, t_{lag} die Dauer der lag-Phase und e die Neper-Zahl dar (Zhou, 2014).

$$y(t) = \alpha \exp \left(-\exp \left(\left(\frac{\mu e}{\alpha} \right) t_{lag} - t \right) + 1 \right) \quad (7)$$

Zusätzlich lösen sich Teile des Kohlendioxids in der wässrigen Teigphase und bilden die schwach ionisierbare Kohlensäure, die den pH des Systems absenkt (Giannou et al., 2003).

Die Volumenausdehnung kann durch erhöhte Gärtemperatur beschleunigt werden, da dadurch die Hefeaktivität erhöht und gleichzeitig die Gaslöslichkeit herabgesetzt werden (Zhou, 2014). Kurze Gärzeiten resultieren in feiner Krumenmorphologie, engerer Struktur und kleineren Gasbläschen. Eine Verlängerung der Gärdauer hingegen erhöht proteolytische Vorgänge, bei denen Gliadine und Glutenine zuerst enzymatisch durch Proteinasen in Peptide und weiters mittels Peptidasen zu Aminosäuren hydrolysiert werden. Diese freien Aminosäuren stellen Präkursoren der Strecker-Aldehyde dar, wobei die Bildung malziger Aromakomponenten forciert wird. Wenn im Endprodukt

eine offene, gröbere Porung gewünscht ist, so muss nach erfolgter langer erster Teigruhe ein Entgasen beim abschließenden Formen möglichst unterbunden werden (Cauvain, 2015).

Während höhere Gärtemperaturen höhere Hefeaktivität und vermehrte Gasbildung bewirken, verlangsamen niedrigere Temperaturen den oxidativen Abbau von Linolsäure, was in geringeren off-flavour-Konzentrationen, wie z.B. 1-octen-3-on oder 2-nonenal resultiert. Der Fermentationsprozess wirkt sich mittels zahlreicher Faktoren auf die Struktur, Textur, Flavour und auch auf die Haltbarkeit des Endproduktes aus (Zhou, 2014). Bei Anwesenheit von Phytat (Myo-inositol-hexaphosphat) kann die Bioverfügbarkeit von Mineralstoffen limitiert sein, durch Phytase kann Phytat bis zu einem gewissen Grad abgebaut werden. Hefe enthält dieses Enzym, das Phytat dephosphoryliert und freies anorganisches Phosphat und Inositol-Phosphat-Ester bildet. Weiters können während der Gare von Hefeteigen der Folatgehalt bestenfalls verdreifacht und durch sehr lange Gärdauer auch die Gehalte an Thiamin und Riboflavin erhöht werden (Zhou, 2014).

Birch et al. (2013a) verglichen in ihrer Studie verschiedene Bäckerhefe-Arten in unterschiedlichen Konzentrationen bei unterschiedlichen Gärbedingungen (5, 15, 25 und 35 °C). Es wurden die Gärzeiten ermittelt, die benötigt wurden, um eine definierte Teighöhe zu erreichen. Sie beschreiben, dass hohe Konzentrationen bei 25 °C zu den kürzesten Gärzeiten führten.

In einer ähnlichen Studie untersuchten Birch et al. (2013b) verschiedene handelsübliche Hefearten und deren Auswirkung auf die Gärzeit, um eine Teighöhe von zehn cm zu erreichen. Dabei ergaben sich Differenzen von bis zu 60 min. Weiters wurden mittels Multipler Headspace Extraktion (MHE) in diesem Rahmen 32 für Weizenbrot typische volatile Komponenten definiert, wobei 3-methylbutanal, 2,3-butandion, 3-methyl-1-butanol und Phenylacetaldehyd am stärksten zum Gesamtaroma beitrugen.

Romano et al. (2012) dokumentierten mittels 2D-Strukturbildanalyse die Veränderungen von Volumen, Porengröße und -form über die Dauer der Gare von 0,5 bis 2,5 h. Dabei stellten sie zu Beginn eine bimodale Porengrößenverteilung fest, die sich über die Zeit wenig änderte, wobei alle Poren ähnlich schnell wuchsen. Poren mit einer Größe von 0,1 mm² stellen mit in etwa 30 bis 35 % den größten Anteil an Poren dar, mit Zunahme der Gärdauer auf 2,5 h stieg der Anteil großer Poren (1-2, 2-4, > 4 mm²) deutlich an.

2.4.2 Unterschiedliche Teigführungsarten

In der Bäckereipraxis werden fünf verschiedene Abläufe der Teigführung unterschieden: Direkte und indirekte Führung, Langzeitführung mit unterschiedlicher Dauer, Gärverzögerung, Gärunterbrechung und Frostung in verschiedenen Stadien, Abb. 19 zeigt dazu weitere Details. Die einfachste Art der Teigführung stellt jene der konven-

tionellen oder Frischeherstellung dar (Lösche, 2003).

Weizenteige werden überwiegend mittels direkter Führung hergestellt (Klinger, 2010). Dabei werden alle Rohstoffe gemäß Rezeptur zu einem homogenen Teig geknetet, um anschließend der Teig- und nach dem Formen der Stückgare unterzogen zu werden (Cauvain, 2015).

Bei der indirekten Teigführung werden Vorstufen aus Mahlerzeugnissen und Wasser hergestellt, um teigphysikalische und enzymatische Veränderungen zu erzielen. Vorstufen ohne weitere Zusätze werden als Quell- oder Brühstücke bezeichnet, da sie ausschließlich der Verquellung der Mehle dienen. Vorteige hingegen charakterisieren Vorstufen mit Hefezusatz (Osteroth, 1991), wobei Weizenvorteige meist einstufig mit einer Teigausbeute von 200 (Mehl und Wasser zu gleichen Teilen) für drei bis sechs Stunden geführt werden. In etwa 10 - 15 % dieses Vorteiges werden zum Teig zugesetzt und fördern dadurch den Geschmack der Backwaren. Indirekte Teigführung fördert neben der Ausbildung geschmacksgebender Aromen auch die Verquellung der Inhaltsstoffe des Mehls und die Frischhaltung des Brotes (Klinger, 2010).

Studien von Laskowski (2009) zeigten, dass Brote, die mit Vorteigen produziert wurden, im Vergleich zu Broten ohne Vorteig größere Volumina aufwiesen. Weiters wurden die mit Vorteig geführten Brote nach eintägiger Lagerung als weicher beurteilt.

Cauvain (2015) beschreibt weiters die Verfahren des aktivierten Teigverfahrens (ADD), den Dutch Green Dough Prozess und den Chorleywood-Brotprozess (CBP). Beim ADD wurden die Zusätze L-Cysteinehydrochlorid (als Reduktionsmittel), verschiedene Oxidationsmittel, Fett und Emulgatoren und zusätzliche Mengen an Wasser und Hefe verwendet. Beim Dutch Green Dough Prozess wird der Teig direkt nach dem Kneten, ohne Teiggare, also grün, geteilt, was ihm auch seinen Namen gibt. Danach erfolgt das Aufwirken der Teiglinge, was nach 35 bis 40 minütiger Gare wiederholt wird. Erst zum Schluss findet die endgültige Formgebung statt.

Beim Chorleywood-Brotprozess erfolgen Kneten und Teigentwicklung für die Dauer von 2 bis 5 Minuten in einem gemeinsamen Schritt. Es handelt sich hierbei um eine mechanische Teigentwicklung. Zusätzlich erfolgen Dosagen von Oxidationsmitteln, meist beschränkt auf Ascorbinsäure, hochschmelzendes Fett, und Emulgatoren oder Kombinationen daraus. Größere Mengen Wasser und Hefe werden zugegeben, um eine passende Teigkonsistenz und vergleichbare Gärzeiten mit direkt geführten Teigen zu erreichen (Cauvain and Young, 2006b).

Teigführungen mit deutlich verlängerter Gärphase werden als Langzeitführung oder gesteuerte Gare bezeichnet. Charakteristisch dafür sind die Reduktion der eingesetzten Hefemenge (bis zu einem Prozent bezogen auf Mehl) und das Herabsetzen der Umgebungstemperatur oder auch eine Kombination aus beidem. Bestimmte Produkte, wie z.B. Ciabatta oder französisches Baguette, benötigen neben weniger Hefe auch an-

gepasste Wasserdosagen, lange Teigruhen und handwerkliche Aufarbeitung, um ihren typischen ausdrucksvollen Geschmack und eine Kruste mit kurzem Biss voll auszubilden. Verglichen mit direkt geführten Produkten werden ein geringeres Volumen und verminderter Ausbund vom Konsumenten nicht als Qualitätsmangel wahrgenommen. Nach der entsprechenden Dauer bis zum Erreichen der Vollgare werden bei langzeitgeführten Teigen bis zu vier, acht oder 20 Stunden unterschieden. Teigführungen bis 240 Minuten erfolgen unter Reduktion der Hefemenge und bei kühlen Raumtemperaturen von etwa 20 °C. Eine Verlängerung der Gare auf sechs bis acht Stunden gelingt bei unveränderter Hefedosage durch Absenken der Gärtemperatur auf +2 bis +5 °C. Ein weiterer Zeitaufschub auf bis zu 20 Stunden erfordert die Reduktion der eingesetzten Hefemenge und das rasche Abkühlen des Teiges auf eine Kerntemperatur von 0 °C. Dies ermöglicht entweder eine leistungsstarke Kälteanlage oder kurzes Abkühlen im Froster (Lösche, 2003).

Beinahe alle gegärten Backwaren können auch mittels Gärverzögerung hergestellt werden. Als wesentlich dabei gilt, dass die Bedingungen der Gärverzögerung und des anschließenden Gärprozesses optimal auf das Produkt abgestimmt sind. Da Teig prinzipiell Wärme schlecht leitet, eignen sich Produkte mit kleinen Durchmessern, z.B. Semmeln oder Baguette, besser zur Gärverzögerung als beispielsweise Kastenbrote, da es bei größeren Backwaren länger dauert bis das gesamte Produkt gekühlt bzw. später wieder erwärmt wird (Cauvain, 2015).

Beim Prozess der Gärverzögerung wird, ähnlich zur Langzeitführung, eine verringerte Gärleistung durch Absenken der Prozesstemperatur erzielt. Im Gegensatz zu langzeitgeführten Produkten, steht bei gärverzögerten hingegen die Kontrollierbarkeit des Prozesses mittels geeigneter Mess- und Steuereinheiten im Fokus. Obwohl die Gärverzögerung im Temperaturbereich zwischen +5 und -5 °C angesiedelt ist, wird im Teig enthaltenes Wasser nicht ausgefroren, was die Lagerdauer der Teiglinge auf maximal 24 Stunden begrenzt (Lösche, 2003). Die allgemeinen Knet- und Prozessbedingungen müssen prinzipiell nicht angepasst werden, in der Praxis erfolgt jedoch oft eine Absenkung der finalen Teigtemperatur nach dem Kneten durch Zugabe von Eis. Dies kann jedoch zu Problemen beim Produktvolumen führen, da eventuell verwendete Zusätze, wie beispielsweise Oxidationsmittel oder Enzyme, dadurch nicht ihre optimale Temperatur vorfinden. Wesentlicher erscheint hierbei ein rasches Einbringen der Teiglinge in den Gärverzögerungsschrank oder -raum, um eine rasche Gasbildung zu vermeiden. Maximal 20 bis 30 Minuten sollten zwischen dem Ende des Knetens bis zum Start der Gärverzögerung liegen. Ist dies aufgrund der Chargengröße nicht möglich, schafft eine Reduktion der pro Charge gemischten Teigmenge Abhilfe (Cauvain, 2015). Es gilt im Gärunterbrecher ein gutes Mittelmaß zwischen zu starker Luftbewegung, was zwar zu guter Wärmeübertragung, aber auch zum Austrocknen der Teigoberfläche führt, und zu geringer Luftumwälzung, die die Gefahr ungleichmäßiger Gare in sich birgt, zu

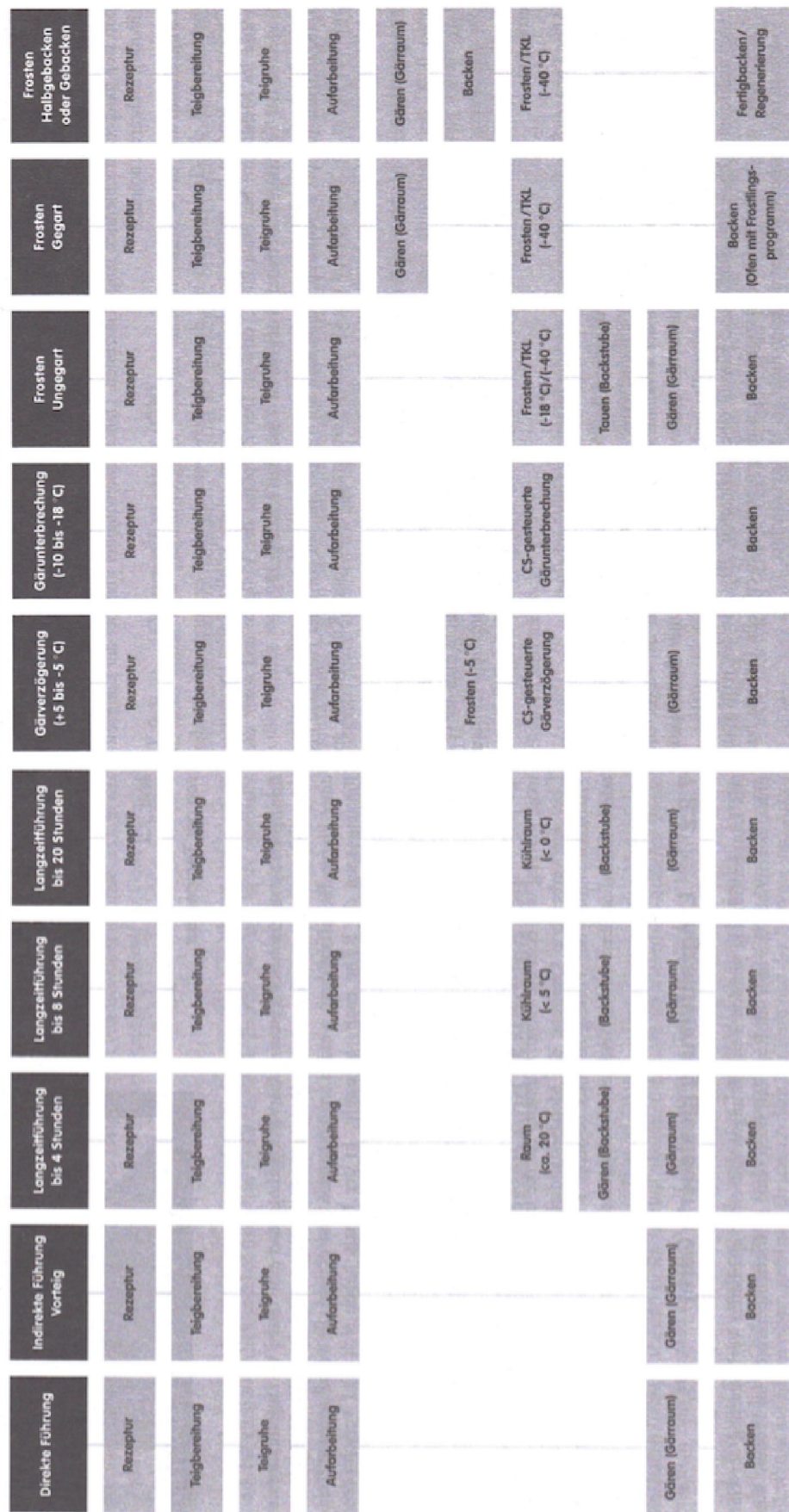


Abb. 19: Übersicht der unterschiedlichen Teigführungsarten (Lösche, 2003)

finden (Lösche, 2003).

Um die Gärtätigkeit vollständig auszusetzen, werden die Teiglinge beim Verfahren der Gärunterbrechung auf Temperaturen unterhalb von $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$, meist noch tiefer bei -10 bis $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, gebracht, um das Wasser im Teig vollständig auszufrieren. Die enzymatischen Aktivitäten im Teigling bleiben weiterhin erhalten und eine Lagerung über mehrere Tage ist möglich.

2.4.3 Teilgegararte Tiefkühlteiglinge

Die Verwendung teilgegararter Teiglinge bringt technologisch den Vorteil, dass während der Tiefkühllagerung zwar die Gäraktivität inhibiert ist, nicht aber die enzymatische Aktivität, was zur Teigreifung beiträgt. Eine Unterbrechung der Gare wirkt sich positiv auf die Teigstruktur, -textur und auf das Aroma des Endprodukts aus. Insgesamt ergibt sich auch der Benefit einer größeren Flexibilität für Handwerksbäckereien (Gabric et al., 2011).

Gabric et al. (2011) untersuchten teilgegararte Teiglinge, die nach Erreichen unterschiedlicher Volumexpansionsraten ($\text{VER} = 2, 3$ oder 4) (siehe Gl. (8)) unterschiedlich weiterverarbeitet wurden. Verglichen wurden die Varianten direkt gefrostet, gebacken, gefrostet und anschließend gebacken, gekühlt und gebacken, gekühlt, gefrostet und danach gebacken oder gekühlt und anschließend gefrostet. Diese Untersuchungen zeigten zweierlei: Das Kühlen teilgegararter Teiglinge zeigt bei $\text{VER} = 3$ die geringsten Volumsverluste, die Kombination aus Kühlen und anschließendem Frosten der Teiglinge senkt die Volumsausbeute weiter, eine $\text{VER} = 4$ führte hier zu den geringsten Verlusten. Die geringsten Volumsausbeuten konnten durch Frosten und anschließendes Backen erzielt werden, wobei der Volumsverlust bei $\text{VER} = 3$ bei $34,5\text{ }\%$ lag. Ein Kühlschritt vor dem Frosten der Teiglinge kann die Toleranz gegenüber der Frostung erhöhen. Idealerweise soll ein finaler Gärschritt vor dem Backen liegen, um das fragile Teignetzwerk auf den Backprozess vorzubereiten (Gabric et al., 2011).

$$\text{Volumexpansionsrate VER} = \frac{V - V_0}{V_0} \quad (8)$$

$V \dots$ Volumen $[\text{cm}^3]$

$V_0 \dots$ Ausgangsvolumen $[\text{cm}^3]$

Hanneforth et al. (1994) empfehlen für Teiglinge, die anschließend gefrostet werden sollen, in etwa eine Gärrate von einem Drittel bis zu Hälfte im Vergleich zu normalen Gärführungen. Rasanen (1998) beschreiben kurze Vorgärzeiten von $25 - 40$ Minuten vor dem Frosten als positiv, wodurch die Gefrier-/Taustabilität der Teiglinge verbessert werden konnte. Dies resultierte in $20\text{ }\%$ größerem Volumen, einheitlicherer Porenstruktur

und einem dickerem Glutennetzwerk, das die Gasbläschen umgab (Le-Bail et al., 2008).

Die Vorteile vorgegarter und anschließend gefrosteter Teiglinge liegen darin, dass ein geringerer Hefelebendzellanteil nach der TK-Lagerung benötigt wird, eine raschere Produktion ermöglicht wird und ein verbesserter Wärmetransport stattfindet (Gabric et al., 2011).

Bei gefrorenen und gegarten Teiglingen spielt die Gaszellenstruktur eine wesentliche Rolle für die Stabilität während der Tiefkühl Lagerung. Dabei sind eng angeordnete und kleine Bläschen mit dicken Wänden stabiler als unterschiedlich große und inhomogen verteilte Bläschen mit dünnen Wänden. Generell gilt für gefrostete und danach aufgetaute Teigstücke im Vergleich zu konventionellen Teiglingen eine längere Garzeit. Gründe dafür sind die niedrigere Eintrittstemperatur in den Gärschrank und der zu einem bestimmten Grad auftretende Verlust des Gashaltevermögens und der Hefektivität durch den Frostungsprozess (Giannou et al., 2003).

Phimolsiripol et al. (2008) untersuchten die Auswirkungen des Kühlens von Brotteig vor dem eigentlichen Frostungsprozess. Die Lagerung bei 0 °C für eine oder drei Stunden, aber auch 10 °C für eine Stunde verbesserten die Gasproduktion und dadurch die Brotqualität signifikant, weiters verkürzt sich durch das Vorkühlen die notwendige Zeit für den Frostprozess. Die Autoren beschreiben diese Verbesserungen durch erhöhte Gefriertoleranz der Hefe und durch Veränderungen in der Wasserverfügbarkeit.

Silvas-García et al. (2014) eruierten durch ihre Untersuchungen die Auswirkungen unterschiedlicher Gefrierraten und Lagerzeiten auf Teig- und Endprodukteigenschaften. Dabei wurden Teiglinge langsam bei -0,14 °C / min und schnell bei -1,75 °C / min gefrostet. Dabei ergaben sich bei schnellem Frosten Volumsverluste von nahezu 70 %, beim langsamen Gefrieren Verluste von 60 %, weshalb die Autoren Zweiteres als idealer beschreiben. Weiters führen sie eine Zunahme der Festigkeit und einen Verlust an Elastizität durch rasches Frosten an.

2.5 Teilgebackenes Brot

Die schrittweise Entwicklung des Marktes von gefrorenen Teiglingen hin zu teilgebackenem Brot, das erst bei Bedarf aufgebacken wird, hat vielerlei Gründe. Auf der einen Seite hat sich das Konsumverhalten in den letzten Jahren und Jahrzehnten stark verändert: Die Kunden verzehren generell mehr - vor allem aber auch immer mehr Backwaren - außer Haus, gleichzeitig aber schrumpfen auch die gekauften Mengen an Brot und Gebäck durch die Zunahme an Single-Haushalten. Andererseits steigt die Konzentration in der Backbranche, da die Zahl der Produktionsstätten stetig sinkt, während die Anzahl der Verkaufspunkte zunimmt (Lösche, 2003).

Ein weiterer Grund für die Entwicklung hin zu teilgebackenem Brot sind bei teilgegarnten Produkten die höheren Anforderungen an die Weizenmehlqualität, die Frost- und Auftaubedingungen und das schwierigere Handling der aufgetauten Teiglinge (Rosell

and Gómez, 2007).

Das Teilbacken, auch Unterbruchmethode genannt (Lösche, 2003), weicht bis zum Backprozess nicht von der konventionellen Brotherstellung ab, wobei durch Studien optimierte Gärbedingungen eruiert wurden (Rosell and Gómez, 2007).

Fik and Surowka (2002) zeigten in ihren Untersuchungen, dass die besten Resultate des Endprodukts durch ein Teilbacken von 74 bis 86 % der Gesamtbackzeit erzielt werden können. Geringere Teilbackzeiten resultierten in schlechteren texturalen und sensorischen Eigenschaften, vor allem nach längerer Tiefkühl Lagerung der teilgebackenen Brote.

Nach dem Teilbackprozess, der zwar die Brotkrume, nicht aber Kruste ausbildet, besteht die Möglichkeit der Lagerung bei niedrigen Temperaturen (2 - 6 °C), wobei diese zeitlich stark begrenzt ist. Dies kann durch Anwendung einer Schutzgasatmosphäre (40% CO_2 und 60% N_2) oder durch Lagerung in Polyethylen-Polyamid-Polyethylen-vinylalkohol-Beuteln mit 70% CO_2 erfolgen. Am häufigsten eingesetzt wird hingegen die Frostung und anschließende Tiefküllagerung der teilgebackenen Brote (Rosell and Gómez, 2007).

Die Ursachen für das Splintern oder Abplatzen der Kruste, auch als crust flaking bekannt, werden in der Literatur ausführlich beschrieben. Mögliche Gründe dafür sind ein thermo-mechanischer Schock, das Austrocknen der Kruste und die Akkumulierung von Eiskristallen unter der Kruste. Hierfür können das Einbringen von Schwaden zu Beginn des ersten Backvorgangs und das Auskühlen der Produkte vor dem Frosten Abhilfe schaffen (Almeida et al., 2016).

Teilgebackene Brote ähneln bezüglich ihrer sensorischen und texturalen Eigenschaften frischem Brot, wiewohl die Festigkeit der Krume mit der Dauer der Tiefkühl Lagerung ansteigt. Diese Einbußen können durch Zusatz hoher Hefedosagen, pflanzlicher Fette oder durch Hydrokolloide ausgemerzt werden (Rosell and Gómez, 2007).

2.6 Einsatz von Emulgatoren, Hydrokolloiden und Fasern

Aus gefrorenen Teiglingen können relativ einfach und ohne entsprechende Fachkräfte den ganzen Tag frisches Brot und Gebäck gebacken werden. Dies wird durch intensive Nutzung der Tiefkühltechnologie ermöglicht. Um Qualitätseinbußen, die während des Gefrier- und Lagerungsprozesses auftreten, zu minimieren, erfolgt der Einsatz von Emulgatoren und Hydrokolloiden (Sungur and Ercan, 2013).

2.6.1 Emulgatoren und deren Wirkungsweise

Generell sind Emulgatoren essentiell für den Backprozess und finden daher bereits seit langem Einsatz in der Backbranche (Kohajdova et al., 2009).

Emulgatoren gehören der Klasse der grenzflächenaktiven Stoffe an und ermöglichen die Bildung einer Emulsion zweier miteinander nicht mischbarer Flüssigkeiten.

Chemisch handelt es sich dabei um Fettbestandteile, die sowohl hydrophile als auch lipophile Eigenschaften besitzen. Emulgierende Substanzen werden nach ihrer natürlichen oder synthetischen Herkunft, ihren Löslichkeitseigenschaften, den vorhandenen funktionellen Gruppen, dem HLB-Wert (hydrophilic-lipophilic-balance) und dem Potential für Ionisierungen eingeteilt. Emulgatoren führen bei Einsatz in Backwaren zur Verbesserung der Teighandhabung, der Hydrationsrate und Wasseraufnahme und zur Erhöhung der Gärtoleranz. Weiters können auch feinere und homogenere Krumenstruktur, hellere Krumenfarbe, besseres Gashaltevermögen und besserer Ofentrieb, höheres Produktvolumen und längere Frischhaltung erzielt werden (Zhou, 2014).

Der Einsatz von Emulgatoren wirkt sich einerseits durch die Interaktion mit Stärkemolekülen positiv auf die Weichheit und die Haltbarkeit aus, andererseits führt er durch Reaktion mit Glutenproteinen zur Emulgierung und Fettverteilung, was zu mehr Volumen, besserer Stabilität und Struktur im Produkt führt (Zhou, 2014).

Emulgatoren werden entweder zur Teigstraffung eingesetzt (z.B. Diacetylweinsäureester von Mono- und diglyceriden) oder um eine weiche und geschmeidige Krume zu erzielen (z.B. durch Monoacylglycerid). Manche Emulgatoren (z.B. Natrium stearoyl-2-lactylat) weisen hingegen beide Funktionalitäten auf (Kohajdova et al., 2009).

Die Mechanismen der Teigstraffung durch Emulgatoren sind noch nicht restlos erforscht, wobei zwei verschiedene Theorien versuchen dies zu erklären: Die erste Theorie besagt, dass es dabei zu Komplexbildungen zwischen Emulgator und Glutenproteinen kommt. Dabei löst das Binden des Emulgators an die hydrophobe Proteinoberfläche eine Aggregation aus und das hierdurch gestärkte Proteinnetzwerk resultiert in besserer Textur und erhöhtem Produktvolumen. Die zweite Theorie stützt sich auf die Fähigkeit polarer Emulgatoren, flüssig-kristalline Phasen in Wasser auszubilden, die mit Gliadin assoziieren. Diese Strukturen geben dem Teig Elastizität, wodurch die Gasbläschen expandieren können, was sich in weiterer Folge in erhöhtem Brotvolumen auswirkt (Kohajdova et al., 2009).

Die chemischen und physikalischen Veränderungen, die während der Lagerung von frischem Brot und Gebäck auftreten, werden unter dem Begriff Altbackenwerden subsumiert und beinhalten die Verluste an Frische, Knusprigkeit der Kruste und eine Zunahme der Krumenfestigkeit (Kohajdova et al., 2009). Dem entgegenwirken können Emulgatoren oder Tenside durch ihre Interaktionen mit den Stärkemolekülen, indem Komplexe mit Amylose gebildet werden, die in Wasser unlöslich sind. Dadurch verringert sich der Amyloseanteil, der beim Verkleisterungsprozess während des Backens zur Verfügung steht. In weiterer Folge können Stärkemoleküle weniger Wasser binden, welches für die Interaktion mit Glutenproteinen zur Verfügung steht. Die komplexierte Amylose kann während des Abkühlens nach dem Backvorgang nicht wieder rekristallisieren, wodurch die Qualitätsminderung des Altbackenwerdens des Produkts verhindert wird (Zhou, 2014).

Mono- und Diglyceride von Speisefettsäuren (E 471) finden bereits lange Anwendung bei der Herstellung von Brot und Gebäck, GMS (Glycerinmonostearat) wird am häufigsten eingesetzt. Typische Dosagen liegen bei unter 1 % bezogen auf die Mehlmenge, wobei die Zugabe in Form einer gelförmigen Dispersion in Wasser gegenüber der Pulverform die Effektivität erhöht. In Wasser liegen abhängig von der Konzentration verschiedene kristalline Formen von GMS vor, für Backprozesse ist dabei die alpha-kristalline Form am besten geeignet (Cauvain and Young, 2006a).

Diacetylweinsäureester von Mono- und Diglyceriden, DAWE, (E 472e) im Englischen auch als DATEM (Diacetyl tataric acid esters of mono- and diglycerids) bezeichnet, findet ebenso häufig Einsatz in Brot- und Gebäckrezepturen S.304 (Zhou, 2014). Es handelt sich dabei um einen anionischen Öl/Wasser Emulgator, der zur Verbesserung der Knettoleranz, des Gashaltevermögens und zur Erhöhung des Teigvolumens beiträgt. Typische Dosagen bezogen auf Mehl sind bis zu 0,3 % (Kohajdova et al., 2009). Zhou (2014) geben höhere Mengen an und nennen 0,25 - 0,5 % als adäquate Mengen bezogen auf Mehl.

Ravi et al. 2000 beschreiben die größtmöglichen Zunahmen des Produktvolumens bei Verwendung von DAWE bei schwachen Weizenmehlen. Beim Einsatz in gefrorenen Teiglingen werden neben erhöhtem Teigvolumen auch größere Verhältniszahlen, z.B. Höhe/Breite-Verhältnis, geringere Krumenfestigkeit und verzögertes Altbackenwerden des Produkts beschrieben. Die Fähigkeit von DAWE als Krumenweichmacher rührt daher, dass der Emulgator mit Stärke, im speziellen mit linearen Amylosemolekülen aber auch mit Amylopektin interagiert und Komplexe bildet (Cauvain and Young, 2006a). DAWE weist einen typischen Essigsäuregeruch und -geschmack auf und erreicht HLB-Werte von acht bis zehn. Weiters können Synergieeffekte erzielt werden, wenn DAWE und Ascorbinsäure gemeinsam eingesetzt werden (Zhou, 2014).

Lecithin (E 322) gehört als Phosphatidylderivat zur Gruppe der Glycerophospholipide und ist chemisch gesehen Phosphatidylcholin (Belitz et al., 2008).

Lecithin gilt als echter Emulgator und wurde als solcher zu allererst in Bäckereien eingesetzt. Es handelt sich dabei um ein Produkt natürlichen Ursprungs, wobei zwischen Soja-, Raps- und Sonnenblumenlecithin unterschieden wird. Der hydrophile Charakter von Lecithin kann durch Behandlung mit Wasserstoffperoxid oder Milchsäure weiter erhöht werden (Zhou, 2014). Sojalecithinhydrolysat bildet effektiv Komplexe mit Amylose und verzögert die Kristallisation von Weizenstärke und Amylopektin durch seine hohen Gehalt an Lysophospholipiden. Lecithine mit höheren Gehalten an Lysophospholipiden verhindern länger das Altbackenwerden der Produkte. Lecithin, das aus Hafer gewonnen wird, erhöhte diese Kapazität noch weiter, hatte aber keine Effekte auf die Kristallisation von Stärkegelelen. (Kohajdova et al., 2009).

2.6.2 Hydrokolloide und deren Wirkungsweise

Hydrokolloide zählen zur Gruppe der am häufigsten eingesetzten Zusatzstoffe in der Lebensmittelbranche (Kohajdova et al., 2009).

Abb. 20 zeigt den aktuellen Markt und das Verkaufsvolumen für Hydrokolloide. Der Begriff umfasst alle Polysaccharide, die aus Pflanzen, Seegrass und mikrobiellen Quellen extrahiert werden, aber auch Gummi aus Pflanzenexudaten und chemisch modifizierte Biopolymere aus Cellulose (Kohajdova et al., 2009).

Es handelt sich dabei um Biopolymere mit hohen Molekulargewichten und hydrophilen Strängen, die durch ihre kolloidalen Eigenschaften oft das bis zu Hundertfache ihres Eigengewichts an Wasser binden können (Mikuš et al., 2011).

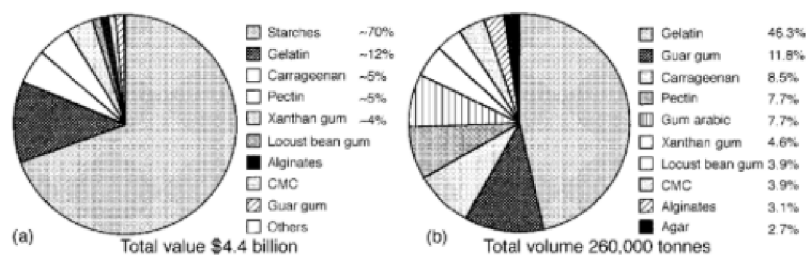


Abb. 20: Weltjahresumsatz- und Weltjahresabsatzwerte für Hydrokolloide (Phillips, G. O. Williams, 2009)

Da Hydrokolloide sowohl geschmacks- als auch geruchsneutral sind, hat ihr Einsatz keine negativen Auswirkungen auf das Endprodukt und die Aromen der restlichen Zutaten können sich frei entfalten (Kohajdova et al., 2009).

Hydrokolloide werden Lebensmitteln zugesetzt, da sie die Emulsionen, Suspensionen und Schäume stabilisieren und die Stärkegelatinisierung modifizieren. Sie gewinnen vor allem bei Backwaren an Bedeutung, da sie nicht nur die Teighandhabung vereinfachen, sondern auch die Qualität des Produkts verbessern und eine längere Haltbarkeit ermöglichen (Zhou, 2014).

Bei Verwendung von unter 1% Hydrokolloid bezogen auf Mehl können Wasseraufnahmefähigkeit und Produktvolumen erhöht und die Teigfestigkeit und Stärkeretrogradation gesenkt werden. Weiters unterbinden die stark hydrophilen Eigenschaften von Hydrokolloiden das Wachstum von Eiskristallen während der Tiefkühlagerung und die Migration von Wasser aus der Krume in die Kruste. Dies führt zu verbesserter Gefrier-/Taustabilität (Kohajdova et al., 2009).

Die Änderungen der Verkleisterungs- und rheologischen Eigenschaften der Stärke hängen stark vom eingesetzten Hydrokolloid ab. Aus vielen verschiedenen Einflussfaktoren gelten die molekulare Struktur und/oder ionischen Ladungen der Hydrokolloide und der Stärkemoleküle als die beiden wesentlichsten (Kohajdova et al., 2009).

Guarkernmehl (E 412) gehört zur Gruppe der Galactomannane und wird aus Leguminosensamen gewonnen. Es handelt sich dabei um ein lösliches, nicht ionisches Poly-

saccharid Achayuthakan 2008, seine weitverzweigte Struktur ermöglicht gute Löslichkeitseigenschaften (Mikuš et al., 2011). Guar wird in Bäckereien zur Verbesserung der Knet- und Rezepturtoleranz, zur Verlängerung der Haltbarkeit und zur Vermeidung von Synärese bei tiefgekühlten Backwaren und Kuchenfüllungen eingesetzt. Untersuchungen von Ribotta et al. (2001) ergaben, dass der Einsatz von Guarkernmehl in gefrorenen Teiglingen zu mehr Volumen und einer offeneren Krume führt. Mandala et al. (2005) hingegen beschreiben die Verwendung als nachteilig, da ihre Testreihen eine Verringerung des spezifischen Volumens und der Porosität und eine zähe und dünnere Kruste ergab (Kohajdova et al., 2009).

Xanthan (E 415) ist ein extrazelluläres Polysaccharid, das vom Bakterium *Xanthomonas campestris* mikrobiell produziert wird (Mikuš et al., 2011). Produkte, bei denen dieses Hydrokolloid eingesetzt wird, erreichen nicht nur größere Produktvolumina, sondern neigen auch weniger zum Bröseln der Krume und sind weniger anfällig für Schäden während des Transports. Verbesserungen in Volumen, Porosität der Krume und Weichheit der Kruste werden nur bei Verwendung von niedrigen Konzentrationen (0,16 % bezogen auf Mehl) erreicht. Darüberhinausgehender Einsatz führt zu Volumsabnahmen, verglichen mit Proben ohne Xanthan (Kohajdova et al., 2009).

Karaya Gummi (E 416), auch als indischer Tragant bezeichnet, gehört zur Gruppe der Pflanzengummi und kann aufgrund seiner Eigenschaften zur Verbesserung der Toleranz gegenüber Abweichungen bezüglich Wasserdosage und Knetdauer eingesetzt werden. Zusätzlich verlängert es durch seine Wasserbindungskapazität die Haltbarkeit von Backwaren (Kohajdova et al., 2009).

Bei Gummi arabicum (E 414) handelt es sich um ein Heteropolysaccharid mit 2 % Proteinanteil, das gute emulgierende Eigenschaften aufweist. Alleinstellungsmerkmal unter den Hydrokolloiden ist, dass bis zu 50 Massenprozent in Wasser löslich sind. Die Viskosität ist stark pH abhängig (Mikuš et al., 2011). Studien von Asghar et al. (2005) zeigten, dass der Einsatz von Gummi arabicum im Vergleich zu Hydroxymethylcellulose bei gefrosteten Teiglingen in Bezug auf Volumen und innere und äußere Erscheinung der Backwaren bessere Resultate liefert.

Cellulose stellt das Ausgangsmaterial für die in der Lebensmittelbranche weitverbreiteten Derivate Hydroxypropylmethylcellulose, HPMC, (E 464) und Carboxymethylcellulose, CMC, (E 466), auch als Cellulosegummi bezeichnet, dar. Weiters finden auch Methylcellulose und Methylethylcellulose Anwendung. Während Hydroxypropylmethylcellulose kaltwasserlöslich ist, löst sich Carboxymethylcellulose sowohl in kaltem als auch in warmem Wasser S.710 (Phillips, G. O. Williams, 2009). Die Veretherung der Hydroxylgruppen der Cellulose erhöht die Wasserlöslichkeit und verleiht zusätzlich Affinität zur nicht-polaren Phase des Teiges. Diese Bifunktionalität gewährleistet die Stabilität des Multiphasensystems Teig (Kohajdova et al., 2009).

Gängige Dosagen für Carboxymethylcellulose sind 0,1 - 0,2 %, bei Verwendung von Hydroxypropylmethylcellulose werden 0,1 % bezogen auf Mehl eingesetzt, um Auszugs- aber auch Vollkornmehle aufzubessern (Mikuš et al., 2011). Um die physikalische Zerstörung des Teiges durch Eiskristalle während der Tiefkühl Lagerung zu vermindern, wird meist das Hydrokolloid HPMC eingesetzt (Mikuš et al., 2011). Zusätzlich zur Wasserretentionskapazität wird eine mögliche Inhibierung der Amylopektinretrogradation beschrieben (Kohajdova et al., 2009).

Der Einsatz von Hydrokolloiden kann entweder alleine oder in unterschiedlichen Kombinationen erfolgen, um spezifische Synergien zwischen den jeweiligen funktionellen Eigenschaften zu erzielen (Kohajdova et al., 2009).

Hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), Natriumalginat oder auch Xanthan verbessern die Teigstabilität während der Gare. Carbocymethylcellulose (CMC) und HPMC ermöglichen durch kombinierten Einsatz mit Enzymen und Emulgatoren ein erhöhtes Produktvolumen und verzögertes Altbackenwerden (Zhou, 2014).

Für Betriebe, die mit gefrorenen Teiglingen arbeiten, sind Hydrokolloide, wie z.B. HPMC, als Brotverbesserungszusatz von wachsender Bedeutung, da sie die physikalische Zerstörung von gefrorenen und teilgebackenen Teiglingen durch Eiskristallbildung verringern (Sungur and Ercan, 2013).

2.6.3 Verwendete Emulgatoren und Hydrokolloide in Backwaren

In der Backbranche findet eine breite Palette an, als solche bezeichneten, Emulgatoren Anwendung, wobei es sich nur bei wenigen tatsächlich um Stoffe mit emulgierender Wirkung handelt, die meisten eingesetzten Präparate sind der Klasse der Tenside zuzuordnen (Zhou, 2014).

Sungur and Ercan (2013) studierten die Auswirkungen der Kombination von Hydrokolloiden und Tensiden in gefrosteten und gelagerten Teiglingen. Dabei fanden sie eine optimale Zusammensetzung folgender Zusatzstoffe für ein proteinreiches Mehl: 0,5 % Guarkernmehl, 1,5 % Carboxymethylcellulose, 1,5 % Johannisbrotkernmehl, 0,75 % DAWE. Verglichen mit den Kontrollproben ohne Zusätze ergaben sich dadurch selbst nach zwölf-wöchiger TK-Lagerung bessere Endproduktvolumina und geringere Effekte des Altbackenwerden.

Ein direkter Vergleich von Diacetylweinsäureester und Guarkernmehl zeigt, dass DAWE sowohl bei ungefrosten als auch bei länger tiefkühl gelagerten Teiglingen größere Volumina im Endprodukt ermöglicht. Abb. 21 zeigt die unterschiedlichen Auswirkungen der beiden Zusatzstoffe. DAWE verbessert die Fähigkeit des Teiges seine Form und Struktur während der Vorgänge des Auftauens, der Gare und des Backens zu behalten. Dies ist in der gesteigerten Qualität der Backwaren, die aus gefrosteten Teiglingen hergestellt werden, deutlich erkennbar. verantwortlich dafür zeichnet eventuell ein Gliadin-DAWE-Glutenin-Komplex (Selomulyo and Zhou, 2007).

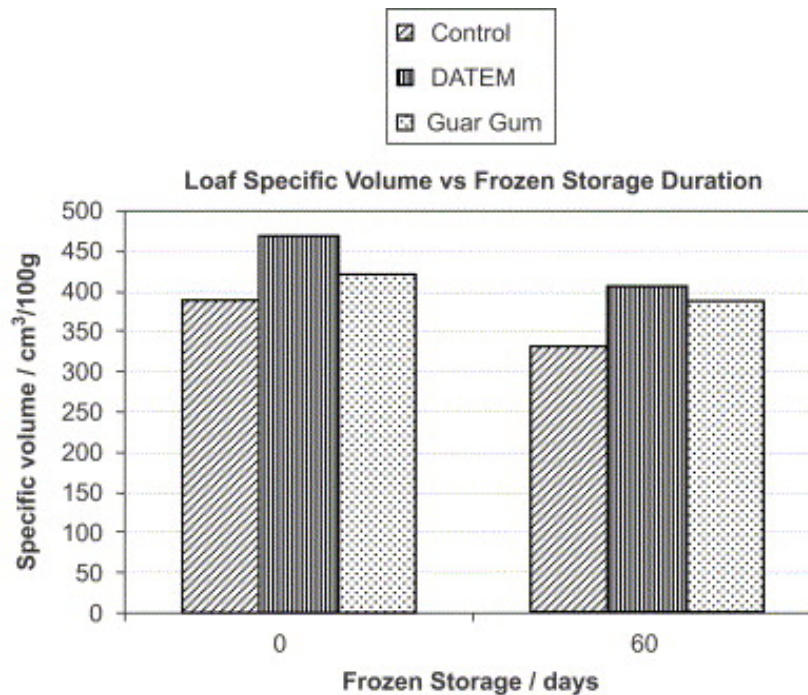


Abb. 21: Vergleich der Auswirkungen von Diacetylweinsäureester und Guarkernmehl auf die Volumina von frischen und länger gelagerten Tiefkühlteiglingen (Selomulyo and Zhou, 2007)

Eine Recherche im Internetportal www.anna-gold.at zeigte, dass in nahezu allen Backmischungen Emulgatoren eingesetzt werden (siehe Abb. 22). Bei 43 Backmischungen, die Emulgatoren enthielten waren in 28 davon E 472e Mono- und Diacetylweinsäureester von Speisefettsäuren enthalten, in 26 Mischungen E 322 Lecithin, 14 davon mit Sojalecithin. Weiters fand neun Mal E 471 Mono- und Diglyceride von Speisefettsäuren Einsatz und vier Mal E 466 Carboxymethylcellulosen als Hydrokolloid und 4 mal E 468 modifizierte Carboxymethylcellulose (Gold A., 2015).

2.6.4 Verwendete Fasern in Backwaren

Die American Association of Cereal Chemists definiert dietary fibre (DF) als Summe aller essbaren Bestandteile einer Pflanze oder analogen Kohlenhydraten, die den Dünndarm unverdaut passieren, um im Dickdarm teilweise oder zur Gänze verdaut zu werden. DF umfasst Polysaccharide, Oligosaccharide, Lignin und andere assoziierte pflanzliche Substanzen (Dhingra et al., 2012).

Die allgemeine Einteilung der Fasern erfolgt in wasserlösliche - dazu zählen Pektine, Gummis und Schleimstoffe, und wasserunlösliche - zu denen Cellulose, Hemicellulosen und Lignin zählen.

Fasern werden industriell aus in anderen Prozessen anfallenden großen Mengen an Abfällen, wie z.B. Weizenstroh, Sojabohnenschalen, Haferspelzen, Erdnuss- und Mandelhäutchen oder Obst- und Gemüsetrestern, gewonnen und erlangen dadurch als Wertstoff immer mehr an Bedeutung (Dhingra et al., 2012). Der Weltmarkt für DF beträgt

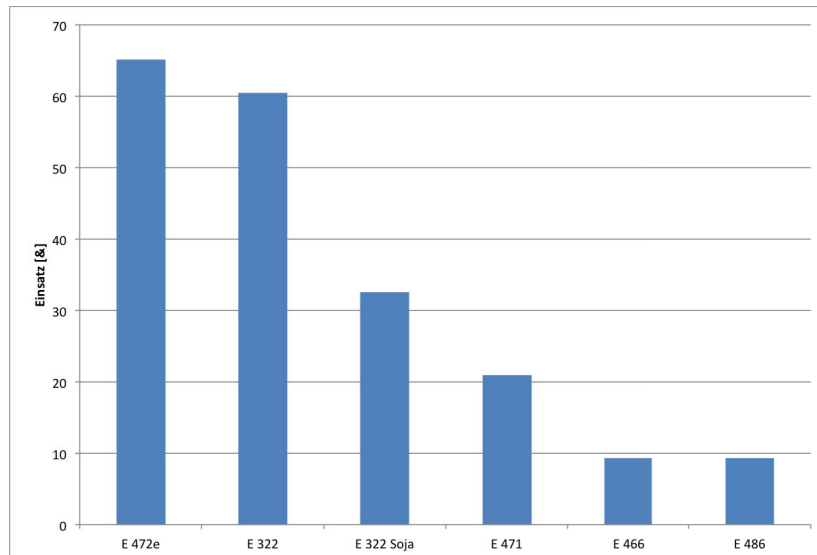


Abb. 22: Einsatzhäufigkeit von Emulgatoren und Hydrokolloiden in Backmischungen

2015 167,65 Millionen Dollar und wird bis 2020 auf 277,5 Millionen Dollar anwachsen (Markets and Markets, 2015).

Neben bekannten gesundheitlichen Aspekten bringt der Einsatz pflanzlicher Fasern auch technologische Vorteile bei der Brotherstellung mit sich. Das erhöhte Wasserbindungsvermögen verzögert das Altbackenwerden und kann dadurch zur längeren Haltbarkeit der Produkte beitragen. Häufigen Einsatz bei der Brotherstellung finden laut Literatur Reis-, Mais-, Soja- und Haferfasern, wobei die der Ballaststoffgehalt, die Retention von Wasser nach dem Backen und auch die Kosten eine wesentliche Rolle spielen. Durch die Verringerung der Partikelgröße kann durch die Vergrößerung der Oberfläche die Wasseraufnahmefähigkeit der Fasern erhöht werden (Kurek and Wyrwisz, 2015).

Bei der Farbe von Brot und Gebäck gelten eine gold-braune Kruste und eine cremig-weiße Krume als Qualitätsmerkmale. Studien zeigten, dass durch Zusatz von Fasern die Kruste bräunlicher erscheint. Dies wird hervorgerufen durch Oxidationsreaktionen und die Beeinflussung der produzierte Melanoide, den wesentlichsten Indikatoren der Maillard-Reaktion.

Psyllium wird bereits bei der Herstellung von glutenfreien Broten eingesetzt. Durch seine Fähigkeit Filme zu bilden und sein hohes Wasserbindevermögen kann dadurch die Haltbarkeit verlängert werden (Cappa et al., 2013).

3 Aufgabenstellung

Der vorangegangene Literaturteil führte bereits zahlreiche Einflussfaktoren auf die Qualität von Tiefkühlteiglingen und teilgebackenen Broten ins Treffen. Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit war es, die einflussreichsten Prozessfaktoren auf Teig- und Brotqualität zu ermitteln und diese entsprechend zu optimieren. Es galt, die komplexen Auswirkungen der verschiedenen Prozesse des Knetens und der Gare auf die Produkteigenschaften von teilgegarten, anschließend zwei Wochen tiefgekühlt gelagerten und danach fertigegarten Teiglingen festzustellen. Die Garversuche wurden auf Basis eines statistischen Versuchsplans durchgeführt. Als Referenz dienten jeweils die unter den selben Bedingungen hergestellten frischen Teiglinge. Zusätzlich sollte herausgefunden werden, ob der pH-Wert ein geeignetes Steuerungsinstrument darstellt, um Aussagen über den Grad der Teigentwicklung treffen zu können.

In weiteren Versuchen wurden die Einflüsse pflanzlicher Fasern im Vergleich zu in Backwaren häufig eingesetzten Hydrokolloiden auf die gleichen Parameter bei halbgebackenen, vier Wochen tiefkühlgelagerten und abschließend fertiggebackenen Produkten getestet. Hier sollten verschiedene Mischungen von Weizenfasern und Psyllium unterschiedlicher Korngrößen und deren Auswirkung untersucht und entsprechend ausgewertet werden, um statistisch abgesicherte Aussagen treffen zu können. Dazu mussten wissenschaftlich reproduzierbare Backversuche geplant, durchgeführt und die statistisch evaluierten Ergebnisse interpretiert werden. Sowohl die Rezeptur als auch die Lagerzeiten wurden vom Institut für Lebensmitteltechnologie in Abstimmung mit bereits durchgeführten Studien vorgegeben.

4 Material und Methoden

4.1 Material

Für die Versuche im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden drei handelsübliche Mehle, davon zwei konventionelle und ein Bio-Weizenmehl, verwendet. Die Probenmehle wurden nach ihrer Anlieferung bis zur jeweiligen Verwendung im Kühlraum des Technikums bei 4 °C gelagert. Tab. 4 listet die Hersteller, deren Angaben und den jeweiligen Einsatzzweck auf.

Tab. 4: Auflistung der Probenmehle, deren Hersteller, deren Einsatz bei den unterschiedlichen Versuchen und der verwendeten Probencodes

Proben-code	Hersteller	Type	MHD	Knet-	Gar-	Teilback-Versuch
PC	Ludwig Polsterer	W 700 Extra	9.9.16	+	+	-
E	GoodMills	Bio W 700	16.9.16	+	-	-
RX	GoodMills	W 700 spezial	24.1.17	-	-	+

Die im Folgenden aufgelisteten pflanzlichen Fasern und Hydrokolloide wurden beim Teilbackversuch eingesetzt und von J. Rettenmaier & Söhne GmbH + Co KG (Deutschland) zur Verfügung gestellt. Die entsprechenden Datenblätter der verwendeten Pflanzenfasern sind unter Pkt. 10 angehängt.

- BBL 100 (zusammengesetzt aus Psyllium, Weizen- und Kartoffelfasern)
- BBL 500 (zusammengesetzt aus Psyllium und Weizenfasern)
- Weizenfaser WF 200
- Weizenfaser WF 600
- Weizenfaser WF 600-30
- Guarkernmehl
- Carboxymethylcellulose CMC
- Compound (zu gleichen Teilen zusammengesetzt aus Psyllium 95, Bambusfaser BAF 90 und Weizenfaser WF 600)

4.2 Rohstoffanalysen

4.2.1 Feuchtigkeitsbestimmung

Prinzip

Der Trockensubstanzgehalt als Summe aller nicht flüchtigen Substanzen der Probe wird mittels Trocknung bei erhöhter Temperatur und anschließendem Rückwiegen gravimetrisch ermittelt. Unter Berücksichtigung der Probenbeschaffenheit gilt die prozentuelle Differenz zwischen 100% und Trockensubstanzgehalt als Wasser- oder Feuchtigkeitsgehalt (Matissek et al., 2014).

Material und Geräte

- Analysenwaage (Sartorius, BP210S, Deutschland)
- Aluminium-Wägeschalen
- Exsikkator (Schott, Deutschland)
- Trockenschrank (Memmert, UFE 600, Deutschland)

Durchführung

Die Feuchtigkeitsbestimmung erfolgte für die Probenmehle PC und E im Dreifachansatz.

In zuvor getrocknete, ausgekühlte und tarierte Wägeschalen wurden 3 g ($\pm 0,1$ g) Probenmaterial eingewogen und über Nacht bei 105 °C (± 1 °C) bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Nach dem Auskühlen im Exsikkator wurde der Rückstand ausgewogen und mittels Gl. (9) der Feuchtigkeitsgehalt der Proben errechnet.

$$\text{Wassergehalt [\%]} = 1 - \frac{m_2 - m_1}{EW} * 100 \quad (9)$$

m_1 ... Wägeschale leer [g]

m_2 ... Auswaage [g]

EW ... Einwaage [g]

4.2.2 Aschebestimmung (ICC-Standard Nr. 104)

Prinzip

Die Probe wird nach eventueller Vorveraschung im Muffelofen bei 550 °C direkt trocken verascht. Der dadurch erhaltene und durch Differenzwägung bestimmte Rückstand an Mineralstoffen und eventuellen Verunreinigungen durch unvollständige Verbrennung stellt den Gehalt an Asche einer Probe, auch als Glührückstand bezeichnet, dar. Der

Aschegehalt wird zur Ermittlung der Typenzahl von Mehlen herangezogen (Matissek et al., 2014).

Material und Geräte

- Analysenwaage (Sartorius, BP210S, Deutschland)
- Muffelofen (ELF 11/68, Carbolite, England)
- Schnell-Verascher SVR/E
- Porzellantiegel
- Tiegelzange

Durchführung

Die Aschebestimmung erfolgte für die Probenmehle PC und E im Dreifachansatz. Zu Beginn wurden sechs saubere und leere Porzellantiegel für drei Stunden im Muffelofen bei 550 °C ausgeglüht und nach entsprechendem Auskühlen im Exsikkator bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und die Leergewichte notiert. Nach dieser Vorbereitung erfolgte jeweils die Einwaage der Probe von etwa 2,0 g, wobei die exakten Einwaagen samt Tiegelnummern notiert wurden. Die Vorveraschung der Proben wurde im Vorverascher durchgeführt, wobei die Stufen 20, 40, 60 und 80% jeweils so lange gehalten wurden, bis sich kein Rauch mehr entwickelte. Danach wurden die Proben in den Tiegeln im Muffelofen bei 550 °C für drei Stunden verascht, bis der Rückstand eine weiße Farbe aufwies.

Nach erfolgtem Abkühlen des Muffelofens auf 300 °C und Auskühlen der Tiegel auf einer feuerfesten Unterlage wurden diese im Exsikkator bis zur Gewichtskonstanz gelagert, die Auswaagen der Tiegel notiert und der Aschegehalt der Probe mittels Gl. (10) ermittelt.

$$\text{Aschegehalt [\%]} = \frac{m_2 - m_1}{EW} * 100 \quad (10)$$

m_1 ... Tiegel leer [g]

m_2 ... Auswaage Tiegel und Probe nach Veraschung [g]

EW ... Einwaage [g]

4.2.3 Farinographische Untersuchung (ICC-Standard Nr. 179)

Prinzip

Die Untersuchung mittels Flourgraph E6 erfolgte für die Probenmehle PC und E in

Dreifachbestimmung.

Nach Ermittlung der Wasseraufnahmefähigkeit des Probenmehls zur Erreichung einer definierten Konsistenz von 500 Haubelt-Einheiten, wird ein Teig mit jener eruierten Wassermenge im Knetter zubereitet. Der dabei den Knetschaufeln entgegengesetzte Widerstand wird als Kraft-Zeit-Diagramm ausgegeben (Belitz et al., 2008).

Material und Geräte

- Analysenwaage (Sartorius, BP210S, Deutschland)
- Flourgraph E6 inklusive Wasserbad (Haubelt, Deutschland)
- Software Haubelt
- Bürette 75 mL
- Plastikspatel

Durchführung

Beim Vortest zur Bestimmung der Wasseraufnahmefähigkeit des Mehls wurden unter Berücksichtigung der Feuchtigkeit, wie unter Punkt 4.2.1 beschrieben, in etwa 5 g eingewogen, das Gerät gestartet, und nach wenigen Sekunden zur Nullpunktfindung das Mehl in den Knetraum des Flourgraph zugegeben. Während der einminütigen Durchmischung und Temperierung des Mehls auf 30 °C wurde die Bürette mit ebenso auf 30 °C temperiertem Wasser bis zum Überlauf gefüllt. Sofort danach wurde so viel Wasser zugegeben, dass sich die blaue Mittelwertkurve an die rote 500 HE-Einheiten-Linie annäherte. Bei Überschreiten der roten Linie wurde weiter Wasser zudosiert. Das Volumen an zugesetztem Wasser entspricht der Wasseraufnahmefähigkeit der Mehlprobe. Die Untersuchung wurde in Dreifachbestimmung durchgeführt. Nach Ende des fünfminütigen Vortests wurden die Knetarme und die Knetkammer wieder gereinigt.

Zur Bestimmung der Knetstabilität, der Entwicklungszeit und der Qualitätszahl wurde abermals die gleiche Menge Mehl wie für die Vortests eingewogen und nach entsprechendem Temperieren in der Knetkammer die im Vortest eruierte Menge an Wasser innerhalb einer Minute zugegeben. Danach wurde für weitere 19 Minuten geknetet und der Widerstand aufgezeichnet.

4.2.4 Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl (ICC-Standard Nr. 105/2)

Prinzip

Die Kjeldahl-Methode zur quantitativen Bestimmung des Proteingehalts beruht auf der Erfassung des Gesamtstickstoffgehalts der Probe. Der Ablauf gliedert sich schematisch in drei Schritte: Nach oxidativem Aufschluss der Probe mit konzentrierter Schwefelsäure und unter Zusatz eines Katalysatorgemisches, erfolgt die Bildung von Ammoniumsulfat. Weiters erfolgt mittels Wasserdampfdestillation die Überführung des durch

Zusatz von Natronlauge freigesetzten Ammoniaks in eine borsäurehaltige Vorlage. Abschließend wird mit Salzsäure-Maßlösung titriert und mittels eruieter Verbräuche und unter Berücksichtigung eines Faktors (Weizenmehl $F = 5,7$) erfolgt die Berechnung des Proteingehalts (Matissek et al., 2014).

Material und Geräte

- Analysenwaage (Sartorius, BP210S, Deutschland)
- Aufschlussapparatur (Büchi Digest System K-437, Schweiz)
- Destillationsapparatur (Büchi Distillation Unit B-323, Schweiz)
- Neutralisationseinheit (Büchi Scrubber B-414, Schweiz)
- Wägeschälchen
- Glasperlen, groß
- Erlenmeyerkolben 250 mL
- Aufschlusskolben (Büchi, Schweiz)
- NaOH 32 % (Roth, Natronlauge 32 %, Deutschland)
- Borsäure (Roth, Borsäure 4 %, Deutschland)
- Titrierautomat (Metrohm, Dosimat 775, Österreich)
- Kjeldahltabletten (Büchi, Missouri 11057982, Schweiz)
- konz. Schwefelsäure (VWR, Schwefelsäure 95 %, Deutschland)
- HCL Maßlösung 0,1 M (Ridel-de Haen, Salzsäure 0,1 M 38280, Deutschland)
- Mischindikator nach Sher (Büchi, Schweiz)

Durchführung

Zu Beginn wurden die eingewogenen Mehlproben in die Kjeldahlkolben überführt, das Gewicht der Wägeschälchen rückgewogen und jeder Kolben mit einer Kjeldahltablette, einer Glasperle und 20 mL konzentrierter Schwefelsäure versetzt. Um den Aufschluss durchführen zu können, wurden die Kolben in die Aufschlussapparatur eingesetzt und mit der Abzugseinheit fest verbunden. Die Temperatur wurde schrittweise auf 200 °C und anschließend in 50 °C Schritten bis auf 420 °C erhöht, wobei die erreichten Temperaturen für 20 Minuten gehalten wurden. abschließend wurde die Ansätze weitere 60 Minuten bei 420 °C gekocht. Laut Gl. (11) wurde der Proteingehalt berechnet.

$$\text{Proteingehalt}(\%) = \frac{(V - BW) * 1,4008 * F * 100}{EW} \quad (11)$$

V ... Verbrauch an HCl-Maßlösung für Probe [mL]

BW ... Verbrauch an HCl-Maßlösung für Blindwert [mL]

F ... Umrechnungsfaktor zur Berechnung des Proteingehalts, für Weizenmehl $F = 5,7$

EW ... Einwaage [g]

$F = 1,4008$: 1 mL HCl-Maßlösung (0,1 mol / L) entspricht 1,4008 mg Stickstoff

4.2.5 Analyse der Verkleisterungseigenschaften mittels Rapid Visco Analyser (RVA)

Prinzip

Die Analyse der Verkleisterungseigenschaften erfolgte für die Probenmehle PC und E im Dreifachansatz laut AACC Methode 22-08 (American Association of Cereal Chemists, 2000).

Der Rapid Visco Analyser wird in Getreide- und Stärkeprodukten eingesetzt, um verschiedene Parameter, wie z.B. die Verkleisterungstemperatur oder die Viskosität, die mit den Stärkeverkleisterungseigenschaften korrelieren, zu ermitteln (Cozzolino, 2016). Dabei wird ein kontrolliertes Temperaturprofil beginnend bei 50 °C bis auf 95 °C und anschließendem Abkühlen auf 50 °C durchlaufen. Während des Erhitzens gelatinisiert die Stärke, wodurch die Viskosität ansteigt. Nach Erreichen der Peak viscosity sinkt die Viskosität durch das Aufplatzen und den Abbau der Stärkekörner. Die minimum viscosity ist ein Indikator der Gelstabilität bei höheren Temperaturen. Während des Kühlvorgangs steigt die Viskosität, hervorgerufen durch Amylose, erneut an. Die final viscosity kennzeichnet die Gelstärke bei niedrigen Temperaturen (Uthayakumaran and Wrigley, 2010).

Zu Beginn wird das Mehl-/Wassergemisch für 10 Sekunden bei 50 °C und 960 rpm homogenisiert und danach für eine Minute bei 50 °C und 160 rpm gehalten. Dann wird innerhalb von 3,7 Minuten auf 95 °C erhitzt, diese Temperatur für 2,5 Minuten gehalten und in 3,8 Minuten auf 50 °C abgekühlt, um diese Temperatur für 2 Minuten zu halten. Die Gesamtmessdauer eines Durchlaufs dauert 13 Minuten und ergibt die Parameter der peak, trough und final viscosity (Kaur et al., 2013). Abb. 23 veranschaulicht den Verlauf des RVA-Profiles.

Material und Geräte

- Analysenwaage (Sartorius, BP210 S, Deutschland)

- Rapid Visco Analyser mit PC (RVA 4500, Perten, Schweden)
- Metallprobengefäße für RVA (Perten, Schweden)
- Kunststoffrührarme für RVA (Perten, Schweden)
- RO-Wasser

Durchführung

Entsprechend der Feuchtigkeit der Probe wurde unter Verwendung der RVA-Software die zuzusetzende Wassermenge berechnet. Im Dreifachansatz wurden in das Metallprobengefäß jeweils 3,5 g ($\pm 0,01$ g) Mehlprobe und entsprechend der Probenfeuchtigkeit 25 bis 26 g ($\pm 0,01$ g) RO-Wasser eingewogen. Danach wurde der Kunststoffrührarm eingesetzt, um Klumpenbildung zu vermeiden, wurde damit für kurze Zeit händisch gerührt. Nach entsprechender Aufheizzeit des Geräts und Einstellung der RVA-Software wurde das Probengefäß mit dem Rührarm in das Gerät gestellt, eingeklickt und zum Start der Analyse die Probenhalterung in das Messgerät gedrückt. Nach dreizehnminütiger Messung wurde die Probe entsorgt und die Rohdaten aus der RVA-Software in Excel übernommen.

Bei den Teilbackversuchen wurden die unterschiedlich lange gelagerten und danach gefriergetrockneten Brote vermahlen und damit ebenso RVA-Analysen durchgeführt. Die Autoren Morad and D'Appolonia (1980); Xu et al. (1992); Yasungaga et al. (1968) zeigten eine Korrelation der Abnahme der peak viscosity mit zunehmender Alterung der Krume. Die bump Fläche (entspricht der Fläche unter der RVA-Kurve) wird mit den Interaktionen zwischen gelöster Amylose und vier vorrangig polaren Lipiden in Zusammenhang gebracht. Eine Viskositätsabnahme während des Abkühlens im Messprofil ergibt einen bump als Fläche unter der Kurve.

4.2.6 Bestimmung des Glutenindex mittels Glutomatic (ICC-Standard Nr. 155)

Prinzip

Der Gehalt an Feuchtkleber oder Feuchtgluten, der sich als plastisch-elastische Substanz aus den quellfähigen Weizenproteinen Gliadin und Glutenin mit Wasser bildet, stellt einen wesentlichen Qualitätsparameter der Mehqualität dar. Der ICC-Standard Nr. 155 sieht die Prozesse des Anteigens und Auswaschens des Klebers mittels Perten Glutomatic vor. Dabei erfolgt neben einer gesteuerten Zufuhr von 2% Kochsalzlösung auch eine zeitliche Steuerung des Anteigens und Auswaschens mittels standardisierter Knethaken. Im Gegensatz zur Handauswaschung wird der ausgewaschene Kleber in einer Zentrifuge getrocknet. Zur weiteren Ermittlung des Glutenindex wird zum Zentrifugieren ein spezieller Siebeinsatz verwendet, wobei die Menge an nicht durch

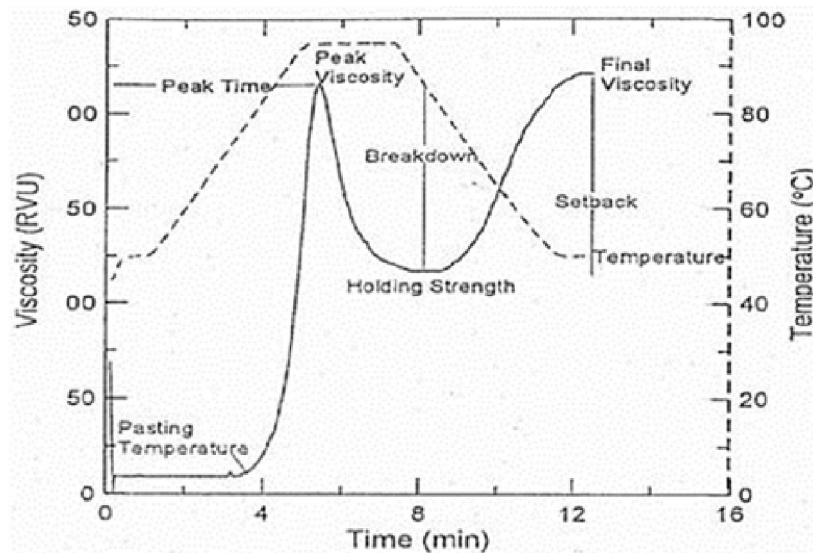


Abb. 23: RVA Verlaufscurve mit der Zeit in Minuten (Abszisse) und der Viskosität (rVU) und der Temperatur in °C (beides Ordinate) (Cozzolino, 2016); wichtige Parameter PT – peak time, PV – peak viscosity, HS – holding strength bzw. trough viscosity, FV – final viscosity

das Sieb gedrunenem Kleber im Verhältnis zur Gesamtklebermenge den Glutenindex bildet (Erling and Botterbrodt, 2003).

Material und Geräte

- Glutomatic 2200 inklusive Probenkammern und Sieben (Perten, Schweden)
- Zentrifuge 2015 mit Siebeinsätzen (Perten, Schweden)
- Feuchtglutentrockner Glutork 2020 (Perten, Schweden)
- Analysenwaage (Sartorius, BP210 S, Deutschland)
- Pinzette und Spatel
- Eppendorfpipette
- RO-Wasser in Spritzflasche
- 2 % NaCl-Lösung

Durchführung

Die Analyse erfolgte für die Mehlproben PC und E im Vierfachansatz, wobei jede Probe zweimal in jeder der beiden Waschkammern analysiert wurde. Zu Beginn wurde das Gerät zur Reinigung mit frisch hergestellter 2 % Kochsalzlösung einige Minuten gewaschen. Danach wurden zwei saubere und faltenfrei eingelegte Siebe mit jeweils

10 g ($\pm 0,01$ g) Mehlprobe möglichst gleichmäßig bedeckt. Anschließend wurden jeweils 4,8 mL Kochsalzlösung zugegeben und durch vorsichtiges Schwenken über der Probe verteilt. Nach Positionierung der beiden Waschkammern am Gerät wurde die Auswaschung parallel gestartet. Anfangs wurde für 20 Sekunden gemischt, dann startete der fünfminütige Auswaschprozess. Danach stoppte das Gerät, die Waschkammern wurden entnommen und die ausgewaschenen Teigklumpen wurden nach 30 Sekunden in entsprechenden Siebeinsätzen zentrifugiert (1 Minute bei 6000 rpm).

Die beiden durch die Zentrifugation erhaltenen Fraktionen wurden gesammelt und gewogen (FK_2 : ging durch Sieb durch, FK_1 : wurde im Sieb zurückgehalten). Abschließend wurden alle Fraktionen wieder vereint und im Glutotork für vier Minuten bei 150 °C getrocknet und abschließend gewogen (Serna-Saldiva, 2012).

Gl. (12), (13) und (14) zeigen die Formeln zur Berechnung der entsprechenden Parameter. Gl. (15) zeigt den auf 14 % Probenfeuchte normalisierten Feuchtklebergehalt.

$$\text{Feuchtklebergehalt } [\%] = \frac{FK_1 + FK_2}{EW} \quad (12)$$

$$\text{Trockenlebergehalt } [\%] = \frac{TK}{EW} \quad (13)$$

$$\text{Glutenindex} = \frac{FK_1}{FK_1 + FK_2} * 100 \quad (14)$$

$$\text{Feuchtklebergehalt korrr } [\%] = \frac{\frac{FK_1 + FK_2}{EW * (100 - 14)}}{(100 - Mf)} \quad (15)$$

FK_1 ... Masse Feuchtkleber durch Sieb nicht durchdrungen [g]

FK_2 ... Masse Feuchtkleber durch Sieb durchdrungen [g]

TK ... Masse Trockenkleber [g]

E ... Einwaage Mehlprobe [g]

Mf ... Feuchtigkeit der Mehlprobe [%]

4.3 Teiganalysen

4.3.1 Bestimmung der Teigklebrigkeit

Prinzip

Die Klebrigkeit von Teigen stellt einen wesentlichen rheologischen Parameter dar, der

durch wenige Testverfahren reproduzierbar ermittelt werden kann. Neben dem Doppelkompressionstest bringt vor allem die Messung mit dem SMS/Chen-Hoseney stickiness rig vergleichbare Resultate (Cauvain, 2015).

Die Teigprobe wird in eine definierte Probenkammer eingebracht, und der Teig durch den Deckel dieser extrudiert. Nach kurzer Entspannungsphase drückt die Messsonde auf den extrudierten Teig und die beim Abheben der Sonde vom Teig benötigte Kraft wird in Form eines Kraft-Zeit-Diagramms ausgegeben. Die Maximalkraft wurde als Kennzahl für die Klebrigkeit des Teiges herangezogen (Yildiz et al., 2012; Chen and Hoseney, 1995).

Material und Geräte

- Texture Analyser (Stable Micro Systems, Texture Analyser TA-XT2i, England)
- Software Texture Expert (Stable Micro Systems, England)
- SMS Chen/Hoseney Teigklebrigkeitszelle A/DSC (Stable Micro Systems, England)
- 5 kg Wiegezeile
- zylindrische Perspex-Sonde, 25 mm (P/25P, Stable Micro Systems, England)
- Perspex Deckel (Stable Micro Systems, England)
- Plastikspatel

Durchführung

Zum Vergleich der Teigklebrigkeit wurden von frischen Teigen nach dem Kneten und nach der Gare und von TK-Teigen nach der Gare Teigproben mit dem Texture Analyser untersucht. Dazu wurde jeweils eine etwa haselnussgroße Menge Teig in die Teigklebrigkeitszelle eingebracht und mit dem Extruderdeckel verschraubt. Anschließend wurde die Probe mit der Drehschraube mittels einer Dreiviertelumdrehung durch die Löcher des Deckels gedrückt. Während einer 30 sekundigen Entspannungsphase wurde der extrudierte Teig mittels Perspek Deckel abgedeckt, um Feuchtigkeitsverluste zu vermeiden. Danach wurde die Abdeckung entfernt und die Teigprobe unter der Sonde platziert, um den Teigklebrigkeitstest durchzuführen. Die Parameter sind in Tab. 5 zusammengefasst. Der höchste Wert des Peaks entsprach der Klebrigkeit des gemessenen Teiges. Die jeweils erste Messung eines Teiges wurde verworfen, da die Vorversuche gezeigt hatten, dass die Analyse erst ab der zweiten Messung reproduzierbare Werte lieferte. Danach erfolgten mindestens sechs Messungen pro Teig.

Tab. 5: Messparametereinstellungen für Teigklebrigkeitstest (Chen and Hosney, 1995)

Teigklebrigkeitstest mit Texture Analyser TA-XT2i	
Option	Adhesiver Test
Vorgeschwindigkeit	2.0 mm/s
Testgeschwindigkeit	2.0 mm/s
Rückgeschwindigkeit	10.0 mm/s
Distanz	4 mm
Kraft	40 g
Zeit	0.1 s
Trigger Force	Auto - 5g
Datenerfassungsrate	400 pps

4.3.2 Gefriertrocknung der Proben

Prinzip

George and Datta (2002) beschreiben den Vorgang des Gefriertrocknens als Dehydrierungsprozess, bei dem das enthaltene Wasser durch Sublimation des Eises aus der gefrorenen Probe entfernt wird. Nach dem vollständigen Verdampfen des Wassers bleibt eine poröse Hülle aus getrocknetem Probenmaterial zurück. Die Gefriertrocknung stellt eine schonende Variante der Trocknung von Lebensmitteln dar, da sowohl die Form als auch die biologische Aktivität erhalten bleiben.

Material und Geräte

- Aluschälchen
- Schockfroster (Sagi IF 101L-ON14, Italien)
- Gefriertrockner (Labconco FreeZone 6, USA)
- Exsikkator

Durchführung

In Anlehnung an Jazaeri et al. (2015) wurden die Proben der Knet- und Garversuche vor und nach dem Frosten gefriergetrocknet. Dazu wurde jeweils ca. 30 g Teig in ein Aluschälchen gelegt, dieses entsprechend beschriftet, nach 15 minütigem Schockfrosten der Proben wurde der Gefriertrockner damit beladen und durch Anlegen des Vakuums der Prozess der Gefriertrocknung gestartet. Nach 24 Stunden wurden die Proben wieder entnommen und bis zur weiteren Verwendung im Exsikkator gelagert.

Bei den Teilbackversuchen wurden die zuvor zur Messung der Krumenfestigkeit verwendeten Krumenwürfel weiter zerkleinert und, wie oben beschrieben, gefriergetrocknet.

4.3.3 Proteinextraktion aus teil- und vollgegartem gefriergetrocknetem Teig

Prinzip

Nach der Probenzerkleinerung wird in Anlehnung an Fierens et al. (2015) und Stevens et al. (1959) die Probe mit Natriumphosphatpuffer und EDTA gemischt und nach definierter Extraktionsdauer zentrifugiert. Das im Überstand befindliche Proteinextrakt wird für die weiteren Untersuchungen verwendet.

Material und Geräte

- Porzellanmörser und -pistill (Schott, Deutschland)
- Analysenwaage (VWR LAG 314i, Deutschland)
- Falcon tubes, verschiedene Größen
- Kolbenhubpipetten inklusive Spitzen (Eppendorf, Deutschland)
- Vortexer (Vortex)
- Schüttler (VWR, Deutschland)
- Zentrifuge (Eppendorf 5810 R, Deutschland)
- Reaktionspuffer 50 mM NaPO₄ Puffer (pH = 8) + 1 mM EDTA

Durchführung

Die gefriergetrockneten Proben wurden bis zur weiteren Verarbeitung in Probendosen im Exsikkator gelagert. Die anschließende Probenzerkleinerung erfolgte mittels Porzellanmörser und -pistill.

Zur Gewinnung der Proteinextrakte für die folgenden Analysen wurden jeweils 0,8 g der gefriergetrockneten Teigproben der Knet- und Garversuche mit 6 mL Reaktionspuffer gevortext und nach zwanzigminütigem Schütteln zentrifugiert (15 Minuten, 4000 rpm) und der Überstand abgezogen.

Das gewonnene Proteinextrakt wurde für die weiteren Bradford und SH-Gruppen Untersuchungen verwendet, Abb. 24 zeigt überblicksmäßig den Ablauf der Proteinextraktion und der weiteren Analysen.

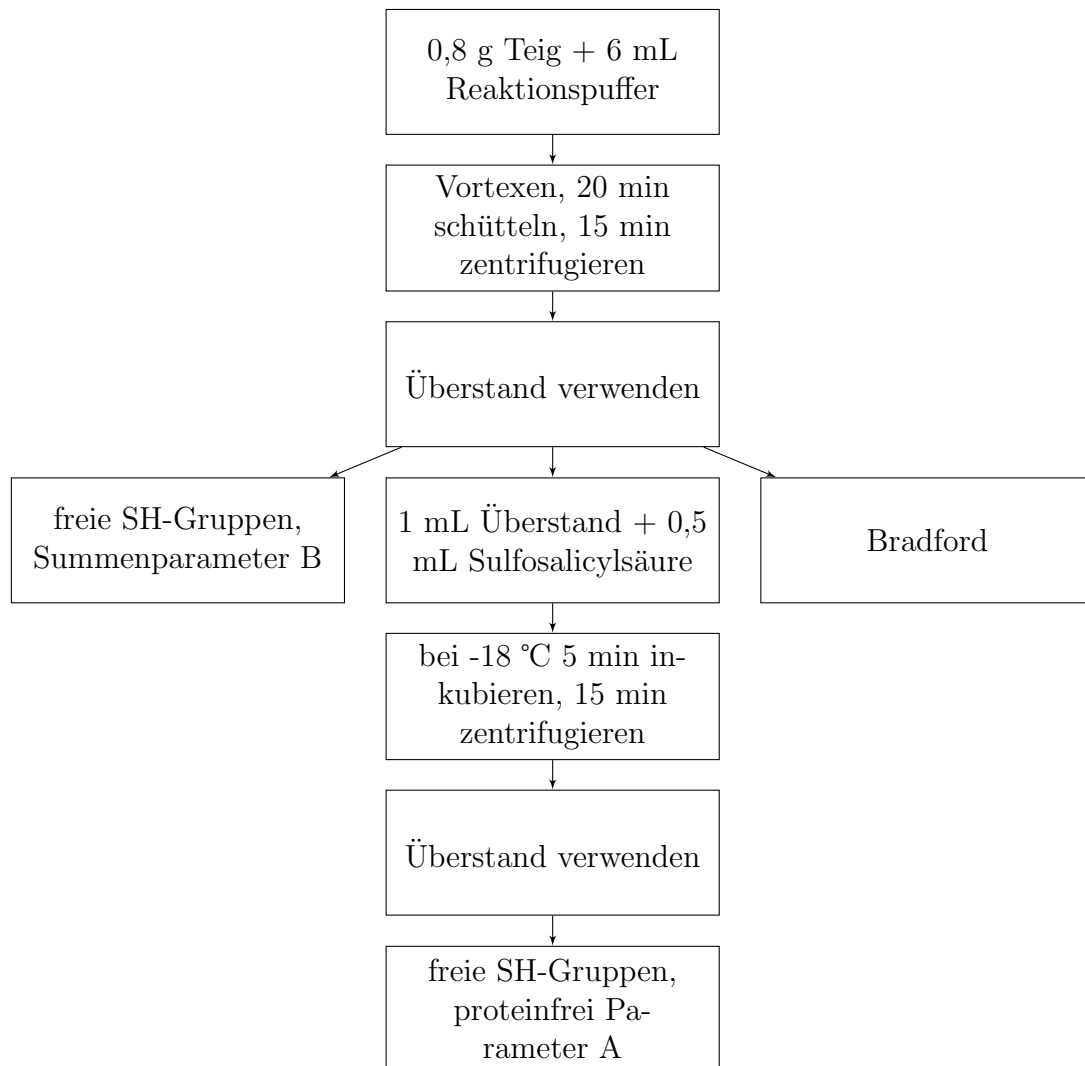


Abb. 24: Fließdiagramm der Proteinanalyse

4.3.4 Stickstoffbestimmung nach Bradford

Prinzip

Bei dieser Methode wird die Tatsache genutzt, dass der Farbstoff Coomassie Brilliant Blue-G250 in Abhängigkeit seiner Ladung die Farbe verändert. Nach erfolgter Bindung eines Proteins geht der Farbstoff von der kationischen Form (rote Farbe) in die anionische Form (blaue Farbe), wie in Abb. 26 ersichtlich, über und die Absorption kann bei 595 nm photometrisch gemessen werden. Besagte Absorptionsänderung verläuft weitgehend proportional zur Proteinkonzentration. Die Quantifizierung und der Ausgleich schwankender Absorptionen aufgrund unterschiedlicher Bindungsaffinität des Farbstoffes erfolgen mittels Eichgerade (siehe Abb. 25), die mit Rinderserumalbumin (BSA) durchgeführt wird (Roti®-Quant, 2014).

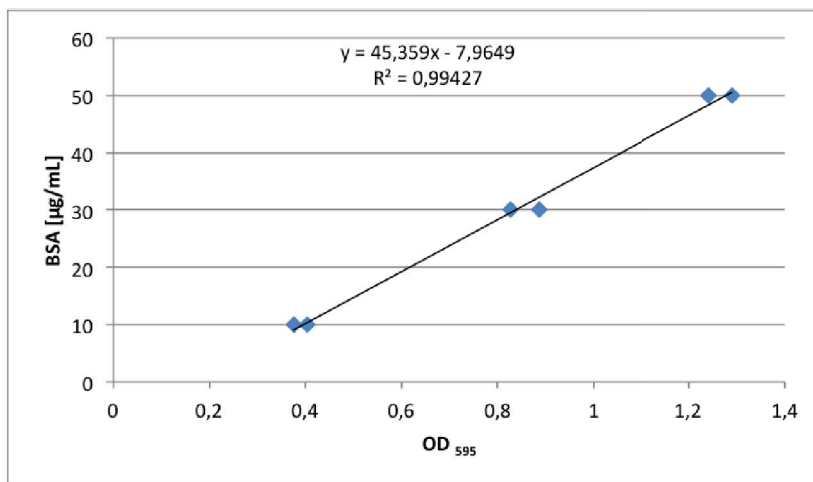


Abb. 25: Kalibrationsgerade für die Proteinbestimmung nach Bradford mit BSA als Standard

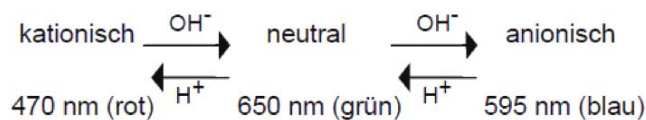


Abb. 26: unterschiedlich absorbierende Zustände von Coomassie Brilliant Blue-G250 in Abhängigkeit der Ladung (Roti®-Quant, 2014)

Material und Geräte

- Photometer (NanoQant infinite M200pro, TECAN, Schweiz)
- Mikrotiterplatte 96 well (Greiner, Österreich)
- diverse Kolbenhubpipetten
- Roti®-Quant 5x Konzentrat (Roth, Art.-Nr. K015.3, Deutschland)

- Kalibrationslösung BSA Albumin Fraktion V (Roth, Art.-Nr. 8076.1, Deutschland)
- Reaktionspuffer 50 mM NaPO₄ Puffer (pH = 8) + 1 mM EDTA

Durchführung

Zur späteren Quantifizierung wurde zu Beginn aus einer BSA-Stammlösung mit 450 µg/L eine Kalibrationsgerade im Bereich von 10 bis 50 µg/L hergestellt, die entsprechenden Extinktionen im Photometer gemessen und gegen die Konzentration in Abb. 25 aufgetragen.

In Vorversuchen wurde die geeignete Verdünnung für die zuvor gewonnenen Proteinextrakte ermittelt. Die Proben wurden 1:100 mit RO-Wasser verdünnt, davon wurden jeweils 200 µL in eine Mikrotiterplatte überführt und mit 200 µL des Roti®-Quant-Gemisches (2 Teile Roti®-Quant 5x Konzentrat gemischt mit 5,5 Teilen RO-Wasser) versetzt. Nach fünfminütiger Inkubation wurde die Extinktion bei 595 nm im Photometer gemessen. Die Bestimmung erfolgte im Doppelansatz.

4.3.5 Bestimmung der freien SH-Gruppen

Prinzip

Das von Ellman (1959) beschriebene Reagens 5,5'-dithio-bis-(2-nitrobenzoic acid), auch als DTNB oder Ellmans Reagens bezeichnet, ist eine wasserlösliche Verbindung zur Quantifizierung freier Sulfhydryl-Gruppen (kurz SH-Gruppen). Wie Abb. 27 zeigt, bildet DTNB unter Abspaltung von 2-nitro-5-thiobenzoic-Säure (TNB) mit eben jenen SH-Gruppen Disulfide, wobei TNB bei 412 nm am Absorptionsmaximum photometrisch gemessen werden kann. Die Extinktion von TNB ist im Bereich pH 7,6 bis 8,6 konstant, weshalb die Reaktion in gepufferter Lösung (pH = 8) durchgeführt wird (Thermo Scientific, 2014).

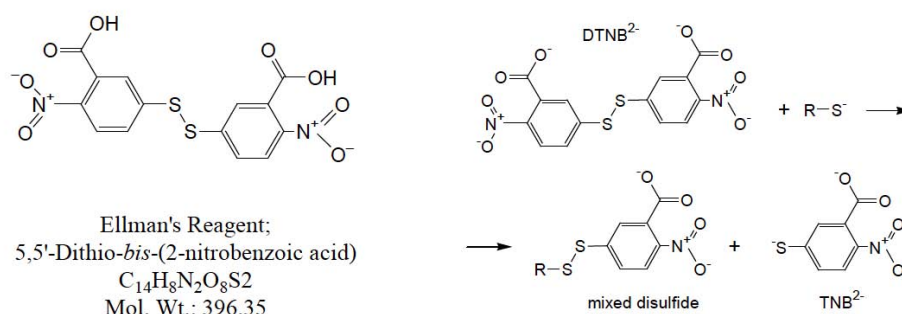


Abb. 27: Reaktion des Elman Reagens unter Abspaltung der photometrisch erfassbaren Substanz TNB (Thermo Scientific, 2014)

Material und Geräte

- Photometer (NanoQant infinite M200pro, TECAN, Schweiz)
- Diverse Kolbenhubpipetten
- Mikrotiterplatte 96 well (Greiner, Österreich)
- Einwegspritzen (Braun, Deutschland)
- Spritzenfilter RC 0,45 μm (Micropur, Deutschland)
- Eppis 1 und 2 mL
- Ellman's Reagens (5,5'-Dithio-bis-2-nitrobenzoic Acid, Merck, Deutschland)
- L-Cystein Hydrochlorid Monohydrat (SIGMA, C-7880, USA)
- Reaktionspuffer (1,2 g EDTA, 6,9 g Glycin. 10,4 g TRIS gelöst in 1 L Wasser)
- Sulfosalicylsäure 5 %

Durchführung

Diese Analyse wurde mit folgenden Proben durchgeführt: bei den Knetversuchen V1/2 PC bis V13/V14 E: vollständig gegarte Teiglinge vor dem Backen, teilgegarde Teiglinge vor der Frostung und vollständig gegarte Teiglinge nach der Frostung. bei den Garversuchen V15/16 bis V23/24: teilgegarde Teiglinge vor der Frostung und vollständig gegarte Teiglinge nach der Frostung

Zur späteren Quantifizierung wurde zu Beginn eine Kalibrationsgerade mit L - Cystein erstellt (siehe Abb. 28), wobei aus einer Stammlösung ($c = 1,5 \text{ mmol}$, verdünnt mit Reaktionspuffer) drei Verdünnungen im Bereich 0,015 bis 0,05 mmol/L bereitet wurden. Zur photometrischen Messung wurden je 200 μL Standard, 180 μL Reaktionspuffer und 20 μL Ellman's Reagens (4 mg gelöst in 1 mL Reaktionspuffer) in einer 96 well Mikrotiterplatte gemischt und die Extinktion nach fünfzehnminütigem Inkubieren im Dunkeln bei 412 nm gemessen. Die photometrische Bestimmung erfolgte in Anlehnung an Gujral and Rosell (2004).

Für die Bestimmung des Blindwerts für die freien proteinfreien SH-Gruppen (Parameter A) wurden 180 μL Reaktionspuffer und 20 μL Ellmans Reagens in der Mikrotiterplatte vorgelegt und mit 133 μL Phosphatpuffer und 67 μL Sulfosalicylsäure gemischt. Für den Summenparameter der freien SH-Gruppen (Parameter B) wurden ebenso Reaktionspuffer und Ellmans Reagens vorgelegt und mit 200 μL Natriumphosphatpuffer gemischt. Danach wurde jeweils 15 Minuten im Dunkeln inkubiert und anschließend die

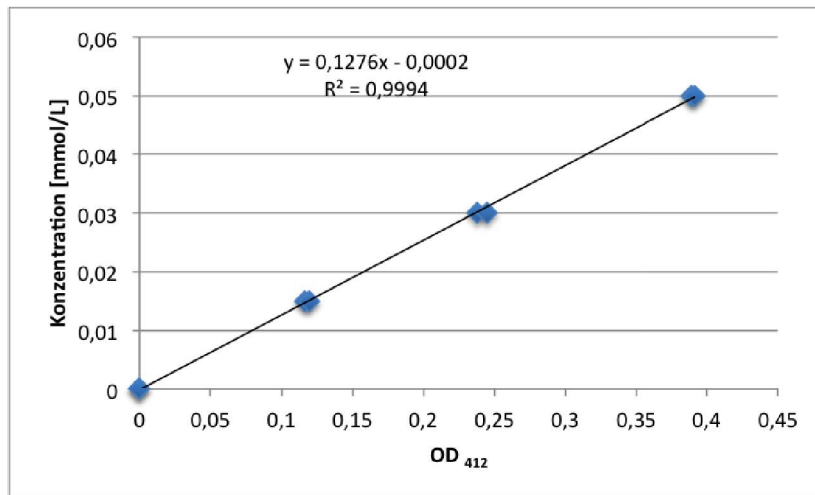


Abb. 28: Kalibrationsgerade zur Bestimmung der SH-Gruppen mit L-Cystein als Standard

Extinktion bei 412 nm gemessen. Die Blindwertbestimmung erfolgte im Vierfachansatz.

Zur Ermittlung des Parameters A wurde das, wie unter Pkt. 4.3.3 beschrieben, hergestellte Proteinextrakt mittels Pipette in eine 2 mL Spritze überführt und durch einen Spritzenfilter (RC 0,45 µm) gedrückt und das Filtrat in einem 2 mL Eppi aufgefangen. Daraus wurde 1 mL in ein weiteres 2 mL Eppi überführt, mit 0,5 mL Sulfosalicylsäure (5%) versetzt und gevortext. Nach fünf minütiger Inkubation bei -18 °C wurde zentrifugiert (15 Minuten, 4000 rpm).

Je 200 µL dieses Extrakts A wurden, wie beim Blindwert, mit den vorgelegten Mengen an Reaktionspuffer und Ellmans Reagens gemischt. Für den Summenparameter B wurden 200 µL des Proteinextrakts mit der selben Menge an Vorlage wie bei Parameter A gemischt.

Nach jeweils 15 minütigem Inkubieren im Dunkeln wurden die Proben bei 412 nm photometrisch gemessen und mittels Kalibrationsgleichung quantifiziert.

4.4 Backversuche

Der Backversuch stellt ein wesentliches Element der Beurteilung des verwendeten Mehls, eingesetzter Zutaten und des Verarbeitungsprozesses dar, da im Labormaßstab reproduzierbare Ergebnisse erzielt und untereinander verglichen werden können (Erling and Botterbrodt, 2003). Die Durchführung der im Folgenden beschriebenen Versuche erfolgte mit den Gerätschaften und Maschinen im Technikum des Institutes für Lebensmitteltechnologie.

4.4.1 Knet- und Garversuche teilgegarter Teige

Prinzip

Die Rezepturen und Abläufe dieses und auch der folgenden Backversuche wurden in Anlehnung an den ICC-Standard-Weizen-Backversuch Nr. 131 (Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung, 1994) entwickelt, da aktuell kein standardisierter Backversuch für Tiefkühlteiglinge existiert.

Um die bestmöglichen Bedingungen für teilgegarte, anschließend tiefgekühlte und nach entsprechender Lagerung fertiggarte und gebackene Weizenbrote zu ermitteln, wurden verschiedene Knetversuche und anschließend unterschiedliche Garversuche mit beiden Probenmehlen jeweils im Doppelansatz durchgeführt.

Abb. 29 zeigt überblicksmäßig den Ablauf zur Herstellung unterschiedlich gekneteter frischer und tiefgekühlter Brote. In Abb. 30 ist der adaptierte Ablauf zur Herstellung tiefgekühlter Brote mittels unterschiedlicher Garbedingungen dargestellt.

Material und Geräte

- Analysenwaage (Sartorius, BP210S, Deutschland)
- Knetter (Bear Varimixer, Typ RN10 VL-2, Dänemark)
- Kneithaken aus Edelstahl (Bear Varimixer, Dänemark)
- Rührschüssel aus Edelstahl 10 Liter (Bear Varimixer, Dänemark)
- Backofen (Manz Backtechnik GmbH, Backofen Typ 60/3 W, Deutschland)
- Gärschrank (Manz Backtechnik GmbH, Gärschrank Typ 60/3 W, Deutschland)
- Präzisionswaage (Sartorius, Deutschland)
- Schockfroster (Sagi IF 101L-ON14, Italien)
- Tiefkühlschränke (Liebherr, Deutschland)
- Einstich-pH-Meter (testo 206, Deutschland)
- Thermometer mit Einstichfühler (testo t926, Deutschland)
- Löffel/Spatel
- Diverse Bechergläser
- Teigkarte
- Gefrierbeutel (Toppits, 3 L, Deutschland)

- Probenmehle
- Salz
- Zucker (Wiener Zucker, Normal Kristall Zucker, Österreich)
- Trockenhefe (Lesaffre, saf-instant, Österreich)
- Leitungswasser

Durchführung der Knetversuche

Die farinographischen Voruntersuchungen der beiden verwendeten Mehle PC und E zeigten unterschiedliche Wasseraufnahmefähigkeiten, weshalb die Schüttwassermengen (abzüglich 2 %), wie in Tab. 6 ersichtlich, entsprechend adaptiert werden mussten.

Zu Beginn wurden laut Rezeptur die Mengen an Mehl und Trockenhefe, beide bei 4 °C gelagert, verwogen und im Baer-Mixer bei Stufe eins eine Minute lang gemischt. Währenddessen wurden Salz und Zucker separat abgewogen, in der entsprechenden Menge an Wasser, temperiert auf 30 °C gelöst und während einer weiteren Minute mischen im Mixer gleichmäßig zugegeben. Danach erfolgte die variable Knetung mit unterschiedlichen Kombinationen der beiden Geschwindigkeitsstufen eins und zwei, siehe Tab. 7. Die Versuchsvariante Knet 1/5/0 diente als Kontrolle bzw. Referenz für spätere Vergleiche. Nach dem Kneten wurden mittels Einstich-pH-Meter und Thermometer der pH-Wert und die Temperatur des Teiges gemessen und notiert, wobei die Teigtemperatur im Bereich zwischen 25 bis 27 °C liegen sollte, anderenfalls wurde dieser Teigansatz verworfen und mit kälterem Wasser zubereitet. Um Unterschiede der Teigklebrigkeit festzustellen, wurden Messungen am Texture Analyser gemäß Pkt. 4.3.1 durchgeführt. Das leicht gewirkte Teigstück wurde in eine wenig bemehlte Edelstahlschüssel gelegt, danach erfolgte im Gärschrank bei 30 °C und 85% RH für 30 Minuten die Teiggare. Nach erfolgtem Messen des pH-Werts wurde der Teig aufgewirkt, acht 200g Portionen abgewogen (vier Teiglinge wurden frisch aufgearbeitet, die restlichen vier wurden teilgegart), rundgeschliffen und auf jeweils zwei mit Backpapier belegten Backblechen abgesetzt. Die Stückgare der teilgegarten Teiglinge dauerte zwanzig Minuten bei 30 °C und 85% RH, die vollständig gegarten (frischen) Teiglinge wurden zehn Minuten länger (dreißig Minuten Gesamtdauer) gegart.

Nach der jeweiligen Stückgare (frisch und teilgegart) wurde abermals der pH-Wert des Teiges gemessen und die Teigklebrigkeit, wie unter Pkt. 4.3.1 beschrieben, bestimmt. Die fertiggarten frischen Teiglinge wurden anschließend mit den Einstellungen des Backprogramms P1 (siehe Tab. 8) im Ofen gebacken, danach eine Stunde bei Raumtemperatur ausgekühlt und vor weiteren Analysen für 90 Minuten zugedeckt gelagert.

Die teilgegarten Teiglinge wurden bis zum Erreichen der Kerntemperatur von -18°C im Schockfroster gefrostet (Verlaufskurve siehe Abb. 35) und danach in verschlossenen

Kunststoffbeuteln für zwei Wochen im Tiefkühlschrank bei -18°C gelagert.

Nach Ablauf der Lagerdauer wurden die Teiglinge beschriftet, gewogen und auf mit Backpapier belegten Blechen abgesetzt und für 45 Minuten bei 30°C und 85% RH fertig gegart. Nach erfolgter Messung des pH-Wertes wurden die fertig gegarten Teiglinge mittels Backprogramm P2 gemäß Tab. 8 gebacken und wie oben beschrieben ausgekühlt und gelagert. Die weitere Vorgehensweise erfolgte gemäßst Pkt. 4.5.

Tab. 8 zeigt die Abläufe der beiden Backprogramme für frische (P1) und teilgegartete Teiglinge (P2).

Tab. 6: Auflistung der Rezepturbestandteile für die beiden verwendeten Mehle PC und E

	Menge für Mehl PC [g]	Menge für Mehl E [g]
Mehl	1100.0	1100.0
Trockenhefe	22.0	22.0
Salz	22.0	22.0
Zucker	16.5	16.5
Wasser	640.2	635.2
Teig gesamt	1800.7	1795.7

Tab. 7: Auflistung der unterschiedlichen Knetbedingungen

Mehl	Code	Dauer [min]			
		Stufe 1	Stufe 2	Stufe 1	Gesamt
PC	V1/2 PC Knet1/5/0	1	5	-	6
	V3/4 PC Knet5/1/0	5	1	-	6
	V5/6 PC Knet1/8/0	1	8	-	9
	V7/8 PC Knet8/1/0	8	1	-	9
	V9/10 PC Knet6/1/2	6	1	2	9
E	V11/12 E Knet1/5/0	1	5	-	6
	V13/14 E Knet1/8/0	1	8	-	9

Durchführung der Garversuche

Die Durchführung der Garversuche erfolgte nach Auswertung der vorangegangenen Knetversuche und entsprechender Eruierung der idealen Knetbedingungen im Doppelansatz. Danach wurde mittels Statgraphics ein statistischer screening faktorieller 2^2 Versuchsplan erstellt und folgende Versuche, wie in Tab. 9 aufgelistet, durchgeführt, wobei beim Versuch Gare keine frischen Brote hergestellt wurden.

Abb. 30 zeigt den schematischen Verlauf des Versuchs. Der Herstellungsprozess entspricht bis inklusive der Schritte des Wirkens, Wiegens und Schleifens jenem der Knetversuche, die Messung der Teigklebrigkeit nach dem Kneten unterblieb jedoch. Die

Tab. 8: Verlauf der Backprogramme für die durchgeführten Knet- und Garversuche, P1 für vollständig und P2 für teilgegarzte Teiglinge

Programm				
Programm P1	Dauer [min]	Oberhitze [°C]	Unterhitze [°C]	Schwaden
	0.5	230	230	ja
	9.5	230	180	nein
	19	180	180	nein
Programm P2				
	0.5	230	230	ja
	12.5	230	180	nein
	20.5	180	180	nein

Knetung erfolgte, wie bei V1/2 Knet1/5/0, mit einer Minute auf Stufe 1 und fünf Minuten auf Stufe 2. Jeweils vier rundgeschliffene Teiglinge á 200 g wurden laut Tab. 9 für die entsprechende Dauer und bei definierter relativer Feuchte vor dem Frosten gegart, und nach der Messung des pH-Werts wie bei den Knetversuchen schockgefrostet und ebenso für zwei Wochen tiefgekühlt gelagert. Die weitere Prozedur glich der der Knetversuche, mit der Abweichung der Garbedingungen nach dem Frosten gemäß Tab. 9. Die Analyse der gebackenen Brote erfolgte wie unter Pkt. 4.5 beschrieben.

Tab. 9: Auflistung der unterschiedlichen Bedingungen der Garversuche mit den jeweiligen Garzeiten vor und nach dem Frosten und den verschiedenen Feuchtigkeiten mit einer Gesamtgardauer von 65 Minuten

Code	Gare vor TK [min]	Gare nach TK [min]	RH [%]
V15/16 PC Gar10min/85%	10	55	85
V17/18 PC Gar10min/70%	10	55	70
V19/20 PC Gar30min/85%	30	35	85
V21/22 PC Gar30min/70%	30	35	70
V23/24 PC Gar20min/77%	20	45	77

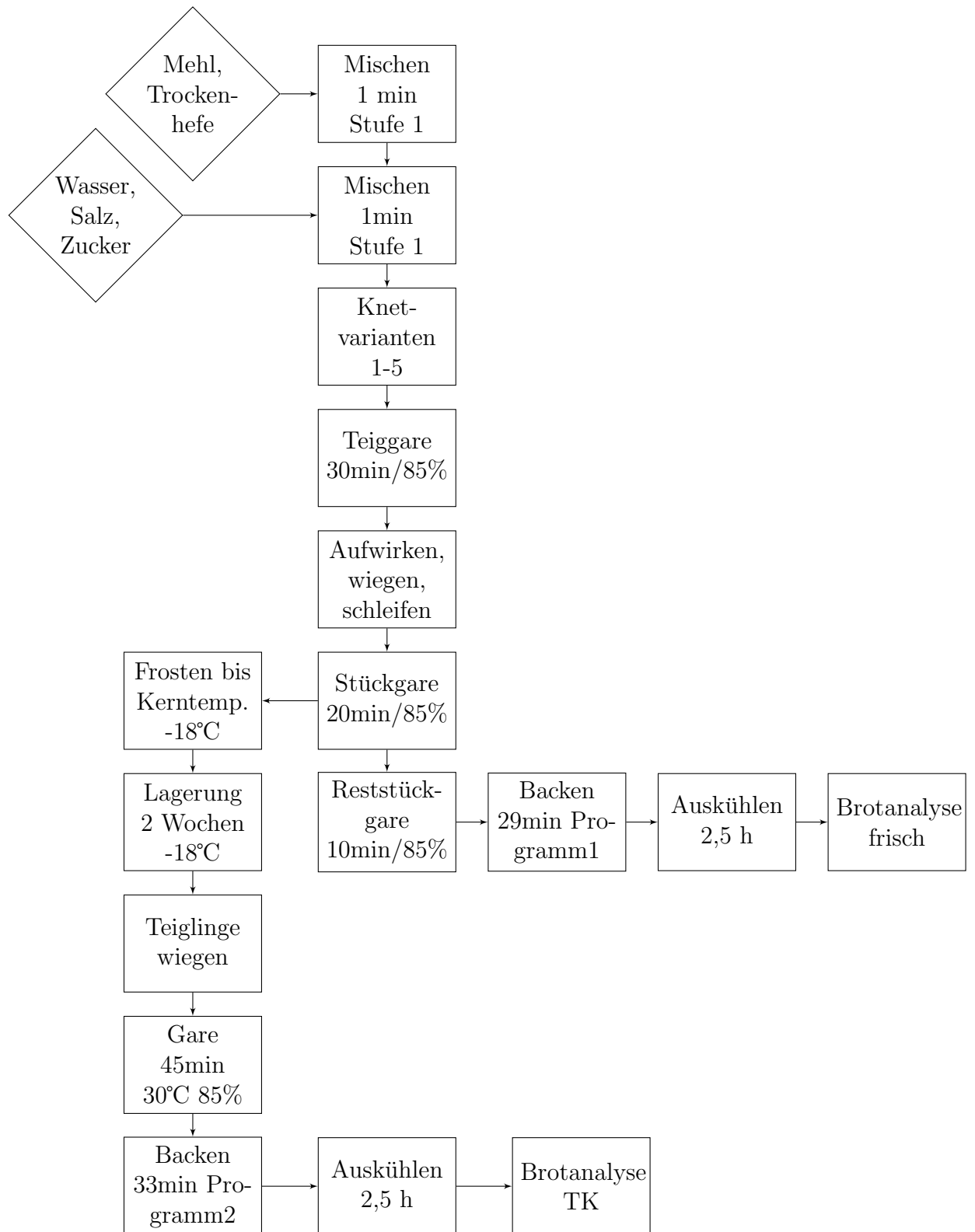


Abb. 29: Fließdiagramm der durchgeführten Versuche mit unterschiedlichen Knetzeiten

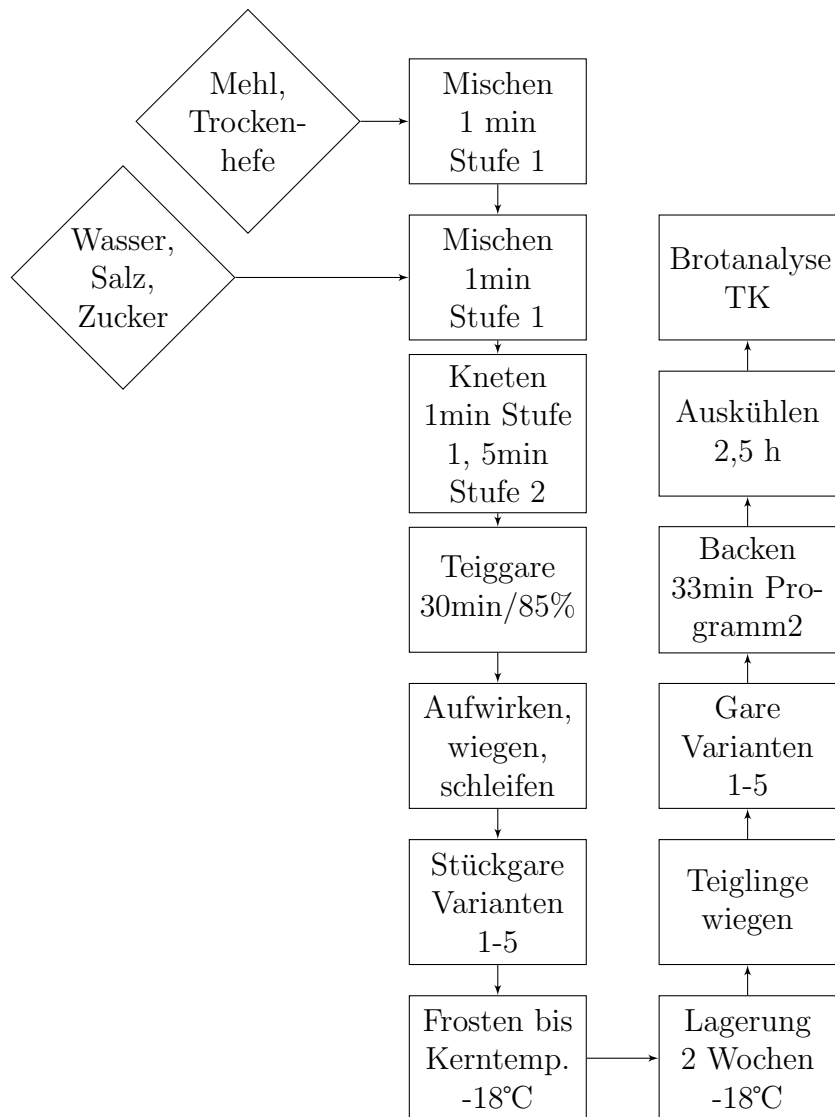


Abb. 30: Fließdiagramm der durchgeführten Versuche mit unterschiedlichen Garzeiten

4.4.2 Teilbackversuche mit Pflanzenfasern

Prinzip

Im dritten Versuchsteil wurden zuerst halbgebackene Brote unter Zusatz unterschiedlicher Fasern und Hydrokolloide hergestellt, für vier Wochen tiefgekühlt gelagert, danach fertig gebacken und entsprechend analysiert. Abb. 31 zeigt den schematischen Ablauf der Versuchsanordnung. Als Referenz wurde ein Versuch ohne Zusatz von Fasern und Hydrokolloiden durchgeführt.

Material und Geräte

Zu den Materialien und Gerätschaften, die bei den Knet- und Garversuchen zum Einsatz kamen, wurde Folgendes verwendet:

- Mehrfach-Backform (Silverwood, Multisize Cake pan, England)
- Back-Trennspray (Optima, Deutschland)
- Pinsel

Durchführung

Die Versuche wurden mit dem Probenmehl RX durchgeführt, die Zusammensetzung der jeweiligen Rezepturen zeigt Tab. 10. Die Verwiegung der Zutaten und der Knetprozess wurden wie V1/2 Knet1/5/0 durchgeführt, die zu erreichende Teigtemperatur lag zwischen 25 bis 27 °C. Der geknetete Teig wurde abgedeckt und nach fünfminütiger Teigruhe wurden vier Teiglinge à 200 g abgewogen und in die vier äußersten Vertiefungen der, mit Back-Trennspray ausgepinselten, Mehrfach-Backformen gelegt. Anschließend erfolgte die Stückgare bei 30 °C und 85% RH für 45 Minuten. Danach wurden die fertiggegarten Teiglinge bei 220 °C Oberhitze und 200 °C Unterhitze für dreizehn Minuten im Ofen teilgebacken. Nach 60 minütigem Auskühlen bei Raumtemperatur und Wiegen der Brote wurden diese in Kunststoffbeutel verpackt und bei -18 °C für vier Wochen gelagert.

Nach der genannten Lagerdauer wurden die Brote gewogen und für 60 Minuten bei Raumtemperatur aufgetaut. Anschließend wurden die Brote wieder in Formen eingesetzt und bei 220 °C Oberhitze und 200 °C Unterhitze für vierzehn Minuten im Ofen fertig gebacken. Nach einer Stunde abkühlen bei Raumtemperatur, wurden die Brote zugedeckt und nach weiteren 90 Minuten Lagerung wie unter Pkt. 4.5 beschrieben, analysiert.

Tab. 10: Auflistung der Rezepturbestandteile für die Versuche der teilgebackenen Brote

Code	Mehl	Menge [g]			Wasser	Zusatz	Menge Zusatz [g]
		Trocken -hefe	Salz	Zucker			
V25/Kontrolle	1000.0	15.0	20.0	15.0	580.0	-	-
V26/BBL 100	1000.0	15.0	20.0	15.0	670.0	BBL 100	30.0
V27/WF 600	1000.0	15.0	20.0	15.0	670.0	WF 600	30.0
V28/Compound	1000.0	15.0	20.0	15.0	670.0	Compound*	3 x 10.0
V30/BBL 500	1000.0	15.0	20.0	15.0	670.0	BBL 500	30.0
V31/WF 600-30	1000.0	15.0	20.0	15.0	670.0	WF 600-30	30.0
V32/WF 200	1000.0	15.0	20.0	15.0	670.0	WF 200	30.0
V33/Guar	1000.0	15.0	20.0	15.0	610.0	Guar	10.0
V34/CMC	1000.0	15.0	20.0	15.0	595.0	CMC	5.0

*Zusammensetzung des eingesetzten Compounds zu gleichen Anteilen: Psyllium P 95, BAF 90 und WF 600

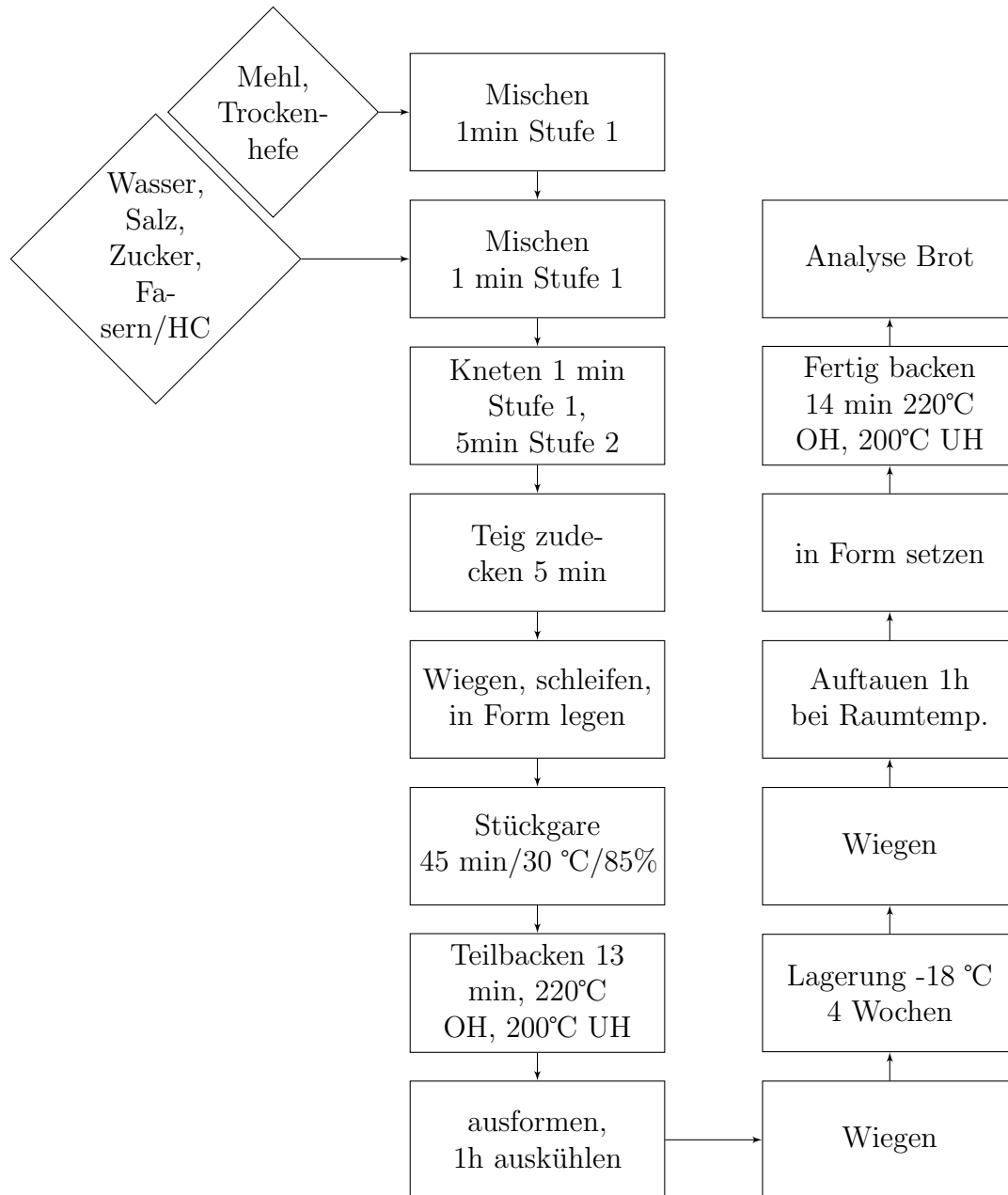


Abb. 31: Fließdiagramm zum Ablauf der durchgeführten Versuche zur Herstellung teilgebackener Brote unter Einsatz verschiedener Fasern und Hydrokolloide

4.5 Brotanalysen

4.5.1 Gewicht

Bei den Knet-, Gar- und Teilbackversuchen wurden folgende Messungen (siehe Tab. 11) durchgeführt.

Tab. 11: Auflistung der unterschiedlichen Zeitpunkte der Teiglings- und Brotverwiegung

Wiegung nach	Knetversuche V1/2 -V13/14	Garversuche V15/16-V23/24	Teilbackversuche V25-V34
Backen frisch	+	-	-
Teilbacken	-	-	+
TK Lagerung vor Gare	+	+	-
TK Lagerung vor Fertigbacken	-	-	+
Backen TK	+	+	+

4.5.2 Farbbestimmung

Prinzip

Die Farbe eines beobachteten Objekts stellt eine subjektive Empfindung des jeweiligen Betrachters dar, wobei diese durch den von weißem Licht reflektierten Spektralanteil im menschlichen Auge entsteht. Jede Farbe kann dabei durch die Summe ihrer Wellenlängen charakterisiert werden. Im Lebensmittelbereich findet standardmäßig das CIELab-System mit den Parametern L für Helligkeit, a für die rot/grün-Anteile und b für die blau/gelb-Anteile Anwendung (Popov-Raljić et al., 2009).

Material und Geräte

- DigiEye Probenkammer (VeriVide, England)
- Digitalkamera Nikon D90
- Kalibrationsplatten
- PC mit Software digiEYE 2.72

Durchführung

Vor Messbeginn wurde die Software mittels weißer und farbiger Kalibrationsplatten kalibriert. Zur Beurteilung der Farbe und Bräunung der gebackenen Brote wurden diese im DigiEYE Probenraum auf einer dunkelblauen Platte positioniert und mittels Digitalkamera in zwei verschiedenen Modi Fotos geschossen. Beim Foto mit der Einstellung diffused wurde mittels DigiEYE Software der blaue Hintergrund entfernt und dann die jeweiligen LAB-Werte gemessen und notiert. Bei den frischen Broten der Knetversuche

wurden jeweils drei, bei den teilgegartten Broten der Knet- und Garversuche je zwei und bei den Teilbackversuchen alle vier Brote gemessen.

4.5.3 Bestimmung des spezifischen Brotvolumens mittels Rapssamenverdrängungsmethode

Prinzip

Die AACC-Methode 10.05 (American Association of Cereal Chemists, 2000) beschreibt die Bestimmung des Gebäckvolumens nach dem Verdrängungsprinzip. Dabei wird das Gewicht des durch das zu messenden Gebäckstücks verdrängten Volumens eines vordefinierten Volumens an Rapssamen gemessen. Die Dichte des Mediums wird mit Hilfe eines genormten Körpers eruiert. Aus der Masse des verdrängten Mediums lässt sich das Volumen des Gebäckstücks errechnen (Erling and Botterbrodt, 2003).

Material und Geräte

- Analysenwaage (Sartorius, MC 1, Deutschland)
- Apparatur zur Volumenmessung bestehend aus
 - Metallbox
 - Metallzylinder
- Rapssamen (Medium)
- Referenzkörper 7x7x14 cm (686 cm³)
- Metallschaufel
- Kunststoffabzieher

Durchführung

Das spezifische Volumen der Weizenbrote wurde mittels Verdrängungsmethode bestimmt, wobei Rapssamen als Messmedium dienten. Um das spezifische Brotvolumen berechnen zu können, wurden die Brote vor der Volumsmessung gewogen und die Gewichte notiert.

Zu Beginn wurde eine Metallbox auf der Waage tariert, der Metallzylinder in die Box gestellt und anschließend mit Rapssamen gefüllt. Mittels Teigkarte wurden die Rapssamen glatt abgezogen, um dadurch das Ausgangsvolumen für alle weiteren Messungen zu erhalten. Anschließend wurde der Zylinder entleert, bodenbedeckt wieder mit Rapssamen befüllt und nach dem Einsetzen eines 7x7x14 cm großen Referenzkörpers wieder voll mit Samen befüllt und glatt gestrichen, sodass die überschüssigen Rapssamen in der Metallbox aufgefangen wurden. Das Volumen des Körpers und das Nettogewicht der verdrängten Samen dienten für die weiteren Messungen des jeweiligen Tages als

Referenz, um daraus das Brotvolumen zu berechnen.

Zur Messung der frischen und teilgegartten Brote der Knet- und Garversuche wurde der Zylinder wieder entleert, abermals bodenbedeckt mit Samen befüllt, das zu messende Brot eingesetzt und mit Rapssamen vollgefüllt. Nach dem Abziehen erfolgte wieder die Messung der verdrängten Samen, für jedes Brot in Doppelbestimmung.

Aus den Mittelwertmassen der verdrängten Rapssamen und den Brotmassen konnten gemäß Gl. (16) und Gl. (17) die spezifischen Brotvolumina errechnet werden.

$$\text{Brotvolumen [cm}^3] = \frac{m(Raps)}{m(Brot)} * V(Ref) \quad (16)$$

$m(Raps)$... Masse verdrängte Rapssamen [g]

$m(Brot)$... Masse Brot [g]

$V(Ref)$... Volumen des Referenzkörpers = 686 [cm³]

$$\text{spezifisches Brotvolumen [cm}^3/\text{g}] = \frac{V(Brot)}{m(Brot)} \quad (17)$$

$V(Brot)$... Volumen Brot [cm³]

$m(Brot)$... Masse Brot [g]

4.5.4 Analyse der Krumenfestigkeit mittels Texture Analyser

Prinzip

Die Messung der Festigkeit von Weißbrot ist besonders relevant, da eine starke Korrelation zwischen ermittelter Krumenfestigkeit und der Wahrnehmung des Konsumenten für die Produktfrische besteht (Cauvain, 2015). Die Textur und Viskoelastizität der Weißbrotkrume wird mittels uniaxialen Kompressionstest am Texture Analyser analysiert. Dabei wird die Probe durch einen Druckkörper komprimiert und die zum Erreichen einer vordefinierten Deformation (= Wegstrecke) benötigte Kraft erfasst (siehe Abb. 32). Der dabei erreichte Maximalwert der Kraft stellt den Parameter F_{max} dar. Nach Erreichen dieser Kompression wird diese für 120 Sekunden konstant gehalten. Der dem Prüfkörper entgegengesetzte und dabei kontinuierlich abnehmende Widerstand wird aufgezeichnet und als Parameter F120 ausgegeben. Mittels Gl. 18 kann die relative Elastizität (RE [%]) berechnet werden (American Association of Cereal Chemists, 2000).

$$\text{Relative Elastizität RE [\%]} = \frac{F_{120}}{F_{max}} * 100 \quad (18)$$

F_{120} ... Kraft nach 120 Sekunden Haltezeit [N]

F_{max} ... Maximalkraft [N]

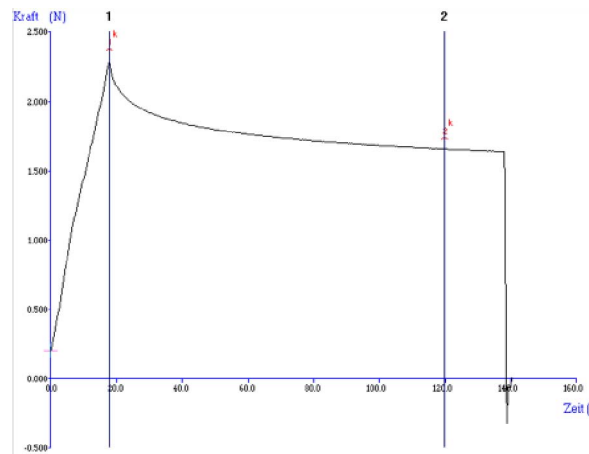


Abb. 32: Beispielhaftes Kraft-Zeit-Diagramm zur Analyse der Krumenfestigkeit

Material und Geräte

- Texture Analyser (Stable Micro Systems, Texture Analyser TA-XT2i, England)
- Software Texture Expert (Stable Micro Systems, England)
- Druckkörper (Kompressionsplatte SMS P/100, England)
- Schneidelehre und Säge für 3x3x3 cm Würfel

Durchführung

Zur Bestimmung der Krumenfestigkeit wurden aus den Broten mittels Säge und Schneidelehre jeweils 3x3x3 cm große Würfel geschnitten, wobei nach Möglichkeit darauf geachtet wurde, dass die Probe aus dem Zentrum des Brotes stammte. Beim Teilbackversuch wurden aus den Broten jeweils versetzt zwei Würfel herausgeschnitten. Diese Würfel wurden im Anschluss einem Kompressionstest am Texture Analyser mit den in Tab. 12 gezeigten Parametern unterzogen. Nach Abschluss der Messungen wurden die beiden Messparameter maximale Kraft (F_{max}) und relative Elastizität (RE) notiert, um Aussagen über die Krumenfestigkeit treffen zu können.

4.5.5 Analyse der Krumenstruktur

Prinzip

Neben der Festigkeit der Brotkrume stellen auch die Zahl der Poren und deren Größe ein entscheidendes Qualitätskriterium dar. Hochaufgelöste Fotos der Schnittfläche können mittels geeigneter Software analysiert und verglichen werden. Dabei stellt die Porosität die Menge an Leervolumen innerhalb des Gesamtvolumens dar (Wang et al., 2011).

Tab. 12: Messeinstellungen des Kompressionstests mit Texture Analyser TA-XT2i für Software Texture Expert

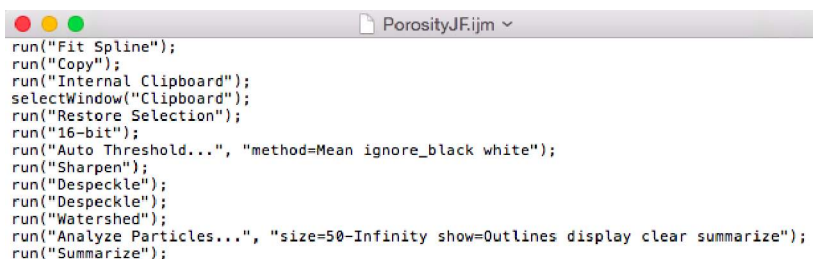
Kompressionstest mit Texture Analyser TA-XT2i	
Probenform	3x3x3 cm (l x b x h)
Testform/Testmethode	Messe Kraft in Druckrichtung/ Halten auf Zeit
Vorgeschwindigkeit	5,0 mm/s
Testgeschwindigkeit	0,5 mm/s
Rückgeschwindigkeit	10 mm/s
Weg (Deformation)	9,00 mm (33 %)
Kraft	1,00 N
Zeit	120,5 s

Material und Geräte

- Schneidelehre
- Brotsäge
- Multifunktionsgerät (Konica Minolta, bizhub C284, Japan)
- Software ImageJ (Version 1.51d, USA)

Durchführung

Nach der Bestimmung des spezifischen Volumens wurde von den Broten mittels Schneidelehre und Brotsäge eine 2 cm dicke Scheibe abgeschnitten. Die Schnittfläche der Brote wurde inklusive entsprechender Beschriftung am Multifunktionsgerät eingescannt (A4, Auflösung 1200 dpi, Einstellung sehr fein). Anschließend wurden diese Scans in die Software ImageJ geladen und dort mit dem Tool polygon selections ein möglichst repräsentativer Ausschnitt ohne große Blasen aus der Brotkrume selektiert. Abb. 34 zeigt ein Beispielbrot vor und nach der Bearbeitung. Mittels eines vordefinierten Makros, source code siehe Abb. 33, wurden die beiden Parameter Porenfläche und Porosität eruiert.



```

run("Fit Spline");
run("Copy");
run("Internal Clipboard");
selectWindow("Clipboard");
run("Restore Selection");
run("16-bit");
run("Auto Threshold...", "method=Mean ignore_black white");
run("Sharpen");
run("Despeckle");
run("Despeckle");
run("Watershed");
run("Analyze Particles...", "size=50-Infinity show=Outlines display clear summarize");
run("Summarize");

```

Abb. 33: Makro zur Porenanalyse im Programm ImageJ

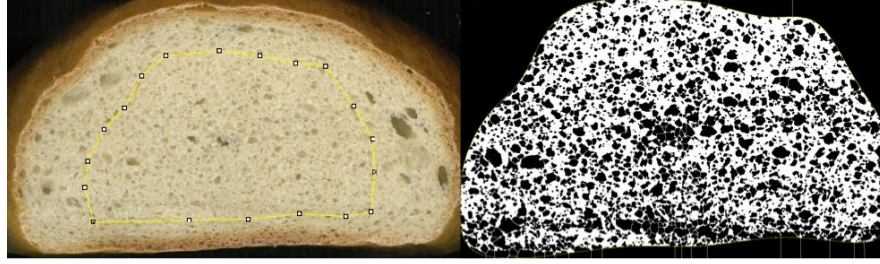


Abb. 34: Schnittfläche eines Brotes mit Auswahl zur Porenanalyse vor (links) und nach der Bearbeitung mittels ImageJ

4.6 Statistische Auswertung

In der Wissenschaft werden statistische Methoden eingesetzt, um erhobene Daten entsprechend zu analysieren und richtig zu interpretieren. Ziel der Statistik ist es, die genannten Daten durch verschiedene Kennzahlen vergleichbar zu machen und grafisch darzustellen (Hedderich and Sachs, 2016).

Die statistische Auswertung dieser Diplomarbeit wurde unter Verwendung folgender Software durchgeführt:

- Excel for Mac 2011 (Microsoft, USA)
- SPSS Statistics 22 (IBM, USA)
- Stat Graphics 16 (Statpoint Technologies, USA)

4.6.1 Grundlegende statistische Methoden

Arithmetischer Mittelwert $\bar{x}$

Das arithmetische Mittel $\bar{x}$ errechnet sich gemäß Gl. (19) aus der Summe aller Beobachtungen $(x_1 + x_2 + x_3 \dots x_n)$ dividiert durch die Anzahl der Beobachtungen (Hedderich and Sachs, 2016).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \frac{n(n+1)}{2} \quad (19)$$

Standardabweichung s

Die Streuung analytischer Daten ist durch die gemittelte Abweichung vom jeweiligen Mittelwert gekennzeichnet. Die Standardabweichung s wird gemäß Gl. (20) als positive Quadratwurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Abweichungen des Mittelwerts berechnet (Hedderich and Sachs, 2016).

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (20)$$

Test auf Normalverteilung

Eine Vorabprüfung der Daten auf Normalverteilung spielt in der statistischen Auswertung eine wesentliche Rolle, da diese für zahlreiche statistische Verfahren eine Voraussetzung darstellt (Brosius, 2013). Hierfür stehen unter anderem der Chiquadrat-Test und der Kolmogorow-Smirnov-Test zur Verfügung, wobei der erst genannte für größere und letzterer vor allem für Stichproben $n \leq 50$ Anwendung findet (Zöfel, 2000).

Zu den berechneten Prüfgrößen sollte der entsprechende p-Wert nach R.A.Fischer bestimmt werden. Dieser stellt das kleinste Signifikanzniveau α dar, mit dem aufgrund der vorliegenden Daten die Nullhypothese, wenn $p < 0,05$, abgelehnt werden kann (Hedderich and Sachs, 2016).

Ausreißertest

Der Ausreißer-Test nach Grubbs kann bei normalverteilten Daten zur Identifikation von Ausreißern angewandt werden (Hedderich and Sachs, 2016). Ausreißer stellen Werte dar, die im Verhältnis zu den restlichen Werten der Variable auffallend weit nach unten oder oben abweichen. Da keine allgemein gültige Definition vorliegt, haben sowohl die Lage als auch die Verteilung der jeweiligen Werte darauf Einfluss, ob es sich um einen Ausreißer handelt und nicht (Brosius, 2013).

Besagter Test markiert jeweils einen einzelnen Ausreißer, welcher dann aus dem Datenpool entfernt wird. Der Test kann danach prinzipiell so lange wiederholt werden, bis kein Ausreißer mehr erkannt wird (Hedderich and Sachs, 2016). Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Ausreißertest nur ein Mal mit der im Internet verfügbaren Software Quickcals (Quickcals) (mit $\alpha = 0,05$) durchgeführt.

4.6.2 Varianzanalyse / ANOVA

Zur Ermittlung signifikanter Unterschiede zwischen den Mittelwerten verschiedener Gruppen wird die Varianzanalyse, auch ANOVA genannt, eingesetzt. Dabei erfolgt ein Vergleich der Varianz, also der Streuung der Mittelwerte. Ein signifikanter Unterschied liegt dann vor, wenn die Varianz der Mittelwerte zwischen den Gruppen deutlich größer ist, als innerhalb einer Gruppe. Grundlegende Voraussetzungen für diese Analyse sind Normalverteilung und Varianzhomogenität, was mittels Shapiro-Wilk-Test und Levene-Test überprüft wird (Precht et al., 2005).

4.6.3 Post-hoc-Test

Beim Vergleich von mehr als zwei Gruppen mittels ANOVA kann zwar ermittelt werden, ob ein Unterschied vorliegt, jedoch nicht welche Gruppen sich voneinander signifikant unterscheiden. Hierzu wird ein post-hoc-Test durchgeführt, in der vorliegenden Arbeit wurde der Tukey-Test angewandt. Unterscheiden sich zwei Gruppen nicht voneinander, werden diese durch Markierung mit dem selben Kleinbuchstaben derselben homogenen

Untergruppe zugeordnet (Hedderich and Sachs, 2016).

4.6.4 Statistischer Versuchsplan

Im Gegensatz zu beobachtenden Studien erfolgt bei Experimenten die Zuordnung der unterschiedlichen Untersuchungseinheiten zu verschiedenen Behandlungen (Hedderich and Sachs, 2016). Für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Garversuche wurde ein statistischer screening faktorieller 2^2 Versuchsplan erstellt. Die Planung und Auswertung erfolgten mittels Statgraphics 16.

Die Software errechnet nach Eingabe der Anzahl an Variablen (Zielgrößen) und Faktoren (Einflussgrößen) unter Annahme einer linearen Beziehung zwischen den beiden Größen den entsprechenden Versuchsplan. Faktorielle Versuchspläne lassen Wechselwirkungen zwischen Faktoren erkennen und ermöglichen die Interpretation der Auswirkungen unterschiedlicher Einflussgrößen auf verschiedene Zielgrößen (Stat Graphics, 2014).

5 Versuchsdurchführung

5.1 Knet- und Garversuche

Vor Beginn der eigentlichen Backversuche wurden die Wasseraufnahmefähigkeiten der beiden Mehle PC und E ermittelt, um die entsprechenden Wassermengen für die Rezepturen zu berechnen. Danach wurden Vorversuche durchgeführt, um die ideale Schüttwassertemperatur experimentell zu ermitteln und um die generelle Handhabung zu standardisieren.

Die Backversuche wurden von 15.02.2016 bis 01.06.2016 (siehe Tab. 13) im Backlabor des Technikums durchgeführt und waren so geplant, dass jeweils fünf Doppelansatzversuche pro Woche absolviert wurden. Die Analysen der Teigklebrigkeit wurden am selben Tag durchgeführt, die übrigen Teigeinflussgrößen (Bradford, SH-Gruppen) wurden gesammelt gemessen. Während der anschließenden zweiwöchigen Lagerdauer der Teiglinge im Tiefkühlschrank wurden die weiteren Parameter der Rohstoffanalysen (Kjeldahl, Feuchtigkeit, Feucht- und Trockenkleber und Glutenindex) durchgeführt. Die Aschebestimmung wurde von Schülern der HTL für Lebensmitteltechnologie in Wels durchgeführt. Nach Ablauf der Lagerdauer wurden die Teiglinge entsprechend fertiggegart, gebacken und die unter Pkt. 4.5 beschriebenen Brotanalysen durchgeführt. Diese Prozedur erfolgte in adaptierter Form auch für die Teiglinge und Brote der anschließend absolvierten Garversuche.

Abb. 35 und 36 zeigen beispielhafte Frostungskurven zur Ermittlung der adäquaten Frostungszeiten für den Knet- (31 Minuten) und Garversuch (66 Minuten).

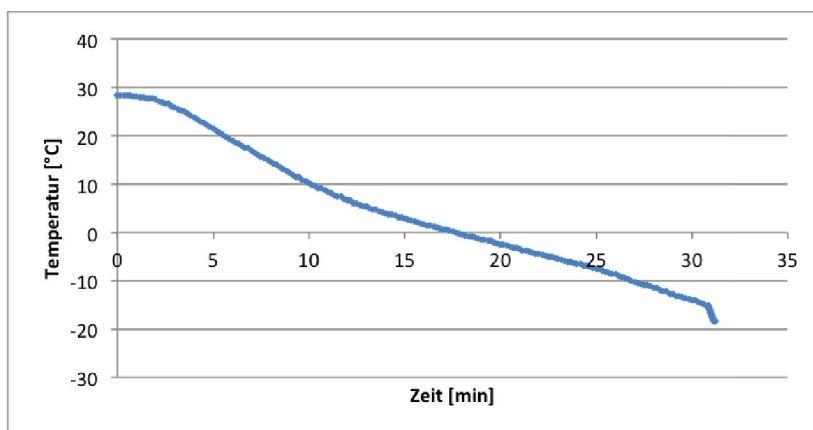


Abb. 35: Frostungskurve des Knetversuchs V5 PC Knet1/8/0 mit der Dauer der Frostung in Minuten (Abszisse) bis zum Erreichen einer Kerntemperatur von -18 °C gegen die gemessene Kerntemperatur in °C (Ordinate)

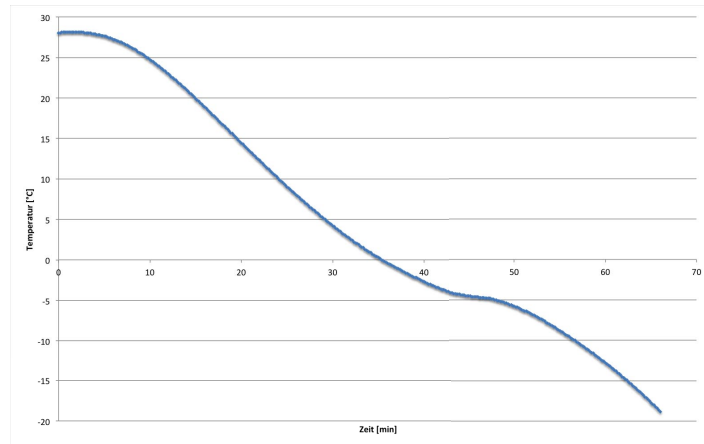


Abb. 36: Frostungskurve des Garveruchs V21 PC Gar30min/70% mit der Dauer der Frostung in Minuten (Abszisse) gegen die gemessene Kerntemperatur in °C (Ordinate)

Tab. 13: Auflistung der Teigansätze der Backversuche mit den entsprechenden Zubereitungs- und Aufbackdaten

Code	zubereitet am	Code	Hback fertig gebacken
V1/2 PC Knet1/5/0	15/02/2016	V30 RX BBL500	07/06/2010
V3/4 PC Knet 5/1/0	16/02/2016	V31 RX WF600-30	14/06/2016
V5/6 PC Knet 1/8/0	17/02/2016	V32 RX WF200	14/06/2016
V7/8 PC Knet 8/1/0	18/02/2016	V33 RX Guar	14/06/2016
V9/10 PC Knet6/1/2	19/02/2016	V34 RX CMC	14/06/2016
V11/12 E Knet 1/5/0	07/03/2016		
V13/14 E Knet 1/8/0	08/03/2016		
V15/16 PC Gar10min/85%	24/03/2016		
V17/18 PC Gar10min/70%	04/04/2016		
V19/20 PC Gar30min/85%	05/04/2016		
V21/22 PC Gar30min/70%	06/04/2016		
V23/24 PC Gar20min/77%	30/05/2016		
V25 RX Kontrolle	31/05/2016		
V26 RX BBL100	31/05/2016		
V27 RX WF600	01/06/2016		
V28 RX Compound	01/06/2016		

5.2 Teilbackversuche mit Pflanzenfasern

Die Versuche mit teilgebackenen Broten erfolgten mit dem Probenmehl RX, wobei ein Teil der Brote (V25 bis V28) selbst frisch zubereitet, gegart, teilgebacken, tiefgekühlt und später fertiggebacken wurde. Die restlichen Brote (V30 bis V34), die von der Kollegin Kathrin Mokesch ebenso angesetzt und tiefgekühlt wurden, wurden nach entsprechender Lagerung fertig gebacken.

Bei den Teilbackbroten erfolgten die Brotanalysen wie unter Pkt. 4.5, wobei hier nicht das spezifische Volumen, sondern der Umfang der Brote an beiden Kantenseiten der Brote gemessen und als Mittelwert verwendet wurde. Als weitere Adaption wurden die Würfel, die zum Analysieren der Festigkeit verwendet worden waren, anschließend gefriergetrocknet und mittels Labormühle (IKA MF 10.2, Siebeinsatz 1.0 mm) vermahlen. Daraus wurden RVA-Profile (Standardprofil 1), wie unter Pkt. 4.2.5 beschrieben, erstellt, um den Verlauf des Altbackenwerdens der Brote zu analysieren.

Wie in Tab. 14 aufgelistet, wurden die vier Brote eines Ansatzes alternierend über die Lagerdauer von insgesamt neun Tagen analysiert, zusätzlich wurden die Umfänge und Gewichte der Brote notiert.

Tab. 14: Ablauf der Brotanalysen der teilgebackenen Brote

Tag 0	Brot 1 scannen, Festigkeit messen und gefriertrocknen
Tag 1	Brot 1 vermahlen, RVA
Tag 2	Brot 2 scannen, Festigkeit messen und gefriertrocknen
Tag 3	Brot 2 vermahlen, RVA
Tag 6	Brot 3 scannen, Festigkeit messen und gefriertrocknen
Tag 7	Brot 3 vermahlen, RVA
Tag 8	Brot 4 scannen, Festigkeit messen und gefriertrocknen
Tag 9	Brot 4 vermahlen, RVA

6 Versuchsergebnisse und Diskussion

6.1 Ergebnisse der Rohstoffanalysen

6.1.1 Allgemeine Rohstoffcharakterisierung

Die durchgeführten Rohstoffanalysen dienen als Grundlage zur Vergleichbarkeit der weiteren Versuchsergebnisse. Hierzu wurden die Parameter für den Wasser-, Asche-, und Proteingehalt analysiert. Die detaillierten Ergebnisse sind in Tab. 15 dargestellt. Der ermittelte Feuchtigkeitsgehalt liegt im Bereich typischer Werte und deutlich unter dem für Weizenmehl kritischen Wert von 15,5 % Mehlfeuchtigkeit (Bundesministerium für Gesundheit, 2015).

Der Aschegehalt von 0,84 % in der Trockensubstanz beider Mehle liegt leicht über dem oberen Grenzwert (0,79 % i.d.TS) (Bundesministerium für Gesundheit, 2015).

Die mittels Kjeldahl-Methode (% N $\times$ 5,7) eruierten Proteingehalte der beiden W 700 Mehle liegen etwas über den Literaturwerten für W 630 bzw. W 812 (Souci et al., 2008).

Die in der farinographischen Untersuchung ermittelte Wasseraufnahmefähigkeit (siehe Tab. 16) der beiden Mehle PC und E unterscheidet sich geringfügig, Mehl PC zeigt eine längere Entwicklungszeit und Stabilität.

Die ermittelten Rohstoffparameter zeigen, dass die eingesetzten Probenmehle gut für die Herstellung von Weizenbrot geeignet sind.

Tab. 15: Wasser-, Protein-, und Aschegehalte der Probenmehle PC und E

Mehl	Wassergehalt [%]	Protein i.d.TS [% N $\times$ 5,7]	Asche i.d.TS [%]
PC	12.74 $\pm$ 0.01	13.17 $\pm$ 0.39	0.84 $\pm$ 0.01
E	12.89 $\pm$ 0.03	11.98 $\pm$ 0.88	0.84 $\pm$ 0.01

Tab. 16: Farinogramm-Ergebnisse der Probenmehle PC und E

	Mehl PC	Mehl E
Wasseraufnahme 500 (%)	60.77 $\pm$ 0.12	60.03 $\pm$ 0.21
Entwicklungszeit (min)	6.73 $\pm$ 0.81	3.67 $\pm$ 2.19
Stabilität (min)	10.00 $\pm$ 0.52	8.63 $\pm$ 0.92
Qualitätszahl	82.33 $\pm$ 10.97	58.33 $\pm$ 23.09

6.1.2 RVA

Tab. 17 listet die Ergebnisse der Messungen mittels RVA auf und Abb. 37 und 38 zeigen die RVA-Profile der beiden Mehle. Die niedrigen Standardabweichungen kennzeichnen eine gute Wiederholbarkeit der Messungen. Mehl PC erreichte dabei bei den drei Parametern Peak Viscosity, Holding Strength und Final Viscosity um 15 bis 30 % höhere Werte als Mehl E.

Der angegebene Parameter Holding Strength wird durch den Zerstörungsgrad der angeschwollenen Stärkekörner beeinflusst. Je größer die Differenz zur Peak Viscosity ausfällt, desto geringer ist der Einfluss der Scherbeanspruchung durch den Rührarm (Kaur et al., 2013).

Tab. 17: Ergebnisse der RVA-Messungen der Probenmehle PC und E

Mehl	Peak Viscosity [cP]	Holding Strength [cP]	Final Viscosity [cP]
PC	2321 ± 17	1385 ± 26	2562 ± 18
E	1970 ± 4	969 ± 5	1988 ± 2

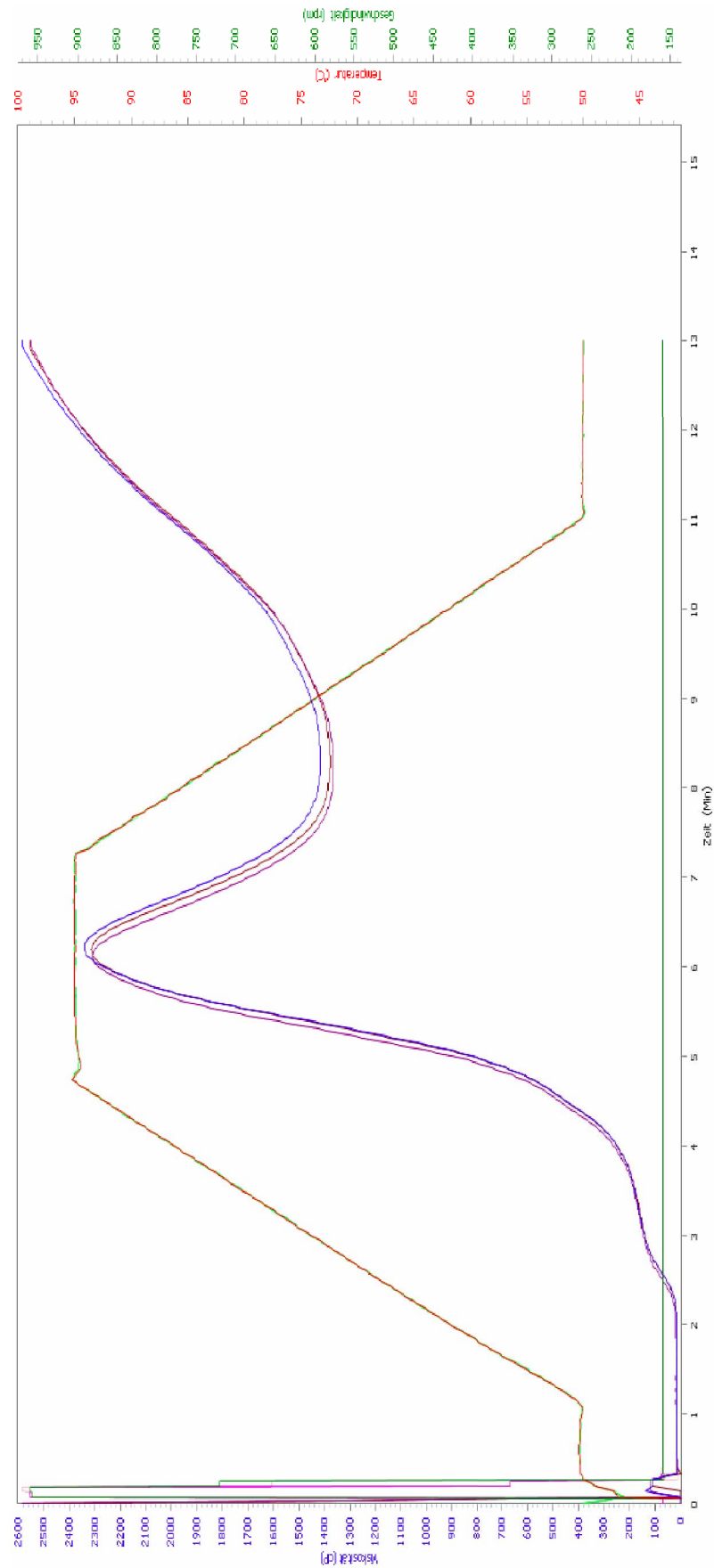


Abb. 37: RVA-Verlauf des Probenmehls PC

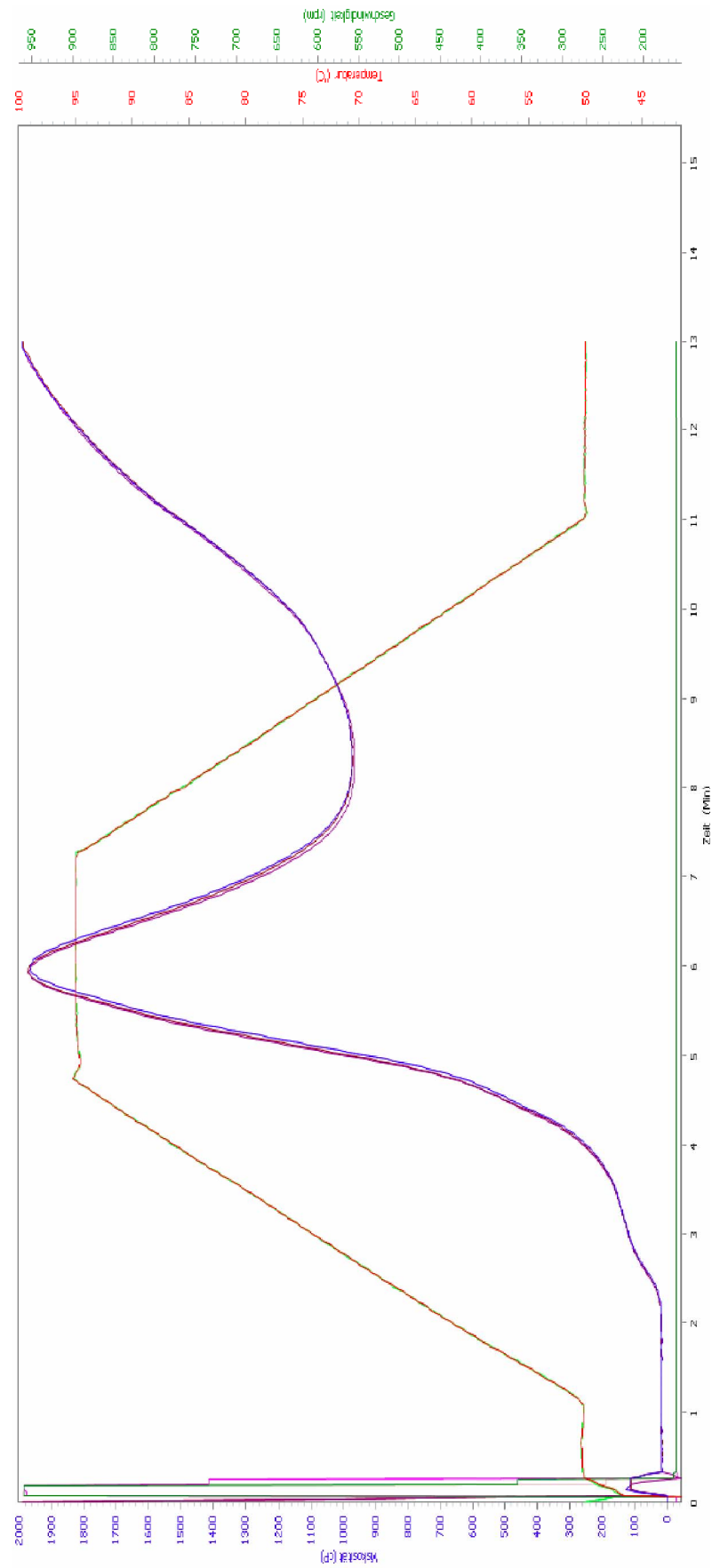


Abb. 38: RVA-Verlauf des Probenmehls E

6.1.3 Feucht- und Trockenkleber, Glutenindex

Tab. 18 listet die Ergebnisse der Parameter Glutenindex, Feucht- und Trockenkleber auf. Das Mehl PC erzielte im Vergleich zu Mehl E höhere Feucht- und Trockenklebergehalte, aber einen geringeren Glutenindex.

Beide Mehle weisen beim Glutenindex Werte > 80 auf, wodurch sie feste Kleber bilden und zur Herstellung von Weizenbrot geeignet sind. Untersuchungen zeigten, dass der Glutenindex nicht mit dem Brotvolumen korreliert, sehr wohl aber der Feuchtklebergehalt mit dem Volumen (Bonfil and Posner, 2012).

Tab. 18: Ergebnisse der Feucht-, Trockenkleber- und Glutenindexanalysen der Probenmehle PC und E

Mehl	Feuchtkleber 14% Mf[%]	Trockenkleber [%]	Glutenindex
PC	33.27 ± 0.71	11.35 ± 0.19	90.94 ± 4.37
E	28.66 ± 0.89	9.83 ± 0.33	96.67 ± 1.17

6.2 Ergebnisse der Knetversuche

Im Rahmen dieser Arbeit wurden zu Beginn Knetversuche durchgeführt, um die unterschiedlichen Einflüsse der verwendeten Knetung, des eingesetzten Mehls und der Herstellungsart (frisch oder TK) auf die Teig- und Brotqualität zu untersuchen. Hier folgen zunächst die Ergebnisse der Teiganalysen.

6.2.1 Teiganalysen

Teigklebrigkeit nach dem Knet- und Garprozess

Zur Optimierung der Maschinenverarbeitbarkeit wurde die Teigklebrigkeit gemessen. Tab. 19 zeigt die Veränderungen der Teigklebrigkeit durch unterschiedliche Knetbedingungen nach dem Kneten und nach Abschluss der Gare bei frischen und TK-Teiglingen. Es konnte eine Veränderung der Klebrigkeit nach dem Knetprozess durch Unterschiede in der Gesamtknetdauer und der Dauer der Schnellknetung beobachtet werden, jedoch ist kein eindeutiger Trend erkennbar. Der höchste Wert von 30,635 N bei Mehl PC wurde durch eine dreistufige Knetung mit sechs Minuten langsamem, einer Minute schnellem und abschließend zweiminütigem langsamem Kneten erzielt. Die geringste Teigklebrigkeit bei Mehl PC wurde durch Knet 5/1/0 mit 23,791 N erreicht. Die zweite Knetvariante (Knet 5/1/0) unterscheidet sich nicht signifikant von der Kontrolle (Knet 1/5/0), die restlichen Varianten (Knet 1/8/0, Knet 8/1/0 und Knet 6/1/2) zeigen signifikante Unterschiede. Knet 1/5/0 und Knet 1/8/0 in Kombination mit Mehl E zeigten bei gleicher Knetung vergleichbare Klebrigkeitswerte nach dem Kneten.

Die eingesetzten Knetvarianten zeigten im Vergleich zur Standardknetvariante unterschiedliche Auswirkung auf die Klebrigkeit der frischen Teiglinge nach vollendeter Gare. Die Knetvariante fünf (Knet 6/1/2) unterschied sich bei Mehl PC signifikant von Variante eins (Knet 1/5/0). Mit 23,183 N konnte mit der Knetvariante (Knet 1/5/0) und Mehl PC der geringste Klebrigkeitswert bei frischen Teiglingen erzielt werden.

Bei den tiefgekühlten Teiglingen kann kein eindeutiger Trend erkannt werden. Der Maximalwert von 37,283 N bei Mehl PC wurde durch Kneten bei der Variante drei (Knet 1/8/0) erzielt. Kontrolle (Knet 1/5/0) und Variante vier (Knet 8/1/0) unterschieden sich mit den geringsten Klebrigkeitswerten signifikant von den übrigen drei Knetvarianten (Knet 5/1/0, Knet 1/8/0 und Knet 6/1/2). Knet 1/5/0 und 1/8/0 kombiniert mit Mehl E ergab höhere Klebrigkeitswerte im Vergleich zum verwendeten Mehl PC. Yildiz et al. (2012) zeigten in ihren Versuchen die positive Korrelation zwischen Teigklebrigkeit, Wasseraufnahmefähigkeit und Proteingehalt.

Für die Praxis empfiehlt sich zur Herstellung von TK-Teiglingen Knetvariante eins (Knet 1/5/0) unter Einsatz von Mehlen vergleichbar mit Mehl PC, da hierdurch der zweitniedrigste Klebrigkeitswert nach dem Kneten und der niedrigste Wert nach abgeschlossener Gare erzielt werden konnte, um eine bestmögliche Maschinenverarbeitbarkeit der Teige sicherzustellen.

Gehalt an löslichem Protein - Bradford

Um die Gehalte an löslichem Protein aus den Teigextrakten frischer und tiefgekühlter Teiglinge vergleichen zu können, wurden Bradfordanalysen durchgeführt. Beim Gehalt an löslichem Protein (siehe Tab. 20) unterscheiden sich bei Mehl PC bei den frischen Teiglingen die beiden Knetvarianten eins (Knet 1/5/0) und zwei (Knet 5/1/0) signifikant von den Varianten drei bis fünf (Knet 1/8/0, Knet 8/1/0 und Knet 6/1/2). Eine kürzere Gesamtknetdauer von sechs Minuten (Knet 1/5/0 und Knet 5/1/0) bewirkte bei frischen Teiglingen signifikant höhere lösliche Proteingehalte als bei (Knet 1/8/0, Knet 8/1/0 und Knet 6/1/2) mit neun Minuten Gesamtknetzeit. Bei Mehl E zeigten sich bei frischen Teiglingen keine signifikanten Unterschiede.

Bei den TK-Teiglingen in Kombination mit Mehl PC unterscheiden sich Knet 5/1/0 und Knet 6/1/2 signifikant von Knet 1/5/0. Hier konnte kein Trend bezüglich der Gesamtknetdauer erkannt werden. Mehl E zeigte in Kombination mit Knet 1/5/0 und Knet 1/8/0 bei den TK-Teiglingen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Gehalts löslicher Proteine. Sowohl bei frischen als auch bei TK-Teiglingen mit Mehl E wurden geringere lösliche Proteingehalte verglichen mit Mehl PC gemessen, dies deckt sich mit den Ergebnissen aus den Kjeldahl-Untersuchungen der Rohstoffanalysen.

SH-Gruppen

Zhao et al. (2012) beschreiben eine starke Korrelation zwischen der Glutenstruktur und dem Gehalt an Disulfidbrücken. Während Glutenine viele intra- und intermo-

lekulare Disulfidbindungen besitzen, weisen Gliadine nur intramolekulare auf. Diese Disulfidbrücken zeichnen verantwortlich für eine stabile Glutenstruktur. Eine Abnahme der Disulfidbrücken, die gleichsam eine Zunahme der freien SH-Gruppen zur Folge hat, zeigt negative Auswirkungen auf das Glutennetzwerk.

Die Bestimmung des Gehalts an proteinfreien freien SH-Gruppen (Parameter A, siehe Tab. 21) zeigte bei Mehl PC bei frischen Teiglingen keine signifikanten Unterschiede, bei Mehl E brachte die Variante Knet 1/8/0 mit längerem Anteil schneller Knetung einen signifikant höheren Gehalt proteinfreier freier SH-Gruppen. Bei den TK-Teiglingen in Kombination mit Mehl PC konnte mit Knet 1/5/0 der signifikant höchste Wert proteinfreier freier SH-Gruppen gemessen werden, Knet 5/1/0, Knet 8/1/0 und Knet Knet 6/1/2 unterschieden sich zusätzlich signifikant von Knet 1/8/0. Alle Knetvarianten bewirkten eine Zunahme der proteinfreien freien SH-Gruppen beim Vergleich der frischen und TK-Teiglinge bei Mehl PC. Beim Vergleich der Knetvarianten (Knet 1/5/0 und Knet 1/8/0) bei Mehl PC mit E zeigte sich, dass Mehl E bei den tiefgekühlten Teiglingen geringere proteinfreie freie SH-Gruppen lieferte.

Beim Summenparameter B (siehe Tab. 22) der freien SH-Gruppen unterschieden sich beim Mehl PC die Knetvarianten zwei bis fünf (Knet 5/1/0, Knet 1/8/0, Knet 8/1/0 und Knet 6/1/2) der TK-Teiglinge signifikant von Variante eins (Knet 1/5/0). Bei Knet 1/5/0 wurde der geringste Gehalt freier SH-Gruppen bestimmt. Diese Variante mit sechs Minuten Gesamtknetzeit zeigte die geringsten Verluste an Disulfidbrücken-Bindungen durch den Knetvorgang. Die Ergebnisse der Knetvarianten der frischen Teiglinge unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Im Vergleich zur Kontrolle (Knet 1/5/0) konnte bei Gegenüberstellung der frischen und TK-Teiglinge bei allen anderen Knetvarianten ein Anstieg der freien SH-Gruppen zu beobachtet. Bei Verwendung des Mehls E wurde bei Knet 1/5/0 ein höherer SH-Gruppen-Gehalt als mit Mehl PC erzielt, bei Variante (Knet 1/8/0) ein niedrigerer Gehalt im Vergleich zu Mehl PC.

Zhao et al. (2012) konnten in ihren Versuchen keine signifikanten Veränderungen im Gehalt an freien SH-Gruppen über die TK-Lagerdauer von 30 Tagen feststellen. Da eine Zunahme der freien SH-Gruppen mit negativen Auswirkungen auf das Glutennetzwerk einhergeht (Zhao et al., 2012), empfiehlt sich für die Herstellung tiefgekühlter Teiglinge der Einsatz von Mehlen vergleichbar mit Mehl PC in Kombination mit der untersuchten Knetvariante (Knet 1/5/0). Hierdurch konnten die niedrigsten freien SH-Gruppen-Ergebnisse erzielt werden.

Änderungen des pH-Werts

Die Veränderung des pH-Werts während des Herstellungsprozesses wurde als Differenzparameter nach vollständiger Gare und nach dem Kneten berechnet. Die Ergebnisse

der unterschiedlichen Knetbedingungen der frisch und tiefgekühlt zubereiteten Teiglinge sind aus Tab. 23 ersichtlich. Bei Verwendung von Mehl PC zeigen sich keine signifikanten Unterschiede bei frischen und TK-Teiglingen. Durch langes und langsames Kneten bei der Knetvariante fünf (Knet 6/1/2) konnte ein Anstieg des pH-Werts zwischen frisch und TK beobachtet werden, bei allen anderen Knetvarianten (Knet 1/5/0, Knet 5/1/0, Knet 1/8/0 und Knet 8/1/0) war ein Abfallen der pH-Wert-Differenz zu beobachten. Mehl E zeigte bei Knet 1/5/0 und Knet 1/8/0 bei frischen Teiglingen keine signifikanten Unterschiede, bei TK-Zubereitung lag Knet 1/8/0 signifikant niedriger als Knet 1/5/0. Auch hier konnte ein Abfall der pH-Wert-Differenz zwischen frischen und TK-Teiglingen beobachtet werden. Es zeigte sich, dass über den berechneten Differenzparameter keine Aussage über das Fortschreiten des Reifungszustandes des Teiges getroffen werden können.

Tab. 19: Ergebnisse der Messungen der Teigklebrigkeit der frischen und TK-Teiglinge nach dem Knet- und Garprozess (n=6)

Knetbedingungen	Stickiness Knet	Stickiness Gare	
	frisch Klebrigkeit [N]	frisch Klebrigkeit [N]	TK Klebrigkeit [N]
V1/2 PC Knet 1/5/0	24.748a $\pm$ 2,354	23.183a $\pm$ 3.036	25.365a $\pm$ 11.981
V3/4 PC Knet 5/1/0	23.791a $\pm$ 3,138	25.543ab $\pm$ 3.220	35.037b $\pm$ 3.027
V5/6 PC Knet 1/8/0	28.075b $\pm$ 2,608	24.783ab $\pm$ 3.799	37.283b $\pm$ 3.906
V7/8 PC Knet 8/1/0	30.589b $\pm$ 2,915	26.134ab $\pm$ 3.103	26.925a $\pm$ 2.957
V9/10 PC Knet 6/1/2	30.635b $\pm$ 2,784	28.053b $\pm$ 3.662	36.685b $\pm$ 3.560
p-Wert	0.000	0.007	0.000
V11/12 E Knet 1/5/0	22.918a $\pm$ 1.918	21.331a $\pm$ 3.144	38.762a $\pm$ 4.431
V13/24 E Knet 1/8/0	23.029a $\pm$ 2.892	23.794b $\pm$ 2.597	43.907b $\pm$ 3.775
p-Wert	0.912	0.048	0.024

Werte mit selbem Index in derselben Spalte unterscheiden sich nicht signifikant ($p > 0.05$)

Tab. 20: Ergebnisse der Bradford-Analyse zur Bestimmung des löslichen Proteingehalts in [g/100] Teig (n=4)

Knetbedingungen	frisch lös. Proteingehalt [g/100g]	TK lös. Proteingehalt [g/100g]
V1/2 PC Knet 1/5/0	2.873b $\pm$ 0.202	2.268a $\pm$ 0.177
V3/4 PC Knet 5/1/0	2.823b $\pm$ 0.170	2.593b $\pm$ 0.161
V5/6 PC Knet 1/8/0	2.227a $\pm$ 0.104	2.501ab $\pm$ 0.202
V7/8 PC Knet 8/1/0	2.269a $\pm$ 0.319	2.420ab $\pm$ 0.240
V9/10 PC Knet 6/1/2	2.432a $\pm$ 0.305	2.606b $\pm$ 0.227
p-Wert	0.000	0.012
V11/12 E Knet 1/5/0	2.205a $\pm$ 0.452	1.828a $\pm$ 0.220
V13/24 E Knet 1/8/0	2.035a $\pm$ 0.094	2.034a $\pm$ 0.288
p-Wert	0.316	0.131

Werte mit selbem Index in derselben Spalte unterscheiden sich nicht signifikant ($p > 0.05$)

Tab. 21: Ergebnisse der Analyse zur Bestimmung der freien proteinfreien SH-Gruppen (Parameter A) in [μ mol/g] (n=4)

Knetbedingungen	frisch freie SH-Gruppen [μ mol/g]	TK freie SH-Gruppen [μ mol/g]
V1/2 PC Knet 1/5/0	0.0274a $\pm$ 0.0080	0.1500c $\pm$ 0.0430
V3/4 PC Knet 5/1/0	0.0274a $\pm$ 0.0025	0.0796a $\pm$ 0.0073
V5/6 PC Knet 1/8/0	0.0298a $\pm$ 0.0088	0.1196b $\pm$ 0.0042
V7/8 PC Knet 8/1/0	0.0339a $\pm$ 0.0115	0.0726a $\pm$ 0.0118
V9/10 PC Knet 6/1/2	0.0290a $\pm$ 0.0095	0.0838a $\pm$ 0.0070
p-Wert	0.659	0.000
V11/12 E Knet 1/5/0	0.085a $\pm$ 0.009	0.095a $\pm$ 0.013
V13/24 E Knet 1/8/0	0.110b $\pm$ 0.009	0.114b $\pm$ 0.020
p-Wert	0.000	0.042

Werte mit selbem Index in derselben Spalte unterscheiden sich nicht signifikant ($p > 0.05$)

Tab. 22: Ergebnisse der Analyse zur Bestimmung der freien SH-Gruppen (Summenparameter B) in $[\mu\text{mol/g}]$ ($n=4$)

Knetbedingungen	frisch	TK
	freie SH-Gruppen $[\mu\text{mol/g}]$	freie SH-Gruppen $[\mu\text{mol/g}]$
V1/2 PC Knet 1/5/0	$0.2931a \pm 0.0253$	$0.2602a \pm 0.0227$
V3/4 PC Knet 5/1/0	$0.3148a \pm 0.0799$	$0.3465b \pm 0.0179$
V5/6 PC Knet 1/8/0	$0.2798a \pm 0.0193$	$0.3416b \pm 0.0266$
V7/8 PC Knet 8/1/0	$0.2735a \pm 0.0163$	$0.3438b \pm 0.0320$
V9/10 PC Knet 6/1/2	$0.2594a \pm 0.0491$	$0.3516b \pm 0.0073$
p-Wert	0.161	0.000
V11/12 E Knet 1/5/0	$0.347a \pm 0.005$	$0.301a \pm 0.013$
V13/24 E Knet 1/8/0	$0.368b \pm 0.020$	$0.318a \pm 0.025$
p-Wert	0.013	0.098

Werte mit selbem Index in derselben Spalte unterscheiden sich nicht signifikant ($p > 0.05$)

Tab. 23: Ergebnisse der pH-Wertdifferenzen der Knetversuche

Knetbedingungen	pH-Wert	
	frisch	TK
V1/2 PC Knet 1/5/0	0.39a	0.11a
V3/4 PC Knet 5/1/0	0.38a	0.28a
V5/6 PC Knet 1/8/0	0.32a	0.18a
V7/8 PC Knet 8/1/0	0.31a	0.20a
V9/10 PC Knet 6/1/2	0.32a	0.36a
p-Wert	0.170	0.069
V11/12 E Knet 1/5/0	0.36a	0.20b
V13/24 E Knet 1/8/0	0.31a	0.18a
p-Wert	0.214	0.038

Werte mit selbem Index in derselben Spalte unterscheiden sich nicht signifikant ($p > 0.05$)

6.2.2 Brotanalysen

Die Auswirkungen der verschiedenen Knetvarianten, der eingesetzten Mehle und der Zubereitung (frisch oder TK) auf die fertiggebackenen und gebackenen Brote wurden mittels der Parameter Volumen, Krumenfestigkeit, Farbe, Backverlust, Porosität und Porenfläche untersucht.

Die durch unterschiedliche Knetung erzielten spezifischen Brotvolumina für frische und TK-Teiglinge sind in Tab. 24 aufgelistet. Bei frischer Zubereitung unterscheiden sich bei Mehl PC Knetvariante zwei (Knet 5/1/0) und drei (Knet 1/8/0) signifikant voneinander, bei den TK-Broten unterscheiden sich Variante eins (Knet 1/5/0), vier (Knet 8/1/0) und fünf (Knet 6/1/2). Die größten spezifischen Volumina konnten bei TK-Teiglingen unter Verwendung von Mehl PC durch die Knet 1/5/0 mit 2,94 erzielt werden. Die Ergebnisse von Knet 1/5/0 und Knet 1/8/0 unter Einsatz von Mehl E lagen mit 2,50 und 2,49 unter den vergleichbaren Werten von Mehl PC. Wie auch von Shi et al. (2013) beschrieben, konnten tiefkühlzubereitete Brote nicht das spezifische Volumen vergleichbarer frischer Brote erreichen, wobei die Unterschiede in dieser Arbeit geringer ausfielen. Variante zwei (Knet 5/1/0) und fünf (Knet 6/1/2) erzielten durch längere und langsame Knetung bei frischen Broten höhere Volumina als die Kontrolle mit Standardknetung (Knet 1/5/0). Mehl PC und Knet 1/5/0 eignen sich für die Herstellung von TK-Teiglingen am besten, da hierdurch das größte spezifische Volumen erzielt werden kann.

Die Gegenüberstellung der Brotkrumenfestigkeit und der relativen Elastizität der frischen und TK-Brote ist in Tab. 25 dargestellt. Die von Shi et al. (2013) beschriebenen starken Anstiege der Festigkeit der Krume durch TK-Herstellung konnten nicht beobachtet werden. Die Knetvarianten mit Mehl PC bei frischer und TK-Zubereitung unterschieden sich untereinander nicht signifikant. Durch Knetvariante drei (Knet 1/8/0) konnte eine annähernd gleich niedrige Krumenfestigkeit bei frisch und TK erzielt werden, Knetvariante vier (Knet 8/1/0) erzielte durch langes und langsames Kneten unter Verwendung von Mehl PC durch TK-Zubereitung die weichste Krume (4,024 N), wobei durch die TK-Zubereitung eine weichere Krume als beim frischen Brot erzielt werden konnte. Mehl E in Kombination mit Knet 1/5/0 und Knet 1/8/0 erzielte vergleichbare Ergebnisse wie Mehl PC. Die relative Elastizität aller untersuchten Brote bewegte sich zwischen 67,4 und 70,4 %. Die weichste Krume kann durch Knet 8/1/0 (langes und langsames Kneten mit neun Minuten Gesamtknetdauer) in Kombination mit vergleichbaren Mehlen wie Mehl PC erzielt werden.

Tab. 26 zeigt die Ergebnisse der Poren- und Porenflächenanalyse. Knetvariante fünf (Knet 6/1/2) kombiniert mit Mehl PC unterschied sich beim frischen Brot mit signifikant geringerer Porenfläche und geringerer Porosität von den anderen (Knet 1/5/0,

Knet 5/1/0, Knet 1/8/0 und Knet 8/1/0), bei den TK-Broten konnten keine Unterschiede festgestellt werden. Mehl E lieferte bei Knet 1/5/0 und Knet 1/8/0 vergleichbare Ergebnisse zu Mehl PC. Knet 1/5/0 und Knet 1/8/0 unterschieden sich bei Mehl E und frischer Zubereitung hinsichtlich der Porenfläche signifikant. Die Versuche zeigten, dass sich die Knetung nicht auf die Porenfläche und die Porosität bei TK-Teiglingen auswirkt, wohl aber die Wahl des Mehls.

Abb. 39 zeigt die LAB-Werte der unterschiedlich gekneteten Brote. Shi et al. (2013) konnten feststellen, dass TK-Brote dunkler erscheinen als frisch hergestellte. Das deckt sich mit den Ergebnissen der Kontrolle (Knet 1/5/0) und der Knetvarianten zwei (Knet 5/1/0), bei den anderen Varianten (Knet 1/8/0, Knet 8/1/0 und Knet 6/1/2) konnte Gegenteiliges beobachtet werden. Die Variation der Knetung und des Mehls zeigt geringe Auswirkung auf die LAB-Werte der Brote.

Die Backverluste der unterschiedlichen Knetversuche für frische und TK-Teiglinge sind in Abb. 40 dargestellt. Dabei zeigte sich, dass die Backverluste der frischen Brote gegenüber jenen der TK-Teiglinge etwas höher ausfielen, wobei beim Mehl PC durch Knet 6/1/2 durch langes und langsames Kneten mit neun Minuten Gesamtzeit der geringste Verlust bei Herstellung von TK-Teiglingen beobachtet werden konnte. Die Art des Mehls zeigte keine Auswirkung auf den Backverlust. Um möglichst geringe Backverluste zu erzielen empfehlen sich Knetungen entsprechend Knet 6/1/2 zur Herstellung von TK-Teiglingen.

Abb. 41 und Tab. 27 fassen die unterschiedlichen Auswirkungen der beiden Mehle PC und E, der beiden Zubereitungsarten frisch und TK und der Knetvarianten eins (Knet 1/5/0) und drei (Knet 1/8/0) auf das spezifische Brotvolumen zusammen. Die Kombination Mehl PC, Knet 1/5/0 und frische Zubereitung lieferte insgesamt das größte spezifische Volumen (2,99), Mehl PC kombiniert mit Knet 1/5/0 lieferte mit 2,94 das größte spezifische Volumen bei TK-Zubereitung. Die letztgenannte Variante empfiehlt sich für die Herstellung von TK-Teiglingen, da hierdurch nahezu die gleichen spezifischen Volumina wie bei frischer Zubereitung erreicht werden können und sich dadurch keine Qualitätseinbußen ergeben.

Tab. 24: Ergebnisse der spezifischen Volumina der Knetversuche (n=3)

Knetbedingungen	spezifisches Volumen	
	frisch	TK
V1/2 PC Knet 1/5/0	2.99ab $\pm$ 0.21	2.94d $\pm$ 0.08
V3/4 PC Knet 5/1/0	3.12b $\pm$ 0.12	2.75bc $\pm$ 0.12
V5/6 PC Knet 1/8/0	2.88a $\pm$ 0.16	2.65ab $\pm$ 0.07
V7/8 PC Knet 8/1/0	2.94ab $\pm$ 0.13	2.60a $\pm$ 0.07
V9/10 PC Knet 6/1/2	3.02ab $\pm$ 0.18	2.78c $\pm$ 0.12
p-Wert	0.014	0.000
V11/12 E Knet 1/5/0	2.87b $\pm$ 0.12	2.50a $\pm$ 0.07
V13/24 E Knet 1/8/0	2.70a $\pm$ 0.14	2.49a $\pm$ 0.09
p-Wert	0.004	0.823

Werte mit selbem Index in derselben Spalte unterscheiden sich nicht signifikant ($p > 0.05$)

Tab. 25: Ergebnisse der Festigkeit und relativen Elastizität der Brote der Knetversuche (n=3)

Knetbedingungen	F_{max} [N]		RE [%]	
	frisch	TK	frisch	TK
V1/2 PC Knet 1/5/0	3.394a $\pm$ 0.526	5.407a $\pm$ 1.106	69.9a $\pm$ 1.1	69.5a $\pm$ 0.9
V3/4 PC Knet 5/1/0	3.935a $\pm$ 0.495	6.053a $\pm$ 1.048	70.4a $\pm$ 0.6	69.1a $\pm$ 1.3
V5/6 PC Knet 1/8/0	4.398a $\pm$ 0.789	4.402a $\pm$ 0.233	69.8a $\pm$ 0.3	70.1a $\pm$ 0.1
V7/8 PC Knet 8/1/0	5.245a $\pm$ 2.018	4.034a $\pm$ 1.631	69.2a $\pm$ 1.0	69.5a $\pm$ 1.1
V9/10 PC Knet 6/1/2	3.794a $\pm$ 1.527	4.699a $\pm$ 2.089	69.3a $\pm$ 1.3	70.4a $\pm$ 0.9
p-Wert	0.127	0.073	0.123	0.081
V11/12 E Knet 1/5/0	4.115a $\pm$ 1.177	5.422a $\pm$ 2.890	68.1a $\pm$ 0.6	70.1a $\pm$ 1.5
V13/24 E Knet 1/8/0	4.741a $\pm$ 1.117	5.435a $\pm$ 1.693	67.4a $\pm$ 1.0	68.9a $\pm$ 1.0
p-Wert	0.367	0.994	0.386	0.985

Werte mit selbem Index in derselben Spalte unterscheiden sich nicht signifikant ($p > 0.05$)

Tab. 26: Ergebnisse der Porosität und der Porenfläche der Knetversuche (n=3)

Knetbedingungen	Porenfläche [px^2]		Porosität [%]	
	frisch	TK	frisch	TK
V1/2 PC Knet 1/5/0	239.34b $\pm$ 10.2	247.93a $\pm$ 22.45	35.79ab $\pm$ 0.71	37.37a $\pm$ 1.7
V3/4 PC Knet 5/1/0	220.72b $\pm$ 18.35	233.14a $\pm$ 23.92	36.93b $\pm$ 1.15	37.10a $\pm$ 1.03
V5/6 PC Knet 1/8/0	218.09b $\pm$ 13.03	243.82a $\pm$ 18.82	36.56b $\pm$ 0.90	36.40a $\pm$ 1.46
V7/8 PC Knet 8/1/0	208.98b $\pm$ 11.90	236.48a $\pm$ 24.13	37.04b $\pm$ 1.08	36.44a $\pm$ 0.51
V9/10 PC Knet 6/1/2	136.49a $\pm$ 72.68	240.08a $\pm$ 10.83	31.55a $\pm$ 5.60	38.52a $\pm$ 0.95
p-Wert	0.000	0.860	0.007	0.136
V11/12 E Knet 1/5/0	240.20b $\pm$ 12.93	246.37a $\pm$ 10.81	37.58a $\pm$ 0.82	37.51a $\pm$ 0.52
V13/24 E Knet 1/8/0	222.17a $\pm$ 12.30	254.28a $\pm$ 13.71	37.14a $\pm$ 1.25	37.13a $\pm$ 2.42
p-Wert	0.033	0.400	0.491	0.773

Werte mit selbem Index in derselben Spalte unterscheiden sich nicht signifikant ($p > 0.05$)

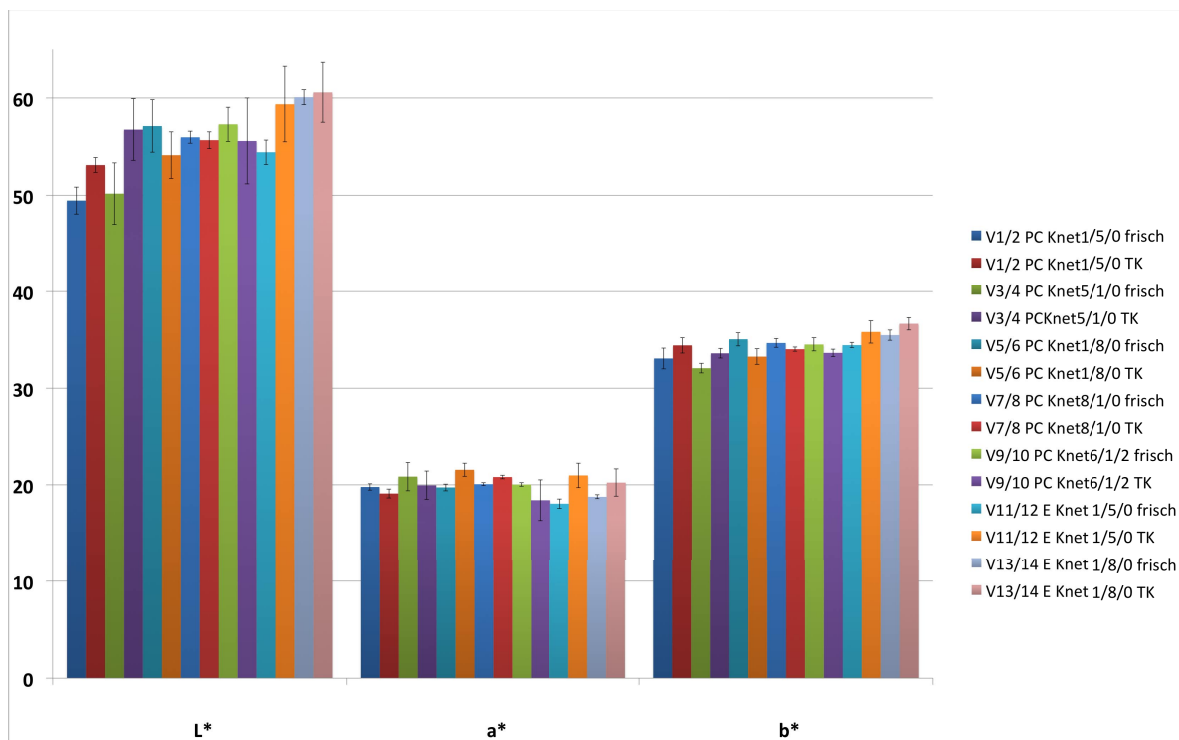


Abb. 39: LAB-Werte der unterschiedlichen Knetversuche (n=3)

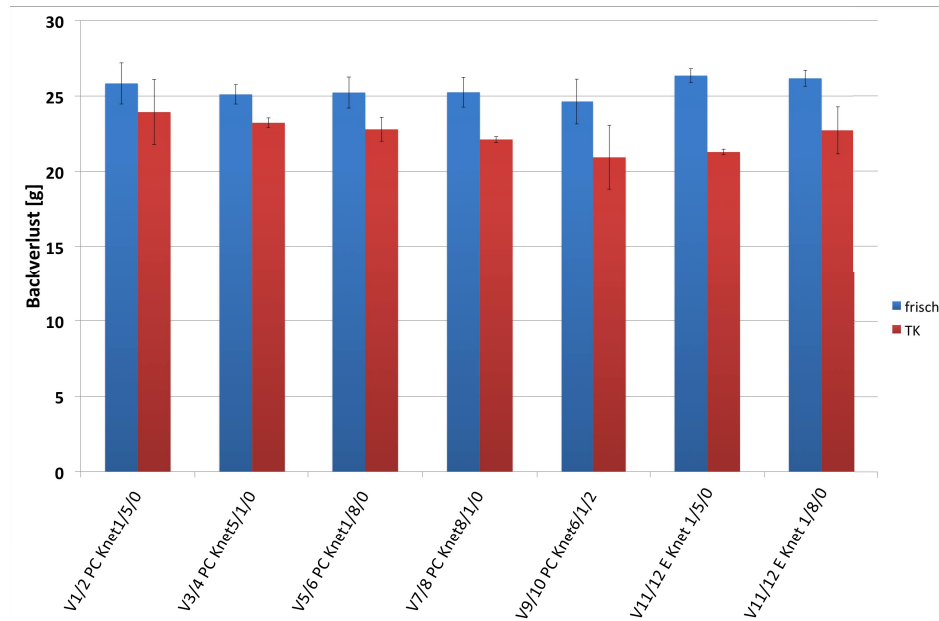


Abb. 40: Auflistung der Backverluste der Knetversuche

Tab. 27: Auswirkung der Mehle PC und E, der Zubereitungsarten frisch und TK und der Knetvarianten 1 und 3 auf das Volumen

	spezifisches Volumen	
	Knet 1/5/0	Knet 1/8/0
PC frisch	2.99d $\pm$ 0.21	2.89cd $\pm$ 0.16
E frisch	2.87cd $\pm$ 0.12	2.70bc $\pm$ 0.14
PC TK	2.94d $\pm$ 0.08	2.65ab $\pm$ 0.07
E TK	2.50a $\pm$ 0.07	2.49a $\pm$ 0.09

Werte mit selbem Index unterscheiden sich nicht signifikant ($p > 0.05$)

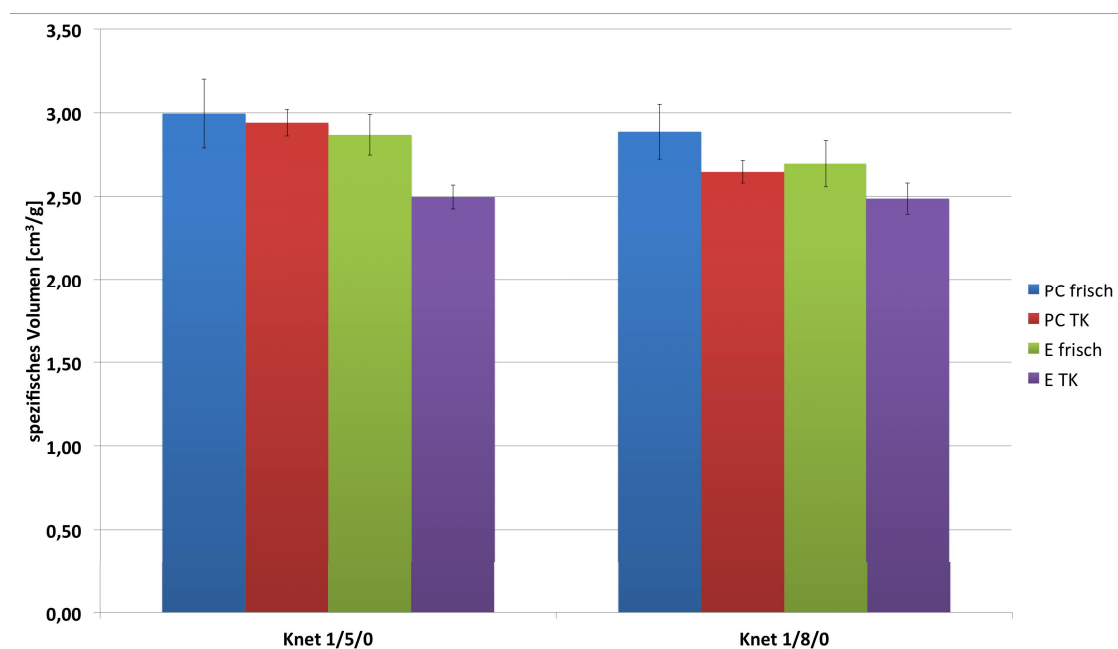


Abb. 41: Auswirkung der Mehle PC und E, der Zubereitungsarten frisch und TK und der Knetvarianten eins (Knet 1/5/0) und drei (Knet 1/8/0) auf das spezifische Volumen

6.3 Ergebnisse der Garversuche

Im zweiten Teil dieser Arbeit wurden mit der am besten für TK-Teiglinge geeigneten Knetvariante eins (Knet 1/5/0 - ermittelt in Teil eins dieser Arbeit) Garversuche zur Optimierung der Teig- und Brotparameter durchgeführt. Mittels screening faktoriellem 2^2 Versuchsplan wurden Versuche mit unterschiedlicher Gardauer vor dem Frosten und verschiedenen Feuchtigkeiten im Gärschrank geplant und anschließend ausgewertet.

6.3.1 Teiganalysen

Die durchgeführten Teiganalysen der Garversuche brachten folgende Ergebnisse: Tab. 28 und Abb. 42 zeigen die jeweiligen Gehalte an löslichem Protein der durch unterschiedliche Gare hergestellten frischen und TK-Teiglinge. Die Werte lagen zwischen 1,8247 und 2,7752 g/100g. Bei den Varianten Gar 20min/77% und Gar20min/85% konnte ein Anstieg des löslichen Proteingehalts zwischen frischen und TK-Teiglingen gemessen werden, bei Gar10min/85% und Gar10/70% hingegen ein Sinken des Gehalts.

Die Ergebnisse der freien SH-Gruppenanalyse (Parameter B) werden in Tab. 29 und Abb. 43 dargestellt. Die Versuche zeigten ein Ansteigen der freien SH-Gruppen bei Garvariante (Gar 10min/85%) im Vergleich zum Absinken bei den Varianten (Gar 10min/70%) und (Gar 20min/77%). Alle Werte (frisch und TK) lagen über jenen der Kontrolle (Knet 1/5/0) mit den Garbedingungen 20min/85%. Zhao et al. (2012) beschreiben niedrige Gehalte freier SH-Gruppen als wesentlich für die Ausbildung des Glutennetzwerks. In dieser Arbeit konnten die niedrigsten Werte freier SH-Gruppen bei TK-Zubereitung durch die Garbedingungen 20min kombiniert mit 85 % relativer Feuchte im Gärschrank erzielt werden. Die Werte der Bradford- und SH-Gruppen-Analyse der beiden Versuche (Gar 30min/85%) und (Gar 30min/70%) konnten aus organisatorischen Gründen nicht ermittelt werden.

Tab. 30 zeigt die Auswirkungen der unterschiedlichen Gärbedingungen (Zeit und Feuchtigkeit) auf die Frostungsdauer bis zum Erreichen einer Kerntemperatur von - 18 °C. Hierbei bewirkte eine Senkung der Feuchtigkeit im Gärschrank von 85 auf 70 % RH eine Verlängerung der Frostungsdauer von 47 auf 65 Minuten. Da sich eine längere Frostungsdauer negativ auf die Gesamtproduktionsdauer von TK-Teiglingen auswirkt, wird für die Praxis von einer Reduktion der relativen Feuchte im Gärschrank abgeraten und eine relative Feuchte von 85 % empfohlen.

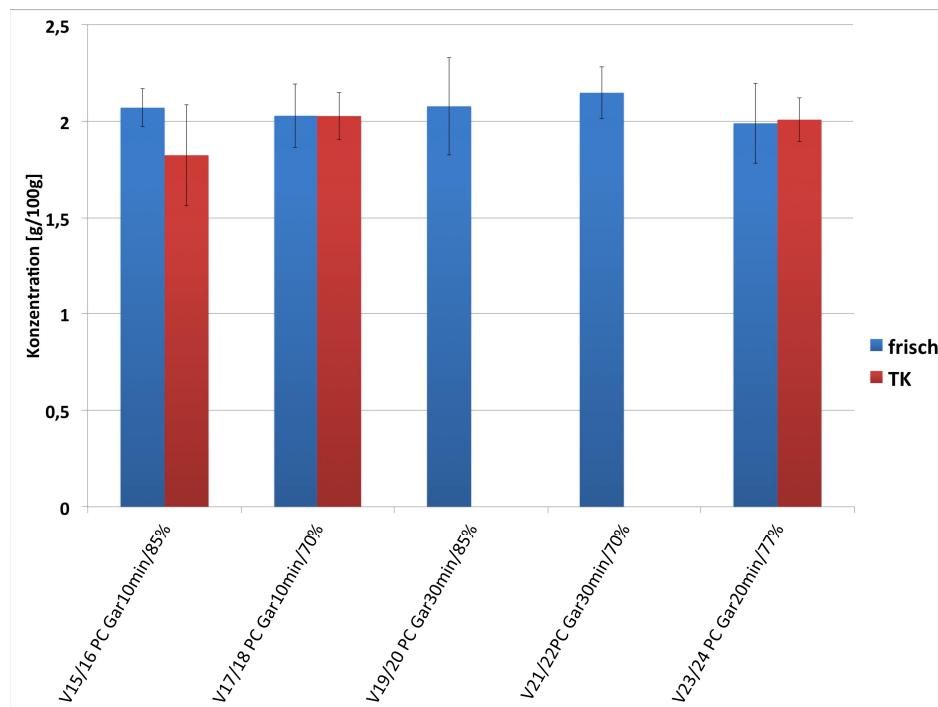


Abb. 42: Vergleich der Ergebnisse der Bradford-Analyse beim Garversuch

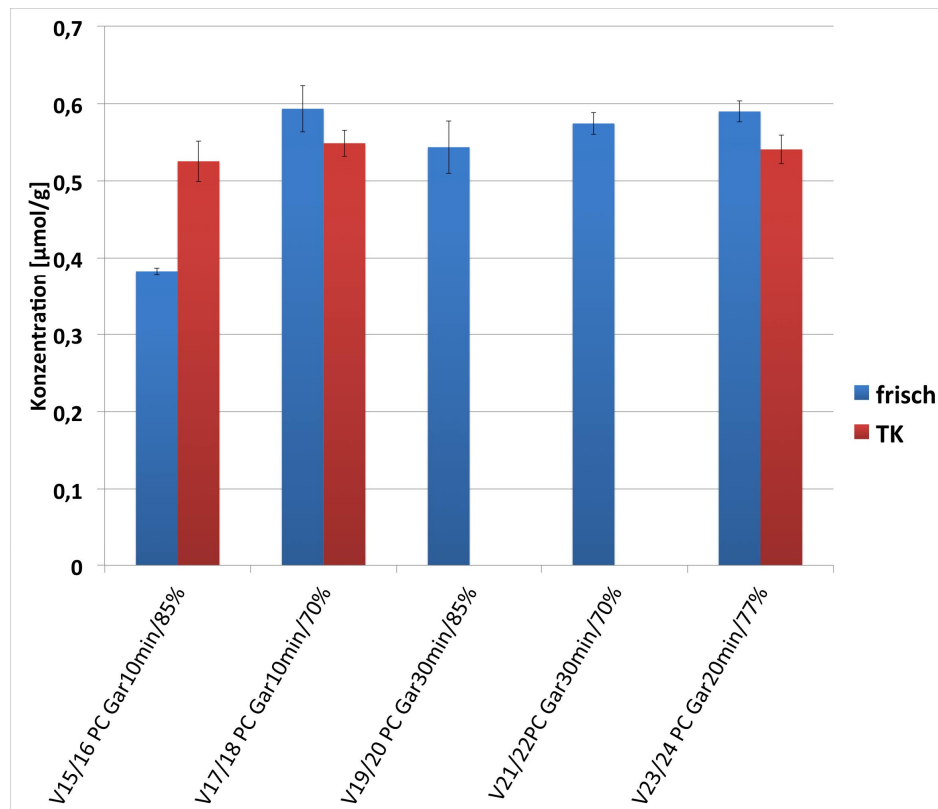


Abb. 43: Vergleich der Ergebnisse der SH-Gruppen-Analyse beim Garversuch

Tab. 28: Ergebnisse der Bradford-Analysen der Garversuche

Garbedingungen	frisch	TK
	lös. Proteingehalt [g/100g]	
V15/16 PC Gar10min/85%	2.0708 ± 0.0979	1.8247 ± 0.2612
V17/18 PC Gar10min/70%	2.0291 ± 0.1638	2.0276 ± 0.1214
V19/20 PC Gar30min/85%	2.0780 ± 0.2512	-
V21/22PC Gar30min/70%	2.1482 ± 0.1346	-
V23/24 PC Gar20min/77%	1.9901 ± 0.2068	2.0088 ± 0.1122
V1/2 PC Knet1/5/0*	2.7752 ± 0.1129	2.2685 ± 0.1770

* Garbedingungen bei V1/2: 20min/85%

Tab. 29: Ergebnisse der Analysen der SH-Gruppen der Garversuche

Garbedingungen	frisch	TK
	freie SH-Gruppen [μmol/g]	
V15/16 PC Gar10min/85%	0.3827 ± 0.0042	0.5253 ± 0.0263
V17/18 PC Gar10min/70%	0.5932 ± 0.0299	0.5487 ± 0.0170
V19/20 PC Gar30min/85%	0.5435 ± 0.0340	-
V21/22PC Gar30min/70%	0.5742 ± 0.0141	-
V23/24 PC Gar20min/77%	0.5898 ± 0.0136	0.5406 ± 0.0187
V1/2 PC Knet1/5/0 *	0.2931 ± 0.0253	0.2602 ± 0.0227

* Garbedingungen bei V1/2: 20min/85%

Tab. 30: Auswirkungen der Garbedingungen auf die Frostungszeiten bis zum Erreichen einer Kerntemperatur von -18 °C

Garbedingungen	Frostungsdauer [min]
V19/20 Gar 30min/85%	47
V23/24 Gar 20min/77%	47
V21/22 Gar 30min/70%	65

6.3.2 Brotanalysen

Die nach der Tiefkühl Lagerung fertiggegart und gebackenen Brote wurden wie im ersten Teil dieser Arbeit untersucht und statistisch mittels Statgraphics ausgewertet. Die Auswirkungen der unterschiedlichen Garbedingungen auf die spezifischen Brotvolumina, Krumenfestigkeiten und relativen Elastizitäten der Brote sind in Tab. 31 dargestellt. Die beiden Untersuchungsparameter Zeit (Garzeit vor dem Tiefkühlen) und Feuchte (relative Feuchtigkeit des Gärschrancks) hatten beim untersuchten Modell keinen signifikanten Einfluss auf die beiden Antwortgrößen spezifisches Volumen und Krumenfestigkeit (F_{max}). Aufgrund ähnlicher Daten wurden keine weiteren statistischen Auswertungen durchgeführt. Die Krumenfestigkeit der untersuchten Brote lag zwischen 68,6 % und 72,1 %.

Die in Abb. 44 dargestellten LAB-Werte des Garversuchs zeigen die Auswirkungen der unterschiedlichen Garbedingungen auf die Farbe des Endprodukts. Die Variante (Gar 30min/85%) mit der längsten Gare vor dem Frosten und der höchsten relativen Feuchte im Gärschrank ergab Brote mit den höchsten LAB-Werten.

Abb. 45 stellt die Backverluste der verschiedenen Garversuche gegenüber. Die Differenz der Teigeinwaagen vor und der Brote nach dem Backen bewegten sich zwischen 21,72 und 24,44 g. Der geringste Backverlust konnte durch die Garvariante Gar 20min/77% erzielt werden (21,72 g).

Die Variation der Garbedingungen zeigten keine signifikanten Auswirkungen auf die Qualitätsparameter der Teiglingen und Brote und daher kann der Produktionsprozess mit höheren Gärtoleranzen geplant werden. Sehr weiche Brote (2,441 N) mit hohem spezifischem Volumen (2,78) konnten durch die Kombination von kurzer Gare vor dem Frosten (10 min) und 70 % RE im Gärschrank erzielt werden, wobei sich dadurch eine längere Frostungsdauer ergibt.

Tab. 31: Ergebnisse des spezifischen Volumens, der Krümmfestigkeit und der relativen Elastizität der Garversuche

Code	spez. Volumen	F_{max} [N]	RE [%]
V15/16 PC Gar10min/85%	2.66	4.402 ± 0.41	70.1 ± 0.4
V17/18 PC Gar10min/70%	2.78	2.441 ± 0.302	63.3 ± 18.2
V19/20 PC Gar30min/85%	2.77	4.214 ± 1.549	69.8 ± 1.0
V21/22 PC Gar30min/70%	2.81	6.105 ± 1.549	68.6 ± 1.4
V23/24 PC Gar20min/77%	2.71	2.978 ± 0.382	72.1 ± 1.1
ANOVA	p-Wert	p-Wert	
Zeit a	0.3322	0.3782	
Feuchte b	0.2968	0.981	
ab	0.502	0.3485	
R^2	88.843	83.006	

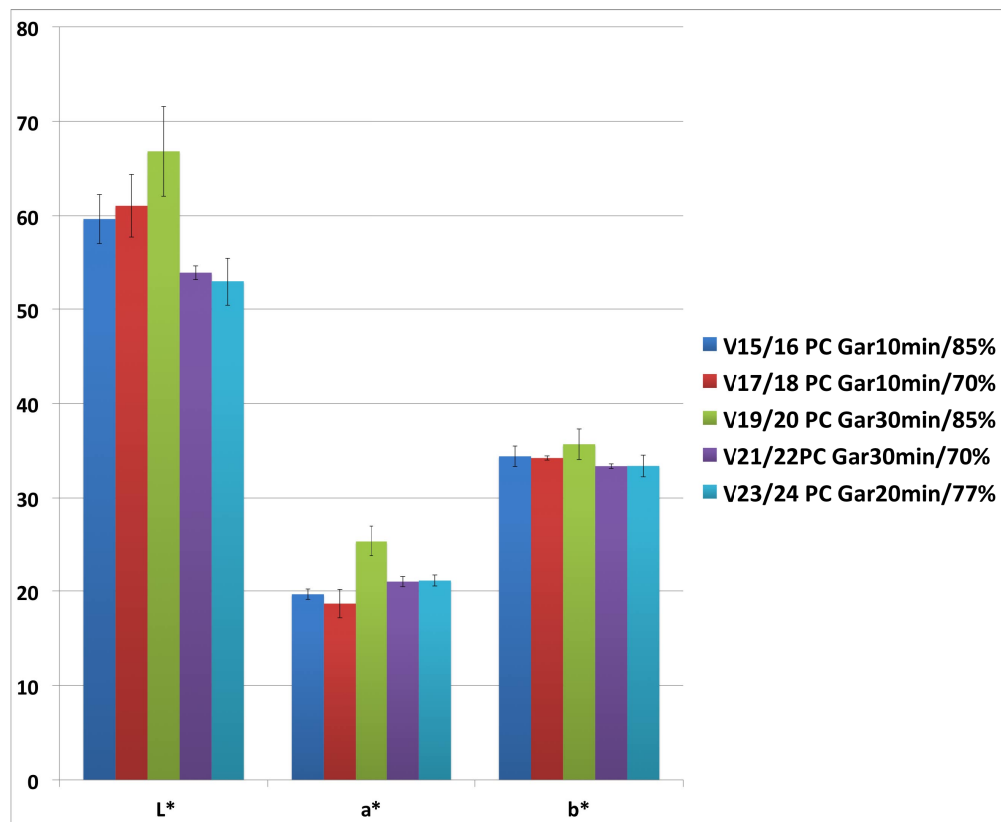


Abb. 44: Zusammenfassung der LAB Werte der Garversuche

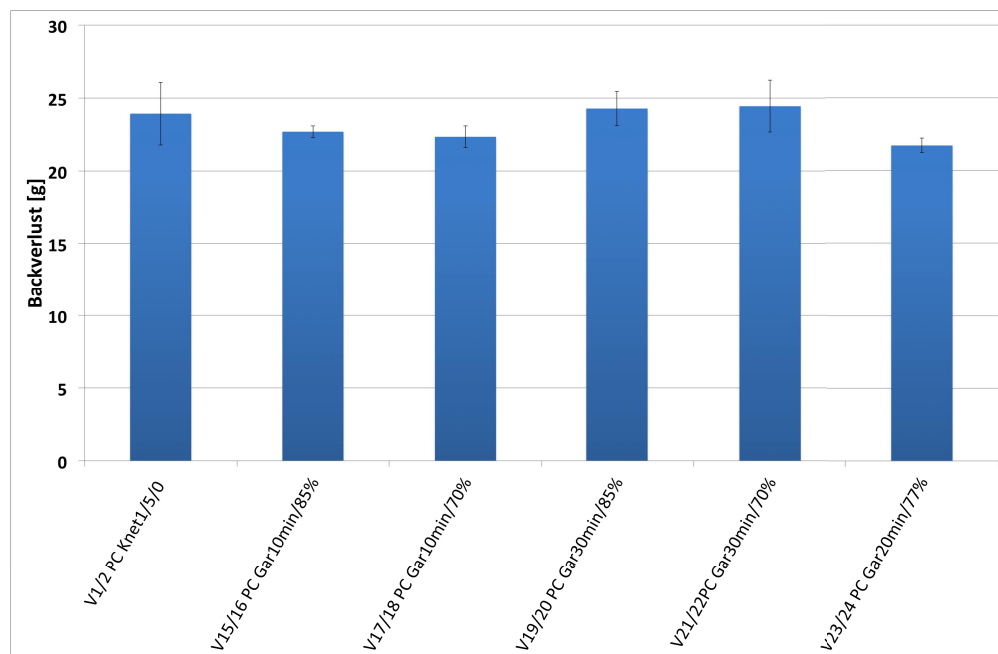


Abb. 45: Backverluste der Garversuche

6.4 Ergebnisse der Teilbackversuche mit Pflanzenfasern

Im dritten Teil dieser Arbeit wurde die Auswirkung des Einsatzes von pflanzlichen Fasern und Hydrokolloiden zur Optimierung von teilgebackenen und nach vier Wochen Tiefkühl Lagerung fertiggebackenen Broten untersucht.

Tab. 32 und Tab. 33 fassen die Messwerte der neun Versuche mit teilgebackenen Broten unter Zusatz von pflanzlichen Fasern und Hydrokolloiden am Tag des Aufbackens zusammen. Bei den Parametern F_{max} , RE (beide zur Untersuchung der Festigkeit der Krume), und RVA bump Fläche (zur Bestimmung der Verkleisterungseigenschaften) wurde jeweils nur ein Brot pro Tag analysiert, weshalb keine Standardabweichung berechnet wurde.

In Anlehnung an die Ellipsoid-Messung von Gabric et al. (2011) wurde der Umfang der Brote, der mit deren Volumen korreliert, an beiden Kantenseiten gemessen.

Tab. 34 und Abb. 46 zeigen den Verlauf der Abnahme des Brotumfangs aller Versuche über die komplette Lagerdauer von acht Tagen. Auch Barcenás et al. (2003a) beobachteten über einen Lagerzeitraum von 28 Tagen eine Verringerung des spezifischen Volumens. Während die Brote unter Zusatz von BBL 100, WF 600 und des Compounds bereits nach sechs Tagen Lagerung geringere Umfänge als die Kontrolle ohne entsprechenden Zusatz aufwiesen, zeigten die weiteren Ansätze mit BBL 500, WF 200, WF 600-30, Guar und CMC größere Umfänge auf. Der größte Umfang konnte mit 28,5 cm nach acht Tagen Lagerdauer durch Zugabe von BBL 500 erzielt werden (7% höher im Vergleich zur Kontrolle).

Durch Zusatz von BBL 100, Guar oder des Compounds (Psyllium P 95, BAF 90 und WF 600) konnten beim Backverlust ähnliche Ergebnisse wie ohne Zusatz erzielt werden. Durch Zusatz von WF 200, WF 600, WF 600-30 und CMC wurden trotz höheren Wassergehalts im Teig höhere Backverluste als bei der Kontrolle (ohne Zusatz pflanzlicher Fasern/Hydrokolloide) erzielt. (siehe auch Abb. 47).

Aus Tab. 35 und Abb. 48 ist die Krumenfestigkeit der Brote (F_{max}) ersichtlich. Es zeigte sich, dass die Festigkeit der Krume durch alle verwendeten Zusätze am Tag des Fertigbackens (Tag 0) gesenkt werden konnte. Nach zweitägiger Lagerung lagen die Festigkeitswerte von BBL 100, BBL 500, WF 200, WF 600, Guar, CMC und des Compounds unter jenen der Kontrolle, WF 600-30 ergab eine höhere Krumenfestigkeit. Nach sechs Tagen erzielte das Brot mit Zusatz von BBL 500 die geringste Festigkeit (60 % geringerer Wert als die Kontrolle), wobei auch die Brote mit BBL 100, WF 600, Guar und Compound weicher als das Kontrollbrot erschienen. Am achten Lagertag wurden keine Festigkeitsmessungen durchgeführt, da die Brote hierfür bereits zu hart waren. Untersuchungen von Barcenás and Rosell (2003) zeigten ein vergleichbares Ansteigen der Krumenfestigkeit von nach 28 Tagen Tiefgekühl Lagerung aufgebackenen und für

24 Stunden gelagerten Broten. (Hejrani et al., 2016) zeigten vergleichbare Ergebnisse beim Einsatz von Guar als Hydrokolloid in teilgebackenen Broten.

Durch Zusatz von Guar, BBl 100, des Compounds (Psyllium 95, BAF 90 und WF 600) und am besten durch BBL 500 können teilgebackene Brote mit über mehrere Tage weich bleibender Krume hergestellt werden.

Tab. 36 zeigt das berechnete Verhältnis von F_{120} zu F_{max} als relative Elastizität (RE) der Brote über die Lagerdauer. Alle verwendeten Zusätze bewirken während dieser Zeit eine Verringerung der relativen Elastizität.

Tab. 37 und Abb. 49 zeigen den Verlauf der RVA bumps der verschiedenen Rezepturen über die Lagerdauer. Bei allen gemessenen Broten, die entsprechende Flächen zeigten, konnte eine Abnahme der RVA-Flächen beobachtet werden, obgleich die Intensität unterschiedlich stark ausfiel. Die Messung der Kontrollbrote ergab zwei RVA bumps mit der zweitgrößten Fläche am ersten Messtag. Im Gegensatz dazu bewirkte die Verwendung von BBL 100 lediglich eine Fläche von 819 cP.s unter der RVA-Kurve, was den niedrigsten Wert aller Messungen darstellt (siehe Abb. 51). Die Brote mit BBL 500 erzeugten neben drei messbaren Flächen unter der Kurve auch zusätzliche bumps vor den gemessenen (siehe Abb. 52). Bei Zusatz des Compounds oder CMC konnten keine RVA bumps beobachtet werden (Abb. 53). Abb. 54 zeigt überblicksmäßig und im zoom die beiden durch Dosage von Guar gebildeten RVA-Flächen, deren Werte jeweils zu den höchsten zählen. WF 200 als Faserzusatz bewirkte insgesamt drei messbare Flächen, wobei jene nach drei Tagen Lagerung größer ausfiel als jene nach einem (siehe Abb. 55). Brote mit WF 600-Zusatz erzielten in Abb. 56 zwei bumps, wobei jener am dritten Lagertag relativ klein ausfiel. In dieser Versuchsreihe konnten lediglich die WF600-30-Fasern entsprechende Flächen unter den RVA-Kurven an allen vier Messtagen erreichen (siehe Abb. 57).

Morad and D'Appolonia (1980); Xu et al. (1992); Yasungaga et al. (1968) zeigten eine Abnahme der peak viscosity mit zunehmender Alterung der Krume. Der minor peak und die bump Fläche werden mit den Interaktionen zwischen gelöster Amylose und vier vorrangig polaren Lipiden in Zusammenhang gebracht. Während des Abkühlens erfolgt eine Umwandlung der Amylosestruktur vom random coil zum lipid-inclusion-helices, wodurch der Anstieg der Viskosität hervorgerufen werden könnte. Das anschließende Kristallisieren des Helix bewirkt eine Viskositätsabnahme, wodurch der bump als Fläche unter der Kurve gebildet wird.

Wie bei Karaoglu (2006) beschrieben, bewirkte die Lagerung der Brote mit den anderen Zusätzen eine Abnahme der RVA bumps. Rojas et al. (1999) erläutern eine deutliche Veränderung der Verkleisterungseigenschaften durch Zugabe von Hydrokolloiden, wobei die Modifikationen stark von der jeweiligen chemischen Struktur abhängen. Die generellen Aussagen von Rojas et al. (1999), dass hohe RVA bumps mit einer weichen Krume einhergehen, konnten nicht bestätigt werden. Aber auch das gegenteilige,

von Karaoglu (2006) beschriebene, gleichzeitige Ansteigen der Krumenfestigkeit mit jenem der RVA bumps konnte nicht durchgängig beobachtet werden.

Tab. 32: Ergebnisse der teilgebackenen Brote am 1. Lagertag (Teil 1) (n=4)

	V25 Kontrolle*	V26 BBL 100	V27 WF600	V28 Compound	V30 BBL 500
Umfang [cm]	27.3 ± 0.3	27.3 ± 0.20	27.1 ± 0.2	27.1 ± 0.2	29.8 ± 0.4
Backverlust [g]	13.99 ± 1.34	13.63 ± 1.02	16.44 ± 0.76	13.59 ± 0.25	20.36 ± 0.55
L	80.4 ± 3.65	80.12 ± 2.71	83.25 ± 0.35	80.80 ± 0.37	81.66 ± 0.47
a	2.50 ± 1.89	2.45 ± 2.18	3.80 ± 0.23	4.63 ± 0.24	5.45 ± 0.32
b	20.66 ± 0.73	20.02 ± 1.60	20.07 ± 0.89	21.32 ± 0.86	25.52 ± 0.89
Fmax** [N]	5.040	4.335	4.685	4.199	2.335
RE** [%]	57.16	53.19	51.31	53.29	66.21
RVA					
Bump** [cP.s]	2429.0	819.0	1983.0	0.0	1823.2

* Kontrolle ohne Zusatz von Fasern/HC; ** n=1

Tab. 33: Ergebnisse der teilgebackenen Brote am 1. Lagertag (Teil 2) (n=4)

	V31 WF600-30	V32 WF200	V33 Guar	V34 CMC
Umfang [cm]	28.8 ± 0.5	28.3 ± 0.2	29.2 ± 0.3	28.4 ± 0.4
Backverlust g	20.43 ± 1.11	18.56 ± 2.55	14.66 ± 1.37	16.34 ± 3.12
L	81.77 ± 0.88	81.44 ± 0.38	83.68 ± 1.23	85.11 ± 0.80
a	5.72 ± 0.62	4.84 ± 0.15	4.88 ± 0.34	4.27 ± 0.36
b	24.49 ± 1.44	22.57 ± 0.72	23.48 ± 0.94	20.51 ± 0.84
Fmax* [N]	4.378	4.242	2.809	4.400
RE* [%]	65.17	64.71	61.12	63.20
RVA				
Bump* [cP.s]	2466.0	1862.0	2203.0	0.0

* n=1

Tab. 34: Ergebnisse der Brotumfänge der Teilbackbrote im Verlauf der Lagerung (n=1)

Lager- dauer	Umfang [cm]								
	V25 Kontrolle	V26 BBL 100	V27 WF 600	V28 Compound	V30 BBL 500	V31 WF 600-30	V32 WF 200	V33 Guar	V34 CMC
0	27.3	27.3	27.1	27.1	29.8	28.8	28.3	29.2	28.4
1	27.2	27.0	26.9	26.9	29.5	28.5	27.9	28.9	28.4
2	26.6	26.6	26.6	26.4	29.2	28.2	27.6	28.8	28.2
3	-	-	-	-	29.0	28.2	27.4	28.5	27.3
6	26.5	26.1	26.0	26.0	28.6	27.9	26.9	28.1	27.1
7	26.4	25.9	26.2	26.0	-	-	-	-	-
8	26.4	25.9	26.1	25.8	28.5	27.9	26.8	27.7	27.0

Tab. 35: Ergebnisse der Krümmenfestigkeiten der Teilbackbrote im Verlauf der Lagerung (n=1)

Lager- dauer	F_{max} [N]								
	V25 Kontrolle	V26 BBL 100	V27 WF 600	V28 Compound	V30 BBL 500	V31 WF 600-30	V32 WF 200	V33 Guar	V34 CMC
0	5.040	4.335	4.685	4.199	2.335	4.378	4.242	2.809	4.400
2	11.506	8.852	8.331	7.319	5.204	14.270	10.346	7.552	7.219
6	19.479	17.258	19.042	17.536	7.714	30.867	30.955	18.971	25.521

Tab. 36: Ergebnisse der relativen Elastizität der Teilbackbrote im Verlauf der Lagerung (n=1)

Lager- dauer	Relative Elastizität [%]								
	V25 Kontrolle	V26 BBL 100	V27 WF 600	V28 Compound	V30 BBL 500	V31 WF 600-30	V32 WF 200	V33 Guar	V34 CMC
0	57	53	51	53	66	65	65	61	63
2	54	51	51	50	61	59	60	57	57
6	54	48	46	47	52	54	53	53	51

6 VERSUCHSERGEBNISSE UND DISKUSSION

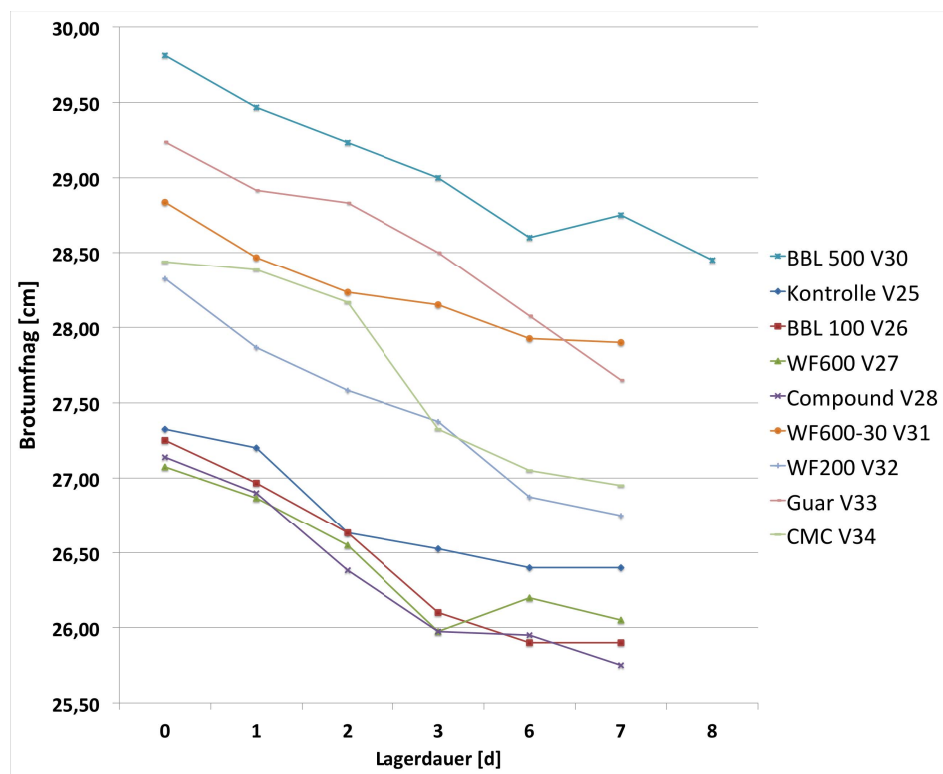


Abb. 46: Verlauf der Brotumfänge des Teilbackversuchs über die Lagerdauer

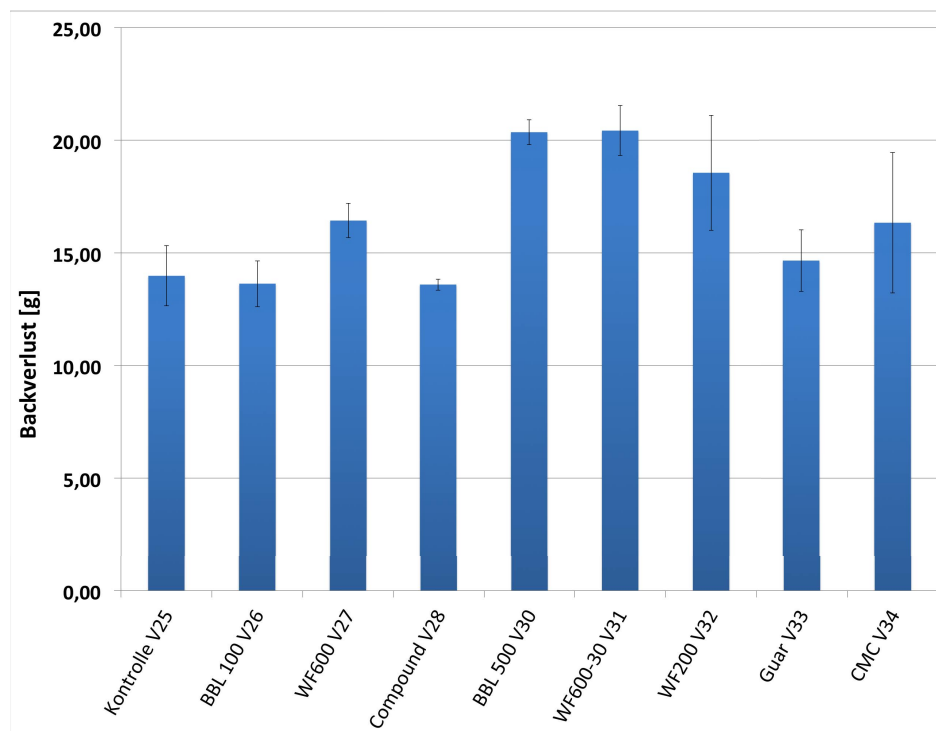


Abb. 47: Backverluste der teilgebackenen Brote

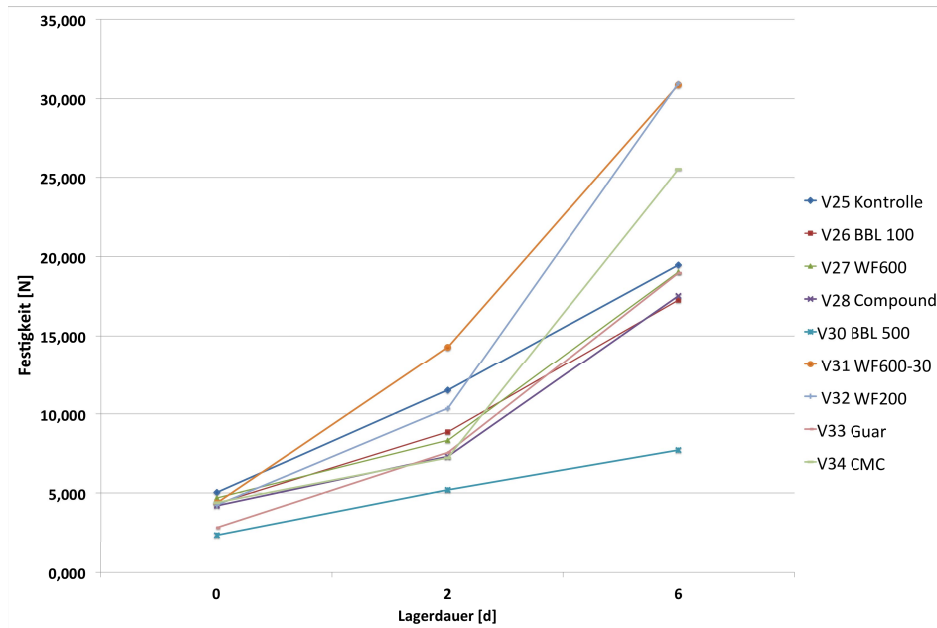


Abb. 48: Verlauf der Krumenfestigkeit der teilgebackenen Brote über die Lagerdauer

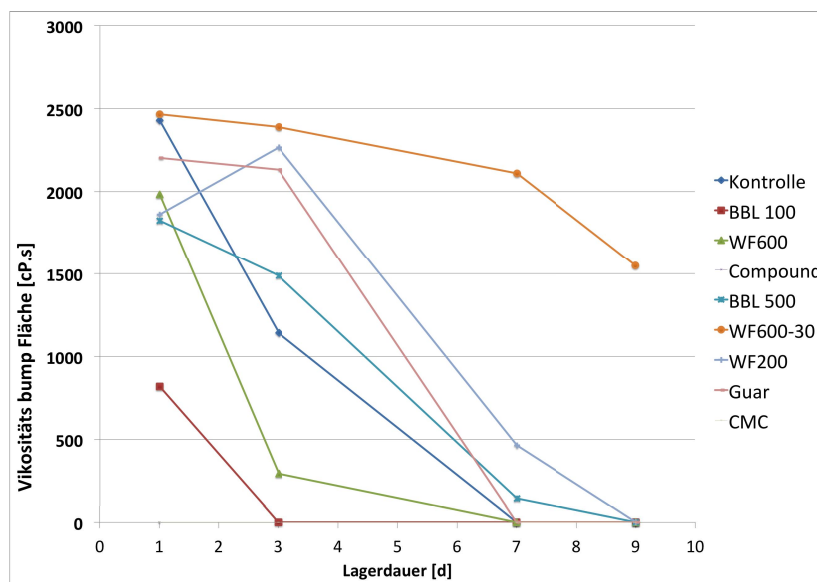


Abb. 49: Verlauf Viskositätsbumpflächen der RVA-Analysen der gefriergetrockneten Teilbackbrotproben über die Lagerdauer

6 VERSUCHSERGEBNISSE UND DISKUSSION

Tab. 37: Ergebnisse der RVA Flächen der teilgebackenen Brotproben über die Lagerdauer (n=1)

Lager- dauer	RVA Fläche [cP.s]									
	V25	V26	V27	V28		V30	V31	V32	V33	V34
	Kontrolle	BBL	WF	Compound	BBL	WF	WF	Guar	CMC	
		100	600		500	600-30	200			
1	2429	819	1983	0	1823	2466	1862	2203	0	
3	1142	0	294	0	1487	2390	2267	2132	0	
7	0	0	0	0	144	2110	465	0	0	
9	0	0	0	0	0	1550	0	0	0	

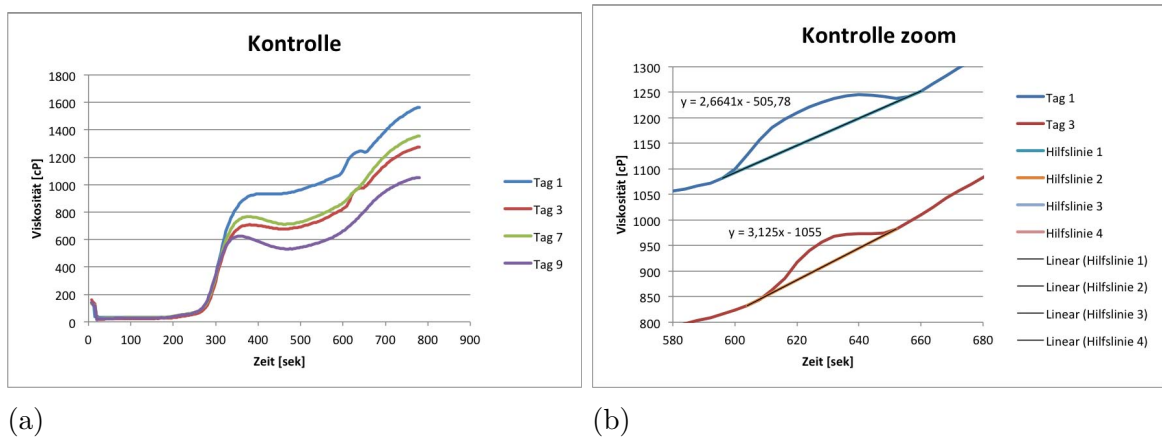


Abb. 50: (a) Mittelwertkurven der RVA Analyse der Kontrolle an vier Messtagen, (b) Zoom auf die Bumps

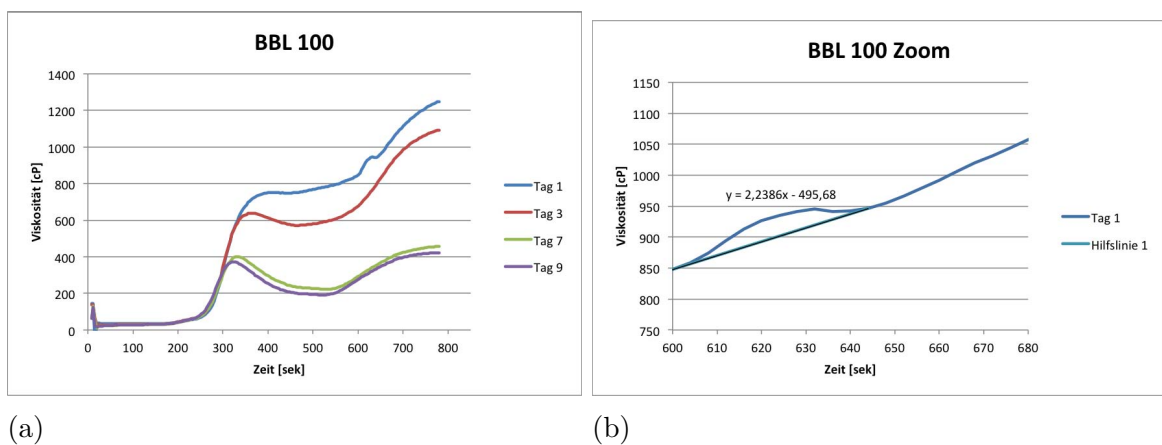


Abb. 51: (a) Mittelwertkurven der RVA Analyse unter Zusatz des Hydrokolloids BBL 100 an vier Messtagen, (b) Zoom auf den Bump am Messtag 1

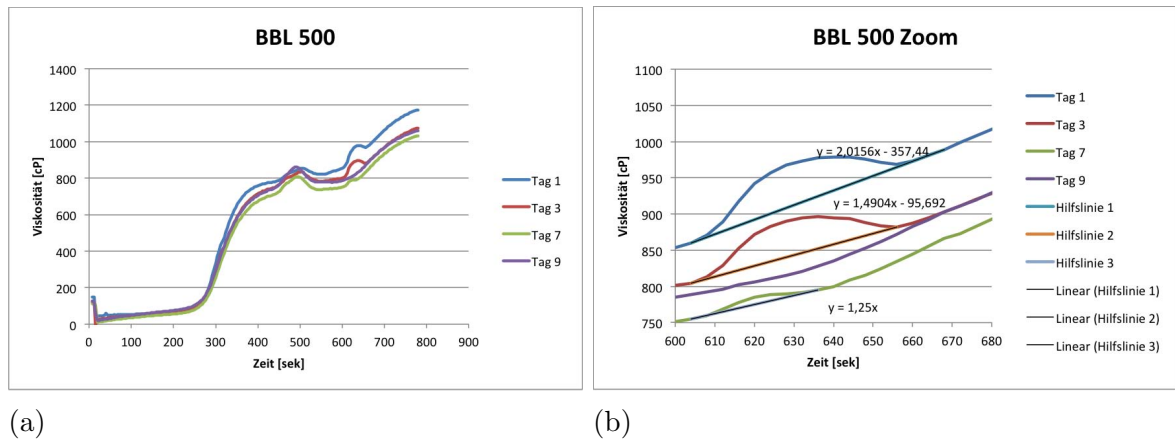


Abb. 52: (a) Mittelwertkurven der RVA Analyse unter Zusatz des Hydrokolloids BBL 500 an vier Messtagen, (b) Zoom auf die Bumps

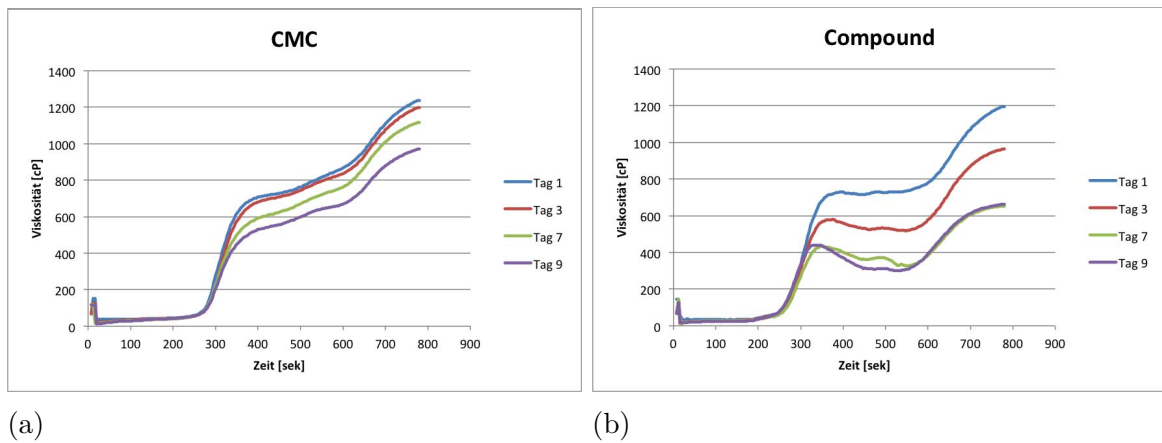


Abb. 53: (a) Mittelwertkurven der RVA Analyse unter Zusatz des Hydrokolloids CMC und (b) unter Zusatz des Compoundgemisches an vier Messtagen

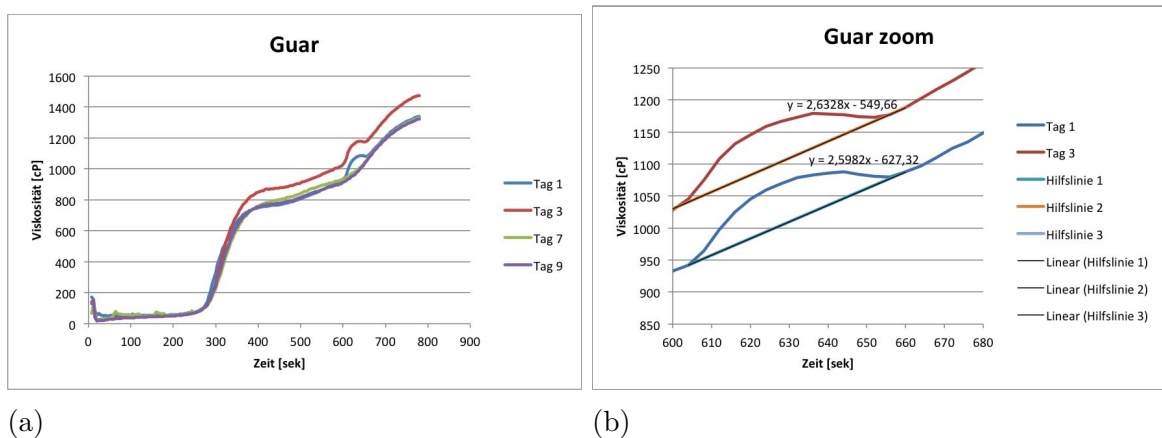


Abb. 54: (a) Mittelwertkurven der RVA Analyse unter Zusatz des Hydrokolloids Guar an vier Messtagen, (b) Zoom auf die Bumps

6 VERSUCHSERGEBNISSE UND DISKUSSION

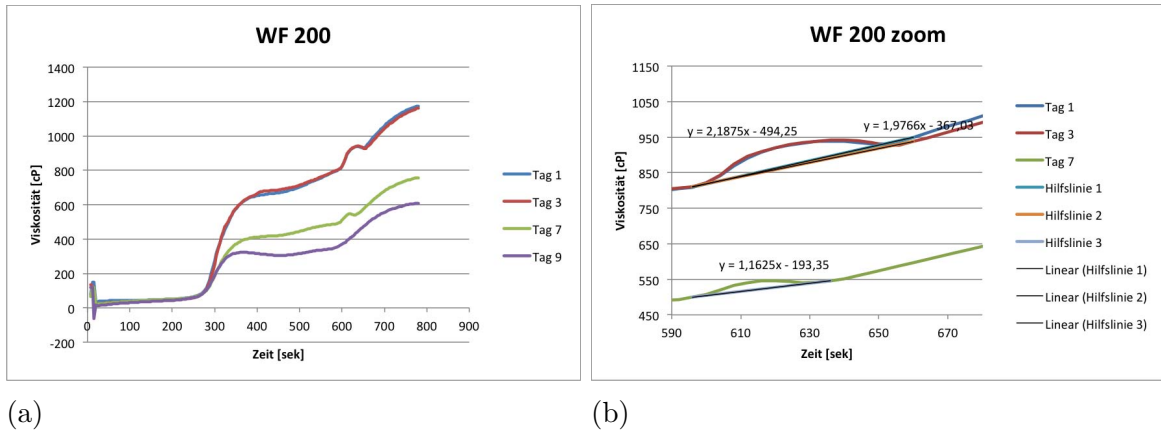


Abb. 55: (a) Mittelwertkurven der RVA Analyse unter Zusatz des Hydrokolloids WF 200 an vier Messtagen, (b) Zoom auf die Bumps

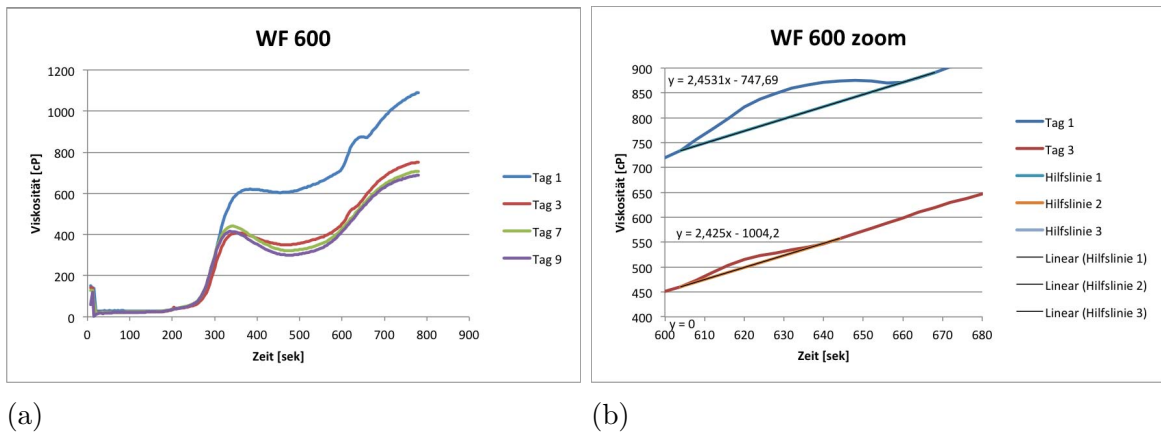


Abb. 56: (a) Mittelwertkurven der RVA Analyse unter Zusatz des Hydrokolloids WF 600 an vier Messtagen, (b) Zoom auf die Bumps

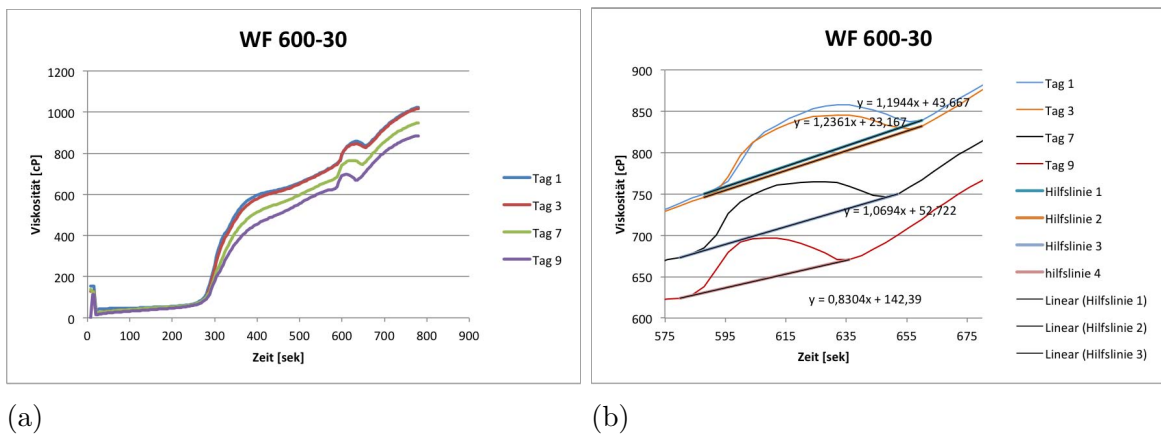


Abb. 57: (a) Mittelwertkurven der RVA Analyse unter Zusatz des Hydrokolloids WF 600-30 an vier Messtagen, (b) Zoom auf die Bumps

7 Schlussfolgerungen

7.1 Knetversuche

Die untersuchten Knetbedingungen brachten im Vergleich zur Standardmethode keine nennenswerten Verbesserungen. Sehr wohl zeigte sich aber, dass längeres und langsames Kneten kombiniert mit kurzen schnellen Knetphasen größere Volumina bei frischen und geringfügig kleinere Volumina bei TK-Broten bewirken kann. Weiters konnte bewiesen werden, dass durch Variieren der Knetung keine erwünschte Verringerung der Krumenfestigkeit und der relativen Elastizität nicht erreicht werden kann. Hier konnten die Ergebnisse von Shi et al. (2013) bestätigt werden.

Die Messungen des pH-Werts zu verschiedenen Zeitpunkten im Herstellungsprozess zeigten keine Unterschiede durch die Art der Knetung, wohl aber durch die Wahl des verwendeten Mehls. Dieser Parameter stellt somit kein geeignetes Steuerungsinstrument dar, um durch einfache Messungen Aussagen über das Fortschreiten der Teigentwicklung treffen zu können.

Zur Überprüfung der Maschinenverarbeitbarkeit der Teige wurden Klebrigkeitsmessungen durchgeführt. Als möglicher Auslöser der Klebrigkeit von Teigen wird in der Literatur eine beta-Glucankette von etwa 71 Anhydroglucose-Einheiten, gebunden an eine trans-Ferulasäure, definiert (Grausgruber et al., 2003). Da die maschinelle Verarbeitung von Teig in Bäckereien, vor allem im industriellen Maßstab, möglichst wenig klebrige Teige erfordert (Cauvain, 2015), zeigte sich in dieser Arbeit, dass die Standardknetvariante (Knet 1/5/0) dafür am besten geeignet ist.

Diese Messungen zeigten signifikante Unterschiede, wobei die Varianten Knet 1/5/0 (25,365 N) und Knet 8/1/0 (26,925 N) die niedrigsten Klebrigkeitswerte nach vollständiger Gare der TK-Teiglinge lieferten und von den anderen Knetvarianten (Knet 5/1/0, Knet 1/8/0 und Knet 6/1/2) unterschieden. Unter Einsatz vergleichbarer Mehle wie Mehl PC empfiehlt sich für die Praxis die Knetvariante Knet 1/5/0, da durch die niedrigen Klebrigkeitswerte nach der Gare die beste Maschinenverarbeitbarkeit gewährleistet werden kann.

Die erzielten spezifischen Volumina unterschieden sich signifikant, bei frischen Broten konnten durch Variieren der Knetung größere Volumina erzielt werden, bei den TK-Teiglingen hingegen nicht. Die von Shi et al. (2013) beschriebene Abnahme des Volumens von TK-Broten verglichen mit frischen bei gleicher Zubereitung konnte bestätigt werden. Die Unterschiede fielen in dieser Arbeit geringer aus. Das größte spezifische Volumen (2,94) konnte mit Knetung Knet 1/5/0 und Mehl PC erzielt werden. Dadurch kann in der Praxis ein nahezu gleiches spezifisches Volumen wie bei frischen Teiglingen (2,99) erreicht werden.

Die Versuche mit unterschiedlichen Knetvarianten im Rahmen dieser Arbeit zeigten, dass die Standardkneteinstellung (Knet 1/5/0) am besten zur Herstellung tiefgekühlter Teiglinge geeignet ist. Dies zeigte sich durch Erzielung des größten spezifischen Volumens (2,94), sehr weicher Brotkume (5,407 N und 69,9 % RE) und den niedrigsten Teigklebrigkeitswerten nach vollständiger Gare und somit der besten Maschinenverarbeitbarkeit (25,365 N).

7.2 Garversuche

Im zweiten Teil der Arbeit wurden die Zusammenhänge zwischen relativer Feuchtigkeit in der Gärkammer und der Gärdauer vor dem Frosten auf Teig und Endprodukt untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass die Veränderungen der beiden Parameter keinen signifikanten Einfluss auf den Garprozess und somit auf das Endprodukt hatten. Für Backwarenhersteller bedeutet dies, dass sie die Garprozesse im Produktionsablauf flexibler, also mit höheren Gärtoleranzen, auslegen können.

Die verschiedenen Feuchtigkeiten (70, 77 und 85 % RH) während des Garprozesses resultierten in unterschiedlichen Frostungszeiten bis zum Erreichen einer Kerntemperatur von -18 °C. Da die Feuchtigkeit während der Gare keinen Einfluss auf die genannten Parameter hatte, geringere Feuchtigkeitseinstellungen jedoch in längeren Frostungszeiten resultierten, liegt es nahe, in der Praxis bei möglichst hohen Feuchtigkeiten zu garen. Dies birgt Potential zur Zeit- und Kosteneinsparung.

7.3 Teilbackversuche mit Pflanzenfasern

Im Teilbackversuch wurden die Auswirkungen unterschiedlicher pflanzlicher Fasern und Hydrokolloide auf nach vierwöchiger Tiefkühl Lagerung fertiggebackene Brote ermittelt. Es zeigte sich, dass alle verwendeten Zusätze eine geringere Krumenfestigkeit am Tag des Aufbackens im Vergleich zur Kontrolle bewirkten. Der Einsatz von Hydrokolloiden ermöglicht eine Erhöhung der Wasseraufnahmefähigkeit, während Stärkeretrogradation und Teigfestigkeit gesenkt werden können (Kohajdova et al., 2009).

Von Barcenas et al. (2003b) wurde ein Anstieg der Festigkeiten nach 24-stündiger Lagerung festgestellt, dies konnte hier auch gezeigt werden. Mittels Zugabe von BBL 500 (zusammengesetzt aus Weizenfasern und Psyllium) konnte nach sechs Tagen eine 60 % Reduktion der Krumenfestigkeit erzielt werden. Cappa et al. (2013) begründen eine Verlängerung der Haltbarkeit durch das hohe Wasserbindevermögen von Psyllium.

Durch Messen der Brotumfänge konnte auf das entsprechende Volumen geschlossen

werden. Hierbei wurde eine 7 % Erhöhung des Brotumfangs durch Zusatz von BBL 500 gemessen, ähnliche Resultate erreichte der Zusatz von WF 600-30.

Eine Reduktion des Backverlusts um ca. 3 % konnte durch Einsatz von BBL 100 und den Compound erzielt werden.

Zusammenhänge zwischen der Fläche unter den RVA bumps und der Krumenfestigkeit, wie bei Rojas et al. (1999) und Karaoglu (2006) beschrieben, konnten nicht durchgängig bestätigt werden.

Wie im Rahmen dieser Arbeit gezeigt, bergen RVA-Analysen der Brotkrume mögliches Potential, um Wirkungsmechanismen technischer Hilfsstoffe detailliert aufzuklären, da die verschiedenen Parameter der Viskosiätsmessung sowohl Unterschiede zwischen unterschiedlichen Fasern und Hydrokolloiden als auch unterschiedlicher Körnungen sichtbar machen können.

8 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die für die Qualität von Tiefkühlteiglingen verantwortlichen Prozessparameter zu optimieren. Hierzu wurden Teige unterschiedlich geknetet und frisch gebacken bzw. als teilgegartte Teiglinge eingefroren und nach zwei Wochen fertiggegart und aufgebacken. Aus den Teigen wurden der Gehalt an löslichem Protein und SH-Gruppen bestimmt und Klebrigkeitsanalysen durchgeführt. Die gebackenen Brote wurden auf ihr spezifisches Volumen, Krumenfestigkeit, Porung und Krustenfarbe hin untersucht. Als Referenzwert dienten Teige und Brote der Standardknetung. Aus den vorherigen Versuchen wurde die beste Knetvariante ausgewählt, um damit verschiedene Garversuche durchzuführen. Dabei wurden die Einflüsse der Untersuchungsparameter Feuchtigkeit im Gärschrank und Garzeit vor dem Frosten auf teilgegartte Teiglinge mittels statistischen Versuchsplans ermittelt. Der Vergleich der Garvarianten erfolgte über die bereits beim Knetversuch durchgeführten Teig- und Brotanalysen.

Weiters wurde das Verbesserungspotential teilgebackener und gefrostet gelagerter Brote durch Zusatz unterschiedlicher pflanzlicher Fasern untersucht. Nach einmonatiger Lagerung wurden die Brote fertiggebacken und über eine Dauer von neun Tagen bei Raumtemperatur gelagert, um Umfang, Gewicht und Krumenfestigkeit zu bestimmen. Zusätzlich erfolgten RVA-Analysen zur Bestimmung des Altbackenwerdens.

Die Knetversuche zeigten, dass langes und langsames Kneten bei frischen Teiglingen höhere und geringfügig kleinere Volumina bei TK-Teiglingen bewirkt. Mit zunehmender Knetdauer stieg die Teigklebrigkeit an. Die spezifischen Volumina der TK-Brote lagen zwischen 2,65 und 2,94, die Krumenfestigkeiten zwischen 4,034 und 6,053 N.

Beim Garversuch zeigten die Parameter relative Feuchte und Gardauer vor dem Frosten keinen Einfluss auf die Eigenschaften der gebackenen Brote. Durch den Vergleich verschiedener Feuchtigkeiten während der Gare konnten unterschiedlich lange Frostungszeiten beobachtet werden.

Der Teilbackversuch mit Pflanzenfasern ergab bei allen Zusätzen eine Verringerung der Krumenfestigkeit nach dem Fertigbacken. Durch kombinierten Zusatz von Weizenfaser und Psyllium konnten ein 7 % höherer Brotumfang und eine Reduktion der Krumenfestigkeit um 60 % erzielt werden. Die Kombination aus Psyllium, Weizen- und Kartoffelfaser bzw. durch Zusatz von Psyllium, Bambusfaser und Weizenfaser bewirkten 3 % weniger Backverlust. Die Viskositätsmessungen der unterschiedlich lange gelagerten und anschließend gefriergetrockneten Brote zeigten eine generelle Abnahme der Viskositäten.

9 Summary

The object of this study was optimizing the parameters responsible for the quality of frozen dough. Therefore, batches of dough were kneaded in different variations. Dough pieces were either baked freshly or partly fermented and baked after two weeks of frozen storage. Soluble proteins, free sulphydryl groups and stickiness analyses were performed from dough, whereas specific volume, crumb firmness, size of pores and crust colour were analysed from baked bread. Doughs and breads produced with standard kneading settings were used for comparison. The best kneading setting was used for further proofing tests to investigate the influence of relative humidity and proofing time prior to freezing on partially fermented dough. Analyses were carried out similar to the kneading experiments.

Furthermore, the effects of plant fibres on improving partly baked frozen bread were investigated. After one month of frozen storage, frozen breads were fully baked and stored at room temperature for nine days. During this period, the bread perimeter, weight and crumb firmness were examined every second day. Viscosity analyses of bread crumb were carried out in order to observe bread staling.

Kneading experiments showed long and slow kneading being responsible for higher specific volume within fresh bread and slightly lower volumes for bread made from frozen dough. Increasing the total kneading time resulted in increasing dough stickiness. Bread made from frozen dough resulted in a specific volume with a range from 2,65 to 2,94, crumb firmness ranged from 4,034 to 6,053 N.

Investigations on proofing conditions showed that the parameters relative humidity and proofing time prior to freezing had no significant influence on the properties of dough or baked bread. Tests showed that different settings in proofing humidity resulted in divergent freezing times.

Studies on partly baked bread demonstrated a reduction of the crumb firmness in all used variants of plant fibre. Adding psyllium and wheat fiber resulted in 7 % bigger bread perimeter and 60 % lower crumb firmness. Three % lower baking loss could be reached by addition of psyllium, wheat and potato fiber or a mix out of psyllium, wheat and bamboo fiber. Viscosity measurements showed a general decrease in viscosity due with increasing storage time.

Literatur

- E. L. Almeida, C. J. Steel, and Y. K. Chang. Par-Baked Bread Technology : Formulation and Process Studies to Improve Quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(1):70–81, 2016.
- American Association of Cereal Chemists. *American Association of Cereal Chemists: Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*. 10. edition, 2000.
- Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung. *Standard-Methoden für Getreide, Mehl und Brot*. Verlag Moritz Schäfer, Detmold, Deutschland, 7. edition, 1994.
- A. Asghar, F. M. Anjum, M. W. Tariq, and S. Hussain. Effect of Carboxy Methyl Cellulose and Gum Arabic on the Stability of Frozen Dough for Bakery Products. *Tübitak*, 29:237–241, 2005.
- M. E. Barcenas and C. M. Rosell. Effect of freezing and frozen storage on the staling of part-baked bread. *Food Chemistry*, 95:438–445, 2003.
- M. E. Barcenas, M. Haros, C. Benedito, and Cr. M. Rosell. Effect of freezing and frozen storage on the staling of part-baked bread. *Food Research International*, 36: 863–869, 2003a.
- M. E. Barcenas, M. Haros, and C. M. Rosell. An approach to studying the effect of different bread improvers on the staling of pre-baked frozen bread. *European Food Research and Technology*, 218(1):56–61, 2003b.
- H.D. Belitz, W. Grosch, and P. Schieberle. *Lehrbuch der Lebensmittelchemie*. Springer, Berlin, Deutschland, 6. auflage edition, 2008.
- A. N. Birch, F. W.J. Berg van den, and Å S. Hansen. Expansion profiles of wheat doughs fermented by seven commercial baker’s yeasts. *Journal of Cereal Science*, 58 (318-323), 2013a.
- A. N. Birch, M. A. Petersen, N. Arneborg, and Å. S. Hansen. Influence of commercial baker’s yeasts on bread aroma profiles. *Food Research International*, 52(1):160–166, 2013b.
- D. Bonfil and E. Posner. Can bread wheat quality be determined by gluten index? *Journal of Cereal Science*, 56:115–118, 2012.
- Brabender.de. Brabender. URL www.brabender.com Zugriff: 01.02.2016.
- F. Brosius. *SPSS 21*. mitp, Heidelberg, Deutschland, 1. edition, 2013.
- Bundesministerium für Gesundheit. Österreichisches Lebensmittelbuch Kapitel B18, 2015.

LITERATUR

- C. Cappa, M. Lucisano, and M. Mariotti. Influence of Psyllium , sugar beet fibre and water on gluten-free dough properties and bread quality. *Carbohydrate Polymers*, 98 (2):1657–1666, 2013.
- S. P. Cauvain. *ICC Handbook of Cereals, Flour, Dough and Product Testing*. DESTtech Publications, Lancaster, USA, 2009.
- S. P. Cauvain. *Technology of Breadmaking*. Springer, Cham, England, 2015.
- S. P. Cauvain and L. S. Young. *Baked Products - Science, technology and practice*. Wiley-Blackwell, New Jersey, USA, 2006a.
- S. P. Cauvain and L. S. Young. *The Chorleywood Bread Process*. Woodhead Publishing, Cambridge, England, 2006b.
- W. Z. Chen and R. C. Hoseney. Development of an Objective Method for Dough Stickiness. *Lebensmittelwissenschaften und -technologie*, 473(28):467–473, 1995.
- C. Collar, P. Andreu, and M. A. Martinez-Anaya. Interactive effects of flour, starter and enzyme on bread dough machinability. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung*, 207(2):133–139, 1998.
- D. Cozzolino. The use of the rapid visco analyser (RVA) in breeding and selection of cereals. *Journal of Cereal Science*, 70:282–290, 2016.
- E. Derndorfer, A. Mar, and A. Mörixbauer. *Die Broterxperten*. Bundesinnung der Lebensmittelgewerbe, Bundesinnung der Bäcker, Linz, Österreich, 2014.
- D. Dhingra, M. Michael, and H. Rajput. Dietary fibre in foods : a review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(June):255–266, 2012.
- O. Doose. *Verfahrenstechnik Bäckerei*. Gildefachverlag, Alfeld, Deutschland, 6. edition, 1982.
- G. L. Ellman. Tissue sulfhydryl groups. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 82 (1):70–77, 1959.
- P. Erling and S. Botterbrodt. *Handbuch der Mehl- und Schälsmüllerei*. Agrimedia, Clence, Deutschland, 1. edition, 2003.
- E. Fierens, L. Helsmoortel, Iris J. Joye, C. Courtin, and J. Delcour. Changes in wheat - flour pasting characteristics as a result of storage and their underlying mechanisms. *Journal of Cereal Science*, 65:81–87, 2015.
- M. Fik and K. Surowka. Effect of prebaking and frozen storage on the sensory quality and instrumental texture of bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82:1268–1275, 2002. doi: 10.1002/jsfa.1176.

LITERATUR

- D. Gabric, F. Ben-Aissa, A. Le-Bail, J.Y. Monteau, and D. Curic. Impact of process conditions on the structure of pre-fermented frozen dough. *Journal of Food Engineering*, 105(2):361–366, 2011.
- J. P. George and A. K. Datta. Development and validation of heat and mass transfer models for freeze-drying of vegetable slices. *Journal of Food Engineering*, 52:89–93, 2002.
- GfK-Consumer Panel. GfK Shopper. Technical report, 2015.
- V. Giannou and C. Tzia. Frozen dough bread: Quality and textural behavior during prolonged storage – Prediction of final product characteristics. *Journal of Food Engineering*, 79(3):929–934, 2007.
- V. Giannou, V. Kessoglou, and C. Tzia. Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. *Trends in Food Science and Technology*, 14:99–108, 2003.
- H. Goesaert, K. Brijs, W.S. Veraverbeke, C.M. Courtin, K. Gebruers, and J.A. Delcour. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, und how to impact their functionality. *Trends in Food Science and Technology*, (16):12–30, 2005.
- Gold A. Produktkatalog Backmischungen, 2015. URL http://shop.anna-gold.at/gold/catalog/index.php?cPath=100_27 Zugriff 25.01.2016.
- H. Grausgruber, E. Hatzenbichler, and P. Ruckebauer. Analysis of repeated stickiness measures of wheat dough using a texture analyser. *Journal of Texture Studies*, 34(1):69–82, 2003.
- H. S. Gujral and C. M. Rosell. Functionality of rice flour modified by microbial transglutaminase. *Journal of Cereal Science*, 39:225–230, 2004.
- U. Hanneforth, G. Brack, and U. Valerius. Herstellung von Hefefeingebaeck aus vorgegaerten Tiefkuehlteigen. *Getreide, Mehl und Brot*, 48(4):36–42, 1994.
- J. Hedderich and L. Sachs. *Angewandte Statistik*. Springer Spectrum, Berlin, Deutschland, 15. auflag edition, 2016.
- R. Heiss. *Lebensmitteltechnologie*. Springer, Berlin, Deutschland, 2004.
- T. Hejrani, Z. Sheikholeslami, A. Mortazavi, and M. Ghiyafe. Food Hydrocolloids The properties of part baked frozen bread with guar and xanthan gums. *Food hydrocolloids*, pages 1–6, 2016.

LITERATUR

S. Jazaeri, J. E. Bock, M. P. Bagagli, S. Iametti, F. Bonomi, and K. Seetharaman. Structural Modifications of Gluten Proteins in Strong and Weak Wheat Dough During Mixing. *Cereal Chemistry*, 92(1):105–113, 2015.

M. M. Karaoglu. Effect of Initial Baking and Storage Time on Pasting Properties and Aging of Par- Baked and Rebaked Rye Bread. *International Journal of Food Properties*, 9(3):583–596, 2006.

A. Kaur, N. Singh, A. Kumar, S. Kaur, A. Mahendru, H. Chauhan, and G. Pratap. Diversity in grain , flour , dough and gluten properties amongst Indian wheat cultivars varying in high molecular weight subunits (HMW-GS). *FRIN*, 53(1):63–72, 2013.

B. Kirsch and A. Odenthal. *Fachkunde Müllereitechnologie - Werkstoffkunde*. Bayrischer Müllerbund, München, Deutschland, 1999.

R. W. Klinger. *Grundlagen der Getreidetechnologie*. Behr, Hamburg, Deutschland, 2. edition, 2010.

KMU Forschung Austria. Zahlen, Daten, Fakten Das österreichische Lebensmittelgewerbe 2013, 2013. URL https://www.wko.at/Content.Node/branchen/w/Lebensmittelgewerbe/Baecker/Baecker_2013.pdf Zugriff 29.01.2016.

Z. Kohajdova, J. Karovicova, and S. Schmidt. Significance of Emulsifiers and Hydrocolloids in Bakery Industry. *Acta Chimica Slovaca*, 2(1):46–61, 2009.

M. Kurek and J. Wyrwisz. The Application of Dietary Fiber in Bread Products. *Food and Processing Technology*, 6(5):1–4, 2015.

J. Laskowski. Comparison quality features of wheat bread baked using straight and pre-fermented dough method. *Lebensmittel, Technologie, Qualität*, 16(5), 2009.

A. Le-Bail, C. Nicolitch, and C. Vuillod. Fermented Frozen Dough: Impact of Pre-fermentation Time and of Freezing Rate for a Pre-fermented Frozen Dough on Final Volume of the Bread. *Food and Bioprocess Technology*, 3(2):197–203, sep 2008.

K. Lösche. *Kältetechnologie in der Bäckerei*. Behr, Hamburg, Deutschland, 1. edition, 2003.

Markets and Markets. Dietary Fiber World market, 2015. URL <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/novel-dietary-fibers-market-858.h>

R. Matissek, G. Steiner, and M. Fischer. *Lebensmittelanalytik*. Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin, Deutschland, 5. edition, 2014.

LITERATUR

- Meistermarken Ulmerspatz. Perfekte Brotqualität - Brotfehler erkennen und vermeiden, 2012. URL <http://www.meistermarken-ulmerspatz.de/downloads/bbz/Perfekte-Brotqualitaet.pdf> Zugriff 01.03.2016.
- L. Mikuš, L. Valík, and L. Dodok. Usage of hydrocolloids in cereal technology. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 59(5):325–334, mar 2011.
- A. Mondal and A. K. Datta. Bread baking – A review. *Journal of Food Engineering*, 86(4):465–474, 2008.
- M. M. Morad and B. L. D’Appolonia. Bread staling. *Cereal Chemistry*, 57(2):141–144, 1980.
- Mühle und Mischfutter. Studie zum Einsatz von Backmitteln und Backzutaten in Deutschland und Österreich: Kenntnisstand, Motive und Image. *Mühle+Mischfutter*, (23), 2015.
- News. Bäckersterben, 2015. URL <http://www.news.at/a/insolvenzen-baeckersterben-oesterreich> Zugriff 23.01.2016.
- D. Osteroth. *Taschenbuch für Lebensmittelchemiker und -technologen*. Springer, Berlin, Deutschland, 1. edition, 1991.
- Österreichisches Institut für Konjunkturforschung. Monatsberichte des österreichischen Instituts für Konjunkturforschung, 1950. URL http://www.wifo.ac.at/bibliothek/archiv/MOBE/1950Heft12_626_630.pdf Zugriff 01.02.2016.
- P. A. Phillips, G. O. Williams, editor. *Handbook of Hydrocolloids*. Woodhead Publishing, Cambridge, England, 2009.
- Y. Phimolsiripol, U. Siripatrawan, V. Tulyathan, and D. J. Cleland. Effect of cold pre-treatment duration before freezing on frozen bread dough quality. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(10):1759–1762, oct 2008.
- J. V. Popov-Raljić, J. S. Mastilović, J. G. Laličić-Petronijević, and V. S. Popov. Investigations of Bread Production with Postponed Staling Applying Instrumental Measurements of Bread Crumb Color. *Sensors*, (9):8613–8623, 2009.
- M. Precht, R. Kraft, and M. Bachmaier. *Angewandte Statistik - Beschreibende und explorative Statistik-Wahrscheinlichkeitsrechnung-Zufallsvariablen und statistische Maßzahlen-wichtige Verteilungen-beurteilende Statistik-Vertrauensintervalle-Hypothesentests-Programmbeispiele in MINITAB*. Oldenburg Verlag, Oldenburg, Deutschland, 2005.

- Quickcals. Quickcals. URL <http://www.graphpad.com/quickcalcs/grubbs1/>
Zugriff 04.04.2016.
- J. Rasanen. Prefermented frozen lean wheat doughs. *VTT*, 352, 1998.
- J.A. Rojas, C.M. Rosell, and C. Barber. Pasting properties of different wheat flour-hydrocolloid systems. *Food Hydrocolloids*, 13:27–33, 1999.
- A. Romano, S. Cavella, G. Toraldo, and P. Masi. 2D structural imaging study of bubble evolution during leavening. *Food Research International*, 50:324–329, 2012.
- C. M. Rosell and M. Gómez. Frozen dough and partially baked brea: an update Running title: Frozen dough and part baked bread. *Food Reviews International*, pages 1–37, 2007.
- Roti®-Quant. Gebrauchsanweisung Roti®-Quant Proteinbestimmung nach Bradford, 2014. URL https://www.carlroth.com/downloads/ba/de/K/BA_K015.DE.pdf.
- J. Rouille, A. Le Bail, and P. Courcoux. Influence of formulation and mixing conditions on breadmaking qualities of French frozen dough. *Journal of Food Engineering*, 43(4):197–203, 2000.
- V. O. Selomulyo and W. Zhou. Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers. *Journal of Cereal Science*, 45(1):1–17, 2007.
- S. O. Serna-Saldiva. *Cereal Grains: Laboratory Reference and Procedures Manual*. CRC Press, Boca Raton, USA, 2012.
- P. R. Shewry and A. S. Tatham, editors. *Wheat Gluten*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, England, 2000.
- K. Shi, H. Yu, J. Jin, and T. Lee. Improvement to baking quality of frozen bread dough by novel zein-based ice nucleation films. *Journal of Cereal Science*, 57(3):430–436, 2013.
- M.I. Silvas-García, B. Ramírez-Wong, P.I. Torres-Chávez, E. Carvajal-Millan, J.M. Barrón-Hoyos, L.A. Bello-Pérez, and A. Quintero-Ramos. Effect of Freezing Rate and Storage Time on Gluten Protein Solubility, and Dough and Bread Properties. *Journal of Food Process Engineering*, 37(3):237–247, 2014.
- H. Skobranek. *Bäckereitechnologie*. Dr. Felix Büchner-Verlag, Hamburg, Deutschland, 1998.
- S.W. Souci, W. Fachmann, and H. Kraut. *Food composition and nutrition tables*. LinkMedpharm Scientific, Stuttgart, Deutschland, 7. auflage edition, 2008.

LITERATUR

- Stat Graphics. Stat Graphics User Manual, 2014. URL http://cdn2.hubspot.net/hubfs/402067/Manuals_/Statgraphics_Centurion_XVII_User_Manual.pdf?t=1470166098610 Zugriff 04.03.2016.
- Statistik Austria. Konsumerhebung 1999/2000, 2001. URL http://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/soziales/verbrauchsangaben/konsumerhebung_1999_2000/020266.html Zugriff 29.01.2016.
- Statistik Austria. Konsumerhebung 2009/2010, 2011. URL http://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/soziales/verbrauchsangaben/konsumerhebung_2009_2010/055858.html Zugriff 29.01.2016.
- R. Stevens, L. Stevens, and N.C. Price. The Stabilities of Various Thiol Compounds used in Protein Purifications. *Biochemical Education*, 11(2):1959, 1959.
- B. Sungur and R. Ercan. Effects of combining added hydrocolloids and surfactant and frozen storage on the baking quality of frozen bread dough. *GIDA / The Journal of FOOD*, 38(5):283–290, 2013.
- Thermo Scientific. Instructions Ellman's Reagent. 2014.
- S. Uthayakumaran and C. W. Wrigley. Wheat: characteristics and quality requirements. In *Cereal Grains Assessing and Managing Quality*. Woodhead Publishing, Cambridge, England, 2010.
- Verein Schweizer Brot. Wädenswiler Brotaromarad, 2015. URL <http://www.schweizerbrot.ch/brotgenuss/brotaromen.html>.
- A. Vollmar. Neues Messgerät zur Ermittlung des Brotvolumens. *Getreidetechnologie*, (59):57–59, 2005.
- S. Wang, P. Austin, and S. Bell. It's a maze : The pore structure of bread crumbs. *Journal of Cereal Science*, 54(2):203–210, 2011.
- A. Xu, K. Chung, and J. G. Ponte. Bread Crumb Amylograph Studies. I. Effects of Storage Time, Shortening, Flour Lipids, and Surfactants. *Cereal Chemistry*, 69(5):495–501, 1992.
- T. Yasungaga, W. Bushuk, and G.N. Irvine. Gelatinization of Starch During Bread-Baking. *Cereal Chemistry*, 45:269–279, 1968.
- O. Yildiz, R. Meral, and I. S. Dogan. Determination of Stickiness Values of Different Flour Combinations Determination of Stickiness Values of Different Flour Combinations. *International Journal of Food Engineering*, 8(3):1–11, 2012.

LITERATUR

- L. Zhao, L. Li, G. Liu, X. Liu, and B. Li. Effect of Frozen Storage on Molecular Weight, Size Distribution and Conformation of Gluten by SAXS and SEC-MALLS. *Molecules*, 17:7169–7182, 2012.
- W. Zhou. *Bakery products science and technology*. LinkWiley Blackwell, Chichester, England, 2. edition, 2014.
- P. Zöfel. *Statistik verstehen: Ein Begleitbuch zur computergestützten Anwendung*. Addison Wesley, Boston, USA, 2. edition, 2000.

10 Anhang

Typenbeschreibung

Type
P 95

VITACEL

Psyllium

Beschreibung

VITACEL Psyllium P 95 ist ein Ballaststoff, der aus der Samenschale der Pflanze *Plantago ovata* hergestellt wird und zur ernährungsphysiologischen Aufwertung in unterschiedlichen Lebensmittelanwendungen eingesetzt wird. Wir empfehlen eine Kennzeichnung als Psyllium. Bitte beachten Sie die länderspezifischen Bestimmungen.

Chemische und physikalische Eigenschaften

Ballaststoffgehalt (nach AOAC-Methode)*	~	80 % i. Tr.
davon: unlöslich	~	14 %
löslich	~	66 %
Trocknungsverlust	max.	9 %
Oxidasche	max.	3 %
pH-Wert (10 %-ige Suspension)		5 - 7
Schüttgewicht (in Anlehnung an DIN EN ISO 60)		350 g/l - 700 g/l
Wasserbindevermögen (AACC-Methode)	min.	20 g H ₂ O/g TS
Durchschnittl. Partikelgröße / Partikelbereich		250 µm

Mikrobiologischer Status

Gesamtkeimzahl	max.	1 x 10 ⁵ KBE/g
Hefen und Schimmelpilze	max.	1 x 10 ³ KBE/g

Schwermetalle*

Arsen	max.	3 mg/kg
Blei	max.	2 mg/kg
Quecksilber	max.	1 mg/kg
Cadmium	max.	1 mg/kg

Kontaminanten

Die analysierten Rückstände liegen unterhalb der amtlich festgelegten Höchstwerte nach der Rückstandshöchstmengen VO.

Lagerung

Bei Raumtemperatur trocken lagern. In ungeöffneten Originalgebinden, Mindesthaltbarkeit: 3 Jahre ab Produktionsdatum

Allgemeine Hinweise

Alle Spezifikationswerte beruhen auf Durchschnittsermittlungen des Monitorings. Schwankungen sind die Charakteristika des natürlichen Rohmaterials.

(* Monitoring)

Ausgabedatum: 2015-05 / 1 Seite



J. RETTENMAIER & SÖHNE GMBH + CO KG
 Fasern aus der Natur
 Holzmühle 1
 D-73494 Rosenberg

Telefon: +49 7967 152-0
Telefax: +49 7967 152-222
E-Mail: food@jrs.de
www.jrs.de

Preliminary Data sheet**Grade
BBL 100**

VITACEL

Dietary Fiber Compound

Description

VITACEL BBL 100 is a compound developed for the production of dietary fiber enrichment bakery goods as well as to improve their freshkeeping.

Composition

Wheat fiber, Potato fiber, Psyllium

Chemical and physical properties

Dietary fiber content	~	85 % i.d.s.
Loss on drying	max.	12 %
Oxide ash (850 °C, 4 h)	max.	4 %
pH-value (10 % suspension)		4.5 - 8
Bulk density (in accordance with DIN EN ISO 60)		280 g/l - 380 g/l
Water binding capacity (AOAC-method)*	~	5.3 g H ₂ O/g d.s.
Oil absorption (AOAC-method)*	~	2.6 g oil/g d.s.

Microbiological analysis

Total plate count	max.	1 x 10 ⁵ cfu/g
Yeasts and moulds	max.	1 x 10 ³ cfu/g

Heavy metals*

Arsenic	max.	3 mg/kg
Lead	max.	2 mg/kg
Mercury	max.	1 mg/kg
Cadmium	max.	1 mg/kg

Sensory properties

Appearance	off-white, powder
Flavour	mild
Odour	neutral

Allergen

Please refer to the allergen list of VITACEL BBL 100

Contaminants

The analysed residue is lower than the official stipulations in the ordinance for maximum amounts of plant protectives.

Storage

Store at room temperature in dry conditions. In original and unopened bags, best before at least 3 years starting with production date

General remarks

Specifications are based upon typical results from reference samples and because of the nature of the raw material there may occur some natural variations.

(* monitoring)

Release date: 2015-04 / 1 page



J. RETTENMAIER & SÖHNE GMBH + CO KG
Fibers designed by Nature
 Holzmühle 1
 D-73494 Rosenberg

Telephone: +49 7967 152-0
Telefax: +49 7967 152-222
E-Mail: food@irs.de
www.irs.de

Data sheet**Grade
BBL 500**

VITACEL

Dietary Fiber Compound

Description

VITACEL BBL 500 is a compound developed for the production of dietary fiber enrichment bakery goods as well as to improve their freshkeeping.

Composition

Wheat fiber
Psyllium

Chemical and physical properties

Dietary fiber content	~	94 % i.d.s.
Loss on drying	max.	10 %
Oxide ash (850 °C, 4 h)	max.	4 %
pH-value (10 % suspension)		4.5 - 8
Bulk density (in accordance with DIN EN ISO 60)		200 g/l - 300 g/l
Water binding capacity (AOAC-method)*	~	6 g H ₂ O/g d.s.
Oil absorption (AOAC-method)*	~	2.5 g oil/g d.s.

Microbiological analysis

Total plate count	max.	1 x 10 ⁵ cfu/g
Yeasts and moulds	max.	1 x 10 ³ cfu/g

Heavy metals*

Arsenic	max.	3 mg/kg
Lead	max.	2 mg/kg
Mercury	max.	1 mg/kg
Cadmium	max.	1 mg/kg

Sensory properties

Appearance	off-white, powder
Flavour	mild
Odour	neutral

Allergen

Please refer to the allergen list of VITACEL BBL 500.

Contaminants

The analysed residue is lower than the official stipulations in the ordinance for maximum amounts of plant protectives.

Storage

Store at room temperature in dry conditions. In original and unopened bags, best before at least 3 years starting with production date

(*monitoring)

Release date: 2015-04 / 1 page



J. RETTENMAIER & SÖHNE GMBH + CO KG
Fibers designed by Nature
Holzmühle 1
D-73494 Rosenberg

Telephone: +49 7967 152-0
Telefax: +49 7967 152-222
E-Mail: food@irs.de
www.irs.de

Typenbeschreibung**Type**
WF 200

VITACEL

Weizenfaser

Beschreibung

VITACEL Weizenfaser ist ein Lebensmittel, das zur ernährungsphysiologischen Aufwertung in unterschiedlichen Lebensmittelanwendungen eingesetzt wird. Wir empfehlen eine Kennzeichnung als Weizenfaser oder Weizenpflanzenfaser. Bitte beachten Sie die länderspezifischen Bestimmungen.

Chemische und physikalische Eigenschaften

Ballaststoffgehalt (nach AOAC-Methode)*	~	97 % i. Tr.
Trocknungsverlust	max.	8 %
Oxidasche (850 °C, 4 h)	max.	3 %
pH-Wert (10 %-ige Suspension)		5 - 8
Schüttgewicht (in Anlehnung an DIN EN ISO 60)		75 g/l - 100 g/l
Wasserbindevermögen (AACC-Methode)	~	8,7 g H ₂ O/g TS
Ölabsorption*	~	6,9 g Öl/g TS
Durchschnittliche Faserlänge		250 µm

Mikrobiologischer Status

Gesamtkeimzahl	max.	5 x 10 ³ KBE/g
Hefen und Schimmelpilze	max.	2 x 10 ² KBE/g

Schwermetalle*

Arsen	max.	3 mg/kg
Blei	max.	2 mg/kg
Quecksilber	max.	1 mg/kg
Cadmium	max.	1 mg/kg

Sensorische Eigenschaften

Aussehen	weißlich, pulverförmig
Geschmack, Geruch	neutral

Allergen* gemäß VO (EU) Nr. 1169/2011

Kennzeichnung **Weizenfaser**
 Gluten: "Glutenfrei" gemäß der Verordnung (EU) Nr. 41/2009 und dem Codex Alimentarius

Kontaminanten

Die analysierten Rückstände liegen unterhalb der amtlich festgelegten Höchstwerte nach der Rückstandshöchstmengen VO.

Lagerung

Bei Raumtemperatur trocken lagern. In ungeöffneten Originalgebinden, Mindesthaltbarkeit: 5 Jahre ab Produktionsdatum

(* Monitoring)

Ausgabedatum: 2014-05 / 1 Seite



J. RETTENMAIER & SÖHNE GMBH + CO KG
 Fasern aus der Natur
 Holzmühle 1
 D-73494 Rosenberg

Telefon: +49 7967 152-0
Telefax: +49 7967 152-222
E-Mail: food@irs.de
www.irs.de

Typenbeschreibung**Type**
WF 600

VITACEL

Weizenfaser

Beschreibung

VITACEL Weizenfaser ist ein Lebensmittel, das zur ernährungsphysiologischen Aufwertung in unterschiedlichen Lebensmittelanwendungen eingesetzt wird. Wir empfehlen eine Kennzeichnung als Weizenfaser oder Weizenpflanzenfaser. Bitte beachten Sie die länderspezifischen Bestimmungen.

Chemische und physikalische Eigenschaften

Ballaststoffgehalt (nach AOAC-Methode)*	~	97 % i. Tr.
Trocknungsverlust	max.	8 %
Oxidasche (850 °C, 4 h)	max.	3 %
pH-Wert (10 %-ige Suspension)		5 - 8
Schüttgewicht (in Anlehnung an DIN EN ISO 60)		200 g/l - 240 g/l
Wasserbindevermögen (AACC-Methode)	~	4,9 g H ₂ O/g TS
Ölabsorption*	~	3 g Öl/g TS
Durchschnittliche Faserlänge		80 µm

Mikrobiologischer Status

Gesamtkeimzahl	max.	5 x 10 ³ KBE/g
Hefen und Schimmelpilze	max.	2 x 10 ² KBE/g

Schwermetalle*

Arsen	max.	3 mg/kg
Blei	max.	2 mg/kg
Quecksilber	max.	1 mg/kg
Cadmium	max.	1 mg/kg

Sensorische Eigenschaften

Aussehen	weißlich, pulverförmig
Geschmack, Geruch	neutral

Allergen* gemäß VO (EU) Nr. 1169/2011

Kennzeichnung **Weizenfaser**
 Gluten: "Glutenfrei" gemäß der Verordnung (EU) Nr. 41/2009 und dem Codex Alimentarius

Kontaminanten

Die analysierten Rückstände liegen unterhalb der amtlich festgelegten Höchstwerte nach der Rückstandshöchstmengen VO.

Lagerung

Bei Raumtemperatur trocken lagern. In ungeöffneten Originalgebinden, Mindesthaltbarkeit: 5 Jahre ab Produktionsdatum

(* Monitoring)

Ausgabedatum: 2014-05 / 1 Seite



J. RETTENMAIER & SÖHNE GMBH + CO KG
 Fasern aus der Natur
 Holzmühle 1
 D-73494 Rosenberg

Telefon: +49 7967 152-0
Telefax: +49 7967 152-222
E-Mail: food@irs.de
www.irs.de

Typenbeschreibung**Type**
WF 600-30

VITACEL

Weizenfaser

Beschreibung

VITACEL Weizenfaser ist ein Lebensmittel, das zur ernährungsphysiologischen Aufwertung in unterschiedlichen Lebensmittelanwendungen eingesetzt wird. Wir empfehlen eine Kennzeichnung als Weizenfaser oder Weizenpflanzenfaser. Bitte beachten Sie die länderspezifischen Bestimmungen.

Chemische und physikalische Eigenschaften

Ballaststoffgehalt (nach AOAC-Methode)*	~	97 % i. Tr.
Trocknungsverlust	max.	8 %
Oxidasche (850 °C, 4 h)	max.	3 %
pH-Wert (10 %-ige Suspension)		5 - 8
Schüttgewicht (in Anlehnung an DIN EN ISO 60)		180 g/l - 240 g/l
Wasserbindevermögen (AACC-Methode)	~	5 g H ₂ O/g TS
Ölabsorption*	~	3,2 g Öl/g TS
Durchschnittliche Faserlänge		35 µm

Mikrobiologischer Status

Gesamtkeimzahl	max.	5 x 10 ³ KBE/g
Hefen und Schimmelpilze	max.	2 x 10 ² KBE/g

Schwermetalle*

Arsen	max.	3 mg/kg
Blei	max.	2 mg/kg
Quecksilber	max.	1 mg/kg
Cadmium	max.	1 mg/kg

Sensorische Eigenschaften

Aussehen	weißlich, pulverförmig
Geschmack, Geruch	neutral

Allergen* gemäß VO (EU) Nr. 1169/2011

Kennzeichnung **Weizenfaser**
 Gluten: "Glutenfrei" gemäß der Verordnung (EU) Nr. 41/2009 und dem Codex Alimentarius

Kontaminanten

Die analysierten Rückstände liegen unterhalb der amtlich festgelegten Höchstwerte nach der Rückstandshöchstmengen VO.

Lagerung

Bei Raumtemperatur trocken lagern. In ungeöffneten Originalgebinden, Mindesthaltbarkeit: 5 Jahre ab Produktionsdatum

(* Monitoring)

Ausgabedatum: 2014-10 / 1 Seite



J. RETTENMAIER & SÖHNE GMBH + CO KG
 Fasern aus der Natur
 Holzmühle 1
 D-73494 Rosenberg

Telefon: +49 7967 152-0
Telefax: +49 7967 152-222
E-Mail: food@irs.de
www.irs.de

11 Lebenslauf



Persönliche Daten

Name:	Ing. Philipp NIEDERSCHICK, BSc
Staatsangehörigkeit:	Österreich
geboren:	1987 in OÖ
E-Mail:	philipp.niederschick@gmail.com

Ausbildung

seit 06/2015	Master Lebensmittelwissenschaft und -technologie Universität für Bodenkultur
10/2006 - 05/2015	Bachelor Lebensmittel- und Biotechnologie Universität für Bodenkultur
09/2001 - 06/2006	HTL für Lebensmitteltechnologie, Wels Schwerpunkt Getreidetechnologie

Berufserfahrung

seit 10/2013	Innviertler Teigwaren GmbH QM
08/2014 bis 04/2015	Franz Felber & Co. GmbH Projektleiter
07/2013 bis 08/2013	Resch & Frisch Production GmbH Projektmitarbeiter
04/2011 bis 06/2013	Stritzinger Import-Export GmbH QM und Hygienebeauftragter
08-09/2008	Styria Bakery Colorado, USA Bäcker, Verkäufer
07-08/2006, 2007, 2010	Berglandmilch eGen QS

Wien, im September 2016