



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften
Studiengang Lebensmitteltechnologie
WS 2011/12

Bachelorarbeit

„Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung eines Butterkekses im Technikumsmaßstab“

Urn:nbn:de:gbv:519-thesis 2012-0010-9

Angefertigt von: André Florian

Betreuer: Herr Prof. Dr. P. Meurer
 Herr Prof. Dr. E. Schultz

Datum: 06.03.2012, Neubrandenburg

Inhalt	Seite
1. Einleitung	4
2. Theoretische Grundlagen und Stand der Technik	5
2.1 Inhaltsstoffe	5
2.1.1 Weizenmehl	5
2.1.2 Butter	6
2.1.3 Zucker und Invertzucker	7
2.1.4 Ei	7
2.1.5 Milchpulver	8
2.1.6 Backpulver	8
2.1.7 Teigbehandlungsmittel	9
2.1.8 Emulgatoren	10
2.2 Der Backvorgang	10
2.3 Industrielle Herstellung	10
3. Material und Methoden	14
3.1 Rohstoffe	14
3.2 Analysemethoden und Geräte	15
3.2.1 Conche	15
3.2.2 Stephan Universalgerät	16
3.2.3 Ofen	16
3.2.4 Satorius MA 40 „Schnellfeuchtebestimmer“	16
3.2.5 Textureanalyser	16
3.2.6 Sensorik	19
4. Ergebnisse und Diskussion	20
4.1 Verfahrens- und Rezepturfindung	20
4.1.1 Versuchsreihe 1	20
4.1.2 Versuchsreihe 2	22
4.1.3 Versuchsreihe 3	23
4.1.4 Versuchsreihe 4	26
4.2 Versuchsreihe 5	29
4.2.1 Teigfestigkeit	31
4.2.2 Teigelastizität und Rückverformungsrate	32
4.2.3 Bruchhärte	34

Inhalt	Seite
4.2.4 Sensorik	36
5. Zusammenfassung	38
6. Abstract	39
Literaturverzeichnis	40
Abbildungsverzeichnis	42
Tabellenverzeichnis	43
Eigenständigkeitserklärung	44
Anhang	45

1. Einleitung

Der Durchschnittseuropäer gibt im Jahr etwa 130 € für Gebäck aus. Dies generiert allein in Europa Milliardenumsätze und macht die Produktion von Keksen, Müsliriegeln, Zwieback und gesalzene Knabberartikeln zu einer ökonomisch attraktiven Produktgruppe. Das Deutsche Lebensmittelbuch unterscheidet verschiedene Keksorten nach ihren namensgebenden Inhaltsstoffen, so muss der Butterkeks, nach den Leitsätzen für Feine Backwaren mindestens 10 kg Butter oder die entsprechende Menge Butterreinfett auf 100 kg Getreideerzeugnisse enthalten. Weitere deutsche Keksorten sind der Albertkeks, der Eierkeks, der Hartkeks, der Milchkeks und der Mürbekeks. In vielen Ländern der Welt ist der Butterkeks in seiner typischen Form, mit 4 großen Ecken, 14 Zähnen in der Länge und 10 Zähnen in der Breite, bekannt. Doch der Butterkeks ist stark traditionell geprägt und somit regional sehr unterschiedlich. So sind in den USA eher helle Kekse gefragt, in Frankreich stark gebräunte und in Deutschland die Mitte der Beiden. In England sind die Kekse weniger süß und etwas fester, da sie dort in Tee und Kaffee getaucht werden.

Diese Arbeit befasst sich ausschließlich mit dem deutschen Butterkeks. Es wurde ein Keks nachgestellt, der einem bekannten, schon lange im Handel befindlichen Produkt ähnelt. Das Ziel war es, ein in Farbe, Geschmack und Konsistenz möglichst ähnliches Produkt, mit den an der Hochschule verfügbaren technischen Mitteln zu herzustellen. Um dieses Ziel zu erreichen wurde in ersten Backversuchen und mit Hilfe der Inhaltsstoffangabe auf der Verpackung des Vorbilds, eine Rezeptur gefunden. Zeitgleich sind geeignete Knetverfahren und Knetzeiten mit Horizontal- und Vertikalknettern erprobt worden. Parallel erfolgte die Durchführung von Backversuchen um eine optimale Temperaturführung und Backzeit zu finden. Nach der Festlegung der genannten Parameter wurden Versuche mit Teigbehandlungsmitteln (Cystein und Proteasen) und speziellem Keksmehl durchgeführt. Die Teige der verschiedenen Versuche sind anschließend mit einem Texturealyzer auf ihre Festigkeit, Elastizität und Klebrigkeit untersucht worden, sowie die fertigen Kekse auf ihre Bruchfestigkeit. Den Abschluss bildete eine sensorische Analyse mit einem 6 Personen starken Panel.

(Leitsätze für Feine Backwaren, 2010; BDSI, 2006; <http://www.arte.tv/de/suche/834338.html> 19.01.2012; „Die Welt“, 07.01.2012)

2. Theoretische Grundlagen und Stand der Technik

2.1 Inhaltsstoffe

2.1.1 Weizenmehl

Der Butterkeks, in seiner klassischen Art, wird aus Weizenmehl hergestellt, dieses bildet mit etwa 40 % den größten Teil der Rezeptur. Der Weizen gehört der Gattung *Triticum* an, welche in 4 Arten unterteilt wird. Ausschlaggebend für die Auswahl der Sorte sind die klimatischen Gegebenheiten in der Klimazone des jeweiligen Anbaugebietes. Im Durchschnitt setzt sich Weizen aus 79,5% Kohlenhydraten, 13,5 % Rohprotein, 1,9 % Asche und 2,2 % Rohfett zusammen. Von besonderer Bedeutung für die teigbildenden Eigenschaften des Weizenmehls sind die Art und Zusammensetzung des Proteinanteils. Weizenmehl bildet beim Anteigen mit Wasser einen kohäsiven, viskoelastischen Proteinkomplex, den sogenannten Kleber (Gluten). Die Kleberproteine sind nicht wasserlöslich, nehmen aber das 2 bis 3-fache ihres Trockengewichtes an Wasser auf, sie quellen. Die Weizenproteine werden in nicht-Kleberproteine (ca. 15 %) und teigbildende Kleberproteine (ca. 85 %) unterteilt. Der nicht-Kleberproteinanteil besteht größtenteils aus Albuminen und Globulinen, während der kleberbildende Proteinanteil (Osbornfraktion) sich aus Gliadin und Glutenin zusammensetzt. Je nach Verhältnis der beiden Proteine ergeben sich dehnbare, wenig elastische Teige (höherer Gliadinanteil) oder wenig dehnbare, elastische Teige (höherer Gluteninanteil). Gliadine bilden aus verschiedenen Polypeptidketten Moleküle mit Molmassen zwischen $3 \cdot 10^4$ Dalton. Die Peptidketten sind intramolekular durch SS-Bindungen und Wasserstoffbrücken verknüpft. Sie enthalten viel Glutamin und Prolin, aber nur wenige freie Carboxylgruppen. Dies verleiht ihnen hydrophobe Eigenschaften und die Fähigkeit Lipid-Proteinkomplexe zu bilden, welche die Kohäsivität des Teiges erhöhen. Die Glutenine hingegen bilden untereinander intermolekulare Disulfidbrücken (zwischen Cystein und Glutaminsäureresten) aus, welche für Moleküle mit Molgewichte von mehr als 10^6 Dalton sorgen. Gemeinsam bilden Gliadin und Glutenin das Glutennetzwerk durch das Verkleben während der Anwesenheit von Wasser. Die mechanische Arbeit, das Kneten, vernetzt mehr und mehr Proteine miteinander, so dass ein dreidimensionales Netzwerk entsteht. Durch fortlaufendes Kneten werden diese Netzwerke gedehnt und bilden membranartige vernetzte Schichten. Je nach Verhältnis der SH/SS Vernetzungen erhält der Teig unterschiedliche Eigenschaften. Ein großes SS/SH-Verhältnis bewirkt kurze Teige mit geringer Dehnbarkeit und hohem Dehnwiderstand. Ist das SS/SH-Verhältnis kleiner entstehen dehnbare klebrige Teige. Je schwächer der Kleber, desto kleiner ist das SS/SH-Verhältnis. Das entstandene

Klebergerüst ist von entscheidender Bedeutung für die Gashaltbarkeit des Teiges. Sie entscheidet ob Teige beim Freiwerden von Gärgasen (Kohlendioxid) durch Hefen oder Kohlendioxid aus Backtriebmitteln wie Backpulver aufgehen und bspw. Brote oder Brötchen bilden oder flache Gebäcke wie Fladenbrote aus Maismehl, welches keine Klebereiweiße enthält. Um einen Butterkeks herzustellen wird ein Teig benötigt der zwar weich, aber wenig dehnbar und sehr wenig elastisch ist. Dies wird in der Praxis durch die Verwendung kleberarmer Mehle, z.B. Keksmehl mit nur etwa 9 bis 10 % Rohproteinanteil, oder durch Zugabe von Kleberstärke reduzierenden Hilfsstoffen wie Cystein (E 920) oder Proteasen erreicht. (brotundbackwaren.de, 2011; Seibel, 1991; Manley, 2000)

2.1.2 Butter

Fette können in Gebäcken die verschiedensten Aufgaben erfüllen. Sie werden in Teigen verarbeitet, auf Gebäckoberflächen aufgesprüht oder als Creme- oder Schokoladenfüllungen verwendet. Butter ist ein Fett, welches meist wegen seines einzigartigen Geschmacks eingesetzt wird. Neben der Geschmacksgebung haben Fette jedoch auch Texturgebende Eigenschaften. Sie können die Mehlpartikel umhüllen und somit die Ausbildung des Glutennetzwerkes durch Wasser und Mehlproteine einschränken, bzw. stellenweise unterbrechen. Es entsteht ein kürzerer Teig und die Textur der gebackenen Kekse ist mürber. Das Mundgefühl verändert sich, denn die schmelzenden Fettkristalle erzeugen beim Kauen ein weicheres Gebäck. Da Butter ca. 16 % Wasser enthält kann sie während des Backvorgangs aufgrund entstehender Dampfblasen für einen zusätzlichen Lockerungseffekt sorgen, allerdings ist dieser Effekt im Keksteig eher klein und nicht zu vergleichen mit dem in Blätterteigen. Bei der Herstellung von Butterkekse wird ausschließlich Butter oder Butterreinfett verwendet. Um den Namen Butterkekse verwenden zu können, müssen nach den Deutschen Leitsätzen für Feine Backwaren mindestens 10 kg Butter auf 100 kg Mehlerzeugnisse, oder das entsprechende Fettäquivalent an Butterreinfett, enthalten sein. (Leitsätze für Feine Backwaren, 2010) Es ist von großer technologischer Bedeutung in welchem Aggregatzustand sich das Fett während der Verarbeitung zu einem Teig befindet. Manley, 2000 nutzt zur Darstellung des Aggregatzustandes den SFI (Solid Fat Index), dieser beschreibt den Anteil des festen Fettes prozentual zur Gesamtfettmenge. Der SFI sollte für die Herstellung von Keksteigen etwa 24 % betragen. Butter hat einen SFI von 24 % bei ca. 18°C. Je nach Jahreszeit und Futter der Kühe kann der SFI schwanken. Der plastische Zustand der Butter ist für die industrielle Verarbeitung nicht optimal, da sich die Masse nicht pumpen lässt und schwieriger zu dosieren ist. Ist die Butter kälter und hat somit einen höheren SFI lässt sie

sich zum einen schlechter portionieren und zu Anderen nicht homogen im Teig verteilen. Ein zu hoher SFI begünstigt die Entstehung von Fettreif bei längerer Lagerung der fertigen Kekse, dieser sieht für den Endkunden unappetitlich aus und ist unerwünscht. Auch der entgegengesetzte Fall, zu warmer und somit zu flüssiger Butter wirkt sich nachteilig auf die Teigbildung aus. Es kommt zu einer sehr schnellen und feinen Emulgierung der Mehlpartikel und es bildet sich kein, bzw. ein sehr schwaches Glutennetzwerk. Im schlechtesten Fall werden die kohäsiven Kräfte im Teig so klein, dass sich keine zusammenhängende Teigmasse bildet. (Manley, 2000)

2.1.3 Zucker und Invertzucker

Zucker werden in Keksen neben Mehlen und Fetten als Hauptzutaten eingesetzt. Sie wirken somit geschmacks- wie strukturgebend und sind größtenteils verantwortlich für die Süße des Gebäcks. Ein hoher Zuckeranteil hebt die Verkleisterungstemperatur der Stärke an, wodurch dem Teig während des Backvorganges etwas mehr Zeit zur Volumenzunahme zur Verfügung steht. Nach Manley 2000 wirkt Saccharose oxidationshemmend und kann so einer späteren Fettoxidation während der Lagerung des fertigen Produktes entgegenwirken. Um die Maillardreaktion zu verstärken werden neben Laktose auch Invertzucker, bzw. Invertzuckercremes, wegen ihrer reduzierenden Wirkung, eingesetzt. Invertzucker werden durch Hydrolyse in Wasser mit Salzsäure bei erhöhten Temperaturen aus Saccharose oder Maisstärke hergestellt. Die entstandenen Monosaccharide können an den freien reduzierenden Enden die Maillardreaktion mit den Proteinen, bzw. Aminosäuren eingehen. (Manley, 2000)

2.1.4 Ei

Hühnereier werden in der Gebäckproduktion hauptsächlich wegen ihrer geschmacksgebenden Eigenschaften verwendet. Das in Eiern enthaltene Fett und Lecithin kann heutzutage günstiger aus anderen Quellen bezogen werden, z.B Sojalecithin und Pflanzenfette, falls nicht Butter verwendet werden muss. Die Nutzung findet in Form von Eipulvern statt. Diese werden gefrier- oder sprügetrocknet. Auch die Nutzung von pasteurisiertem Vollei ist möglich. Frische Eier werden aufgrund des komplizierten Handlings nicht genutzt. Sie haben die Nachteile einer kurzen Haltbarkeit und die Schalen verursachen Schwierigkeiten, da sie leicht in das Produkt geraten können. Ein weiterer bedeutender Punkt ist die Gefahr einer möglichen Salmonelleninfektion. Die Teige werden zwar gebacken und damit die Salmonellen zuverlässig abgetötet, aber auch an den Schalen können Mikroorganismen haften, welche unter Umständen die Umgebung kontaminieren könnten. (Manley, 2000)

2.1.5 Milchpulver

Milchbestandteile erfüllen größtenteils geschmacks- und farbgebende Funktionen in Keksgebäcken. Die Pulver werden in der Regel sprühgetrocknet, da eine Gefriertrocknung zwar etwas besser den Geschmack erhält, aber energetisch wesentlich aufwendiger und damit teurer ist. Die in Milchpulvern vorhandenen Proteine und die reduzierenden Zucker (Laktose) erzeugen eine verstärkte Maillardreaktion und geben den Keksen eine goldbraune Oberfläche. Der Einsatz von Süßmolkenpulver (weiterhin SMP genannt) erzeugt einen sehr intensiven Geschmack und Geruch, so dass von dieser Zutat nur relativ wenig verwendet werden sollte. Lactosepulver wirkt sich aufgrund seiner reduzierenden Wirkung stark auf den Bräunungsgrad aus und verursacht ein cremiges Mundgefühl. Vollmilchpulver kann zu einem weicheren Mundgefühl und Biss des Kekses führen. Allerdings ist der Einsatz von verschiedenen Milchpulvern aufgrund der enormen Verstärkung der Maillardreaktion nur in kleinen Mengen möglich. Milchpulver haben den Vorteil bei trockener Lagerung lange Haltbar zu sein. (Manley, 2000)

2.1.6 Backpulver

Backpulver gehört zu den Backtriebmitteln, ihre Aufgabe ist es durch die Abgabe von Kohlendioxid eine Lockerung des Gebäcks zu erzielen. Klassisches Backpulver besteht aus Natriumhydrogencarbonat und einem oder mehreren Säureträgern, meist Dinatriumdihydrogenphosphat und anderen Phosphatverbindungen. Unter Einwirkung von Wasser und Wärme bilden Backtriebmittel das benötigte Kohlendioxid, es läuft die folgende Reaktion ab.



Der Säureträger ist hier nicht vollständig dargestellt, sondern nur die bei Anwesenheit von Wasser freigesetzten Protonen.

Bei der Herstellung von flachen Dauerbackwaren ist nur eine sehr kleine Volumenzunahme erwünscht, stattdessen soll eine Lockerung der Struktur erreicht werden. Daher werden in Keksen nur sehr geringe Mengen, etwa 1 Teil Backpulver auf 100 Teile Mehl, eingesetzt. In sehr zucker- und fettreichen Teigen werden meist gar keine Triebmittel verwendet.

2.1.7 Teigbehandlungsmittel

Im Laufe der letzten Jahrzehnte stiegen die Proteingehalte der Mehle immer weiter an. Diese proteinreichen Mehle bilden sehr starke Glutennetzwerke aus, was die Teige sehr fest und elastisch macht. Um diese Netzwerke zu schwächen können beispielsweise Enzyme oder Aminosäuren genutzt werden. Die Enzymgruppe der Proteinasen kann durch die Verkürzung der Proteine der Osbornefraktion (Gliadin und Glutenin) zur Erweichung der Teige eingesetzt werden. Proteinasen spalten einige Peptidbindungen in den Aminosäureketten. Zusätzlich sind Proteinasen in der Lage endständige Aminogruppen abzuspalten, dies verstärkt die Aromabildung im Gebäck. Da Enzyme Proteine sind werden sie beim Backvorgang vollständig denaturiert und müssen nicht auf der Verpackung deklariert werden. Die Wirksamkeit der Proteinasen ist pH-Wert und temperaturabhängig. Der optimale pH-Bereich liegt zwischen 6,5 und 8, das Temperaturoptimum etwa bei 35°C (Manley 2000). Hohe Zucker und Fettgehalte (jeweils ab über 7 Anteile auf 100 Teile Mehl) hemmen die Funktion dieser Enzyme. Da die Proteasemischungen in der Regel etwas Amylase enthalten, kann es durch entstehende kurzkettige Zucker und den durch Proteinabbau erhöhten Aminosäureanteil zu einer verstärkten Bräunungsreaktion kommen.

Ein weiteres Teigbehandlungsmittel stellt die Aminosäure Cystein dar, auch sie bewirkt eine Teigerweichung und Plastifizierung, aber auf eine andere Art und Weise. Cystein ist in der Lage, aufgrund der vorhandenen SH-Gruppe, die intermolekularen Disulfidbrücken zwischen den Kleberproteinen zu spalten. (Leuchtenberger, 1997; Manley, 2000; Popper, 2012)

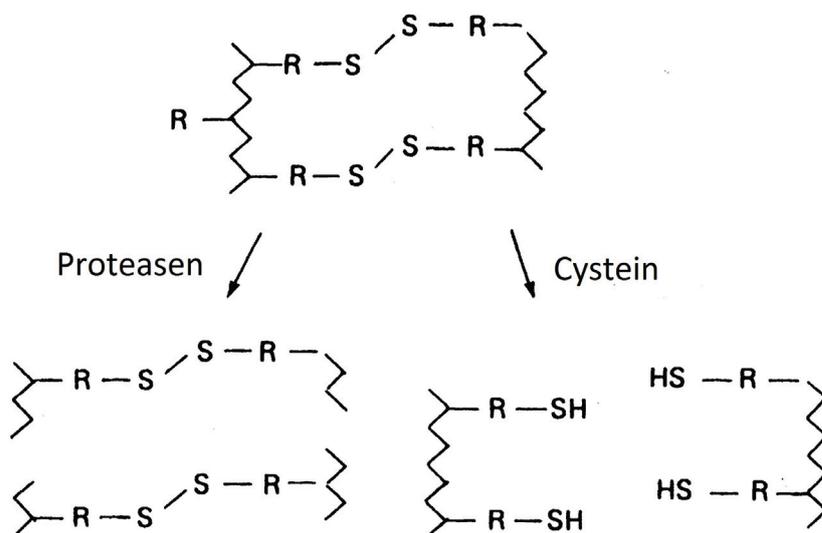


Abb. 1 Wirkungsweise von Proteasen und Cystein (nach Manley D., 2000)

2.1.8 Emulgatoren

Emulgatoren sind grenzflächenaktive Stoffe, welche eine homogene Verteilung zweier normalerweise nicht miteinander mischbarer Stoffe ermöglichen. In der Regel handelt es sich um die Vermischung von Fett und Wasser. Emulgatoren sind amphiphile Moleküle mit einem hydrophilen und einem lipophilen Molekülteil, sie bilden in Lösungen Mizellen und können so stabile Emulsionen herstellen. Der in der Lebensmittelindustrie am häufigsten verwendete Emulgator ist Sojalecithin. Bei der Anwendung in Keksteigen erleichtert der Emulgator die Umhüllung von Zucker- und Mehlpartikeln, so dass etwa 10% weniger Fett eingesetzt werden können (bei gleichbleibender Teigfestigkeit) ohne den Wasseranteil erhöhen zu müssen, was wiederum ein stärker ausgebildetes Glutennetzwerk zur Folge hätte. (Manley, 2000)

2.2 Der Backvorgang

Der Backvorgang hat mehrere Aufgaben. Zu Beginn des Backprozesses wird bei Temperaturen bis etwa 60°C verstärkt Kohlendioxid aus dem Backtriebmittel freigesetzt, der Keks nimmt so an Volumen zu und erfährt eine Lockerung der inneren Struktur (Ausnahme Ammoniumhydrogencarbonat ab 60°C). Ab 60°C bildet sich an der Außenfläche des Kekses durch Stärkeverkleisterung und Proteindenaturierung eine stabilisierende Schicht, welche dem Gebäck seine endgültige Form verleiht. Bei etwa 100°C sind die Denaturierungs- und Verkleisterungsvorgänge beendet und die Verdampfung des freigewordenen Wassers beginnt. Durch den sich weiter verringernden Wassergehalt steigen die Temperaturen im Gebäckinneren an, so wird ab 120°C die Stärke thermisch abgebaut und Dextrine werden gebildet. Ab 140°C beginnt die Maillardreaktion und die Kekse erhalten die gewünschte Bräunung sowie die benötigten Röstaromen. Die Temperatur und Backzeiten müssen so gewählt werden, dass die Gebäcke weder verbrennen, noch die Maillardreaktion zu intensiv abläuft, aber dennoch der erwünschte Endfeuchtegehalt (ca. 1,5%) erreicht wird. (Manley, 2000; Seibel, 1991; Meurer 2010)

2.3 Industrielle Fertigung

Die Keksproduktion beginnt mit der Herstellung eines Teiges. Die wichtigsten Parameter des Teiges sind der Verformungswiderstand (Festigkeit), die Dehnbarkeit, die Elastizität und die Klebrigkeit. Die genannten Teigeigenschaften sind stark von der Temperatur und der Standzeit des gemixten/ gekneteten Teiges abhängig. All diese Parameter können zwar gemessen werden, aber es ist nicht möglich anhand der Ergebnisse den optimalen Teig herzustellen, da die benötigten Messapparaturen nicht in den Mixprozess integriert werden können. Die einzigen Messgrößen, welche während des Prozesses genutzt werden können sind die Knetzeit, die Teigtemperatur und die momentane Leistungsaufnahme des Rührwerks.

In Verbindung mit Erfahrungswerten und erfahrenen Mitarbeitern kann daraus die optimale Teigkonsistenz abgeleitet werden. Der Mixvorgang kann in mehrere Abschnitte aufgeteilt werden. Es soll eine homogene Masse gebildet werden, es müssen Feststoffe und Flüssigkeiten emulgiert werden und letztendlich muss ein Glutennetzwerk durch Knetwirkung im Teig gebildet werden. Abbildung 2 lässt erkennen das die Abgebildeten Horizontal- wie auch der Vertikalmixer aufgrund der Rührwerksgeometrie die Teige eher scheren statt zu kneten. Horizontalmixer können, speziell wenn sie beidseitig angetrieben werden höhere Kräfte übertragen und höhere Drehzahlen erreichen, was sich in einer kürzeren Mixzeit niederschlägt. In großen industriell genutzten Mixern werden Keksteige mit mittleren Zucker- und Fettgehalten solange geknetet bis der Teig sich auf 45°C erhöht hat, um sicherzustellen, dass durch ausreichend Knetarbeit, ein ausreichend entwickeltes Glutennetzwerk entstanden ist. Hier bietet sich eine Rührwerksgeometrie zwischen Scheren und Kneten an. Die Rührzeiten liegen je nach Drehzahl zwischen 50 min (langsam laufende Vertikalkneter), 20-25 min (Horizontalmixer mit ca. 60 U/min) und 4-5 min bei Hochgeschwindigkeitsmixern mit Drehzahlen von etwa 90 U/min.

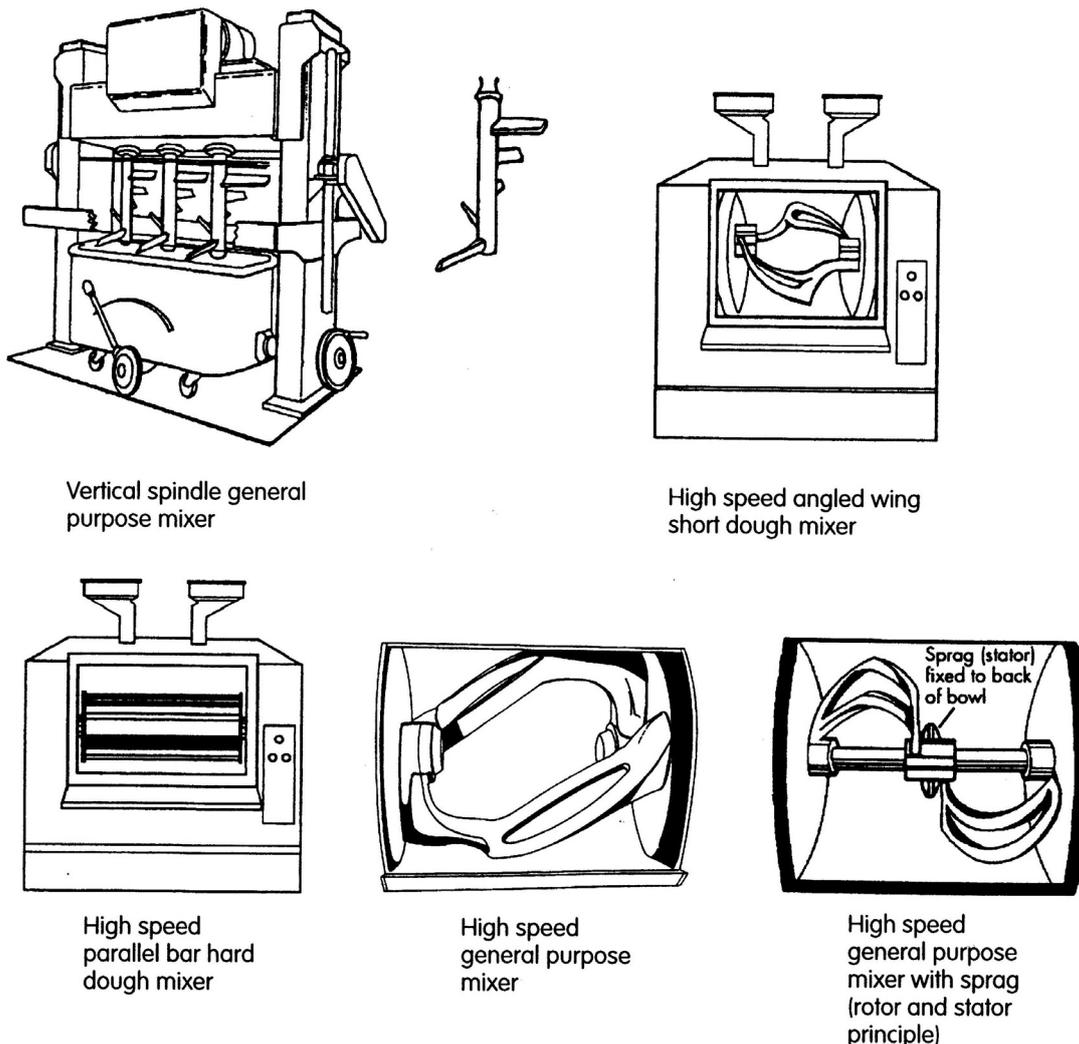


Abb. 2 Mixerbauformen (“Technology of Biscuits and Cookies” Manley, D. 2000)

Solche hohen Drehzahlen sind nur bei kleineren Massen, unter 160 kg, realisierbar. Bei kürzeren Teigen ist weniger Knetarbeit erforderlich, da sich kein starkes Glutennetzwerk ausbilden kann und soll. Diese werden nicht auf so hohe Temperaturen geknetet. Kürzere Teige wie die Butterkeksrezepturen werden nur wenige Minuten geknetet, stattdessen werden die Zutaten in einem zweistufigen Mixverfahren vereint. In der ersten Stufe werden die Fette mit dem Emulgator und den wasserlöslichen Bestandteilen und dem gesamten Wasseranteil zu einer flüssigen Masse vermischt. Dies hat den Vorteil, dass Rezepturbestandteile wie Invertzuckersirups, welche zum Teil auskristallisiert sein können schnell wieder in Wasser gelöst werden. Auch bilden Komponenten wie Milchpulver weniger Agglomerate und sind bei späterer Mehlzugabe bereits fein verteilt. In dieser Phase wird der Flüssiganteil der Butter bereits teilweise emulgiert. Nach wenigen Minuten mixen wird das Mehl hinzugegeben. Dadurch, dass bereits alle restlichen Zutaten in der Flüssigphase vorhanden sind bildet sich sehr schnell ein Teig. Dieser wird wenige Minuten geknetet um den Festanteil der Butter homogen in den Teig einzuarbeiten. Wie bereits beschrieben kann hier keine Beurteilung des Teiges aufgrund der Teigtemperatur vorgenommen werden, so dass ein erfahrener Anlagenfahrer bei dieser Teigart noch mehr an Bedeutung gewinnt.

Der entstandene Teig muss nun durch eine automatische Walzanlage zu einem flachen Teigband geformt werden. Da kurze Teige klebriger sind stehen diese 30 – 90 min vor der Weiterverarbeitung. In der Standzeit wird das freie Wasser durch die Rezepturbestandteile, hauptsächlich Stärke und Proteine reduziert und der Teig ist nicht mehr so klebrig. In dieser Zeit können Teigerweichungsmittel wie Proteasen oder Cystein ihre Wirkung entfalten. Die Reduzierung der Klebrigkeit ist nötig damit der Teig nicht an den Walzen kleben bleibt und eine glatte Oberfläche auf dem Teigband entsteht. In der Frage ob die Teige für Butterkekse laminiert oder nur durch eine Walzenkaskade flachgewalzt werden kann keine allgemeine Aussage getroffen werden, denn je nach Proteinanteil im verwendeten Mehl und Anspruch an das Endprodukt sind beide Varianten vertreten. Somit ist Laminieren nicht zwingend notwendig, aber ein laminiertes Keks zeigt eine feinere Porung und stärkere Lockerung und damit eine höhere Mürbigkeit mit einem weicheren Biss. Da Laminieranlagen, gegenüber einfachen Walzen, höhere Investitionen erfordern, wird nur laminiert wenn eine besonders hohe Mürbigkeit des Endproduktes erreicht werden soll.

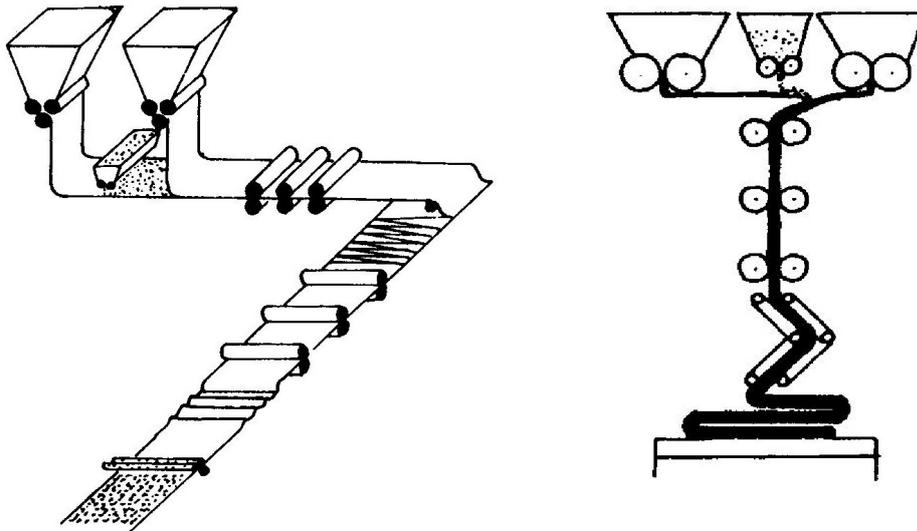


Abb. 3 Horizontale (links) und vertikale (rechts) Laminieranlage (“Technology of Biscuits and Cookies” Manley, D. 2000)

Abb. 3 zeigt zwei Laminieranlagen. Das Grundprinzip ist bei beiden gleich. Aus zwei Teigbehältern wird jeweils ein Teigband geformt. Ein Teigband wird mit Mehl bestäubt und anschließend mit dem Zweiten zusammengewalzt. Das Zusammenwalzen geschieht bei Beiden durch 3 aufeinander folgende Walzenpaare, diese können in einer Ebene liegen (horizontal) oder untereinander (vertikal). Die drei Walzenpaare reduzieren die Dicke des zusammengelegten Bandes. Anschließend wird das Teigband durch eine bewegliche Rolle (horizontal) oder einen beweglichen Schwenkarm (vertikal) um 90° versetzt übereinander gelegt. Je nach Geschwindigkeit des Förderbandes entstehen so Schichtdicken von 4 bis 10 Schichten. Das mehrschichtige Teigband wird nun durch mehrere Walzenpaare auf die gewünschte Dicke gewalzt. Daraufhin folgt ein langsames Förderband auf dem der Teig kurz entspannt wird, damit er sich nach dem Ausschneiden nicht verformt, bzw. zusammenzieht. Abschließend folgt die Formgebung. Der Butterkeks erhält einen Schriftzug und seinen charakteristischen Rand mit den 52 Zähnen. Dazu werden 2 Walzen verwendet, wobei die erste Walze den Schriftzug und die Oberflächen Struktur prägt und die zweite Walze den Teig vom Band trennt und den Rand prägt. (Manley, 2000; Seibel, 1991)

Anschließend werden die ausgeformten Teiglinge einem Gitterband übergeben und dem Bandofen zugeführt. Im Ofen gibt es nach Manley, 2000 3 Temperaturzonen. In Zone 1 herrschen etwa 160°C , hier findet die Volumenzunahme der Kekse durch Wasserverdampfung und Backtriebmittel statt. Die Temperatur soll in der ersten Zone nicht zu hoch sein um eventuelle Rissbildungen durch eine zu schnell antrocknende Oberfläche zu vermeiden. Wenn glänzende Kekse gewünscht sind, kann am Ofeneingang beschwadet

werden. In der zweiten Zone treten Temperaturen um 200°C auf, hier finden verstärkt Brönungsreaktionen statt und der Keks bildet eine feste Außenhaut. Die Temperaturen in der dritten Zone betragen etwa 180°C, in diesem Teil bräunt der Keks weiterhin und trocknet auf den gewünschten Feuchtigkeitsgehalt von ca. 1,5%. Die Gesamtbackzeit in industriellen Bandöfen beträgt zwischen 5 und 7 min. Anschließend werden die Kekse unter kontrollierten Bedingungen abgekühlt. Dabei sind zu starke Temperaturgefälle, wie extrem hohe oder niedrige Luftfeuchtigkeit zu vermeiden. Abschließend werden die abgekühlten Kekse in wasserdampfdichten Materialien verpackt, um eine Feuchtigkeitsaufnahme der hygroskopischen Kekse während der Lagerung zu vermeiden (Seibel, 1991;). (brotundbackwaren.de, 2012; Manley, 2000; Seibel, 1991, abonline.de, 2011)

3. Material und Methoden

3.1 Verwendete Rohstoffe

Tab. 1 Auflistung der verwendeten Rohstoffe

Handelsname	Hersteller	Staat
K-Classic Weizenmehl Typ 405	Thüringer Mühlenwerke GmbH	Deutschland
K-Classic Backpulver	Kaufland Warenhandel GmbH & Co. KG	Deutschland
Milboa Deutsche Markenbutter	Fude + Serrahn Milchprodukte GmbH	Deutschland
Diamant Raffinade Zucker Mittlere Körnung	Pfeifer & Langen KG	Deutschland
Kitzinger Back-König Invertzuckercreme	Paul Arauner GmbH & Co. KG Lebens- und Genussmittelfabrik	Deutschland
Salz + Jod + Flourid	Südsalz GmbH	Deutschland
Citronensäure Art.Nr. 6490.1	Carl Roth GmbH & Co. KG	Deutschland
Proteinschwaches Mehl T550	Dresdener Mühle	Deutschland
Sternzym BK 5020 (Bakterienprotease)	SternEnzym GmbH & Co. KG	Deutschland
EMCEsoft P10 (Cystein)	SternEnzym GmbH & Co. KG	Deutschland
Leciprime 1400IPM (Lezithin)	Cargill, Incorporated	-

3.2 Analysemethoden und Geräte

3.2.1 Conche

Die Conche ist ein stufenlos (1 - 140 U/min) regelbarer einachsiger Horizontalmischer mit nur einem Rührwerk. Der Innenraum ist zylinderförmig und doppelwandig ausgeführt. Die gesamte Apparatur kann durch ein externes Thermostat beheizt oder gekühlt werden, zusätzlich ist es möglich ein Vakuum anzulegen. Die Conche besitzt 2 Temperaturfühler, einen im Doppelmantel und einen weiteren im Innenraum zur Messung der Produkttemperatur. Der Zylinder kann von vorn und von oben geöffnet werden, dies ermöglicht die Beladung von oben bei laufendem Rührwerk.

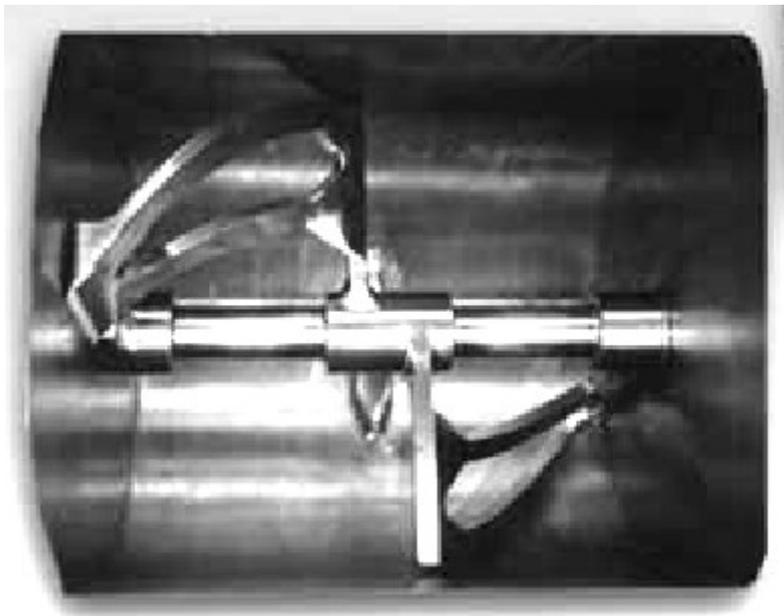


Abb. 4 Rührwerksgeometrie der Conche (<http://www.tonnaer.com/images/horizontaal/3High-speed-mixer.jpg> 22.02.12)

Abbildung 4 zeigt die gebogene Form der Rührwerksschaufeln, diese bewegen sich in einem Abstand von etwa 2 mm an der Innenwand entlang. Es gibt keine Totpunkte im Behältnis, dies garantiert eine schnelle und vollständige Durchmischung der Zutaten. Sehr klebrige Massen können bei einer nicht vollständigen Befüllung auf der Welle haften.

3.2.2 Stephan Universalmaschine

Der Stephan ist eine Universalmaschine mit einem kugelförmigen Behälter. Durch die Verwendung unterschiedlicher Rührwerke kann er zum Zerkleinern, Mischen und Emulgieren eingesetzt werden. Der Innenraum kann mit Dampf oder Vakuum beaufschlagt werden, durch die doppelwandige Ausführung kann ebenso gekühlt wie geheizt werden. Durch eine Minimaldrehzahl von 280 U/min eignet er sich vorrangig zum Zerkleinern und Mischen als zum Kneten.

3.2.3 Ofen

Beim verwendeten Backofen handelt es sich um einen programmierbaren Umluftofen. Er besitzt einen integrierten Abzug und eine Beschwadungsfunktion. Sämtliche Backparameter wie Zeit-Temperaturprofil, Lüftergeschwindigkeit und Zeitpunkte der Beschwadung können durch Programmierung frei gewählt werden.

3.2.4 Satorius MA 40 „Schnellfeuchtebestimmer“

Der Satorius Schnellfeuchtebestimmer ist eine mit einer Infrarot-Strahlungsquelle kombinierte Waage. Der Metallrohrstrahler erzeugt IR-Strahlung im mittleren IR-Wellenbereich (2,8-5,0 μm) und Temperaturen zwischen 400 und 750°C an der Oberfläche der Strahlungsquelle. Das leicht zermörserte Messgut wird auf eine metallene Probenschale aufgegeben und auf die Waage gestellt. Durch die IR-Bestrahlung verdampfen die flüchtigen Bestandteile und die Waage ermittelt den Gewichtsverlust, dieser wird prozentual zur anfänglichen Gesamtmasse ausgegeben.

3.2.5 Textureanalyzer

Zur Messung der Teige und Kekse wurde ein Textureanalyzer der Firma „Stable Micro Systems“ (UK) genutzt. Es handelt sich um das Modell „TA.XT plus“. Die dazugehörige Steuerungssoftware nennt sich „Exponent“. Ein Textureanalyzer misst Vertikalkräfte die auf einen Prüfkörper wirken, dies können Zylinder, Kugeln, Scheiben oder Messer sein. Je nach Anforderungen an das zu prüfende Produkt gibt es zahlreiche Bauformen der Prüfkörper. Die Kräfte können beim Eindringen in das Produkt gemessen werden, während einer Haltezeit

oder während des nach oben Fahrens des Stempels, wie beispielsweise bei einer Elastizitätsmessung. Der „TA.XT plus“ kann Messkräfte bis zu 50 kg und Messwege bis 295 mm bereitstellen. Die Auflösung beträgt bis zu 500 Messpunkte pro Sekunde.

Zur Messung der Teige wurde das Messprogramm „AIB Cake2_P1“ gewählt. Statt eines Messzylinders wurde eine $\frac{3}{4}$ Zoll Glaskugel verwendet um auftretende Scherkräfte zu vermeiden, den Teig also nicht zu schneiden an den unteren Zylinderkanten. Bei diesem Programmablauf fährt der Prüfkörper mit einer Geschwindigkeit von 2 mm/s herab und misst die Maximalkraft um 10 mm in den Teig einzudringen. Anschließend fährt der Prüfkörper nach oben und misst den Gegendruck des teilelastischen Teiges und die Haftkräfte während der Ablösung vom Teig. In einer zweiten Messung an derselben Stelle wird die Rückverformungsrate aufgenommen. Eine detaillierte Erläuterung des Messprofils wird in Abbildung 5 dargestellt.

Um die Bruchkraft der Kekse zu messen wurde das Programm „Biscuit bending BIS4_3PB“ genutzt. Dazu wird ein Bock mit zwei Langlagern montiert auf denen mittig der Keks platziert wird. Eine an der Unterseite abgerundete Guillotine fährt nach unten und bricht den Keks in der Mitte durch. Die dabei aufgewendete Maximalkraftkraft wird aufgenommen, s.h. Abbildung 6.

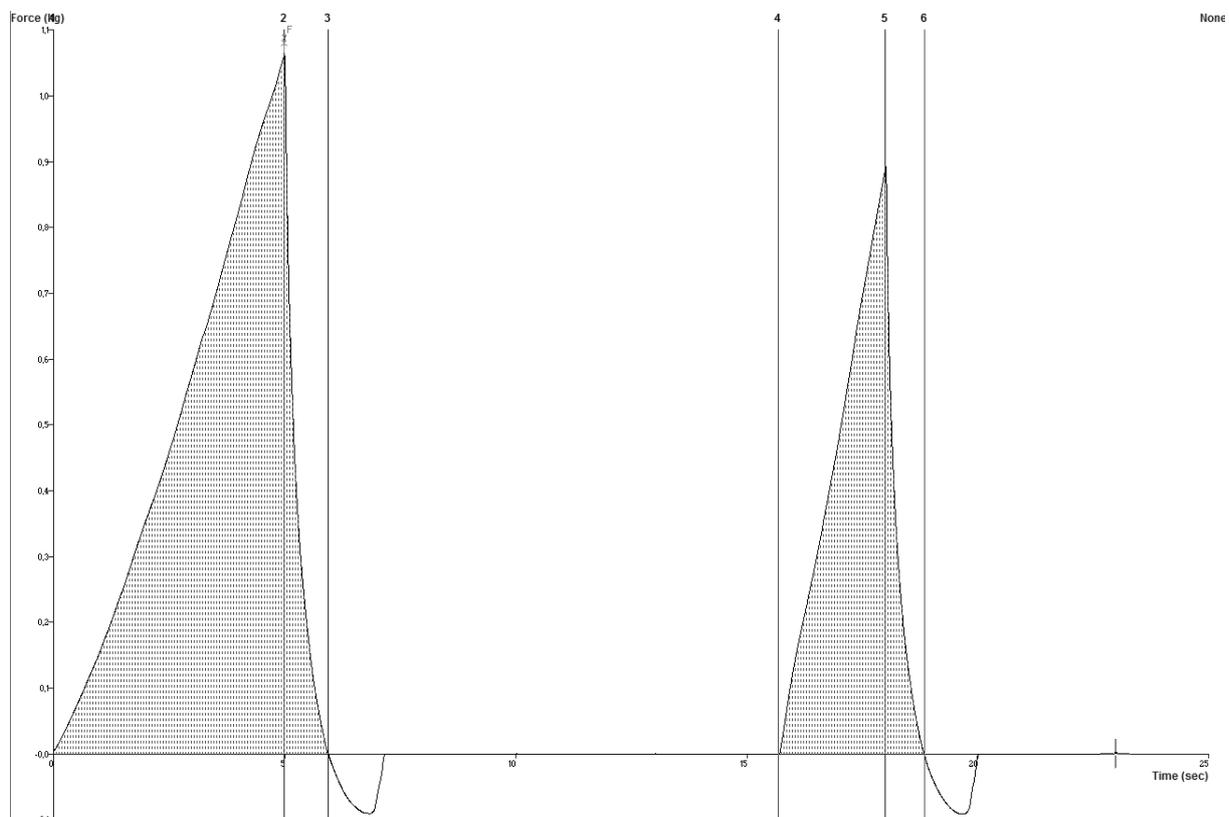


Abb. 5 Messprofil für die Teigmessungen

Abbildung 5 zeigt den Verlauf des Teigmessprogramms. An der Abszisse ist die Zeit angetragen und an der Ordinate die vom Prüfkörper aufgewendete Kraft. Die Strecke zwischen den Ankerpunkten (ganz oben) 1:2 beträgt immer 5 s, d.h. 10 mm Eindringtiefe nach Auslösung des Messvorgangs durch die Oberfläche des Prüfgutes. Die Auslösekraft der Messung beträgt 5 g. Ankerpunkt 2 gibt die benötigte Kraft des Prüfstempels bei 10 mm Eindringtiefe an, sie ist gleich der Festigkeit des Teiges in Gramm. Je weicher ein Teig ist desto kleiner wird die Festigkeit ausfallen. Die Fläche unter 1:2 beschreibt die Energie ($F*s$), welche zur Verformung des Teiges benötigt wird. Die Fläche unter 2:3 hingegen die Energie, welche der Teig auf den Prüfkörper beim nach oben fahren auswirkt. Von Bedeutung für die Messungen ist der Quotient der Flächen 2:3/1:2, er bezeichnet die Elastizität. Durch die Division der Flächen ist der Elastizitätsquotient dimensionslos. Da die Messungen mit einem Kugelförmigen Prüfkörper ausgeführt werden, wirkt nur ein Teil der Rückverformungskräfte senkrecht auf die Kugel, der Großteil wirkt diagonal bis horizontal. Der errechnete Wert gibt demnach nicht die absolute Elastizität wieder, lässt sich aber zum Vergleich der verschiedenen Teige dennoch nutzen. Die zweite Kurve (4:6) dient der Messung des Grades der Rückverformung. Er errechnet sich aus dem Quotienten der Strecken 4:5/1:2 und kann in Prozent angegeben werden. Die Flächen unter der Abszisse bezeichnen die Adhäsivitätsarbeit, also die „Klebrigkeit“ in $g*s$. Diese Messung beginnt erst nachdem keine Kräfte der Rückverformung mehr auftreten (nach den Ankerpunkten 3 und 6).

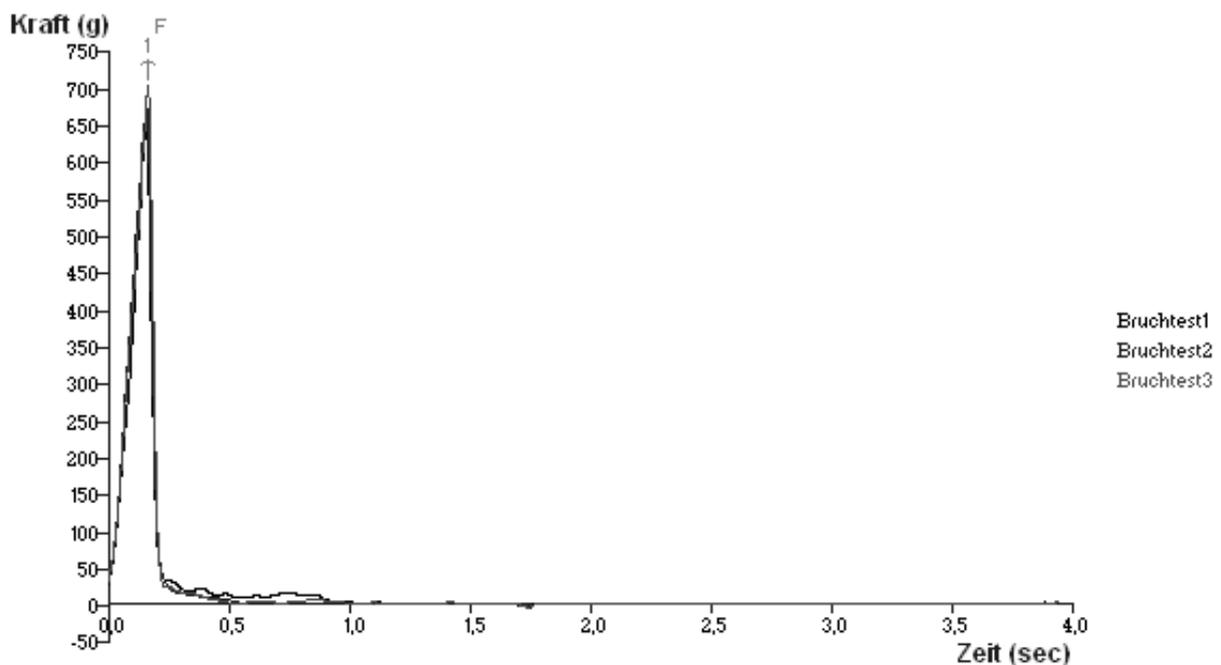


Abb. 6 Messprofil für die Bruchtests

Abbildung 6 zeigt den Verlauf der Bruchkraftmessung. Ankerpunkt 1 bezeichnet die Maximalkraft welche zum Bruch des Kekses führt. Die Auslösekraft für die Messung beträgt 5 g. Der Schnittpunkt des Lotes von Ankerpunkt 1 mit der Abszisse ergibt den Weg der Durchbiegung vor dem Bruch.

3.2.6 Sensorik

Eine Auswahl der im Technikum hergestellten Kekse wird mit dem industriellen Muster verglichen. Dazu wird eine Profilprüfung mit freiem Auswahlprofil nach DIN 10967-3 durchgeführt. Diese eignet sich zur Identifizierung, Beschreibung und Quantifizierung von Produkteigenschaften. Sie kann nicht von Laien durchgeführt werden, da Grundwissen in der Nomenklatur der Eigenschaften und eine Ausbildung in der Wahrnehmung verschiedener Attribute benötigt wird. Aus diesem Grund wird in dieser sensorischen Analyse auf 6 Studenten der Lebensmitteltechnologie zurückgegriffen, welche das Modul „Sensorik“ bereits belegt und abgeschlossen haben.

Die 6 Panelisten legen vor der Verkostung gemeinsam die Attribute fest, welche Quantitativ bestimmt werden sollen. Die Attribute lauten Butteraroma (Geruch), Farbe (Goldbraun), Härte (Biss), Kaubarkeit, Butteraroma (Geschmack), Süße und Cremigkeit. Den gewählten Attributen werden anschließend passende Ankerpunkte zugeteilt. Ein Prüfbogen ist in Anhang 1 angeführt. Am Beispiel des Attributs Süße sind diese Ankerpunkte schwach und intensiv, sie werden zur besseren Vergleichbarkeit mit Vergleichsprodukten die allen Panelisten bekannt sind unterlegt. Bei Süße sind dies, schwach = Knäckebrot und intensiv = purer Zucker. Bei der Verkostung setzt anschließend jeder Panelist, für jeden Musterkekse und jedes Attribut eine Markierung auf die stufenlose Skala. Die Entfernungen der Markierungen vom 0-Anker werden anschließend mit einem Lineal ausgemessen. Die erhaltenen Werte werden in einem Spinnennetzdiagramm dargestellt. Im Diagramm lassen sich die quantitativen Abweichungen der Kekse zueinander optisch sehr gut ablesen. Von größerer Bedeutung als die quantitative Beurteilung der Attribute ist jedoch die Rangfolge, welche sich erstellen lässt. Die Profilprüfung wurde der einfachen Rangordnungsprüfung vorgezogen, da sie in dieser Art der Auswertung neben den Rängen auch die Abstände grob wiedergibt. Die Ergebnisse werden keine sehr hohe statistische Sicherheit aufweisen, da zum Ersten nur 6 Prüfer verwendet werden statt der üblichen 10 bis 12. Zweites sind die Prüfer nicht speziell auf die Verkostung von Keksen geschult und nicht auf die Skalen kalibriert. Es würden folglich hohe Abweichungen der absoluten Werte zueinander auftreten. Aus diesem Grund wird auf die

übliche Varianzanalyse verzichtet, vielmehr ist die Prüfung als erweiterte Rangordnungsprüfung anzusehen. Die Ergebnisse der sensorischen Analyse können mit den Ergebnissen aus den instrumentellen Messungen (Bruchwiderstand) verglichen werden. (Fliedner/ Wilhelmi, 1995; Stone/Sidel, 2004)

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1 Verfahrens und Rezepturfindung

4.1.1 Versuchsreihe 1

Vor Beginn der Backversuche wurde eine geeignete Butterkeksrezeptur gesucht. Da sie ähnlich dem Vorbild sein sollte, wurden die Angaben auf der Verpackung mit verschiedenen Rezepturen aus der Literatur kombiniert. Daraus ergab sich die Startrezeptur V1, dargestellt in Tabelle 2.

Tab. 2 Startrezeptur V1

Zutat	Anteile
Mehl	100
Butter	20
Zucker	28
Invertzuckersirup	5
Salz	1
Lecithin	1,5% vom Fett
Vollei frisch	4
Lactose	1
VMP	1
SMP	1
Citronensäure	0,1
Backpulver	1
Wasser	15

Dieser erste Versuch wurde nicht im Technikumsmaßstab, sondern im Ernährungswissenschaftlichen Labor der Hochschule durchgeführt. Dazu wurde ein Teig aus 500 g Mehl und den entsprechenden Anteilen hergestellt. Der Wasseranteil wurde sehr niedrig gewählt da ermittelt werden sollte wie stark der Wasseranteil aus Butter, Frischei und Invertzuckersirup in die Teigbildung eingeht. Der Teig wurde mit einer klassischen Küchenmaschine, mit einem Schneidwerkzeug am Boden des Behälters hergestellt. Es wurde das zweistufige Mixverfahren verwendet, zuerst sind die Butter und alle anderen Bestandteile

verquirlt worden, anschließend wurden das Mehl und das Backpulver eingearbeitet. Die Küchenmaschine eignete sich nicht zur Herstellung des Teiges. Der Teig wird nicht als Ganzes gerührt und an den Seitenwänden klebende Masse wird nicht erfasst. Außerdem tritt keinerlei Knetwirkung auf. Der entstandene Teig war äußerst fest und lies sich mit einem Nudelholz nur schlecht auf die gewünschte Dicke ausrollen. Anschließend wurden mit einer Schablone (industriell hergestellter Musterkekse) die Kekse mit einem Messer ausgeschnitten. Nun wurden die Kekse auf Backpapier in einem handelsüblichen Haushaltsöfen bei Ober- und Unterhitze gebacken. Das Temperaturprofil wurde dem in der Literatur beschriebenen Verlauf für Bandöfen nachempfunden, d.h. 3 min 160°C, dann 3 min 200°C und abschließend 3 min. 180°C (Manley, 2000). Schon nach einer Minute im Ofen bräunten die Ränder sehr stark, während die Mitte hell blieb. Nach 9 min Gesamtbackzeit wurden die Kekse aus dem Ofen entnommen. Die fertigen Kekse waren wesentlich dunkler als die Vorlage und in keinster Weise gelockert. Im Bruchprofil waren keine Poren zu erkennen.

Im zweiten Backversuch wurde die Teigherstellung mit einem herkömmlichen Handmixgerät mit 2 Knethaken durchgeführt. Zusätzlich wurde der Wasseranteil um 2 Teile erhöht und die Milchpulverbestandteile, wie auch der Invertzuckersirupanteil um die Hälfte reduziert um die zu starke Randbräunung zu verringern. Mit dem Handmixgerät lies sich die Masse sehr homogen vermengen und eine schnellere Anteigung fand statt, nach der Teigbildung traten Knetwirkungen zwischen den Knethaken ein und der wurde gewalkt. Der entstandene Teig war weicher und lies sich leichter besser flach ausrollen. Die Kekse wurden einmal im Backofen des Technikums gebacken. Hier wurde das Temperaturprofil verändert um die zu starke Randbräunung zu verhindern. Die Backparameter waren 3 min 160°C, 3 min 180°C und abschließend 3 min 170°C. Parallel wurden in 2 Backöfen des Ernährungswissenschaftlichen Labors die Kekse gebacken. Einmal 11 min bei 180°C und einmal 12 min bei 180°C, bei Ober- und Unterhitze.

Tab. 3 Feuchtigkeitsgehalte der Kekse aus V1 und V2

Muster	Restfeuchte
V1 EW 11min	6,35%
V1 EW 12 min	3,28%
V1 TK 3x3 min 170/180/170	5,55%
V2 TK 25 min 140°	2,29%

Die fertigen Kekse sind nach wie vor in der Mitte zu hell, an den Rändern erreichen sie die Farbe des Musters. Die Lockerung war besser als zuvor aber immer noch unzureichend. Die unterschiedlichen Öfen hatten keinen Einfluss auf Farbe und Lockerung. Eine sofortige

sensorische Prüfung sämtlicher V1 Muster ergab einen sehr starken SMP Geruch und Geschmack, zusätzlich hatten alle Kekse einen scharfen Nachgeschmack. Sämtliche Kekse aus Versuch 1 hatten einen zu hohen Restfeuchtegehalt, eine Verlängerung der Backzeit in den Folgeversuchen war nötig.

4.1.2 Versuchsreihe 2

Um den starken SMP Geschmack zu entfernen wurde in Rezeptur V2 der SMP Anteil auf 0,1 Teile reduziert. Der Versuch V2 wurde in im Technikum mit der Conche und dem Technikumsbackofen durchgeführt. Dazu wurden Zutaten für eine Teigmasse von 2,5 kg abgewogen, dies entspricht einem Füllungsgrad der Conche von etwa einem Drittel. Dieser Versuch sollte die Eignung der Conche als Mixer be- oder widerlegen und gleichzeitig zeigen ob die Parameter Temperatur und Leistungsaufnahme zur Beurteilung des Teiges genutzt werden können. Tabelle 4 zeigt den Mixverlauf.

Tab. 4 Mixverlauf in der Conche V2

Zeit in min	Kommentar	Leistungsaufnahme in KW	U/min
0	Butter, Ei, Lecithin	0,21	100
5	-Zugabe des Wasser mit Zutaten der Flüssigphase	0,24	100
10	-Masse flüssig, relativ homogen -Zugabe des Mehls mit Citronensäure und Backpulver	0,23	100
20	-Teig bildet größere Agglomerate -Temp. Auf 20° gestiegen, -kein Teig mehr an Wänden und Rotor	0,27	100
25	Temp. Auf 22°	Max. 0,7	100
30	25° Teig beginnt eine Masse zu werden	Max. 0,6	100
35	28°	Max. 0,6	100
40	30°	Max. 0,6	100
45	31° Teig beginnt zu zerfallen	Max. 0,5	100
55	30°	Max. 0,4	100
60	Teigentnahme, Teig zerfallen		

Tabelle 4 zeigt, dass sich innerhalb der der ersten 10 min eine homogene Masse aus der Fett- und der Wasserfraktion bilden. Des Weiteren zeigt sich, dass die Komponenten sehr schlecht anteigen, von Minute 10 bis 30 werden sie als ca. 1 cm große Agglomerate in der Conche herumgewirbelt. Sobald die Masse einen zusammenhängenden Teig bildet ist zwar eine Leistungszunahme erkennbar, diese schwankt aber so stark, dass sie als Parameter nicht

nutzbar ist. Evtl. kann sie genutzt werden wenn die Conche komplett gefüllt und das Rührwerk nicht alternierend Lastfrei ist. Die Temperatur steigt stärker an sobald sich ein Teig gebildet hat, ist aber von den in der Literatur genannten Werten (etwa 40°C) weit entfernt. Ab Minute 45 beginnt der Teig wieder zu zerfallen, da er stark überknetet wurde. Versuchsreihe 2 lieferte zwei wesentliche Erkenntnisse. Die Leistungsaufnahme eignete sich nicht zur Beurteilung der Versuche, da die Ablesung zu ungenau ist. Des Weiteren dauerte das Anteigen zu lange, für folgende Versuche musste der Wassergehalt erneut um 2 Teile erhöht werden.

Der überknetete Teig war sehr fest und lies sich entsprechend schlecht ausrollen, dennoch wurde ein Backversuch durchgeführt um neue Backparameter zu testen. Die Kekse wurden bei 140°C 25 min lang im Technikumsbackofen gebacken. Die Kekse bräunten sehr gleichmäßig und waren farblich dem Vorbild sehr ähnlich. Durch die Wahl einer Maximaltemperatur von 140°C traten keine Verfärbungen durch die Karamelisation von Saccharose (ab 150°C) auf. Eine Bestimmung des Feuchtegehaltes ergab eine Restfeuchte von 2,29%, dieser Wert deckt sich in etwa mit den in der Literatur angegeben 1,5%. Die sensorische Sofortuntersuchung ergab, dass nahezu keine Lockerung aufgetreten war, die Kekse waren extrem hart. Der Eigengeschmack des SMP-Pulver war nicht mehr vorhanden, aber es gab nach wie vor einen scharfen Nachgeschmack.

4.1.3 Versuchsreihe 3

In der Rezeptur für die Versuchsreihe V3 wurden zwei Anpassungen vorgenommen. Der Citronensäureanteil wurde auf die Hälfte reduziert und der Wasseranteil um 2 erhöht, Tabelle 5 zeigt die in V3 verwendete Rezeptur.

Tab. 5 Rezeptur V3

Zutat	Anteile
Mehl	100
Butter	20
Zucker	28
Invertzuckersirup	2,5
Salz	1
Lecithin	1,5% vom Fett
Vollei frisch	4
Lactose	0,5
VMP	0,5
SMP	0,1
Citronensäure	0,05
Backpulver	1
Wasser	19

In Versuchsreihe 3 wurde statt mit der Conche der Stephan als Mixer verwendet. Die Zutaten sind wie bei den Versuchen zuvor im Zweistufenmixverfahren vermengt worden. Die Gesamtmasse des Teiges betrug 1,2 kg, der Behälter war etwa halb voll. Um möglichst geringe Schneidwirkungen zu erreichen wurde ein Rührwerk mit wenigen Messern und vielen Rührarmen gewählt. Mit 280 U/min ist die niedrigste mögliche Drehzahl eingestellt worden. Während des Rührens ist jede Minute die Produkttemperatur notiert worden, um zu prüfen ob sie beim Stephan als Parameter zur Teigbeurteilung dienen kann. Tabelle 6 zeigt den protokollierten Mixverlauf.

Tab. 6 Mixverlauf V3 im Stephan

Min	Kommentar	Temperatur in °C
0-2	Butter, Ei und Lecithin	20
2-4	-Zugabe des Wasser mit Zutaten der Flüssigphase	20
5	-Zugabe des Mehls mit Citronensäure und Backpulver	20,6
6		21,8
7		22,9
8		23,4
9		24,3
10		25,2
11		25,7
12	Teig bildet zusammenhängende Masse	26,5
13	Teig beginnt zu zerfallen	27,1
14		27,4
15		28

Die Vermischung der Flüssigzutaten (Fette und Wasser) funktionierte aufgrund der hohen Drehzahl sehr schnell und homogen. Ein Nachteil gegenüber der Conche trat bei der Zugabe des Mehls auf, denn der Stephan muss geöffnet werden, wobei das Rührwerk aufgrund der Sicherheitsschaltung stehen bleibt. Somit wird das gesamte Mehl in einem Schritt zugegeben. Die folgende Vermischung geht sehr langsam vonstatten, denn die Rührwirkung des Stephan ist aufgrund der Vertikalbauweise größtenteils horizontal. Die pulverige Mehlphase wird nur sehr schlecht untergehoben, es bilden sich viele kleine Teigklumpen. Hinter dem an der Innenwand umlaufenden Abstreifer sammeln sich große Mengen Teig, welche ohne Vermischung im Kreis fahren. Die Apparatur musste somit mehrfach angehalten und geöffnet werden um manuell den klemmenden Teig wieder in die Mitte zu befördern. Mit dem Stephan kommt aufgrund der häufigen Unterbrechungen kein durchlaufender Prozess zustande, somit lässt sich auch hier die Temperatur als Teigbeurteilungsparameter nicht nutzen. Nach 12 min Rührzeit bildet sich ein zusammenhängender Teig und der an den Innenwänden und Rührwerk klebende Teig löst sich ab. Schon eine Minute später beginnt der Teig wieder zu zerfallen. Die geringe Toleranzzeit begründet sich auf die hohe Drehzahl und die starke Schneidwirkung des Rührwerks. Nach 15 min wurde der Mixprozess beendet. Aufgrund der benannten Nachteile ist die Conche dem Stephan in den folgenden Versuchsreihen vorzuziehen. Der zerfallene Teig kann durch kurzes Aufkneten mit der Hand wieder zu einer zusammenhängenden Masse geformt werden. Mit dem „reanimierten“ Teig wurden anschließend mehrere Backversuche durchgeführt um die sensorischen Veränderungen der Rezepturanpassung zu untersuchen und um drei Laminierversuche durchzuführen. Zuerst wurde der Teig, wie bei den Versuchsreihen 1 und 2 zwischen zwei Lagen Backpapier als einschichtiger Keks ausgerollt, ausgeschnitten und 25 min lang bei 140°C im Technikumsofen gebacken. Anschließend wurde weniger Teig zwischen zwei Backpapieren so dünn wie möglich, ohne dass sich Löcher bildeten, ausgerollt, dünn bemehlt und mit 3 weiteren dünnen Lagen aufgestapelt. Der gestapelte Teig wurde anschließend auf die normale Höhe (1,5 – 2 mm) flachgewalzt und gebacken. Nach dem Backen waren keine Schichten mehr erkennbar, durch das Flachwalzen hatten sich alle 4 Schichten wieder komplett miteinander verbunden, das Ergebnis war vergleichbar mit dem einlagigen Backversuch. Im folgenden Backversuch wurde der Teig wieder sehr dünn gewalzt, bemehlt und übereinander gestapelt, diesmal jedoch ohne den vierlagigen Teig flachzuwalzen. Der gebackene Keks war erwartungsgemäß sehr hoch und die einzelnen Lagen waren nicht verbunden, so dass der Keks in 4 flache Kekse zerfiel. In einem dritten Laminierversuch wurden 3 Lagen angefertigt und nur mit sehr geringer Krafeinwirkung zusammengewalzt. Auch hier trennten sich die

Lagen im gebackenen Produkt voneinander ab ohne eine Gesamtlockerung zu erzielen. Es zeigte sich, dass manuelles Laminieren von Keksen ein großes handwerkliches Geschick und Erfahrung benötigt. Beiderlei sind nicht in kurzer Zeit zu erlernen, weshalb in den weiteren Versuchsreihen auf das Laminieren verzichtet wurde.

Da der Wasseranteil erhöht wurde, musste erneut die Restfeuchte der Kekse festgestellt werden. Tabelle 7 zeigt die Feuchtigkeitsmessungen, es ist zu erkennen, dass die 4 lagigen Kekse aufgrund ihrer größeren Höhe weniger getrocknet sind. In den folgenden Versuchen sollte die Backzeit angehoben werden um die Feuchtigkeitsgehalte wieder in den Bereich von 1,5% zu bringen.

Tab. 7. Restfeuchte der V3 Backversuche

Backversuch	Feuchtegehalt in %
einlagig	2,29
Vierlagig gewalzt	3,47
Vierlagig gelegt	3,83
Dreilagig leicht gewalzt	2,91

Die sensorische Sofortuntersuchung ergab, dass die Kekse keine Lockerung erfahren hatten, jedoch der bei V1 und V2 aufgetretene scharfe Nachgeschmack sich verringert hatte.

4.1.4 Versuchsreihe 4

In Versuchsreihe 4 wurde die Citronensäure aus der Rezeptur entfernt. Da sie keinen technischen Zweck erfüllt, denn im Backpulver ist die saure Komponente bereits enthalten, sollte dies ausschließlichen einen geschmacksverändernden Effekt haben. So sollte in dieser Rezeptur kein scharfer Nachgeschmack, welcher zwischenzeitlich als sauer identifiziert wurde, mehr auftreten. Zusätzlich wurde der Lactoseanteil verdoppelt, mit dem Ziel das Mundgefühl etwas cremiger zu gestalten wie es beim Musterkeks auftritt.

Mit den aus V2 und V3 erhaltenen Ergebnissen der Teigherstellungsverfahren sollten Teige hergestellt werden, welche nicht überknetet worden sind. Die Beurteilung wurde nun optisch durchgeführt, d.h. sobald sich der Teig von Wänden und Rührwerk löst. Sobald dies eingetreten war, wurde eine Teigprobe entnommen und auf Butteragglomerate untersucht. Anschließend wurde nur so lange weiter geknetet bis keine Agglomerate mehr vorhanden waren. Die Drehzahl wurde wie bei den Vorversuchen auf 100 U/min eingestellt. Tabelle 8 zeigt den Mixverlauf des ersten Versuchs mit der Rezeptur V4.

Tab. 8 Mixverlauf V4 mit 19 Teilen Wasser

Min	Kommentar	Temperatur
0-4	Butter, Ei und Lecithin	17
4-6,5	-Zugabe des Wasser mit Zutaten der Flüssigphase	18
6,5-8	-Zugabe des Mehls mit Backpulver	18
9		19
10		19
11	Entnahme wenn kein Teig mehr an Wänden und Rührer klebt	19

Es zeigt sich, dass die Teigbildungsgeschwindigkeit durch den erhöhten Wasseranteil (19 Teile) erheblich gestiegen ist. Bereits 3 min nach Zugabe des Mehls bildet sich eine zusammenhängende Masse und der Teig löst sich vollständig von der Innenwand und dem Rührwerk ab. Butteragglomerate waren nicht mehr zu erkennen, der Teig ist in der kurzen Mixzeit homogen vermischt worden. Mit dem entnommenem Teig wurde sofort ein Backversuch durchgeführt. Der Teig war weicher als die überkneteten Teige der Vorversuche und lies sich sehr gut dünn ausrollen. Im Backofen nahmen die Kekse etwas an Volumen zu und erreichten trotz des dünner ausgerollten Teigbandes die Höhe der Vorversuche von etwa 4 mm. Durch die Volumenzunahme war der Keks im inneren etwas poröser und zeigte einen etwas weicheren Biss. Offensichtlich führte der höhere Wasseranteil zu einer stärkeren Ausbildung des Glutennetzwerkes, welches zusätzlich nicht überdehnt wurde, wie in den Versuchen zuvor. Nachdem der Teige eine Stunde gestanden hatte wurde ein weiterer Backversuch durchgeführt. Der Teig war während der Standzeit an der Oberfläche extrem abgetrocknet und sehr fest und zäh. Das Ausrollen auf die gewünschte Dicke war kaum mehr möglich. Die geformten Kekse gingen im Ofen nicht mehr auf und verzogen sich stattdessen an den Ecken. Während der Standzeit hatte sich das Glutennetzwerk weiterhin ausgebildet und den restlichen Teigkomponenten das Wasser entzogen, so dass ein sehr zäher Teig entstand, welcher im Ofen nicht mehr aufgehen konnte. Aus diesen Ergebnissen entstand die These, dass ein noch höherer Wasseranteil einen Teig erzeugen könnte, welcher noch schneller anteigt, mindestens genauso weich ist und im Verlauf von einer Stunde Standzeit nicht so trocken und zäh wird. Dem gegenüber war die Überlegung ob ein solcher Teig nicht ein zu starkes Glutennetzwerk ausbilden würde, so dass die Widerstandskraft ein Aufgehen im Ofen verhindern könnte. Daraufhin wurde ein Teig mit der Rezeptur V4, aber einem auf 22 Teile erhöhten Wasseranteil angesetzt. Tabelle 9 zeigt den Mixverlauf.

Tab. 9 Mixverlauf V4 mit 22 Teilen Wasser

Min	Kommentar	Temperatur
0-4	Butter, Ei und Lecithin	17
4-6,5	Wasser mit gelösten Zutaten	18
6,5-8	Mehl mit Backpulver dazu	18
9	Teig bildet zusammenhängende Masse, Teig von Innenwand und Rührwerk löst sich ab, Butteragglomerate	19
10	Butteragglomerate	19
11	Entnahme, keine Agglomerate mehr vorhanden	19

Der Mixverlauf in Tabelle 9 zeigt ein enorm schnelles Anteigen etwa 60 bis 90 s nach Zugabe des Mehls. Eine Teigprobe wurde an dieser Stelle entnommen und auf Homogenität untersucht. Es waren noch zahlreiche Butteragglomerate vorhanden, andere Agglomeratfraktionen waren nicht vorhanden. Der Teig wurde nun weitere 30 s geknetet und erneut untersucht, dabei wurde das Rührwerk jeweils angehalten. Nach 2 weiteren Minuten bildete der Teig eine homogene Masse und wurde aus der Conche entnommen. Der entstandene Teig war weicher als alle Teige zuvor und lies sich sehr gut ausrollen. Aufgrund des höheren Wasseranteils wurde die Backzeit auf 28 min bei weiterhin 140°C erhöht. Die gebackenen Kekse nahmen im Ofen stärker an Volumen zu als alle Kekse aus den Vorversuchen. Die Kekse waren sichtbar gelockert und mürber im Biss. Wieder wurde ein weiterer Backversuch nach 1 Stunde Standzeit des Teiges durchgeführt. Auch dieser Teig war an der Oberfläche abgetrocknet, aber nicht so fest und zäh wie die Variante V4 mit 19 Teilen Wasser. Die V4 Variante mit 22 Teilen Wasser, lies sich auch nach einer Stunde noch flach walzen. Die Kekse gingen im Ofen auf und die Ecken verzogen sich nur leicht. In der sensorischen Sofortverkostung konnte zwischen 22 und 19 Teilen Wasser kein Unterschied in der Mürbigkeit des Bisses ausgemacht werden. Aufgrund der positiven Verarbeitungseigenschaften mit dem erhöhten Wasseranteil wurde festgelegt, dass die Endversuche mit dieser Rezeptur durchgeführt werden sollten. Eine Ermittlung der Restfeuchte für die V4-Variante mit 22 Teilen Wasser ergab Werte zwischen 1,4% und 1,7%. Eine Backzeit von 28 min war ausreichend für die erwünschte Restfeuchte.

4.2 Versuchsreihe 5

Tab. 10 Endrezeptur V5

Zutat	Anteil
Mehl	100
Butter	20
Zucker	28
Invertzuckersirup	2,5
Salz	1
Lecithin	1,5% vom Fett
Vollei frisch	4
Lactose	1
VMP	0,5
SMP	0,1
Backpulver	1
Wasser	22

In Versuchsreihe 5 sollten vier unterschiedliche Teigbehandlungen, bzw. behandeltes Mehl zum Einsatz kommen. Es wurde ein Teig mit normalem Weizenmehl Typ 405 ohne Zusätze hergestellt, dieser wird im weiteren Verlauf als V5-N bezeichnet. Zwei weitere Teige wurden mit Teigbehandlungsmitteln hergestellt. Einer der behandelten Teige enthielt das Enzympräparat „Sternzym BK 5020“ (Protease), im weiteren Verlauf V5-P genannt. Das Sternzym Datenblatt empfiehlt eine Dosierung zwischen 30 – 70 g auf 100 kg Mehl, in diesem Versuch wurde eine Dosierung von 50 g auf 100 kg Mehl gewählt. Dies entspricht einer Einwaage von 700 mg Proteasenpräparat. Der zweite behandelte Teig wurde mit dem Cysteinpräparat „EMCEsoft P10“ versetzt, im weiteren Verlauf V5-C genannt. Die Dosierungsempfehlung des Sternzym Datenblattes für das Cysteinpräparat lautet 10 – 50 g auf 100 kg Mehl, in diesem Versuch wurde eine Dosierung von 25 g auf 100 kg Mehl gewählt. Dies entspricht einer Einwaage von 350 mg. Für den vierten Teig wurde ein spezielles Keksmehl mit einem verringerten Proteinanteil (10,2 %) eingesetzt, im Folgenden V5-K genannt. Alle 4 Teige wurden in der Conche mit denselben Parametern und derselben Rezeptur (V5) hergestellt. Da in den zwei Versuchstagen in denen Versuchsreihe 5 durchgeführt wurde extrem niedrige Außentemperaturen herrschten, so dass im Technikum nur eine Innentemperatur von 13 – 14 °C erreicht wurde, ist die Conche mit einem Thermostat auf 20°C aufgeheizt und bei dieser Temperatur gehalten worden. Diese Maßnahme sollte sicherstellen, dass das Teigverhalten gleich den Vorversuchen war. Außerdem sollte für alle Versuche während des Mixvorgangs eine vergleichbare Temperatur der Apparatur und der Zutaten gewährleistet sein. Für die Teigmischung V5-P wurde nach Angaben von Manley, 2000 eine Haltetemperatur von 35°C gewählt um die stark temperaturabhängige

Proteasenaktivität zu erhöhen. Die Festigkeit des entstehenden Teiges ist dadurch stark beeinflusst, so dass ein Vergleich im Bereich der Festigkeit keinen Nutzen hat, aber da durch den sehr hohen Fett- und Zuckergehalt eine starke Hemmung der Proteasen auftritt, wäre bei 20°C keine Wirksamkeit zu erwarten gewesen.

Alle Teige wurden mit dem zwei Stufen Mixverfahren hergestellt. Die Hilfsstoffe Cystein und Protease sind vor der Zugabe in einem kleinen Teil des Wassers gelöst worden. Dies hat 2 wesentliche Vorteile, erstens eine homogenere und schnellere Verteilung im Teig und zweitens können die Enzyme (Proteasen) und das Cystein eine Hydrathülle ausbilden ohne Konkurrenz der weiteren hygroskopischen Inhaltsstoffe. Sie sind somit sofort nach der Zugabe aktiv, da sie sich im wässrigen Milieu bei einem passenden pH-Wert (6-8) befinden. (Manley, 2000; Datenblätter Sternzym, 2012)

Tab. 11 Mixverlauf V5-N, V5-C und V5-K

Min	Kommentar	Temperatur
0-4	Butter, Ei und Lecithin	20
4-6,5	Wasser mit gelösten Zutaten	20
6,5-8	Mehl mit Backpulver dazu	20
9	Teig bildet zusammenhängende Masse, Teig von Innenwand und Rührwerk löst sich ab, Butteragglomerate	20
10	Butteragglomerate	20
11	Entnahme, keine Agglomerate mehr vorhanden	20

Tabelle 11 zeigt den Mixverlauf für V5-C und V5-N. Es treten keine Temperaturerhöhungen auf, da das Thermostat kühlt sobald die Temperatur steigt. Die Massen teigten sehr schnell an und waren etwa 2 Minuten später homogen vermischt. Bis zu diesem Verfahrensschritt zeigten sich keine Unterschiede. Bei der Entnahme fiel auf, dass V5-K klebriger und etwas flüssiger erschien. Erklären lässt sich dies mit dem geringeren Proteinanteil, bei gleichem Wasseranteil, da weniger Protein nur einen kleineren Anteil an Wasser durch Quellung einlagern kann. Der Wasserüberschuss steht somit dem Zucker- und Mehlanteil zur Verfügung und verflüssigt somit den Teig etwas.

Der Teig V5-P wurde ebenfalls bei 20°C gemixt, aber ab Minute 9 auf die Zieltemperatur von 35°C aufgeheizt. Das Mixen fand bei 20°C statt um eine Verflüssigung der Butter zu vermeiden, denn wie bereits beschrieben hat der SFI des Fettanteils großen Einfluss auf die Teigbildung. Der fertige, auf 35°C aufgeheizte Teig, war erwartungsgemäß weicher als die anderen Teige und glänzte aufgrund des Austritts der vollständig verflüssigten Butter.

4.2.1 Teigfestigkeit

Von allen Teigen wurde sofort nach Beendigung des Mixprozesses eine Probe genommen und mit dem Textureanalyzer gemessen. Nach einer Stunde Standzeit bei 20°C, bzw. 35°C (V5-P) wurde eine weitere Messung durchgeführt und für die Teige V5-P und V5-C nach insgesamt 2 Stunden Standzeit eine dritte. Für die Messungen wurde eine Probe von etwa 600 g in eine flache Metallschale gefüllt und die Oberfläche geglättet. Welches Gefäß für die Messungen genutzt wird ist nicht von Bedeutung. Wichtig ist aber, dass es immer das gleiche ist und dass es sehr stabile Wände hat, um während der Messungen nicht die Kräfte für die Verformung des Gefäßes mit aufzunehmen.

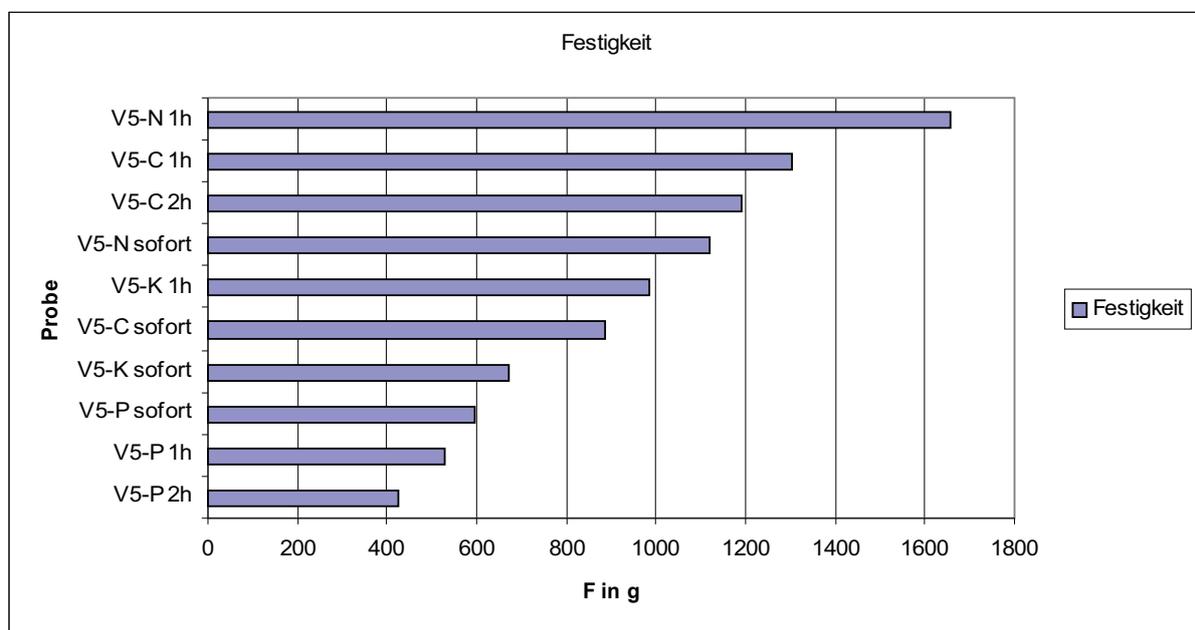


Abb. 7 Festigkeiten der Teige

Abbildung 7 zeigt die Mittelwerte der gemessenen Festigkeiten aus jeweils 4 Messungen. Es zeigt sich, dass V5-P bei allen Messungen die niedrigsten Werte erzielte. Dies liegt eindeutig an der Temperatur. V5-P ist, was die Teigfestigkeit angeht, nicht mit den anderen Versuchen zu vergleichen, wurde aber dennoch in der Grafik dargestellt, da es den Einfluss einer Temperaturerhöhung von 15 K deutlich darstellt. Die Unterschiede der Festigkeit nach einer Stunde und nach zwei Stunden betragen jeweils etwa 100 g. Dieses Ergebnis ist kritisch zu beurteilen, da die Standardabweichungen der V5-P Festigkeitsmessungen jeweils etwa 30 g betragen. Ein Anhaltspunkt für eine stattgefundene Erweichung ist, dass V5-P als einziger Teig über die Standzeit an Festigkeit verlor.

Der Teig V5-C liegt bei der Sofortmessung nahe an V5-N. Dies spiegelt die Erwartungen wider, da beide mit dem gleichen Mehl hergestellt wurden und das Cystein in der kurzen Zeit noch keine messbaren Veränderungen bewirken konnte. Nach einer Stunde Standzeit zeigt V5-N eine Festigkeit von etwa 1650 g und V5-C eine Festigkeit von etwa 1300 g. Dieser Unterschied erscheint deutlich, ist aber ebenfalls kritisch zu betrachten, da die Messungen Standardabweichungen von 142 g (V5-C 1h) und 96 g (V5-N 1h) aufzeigen. V5-C 2h zeigt eine um 100 g verringerte Festigkeit gegenüber V5-C 1h. Aufgrund der hohen Standardabweichung von V5-C 1h kann aus diesem Ergebnis kein Schluss gezogen werden. Die Frage ob durch das Cystein eine Teigerweichung stattgefunden hat lässt sich nicht mit Bestimmtheit beantworten, da die Abweichungen der Ergebnisse zu groß sind.

Der Versuch mit dem Keksmehl (V5-K sofort) zeigt bei der Sofortmessung eine ähnliche Festigkeit wie der um 15 K wärmere Teig und eine um 400 g geringere wie V5-N sofort. Die Standardabweichungen betragen 61 g (V5-K sofort) und 66 g (V5-N sofort). Dies stellt nicht die erwünschte statistische Sicherheit dar, kann aber bei einer Differenz der 6-fachen Standardabweichung als eindeutiger Einfluss des Mehlproteingehaltes auf die Festigkeit des Teiges gewertet werden. Der Unterschied zwischen V5-K 1h und V5-N 1h fällt mit einer Differenz von 650g deutlicher aus, wird aber durch ein ähnliches Standardabweichungs-Differenzverhältnis relativiert. Zusammenfassend lässt sich zum Kapitel Teigfestigkeit folgendes feststellen: Keksmehl bildet gegenüber normalem, unbehandeltem Mehl weichere Teige aus. Die Wirksamkeit der verwendeten Proteasen ist nicht sicher, aber aufgrund der Teigerweichung über die Zeit aber sehr wahrscheinlich, trotz des hohen Zucker- und Fettgehaltes. Die Wirksamkeit des Cysteins konnte nicht sicher nachgewiesen werden, denn auch hier verfestigte sich der Teig während der Standzeit durch fortschreitende Klebergerüstausbildung.

4.2.2 Teigelastizität und Rückverformungsrate

Wie Abbildung 8 zeigt, liegen die gemessenen Elastizitäten sehr nah beieinander. Die Unterschiede liegen im Schnitt innerhalb der ein- bis dreifachen Standardabweichungen, dies ermöglicht nur eine sehr spekulative Auswertung. Es lassen sich Trends erkennen, welche mit den Festigkeitsmessungen korrelieren. So nimmt bei allen Teigen die Elastizität über die Standzeit zu, außer bei V5-P. Dies spiegelt die Ergebnisse der Festigkeitsmessungen wider. Die Erklärung ist somit gleich, je stärker sich das Glutennetzwerk während der Standzeit ausbildet desto Elastischer wird der Teig.

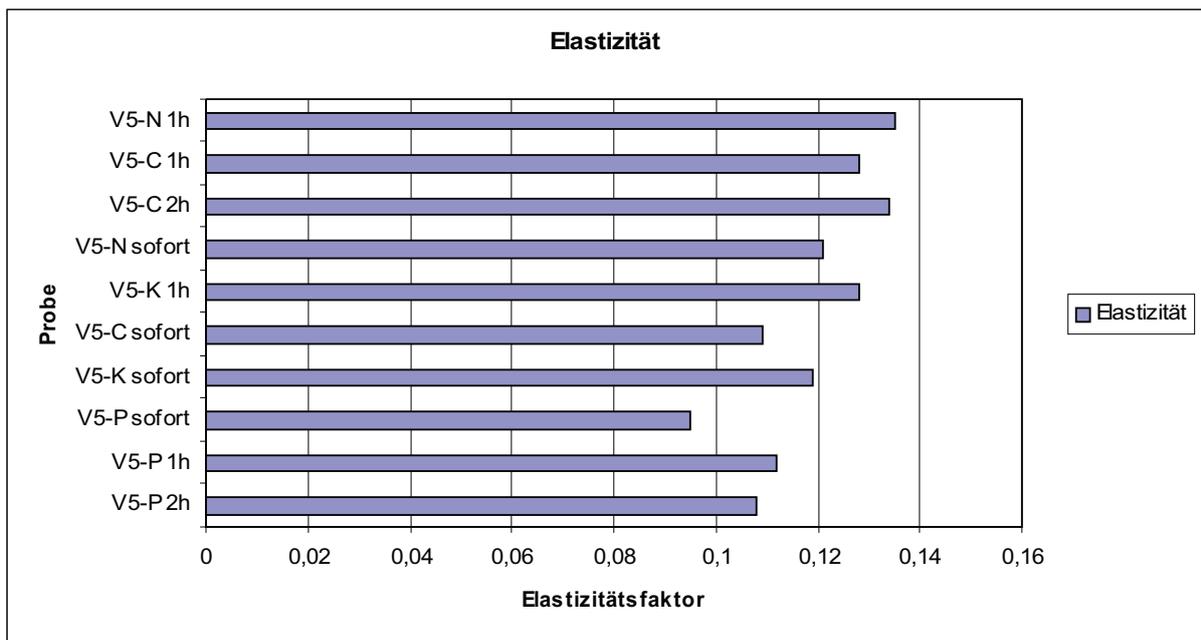


Abb. 8 Teigelastizitäten

Der Grund für die geringen Unterschiede in den Messungen ist vermutlich der Messaufbau. Wie bereits in Abschnitt 3.3.5 erwähnt, können nur Vertikalkräfte von der Messapparatur erfasst werden. Auf den Kugelförmigen Messkörper wirken jedoch nur ein Teil der Rückverformungskräfte vertikal, ein Grossteil der Rückverformungskräfte wird also nicht registriert. Für zukünftige Versuche, muss ein Prüfkörper gefunden werden, welcher eine plane, horizontale Messfläche besitzt, an den Kanten jedoch keine so hohen Scherkräfte aufbaut, dass der Teig geschnitten wird.

Bei den Messungen der Rückverformungsrate tritt dasselbe Problem auf. Es wird nur der Weg der vertikalen Rückverformung registriert. Somit sind die gemessenen Werte sehr klein und liegen eng beieinander, sie geben nicht die absolute Rückverformungsrate wider. Abbildung 9 zeigt die vertikale Rückverformungsrate in Prozent.

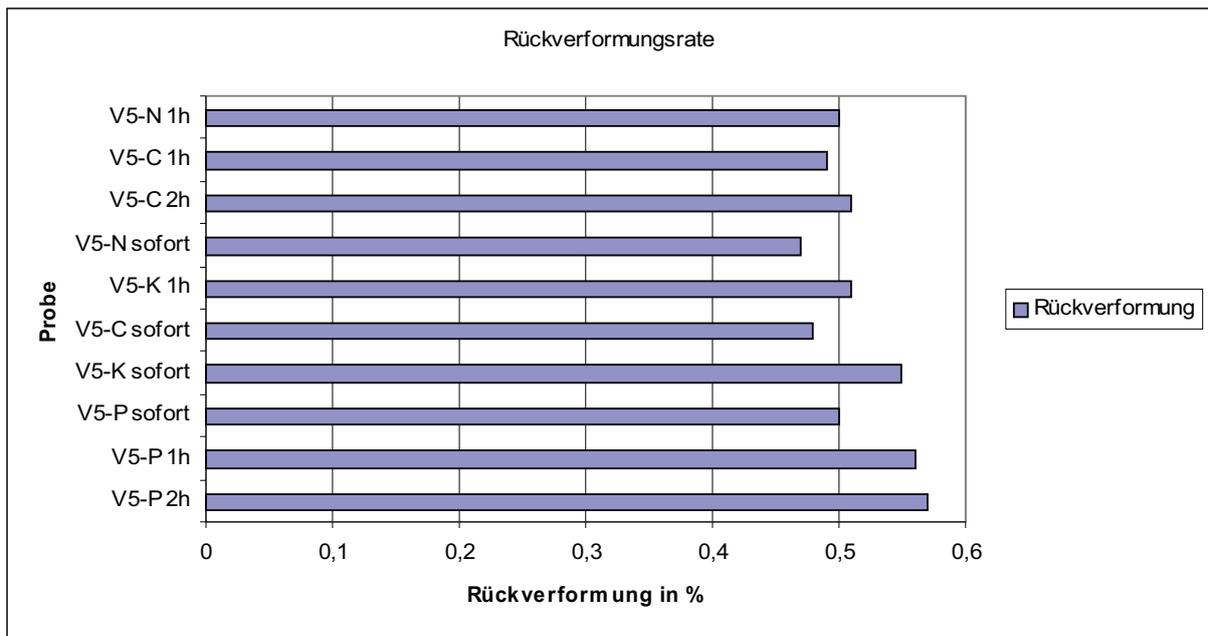


Abb. 9 Rückverformungsraten

4.2.3 Bruchhärte

Die Bruchhärte ist die Maximalkraft in Gramm, welche auf den Kekse wirkt bis es zum Bruch kommt. Da die Kekse aufgrund unterschiedlicher Volumenzunahmen während des Backvorgangs in der Höhe leicht variieren, ist die gemessene Maximalkraft nicht für den direkten Vergleich der Kekse geeignet. Ausgehend von der These, dass sich die Bruchkraft linear zur Kekshöhe verhält, wurde für den Vergleich die spezifische Härte ermittelt. Dazu wurde jeder Keks nach der Messung an 3 Stellen mit einer Schieblehre auf den Zehntelmillimeter genau vermessen. Aus diesen 3 Werten wurde jeweils ein Mittelwert für den entsprechenden Keks gebildet und der Bruchkraft zugeordnet. Daraus lässt sich anschließend die spezifische Bruchkraft pro Millimeter Kekshöhe errechnen. Die erhaltenen höhenabhängigen Bruchkräfte können miteinander verglichen werden.

Abbildung 10 zeigt die Ergebnisse der geprüften Kekse. Es stellt sich dar, dass der Musterkekse (Leibniz) sich deutlich von den selbst hergestellten Keksen abhebt. Er erzielte eine spezifische Härte von 153 g/mm mit einer Standardabweichung von nur 6 g/mm. Die niedrige Standardabweichung zeigt, dass die Textur der Leibnizkekse sehr gleichmäßig ist. Die beiden sofort verarbeiteten Teige von V5-K (232 g/mm) und V5-N (272 g/mm) zeigen ebenfalls niedrige Bruchkräfte. Ihnen folgen die Varianten V5-C 1h (299 g/mm) und V5-P 1h (303 g/mm). Anschließend folgen V5-N 1h, V5-C 2h, V5-K 1h und V5-P 2h mit Bruchwerten zwischen 358 g/mm und 398 g/mm. Diese Vierergruppe erzielte nahezu gleiche Bruchwerte.

Die Standardabweichungen der selbst hergestellten Kekse lagen zwischen 12 – 20%. „V2 überknetet“ zeigt beispielhaft einen Keks aus den Vorversuchen, er ist mit einem Bruchwert von 697 g/mm wesentlich härter. Dies zeigt eine positive Gesamtentwicklung von den Vorversuchen bis zur Endrezeptur und dem Endverfahren.

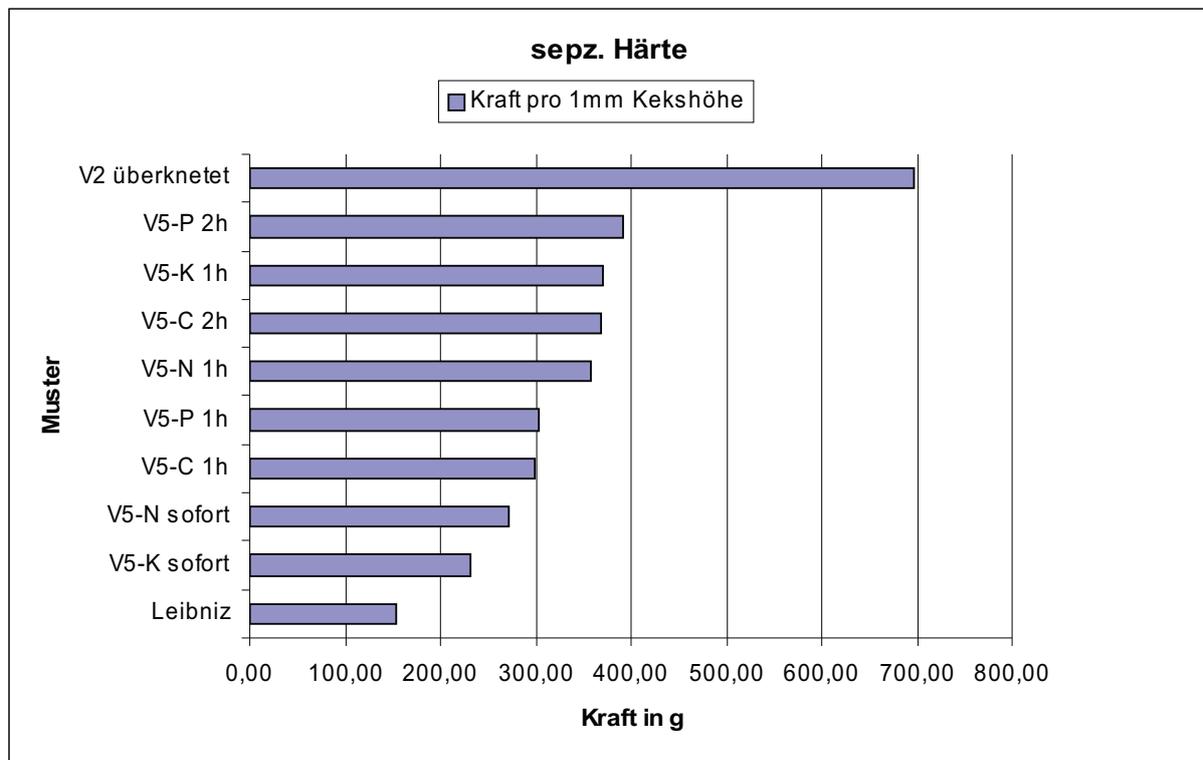


Abb. 10 Bruchhärten (spez. Härte)

Die Bruchkraftmessungen lieferten sehr wichtige Ergebnisse, da die Qualität eines Butterkeksekes sehr stark von seinem Bruchverhalten abhängt. Es zeigte sich, dass die Lockerheit, bzw. Brüchigkeit des Leibnizkeksekes nicht erreicht werden konnte. Die wichtigsten Erkenntnisse sind jedoch: Frischer Verarbeitete Teige erzeugen bessere Kekse, als behandelte Teige nach einer Standzeit. Behandelte Teige erzeugen jedoch bessere Kekse als unbehandelte Teige nach einer Standzeit. Die Unterschiede zwischen den Keksen sind nicht sehr groß, evtl. kann ein effektiverer Einsatz der Teigbehandlungsmittel bessere Ergebnisse erzielen, beispielsweise höhere Temperaturen während der Standzeit und höhere Konzentrationen der Behandlungsmittel.

Ob die Unterschiede in der Bruchhärte der selbst hergestellten Muster von einem Menschen wahrgenommen werden können, muss eine sensorische Analyse zeigen.

4.2.4 Sensorik

Die im Bruchtest gewonnenen Ergebnisse spiegeln sich in der sensorischen Analyse wider. Der Datensatz der Analyse befindet sich in Anhang 1. Das Attribut Härte zeigt dieselbe Rangordnung wie im Bruchtest. Den besten Biss zeigt der Leibnizkeks, gefolgt von den beiden sofort verarbeiteten Teigen und den Abschluss bilden die Teige mit Standzeiten. Die Kaubarkeit zeigt die gleiche Rangordnung, allerdings konnte hier V5-C 2h zu den sofort verarbeiteten Teigen aufschließen. Bei dem Attribut liegen die selbst hergestellten Kekse alle recht nah beieinander, aber entfernt vom Leibnizkeks. Dies liegt zum Einen an der höheren Mürbigkeit des Leibniz, welche ihn cremiger erscheinen lässt, zum Anderen beeinflusst die Partikelgröße sehr stark das Cremigkeitsgefühl, insbesondere die Größe der Zuckerpartikel. Sie können ein sandiges Mundgefühl erzeugen, welches der Cremigkeit entgegenwirkt. Zuletzt ist es möglich, dass der Leibnizkeks einen höheren Anteil an Laktose enthält, diese erzeugt, nach Manley 2000, ein wolliges, als cremig wahrgenommenes Mundgefühl. In den Bereichen Butteraroma (Geruch wie Geschmack) und Süße liegen die gebackenen Kekse nahe beieinander, dies war zu erwarten da alle Kekse dieselbe Rezeptur enthalten und diese Attribute maßgeblich von der eingesetzten Menge der Zutaten abhängig sind. Bei optisch beurteilten Attribut Farbe liegen alle Kekse gleichauf, lediglich V5-N sofort hebt sich stark ab. Auch V5-N 1h hebt sich in der Farbe ab (in der sensorischen Analyse nicht berücksichtigt). Offensichtlich ist bei der Herstellung des Teiges ein Einwaagefehler aufgetreten, vermutlich wurde der Invertzuckersirup oder eine der Milchpulverkomponenten zu hoch dosiert, anders lässt sich diese Abweichung nicht erklären.

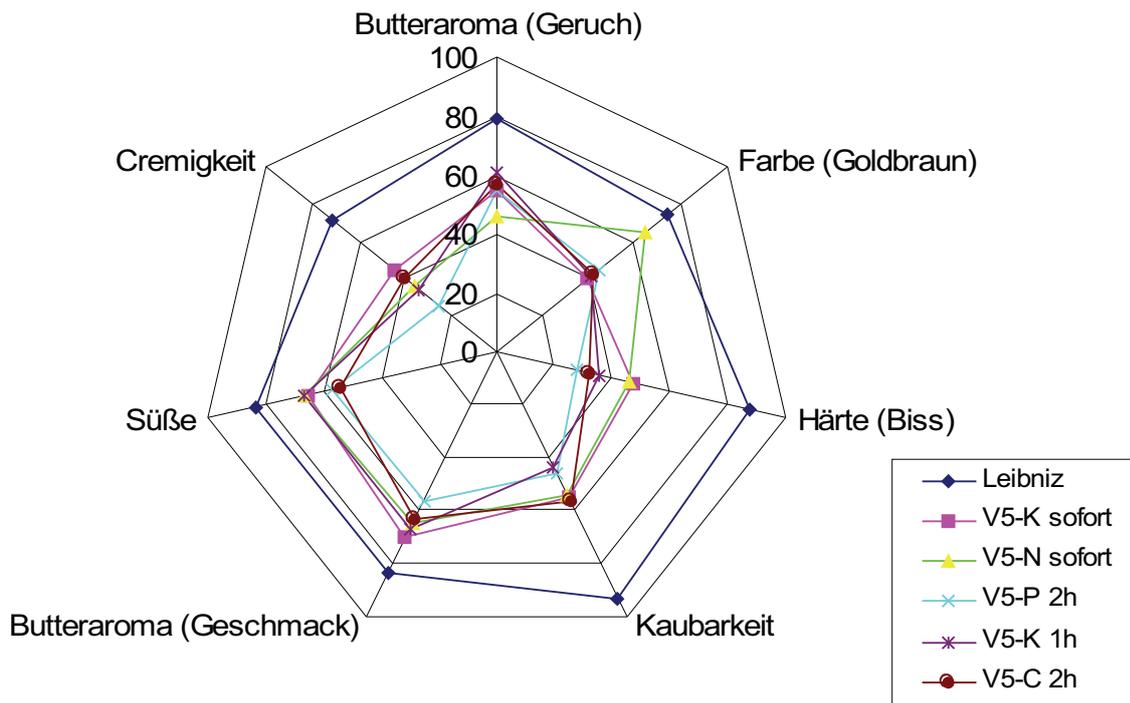


Abb. 11 Mittelwerte der sensorischen Analyse

Die sensorische Analyse zeigte die nicht instrumentell ermittelbaren Eigenschaften auf. Sie kann helfen zukünftige Rezepturanpassungen zu beurteilen.

5. Zusammenfassung

Aufgabe dieser Bachelorarbeit war es ein Verfahren und eine Rezeptur zur Herstellung eines Butterkekse im Technikumsmaßstab zu finden. Es wurde mit Hilfe von Literaturangaben und Zutatenlisten auf Verpackungen verschiedener im Handel befindlichen Butterkekse eine Grundrezeptur erstellt. Diese Grundrezeptur wurde in 4 Versuchsreihen zu einer Endrezeptur optimiert. Zeitgleich wurden verschiedene Verfahren und Apparaturen auf ihre Eignung zur Herstellung von Butterkekse untersucht. Es zeigte sich, dass Rührapparaturen mit möglichst wenigen Totpunkten und Drehzahlen um 100 U/min sich am besten eigneten. Die so hergestellten Teige hatten die besten Verarbeitungseigenschaften, sie waren sehr weich und plastisch leicht verformbar. Als optimal stellte sich ein Wasseranteil des Teiges von 22 Teilen Wasser auf 100 Teile Mehl und eine Knetzeit nach der Teigbildung von etwa 2 bis 3 min heraus. Teige, welche sofort nach dem Kneten verarbeitet worden waren bildeten lockersten und somit besten Kekse. Die Backtemperatur war mit 140°C und 28 min ideal. In einem Endversuch wurden mit der gefundenen Rezeptur und den ermittelten Parametern Versuche mit den Teigbehandlungsmitteln Cystein und einem Proteasenpräparat durchgeführt. Zusätzlich wurde ein Teig mit einem proteinarmen Keksmehl durchgeführt. Die Teige und Kekse aus den Versuchen mit Teigbehandlungsmitteln konnten die guten Ergebnisse mit Typ 405 Mehl und dem Keksmehl nicht erreichen.

Die instrumentell mit einem Textureanalyzer ermittelten Teig- und Keksseigenschaften deckten sich mit den Ergebnissen der sensorischen Analyse. Die Kombination dieser beiden Messmethoden stellte sich als sinnvolle Beurteilungsmöglichkeit heraus.

6. Abstract

This bachelor thesis is about finding a recipe and a process to produce a “Butterkeks” in a laboratory scale. The recipe was found in 4 steps with continuous development. Next to the recipe development different types of mixers were tested. It was shown that a horizontal mixer at speeds about 100 r/min and a dough with 22 parts of water to 100 parts of flour produced the best results. A test series with protein level reduced flour (biscuit flour), type 405 flour, cystein treated dough and a protease treated dough showed that the treated dough biscuits were of less quality than the biscuits made from biscuit flour and type 405 flour. A final sensory analysis confirmed these findings and correlated with measurements, which were made with a texture analyzer. Finally it can be said, that according to this study, the best biscuits are made of fresh dough (not older than 10 to 15 minutes) than of treated dough which had a standing time of 1 to 2 hours.

Literatur

<http://www.abzonline.de/praxis/Kneten-als-Basistechnologie,7069282127.html> : Kneten als Basistechnologie 28.12.2011

<http://www.arte.tv/de/suche/834338.html> : der Gegenstand: LU/ Leibniz 19.01.2012

<http://www.bahlsen.de/downloads/naehwerttabellen.pdf> : Nährwerttabelle für alle Produkte 28.12.2011

<http://www.brotundbackwaren.de/bb-2011-01/articles/der-teigentwicklung-auf-der-spur.html>:
Der Teigentwicklung auf der Spur 29.12.2011

Fliedner, I., und F. Wilhelmi: Grundlagen und Prüfverfahren der Lebensmittelsensorik. 2. Auflage Hamburg: Behr's Verlag GmbH & Co 1995

Gemeinsames Ministerialblatt: Leitsätze für Feine Backwaren. Carl Heymanns Verlag 2010

Klingler, R.W.: Grundlagen der Getreidetechnologie. Hamburg: Behr's Verlag GmbH & Co 1995

Leuchtenberger, A.; Proll, J.; Ruttloff, H.: Lebensmittel- Biotechnologie und Ernährung, Probleme und Lösungsansätze. Berlin Heidelberg New York Springer-Verlag 1997

Manley, D.: Technology of biscuits, crackers and cookies. 3. Auflage Cambridge England: Woodhead Publishing 2000

Meier, J.: Vorlesungsmitschriften und Skripte Sensorik. Neubrandenburg 2009

Meurer, P.: Vorlesungsskript Getreide und Backtechnologie. Neubrandenburg 2010

Popper, L. Enzyme – gute Freunde des Mehls. Ahrensburg: Mühlenchemie GmbH & Co. KG 2012

Seibel, W.: Feine Backwaren. Berlin und Hamburg: Paul Parey 1991

Sidel, J.L.; Stone, H.: Sensory Evaluation Practices. 3. Auflage Redwoodcity, California, USA: Elsevier Academic Press 2004

SternEnzym GmbH & CO. KG: Datenblatt Sternzym BK 5020. Ahrensburg: SternEnzym GmbH & CO. KG 2012

SternEnzym GmbH & CO. KG: Datenblatt Sternzym EMCEsoft P10. Ahrensburg: SternEnzym GmbH & CO. KG 2012

Wüpper, G.: „Die Welt“: Zwei Jahre Arbeit für einen Keks. Ausgabe 07.01.2012 Axel Springer AG 2012

Abbildungen	Seite
Abb. 1 Wirkungsweise von Proteasen und Cystein (nach Manley, 2000)	9
Abb. 2 Mixerbauformen (“Technology of Biscuits and Cookies” Manley, D. 2000)	11
Abb. 3 Horizontale (links) und vertikale (rechts) Laminieranlage (“Technology of Biscuits and Cookies” Manley, D. 2000)	13
Abb. 4 Rührwerksgeometrie der Conche (http://www.tonnaer.com/images/horizontaal/3High-speed-mixer.jpg 22.02.12)	15
Abb. 5 Messprofil für die Teigmessungen	17
Abb. 6 Messprofil für die Bruchtests	18
Abb. 7 Festigkeiten der Teige	31
Abb. 8 Teigelastizitäten	33
Abb. 9 Rückverformungsraten	34
Abb. 10 Bruchhärten (spez. Härte)	35
Abb. 11 Mittelwerte der sensorischen Analyse	37

Tabellen	Seite
Tab. 1 Auflistung der verwendeten Rohstoffe	14
Tab. 2 Startrezeptur V1	20
Tab. 3 Feuchtigkeitsgehalte der Kekse aus V1 und V2	21
Tab. 4 Mixverlauf in der Conche V2	22
Tab. 5 Rezeptur V3	24
Tab. 6 Mixverlauf V3 im Stephan	24
Tab. 7. Restfeuchte der V3 Backversuche	26
Tab. 8 Mixverlauf V4 mit 19 Teilen Wasser	27
Tab. 9 Mixverlauf V4 mit 22 Teilen Wasser	28
Tab. 10 Endrezeptur V5	29
Tab. 11 Mixverlauf V5-N, V5-C und V5-K	30

Anhang 1

Prüfbogen der Sensorikprüfung

Profilprüfung nach DIN 10967-3

Attribut	Intensität
Butteraroma Geruch	Schwach _____ intensiv Knäckebrötchen _____ Butter
Farbe (Goldbraun)	Hell _____ dunkel Rapsöl _____ Waldhonig
Härte (Biss)	Hart _____ locker Möhre _____ Weizenbrötchen
Kaubarkeit	schlecht _____ gut Weichkaramell _____ Erdnussflips
Butteraroma Geschmack	schwach _____ intensiv Knäckebrötchen _____ Butter
Süße	schwach _____ intensiv Knäckebrötchen _____ Zucker
Cremigkeit	Sandig _____ cremig Zwieback _____ Muffin

Muster: 464
041
369
159
736
329

Anhang 2

Ergebnisse der Sensorikprüfung

Mittelwerte	Butteraroma (Geruch)	Farbe (Goldbraun)	Härte (Biss)	Kaubarkeit	Butteraroma (Geschmack)	Süße	Cremigkeit
Leibniz	79	74	87	93	83	83	71
V5-K sofort	55	39	47	55	70	65	44
V5-N sofort	46	64	46	54	65	67	36
V5-P 2h	55	44	28	46	56	57	25
V5-K 1h	61	41	35	44	67	67	34
V5-C 2h	57	42	32	57	63	54	40

stabw.	Butteraroma (Geruch)	Farbe (Goldbraun)	Härte (Biss)	Kaubarkeit	Butteraroma (Geschmack)	Süße	Cremigkeit
Leibniz	7,99	10,83	11,82	9,87	15,06	14,40	18,51
V5-K sofort	27,85	12,06	12,05	15,36	24,70	23,05	20,51
V5-N sofort	17,14	17,29	17,90	10,33	10,34	23,45	13,36
V5-P 2h	17,97	15,07	10,11	18,14	17,86	25,22	5,39
V5-K 1h	30,32	10,50	15,35	22,10	24,94	18,44	7,66
V5-C 2h	27,97	8,48	13,40	20,15	11,90	16,99	13,06

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Ort, Datum

Unterschrift