Universität für Bodenkultur Wien
University of Natural Resources
and Applied Life Sciences, Vienna

Masterarbeit

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

Qualitätsverbesserung von Tiefkühlbackwaren durch optimierte Verpackungen

eingereicht von

Helene Schober, Bakk.rer.nat

durchgeführt am

Institut für Lebensmitteltechnologie

des Departments für Lebensmittelwissenschaften und –technologie

der Universität für Bodenkultur, Wien

betreut von

Assoc. Prof. Dr. Regine Schönlechner

Wien, April 2016

Danksagung

Ich möchte mich bei vielen Menschen - nicht nur für ihre Unterstützung bei meiner Masterarbeit, sondern für die Begleitung durch meine gesamte Studienzeit - bedanken. Diese Zeit, vor allem an der BOKU, war mit Sicherheit eine der aufregendsten, lustigsten und lehrreichsten meines Lebens.

An erster Stelle möchte ich mich bei meinen Eltern dafür bedanken, dass sie mich während meiner Zeit in Wien sowohl persönlich als auch finanziell unterstützt haben. Ohne ihre Hilfe wäre es nicht möglich gewesen, dieses Studium zu meistern! Auch bedanken möchte ich mich bei meinen Geschwistern Anna und Michi, die immer meine Vorbilder waren und mit denen ich eine schöne Zeit in Wien hatte. Meinem Cousin Kazim sage ich ebenfalls Danke, sowohl fürs Korrekturlesen als auch für die vielen lustigen Unternehmungen während unseres Studiums.

Meiner Betreuerin Frau Prof. Dr. Regine Schönlechner danke ich ebenfalls für ihre Betreuung und Hilfestellung während meiner Masterarbeit. Auch Herrn Ing. Michael Krainz gilt mein Dankeschön, der mich während meiner praktischen Arbeit am ofi stets gut beraten hat. Johannes und Victoria möchte ich danken, da sie mir bei jeglichen Fragen weiterhelfen konnten und immer produktive Anregungen und Ratschläge parat hatten!

Ein großes Dankeschön gilt meinem Freund Julian! Er musste meine doch auch recht häufigen Launen der Uni wegen ertragen und konnte mich trotzdem immer wieder ermutigen und motivieren.

Dank gebührt auch vor allem meinen FreundInnen Iris, Lisa und Babsi. Ich danke ihnen für die guten Ablenkungsmanöver, aufbauenden Gespräche und generell für unsere tolle Freundschaft!

Zu guter Letzt möchte ich noch meinen „Schnuffis“ Eva, Veri, Stephi, Julia, Thomas, Marcus und Richi für eine unglaubliche Zeit an der BOKU danken! Durch euch weiß ich, dass Lernen auch Spaß machen kann! Ich bin froh, an der Uni solche Freunde gewonnen zu haben und freue mich auf unsere Reise!

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 1

2 Literaturteil ... 2

2.1 Definition von Backwaren ... 2

2.2 Zusammensetzung von Backwaren ... 2

2.2.1 Herstellung von Backwaren ... 3

2.2.2 Das Glutennetzwerk ... 5

2.2.3 Kleingebäck ... 6

2.3 Tiefgefrorene Backwaren ... 7

2.3.1 Der Gefriervorgang ... 7

2.3.2 Tiefkühlung von Backwaren ... 8

2.3.3 Gefrorene Teiglinge ... 9

2.3.4 Teilgebackene gefrorene Backwaren ... 11

2.4 Einfluss der Tiefkühlung auf Backwaren ... 13

2.4.1 Probleme bei TK-Backwaren ... 14

2.5 Verpackungen ... 18

2.5.1 Verpackung und Haltbarkeit ... 19

2.5.2 Verpackung von Backwaren ... 21

2.5.3 Verpackung und Umwelt ... 21

2.5.4 Verpackungsmaterialien ... 22

2.6 Zubereitung in der Mikrowelle ... 35

2.6.1 Vergleich von konventionellem Backen mit Mikrowellen-Backen ... 37

3 Aufgabenstellung ... 39

4 Material und Methoden ... 40

4.1 Material und Geräte ... 40

4.1.1 Gebäcksorten ... 40

4.1.2 Verpackungen ... 40

4.1.3 Geräte ... 41

4.2 Methoden ... 45

4.2.1 Bestimmung der Foliendicke ... 45

4.2.2 Verpackung der Proben 46
4.2.3 Lagerung 48
4.2.4 Bestimmung des Gewichts 48
4.2.5 Bestimmung des spezifischen Gebäckvolumens 49
4.2.6 Messung des Umfanges nach Jorgensen 51
4.2.7 Fallversuch 52
4.2.8 Ermittlung der tatsächlichen Mikrowellenleistung 53
4.2.9 Farbmessung 54
4.2.10 Bestimmung der Krumenfestigkeit mittels Texture Analyser 55
4.3 Statistische Auswertung 57
5 Versuchsdurchführung 60
5.1 Vorversuche für Gefrierbrand bzw. Feuchtigkeitsverlust 60
5.2 Hauptversuche für Gefrierbrand bzw. Feuchtigkeitsverlust 61
5.3 Vorversuch mit der Mikrowelle 64
5.4 Hauptversuch mit der Mikrowelle 65
6 Versuchsergebnisse und Diskussion 68
6.1 Ergebnisse der Vorversuche Gefrierbrand bzw. Feuchtigkeitsverlust 68
6.1.1 Vergleich der Gewichtsverluste 68
6.2 Ergebnisse der Hauptversuche zu Gefrierbrand bzw. Gewichtsverlust 72
6.2.1 Foliendicke und weitere Folieneigenschaften 72
6.2.2 Gebäckeigenschaften 73
6.2.3 Fallversuch 85
6.3 Ergebnisse der Vorversuche mit der Mikrowelle 87
6.4 Ergebnisse der Hauptversuche Mikrowelle 91
6.4.1 Gebäckeigenschaften 91
7 Schlussfolgerungen 102
7.1 Gefrierbrand bzw. Feuchtigkeitsverlust 102
7.2 Zubereiten von tiefgekühlter Halbbackware mit der Mikrowelle 104
8 Zusammenfassung 106
9 Summary 107

10 Literaturverzeichnis 108

11 Lebenslauf 114

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grundschritte der Herstellung von Backwaren (SEIBEL und SPICHER, 1991) 5
Abbildung 2: Temperaturverlauf beim TK-Vorgang (WEISSER, 1972) 7
Abbildung 3: Fließschema eines teilweise gebackenen Produktes (SIDDIQUI und RAHMAN, 2015) 12
Abbildung 4: Entwicklung der Marktanteile zwischen 2006 und 2011 nach SUN (2012) 13
Abbildung 5: Schematische Darstellung des Feuchtigkeitstransfers bei Gefrierbrand 16
Abbildung 6: Gesättigter Dampfdruck von Eis und flüssigem Wasser als Funktion der Temperatur (SCHMIDT und LEE, 2009) 16
Abbildung 7: Mechanismus des Altbackenwerdens bei Backwaren (SIDDIQUI und RAHMAN, 2015) 18
Abbildung 8: Wechselwirkungen zwischen Umwelt, Verpackung und Lebensmittel (SIDDIQUI und RAHMAN, 2015) 22
Abbildung 9: Recyclingcode für LDPE (umweltberatung.at, 2016) 27
Abbildung 10: Aufbau eines Mikrowellensuszeptors 34
Abbildung 11: Suszeptor 1 41
Abbildung 12: Suszeptor 2 41
Abbildung 13: Dickenmesseinrichtung 45
Abbildung 14: Messung des Gebäckumfanges, Bsp. 52
Abbildung 15: Fallvorrichtung 53
*Abbildung 16: L*a*b*-Farbraum (ALTMANN, 2008)* 55
Abbildung 17: Skizze der Messpunkte 56
Abbildung 18: Beispiel für Kraft-Zeit Diagramm bei der Bestimmung der Krumenfestigkeit 57
Abbildung 19: Vorversuch Gewichtsverlust 61
Abbildung 20: Parameter des Hauptversuchs 63
Abbildung 21: Darstellung der Lagerbedingungen 63
Abbildung 22: Messgrößen der Gebäckstücke nach Lagerende 64
Abbildung 23: Versuchsparameter 67
Abbildung 24: Messwerte 67
Abbildung 25: Vergleich des Gewichtsverlustes 72
Abbildung 26: Gewichtsverlust in Abhängigkeit von den Lagerbedingungen und Verpackungsarten 78
Abbildung 27: spezifi. Volumen in Abhängigkeit von den Lagerbedingungen und Verpackungsarten 82
Abbildung 28: Umfang in Abhängigkeit von den Lagerbedingungen und Verpackungsarten 84
Abbildung 29: Beispiele für beschädigte Proben 86
Abbildung 30: unbeschädigte Probe 86
Abbildung 31: Gewichtsverlust 1 und 2 in Abhängigkeit von Verpackung und Leistung 94
Abbildung 32: Gewichtsverlust 1 und 2 in Abhängigkeit von Verpackung und Erhitzungsdauer 95
Abbildung 33: spezifisches Volumen in Abhängigkeit von Verpackung und Leistung bzw. Dauer 99
Abbildung 34: REL in Abhängigkeit von Verpackung und Leistung bzw. Dauer 101

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über konventionelle und Bake-Off-Technologien (LE-BAIL und GABRIC, 2012) 9
Tabelle 2: Konsequenzen bei fehlenden Barriereeigenschaften (RELLMANN und SCHENCK, 1992) 20
Tabelle 3: Verpackungsmaterialien für Lebensmittel mit Getreidebasis (GALIĆ et al., 2009) 25
Tabelle 4: Übersicht über einige Kunststoff-Polymere (BERGMAIR, 2014) 25
Tabelle 5: Eigenschaften von LDPE (COOPER, 2013; SIDDIQUI und RAHMAN, 2015) 27
Tabelle 6: Eigenschaften der Schrumpffolie 29
Tabelle 7: Hauptaufgaben der am häufigsten verwendeten Verpackungsmaterialien bei Lebensmitteln (SIDDIQUI und RAHMAN, 2015) 31
Tabelle 8: Messparameter für Texture Expert 57
Tabelle 9: Übersicht über die Lagerbedingungen 63
Tabelle 10: Gewichtsverlust der Teiglinge, unverpackt, ohne Schwankungen 70
Tabelle 11: Gewichtsverlust der Halbbackware, unverpackt, ohne Schwankungen 70
Tabelle 12: Gewichtsverlust der Teiglinge, unverpackt, mit Schwankungen 71
Tabelle 13: Gewichtsverlust der Halbbackware, unverpackt, mit Schwankungen 71
Tabelle 14: Abkürzungen der Versuchsparameter 74
Tabelle 15: Mittelwerte und Standardabweichungen des Gewichtsverlustes bei allen Kombinationen der Lagerparameter 77
Tabelle 16: p-Werte der Post-Hoch-Tests für den Gewichtsverlust (Bonferroni-Test) 77
Tabelle 17: Mittelwerte und Standardabweichungen des spez. Volumens bei allen Kombinationen der Lagerparameter 81
Tabelle 18: p-Werte der Post-Hoch-Tests für das spez. Volumen (Bonferroni-Test) 81
Tabelle 19: Mittelwerte und Standardabweichungen vom Umfang bei allen Kombinationen der Lagerparameter 83
Tabelle 20: p-Werte der Post-Hoch-Tests für das spez. Volumen (Bonferroni-Test) 84
Tabelle 21: Ergebnisse des Fallversuches (n pro Verpackungsart = 5) 86
Tabelle 22: Versuchsbedingungen und Ergebnisse nach 30 min Wartezeit; Vorversuch 1 89
Tabelle 23: Versuchsbedingungen und Ergebnisse nach 2 – 3 min Wartezeit; Vorversuch 1 89
Tabelle 24: Umrechnung der Leistungsstufen in die tatsächliche Leistung; Vorversuch 2 90
Tabelle 25: Versuchsbedingungen und Ergebnisse mit Mikrowelle 1; Vorversuch 2 90
Tabelle 26: Versuchsbedingungen und Ergebnisse mit Mikrowelle 3; Vorversuch 2 90
Tabelle 27: Versuchsbedingungen und Ergebnisse mit Mikrowelle 1; Vorversuch 3 91
Tabelle 28: Versuchsbedingungen und Ergebnisse mit Mikrowelle 3; Vorversuch 3 91
Tabelle 29: Abkürzungen für die Versuchsparameter 92
Tabelle 30: Mittelwerte und Standardabweichungen von Gewichtsverlust 1 und 2 bei allen Kombinationen der Lagerparameter. Verglichen werden die verschiedenen Verpackungsmethoden o. SZ, SZ 1 und SZ 2 94
Tabelle 31: p-Werte des Post-Hoc-Tests (Bonferroni-Test) 94

*Tabelle 32: Mittelwerte und Standardabweichungen der L*a*b*-Werte bei allen Kombinationen der Lagerparameter. Verglichen werden die verschiedenen Verpackungsmethoden o. SZ, SZ 1 und SZ 2 ..... 96*

Tabelle 33: p-Werte des Post-Hoc-Tests (Bonferroni-Test) 96

Tabelle 34: Mittelwerte und Standardabweichungen des spezifischen Volumens bei allen Kombinationen der Lagerparameter. Verglichen werden die verschiedenen Verpackungsmethoden o. SZ, SZ 1 und SZ 2 98

Tabelle 35: p-Werte des Post-Hoc-Tests (Bonferroni-Test) 98

Tabelle 36: Mittelwerte und Standardabweichungen von F_{max}, F_{120} und RE bei allen Kombinationen der Lagerparameter. Verglichen werden die verschiedenen Verpackungsmethoden 101

Tabelle 37: p-Werte des Post-Hoc-Tests (Bonferroni-Test) 101

Abkürzungsverzeichnis

CO_2 _____ *Kohldendioxid*

FDA _____ *Food and Drug Administration*

HDPE _____ *high-density Polyethylen*

LDPE _____ *low-density Polyethylen*

LLDPE _____ *linear low-density Polyethylen*

LSD _____ *least-significant difference*

MW _____ *Mittelwert*

MANOVA _____ *multivariate Varianzanalyse*

MDPE _____ *medium-density Polyethylen*

N_2 _____ *Stickstoff*

O_2 _____ *Sauerstoff*

O.D. _____ *optische Dichte*

PAN _____ *Polyacrylnitrit*

PE _____ *Polyethylen*

PET _____ *Polyethylenterephthalat*

PP _____ *Polypropylen*

PS _____ *Polystyrol*

PVC _____ *Polyvinylchlorid*

TK _____ *Tiefkühl-, tiefgekühlt*

1 Einleitung

Brot bzw. Backwaren zählen aufgrund ihrer ernährungsphysiologischen, sensorischen und texturalen Eigenschaften schon immer zu den wichtigsten und beliebtesten Lebensmitteln (GIANNOU und TZIA, 2007; DAROUGHEH et al., 2014). Seit Jahrhunderten werden Backwaren in vielen Haushalten nach den verschiedensten Rezepten selbst hergestellt. In den letzten Jahrzehnten fanden aber auch einige soziale und wissenschaftliche Modernisierungen sowie Veränderungen der Wünsche und Bedürfnisse der Konsumenten statt, was wiederum zu Reformen führte - auch in der Lebensmittelindustrie (GIANNOU und TZIA, 2007). Unter anderem wuchsen die Anforderungen sowohl an frische als auch schnell zuzubereitende Waren und sogenannte „Ready-to-eat“-Lebensmittel. Weiters ist die Anzahl an Einpersonenhaushalten gestiegen und oft ist der Verbraucher dazu bereit, mehr Geld für Produkte höherer Qualität auszugeben (SIDDIQUI und RAHMAN, 2015).

Backen ist ein zeit- und arbeitsaufwendiger Prozess und das fertige Erzeugnis hat eine limitierte Haltbarkeit. Zudem verändern sich die sensorischen Eigenschaften rasch ins Negative. Daher wurden neue Methoden für die Produktion, Aufbewahrung und Konservierung von Backwaren entwickelt. Beispiele dafür sind Tiefgefrieren oder spezifisches Verpacken (GIANNOU und TZIA, 2007; ROSELL und GÓMEZ, 2007; SIDDIQUI und RAHMAN, 2015). Die folgende Arbeit beschäftigt sich mit Verpackungsmethoden und deren Auswirkungen auf die Gebäckeigenschaften. Hierbei wird vor allem auf den Gewichtsverlust, der bei der Lagerung auftritt, eingegangen und verschiedene Lagerbedingungen werden simuliert. Außerdem wird auf die Problematik verwiesen, dass immer mehr frische Produkte gefragt sind, die nur eine sehr kurze Zubereitungsdauer benötigen. Das Aufbacken tiefgekühlter Waren in der Mikrowelle mit speziellen Verpackungen wird ebenfalls im Zuge dieser Masterarbeit untersucht. Aus Sicht der Backwarenhersteller sind Fortschritte in diesen Bereichen, neben einer Qualitätsverbesserung der Ware, vor allem für eine Kosten- und Abfallreduktion von großer Bedeutung.

2 Literaturteil

2.1 Definition von Backwaren

Der Begriff “Backwaren” umfasst eine große Gruppe von Lebensmitteln. Dazu gehören Brote, Kuchen, Gebäcke, Kekse, Cracker und noch viele mehr. Die ursprüngliche Gemeinsamkeit von Backwaren war, dass ihre Rezeptur und Herstellung auf Weizenmehl basiert und sie einem Backprozess unterliegen. Jedoch gibt es auch immer mehr Backwaren, die bspw. aus glutenfreien Rohstoffen hergestellt werden, weshalb diese Definition erweitert werden kann. Daher ist es passender, Backwaren als Produkte zu bezeichnen, welche in einer Bäckerei, Brotfabrik oder ähnlichem angefertigt werden. Somit wird das Produkt nicht mehr durch seine Zutaten, das Rezept oder den Herstellungsprozess definiert (CAUVAIN und YOUNG, 2006).

Das erste Brot wurde ca. 10.000 Jahre vor Christus aus Wasser und Getreidemehl hergestellt. Die Ägypter gelten als Pioniere der Kunst des Brotbackens und verbreiteten diese in der ganzen Welt (MONDAL und DATTA, 2008).

2.2 Zusammensetzung von Backwaren

Die Hauptbestandteile von Backwarenerzeugnissen sind gemahlenes Getreide und Wasser, Speisesalz und Lockerungsmittel. Bei Bedarf werden weitere Backzutaten wie Fett, Gewürze, Zucker, Ei oder Milch hinzugegeben. Es wird aufgrund der Rezeptur und Herstellungsweise in Brot - einschließlich Kleingebäck - und Feine Backwaren eingeteilt (SEIBEL und SPICHER, 1991; ROSELL und GÓMEZ, 2007; KUNZ, 1993; MONDAL und DATTA, 2008; GRABOWSKI und ROLFE, 2010, LEBENSMITTELBUCH, 2010).

Wasser und Mehl sind die wichtigsten zwei Zutaten in einem Brotrezept, da sie die Textur der Krume am meisten beeinflussen. Nach ZANONI et al. (1993) besteht Mehl aus 14,5 % Feuchtigkeit, 13 % Protein, 0,55 % Asche und hat einen pH-Wert von 5,7 – 6,1. Für die Rezeptur von Brot stellt Mehl meist die Grundlage von 100 % dar, die restlichen Zutaten bilden dann den Prozentsatz an Gewicht dieser Menge. Helles Brot weist ca. 50 % an Wasser auf, wohingegen die meisten hausgemachten Brote einen Wasseranteil zwischen 60 und 75 % aufzeigen. Beim

Hefeteig entstehen durch einen höheren Wassergehalt mehr CO_2-Blasen und eine gröbere Krume. Die restlichen Zutaten sind meist Hefe (2 %), Zucker (4 %) und Salz (2 %) (MONDAL und DATTA, 2008; BELITZ et al., 2008).

Beim Brotteig wird die Lockerung für gewöhnlich durch Hefefermentation (*Saccharomyces cerevisiae)* bewerkstelligt. Hier wird Zucker in Feuchtigkeit und CO_2 umgewandelt. Für gewöhnlich wird Zucker somit zur Beschleunigung der Fermentation zugegeben. Salz hingegen stärkt das Glutennetzwerk und ist für die kontrollierte Expansion des Teiges verantwortlich (MONDAL und DATTA, 2008; ROSELL und GÓMEZ, 2007).

Die wichtigsten Eigenschaften von frischem Brot sind eine ansprechende, bräunliche Kruste, ein angenehmes Aroma, eine weiche und elastische Krumenstruktur und ein behagliches Mundgefühl. Mechanisierung, Massenproduktion und steigende Nachfrage nach hoher Qualität, Convenience und längerer Haltbarkeit führen heute zum Gebrauch von Zusatzstoffen wie Emulgatoren, Hydrokolloiden, Säureregulatoren und verschiedenen Enzymen (MONDAL und DATTA, 2008).

2.2.1 Herstellung von Backwaren

Abb. 1 zeigt fünf wesentliche Schritte, in welche die Herstellung von Backwaren eingeteilt werden kann.

Der erste Schritt besteht aus der Aufbereitung der oben genannten Rohstoffe. Bei Weizenteigen geschieht dies durch Zugabe von Backhefe, bei Roggenteigen wird außerdem meist ein Säurezusatz benötigt. Die zentrale Funktion des Mehls ist es, Wasser aufzunehmen und somit eine form- und dehnbare Masse zu bilden. Hierbei ist es wichtig, auf eine gute Mehl- aber auch Wasser-, Salz- und Hefequalität und die richtige Menge zu achten. Beim Lockerungsmittel handelt es sich meist um die obergärige Hefe der Gattung *S. cerevisiae*, auch Backhefe, Presshefe oder Normalhefe genannt. Ihre optimale Gärung findet bei 28 – 32 °C statt. Zur Optimierung bzw. Regulation der Mehleigenschaften gibt es noch Backmittel wie z.B. Enzyme, Emulgatoren, Quellmittel sowie Oxidations- und Reduktionsmittel (SEIBEL und SPICHER, 1991).

Nachdem alle Zutaten laut Rezeptur zusammengefügt wurden, folgt das Vermischen mithilfe eines Kneters. Je nach Mehlqualität und Bestandteilen wird eine individuelle Knetdauer angewendet, welche einen wichtigen Beitrag zur Auflockerung, Verteilung und Dehnung der Proteine und somit zur Ausbildung eines guten Klebergerüsts darstellt. Dieses ist wiederum wesentlich für die Ausbildung des Volumens und der Krumenstruktur (SEIBEL und SPICHER, 1991).

SEIBEL und SPICHER (1991) beschreiben als dritten Schritt die Teiglockerung. Hier wird zwischen direkter und indirekter Teigführung unterschieden. Bei der direkten Führung wird die Hefe gleich beim Ansetzen des Teiges zugegeben, bei der indirekten nach Vermehrung in einer Vorstufe, welche auch Vorteig genannt wird. Wenn nötig - meist bei Verwendung von über 20 % Roggenmehl - wird anschließend eine Teigsäuerung durchgeführt.

Um eine optimale Plastizität und Konsistenz zu erreichen und jenes CO_2, das bei der Gärung entsteht, zurückhalten zu können, muss der Teig noch die sogenannte Teigruhe durchlaufen. Hier werden auch die Quellungs- und Teigbildungsvorgänge, die beim Kneten eingeleitet wurden, beendet. Ebenfalls von Bedeutung ist, dass sich bei diesem Teil der Teigverarbeitung die erforderliche Triebleistung entwickelt und die Stärke enzymatisch abgebaut wird (SEIBEL und SPICHER, 1991).

Nun folgt die Aufarbeitung des Teiges, wo gleich große Stücke geformt werden. Danach findet die Bearbeitung - meist durch Rundwirken und Langrollen - statt, was zu einer Beseitigung von Gärblasen führt und eine regelmäßige Porenverteilung und Beschaffenheit bewirkt. Oft wird auch noch zwischen Wirken und Formgeben eine Zwischengare eingebaut, die zu einer Verbesserung der Gebäckqualität führt. Ist die Formgebung abgeschlossen, wird erneut die Stückgare benötigt. Diese findet meist zwischen 30 und 40 °C und ca. 85 % relativer Feuchte für eine Dauer von 30 – 60 min statt. Das Gebäckstück ist nun bereit zum Backen und kann in den Ofen überführt werden, wo der nächste Schritt, der Backprozess, stattfindet (SEIBEL und SPICHER, 1991).

All diese Vorgänge machen den Teig verdaulich, wohlschmeckend und haltbar. Sie sind vor allem zeit- und temperaturabhängig (SEIBEL und SPICHER, 1991; PAQUET-DURAND et al., 2012). Auch das Volumen nimmt beim Backen erneut zu, was auch als Ofentrieb bezeichnet wird, diesmal um ca. 40 %. Die Temperatur beim Backvorgang beträgt zwischen 200 und 250 °C. Vorgänge wie enzymatische Aktivität, Stärkequellung und –verkleisterung, Wasserverdampfung oder Bildung von Geschmacks- und Bräunungsstoffen finden in den oben beschriebenen Phasen statt. Die Entwicklung einer bräunlichen Farbe geht hauptsächlich in der Kruste der Backwaren durch die Maillard-Reaktion oder nichtenzymatische Bräunung vonstatten (SEIBEL und SPICHER, 1991; PAQUET-DURAND et al., 2012; MONDAL und DATTA, 2008).

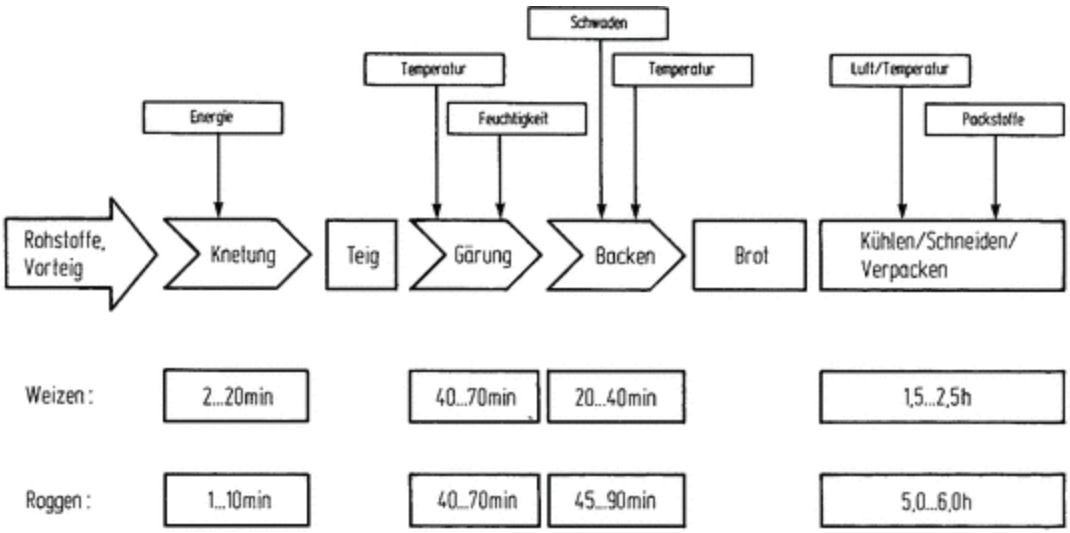


Abbildung 1: Grundschritte der Herstellung von Backwaren (SEIBEL und SPICHER, 1991)

2.2.2 Das Glutennetzwerk

In den Endospermzellen des Getreidekorns sind Kleberproteine als Partikel eingelagert. Wird ein Teig aus Weizenmehl und Wasser hergestellt, werden beim Knetprozess die Partikel und Aggregate hydratisiert und bilden durch ihre kohäsiven Eigenschaften eine netzartige Struktur. Dies wird auch Kleberbildung oder Bildung eines zusammenhängenden Glutennetzwerkes genannt (BELITZ et al., 2008).

Der Glutenkomplex besteht aus den beiden quellfähigen Speicherproteinen Gliadin und Glutenin. Das während der Fermentation entstehende Gas wird durch das Gluten zurückgehalten, was wiederum zur Ausbildung eines voluminösen Teiges führt (BELITZ et al., 2008; IDRISS, 2011).

Die Bestandteile des Klebers sind großteils die schon genannten Proteine (90 %; Gliadine und Glutenine), Lipide (8 %) und Kohlenhydrate (2 %). Die Kohlenhydrate werden in erster Linie von löslichen und unlöslichen Pentosanen vertreten, welche einen großen Teil des Wassers binden. Gemeinsam mit den Kleberproteinen sind die Lipide zu Lipoproteinen assoziiert. Auch Enzyme wie Proteinasen oder Lipoxygenasen kommen im Gluten vor. Verantwortlich für die viskoelastische Beschaffenheit und Kohäsivität eines Teiges sind die Kleberproteine verbunden mit den Lipiden. Durch sie erhält der Teig seine rheologischen Eigenschaften wie etwa das Gashaltevermögen und die Fähigkeit, beim Backen ein lockeres, poröses Gebäckstück mit elastischer Krume zu bilden (BELITZ et al., 2001). Durch ausreichende mechanische Bearbeitung und Energieeintrag in den Teig kommt es zur optimalen Ausbildung des Glutennetzwerkes, denn so bilden sich Disulfidbrücken zwischen den Kleberproteinen aus. Während die Glutenine für das elastische Verhalten des Klebers zuständig sind, sorgen die Gliadine für die plastischen Eigenschaften (KLINGER, 2010).

Diese oben genannten Eigenschaften besitzt nur Weizen. Roggen und andere Getreidearten können keinen solchen Kleber bilden. Für die Backfähigkeit bei Roggen sind Pentosane und bestimmte Proteine zuständig, die durch die Säuerung quellen und dadurch Gasrückhaltung ermöglichen (BELITZ et al., 2001).

2.2.3 Kleingebäck

Die Ausführungen in dieser Arbeit beschränken sich ausschließlich auf Kleingebäcke. Laut GRABOWSKI und ROLFE (2010) entsprechen Kleingebäcke im Wesentlichen der Definition von Brot. Sie unterscheiden sich nicht in den Bestandteilen des Teiges sondern in Form, Größe und Gewicht. Letzteres überschreitet bei Kleingebäcken 250 g nicht. Auch das Österreichische LEBENSMITTELBUCH (2010) definiert Gebäck ähnlich: Der Teig wird wie Brot in

kleinen Ausformungen hergestellt und das Gewicht beträgt in ausgebackenem Zustand in der Regel nicht mehr als 250 g.

Hauptsächlich wird Kleingebäck als Weißbackware hergestellt und angeboten, hierbei stammen mindestens 90 % des verwendeten Getreides aus Weizen. Einige Sorten bestehen aber auch aus Mischungen von Weizen- und Roggenerzeugnissen. Immer mehr in Vertrieb gebracht werden Vollkorn-Kleingebäcksorten (GRABOWSKI und ROLFE, 2010).

2.3 Tiefgefrorene Backwaren

2.3.1 Der Gefriervorgang

Nach WEISSER (1972) lässt sich der Gefriervorgang in drei Schritte unterteilen. Der erste Schritt ist das Abkühlen des Lebensmittels von der Ausgangstemperatur auf die Temperatur zu Gefrierbeginn. Das Gefrieren des größten Teils des gefrierbaren Wassers unter Entzug der Erstarrungswärme durch Senkung der Temperatur auf -10 °C stellt die zweite Phase dar. Den dritten Schritt macht das Nachkühlen bis auf die gewünschte, endgültige Temperatur aus. Abb. 2 stellt diesen Temperaturverlauf dar. Der Buchstabe „a“ steht dabei für „schnelles Gefrieren“, „b“ für „langsames Gefrieren“ und „c“ für den „kritischen Bereich“ (WEISSER, 1972).

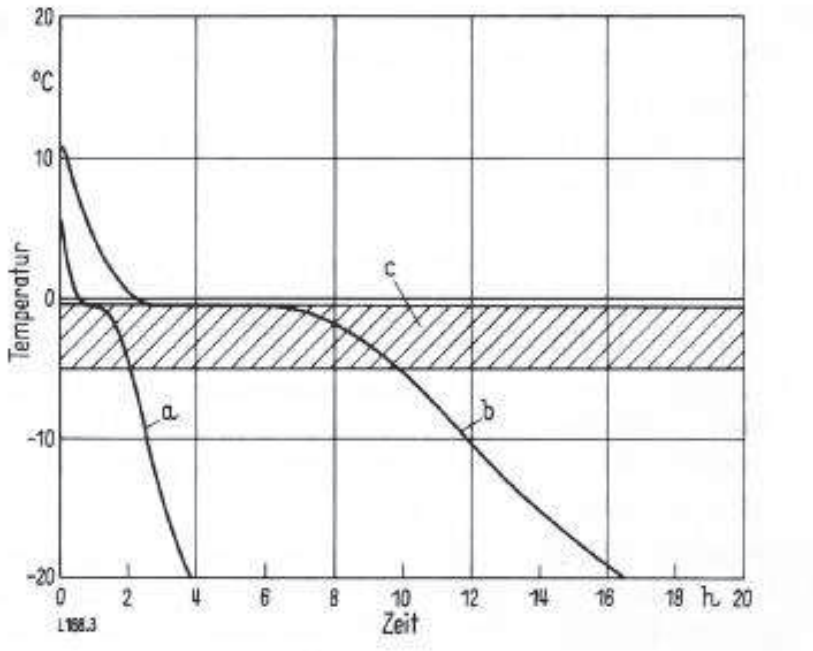


Abbildung 2: Temperaturverlauf beim TK-Vorgang (WEISSER, 1972)

2.3.2 Tiefkühlung von Backwaren

Wirtschaftlichkeit, die einfache Zubereitung und hohe Qualität des verarbeiteten Produktes sind u. a. Gründe, warum die TK-Industrie stetig wächst (SINGH, 2001; PHIMOLSIRIPOL et al., 2011). Neben Früchten, Gemüse, Säften, Fleisch und Milchprodukten nehmen mittlerweile Backwaren einen sehr großen Teil der tiefgekühlten Lebensmittel ein (SINGH, 2001).

Die großtechnische Produktion von TK-Backwaren begann in den 1950er Jahren und der Gebrauch davon nimmt seither stetig zu. Grund dafür ist vor allem, dass das konventionelle Brotbacken ein sowohl zeit- und arbeitsaufwendiger Prozess ist, aber auch eine gewisse Handfertigkeit erfordert. Außerdem hat Brot beziehungsweise Gebäck eine limitierte Haltbarkeit und verliert mit der Zeit seine sensorischen Eigenschaften. TK-Backwaren wiederum können ohne spezielle Anforderungen an Platz und Ausrüstung zubereitet werden, wann immer sie benötigt werden. Heutzutage werden sie am Lebensmittelmarkt mit zunehmender Häufigkeit eingesetzt - egal ob im Supermarkt, in Restaurants oder Caterings (GALIĆ et al., 2009).

Nach ROSELL und GÓMEZ (2007) sind gefrorene Backwaren bis zu sechs Monate haltbar. Eine Unterbrechung der Kühlkette während des Transports oder Temperaturschwankungen können diese Haltbarkeit allerdings verkürzen.

Die erhöhte Nachfrage nach TK-Backwaren in Europa hat u. a. folgende Ursachen:

- Der Wunsch nach Convenience-Produkten, welche schnell zubereitet und dem Kunden als „frisch“ angeboten werden können,
- die Nachfrage des Kunden nach einer großen Palette an Backwaren, deren Herstellung für einen (Klein-) Händler oft unprofitabel wäre, würde er diese selbst frisch zubereiten,
- das Ziel, unverkaufte und verschwendete Produkte zu vermeiden

Aus diesen Gründen wird auch erwartet, dass in den kommenden Jahren die Nachfrage nach TK-Backwaren weiterhin steigen wird (ALTAMIRANO-FORTOUL und ROSELL, 2010; SUN, 2012).

In Tab. 1 sieht man eine kurze Übersicht der Herstellungsweisen und Backtechnologien von Backwaren und TK-Backwaren. Von vollständig gebacken über teilweise gebacken, fermentiert oder nicht fermentiert - und diese jeweils nicht gefroren oder gefroren - gibt es eine breite Palette an Herstellungsprozessen (LE-BAIL und GABRIC, 2012). In den folgenden Kapiteln 2.3.3 „gefrorene Teiglinge“ und 2.3.4 „teilgebackene gefrorene Backwaren“ werden jene Gruppen etwas genauer beschrieben, mit denen bei dieser Masterarbeit gearbeitet wurde.

Tabelle 1: Übersicht über konventionelle und Bake-Off-Technologien (LE-BAIL und GABRIC, 2012)

Name	Acronym	Brief description of the process
Fully baked unfrozen or conventional	FB-U	Main steps are mixing – resting – dividing – shaping – fermentation – baking
Fully baked frozen	FB-F	FB-U process + freezing
Partially baked unfrozen	PB-UF	Baking is stopped before crust colouration and is stored at room temperature in modified atmosphere packaging
Partially baked frozen	PB-F	Partial baking is applied. Bread is then frozen and stored at freezing conditions (i.e. −20°C)
Unfermented frozen dough	U-FD	Dough is prepared, shaped and frozen. The fermentation before freezing should be reduced to a minimum. Baking is done after fermentation.
Pre-fermented or fermented frozen dough	PFF dough or F-FD	Dough is fermented partially. The partially fermented dough is then frozen. Rapid freezing is recommended. Final baking is done after a short fermentation.

2.3.3 Gefrorene Teiglinge

Wie man Tab. 1 entnehmen kann, gibt es bei der Kategorie der gefrorenen Teiglinge zwei Hauptgruppen. Die erste ist die des unfermentierten gefrorenen Teiges, auch „Grüne“ genannt. Dieser Teig wird - wie schon oben beschrieben - zubereitet, geformt und anschließend gefroren. Vor dem Backen findet dann die Fermentation statt (LE-BAIL und GABRIC, 2012).

Bei vorfermentierten TK-Teiglingen handelt es sich, wie schon dem Wort zu entnehmen ist, um Teig, der teilweise fermentiert ist. Nach einer teilweisen Fermentierung wird er tiefgefroren. An dieser Stelle ist ein schnelles Einfrieren von

großer Bedeutung. Die Fermentation vor dem Backen fällt dementsprechend kürzer aus als beim unfermentierten Teigling (LE-BAIL und GABRIC, 2012).

2.3.3.1 Vorteile von gefrorenen Teiglingen

Die Qualität von fertig zubereiteten Gebäcken aus gefrorenen, nicht fermentierten Teiglingen kommt der von konventionellen Produkten sehr nahe (LE-BAIL und GABRIC, 2012).

Vorfermentierter Teig hat als sogenanntes „ready to bake“- bzw. „oven rise“-Produkt den Vorteil, dass er schneller als nicht fermentierter Teig fertiggestellt werden kann. Aus diesem Grund sind diese Produkte immer stärker auf dem Markt vertreten. „Ready to bake“-Waren können vom Tiefkühler direkt in den Ofen gegeben werden (LE-BAIL und GABRIC, 2012).

2.3.3.2 Nachteile von gefrorenen Teiglingen

Im Gegensatz zu teilgebackenen gefrorenen Backwaren benötigen gefrorene Teiglinge eine beträchtlich längere Zubereitungszeit. Unfermentierte Teiglinge erfordern mindestens 2 – 3 h vom gefrorenen Zustand über die Fermentation bis zum fertig aufgebackenen Produkt. Auch der benötigte Platz, der für die Fermentation vor dem Backen unumgänglich ist, fällt bei den Teiglingen höher aus als bei Teilbackware. Außerdem gibt es oft Nachteile hinsichtlich des endgültigen Brot- oder Gebäckvolumens. Dafür sind zwei Hauptgründe verantwortlich. Einerseits gehen Teile der Hefeaktivität verloren und andererseits wird das Gashaltevermögen des Teiges eingeschränkt (LE-BAIL und GABRIC, 2012).

Vorfermentierter Teig ist sehr fragil, so können z.B. Gaszellen während der Tiefkühlung zusammenfallen. Für diesen negativen Effekt gibt es verschiedene Ursachen. Druckabfall bei der Kühlung, Kondensation der in den Zellen vorkommenden Feuchtigkeit und der Transfer von gasförmigem CO_2 in den Teig (in die flüssige Phase) aufgrund der Erhöhung der CO_2-Löslichkeit mit sinkender Temperatur sind ein paar davon. Es konnte auch eine Reduktion des finalen Teigvolumens bei Steigerung des Grades der Vorfermentation festgestellt werden (LE-BAIL und GABRIC, 2012).

2.3.4 Teilgebackene gefrorene Backwaren

2.3.4.1 Vorteile von teilgebackenen gefrorenen Backwaren

Ungefähr in den 1980er Jahren wurde diese neue Art von gefrorenen Backwaren, nämlich teilweise vorgebackene und anschließend gefrorene Backwaren von der Industrie entwickelt - sogenannte bake off-Produkte (LE-BAIL und GABRIC, 2012; SUN, 2012). Das Produkt wird vorbereitet, indem es bei moderaten Temperaturen nicht vollständig gebacken wird. Das somit teilweise gebackene Produkt erhält zwar eine durchlüftete Krume aber noch keine endgültig knusprige bzw. gefärbte Kruste. Danach kann das Gebäck gekühlt und/oder gefroren werden (ALTAMIRANO-FORTOUL und ROSELL, 2010). Das gefrorene Produkt kann dann jederzeit in den Ofen gegeben werden, wo Auftauen und Backen in einem Schritt durchgeführt werden. Bei diesem Schritt verdampft das Wasser von der Oberfläche und veranlasst folglich die Bildung der Kruste. Zusätzlich finden Maillard-Reaktionen und Karamellisieren statt, welche für die Färbung des Gebäcks und die Freisetzung von gewünschten Aromen verantwortlich sind (ALTAMIRANO-FORTOUL und ROSELL, 2010; SIDDIQUI und RAHMAN, 2015).

Sinn der bake off-Technologie ist, dass die technologischen und zeitaufwendigen Schritte im industriellen Maßstab vorbereitet werden können, während die letzten Vorbereitungen dort, wo der Verkauf stattfindet, mit sehr wenig Equipment und ungeschultem Personal durchgeführt werden können. Dies bringt wiederum Zeit- und Kostenersparnisse mit sich (LE-BAIL und GABRIC, 2012; CURIC et al., 2008; ROSELL und GÓMEZ, 2007). Im Allgemeinen beträgt die optimale Vorbackzeit etwa zwei Drittel der Gesamtbackzeit und es wird ein hoher Dampfgehalt für eine Optimierung der Kruste empfohlen (ROSELL und GÓMEZ, 2007). SIDDIQUI und RAHMAN (2015) haben in Abb. 3 die Hauptschritte der bake off-Technologie aufgezeigt.

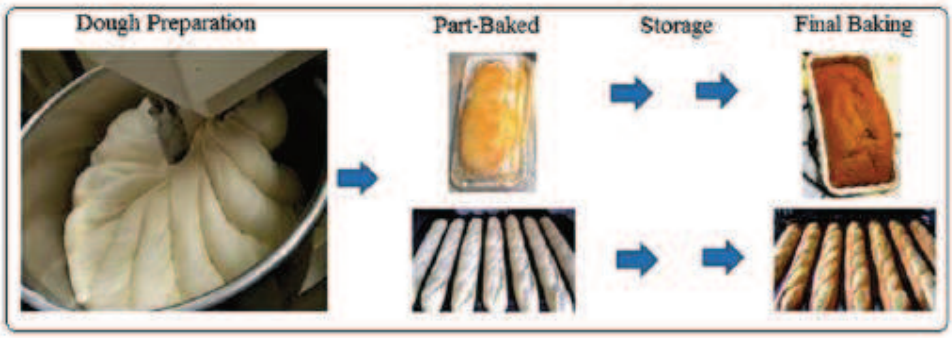


Abbildung 3: Fließschema eines teilweise gebackenen Produktes (SIDDIQUI und RAHMAN, 2015)

2.3.4.2 Nachteile von teilgebackenen gefrorenen Backwaren

Natürlich bringen gefrorene Backwaren nicht nur diese oben genannten Vorteile, sondern auch einige Nachteile mit sich. Zu diesen gehören u. a. der sehr schnelle Verlust der Knusprigkeit und ein erhöhtes Abblättern der Kruste nach dem Backen als auch der Verlust der Krumenqualität. All diese Nachteile können unter dem Begriff „Altbackenwerden“ zusammengefasst werden (ALTAMIRANO-FORTOUL und ROSELL, 2010; ROSELL und GÓMEZ, 2007). Aufgrund der nicht vollendeten Kruste, des hohen Feuchtigkeitsgehaltes und der daraus resultierenden Anfälligkeit auf mikrobielles Wachstum haben teilweise gebackene Erzeugnisse eine sehr niedrige Haltbarkeit. Vor allem Verderbsorganismen wie *Bacillus*-Stämme sind vorzufinden (ROSELL und GÓMEZ, 2007).

Gefrieren und Lagern von Produkten im gefrorenen Zustand beeinflusst die Qualität - vor allem von vorgebackenen Waren - stark. Die Fermentationszeit steigt mit der TK-Lagerung. Während der ersten elf Wochen können keine signifikanten Unterschiede zwischen Teigen festgestellt werden, jedoch ist nach dieser Zeit eine schnelle Verschlechterung bei Proben, die bei -20°C gelagert wurden, zu erkennen (ROSELL und GÓMEZ, 2007).

Abb. 4 skizziert die Entwicklung der Marktanteile zwischen 2006 und 2011. Hier kann man erkennen, dass in diesem Zeitraum vorgebackene, gefrorene Produkte um 33 % an Marktanteil zugenommen haben, gleiches gilt auch für Produkte der bake off-Technologie. Frische Ware hingegen ging um 5 % zurück. Die industrielle Herstellung beträgt 61 % (SUN, 2012).

Market Share Evolution between 2006 and 2011

	2006 (%)	2011 (%)	Relative Change (%)
Prepacked part baked/frozen	0.9	1.2	+33
Prepacked long life	10.0	10.3	+3
Bake Off technology	4.3	5.7	+33
Fresh finished	8.6	8.2	–5

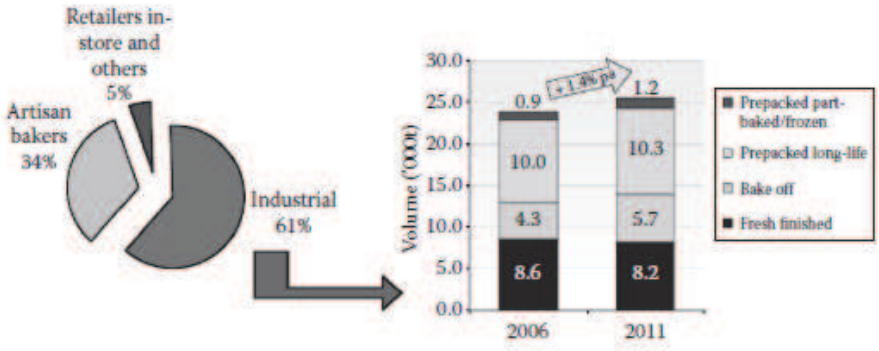


Abbildung 4: Entwicklung der Marktanteile zwischen 2006 und 2011 nach SUN (2012)

2.4 Einfluss der Tiefkühlung auf Backwaren

Es gibt viele Parameter, die Einfluss auf die Backeigenschaften von gefrorenem Teig haben. Zu diesen zählen:

- Grad der Fermentation vor dem Tiefkühlen
- Mischungsdauer und -intensität
- Gefriertemperatur
- Gefriergeschwindigkeit
- Lagerbedingungen
- Auftaugeschwindigkeit (LE-BAIL und GABRIC, 2012).

Bspw. konnte durch eine erhöhte Mischungsdauer ein höheres Brotvolumen festgestellt werden. Auch konnte bewiesen werden, dass das Gefrieren so schnell wie möglich nach dem Formen des Teiges passieren soll, um den Beginn einer Fermentation bei grünen Teiglingen geringzuhalten. Dies kann durch eine niedrigere Teigtemperatur erzielt werden. 20 – 22 °C am Ende des Mischvorganges wurden als optimal bewertet. Eine zu niedrige Temperatur wiederum beeinträchtigt den Aufbau des Glutennetzwerkes negativ. Während der Gefrierlagerung steigt der Gehalt an freiem, gefrierbarem Wasser. Dies führt zum

Austrocknen der Matrix und zu einer Veränderung der Teigrheologie (LE-BAIL und GABRIC, 2012).

Lange Lagerung im gefrorenen Zustand hat einen negativen Effekt auf die Backeigenschaften. Eine niedrigere Lagertemperatur (z.B. -25 °C) wird für längere Lagerdauern empfohlen. Temperaturen unter der Glasübergangstemperatur des Teiges erzielen die besten Ergebnisse, denn so wird die Mobilität des Wassers stark reduziert. Die Glasübergangstemperatur von Teig befindet sich bei unter -30 °C (LE-BAIL und GABRIC, 2012).

Auch die Bildung von Eiskristallen bei der Gefrierlagerung, sogenannten „ice clustern“, verändert die Teigeigenschaften und die Einheitlichkeit des Wassers in der Matrix. Die sogenannte Oswald-Reifung, welche zu einem Vergröbern der Kristalle führt, tritt bei verlängerter Lagerung auf. Aus der Matrix diffundiert Wasser zu „ice clustern“ und senkt die Teigdehnbarkeit. Gleichzeitig steigt der Gehalt an frei verfügbarem Wasser. Oft wird die Beigabe von Zusatzstoffen wie Hydrokolloiden empfohlen, um die negativen Auswirkungen des Gefriervorganges zu minimieren (LE-BAIL und GABRIC, 2012).

Die folgenden Kapitel beschreiben Probleme und Vorgänge, die beim Tiefgefrieren von Backwaren auftreten können und auf die sich die praktischen Versuche dieser Masterarbeit zum Teil spezialisieren.

2.4.1 Probleme bei TK-Backwaren

2.4.1.1 Temperaturschwankungen

PHIMOLSIRIPOL et al. (2008) evaluierten die Effekte der TK-Lagerung mit und ohne Temperaturschwankungen auf Qualität und Gewicht von Brot. Der Gewichtsverlust des Teiges und die Krumenfestigkeit stieg an, je länger die Lagerzeit betrug. Temperaturschwankungen von -18 ± 5 °C oder eine Lagerung bei höheren Temperaturen wie -13 °C oder -8 °C führten zu einem signifikant höheren Verlust an Brot- und Teigqualität als bei einer Lagerung bei konstanteren oder niedrigeren Temperaturen (PHIMOLSIRIPOL et al., 2008). Neben Temperaturschwankungen im Tiefkühler treten diese Probleme auch beim Transport der gefrorenen Ware auf (PHIMOLSIRIPOL et al., 2011). Auswirkungen auf das Volumen konnten ebenfalls festgestellt werden. Brote, die drei Wochen

unter stabilen Bedingungen gelagert wurden, hatten ein ähnliches Volumen wie jene, deren Lagerung nur eine Woche mit Unterbrechungen der Kühlkette stattfand (LE-BAIL und GABRIC, 2012). Diese Masterarbeit beschäftigt sich mit dem Einfluss von Temperaturschwankungen auf verschieden verpackte Backwaren in der Tiefkühlung.

2.4.1.2 Gefrierbrand bzw. Austrocknen der Backware

Ein weit verbreitetes Problem in der Lebensmitteltechnologie ist der Gefrierbrand, welcher Einfluss auf Textur, Farbe und Geschmack haben kann (SCHMIDT und LEE, 2009). Zwar ist rein mikrobiologisch betrachtet der Konsum von mit Gefrierbrand beeinträchtigten Lebensmitteln unbedenklich, jedoch kann die Essensqualität darunter leiden (SCHMIDT und LEE, 2009). Abdampfen von Wasser aus Lebensmitteln führt zu einem Gewichtsverlust und somit zu einer Qualitätsverschlechterung in Bezug auf ein niedrigeres spezifisches Volumen und eine härtere Krume. Daher ist es wichtig, dies so weit wie möglich zu minimieren (PHIMOLSIRIPOL et al., 2011; PHIMOLSIRIPOL et al., 2008). GIANNOU und TZIA (2007) fanden heraus, dass der Gewichtsverlust von gefrorenem Teig innerhalb von 270 Tagen bei 11 – 13 % liegt.

Der Feuchtigkeitsverlust auf Oberflächen von gefrorenen Lebensmitteln wird durch Sublimation hervorgerufen. Sublimation ist der direkte Phasenübergang von Eis, also vom festen Aggregatzustand, in die Gasphase. Im Gegensatz zur Sublimation findet bei der Verdampfung ein Übergang von flüssig in den Gaszustand statt. Sublimation und Verdampfung passieren an der Oberfläche, wo Moleküle entweichen, also an Energie zunehmen, oder kondensieren bzw. an Energie verlieren. Wenn ein Feststoff oder eine Flüssigkeit in einem geschlossenen System mit konstanter Temperatur enthalten ist, wird ein Equilibrium zwischen Dampfdruck der festen oder flüssigen Oberfläche und dem Gasraum des Behälters erreicht. Es besteht ein Gleichgewicht zwischen der die Oberfläche verlassenden und der an die Oberfläche zurückkehrenden Wassermoleküle. Der Dampfdruck dieses Equilibriums wird auch gesättigter Dampfdruck genannt und ist eine Funktion der Temperatur. Dieses Phänomen ist in Abb. 5 dargestellt (SCHMIDT und LEE, 2009).

Sublimation an der Oberfläche von Lebensmitteln tritt auf, wenn der Dampfdruck des Eises an der Oberfläche höher ist als jener des Wassers in der Luft. Das Eis sublimiert, um ein Gleichgewicht mit dem Dampfdruck des Wassers in der Luft zu erhalten. Gleichzeitig kondensiert der Wasserdampf an den kalten Oberflächen direkt zu Eis. Wie in Abb. 5 zu erkennen ist, hat das Eis an der kältesten Oberfläche den niedrigsten Dampfdruck (SCHMIDT und LEE, 2009).

Zusammengefasst läuft der Feuchtigkeitstransfer von Eis an der Lebensmitteloberfläche zu Wasserdampf in der Luft via Sublimation im Gefrierabteil ab. Durch Deposition (Ablagerung, Sedimentation) wird der Dampf wieder zu Eis. Dieser Vorgang ist in Abb. 6 schematisch dargestellt (SCHMIDT und LEE, 2009).

Die Qualität von gefrorenem Teig kann durch Kontrollieren des Frostverfahrens und der Lagerbedingungen verbessert werden (PHIMOLSIRIPOL et al., 2011). Oft wurde behauptet, dass Lebensmittel, welche mit einer Folie geringer Permeabilität verpackt werden, kein Gewicht verlieren. Jedoch wurde herausgefunden, dass hier häufig eine Dehydrierung an der Produktoberfläche stattfindet und sich innerhalb der Folie Frost bildet (LAGUERRE und FLICK, 2007). In dieser Masterarbeit liegt ein großer Fokus auf die Auswirkung verschiedener Lager- und Verpackungsparameter auf Backwaren in Bezug auf die Austrocknung.

Abbildung 5: Schematische Darstellung des Feuchtigkeitstransfers bei Gefrierbrand

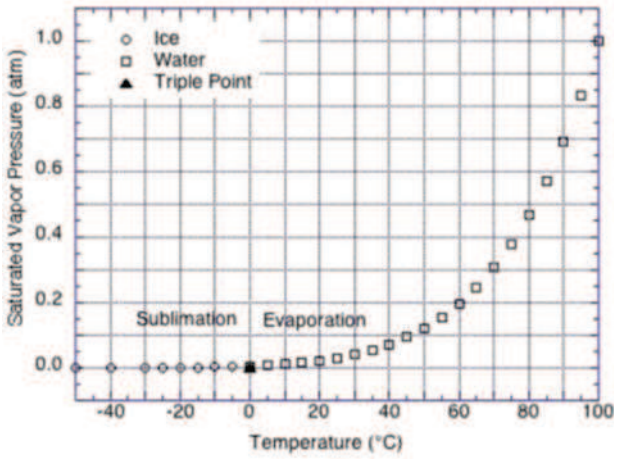


Abbildung 6: Gesättigter Dampfdruck von Eis und flüssigem Wasser als Funktion der Temperatur (SCHMIDT und LEE, 2009)

2.4.1.3 Lipidperoxidation

Die Lipidoxidation ist eine Kettenreaktion mit freien Radikalen und wird durch Luft, Licht, Temperatur, dem Anteil an ungesättigten Fettsäuren und der Art der Herstellung beeinflusst. Die Oxidation geschieht sowohl während der Lagerung als auch beim Backvorgang selbst (KOZŁOWSKA, 2014).

Von großer Wichtigkeit - besonders bei fettreichen Backwaren - ist die Zusammensetzung der Fettsäuren. Mehrfach ungesättigte Fettsäuren sind auf der einen Seite wichtige Nährstoffe, andererseits neigen sie auch zu oxidativen Reaktionen, welche die Qualität und die Eigenschaften der Ware beeinträchtigen und die Haltbarkeit reduzieren (ZAWADA et al., 2015; KOZŁOWSKA, 2014). Lipidperoxidation verursacht oxidativen Stress, welcher zu Ranzigkeit und unangenehmem Geschmack und Geruch sowie zu Veränderung von Farbe und Nährstoffverlusten führt (DAROUGHEH et al., 2014).

2.4.1.4 Altbackenwerden

Backwaren sind während ihrer Lagerung verschiedenen Veränderungen ausgesetzt und werden dadurch in ihrer Qualität, beginnend mit Altbackenwerden bis zum vollkommenen Verderb, beeinflusst. Beim Altbackenwerden wird die Kruste weicher und die Krume fester. Das Weichwerden der Kruste resultiert aus der Migration von Wasser aus der Krume in die Kruste. Jedoch ist das Hartwerden der Krume in größerem Umfang verantwortlich für das Altbackenwerden. Es ist ein komplexes Phänomen und unterliegt mehreren chemischen und physikalischen Mechanismen wie Feuchtigkeitsverlagerung, Austrocknen, Retrogradation der Stärke, erhöhter Festigkeit aber auch dem Verlust an Aroma und Geschmack. Getreidemehl als Komponente von Backwaren beinhaltet Kohlenhydrate, Proteine und Lipide oder Fette. Deshalb stellt Stärke den Hauptbestandteil in diesen Produkten dar und physikalische Veränderungen, die durch deren Retrogradation hervorgerufen werden, sind die Hauptgründe für das Altbackenwerden. In Abb. 7 ist der Mechanismus des Altbackenwerdens dargestellt (SIDDIQUI und RAHMAN, 2015).

Neue Methoden wie z.B. teilweises Backen von Backwaren können das Altbackenwerden hinauszögern (SIDDIQUI und RAHMAN, 2015). In dieser Masterarbeit werden Unterschiede zwischen teilgebackenem TK-Gebäck und nicht gebackenen Teiglingen ermittelt.

Wie schon in manchen Kapiteln erwähnt wurde, können diverse Verpackungen in der TK-Lagerung von Backwaren einen positiven Einfluss auf verschiedene Eigenschaften der Produkte haben. Im Kapitel 2.5 „Verpackungen“ werden die wichtigsten und gängigsten Verpackungsarten mit ihren Vor- und Nachteilen aufgezählt.

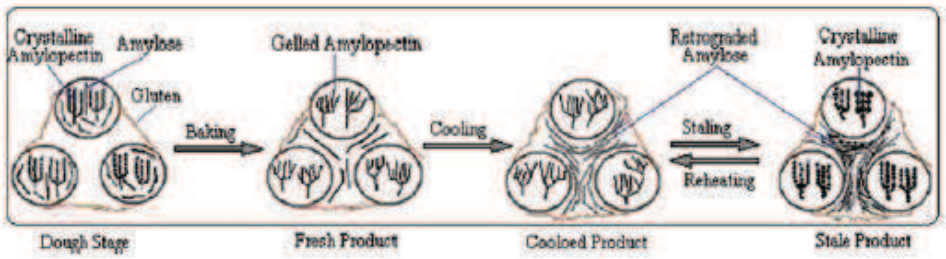


Abbildung 7: Mechanismus des Altbackenwerdens bei Backwaren (SIDDIQUI und RAHMAN, 2015)

2.5 Verpackungen

Aufgrund der oben genannten Probleme bezüglich Haltbarkeit und Sensorik von teilweise gebackenen und gefrorenen Backwaren wurden in der Literatur verschiedene Lösungsansätze durch Verpackungen vorgeschlagen. Ein Beispiel dafür ist die Verpackung des Produkts in modifizierter Atmosphäre, wie zum Beispiel 40 % CO_2 und 60 % N_2. Auch das Einhüllen in Polyethylen-Polyamid-Polyethylen-Vinylalkohol-Beutel, die 70 % CO_2 enthalten, kann die Haltbarkeit beträchtlich verlängern. Ein anderes Beispiel wäre die Lagerung von zum Teil gebackenen Backwaren bei niedrigen Temperaturen zwischen 2 und 6 °C. Dies trägt zur Haltbarkeitsverlängerung innerhalb von zehn Tagen bei. Am wichtigsten jedoch ist es, die Produkte bis zum Fertigbacken in gefrorenem Zustand zu belassen. Natürlich sollten auch die hygienischen Bedingungen in den Bäckereien stetig kontrolliert werden. Obwohl die meisten Mikroorganismen nicht bei TK-Temperaturen wachsen, können trotzdem einige Stämme die Konditionen

überleben. Hier reicht das Fertigbacken fallweise nicht aus, diese abzutöten, vor allem *Bacillus licheniformis*-Sporen (ROSELL und GÓMEZ, 2007).

Eine andere Eigenschaft der Verpackung ist das Überbringen von Information durch Marketing. Sie ist das Gesicht eines Produkts und beeinflusst den Konsumenten bei der Kaufentscheidung. Sie dient auch zur Information über Nährwert, Zutaten, Gewicht und Hersteller. Zu guter Letzt wird meist die Preisklasse durch die Verpackung ausgedrückt. All diese Punkte beeinflussen den Kunden stark bei dessen Kaufentscheidung (MARSH und BUGUSU, 2007).

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit Verpackung allgemein, der Verpackung von Backwaren und gibt eine Übersicht über die aktuell gängigsten Verpackungsarten und -methoden.

2.5.1 Verpackung und Haltbarkeit

Die Verpackung kann ein sehr wichtiger Faktor bezüglich der Haltbarkeit von aus Getreide hergestellten Waren sein. Veränderungen der Beschaffenheit sowie Verluste an Geschmack oder Geruch können ebenfalls durch die Anwendung einer optimalen Verpackung verringert werden (GALIĆ et al., 2009).

Um ein passendes Verpackungssystem für gefrorene Lebensmittel zu finden, müssen physikalische Eigenschaften, chemische Zusammensetzung und auch die mögliche Migration von Komponenten des Verpackungsmaterials berücksichtigt werden. Vor allem beim Gebrauch von Verpackungen aus Plastik ist letzteres von großer Bedeutung (GALIĆ et al., 2009).

Das Prinzip einer Lebensmittelverpackung ist es, Reaktionen zu minimieren, die sich negativ auf die Stabilität des Produktes auswirken. In vielen Fällen können die in der Umgebung anwesenden gasförmigen Reaktionspartner wie Wasserdampf und Sauerstoff die Stabilität unter den üblichen Bedingungen einschränken. Deshalb versucht man, die Transportrate dieser Reaktionspartner durch eine Barriere der Verpackung einzuschränken (GALIĆ et al., 2009).

Wie aus Tab. 2 zu entnehmen ist, sind die drei größten Konsequenzen, die bei fehlender Barriere durch eine passende Verpackung auftreten können, das Eindringen von Sauerstoff und Feuchtigkeit sowie der Feuchtigkeitsverlust. Im Falle des Eindringens von Sauerstoff können - je nach Zusammensetzung des

Produktes - Effekte wie die Fettoxidation, Beschädigung von Vitaminen durch Oxidation, Proteindenaturierung, Verunreinigung durch pH-Wert-Änderung, Beeinträchtigung des Aromas oder die Zerstörung von Emulsionen auftreten. Dringt Feuchtigkeit in die Verpackung ein, ist Mikroorganismenwachstum, Verlust von Eigenschaften wie Knusprigkeit und die Zerstörung des Produktes möglich. Tritt wiederum der Verlust an Feuchtigkeit auf, trocknet die Ware womöglich aus, sie verliert an Gewicht oder verändert ihre Konsistenz (RELLMANN und SCHENCK, 1992).

Natürlich ist für Lebensmittelhersteller eine angemessene Auswahl und Optimierung der Verpackungen von großer Bedeutung. Wirtschaft, Marketing, Logistik, Vertrieb, Konsumentenwünsche und der ökologische Einfluss von Verpackungen müssen hierbei stark miteinbezogen werden (GALIĆ et al., 2009).

Tabelle 2: Konsequenzen bei fehlenden Barriereeigenschaften (RELLMANN und SCHENCK, 1992)

Cause	Effect
Penetration of oxygen	Oxidation of fats (rancid taste)
	Destruction of vitamins by oxidation
	Denaturation of proteins
	Spoilage due to change in pH
	Increased growth of putrefactive organisms (infestation by mold fungus, development of bacteria)
	Destruction of aroma (organoleptic changes)
	Destruction of emulsions
Penetration of moisture	Growth of microorganisms (bacteria, mold and yeast)
	Loss of attributes such as crispiness
	Caking of loosely packed dehydrated foods
	Damage of products
Loss of moisture	Dry up
	Weight loss
	Change in consistency

2.5.2 Verpackung von Backwaren

Die Haltbarkeit von Backwaren wird zu einem großen Teil durch mikrobielles Wachstum, vor allem durch Schimmel, limitiert. Viele chemische Konservierungsstoffe werden von der Industrie eingesetzt, hierbei entgegenzuwirken. Auch das „Altbackenwerden“ ist ein wichtiger Punkt, welcher stark zur Unzufriedenheit des Kunden beiträgt. Das Ziel einer optimalen Verpackung von Backwaren ist es, deren frischen Zustand zu erhalten und ein zu schnelles Austrocknen zu verhindern. Gleichzeitig soll aber keine zu große Feuchtigkeitsbarriere nach außen vorhanden sein, welche das Wachstum von Schimmel fördern würde. Eine Möglichkeit ist das Verpacken mit Vakuum. Dieses ist aber oft nachteilig, da viele weiche Backwaren beschädigt werden. Für Fladenbrot oder Pizzateig wird es jedoch verwendet. Eine Alternative zur Vakuumverpackung ist es, die Atmosphäre in der Packung zu modifizieren. Eine Vielzahl von Gasgemischen, von 100 % CO_2 bis zu 50% CO_2 und 50 % N_2, wird angewendet, um die Haltbarkeit zu verlängern. Eine Ausdehnung der Haltbarkeit von drei Wochen auf drei Monate bei Raumtemperatur kann durch solche Mischungen erzielt werden (YAM, 2009).

2.5.3 Verpackung und Umwelt

Abb. 8 zeigt die möglichen Wechselwirkungen zwischen Umgebung und Lebensmitteln (SIDDIQUI und RAHMAN, 2015).

Die richtige Verpackung von Lebensmitteln spielt eine wichtige Rolle in der Versorgungskette. Durch Verpacken können Lebensmittel sicher geliefert und gelagert werden und ihre Haltbarkeit kann bis zum endgültigen Verzehr verlängert und gewährleistet werden. Jedoch muss hierbei eine Balance zwischen dem Schutz des Lebensmittels und vielen anderen Faktoren gefunden werden. Zu diesen zählen Energie- und Materialkosten, Vorschriften für Schadstoffe, Entsorgung, Siedlungsabfall und vor allem der damit verbundene negative Einfluss auf die Umwelt (MARSH und BUGUSU, 2007).

Jede Beurteilung des Einflusses von Lebensmittelverpackungen auf die Umwelt muss mit den positiven Auswirkungen dieser auf die Reduktion von Lebensmittelabfall in der Versorgungskette abgewogen werden. In vielen Ländern beträgt z.B. der Abfall von Obst und Gemüse zwischen 25 und 50 %. Grund dafür

sind hauptsächlich nicht ausreichender Schutz, Lagerung und Transport. Mit optimalen Verpackungen kann dieser Abfall durch Verlängerung der Haltbarkeit, die folglich verlängerte Verwendbarkeit und der Schutz vor mechanischen Einflüssen weitgehend verringert werden. Diese beiden Faktoren - Verpackungsabfall und Lebensmittelabfall - müssen stets verglichen werden (MARSH und BUGUSU, 2007).

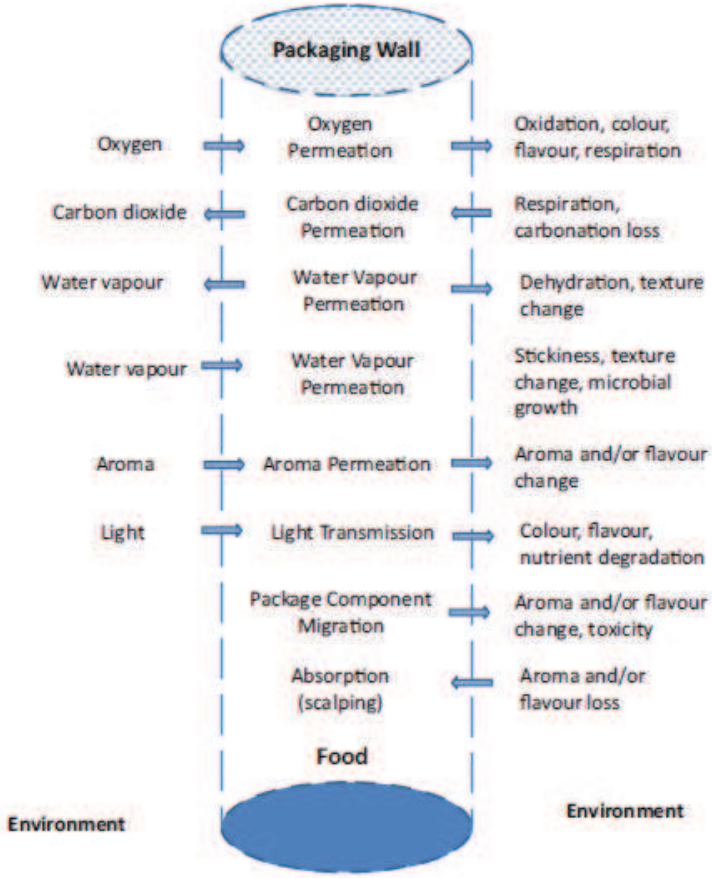


Abbildung 8: Wechselwirkungen zwischen Umwelt, Verpackung und Lebensmittel (SIDDIQUI und RAHMAN, 2015)

2.5.4 Verpackungsmaterialien

Die am häufigsten verwendeten Verpackungsmaterialien weltweit sind Kunststoff mit einem Anteil von circa 50 %, gefolgt von Metall, Glas, Papier und Karton (COOPER, 2013). Die wichtigsten Vertreter dieser Materialien werden im folgenden Kapitel genauer beschrieben.

2.5.4.1 Metall

Nach MARSH und BUGUSU (2007) ist Metall die vielseitigste aller Verpackungsarten. Es bietet eine Kombination aus Schutz und Barriereeigenschaften, Formbarkeit, kann recycelt werden und wird weitgehend vom Konsumenten akzeptiert. Die bei Verpackungen am häufigsten verwendeten Metalle sind Aluminium und Stahl.

2.5.4.2 Glas

Glas wird seit sehr langer Zeit als Lebensmittelverpackung verwendet. Die Produktion erfordert die Erhitzung einer Mischung aus Siliziumoxid (der Glasbildner), Natriumcarbonat (die Schmelzkomponente), Calciumcarbonat und Aluminiumoxid (die Stabilisatoren) bei hohen Temperaturen. Ist das Material zu einer dickflüssigen Masse geschmolzen, wird sie in Formen gegossen. Bei Lebensmittelverpackungen wird die Oberfläche des Glases oft gecoatet, um sie vor Kratzern und anderen mechanischen Einflüssen zu schützen. Da Glas geruchsneutral und chemisch inert ist, hat es viele Vorteile hinsichtlich der Verpackung von Lebensmitteln. Es ist für Gase und Dämpfe undurchlässig und erhält somit eine langanhaltende Frische, ohne dem Geschmack und Geruch zu schaden. Auch hohen Prozesstemperaturen kann Glas standhalten. Es ist transparent und - was ebenfalls von großer Bedeutung ist - wiederverwendbar und recycelbar. Zu den Nachteilen zählen das hohe Gewicht und die Bruchanfälligkeit (MARSH und BUGUSU, 2007).

2.5.4.3 Papier und Karton

Karton und Papier bestehen aus einem verflochtenen Netzwerk aus Zellulosefasern, die mithilfe von Sulfat und Sulfit aus Holz gewonnen werden. Die Fasern werden dann freigelegt, eventuell gebleicht und mit Chemikalien wie Schleimstoffen und Stärkungsmittel behandelt. Papier und Karton werden in der Lebensmittelindustrie für gewöhnlich für Schachteln, Milch- und Getränkekartons, Beuteln und Verpackungspapier verwendet (MARSH und BUGUSU, 2007).

2.5.4.4 Kunststoffe

Die meisten Plastikverpackungen werden aus Erdgas beziehungsweise Fraktionen des Erdöls hergestellt. Es dominieren einerseits Polyolefine wie Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und Polystyrol (PS) und andererseits

Polyester, überwiegend Polyethylenterephthalat (PET). Vorteile von Plastikverpackungen sind, dass sie ein geringes Gewicht aufweisen, individuell designt und für bestimmte Produkte maßgeschneidert werden können. Außerdem ist Plastik verhältnismäßig kostengünstig, sodass es im Durchschnitt weniger als 10 % des Gesamtpreises des Produktes ausmacht (COOPER, 2013). GALIĆ et al. (2009) fassen in Tab. 3 verschiedenen Verpackungsmaterialien zusammen, welche für Lebensmittel auf Getreidebasis verwendet werden.

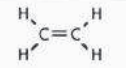
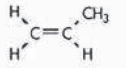
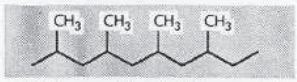
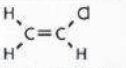
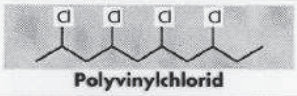
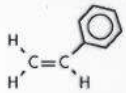
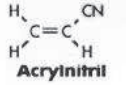
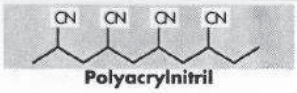
Neben den vielen Vorteilen bringen Kunststoffverpackungen u. a. aufgrund ihrer langsamen Zersetzungsrate in der Umwelt auch viele Probleme. In Europa werden rund 50 Millionen Tonnen an Kunststoff für Verpackungen eingesetzt. Nur ca. 10 % davon werden wiederverwendet, recycelt oder zur Energiegewinnung verbrannt. Lediglich PET- und high-density Polyethylen-Flaschen (HDPE) weisen hohe Recyclingraten von über 40 % auf. Weniger als 10 % der anderen Verpackungsmaterialien werden recycelt, hauptsächlich aufgrund problematischer Eintreibung, Sortierung oder Vermischung der Kunststoffe (COOPER, 2013).

BERGMAIR (2014) hat in Tab. 4 die für Verpackungen wichtigsten Monomere, deren Polymere, Abkürzungen, Herstellverfahren und Produkte abgebildet.

Tabelle 3: Verpackungsmaterialien für Lebensmittel mit Getreidebasis (GALIĆ et al., 2009)

Food application	Packaging materials	Packaging material abbreviations
Fresh bread, sandwich	Waxed paper	
	Nitrocellulose coated cellophane	MS
	Low density polyethylene	PE-LD
	Polypropylene	PP
Bread bags, sandwich bags, frozen food bags	Linear low density polyethylene	PE-LLD
Crusty bread, pies,	Cellulose/Polyethylene/Cellulose	Cellulose/PE/Cellulose
Bread crumbs	Polyethylene/Polypropylene	PE/PP
Biscuits	Paper/ Poly(vinilydene chloride)/Polyethylene	PAP/PVDC/PE
	Paper/Polyethylene/ Poly(vinilydene chloride)	PAP/PE/PVDC/
	Oriented polypropylene/ Oriented polypropylene	OPP/OPP
	Oriented polypropylene/Paper	OPP/PAP
	Oriented polypropylene /Paper/Aluminium foil	OPP/PAP/Alu
	Oriented polypropylene/Aluminium foil/Hotmelt	OPP/Alu/Hotmelt
	Coextruded oriented polypropylene/ Coextruded oriented polypropylene	OPPcoex/OPPcoex
	Coextruded oriented polypropylene/ Coextruded metallized oriented polypropylene	OPPcoex/OPPcoex.met.
	Poly(vinylidene chloride) coated cellophane	MXXT
Cakes, biscuits,	Aluminium foil/Paper	Alu/PAP
Crisps, snack foods, biscuits,	Poly(vinilydene chloride) coated polypropylene/ Polyvinilydene chloride coated polypropylene	PVDC-PP/PVDC-PP
Cereal meals	Paper/Polyethylene	PAP/PE
Baked products	Poly(ethylene terephthalate) /Polyethylene	PET/PE
	Polyamide (Nylon)/ Low density polyethylene	PA/PE-LD
MAP - Baked products	Polypropylene/ Ethylene vinyl acetate	PP/EVAC
	Metallized poly(ethylene terephthalate) /Polyethylene	PETmet/PE
	Polypropylene/Low density polyethylene/Ethylene vinyl acetate	PP/PE-LD/EVAC
	Oriented poly(ethylene terephthalate)/ Polyvinilydene chloride/ Polyethylene- Poly(vinyl chloride)/ Polyethylene	OPET/PVDC/PE-PVC/PE
	Oriented metalized poly(ethylene terephthalate)/ Polyethylene	OPETmet./PE
	Oriented poly(ethylene terephthalate)/ Polyvinilydene chloride/ Polyethylene	OPET/PVDC/PE
	Polyamide/ Polyethylene	PA/PE

Tabelle 4: Übersicht über einige Kunststoff-Polymere (BERGMAIR, 2014)

Monomeres	*Polymeres*	*Abkürz.*	*Herstell-Verfahren*	*Produkte*
 Ethylen (Ethen)	Polyethylen (Polyethen)	**PE** (HDPE) (LDPE)	Gasphasenpolymerisation (Gasphasenpolymerisation) (Fällungspolymerisation)	*Daplen PE (Ö) Lupolen Hostalen*
 Propylen (Propen)	 Polypropylen (Polypropen)	**PP**	Gasphasenpolymerisation Suspensionspolymerisation Flüssigpropylen-Verfahren	*Daplen PP (Ö) Hostalen PP Novolen*
 Vinylchlorid	 Polyvinylchlorid	**PVC**	Emulsionspolymerisation Suspensionspolymerisation	*Solvic (Ö) Hostalit Vestolit*
 Styrol	Polystyrol	**PS**	Suspensionspolymerisation Lösungspolymerisation Blockpolymerisation	*Sunpor (Ö) Hostyren* Schaumstoff *Ökopor (Ö) Styropor*
 Acrylnitril	 Polyacrylnitril	**PAN**	Fällungspolymerisation	*Dralon Orlon*

2.5.4.4.1 Polyethylen (PE)

In der Verpackungsindustrie werden hauptsächlich drei Typen von PE verwendet: high-density Polyethylen (HDPE), linear low-density Polyethylen (LLDPE) und low-density Polyethylen (LDPE) (COOPER, 2013).

2.5.4.4.1.1 High-density Polyethylen (HDPE, PE-HD)

HDPE ist das am zweithäufigsten verwendete Verpackungsmaterial nach PET. Es besteht aus linearen Kohlenwasserstoffketten und wird durch Niederdruck-Polymerisation gewonnen. Durch die geringe Verzweigung sind die Ketten dicht gepackt und bilden beim Abkühlen von der Schmelze eine große Fraktion geordneter kristalliner Regionen (Lamellen). Aus diesem Grund sind HDPE-Polymere hochkristalline, lichtdurchlässige oder lichtundurchlässige Materialien. Sie besitzen eine hohe Dichte (0,940-0,965 $g \cdot cm^{-3}$) und Zugfestigkeit und haben höhere Schmelzpunkte als andere PE-Typen (COOPER, 2013; SIDDIQUI und RAHMAN, 2015).

Eine andere Ausprägung stellt medium-density Polyethylen (MDPE) dar. Es weist eine Dichte von 0,926-0,940 $g \cdot cm^{-3}$ auf und ist durch die Einbindung von wenigen α-Olefin-Comonomeren etwas verzweigter als HDPE. Es besitzt eine bessere Stoßfestigkeit und Spannungsrissbeständigkeit als HDPE (COOPER, 2013).

2.5.4.4.1.2 Linear low-density Polyethylen (LLDPE)

LLDPE wird durch einen ähnlichen Prozess wie HDPE polymerisiert. Jedoch wird die kontrollierte Kurzkettenverzweigung durch Einbinden kleiner Mengen (1-10 %) α-Olefin-Comonomere wie 1-Buten, 1-Hexen oder 1-Okten eingeleitet. Die Eigenschaften von LLDPE sind sowohl vom Comonomertyp und -gehalt als auch vom Molekulargewicht und der Dichte abhängig. Wird der Anteil an Comonomeren erhöht, sinkt die Dichte und Kristallinität. Etliche Materialeigenschaften wie Hitzeresistenz, Zugfestigkeit, Kriechfestigkeit, Härte, Stoßfestigkeit, chemische Beständigkeit, Lösungsmittelbeständigkeit und Barriereeigenschaften gegenüber Sauerstoff und Wasserdampf werden dadurch gesenkt. Die Transparenz wird dabei jedoch erhöht (COOPER, 2013).

Die größten Anwendungsbereiche von LLDPE sind Folien und Platten. Grund dafür ist die höhere Transparenz als bei HDPE. Außerdem haben sie im Gegensatz zu LDPE eine höhere Reiß- und Zugfestigkeit, Dehnbarkeit und Durchstoßfestigkeit. Jedoch ist LLDPE nicht so einfach herzustellen wie LDPE und wird deshalb oft in Kombination mit LDPE verwendet. In diesem Fall liefert LLDPE die Stabilität und LDPE die Heißsiegelfähigkeit und Verarbeitbarkeit (COOPER, 2013).

2.5.4.4.1.3 Low-density Polyethylen (LDPE, PE-LD)

Hier wird bei der Herstellung ein anderer Prozess als bei HDPE oder LLDPE angewendet. Es wird eine Polymerisation von Ethylen durch Hochdruck und freie Radikale erwirkt.
Der Werkstoff ist hochverzweigt und beinhaltet Langkettenverzweigungen. Die Ketten sind nicht so eng gepackt wie bei HDPE, was zu einer geringeren Kristallinität und somit zu einem niedrigeren Schmelzpunkt, niedrigerer Dichte (0,91-0,94g·cm^{-3}) und Zugfestigkeit, aber auch gesteigerter Elastizität, Formbarkeit, Transparenz und höherem Glanz führt. LDPE wird für flexible Blasfolien, Säcke, Beutel, starre Behälter, Flaschen, sowie Verschlüsse für diverse Verpackungen eingesetzt (Tab. 5). Der Verpackungscode für LDPE ist in Abb. 9 zu sehen (COOPER, 2013; SIDDIQUI und RAHMAN, 2015). In dieser Arbeit wurden LDPE-Beutel für die Hauptversuche verwendet.

Tabelle 5: Eigenschaften von LDPE (COOPER, 2013; SIDDIQUI und RAHMAN, 2015)

Eigenschaften der Folie	Vorteile
Hochverzweigt mit Langkettenverzweigungen, jedoch nicht so eng wie HDPE	Geringere Kristallinität, niedrigerer Schmelzpunkt, niedrigere Dichte (0,91-0,94g·cm^{-3}) und Zugfestigkeit
	Gesteigerte Elastizität, Formbarkeit, Transparenz und Glanz
	Verwendet für flexible Blasfolien, Säcke, Beutel, starre Behälter, Flaschen, Verschlüsse

Abbildung 9: Recyclingcode für LDPE (umweltberatung.at, 2016)

2.5.4.4.2 Polypropylen (PP)

PP ist ein semikristallines Polymer, welches durch Homopolymerisation oder Copolymerisation von Propylen mit einem geringen Anteil an Ethylen-Comonomer hergestellt wird. Aufgrund seiner geringen Dichte (niedriger als bei HDPE und LLDPE) und des niedrigen Preises ist es in seiner Verwendung weit verbreitet. Viele Optimierungen in den letzten Jahrzehnten führten zu höherer Schmelzfestigkeit bei Folien und Schäumen und höheren Wärmeformbeständigkeiten (COOPER, 2013).

Es gibt drei stereochemische Formen von PP, nämlich isotaktisch, syndiotaktisch und ataktisch. In der Verpackungstechnik werden nur isotaktische PP, welche durch die Ziegler-Natta Katalyse hergestellt werden, verwendet. Es werden sowohl Homopolymere als auch beliebige Copolymere verwendet, wobei das Comonomer hauptsächlich Ethylen ist, um die hohe Kristallinität, welche durch das Homopolymer PP erzeugt wird, zu reduzieren. Die Copolymere haben eine höhere Transparenz und Elastizität und einen tieferen Schmelzpunkt als das Homopolymer PP (COOPER, 2013).

Diese genannten Polyolefine gehören zu den am häufigsten Verwendeten Materialien von Folien. Eine Folienart, die bei Verpackungen oft angewendet wird, ist die Schrumpffolie. Die wichtigsten Eigenschaften werden in Tab. 6 zusammengefasst (SAROPACK, 2016). In dieser Masterarbeit wurde diese Folie bei den Hauptversuchen verwendet.

Wie in Tab. 6 ersichtlich, hat diese Schrumpffolie sehr viele Vorteile beim Verpacken von Lebensmitteln. Sie weist eine geringe Schrumpfspannung auf, passt sich aber trotzdem gut und eng an das Lebensmittel an. Somit wird einerseits eine Beschädigung des Produktes verhindert, andererseits ist es eine eng anliegende Folie, die annähernd keinen Kopfraum zulässt. Das Material ist ein elektronisch vernetztes Polyolefin, welches trotz einer sehr dünnen Beschaffenheit überaus widerstandsfähig ist. Auch das Verschweißen funktioniert einwandfrei und beim Schrumpfen passt sich die Folie sehr gut an jede Produktform an. Diese Verpackung ist lebensmittelrechtlich unbedenklich. Sie entspricht der europäischen Gesetzgebung und den Vorschriften der Food and Drug Administration (FDA) 21 CFR. Auch im Gefrierbereich ist sie temperaturbeständig

und wird nicht brüchig, was sie für den Einsatz für TK-Produkte gut einsetzbar macht. Weitere, technische Daten sind aus dem Foliendatenblatt im Anhang zu entnehmen (SAROPACK, 2016).

Tabelle 6: Eigenschaften der Schrumpffolie

Eigenschaften der Folie	Vorteile
Niedrige Schrumpfspannung	Verhindert Verbiegen oder Deformation des Packgutes
Sehr widerstandsfähiges, elektronisch vernetztes Polyolefin	Sicherheit, Beständigkeit, weniger Ausschuss, Verwendung von dünnerer Folie trotzdem sehr stabil, hohe Präzisierung der Eigenschaften
Ausgezeichnete Schweißnaht- und Weiterreißfestigkeit	Hohe Packungssicherheit, Schweißnähte reißen nicht auf, schöne Verpackung, höhere Produktivität
Vielseitig einsetzbar, sehr gute Maschinengängigkeit	Multifunktional, Folie für viele verschiedene Anwendungen, einfach in der Verarbeitung, hohe Verpackungsleistung
Außergewöhnliche Schrumpfeigenschaften	Legt sich formschön an das Produkt, schöne Verpackung auch für schwierige Produktformen
Schrumpft bereits bei tieferen Temperaturen	Schont den Energieverbrauch und das Produkt, steigert die Verpackungsleistung an der Maschine
Gute Transparenz	Starke Wirkung des verpackten Produktes in der Auslage
Konstante, starke Schweißnähte	Hohe Packungssicherheit, Schweißnähte reißen nicht auf, schöne Verpackung, höhere Produktivität
Lebensmitteltauglich	Zertifiziert gegenüber Konsument
Temperaturbeständig, auch im Gefrierbereich	Vorteil bei TK-Produkten, Folie wird nicht brüchig

2.5.4.4.3 Polystyrol (PS)

Für Verpackungen eingesetztes Polystyrol ist ein unregelmäßiges, amorphes Polymer, das durch Polymerisation mit freien Radikalen von Styrol in flüssigem Zustand oder in einer Suspension hergestellt wird. Es hat geringe Barriereeigenschaften für Wasserdampf, Sauerstoff und Kohlendioxid (COOPER, 2013).

2.5.4.4.4 Polyester

Polyester werden durch die Reaktion eines Diols mit einer dibasischen Säure hergestellt. Copolyester werden durch Verwendung von Mischungen aus Diolen, dibasischen Säuren oder beidem gewonnen. Bei Verpackungen werden sowohl semikristalline als auch amorphe Formen bei angewendet (COOPER, 2013).

2.5.4.4.4.1 Polyethylenterephthalat (PET)

PET ist der gängigste Thermoplast für Verpackungen. In den 1970ern sind diese Polymere mit hohem Molekulargewicht verfügbar geworden, welche es ermöglichen, transparentes und leichtes Material für Flaschen als Glasersatz zu produzieren. PET ist, ähnlich wie Glas, sehr resistent gegenüber

mikrobiologischem Befall und reagiert nicht mit Lebensmitteln. Heutzutage ist die Verwendung von PET bei der Flaschenherstellung ubiquitär (COOPER, 2013).

2.5.4.4.5 Ethylenvinylacetat (EVA)

EVA-Copolymere sind zufällig angeordnete, lineare Copolymere. Sie werden durch Copolymerisation von Ethylen und Vinylacetat hergestellt, entweder in einem Hochtemperatur- und Hochdruckprozess mit freien Radikalen, oder, für Produkte mit hohem Vinylacetat-Anteil, in Emulsion. Die Materialeigenschaften sind größtenteils vom Molekulargewicht und dem Anteil von Vinylacetat abhängig. Handelsüblich sind sie mit einem Anteil von 5 – 50 %, diejenigen mit 5 – 20 % werden bei Verpackungen, darunter auch Lebensmittelverpackungen, verwendet (COOPER, 2013).

2.5.4.4.6 Ethylen-Vinylalkohol (EVOH)

Diese Copolymere sind als polymere Sperrschichten in mehrlagigen Verbundfolien-Verpackungen bei Folien und Formen weit verbreitet. EVOHs sind hochkristalline, regellose Copolymere aus Ethylen und Vinylalkohol-Gruppen, bei welchen Wasserstoffbindungen durch hochpolare Hydroxylgruppen die intermolekularen Interaktionen und die Hydrophilie erhöhen. Da Vinylalkohole nicht als diskrete, polymerisierbare Monomere vorkommen, werden EVOH-Polymere hergestellt, indem Ethylen mit Vinylacetat polymerisiert wird und anschließend Vinylacetat zu Vinylalkohol hydrolysiert wird (COOPER, 2013).

EVOH weist eine sehr gute Barriere gegen Sauerstoff, Kohlendioxid und organoleptische Stoffe wie Aromen oder Gerüche auf (COOPER, 2013; SIDDIQUI und RAHMAN, 2015). Außerdem besitzt dieser Stoff einen sehr guten Widerstand gegenüber Lösungsmitteln, Ölen und organischen Dämpfen. Aus diesem Grund werden EVOH-Polymere als Schutzschichten für Lebensmittel- und Getränkeverpackungen eingesetzt, wo Sauerstoff vom Produkt ferngehalten werden und Kohlendioxid in der Verpackung bleiben soll (COOPER, 2013).

Tab. 7 fasst die wichtigsten und derzeit am häufigsten verwendeten Verpackungsmaterialien mit ihren Hauptmerkmalen zusammen. Die Werkstoffe werden entweder einzeln oder gemischt auch mehrschichtig angewendet, um die

gewünschten physikalischen und mechanischen Barriereeigenschaften zu erlangen.

Tabelle 7: Hauptaufgaben der am häufigsten verwendeten Verpackungsmaterialien bei Lebensmitteln (SIDDIQUI und RAHMAN, 2015)

Packaging material	Abbreviation	Primary function
Aluminium	Al	High barrier
Glass	–	High barrier
Low density polyethylene	PE-LD	Sealing layers
High density polyethylene	PE-HD	Moisture barrier, rigidity, microwave capability, sealing layers
Oriented polyamide	OPA	Gas barrier
Amorphous polyester	APET	Rigidity, gas barrier
Crystallized polyethylene terephthalate	CPET	Rigidity, high temperature resistance, gas barrier
Ethylene-vinyl acetate	EVA	Sealing layers
Ethylene-vinyl alcohol	EVOH	Gas barrier
Oriented polyethylene-terephthalate	OPET	High temperature resistance, flexibility, puncture resistance, gas barrier
Oriented polypropylene	OPP	Moisture barrier, flexibility, puncture resistance
Polyamide (nylon)	PA	Temperature resistance, flexibility, toughness, partial gas barrier
Poly acrylonitrile	PAN	Gas barrier
Polyethylene terephthalate (polyester)	PET	Rigidity, some gas barrier
Polypropylene	PP	Moisture barrier, rigidity
Polystyrene	PS	Rigidity
Polyvinyl chloride	PVC	Rigidity, gas barrier
Polyvinylidene chloride	PVdC	Moisture barrier, gas barrier

2.5.4.5 Aktive Verpackungen

Auch bekannt unter kommunikative, interaktive oder intelligente Verpackungen können aktive Verpackungen Umweltveränderungen erkennen und diese so modifizieren, dass sie sich positiv auf das Produkt auswirken. Dieses neuwertige Konzept schafft viele Möglichkeiten, die Haltbarkeit des Lebensmittels zu verlängern und Prozesse und den Lebensmittelkonsum zu erleichtern. Dies wird durch Integrieren verschiedener Wirkstoffe wie z.B. antimikrobielle Agenzien, Antioxidantien, Ethylen-, Sauerstoff- oder Feuchtigkeits-Scavenger, Fehlaromen-Absorber oder Ethylen-Emitter erreicht (SIDDIQUI und RAHMAN, 2015).

2.5.4.5.1 Scavenger-Systeme

Diese Systeme können Sauerstoff und Ethylen entfernen. Sie wurden entwickelt, um die Haltbarkeit von sauerstoffsensitivem Material zu verlängern und Reifung von verpacktem Obst und Gemüse zu verzögern (COOPER, 2013).

2.5.4.6 MAP (modified atmosphere packaging)

Backwaren unterliegen dem Hang zu Feuchtigkeitsverlust, oxidativer Ranzigkeit und mikrobiellem Verderb (YAM, 2009). Sauerstoff ist eine optimale Voraussetzung für das Wachstum von aeroben Mikroorganismen. Die reguläre Zusammensetzung der Luft liegt ungefähr bei 20,9 % Sauerstoff (O_2), 78 % Stickstoff (N_2) und 0,03 % Kohlendioxid (CO_2). Beim Verpacken mit modifizierter Atmosphäre wird gezielt Sauerstoff durch andere Gase, wie zum Beispiel CO_2, ersetzt und dadurch vor allem mikrobielles Wachstum innerhalb der Verpackung verhindert bzw. eingeschränkt. Dies wirkt sich folglich positiv auf die Haltbarkeit und die Verhinderung von Produktverlusten aus. Für jedes Produkt gibt es verschiedene optimale Zusammensetzungen der modifizierten Atmosphäre (SIDDIQUI und RAHMAN, 2015).

Es ist wichtig, den Einfluss jedes Gases auf die Qualität und Haltbarkeit des Lebensmittels zu kennen. CO_2 (≥ 20 %) ist erforderlich, um mikrobielles Wachstum zu hemmen. Zu hohe Konzentrationen an CO_2 innerhalb der Packung können jedoch Geschmacksbeeinträchtigungen oder Zusammenfallen der Verpackung hervorrufen. Das Inertgas N_2 wird hauptsächlich verwendet, um Sauerstoff zu verdrängen und Fehlgeschmack und Oxidation zu verhindern. Bei höherem CO_2-Gehalt ist es seine Funktion, dem Zusammenfallen der Verpackung entgegenzuwirken, welches durch die Absorption von CO_2 hervorgerufen wird (SIDDIQUI und RAHMAN, 2015).

Die Kombination von N_2 und CO_2 wird oft angewendet, um O_2 zu ersetzen und ebenfalls Bakterien- und Schimmelwachstum aufgrund der Gegenwart von CO_2 zu unterdrücken. Auch Sauerstoffabsorber, CO_2-Generatoren und Ethanol-Emittierer werden sehr häufig - vor allem in Japan oder anderen Gegenden von Asien - genutzt (YAM, 2009).

2.5.4.7 Vakuumverpackungen

Diese Technik wird im Lebensmittelbereich vor allem zur Entfernung der Atmosphäre verwendet. Im Wesentlichen wird Sauerstoff vom Kopfraum der Verpackung entfernt und somit Oxidationsreaktionen wie der Fettoxidation, dem Verlust verschiedener Vitamine oder Farbe und oxidativer Bräunung vorgebeugt. Zudem wird dem Verderb des Produkts durch Mikroorganismen, wie z.B. Schimmel, entgegengewirkt. Ein weiterer Vorteil von Vakuumverpackungen ist die Volumenreduktion und die Stabilität (SIDDIQUI und RAHMANN, 2015; YAM, 2009).

2.5.4.8 Verpackungsarten für die Mikrowelle

Ein großer Teil dieser Arbeit ist die Untersuchung der Zubereitung teilgebackener Backwaren in der Mikrowelle. Das Verpackungsmaterial für Speisen, die in der Mikrowelle zubereitet werden, muss die passenden thermischen und elektrischen Merkmale aufweisen. Diese lassen sich in drei Gruppen einteilen – die transparenten Materialien, Absorber und Suszeptoren und die Reflektoren (LEFEUVRE und AUDHUY-PEAUDECERF, 1994).

2.5.4.8.1 Transparente Materialien

Transparentes Material wie Glas, Kunststoff oder Papier ist dielektrisch, verdeckt das Lebensmittel und ruft leichte Probleme hervor, da die Dicke verglichen mit der Wellenlänge gering ist. Es besteht eine hohe elektromagnetische Unstetigkeit zwischen Produkt und Umgebungsluft, da die Leitfähigkeit von Lebensmitteln hoch ist und durch diese Verpackung kaum modifiziert wird. Für gewöhnlich sind transparente Materialien auch wärmeisolierend. So wird eine geschlossene Verpackung z.B. die Verdampfung von Wasser verhindern, den Druck erhöhen und die Temperaturgradienten im Lebensmittel modifizieren (LEFEUVRE und AUDHUY-PEAUDECERF, 1994).

2.5.4.8.2 Absorber und Suszeptoren

Diese Materialien können einen Teil der Mikrowellenenergie in Wärmeenergie umwandeln. Zu diesen Substanzen zählen Oxide, Glas, Keramik und Ton, aus welchen oft Bräunungsplatten hergestellt werden (LEFEUVRE und AUDHUY-PEAUDECERF, 1994).

Seit Ende der 1970er Jahren werden Suszeptoren in Zusammenhang mit mikrowellentauglichen Lebensmitteln und aktiver Verpackung verwendet (ČESNEK et al., 2003). Die heute eingesetzten Suszeptoren bestehen aus dünnen Schichten leitendem Material, wie z.B. Aluminium, das auf einem dielektrischen Körper aufgedampft wird. Handelsüblich werden Suszeptoren aus einer mit Aluminium metallisierten PET-Folie verwendet, die auf ein formstabiles Substrat wie bspw. Papier oder Karton aufgebracht wurde (ČESNEK et al., 2003; LEFEUVRE und AUDHUY-PEAUDECERF, 1994; BUCHNER, 1999; Abb. 10). Durch die Leitfähigkeit und Polarisation des Suszeptormaterials wird Wärmeenergie im Mikrowellenfeld erzeugt (ČESNEK et al, 2003). Die Suszeptoren leiten Mikrowellenenergie teilweise unverändert in das Lebensmittel und teilweise wird die Energie in Infrarotlicht umgewandelt, welches durch die Oberfläche abgeleitet wird und eine Bräunung verursacht. Der größte Nachteil von Suszeptoren ist, dass sie sich aufheizen und deshalb ein Wirkungslimit haben. Im Gegensatz zu ihnen ist Keramik bei sehr hohen Temperaturen noch beständig (LEFEUVRE und AUDHUY-PEAUDECERF, 1994). Durch unterschiedliche optische Dichten (O.D.) werden verschiedenen Temperaturen erreicht. Je höher O.D. ist, umso höhere Endtemperaturen können erreicht werden. So hat z.B. BUCHNER (1999) beschrieben, dass bei einer optischen Dichte von 0,12 einen Endtemperatur von 205 °C erreicht werden kann, eine O.D. von 0,19 erhitzt bis zu 290 °C.

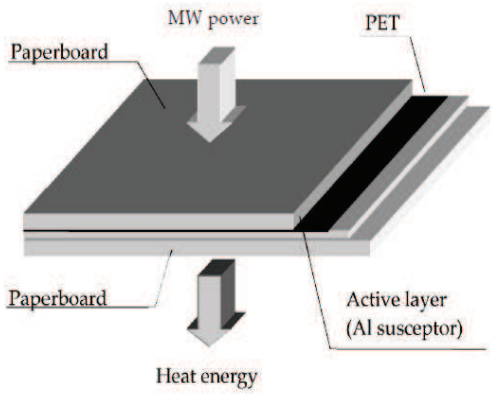


Abbildung 10: Aufbau eines Mikrowellensuszeptors

2.5.4.8.3 Reflektoren

Metalle wie Silber, Kupfer und Aluminium reflektieren oder streuen den Großteil der auf die Oberfläche einfallenden Wellenenergie. Mit einer Verpackung, auf die eine dünne Metallschicht aufgebracht wird, kann eine hohe Energieintensität erreicht werden (LEFEUVRE und AUDHUY-PEAUDECERF, 1994).

2.6 Zubereitung in der Mikrowelle

Mikrowellen weisen Frequenzen zwischen 300 und 300.000 MHz im Spektrum der elektromagnetischen Wellen auf. Die Anwendung in Industrie, Medizin und Wissenschaft liegt bei 2450 ± 50 MHz weltweit, auch für Mikrowellenherde. Mikrowellen durchdringen Glas, Kunststoff und Porzellan, sogenannte elektrische Isolatoren. Von aktiven Stoffen (Wasser, Ionen) werden sie unterschiedlich stark absorbiert, was zu einer Erwärmung führt. Metalle reflektieren die Wellen, wodurch sie sich bündeln können. Dies ist die Grundlage für die oben beschriebenen Suszeptoren (BUCHNER, 1999).

Lebensmittel, die in der Mikrowelle zubereitet werden können, sind ständig in Entwicklung und erfreuen sich immer größerer Beliebtheit. Grund dafür sind vor allem steigender Zeitdruck, wachsendes Ernährungsbewusstsein und der Wunsch nach Essen, das so schmeckt, als würde es frisch aus dem Ofen kommen (BERTRAND, 2005). Durch Zubereitung von Speisen in der Mikrowelle kann man sowohl Energie als auch Zeit sparen, die Nährstoffqualität verbessern und die Akzeptanz mancher Lebensmittel vom Konsumenten erhöhen (SUMNU, 2001). Lebensmittelverarbeiter, Anbieter von Inhaltsstoffen und Verpackungshersteller versuchen, die Bedürfnisse vor allem von Konsumenten, die häufig außer Haus und auf schnelle Zubereitung ihrer Speisen angewiesen sind, zu erfüllen. Anforderungen wie eine schnelle Zubereitung, optimaler Geschmack und Textur sind hier von großer Bedeutung. Oft hängt der Erfolg einer solchen Mikrowellenware von der Kombination einer Neuformulierung der Produktrezeptur und erneuerten Designs und Funktionen der Verpackung ab (BERTRAND, 2005).

Z.B. gibt es Verpackungen mit modifizierter Atmosphäre für Mikrowellenpizza, welche für eine optimale Kruste sorgt. Hierfür werden ebenfalls Suszeptormaterialien verwendet, welche dazu beitragen, dass Probleme wie eine feuchte oder zähe Kruste verhindert werden. Suszeptorbasierte Verpackungsmaterialien ermöglichen es, große Mengen in der Mikrowelle zu garen und knusprige, gebräunte Pizzen, Snacks, Backwaren oder Pommes frites zu produzieren (BERTRAND, 2005).

Es besteht ein beträchtlicher Unterschied zwischen der Verpackung von Lebensmitteln, die für die Zubereitung im konventionellen Ofen vorgesehen sind, und jenen, welche in der Mikrowelle zubereitet werden können. Konventionelle, im Ofen gemachte Produkte benötigen eine Verpackung, deren Aufgabe es ist, das Produkt zu schützen und die Haltbarkeit zwischen dem Einpacken und der Zubereitung zu verlängern. Bei Mikrowellenprodukten nimmt die Verpackung zusätzlich auch oft die Rolle des Kochgeschirrs ein (BERTRAND, 2005).

Die Entwicklung von Produkten, die in der Mikrowelle zubereitet werden, ist eine Mischung aus Kunst und Wissenschaft, mit dem Schwerpunkt auf der Wissenschaft. Die physikalischen Eigenschaften der Komponenten wie Wasser, Fett, Salz oder Protein haben Einfluss darauf, wie die Produkte kochen, bräunen und schmecken. Auch der Zustand, mit dem das Lebensmittel in die Mikrowelle gegeben wird, z.B. gekühlt oder gefroren, beeinflusst den Prozess (BERTRAND, 2005). Somit sind beim Design eines solchen Produktes vor allem die dielektrischen Eigenschaften des Lebensmittels, das Wellenmuster der Mikrowellen, die Geometrie und Dichte des Nahrungsmittels und des Behälters und die Effekte von Inhaltsstoffen wie z.B. Salz oder Feuchtigkeitsgehalt zu beachten (BERTRAND, 2005; SUMNU, 2001). Mikrowellen interagieren mit polaren Molekülen und geladenen Partikeln des Lebensmittels, um Hitze zu erzeugen (SUMNU, 2001).

Neben den Vorteilen der Zubereitung von Speisen in der Mikrowelle gibt es einige Nachteile, die oft zur Enttäuschung des Konsumenten führen. Qualitätsbeeinträchtigungen wie eine Reduktion der Höhe des Produkts, gummiartige Konsistenz, eine zu harte Krume wie zu hohe Feuchtigkeit des fertig gebackenen Produkts treten häufig auf. Ein Grund dafür sind die physikochemischen Veränderungen und Wechselwirkungen der Hauptbestandteile, welche unter normalen Konditionen über eine längere Backzeit nicht auftreten würden. Aufgrund der kurzen Backdauer in der Mikrowelle können manche dieser Reaktionen nicht zu Ende geführt werden. Bspw. sind für die Qualitätsbeeinträchtigung von in der Mikrowelle gebackenem Brot u. a. eine unzureichende Gelatinierung von Stärke, durch die Mikrowelle induzierte Veränderungen des Glutens und schnell generierter Dampf durch die Heizfunktion

verantwortlich. Auch eine leichte Bräunung der Oberfläche des Backgutes, welche den Konsumenten anspricht, ist mittels Mikrowelle ohne Hilfsmittel nicht möglich. Diese wird beim konventionellen Backen durch die Maillard-Reaktion und das Karamelisieren von Zuckern hervorgerufen. Ebenfalls beeinflusst wird die Geschmacksentwicklung während des relativ kurzen Backens (SUMNU, 2001).

Herkömmliche Rezepturen von Brot oder ähnlichen Teigen führen oft nicht zu einer zufriedenstellenden Textur, wenn sie in der Mikrowelle gebacken werden. Die Außenseite des Produktes ist gummiartig und zäh, während das Brot innen hart und schwer zu kauen ist. Die Zähigkeit wird durch Gluten hervorgerufen und die Festigkeit hängt mit den Stärkekörnern zusammen. Durch Manipulieren des Gluten-Protein-Netzwerkes, der Größe und Quellung der Stärkekörner und des Feuchtigkeitsgehalts können Mikrowellenprodukte mit akzeptabler Textur hergestellt werden. Aufgrund eines zu großen Durchmessers und vorgequellten Stärkekörnern ist die Krume des Brotes oft zu hart. Die Einarbeitung von Fett und Emulgatoren, um die Gelatinierung zu verhindern, können die Größe der Stärkekörner reduzieren. Um die Zähigkeit der Außenseite des Produktes zu vermindern, könnte Gluten polymerisiert werden, indem die Größe des Klebereiweißes durch Brechen der Disulfidbrücken reduziert wird. Der Hauptgrund für das „Altbackenwerden“ von Brot nach dem Garen in der Mikrowelle ist die Retrogradation von Amylopektin (SUMNU, 2001).

2.6.1 Vergleich von konventionellem Backen mit Mikrowellen-Backen

Beim konventionellen Backen treten Gelatinierung von Stärke, Proteindenaturierung, Freisetzung von Kohlendioxid aus flüchtigen Bestandteilen, Volumenvergrößerung, Verdampfung von Wasser, Krustenbildung und Bräunungsreaktionen auf. Die Hitze wird hauptsächlich durch Konvektion von den Heizmedien und durch Strahlung von den Ofenwänden bis in die Mitte des Produkts weitergeleitet (SUMNU, 2001). Man kann konventionelles Backen hinsichtlich der Krustenbildung in vier Stufen einteilen:

- Entstehung einer weißen Kruste,
- Hitzeübertragung von der Kruste ins Innere,
- Gelatinierung oder Kochprozess und
- Bräunen

Bei der Erhitzung in der Mikrowelle wird der Punkt der Krustenbildung nicht erfüllt. Es wird, wie vorhin schon beschrieben, Hitze aus der Interaktion von Mikrowellen mit geladenen Partikeln und polaren Molekülen generiert. Nachdem die Hitze erzeugt wurde, beginnt die Konduktion. Da die Erhitzungsdauer sehr kurz ist, ist vermutlich nicht genügend Zeit für Stärkegelatinierung, enzymatischen Umbau von Stärke oder Teigexpansion vorhanden (SUMNU, 2001).

3 Aufgabenstellung

Diese Diplomarbeit strebte folgende zwei Ziele an:

Gefrierbrand- bzw. Gewichtsverlust-Versuche

Das erste Ziel war es, durch den Einsatz unterschiedlicher Verpackungsarten herauszufinden, wie sich verschiedene Lagerbedingungen auf die Beschaffenheit - vor allem bezüglich des Gefrierbrands - von drei verschiedenen tiefgekühlten Gebäckarten auswirken. Damit soll vor allem Gewichts- sowie Volumenverlust und eventuelles Brechen der Ware reduziert und somit die Qualität dieser verbessert werden. Außerdem wurde ermittelt, ob es Auswirkungen auf die Proben gibt, wenn diese einzeln verpackt werden oder wenn mehrere Proben zusammen in eine Verpackung gegeben werden.

Mikrowellenversuche

Zweitens wurde untersucht, welche Parametereinstellungen einer Mikrowelle und der eventuelle Einsatz von Suszeptoren am besten zum Zubereiten einer teilgebackenen TK-Semmel geeignet sind. Es könnte eine Reduzierung des Zeitaufwandes im Gegensatz zur Zubereitung im Backofen bezwecken. Zusätzlich ist dieser Ansatz für eventuelle Produktentwicklungen bezüglich mikrowellengeeigneter Verpackungen für tiefgekühlte Backwaren nützlich.

Beide Aufgabenstellungen hatten das gemeinsame Ziel einer Qualitätsverbesserung von TK-Backwaren durch optimierte Verpackungen.

4 Material und Methoden

4.1 Material und Geräte

4.1.1 Gebäcksorten

TK-Semmelteiglinge, TK-Salzstangerlteiglinge und TK-Kaisersemmeln (halbgebacken) wurden von Linauer & Wagner „Backstuben“ BackwarenproduktionsgmbH, 2493 Lichtenwörth, Österreich, produziert und geliefert. Die Lagerung aller drei Sorten betrug -18°C.

4.1.2 Verpackungen

- Bezeichnung: Gefrierbeutel
  Hersteller: Cofresco Frischhalteprodukte GmbH &Co. KG
  Ringstraße 99, 32427 Minden, Deutschland
  Material: LDPE
  Dicke: keine Angabe, wurde gemessen:
  28,4 ± 0,52 µm

Da die Gefrierbeutel aus dem Handel besorgt wurden, waren keine genauen technischen Daten verfügbar. Laut Verpackungsangaben bestanden sie aus einer LDPE-Folie. Die Eigenschaften von LDPE sind in Tab. 5 (Kapitel 2.5.4.4.1.3 „Low-density Polyethylen“) zusammengefasst und beschrieben.

- Bezeichnung: Schrumpffolie
  Hersteller: Saropack AG
  Seebleichestraße 50, 9401 Rohrschach,
  Schweiz
  Material: Polyolefin
  Dicke: 15 µm
  Typ: Sarofilm BRX 15 my

Für die Schrumpffolie wurde vom Hersteller das Foliendatenblatt zur Verfügung gestellt, da er Handelspartner des Unternehmens ist (SAROPACK, 2016).

- Bezeichnung: Suszeptor 1 (Abb. 11)
  Hersteller: OFI Technologie & Innovation GmbH, Brehmstraße 14a, 1110 Wien
  Material: Karton mit PET-Schrumpffolie (Dicke: 30 µm), mit Aluminium metallisiert (O.D.: 0,20)
- Bezeichnung: Suszeptor 2 (susceptor laminated with solid board, Abb. 12)
  Hersteller: Graphic Packaging Int., Odena, Spanien
  Material: Karton mit PET-Folie (Dicke = 23 µm), mit Aluminium metallisiert (O.D. = 0,27)

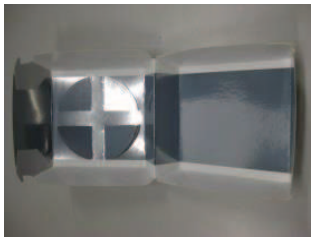


Abbildung 11: Suszeptor 1

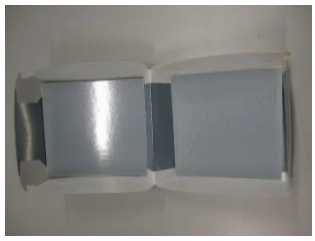


Abbildung 12: Suszeptor 2

4.1.3 Geräte

- Tiefkühltruhe
  - Fa. Elcold
  - Hobro, Dänemark
  - Typ: EL S1 LTS
- Tiefkühlschrank 1
  - Fa. Liebherr
  - Kirchdorf an der Iller, Deutschland
  - Typ: GP 1466 Index 22/001
- Tiefkühlschrank 2
  - Fa. Gram
  - Vojens, Dänemark
  - Typ: BIO COMPACT II, RF 610

- Styroporbox mit Kühlakkus
  - Fa. Ezetil
  - Hungen-Inheiden, Deutschland
  - Material: PE-HD
- Datenlogger, 2 Stück
  - Fa. Testo AG
  - Wien, Österreich
  - Typ: 175T1
  - Messbereich: -35 … +55 °C/-31 … +131 °F
- Dickenmesseinrichtung
  - Fa. Mitutoyo Austria GmbH
  - Traun, Österreich
  - Typ: IDC 543/DP-1 HS
- Siegelzange
  - Fa. Polystar
  - Farsta, Schweden
  - Typ: Polystar Impulsgeber 100 GE
- Heißluftpistole
  - Fa. Brüder Mannesmann Werkzeuge GmbH
  - Remscheid, Deutschland
  - Typ: M 49500
  - Leistung: 2000 W
    - Pos. 1: 1000 W 350 °C 300 L/min
    - Pos. 2: 2000 W 550 °C 500 L/min
- Analysenwaage
  - Fa. Mettler Toledo
  - Wien, Österreich
  - Typ: XS 205 Dual Range
  - Maximalgewicht: 81 g/220 g
  - Minimalgewicht: 1 mg
  - Ablesbarkeit: 0,1 mg

- Sesamsamen, ungeschält
  - Fa. Alnatura GmbH
  - Bickenbach, Deutschland
- Referenzkörper
  - Holzzylinder
  - Durchmesser: 60 mm
  - Höhe: 90 mm
- Maßband
  - Fa. HHW Hommel
  - Viernheim, Deutschland
  - Maß: 3 m
- Fallvorrichtung
  - Fa. H. A. Büchel
  - Baarn, Holland
  - Typ: v/h A.v.d. Korput
- Backofen
  - Fa. MIWE
  - Arnstein, Deutschland
  - Typ: MIWE Gusto
- Tiefkühltruhe
  - Fa. Hoover
  - North Canton, USA
  - Typ: Hup 2000
- Mikrowelle 1
  - Fa. ELIN GmbH & Co KG
  - Wien, Österreich
  - Typ: ELIN MIK 7800
  - Maximale Leistung: 850 W, 5 Stufen
- Mikrowelle 2
  - Fa. AEG AG
  - Frankfurt, Deutschland
  - Typ: AEG MICROMAT 21 T
  - Maximale Leistung: 850 W

- Mikrowelle3
    - Fa. MDA
    - Wien, Österreich
    - Typ: MM717
    - Maximale Leistung: 700 W
- Mikrowelle 4
    - Fa. Whirlpool Austria GmbH
    - Wiener Neudorf, Österreich
    - Typ: Whirlpool Talent MT267
    - Maximale Leistung: 850 W
- Mikrowelle 5
    - Fa. Panasonic Marketing Europe GmbH
    - Hamburg, Deutschland
    - Typ: NE
    - Maximale Leistung: 2100 W
- DigiEye Colour Measurement and Imaging System®
    - Fa. VeriVide Quartz Close
    - Warrens Business Park, Enderby, Leicester, England
    - Seriennummer: DE0077101
- Analyse-Software (DigiEye-V2.7.2.Ink 2014®)
- Texture Analyser TA-XT2i
    - Fa. Stable Micro Systems
    - Vienna Court, Lammas Rd, Godalming, Surrey GU7 1YL, England

4.2 Methoden

4.2.1 Bestimmung der Foliendicke

Prinzip

Die Bestimmung der Foliendicke erfolgte nach DIN 53370 – „Prüfung von Kunststoff-Folien - Bestimmung der Dicke durch mechanische Abtastung“ (2006). Diese Norm gilt für glatte, nicht geprägte Kunststoff-Folien. Als Messgerät wurde eine Dickenmesseinrichtung (siehe Abb. 13) verwendet (DIN 53370, 2006).

Material und Geräte

- Gefrierbeutel (Cofresco, Deutschland)
- Schrumpffolie (Saropack, Sarofilm BRX 15 my, Polyolefin, Schweiz)
- Schere
- Dickenmesseinrichtung (Mitutoya Austria, IDC 543/DP-1 HS, Österreich; Abb. 13)

Durchführung

Bevor zu messen begonnen wurde, wurde geprüft, ob auf den Folien keine Verunreinigungen, wie z.B. Staub, vorlagen. Außerdem wurde darauf geachtet, dass bei der Messung keine Wölbungen der Folie auftraten. Die zu messenden Folien wurden in ca. 10x10 cm große Stücke geschnitten. Vor und nach jeder Messreihe wurde der Nullpunkt kontrolliert.

Abbildung 13: Dickenmesseinrichtung

Der Knopf der Messvorrichtung wurde gedrückt, sodass die obere Messfläche nach oben ging. Anschließend wurde die zu messende Folie zwischen oberer und unterer Messfläche

eingelegt. Vorsichtig wurde der Knopf ausgelassen und die obere Messfläche sank nach unten. Nun konnte der Messwert abgelesen werden. Die Dicke wurde an zehn Stellen entlang einer geraden Linie gemessen. Die Dicke der jeweiligen Folie wurde als arithmetisches Mittel (siehe Gl. 1) der Einzelmessungen in mm bzw. µm angegeben.

$$\bar{x}_{\mathbf{arithm}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} \qquad \text{(Gl. 1)}$$

n = Anzahl der Messungen

$x_1, x_2, \ldots x_n$ = Einzelwerte [µm]

4.2.2 Verpackung der Proben

Prinzip

Um die Einflüsse verschiedener Verpackungsarten auf die Gebäckstücke zu eruieren, wurden die Gebäcke mit unterschiedlichen Folien verpackt. Die jeweiligen Ergebnisse wurden nach den Lagerungen mit nicht verpackten Proben aus der gleichen Charge verglichen und ausgewertet.

Material und Geräte

- Semmelteiglinge, TK (Linauer & Wagner, Österreich)
- Salzstangerlteiglinge, TK (Linauer & Wagner, Österreich)
- Kaisersemmeln Gastro TK, teilgebacken (Linauer & Wagner, Österreich)
- Gefrierbeutel (Cofresco, LDPE, Deutschland)
- Schrumpffolie (Saropack, Sarofilm BRX 15 my, Polyolefin, Schweiz)
- Styroporbox mit Kühlakkus
- Siegelzange (Polystar, Impulsgeber 100 GE, Schweden)
- Heißluftföhn (Brüder Mannesmann Werkzeuge, Deutschland)

Durchführung

Zur Vorbereitung wurde die benötigte Anzahl der Beutel bzw. Schrumpffolienstücke auf die Größe der Gebäcke zugeschnitten, wenn möglich vorgesiegelt und zurechtgelegt. Jedes Gebäckstück wurde mit jeder Folie und Verpackungsart und für jede Lagerbedingung im Fünffachansatz verpackt und dementsprechend beschriftet.

Das Gebäck wurde mit einer mit Kühlakkus gefüllten Styroporbox von der Tiefkühltruhe zum Arbeitsort transportiert und nur für die kurze Zeit des Verpackens herausgenommen. Wichtig war hier, zügig und vorsichtig zu arbeiten, um den tiefgekühlten Zustand der Proben beizubehalten und ein Brechen zu verhindern.

Beim Verpacken mit den Gefrierbeuteln aus LDPE wurde das Gebäck in den Beutel gegeben, überflüssige Luft aus dem Beutel gedrängt und mit der Siegelzange möglichst eng anliegend versiegelt.

Beim Verpacken mit der Schrumpffolie wurden die Gebäckstücke in die vorgesiegelten Taschen gegeben und mit der Siegelzange vollständig verschlossen. Anschließend wurde in einer Ecke der Folie mithilfe einer Sicherheitsnadel eine kleine Öffnung gestochen. Dann wurde mit der ersten Stufe des Heißluftföhns die Folie zum Schrumpfen gebracht, durch die kleine Öffnung konnte die überflüssige Luft austreten. Dieser Vorgang musste ebenfalls besonders zügig ablaufen, damit das Gebäckstück so wenig wie möglich auftauen konnte. Das Verpacken und Siegeln war gut zu handhaben und die Folie konnte den TK-Temperaturen standhalten, ohne brüchig zu werden. Nur beim Verpackungsvorgang war bedenklich, dass das Produkt durch die kurze Behandlung mit dem Heißluftföhn angetaut wurde und so eventuell Feuchtigkeit aus der Probe austrat.

4.2.3 Lagerung

Prinzip

Die Auswirkungen verschiedener Lagerbedingungen auf die Beschaffenheit der Gebäcke wurden untersucht. Dafür wurden vier unterschiedliche Bedingungen ausgewählt (siehe Kapitel 5 „Versuchsdurchführung“).

Material und Geräte

- Verpackte bzw. nicht verpackte Proben
- Tiefkühltruhe (Elcold, EL S1 LTS, Dänemark)
- Tiefkühlschrank (Liebherr, GP 1466 Index 22/001)
- Datenlogger (Testo, 175T1, Österreich)

Durchführung

Die verpackten und beschrifteten bzw. markierten Proben wurden für die Dauer ihrer Lagerung in die Tiefkühltruhe gegeben. Diejenigen, die einer Temperaturschwankung unterzogen wurden, wurden drei Tage vor Lagerende aus der Kühlung genommen und eine Stunde bei Raumtemperatur (18 – 22 °C) stehen gelassen. Anschließend wurden sie wieder in die Tiefkühlung zurückgegeben. Ein Datenlogger wurde in die Tiefkühleinrichtung gegeben, um mitzuverfolgen, ob die Temperaturen konstant blieben und somit keiner Verfälschung der Daten vorlagen.

4.2.4 Bestimmung des Gewichts

Prinzip

Die Differenz des Ausgangsgewicht der Gebäckstücke und dem Gewicht nach der Lagerung war von Bedeutung, um die Einflüsse der unterschiedlichen Verpackungsarten herauszufinden.

Material und Geräte

- Semmelteiglinge, TK (Linauer & Wagner, Österreich)
- Salzstangerlteiglinge, TK (Linauer & Wagner, Österreich)
- Kaisersemmel Gastro TK, teilgebacken (Linauer &Wagner, Österreich)
- Analysenwaage (Mettler Toledo, XS 205 Dual Range, Österreich)
- Styroporbox mit Kühlakkus

Durchführung

Die Proben wurden im tiefgekühlten Zustand gewogen, bevor sie verpackt und gelagert wurden. Dafür wurden sie dem Gefrierschrank entnommen, in eine Styroporbox, die mit Kühlakkus gefüllt war, gegeben und nur für die wenigen Sekunden herausgenommen, in denen ihr Gewicht mit der Analysenwaage bestimmt wurde (± 0,1 mg).

Nach der Lagerung wurden die Proben, wenn nötig, ausgepackt und unter gleichen Bedingungen wieder gewogen. Die Differenz von vor und nach der Lagerung wurde ermittelt.

$$\text{Differenz} = m_1 - m_2 \qquad \text{(Gl. 2)}$$

m_1 = Masse vorher

m_2 = Masse nachher

4.2.5 Bestimmung des spezifischen Gebäckvolumens

Prinzip

Ebenfalls von Bedeutung für die Interpretation der Einflüsse verschiedener Lagerbedingungen und Verpackungsarten auf die Proben ist das Volumen. Dafür wurde die Bestimmung mittels Verdrängungsprinzip, die AACC Methode 10-05.01, verwendet. Der zu messende Körper verdrängt ein bestimmtes Volumen eines Mediums, welches dann dem Volumen des Körpers entspricht. Hierbei ist die Dichte des Mediums bekannt bzw. wird mit einem genormten Körper berechnet.

Damit lässt sich dann das Volumen des zu messenden Körpers berechnen (PELSHENKE, 1938).

Material und Geräte

- Analysenwaage (Mettler Toledo, Österreich)
- Styroporbox mit Kühlakkus
- Schere
- Sesamsamen (Alnatura, Deutschland)
- Becherglas
- Hohlgefäß
- Blechschale
- Referenzkörper (Holzzylinder, Durchmesser 60 mm, Höhe 90 mm; Volumen = 254,47 cm^3)
- Kunststoffabzieher

Durchführung

Für die Bestimmung des Volumens mit der Verdrängungsmethode wurden Sesamsamen verwendet. Zuerst wurde das Gebäck gewogen, was für die spätere Berechnung des spezifischen Volumens notwendig war. Dann wurde ein Hohlgefäß vollständig mit den Samen befüllt und mit dem Kunststoffabzieher glattgestrichen. Danach wurde der Inhalt in eine Blechschale geleert. Anschließend wurde ein Teil dieser Samen in das Hohlgefäß geleert, das Gebäckstück hineingestellt, mit weiteren Sesamsamen bis zum Rand gefüllt und wieder glattgestrichen. Jene Samen, die überschüssig waren, wurden gewogen. Diese stellten die verdrängte Masse dar. Mit dem Referenzkörper wurde die gleiche Methode - an jedem Versuchstag erneut - durchgeführt. Die Proben und Referenzkörper wurden im Zweifachansatz gemessen, zur weiteren Berechnung wurden dann die Mittelwerte der beiden Messungen herangezogen. Die Berechnung des spezifischen Brotvolumens wurde wie folgt durchgeführt:

$$Gebäckvolumen[cm^3] = \frac{m_{VP}}{m_{VR}} * 254{,}47\ cm^3 \qquad \text{(Gl. 3)}$$

$$spezifisches\ Gebäckvolumen\ [cm^3/100g] = \frac{Gebäckvolumen[cm^3]}{m_P} * 100 \qquad \text{(Gl. 4)}$$

m_{VR} = verdrängte Masse Referenz [g]

m_{VP} = verdrängte Masse Probe [g]

m_P = Masse Probe [g]

4.2.6 Messung des Umfanges nach Jorgensen

Prinzip

Die Ermittlung der Gebäckgröße mittels Umfangmessung ist verglichen mit der Volumenmessung sehr einfach und benötigt viel weniger Geräte. Der Gebäckumfang kann damit ermittelt werden (PELSHENKE, 1938).

Material und Geräte

- Maßband (HHW Hommel, 3 m, Deutschland)

Durchführung

Von jedem Gebäckstück wurde der größte Quer- und Längsumfang in cm mittels Maßband gemessen (siehe Abb. 14) und anschließend der Gebäckumfang in cm berechnet (siehe Gl. 5).

$$U = U_{Quer} + U_{Längs} \qquad \text{(Gl. 5)}$$

U = Gebäckumfang [cm]

U_{Quer} = Querumfang [cm]

$U_{Längs}$ = Längsumfang [cm]

Abbildung 14: Messung des Gebäckumfanges, Bsp.

4.2.7 Fallversuch

Prinzip

In Anlehnung an die ofi Methode „Stoßprüfung von Kunststoffbechern durch freien Fall“ (1981) und die Ö-NORM A 5485 (BOJKOW, 1989) wurde ein Falltest durchgeführt. Diese Methode diente der Beurteilung des Bruchwiderstandes der Proben beim Stoß nach freiem Fall. Das Prüfgerät bestand aus einer Fallvorrichtung und einem Aufprallboden (OFI, 1981; BOJKOW, 1989).

Material und Geräte

- Fallvorrichtung mit Aufprallboden (H. A. Büchel, Holland; Abb. 15)

Durchführung

Die Fallvorrichtung wurde je nach gewünschter Höhe des Falles eingestellt. Anschließend wurde die Probe auf dem Prüfgerät platziert und der Fallvorgang ausgelöst. Hier war darauf zu achten, dass die Probe nur einmal aufprallt. Danach wurden die beschädigten Proben gezählt. Die Fallhöhe betrug bei allen Gebäckstücken 150 cm. Diese Höhe wurde von einer vorhergehenden Masterarbeit angenommen (MATZINGER, 2015).

Abbildung 15: Fallvorrichtung

4.2.8 Ermittlung der tatsächlichen Mikrowellenleistung

Prinzip

Da die verschiedenen Mikrowellenmodelle teilweise schon älter waren, wurde mithilfe von Temperaturmessung und Umrechnungsfaktor der tatsächliche Wert der Mikrowellenleistung ermittelt. So konnte die ungefähre, aktuelle Leistung des Mikrowellenherdes ermittelt werden (WÖLFLE, 2009).

Material und Geräte

- Mikrowelle 1 (ELIN, Österreich)
- Mikrowelle 2 (AEG, Deutschland)
- Mikrowelle 3 (MDA, Österreich)
- Thermometer
- Mikrowellengeeigneter Behälter aus Kunststoff

Durchführung

Es wurde exakt 1 L Wasser in einen mikrowellengeeigneten Behälter aus Kunststoff gefüllt. Anschließend wurde die Temperatur des Wassers gemessen und notiert. Der Behälter wurde dann für genau 2 min bei maximaler Leistung erhitzt und dann die Temperatur erneut gemessen. Daraufhin wurde die Temperaturdifferenz mit dem Faktor 35 multipliziert.

4.2.9 Farbmessung

Prinzip

Mittels DigiEye wird die Oberflächenfarbe der Proben nach der Mikrowellenerwärmung gemessen und durch die Farbmaßzahlen L*, a*, b* im Farbraum der internationalen Beleuchtungskommission beschrieben (Abb. 16). Die Definitionen der Farbmaßzahlen sind wie folgt definiert (SCHLEINING, 2014; VERIVIDE, 2014):

- L* (Helligkeit)
  L* = 0 → schwarz
  L* = 100 → weiß
- a* (rot/grün)
  a* = positiv → rot
  a* = negativ → grün
- b* (gelb/blau)
  b* = positiv → gelb
  b* = negativ → blau

Material und Geräte

- DigiEye Colour Measurement and Imaging System® (VeriVide Quartz Close, England)
- Analyse-Software (DigiEye-V2.7.2.Ink 2014®)

Durchführung

Vor jedem Versuchstag wurde das Gerät kalibriert. Anschließend wurden jeweils zwei Gebäckstücke im Analysenraum des DigiEyes auf einem dunkelblauen Untergrund platziert. Unter den Einstellungen „Diffused“ und „Autofocus“ wurden die Proben abfotografiert.

Mit der Analyse-Software wurde zuerst der Hintergrund des Bildes entfernt und danach die L*a*b*-Maßzahlen ermittelt (VERIVIDE, 2014).

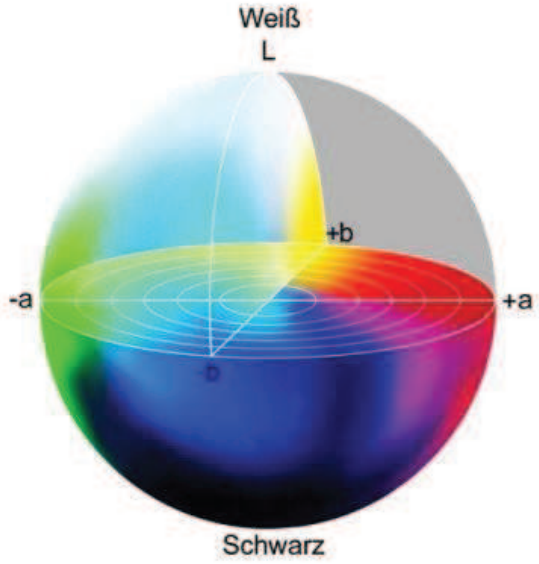


Abbildung 16: L*a*b*-Farbraum (ALTMANN, 2008)

4.2.10 Bestimmung der Krumenfestigkeit mittels Texture Analyser

Prinzip

Für die Bestimmung von Textur und relativer Elastizität der Semmelkrume wurde ein uniaxialer Kompressionstest durchgeführt. Die für den Test zurechtgeschnittene Probe wurde mit einem Druckkörper komprimiert. Über die maximale Kraft (F_{max}) konnte nun die Krumenfestigkeit abgeleitet werden und durch das Verhältnis von F_{120} zu F_{max} konnte man die relative Elastizität (REL in %) berechnen. Diese Bestimmung der Krumenfestigkeit wurde mit einem Texture Analyser realisiert (AACC, 2000).

Material und Geräte

- Texture Analyser (Stable Micro Systems, England)
- Software Texture Expert (Stable Micro Systems, England)
- Druckkörper (runder Kompressionsstempel 25 mm, England, Typ P/36R)
- Säge und Schneidelehre

Durchführung

An jedem Probentag wurde der Texture Analyser erneut nach Kraft und Sondenhöhe kalibriert. Mithilfe der Schneidelehre und der Säge wurden die Semmeln jeweils so zurechtgeschnitten, dass ihre Höhe 3 cm betrug und die Oberseite der Semmel entfernt wurde. Die Semmel wurde mit der Schnittfläche nach oben in die Mitte des Messtisches gelegt und an zwei definierten Stellen hintereinander gemessen. Die beiden Messpunkte kann man in Abb. 17 betrachten. Die Parameter, welche für den Kompressionstest eingestellt wurden, sind in Tab. 8 aufgelistet. Die Kraft, die für das Erreichen einer definierten Wegstrecke über eine festgelegte Zeitspanne aufgebracht werden musste, wurde erfasst und aufgezeichnet. Wurde diese Kompression erreicht, war der Maximalwert der Kraft erreicht (F_{max}). Anschließend wurde der Druckkörper, also die Deformation, konstant gehalten. Der Widerstand, mit welchem die Probe dem Körper entgegenwirkte, nahm nun kontinuierlich ab. Diese Halteperiode wurde für 120 s beibehalten und die Kraft wurde nach Eintreten dieser Haltezeit erneut gemessen (F_{120}). Sobald eine Messung beendet wurde, wurden die Parameter F_{max} und F_{120} abgelesen und die relative Elastizität berechnet (siehe Gl. 9). Abb. 18 zeigt ein solches Kraft-Zeit Diagramm mehrerer Proben.

$$REL[\%] = \frac{F_{120}}{F_{max}} * 100 \qquad \text{(Gl. 9)}$$

F_{120} = Kraft nach 120 s Haltezeit [N]

F_{max} = maximale Kraft [N]

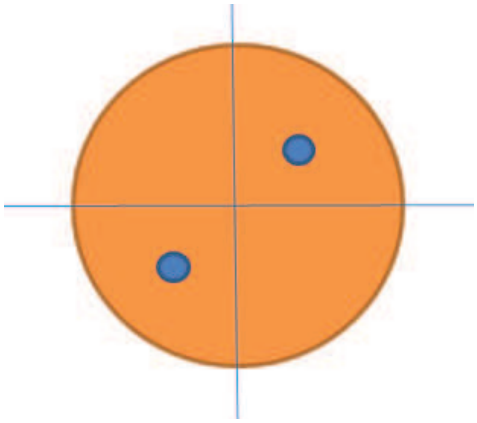


Abbildung 17: Skizze der Messpunkte

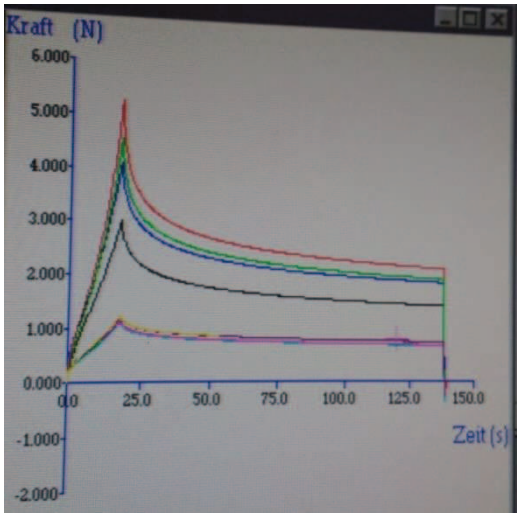


Abbildung 18: Beispiel für Kraft-Zeit Diagramm bei der Bestimmung der Krumenfestigkeit

Tabelle 8: Messparameter für Texture Expert

Testform/Testmethode	Messe Kraft in Druckrichtung/Halten auf Zeit
Vorgeschwindigkeit	5,0 mm/s
Testgeschwindigkeit	0,5 mm/s
Rückgeschwindigkeit	10,0 mm/s
Weg (Deformation)	10,0 mm
Kraft	1,0 N
Zeit	120,5 s

4.3 Statistische Auswertung

Die Messdaten, die bei den Versuchen erhoben worden sind, wurden mithilfe statistischer Methoden analysiert und anschließend interpretiert. Die Software Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, USA) und IBM® SPSS® Statistics Version 21 (IBM Corporation, New York, USA) wurde für die statistische Auswertung der Daten in dieser Arbeit verwendet.

4.3.1.1 Arithmetischer Mittelwert $\bar{x}$

Das arithmetische Mittel, im allgemeinen Sprachraum auch oft als Mittelwert oder Durchschnitt bezeichnet, ist der meist verwendete Mittelwert. Er wird ermittelt, indem die Summe der Merkmalsausprägungen durch deren Anzahl dividiert wird (siehe Gl. 10) und dient der gemittelten, repräsentativen Betrachtung von Betrachtungen (HOLLAND und SCHARNBACHER, 2010).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

(Gl. 10)

$x_1, x_2, \ldots, x_n$ = Merkmalsausprägungen

n = Anzahl der Merkmalsausprägungen

4.3.1.2 Varianz, Standardabweichung, Variationskoeffizient

Varianz (σ^2 oder s^2) und Standardabweichung (σ oder s) sind die wichtigsten in der Praxis verwendeten Streuungsparameter. Die Varianz stellt die quadratische Abweichung der Zufallsvariablen von ihrem erwarteten Wert dar. Die Varianz ist die Summe der quadrierten Abweichungen vom arithmetischen Mittelwert dividiert durch die um Eins reduzierte Zahl der Beobachtungen. Die Standardabweichung der Zufallsvariablen ist die quadratische Wurzel der Varianz. Dadurch erhält man einen direkten Bezug zur Dimension der Messwerte (HOLLAND und SCHARNBACHER, 2010).

Der Variationskoeffizient (v) ist das wichtigste relative Streuungsmaß. Er ist das Verhältnis der Standardabweichung (σ) zum arithmetischen Mittel ($\bar{x}$) und wird in % angegeben (siehe Gl. 11) (HOLLAND und SCHARNBACHER, 2010).

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100$$

(Gl. 11)

4.3.1.3 Multivariate Varianzanalyse

Um festzustellen, ob sich die Mittelwerte der Gewichtsverluste der einzelnen Versuche signifikant unterscheiden, wird eine multivariate Varianzanalyse (analysis of variances: MANOVA) mit einem Post-Hoc-Test LSD („Least-significant difference“, geringste signifikante Differenz) und Bonferroni (modifizierter LSD) durchgeführt (Konfidenzintervall = 95 %, α=0,05). Bei der Auswertung der Post-Hoc-Tests wird jedoch nur der Bonferroni-Test interpretiert, da beim LSD-Test keine Korrektur der Fehlerrate bei Mehrfachvergleichen ausgeführt wird. Der Bonferroni-Test hingegen regelt die Gesamtfehlerrate, wodurch das Signifikanzniveau an Mehrfachvergleiche angepasst wird (JANSSEN und LAATZ, 1994). Als Prüfgröße für signifikante Unterschiede wird Pillai-Bartlett trace

verwendet. Um aussagen zu können, bei welchen abhängigen Variablen es Unterschiede gibt, werden die Zwischensubjekteffekte einer Betrachtung unterzogen.

Mit der Varianzanalyse kann die Signifikanz von Mittelwerten mehrerer Gruppen miteinander verglichen werden. Die Varianzanalyse verfolgt zwei Ziele. Zum einen überprüft sie die Signifikanz des Unterschiedes von Mittelwertdifferenzen. Hierbei wird als Signifikanztest der F-Test angewendet. Das zweite Ziel ist die Ermittlung des Anteils der Gesamtvarianz. Voraussetzung für die Varianzanalyse ist, dass eine Normalverteilung der Daten vorliegt (JANSSEN und LAATZ, 1994).

Auf die Voraussetzung der Homogenität der Varianz-Kovarianz-Matrizen der einzelnen Gruppen (Box-Test) wurde nicht näher eingegangen, da signifikante Ergebnisse bei gleichen Gruppengrößen ignoriert werden können. Bei den Fragestellungen kann von einer Gleichheit der Gruppengrößen ausgegangen werden. Auch die Bedingung der Gleichheit der Varianzen zwischen den Gruppen mit dem Levene-Test wird nicht näher ausgeführt, denn dieser Test ist nicht ausreichend zuverlässig, um auszusagen, ob sich Varianzen derartig unterscheiden, dass Schwierigkeiten auftreten (FIELD, 2009).

4.3.1.3.1 Post-Hoc-Tests

Mit den Post-Hoc-Tests kann man, im Gegensatz zum F-Test, multiple Vergleiche durchführen. Sie geben darüber Auskunft, welche Mittelwerte sich signifikant voneinander unterscheiden (JANSSEN und LAATZ, 1994). In dieser Arbeit wurden der LSD- und der Bonferroni-Test angewendet.

4.3.1.3.2 Test auf die Voraussetzung homogener Varianzen

Hierfür wird oft der Levene-Test verwendet, der eine Normalverteilung der Werte nicht voraussetzt. Es wird für jeden einzelnen Fall die absolute Abweichung des Gruppenmittelwertes ermittelt und anschließend eine Einweg-Varianzanalyse der Varianz dieser Differenzen gemacht (JANSSEN und LAATZ, 1994). In dieser Arbeit wird die Bedingung der Gleichheit der Varianzen zwischen den Gruppen mit dem Levene-Test jedoch nicht näher ausgeführt, denn dieser Test ist nicht ausreichend zuverlässig, um auszusagen, ob sich Varianzen derartig unterscheiden, dass Schwierigkeiten auftreten (FIELD, 2009).

5 Versuchsdurchführung

5.1 Vorversuche für Gefrierbrand bzw. Feuchtigkeitsverlust

Bei einer vorhergehenden Masterarbeit (MATZINGER, 2015) wurden Teile der Problematik des Gewichts- bzw. Feuchtigkeitsverlustes bereits untersucht. Es wurden die Gewichtsdifferenzen vor und nach einer ein- bzw. zweiwöchigen Lagerung von Semmeln berechnet. Genauer gesagt wurde an Methoden gearbeitet, die Gefrierbrand durch verschiedene Temperaturzyklen reproduzieren. Dabei wurden nicht verpackte Semmeln mit verschieden verpackten Proben verglichen. Bei den Verpackungen wurde immer eine LDPE-Folie mit einer Dicke von 40 µm verwendet, wobei sie entweder eingeschlagen, vakuumiert oder versiegelt waren. Die Erkenntnis war, dass die Gewichtsabnahmen der unverpackten Proben signifikant höher waren als bei allen Verpackungsarten (MATZINGER, 2015). Diese bereits durchgeführten Versuche waren die Basis für die Versuche im Rahmen dieser Masterarbeit.

Ziel des ersten Vorversuchs dieser Arbeit war es, herauszufinden, ob überhaupt eine Beschleunigung der Entstehung von Gefrierbrands besteht, wenn Proben einer Temperaturschwankung während ihrer Lagerung ausgesetzt sind, denn die oben beschriebenen Versuche wurden nur bei Temperaturschwankungen durchgeführt und nicht bei konstanter Temperatur. Es wurden ebenfalls der Unterschied der Gewichtsdifferenzen von Semmel-Teiglingen und halbgebackenen Semmeln getestet, da es für Bäckereien wichtig ist, zu wissen, welche dieser anfälliger für Gefrierbrand sind.

Dazu wurden jeweils Semmelteiglinge und halbgebackene Semmeln im tiefgefrorenen Zustand beschriftet, gewogen und in den Tiefkühler ohne Temperaturschwankungen gegeben. Es wurden je zwei Semmeln nach zwei, drei, sechs, sieben und zehn Tagen aus dem Tiefkühler genommen, mit einer mit Kühlakkus gefüllten Styroporbox zur Analysenwaage transportiert und erneut ihr Gewicht im nicht aufgebackenen Zustand bestimmt. Somit konnte man ungefähr einschätzen, wie hoch der Gewichtsverlust nach der jeweiligen Lagerdauer betrug.

Gleichzeitig wurden in einen Tiefkühlschrank, der regelmäßige Temperaturschwankungen mithilfe eines Timers nachahmte, Teiglinge und teilgebackene Semmeln gegeben, um zu überprüfen, ob diese Schwankungen auch tatsächlich eine Beschleunigung der Entstehung von Gefrierbrand hervorrufen. Die Grundeinstellung des Gefrierschranks war bei -18 ± 2 °C. Die Schwankungen fanden an drei Tagen pro Woche statt, wobei hier die Temperatur jeweils auf -2 ± 2 °C erhöht und nach Erreichen dieser Temperatur sofort wieder auf -18 °C gesenkt wurde.

Der Vorversuch wurde in Doppelbestimmung durchgeführt. Der Versuchsablauf ist in Abb. 19 zusammengefasst.

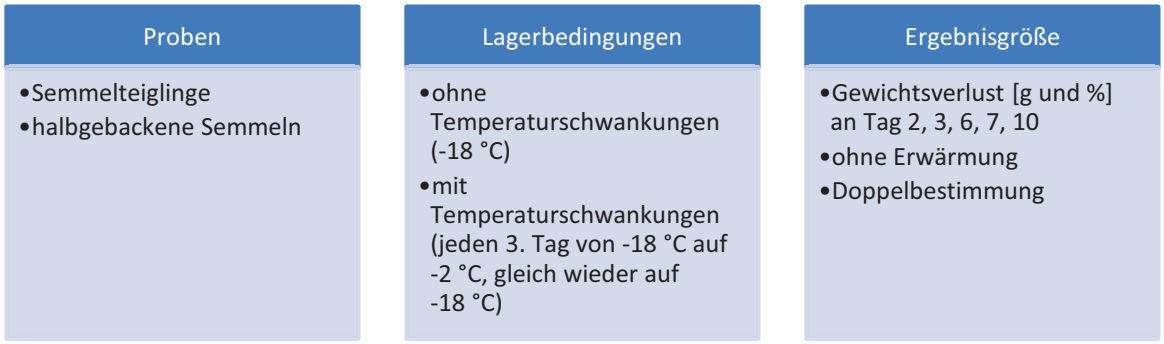


Abbildung 19: Vorversuch Gewichtsverlust

5.2 Hauptversuche für Gefrierbrand bzw. Feuchtigkeitsverlust

Aufbauend auf die oben beschriebenen Vorversuche wurden weiterführende Hauptversuche durchgeführt (Tab. 9, Abb. 20 und 21).

Vorgenommen wurden Lagerversuche von halbgebackenen Semmeln, Semmelteiglingen und Salzstangerlteiglingen. Diese wurden in zwei verschiedenen Kunststofffolien (LDPE-Gefrierbeutel und Polyolefin-Schrumpffolie) verpackt und mit nicht verpackten Gebäckstücken verglichen. Beim Verpacken im Gefrierbeutel wurden die Beutel zuerst auf die richtige Größe zugeschnitten. Dann wurden die Gebäckstücke hineingegeben und so eng anliegend wie möglich mit der Siegelzange versiegelt. Hier war von Bedeutung, dass die Proben so kurz wie möglich aus der Kühlung genommen wurden, um ein Auftauen zu verhindern.

Wurden die Proben mit der Schrumpffolie verpackt, wurde auch hier die Folie zuvor zurechtgeschnitten und mittels Siegelzange eine „Tasche“ in der passenden Größe vorgefertigt. Anschließend wurde die Probe hineingegeben und das offene Ende zugesiegelt. Mit einer Nadel wurde an einer Ecke ein kleines Loch angebracht und dann mit der Heißluftpistole vorsichtig die Folie zum Schrumpfen gebracht. Durch die Öffnung konnte ein Aufblähen der Verpackung verhindert werden.

Ebenfalls verglichen wurde, ob ein Unterschied besteht, wenn die Gebäckstücke einzeln verpackt sind oder wenn fünf Stück in einer Verpackung sind. Alle Proben wurden wiederum bei vier verschiedenen Lagerbedingungen aufbewahrt. Und zwar jeweils eine Woche bzw. ein Monat, mit und ohne Temperaturschwankungen. Wurden sie ohne Schwankung gelagert, betrug die Temperatur in der Tiefkühltruhe durchgehend -18 ± 2 °C. Bei den absichtlich herbeigeführten Schwankungen betrug die Temperatur ebenfalls durchgehend -18 ± 2 °C, jedoch wurde eine einmalige Unterbrechung der Tiefkühllagerung initiiert, indem die Proben drei Tage vor Lagerende für genau 1 h aus dem Tiefkühler entnommen wurden (siehe Tab. 9). Diese Bedingung wurde gewählt, da in der Praxis solche einmaligen Schwankungen bspw. bei der Auslieferung an den Kunden am realistischsten schienen.

Nach Ende der Lagerdauer wurden die Proben ausgepackt und mit der Analysenwaage abgewogen. Anschließend wurde das spezifische Volumen mit der Verdrängungsmethode bestimmt. Hierzu wurden ein Hohlgefäß mit Sesamsamen befüllt und mit einem Abzieher glattgestrichen. Der ganze Inhalt wurde in eine Schale geleert. Ein Teil der Samen wurde wieder in das Hohlgefäß gefüllt, das Gebäck wurde ebenfalls hineingegeben und das Gefäß wurde wieder bis an den Rand mit Samen befüllt. Anschließend wurde wieder mit dem Abzieher glattgestrichen. Die überschüssigen Samen wurden gewogen. Das gleiche wurde ebenfalls mit einem Referenzkörper durchgeführt. Danach wurde längs und quer mittels Maßband der Umfang bestimmt. Schlussendlich wurde der Falltest durchgeführt und dadurch eventuell beschädigte Gebäckstücke fotografiert. Die Messgrößen aller verschiedenen Szenarien - das Gewicht, das Volumen, der Umfang und, ob sie beim Falltest stabil waren oder nicht - sind in Abb. 22

abgebildet. Später wurde durch die Gewichtsdifferenzen vor und nach der Lagerung der Gewichtsverlust in % ermittelt. Ebenfalls bestimmt wurden das spezifische Volumen, der Umfang und die Stabilität der Gebäckstücke (siehe Kapitel 4.2 „Methoden“).

Tabelle 9: Übersicht über die Lagerbedingungen

Lagerversuch	Lagertemperatur [°C]	Lagerdauer	Temp.-Schwankung
1	-18	1 Woche	Nein
2	-18	1 Woche	Ja, einmal, 3 Tage vor Lagerende
3	-18	4 Wochen	Nein
4	-18	4 Wochen	Ja, einmal, 3 Tage vor Lagerende

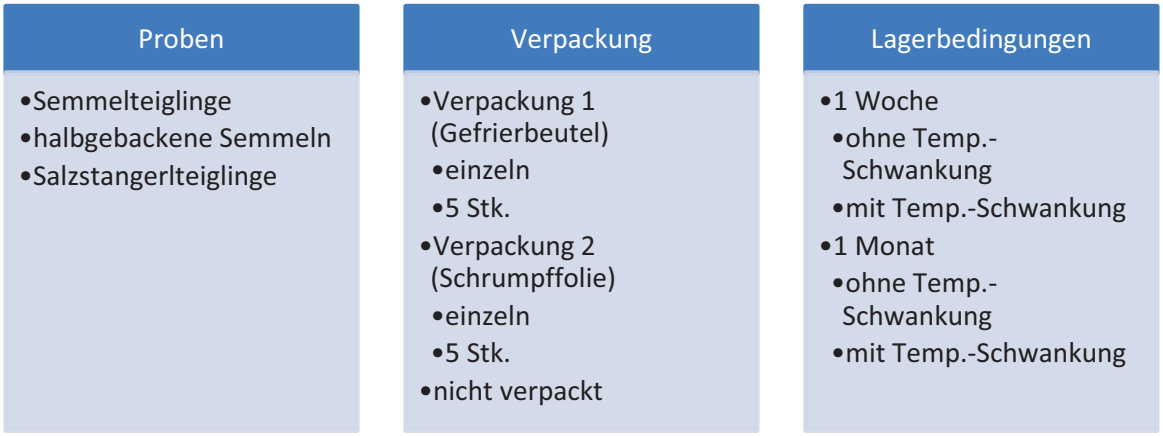


Abbildung 20: Parameter des Hauptversuchs

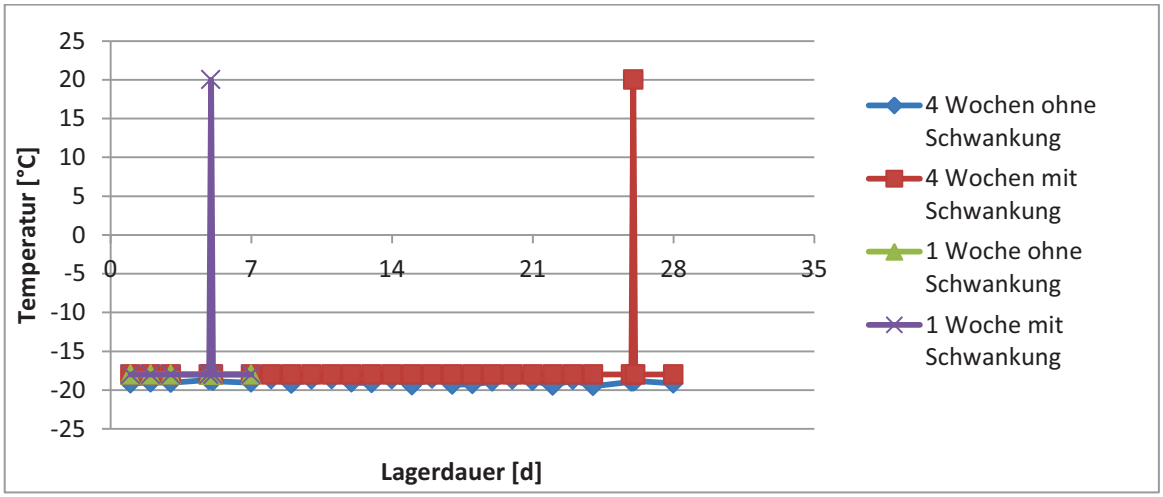


Abbildung 21: Darstellung der Lagerbedingungen

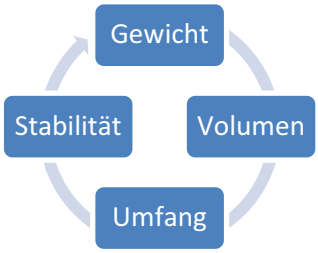


Abbildung 22: Messgrößen der Gebäckstücke nach Lagerende

5.3 Vorversuch mit der Mikrowelle

Ziel der Mikrowellenversuche war es, eine möglichst optimale Lösung für das Zubereiten von vorgebackenen TK-Semmeln in der Mikrowelle zu finden. Folgende Parameter wurden untersucht:

- Dauer
- Leistung
- Verpackung (Anwendung von Suszeptoren bzw. keine Anwendung dieser)

Die ersten Vorversuche wurden bei einem Partnerunternehmen des Projekts vor Ort mit vorgebackenen, tiefgekühlten Handsemmeln durchgeführt. Sie wurden in der Mikrowelle aufgebacken, wobei die oben genannten Parameter variiert wurden. Die Semmeln wurden anschließend je nach 2 – 3 min und nach 30 min verkostet und die Beschaffenheit der Kruste und Krume subjektiv bewertet. Die Wartedauer von 2 – 3 min wurde gewählt, da davon ausgegangen wurde, dass der Konsument ein Mikrowellenprodukt mit hoher Wahrscheinlichkeit unmittelbar nach dem Zubereiten in der Mikrowelle genießen möchte. Ebenfalls von Interesse war, ob sich die Produkttextur nach 30 min signifikant verändert. Vor allem die Krume war hierbei von Interesse, da Gebäck, das in der Mikrowelle zubereitet wird, sehr schnell eine gewisse Zähigkeit aufweist.

Bei der Leistung der Mikrowelle gab es vier Stufen. Im Vorversuch wurde ermittelt, dass nur die beiden ersten Stufen (Stufe 1: Auftaustufe, 170 W und Stufe 2: niedrige Leistung, 340 W) zu zufriedenstellenden Ergebnissen führten. Die Dauer des Garungsvorganges war in s einzustellen.

Bei der Verpackung wurden folgende Möglichkeiten ausprobiert (siehe Kapitel 4 „Material und Methoden“):

- Keine Verpackung, (ohne Suszeptor , Code: o. SZ)
- Schachtel mit eingebrachtem Suszeptor, Schrumpffolie, Luftöffnungen an der Oberfläche (mit Suszeptor 1, Code: SZ 1)
- Suszeptor-Karton, in Schachtel eingelegt (mit Suszeptor 2, Code: SZ 2)

Aufbauend auf den ersten Vorversuch wurden firmenintern weitere ähnliche Versuche durchgeführt, um die schon gewonnenen Erkenntnisse zu verstärken. Die Versuche wurden mit drei verschiedenen Mikrowellen durchgeführt. Da die Modelle schon älter waren, wurde der tatsächliche Wert der Mikrowellenleistung ermittelt (siehe Kapital 4.2.8 „Ermittlung der tatsächlichen Mikrowellenleistung“). Aufgrund der schwer einzustellenden Erhitzungsbedingungen wurden nach einigen Versuchen die Messungen mit Mikrowelle 2 abgebrochen und mit den zwei verbleibenden Modellen weitergearbeitet. Die Zubereitung in der Mikrowelle und die Bewertung der Proben erfolgten in Dreifachbestimmung.

Da die Vakuumkühlung auch in Bäckereibetrieben jüngst ebenfalls ein weit verbreitetes Thema ist, wurde in weiteren Vorversuchen versucht, herauszufinden, ob man mithilfe dieser Technologie eine Verbesserung beim Aufbacken mit der Mikrowelle erzielen kann. Es wurden Proben, die nach dem Backprozess vakuumgekühlt wurden mit den herkömmlichen Proben verglichen. Die Bewertungen werden wieder in Kapitel 6.3 „Ergebnisse der Vorversuche mit der Mikrowelle“ dargestellt.

5.4 Hauptversuch mit der Mikrowelle

Um die Auswirkungen der Mikrowellenerwärmung mit unterschiedlichen Leistungseinstellungen und Verpackungen herauszufinden, wurden die teilgebackenen Semmeln in der Mikrowelle zubereitet. Die Semmeln wurden mit bzw. ohne Verpackung verschieden lang mit verschiedenen Leistungseinstellungen erhitzt. In Abb. 23 sind alle Parameter der Mikrowellenversuche aufgezeigt.

Aufbauend auf die Ergebnisse der Vorversuche wurde der Hauptversuch durchgeführt. Dazu wurden die vorgebackenen Semmeln mit denselben Suszeptorverpackungen wie in den Vorversuchen aufgebacken und mit nicht verpackten Semmeln verglichen. Die Proben wurden jeweils mit zwei verschiedenen Leistungsvarianten (160 und 350 W) und Aufbackzeiten (1:15 und 2:00 min) zubereitet. Diese Parameter wurden gewählt, da mit ihnen bei den Vorversuchen die besten Ergebnisse erzielt wurden. Anschließend wurden die Proben entweder gleich nach ca. 5 min bzw. nach 60 min analysiert, um herauszufinden, wie sie sich in diesem Zeitraum verändern. Die Methoden zu Analyse sind in Kapitel 4.2 „Methoden“ detailliert erklärt.

Insgesamt wurden 130 Proben zubereitet und analysiert. In Abb. 23 sind die Versuchsparameter des Hauptversuches noch einmal graphisch dargestellt. Die Zahl 130 ergab sich, indem von jeder Kombination der Versuchsparameter fünf Proben gemessen wurden (120 Proben). Zusätzlich wurde eine Kontrollgruppe ausgewählt, bei der jeweils fünf Proben nach 5 bzw. 60 min gemessen wurden, jedoch ohne Mikrowellenerwärmung (10 Proben).

Die Messgrößen aller verschiedenen Szenarien waren (siehe Abb. 24):

- Gewicht (Gewichtsdifferenzen der Semmeln vor und nach der Mikrowellenerwärmung (Gewichtsverlust 1), also noch im warmen Zustand, und vor der Zubereitung und vor der Volumenmessung (Gewichtsverlust 2), also nach einer gewissen Abkühlzeit [g])
- Farbmessung (L*a*b*-Werte)
- spezifische Volumen [cm^3/100 g]
- relative Elastizität [%]

Als erster Schritt erfolgte die Gewichtsbestimmung der Proben. Dazu wurden die Proben im tiefgekühlten Zustand mithilfe einer Styroporbox und Kühlakkus vor der Zubereitung in der Mikrowelle gewogen. Anschließend wurden sie mit der erforderten Leistung, Verpackung und Dauer in der Mikrowelle erhitzt. Proben, die ohne Verpackung zubereitet wurden, wurden ohne Unterlage in der Mitte des Mikrowellentellers platziert, die Türe geschlossen und die gewünschten Einstellungen wurden ausgewählt. Dann erfolgte erneut die Bestimmung des

Gewichts. Nach der Zubereitung und der jeweiligen Wartezeit wurden mittels DigiEye die Farbwerte ermittelt. Hierzu wurden je zwei Proben auf der dunkelblauen Analysenplatte des DigiEyes platziert und die Tür geschlossen. Anschließend wurden die Proben durch die Einstellungen „Diffused“ und „Autofocus“ am Computer abgelichtet. Beim fertigen Bild wurde der Hintergrund entfernt und die L*ab*-Werte wurden ermittelt und abgespeichert. Danach fand die Messung des spezifischen Volumens statt. Der letzte Schritt war die Ermittlung der relativen Elastizität mithilfe des Texture Analysers. Hier wurden die Semmeln mit Schneidelehre und Säge zurechtgeschnitten und die Oberseite der Probe entfernt. Dann wurde sie in der Mitte des Messtisches platziert und an zwei festgelegten Punkten gemessen. So konnte F_{max}, F_{120} und REL ermittelt werden.

Verpackung	Leisung der Mikrowelle [W]	Dauer der Mikrowellenzubereitung [min]	Zeitpunkt der Messung
• Suszeptor 1 • Suszeptor 2 • kein Suszeptor	• 160 • 350	• 1:15 • 2:00	• nach 5 min • nach 60 min

Abbildung 23: Versuchsparameter

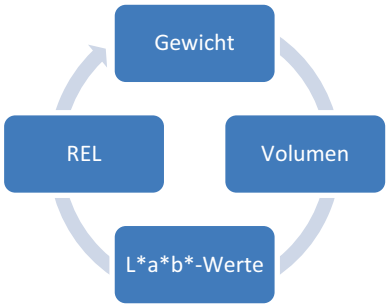


Abbildung 24: Messwerte

6 Versuchsergebnisse und Diskussion

6.1 Ergebnisse der Vorversuche Gefrierbrand bzw. Feuchtigkeitsverlust

6.1.1 Vergleich der Gewichtsverluste

Für die Gegenüberstellung der Ergebnisse des Lagervorversuches wurde der Gewichtsverlust von unverpackten Gebäcksorten nach definierter Lagerdauer in g und % ermittelt. Zum Vergleich wurden die Mittelwerte des Doppelansatzes in % herangezogen.

Begutachtet man die Werte der Teiglinge, die keinen Temperaturschwankungen unterlagen, war zuerst zu sehen, dass der Gewichtsverlust zwischen Tag 1 und Tag 10 wie erwartet kontinuierlich stieg. Nach zwei Tagen lag er noch bei 0,65 %, nach drei bei 0,83 %. An Tag 6 und 7 betrug er bereits um die 2 % und nach zehn Tagen 2,67 %. Die Range war bei allen Mittelwerten gering (Tab. 10).

Der Mittelwert des Gewichtsverlustes bei den teilgebackenen Semmeln, die ebenfalls keinen Schwankungen unterlagen, betrug nach zwei Tagen - genau wie bei den Teiglingen - 0,65 %, nach drei Tagen war er noch immer ähnlich (0,79 %). An Tag 6 lag er schon bei 2,31 %, an Tag 7 bei 3,30 %. Am letzten Tag der Lagerung betrug der mittlere Gewichtsverlust 3,41 %. Daraus lässt sich schließen, dass teilgebackene Backwaren mit der Zeit mehr an Gewicht - und somit auch an Feuchtigkeit - verloren als nicht vorgebackenes Gebäck (Tab. 11).

Die nächsten zwei Tabellen (Tab. 12 und 13) zeigen den Gewichtsverlust der beiden Gebäcksorten, wenn sie Temperaturschwanken unterlagen.

Bei den Semmelteiglingen lag nach zwei Tagen mit Temperaturschwankung ein Mittelwert von 0,42 % vor, was unter jenem der Proben ohne Schwankungen lag. Auch an Tag 3 war der Verlust mit 0,67 % kleiner. An den Tagen 6 und 7 (1,31 % und 1,57 %) lagen die Werte ebenfalls noch unter denen der Proben, die keinen Schwankungen unterlagen. Erst an Tag 10 war der Gewichtsverlust annähernd gleich (2,66 %).

Den letzten Lagertag ausgenommen, nahm das Gewicht der Teiglinge ohne Schwankungen mehr bzw. schneller ab als jenes der Teiglinge mit Temperaturschwankungen. Diese Beobachtung machten PHIMOLSIRIPOL et al. (2008) ebenfalls. Vermutlich passierte dies aus dem Grund, weil sich bei der Temperaturerhöhung von -18 °C auf -2 °C Feuchtigkeit, die aus den Gebäckstücken entwich, in der Tiefkühltruhe bildete, die sich bei erneuter Senkung der Temperatur an den Gebäckstücken anlagerte, wieder gefror und haften blieb (PHIMOLSIRIPOL et al., 2008).

Betrachtet man die Mittelwerte der teilgebackenen Proben, die Temperaturschwankungen unterlagen, ist zu erkennen, dass die Gewichtsverluste bis zu Tag 7 stetig stiegen. Zwischen Tag 7 und 10 lag jedoch keine Erhöhung mehr vor. Dies war bei den teilgebackenen Gebäcken, die keine Schwankung erfuhren, auch der Fall, jedoch verloren diese insgesamt mehr an Gewicht bzw. Feuchtigkeit. So wiesen sie an Tag 10 einen Gewichtsverlust von 3,41 % auf, die halbgebackenen Proben mit Schwankungen nur 2,61 %. Wiederum wird davon ausgegangen, dass innerhalb der Tiefkühltruhe bei Temperaturschwankungen die von den Gebäcken ausgetretene Feuchtigkeit bei erneuter Temperatursenkung wieder an den Proben anhaftete und gefror, welche zu einer geringeren Gewichtsreduktion führte. Lagen keine Schwankungen vor, kehrte die ausgetretene Feuchtigkeit nicht mehr zu den Proben zurück (PHIMOLSIRIPOL et al., 2008).

Auch beim Betrachten der Verluste am Anfang der Lagerzeit (Tag 2 und 3) ist zu erkennen, dass bei den teilgebackenen Backwaren mit Schwankungen der Gewichtsverlust geringer war als bei jenen ohne Schwankung.

In Abb. 25 sind die verschiedenen Gewichtsverluste [%] noch einmal graphisch zum Vergleich dargestellt. Betrachtet man die Abbildung, ist klar ersichtlich, dass bei den teilgebackenen Proben der Gewichtsverlust zwischen Tag 3 und 7 sehr stark zunahm, was bei den Semmelteiglingen nicht so ausgeprägt vorkam. Den größten Gewichtsverlust nach zehn Tagen zeigten eindeutig die teilgebackenen Semmeln, die keiner Temperaturschwankung ausgesetzt waren. Die anderen drei Probenansätze haben nach Ende der Lagerzeit nahezu gleich viel an Gewicht verloren.

Tabelle 10: Gewichtsverlust der Teiglinge, unverpackt, ohne Schwankungen

	Masse Beginn [g]	Nach x Tagen	Masse Ende [g]	Gewichtsverlust [g]	Gewichtsverlust [%]
1	78,91	2	78,35	0,56	0,71
2	76,56	2	76,11	0,45	0,59
MW					**0,65**
Range					**0,12**
1	76,71	3	76,05	0,66	0,86
2	75,32	3	74,72	0,60	0,80
MW					**0,83**
Range					**0,06**
1	74,64	6	73,24	1,40	1,88
2	76,76	6	75,13	1,63	2,12
MW					**2,00**
Range					**0,25**
1	74,98	7	73,47	1,51	2,01
2	75,17	7	73,71	1,46	1,94
MW					**1,98**
Range					**0,07**
1	79,34	10	77,20	2,14	2,70
2	75,53	10	73,54	1,99	2,63
MW					**2,67**
Range					**0,06**

Tabelle 11: Gewichtsverlust der Halbbackware, unverpackt, ohne Schwankungen

	Masse Beginn [g]	Nach x Tagen	Masse Ende [g]	Gewichtsverlust [g]	Gewichtsverlust [%]
1	62,46	2	62,03	0,43	0,69
2	63,21	2	62,82	0,39	0,62
MW					**0,65**
Range					**0,07**
1	62,93	3	62,40	0,53	0,84
2	64,23	3	63,75	0,48	0,75
MW					**0,79**
Range					**0,09**
1	64,47	6	62,99	1,48	2,30
2	64,61	6	63,11	1,53	2,32
MW					**2,31**
Range					**0,02**
1	62,84	7	60,55	2,29	3,64
2	63,15	7	61,28	1,87	2,96
MW					**3,30**
Range					**0,68**
1	61,35	10	59,44	1,91	3,11
2	62,76	10	60,43	2,33	3,71
MW					**3,41**
Range					**0,60**

Tabelle 12: Gewichtsverlust der Teiglinge, unverpackt, mit Schwankungen

	Masse Beginn [g]	Nach x Tagen	Masse Ende [g]	Gewichtsverlust [g]	Gewichtsverlust [%]
1	66,93	2	66,67	0,26	0,39
2	73,30	2	72,98	0,32	0,44
MW					**0,42**
Range					**0,05**
1	75,04	3	74,55	0,49	0,65
2	75,74	3	75,22	0,52	0,69
MW					**0,67**
Range					**0,04**
1	77,87	6	76,89	0,98	1,26
2	75,92	6	74,89	1,03	1,36
MW					**1,31**
Range					**0,10**
1	74,89	7	65,90	1,15	1,54
2	74,77	7	73,58	1,19	1,59
MW					**1,57**
Range					**0,05**
1	76,57	10	74,60	1,97	2,57
2	75,42	10	73,35	2,07	2,74
MW					**2,66**
Range					**0,17**

Tabelle 13: Gewichtsverlust der Halbbackware, unverpackt, mit Schwankungen

	Masse Beginn [g]	Nach x Tagen	Masse Ende [g]	Gewichtsverlust [g]	Gewichtsverlust [%]
1	62,58	2	62,78	0,20	0,32
2	65,75	2	65,60	0,15	0,23
MW					**0,28**
Range					**0,09**
1	64,83	3	64,65	0,18	0,28
2	63,54	3	63,32	0,22	0,35
MW					**0,32**
Range					**0,07**
1	63,41	6	62,54	0,87	1,37
2	64,74	6	63,80	0,94	1,45
MW					**1,41**
Range					**0,08**
1	62,80	7	61,28	1,52	2,42
2	64,75	7	62,87	1,88	2,90
MW					**2,66**
Range					**0,48**
1	66,45	10	65,06	1,39	2,09
2	64,47	10	62,46	2,01	3,12
MW					**2,61**
Range					**1,03**

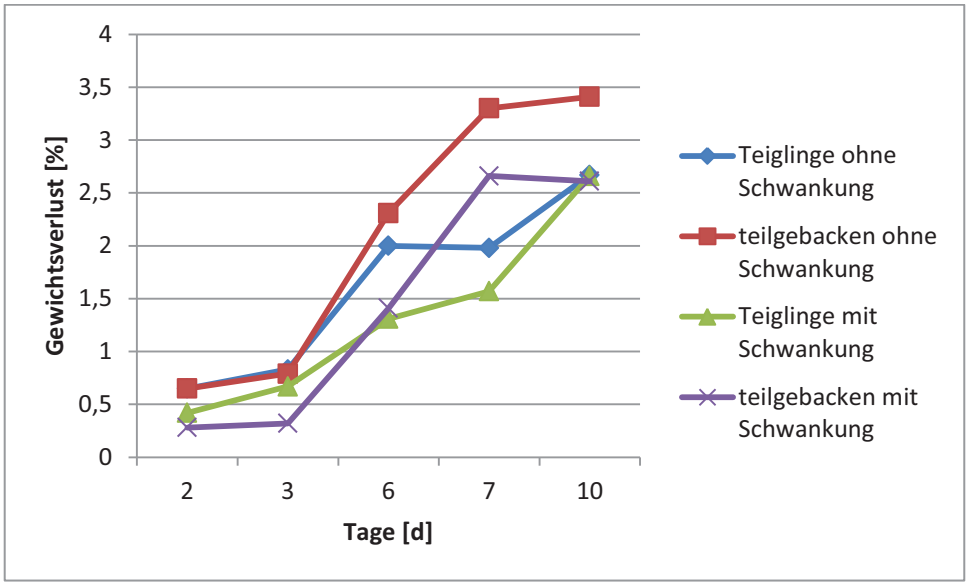


Abbildung 25: Vergleich des Gewichtsverlustes

6.2 Ergebnisse der Hauptversuche zu Gefrierbrand bzw. Gewichtsverlust

6.2.1 Foliendicke und weitere Folieneigenschaften

6.2.1.1 Schrumpffolie

Die Dicke der Schrumpffolie betrug laut Foliendatenblatt 15 µm (SAROFILM, 2016). Dies wurde mithilfe der in Kapitel 4.2.1 „Bestimmung der Foliendicke“ beschriebenen Methode nach DIN 53370 (2006) überprüft.

Der Mittelwert der Schrumpffolie betrug nach der Zehnfachbestimmung **14,9 ± 0,32 µm**.

6.2.1.2 Gefrierbeutel

Da es keine Angaben zur Foliendicke gab, wurde eine Bestimmung der Dicke durch mechanische Abtastung nach der in Kapitel 4.2 „Methoden“ mit einer Zehnfachbestimmung durchgeführt (DIN 53370, 2006).

Die Foliendicke der Gefrierbeutel betrug im Mittel **28,4 ± 0,52 µm**.

Vergleicht man die Foliendicke des Gefrierbeutels (28,4 µm) mit der der Schrumpffolie (14,9 µm), ist auszusagen, dass die Schrumpffolie fast um die Hälfte dünner war. Dies wiederum wirkt sich positiv auf die Abfallvermeidung aus, auf die in Kapitel 2.5.3 „Verpackung und Umwelt“ im Literaturteil bereits eingegangen wurde.

6.2.2 Gebäckeigenschaften

Pillai-Bartlett trace für die Unterschiede fiel für alle unabhängigen Variablen (Verpackung, Lagerbedingung, Anzahl und Gebäck) signifikant aus. Bei den Variablen Verpackung, Lagerbedingung und Gebäck ist die Signifikanz < 0,001, bei der Anzahl 0,007. Das heißt, es bestanden Unterschiede zwischen den verschiedenen Lagerparametern. Das partielle η^2 von 1,00 zeigt, dass ein starker Effekt bestand. Die Post-Hoc-Tests wurden für die unabhängige Variable Anzahl nicht ausgeführt, da weniger als drei Gruppen vorhanden waren.

Die verschiedenen Abkürzungen für die unabhängigen Variablen werden in Tab. 14 zusammengefasst. Sie bestanden aus drei Verpackungsvarianten, zwei verschiedenen Stückanzahlen in der Verpackung, vier verschiedenen Lagerbedingungen und drei Gebäckarten. Die abhängigen Variablen waren Gewichtsverlust, spezifisches Volumen und Umfang.

In Tab. 15 werden alle Mittelwerte und Standardabweichungen für den Gewichtsverlust [%], das spezifische Volumen [cm^3/100 g] und den Umfang [cm] als Übersicht dargestellt. Alle Kombinationen von Anzahl, Lagerbedingung, Gebäck und Verpackung werden aufgezeigt. Um die Gebäckarten besser auseinanderhalten zu können, wurden die Semmelteiglinge olivgrün, die teilgebackenen Semmeln grau und die Salzstangerln hellblau hintermalt.

Tabelle 14: Abkürzungen der Versuchsparameter

Unabhängige Variablen	Code	Erklärung
Verpackungsart	KG	Kontrollgruppe (nicht verpackt)
	Verp. 1	Verpackung 1 (Gefrierbeutel)
	Verp. 2	Verpackung 2 (Schrumpffolie)
Anzahl	Einzeln	Einzeln verpackt
	5	5 Proben in einer Verpackung
Lagerbedingungen	1 W. o. Schw.	1 Woche ohne Schwankung
	1 M. o. Schw.	1 Monat ohne Schwankung
	1 W. m. Schw.	1 Woche mit Schwankung
	1 M. m. Schw.	1 Monat mit Schwankung
Gebäckart	Semmelt.	Semmelteigling
	Semmel teilgeb.	Semmel teilgebacken
	Salzstangerlt.	Salzstangerlteigling

6.2.2.1 Gewichtsverlust

Bei den Tests der Zwischensubjekteffekte ist zu erkennen, dass sich die Verpackungsvariante signifikant auf den Gewichtsverlust auswirkte ($p < 0,001$, $\eta^2 = 0,972$). Der sehr hohe Wert des partiellen Eta^2 bedeutet, dass ein großer Effekt bestand (TRAN, 2011). Betrachtet man die zugehörigen p-Werte des Post-hoc-Tests in Tab. 16, ist eindeutig zu erkennen, dass zwischen der Kontrollgruppe, also der nicht verpackten Proben und beiden Verpackungsarten ein signifikanter Unterschied bestand ($p < 0,001$). Im Gegensatz dazu beträgt der p-Wert zwischen den zwei verschiedenen Verpackungen 0,972, was bedeutet, dass kein Unterschied zwischen den beiden Folien bestand.

Sieht man sich die Mittelwerte diesbezüglich genauer an, fällt auf, dass nach einer Woche ohne Temperaturschwankung die unverpackten Semmelteiglinge 1,41 % ihres Gewichtes verloren. Dahingegen war der Verlust der verpackten Proben kaum wahrnehmbar (Verpackung 1: 0,08 %; Verpackung 2: 0,03). Somit bestand zwischen den zwei Verpackungsvarianten kein signifikanter Unterschied ($p = 0,927$), jedoch zwischen den nicht verpackten Proben und den beiden verpackten schon ($p < 0,001$). Trat eine Temperaturschwankung auf, blieben die Mittelwerte der verpackten Proben ähnlich (Verpackung 1: 0,09 %; Verpackung 2: 0,06 %; es besteht kein signifikanter Unterschied), die nicht verpackten Proben verloren jedoch im Mittel 2,89 %, was ca. den doppelten Gewichtsverlust verglichen mit der gleichen Lagerbedingung ohne Temperaturschwankung

bedeutet. Nach einem Monat betrug der Verlust an Gewicht bei den unverpackten Proben ohne Temperaturschwankung 6,03 %, mit Schwankung 6,33 %. Hier bestanden unter den Lagerdauern große Unterschiede und auch die Temperaturschwankung spielte eine signifikante Rolle. Wurden die Proben verpackt, waren die Prozentsätze des Gewichtsverlusts wieder sehr klein (ohne Schwankung: Verpackung 1: 0,17 %; Verpackung 2: 0,13 %; mit Schwankung: Verpackung 1: 0,30 %; Verpackung 2: 0,09 %). Der Gewichtsverlust im Gefrierbeutel war geringfügig größer jedoch statistisch nicht signifikant ($p = 0,927$). Grund dafür kann eine höhere Durchlässigkeit der Folie sein. Auch möglich ist, dass sich aus dem Gebäck ausgetretene Flüssigkeit mehr Platz zur Anlagerung an der Folieninnenseite hatte, da der Gefrierbeutel deutlich weniger am Produkt anlag.

Der Mittelwert der nicht verpackten, teilgebackenen Semmeln nach einer Woche ohne Temperaturschwankung lag bei 2,27 %. Der Verlust der verpackten Proben war wieder nicht wahrnehmbar (Verpackung 1: 0,02 %; Verpackung 2: -0,03 %). Bei einer Temperaturschwankung betrugen die Mittelwerte der verpackten Proben 0,03 % (Gefrierbeutel) und 0,15 % (Schrumpffolie), war die Semmel nicht verpackt, verlor sie aber im Mittel 3,63 %. Auch hier verlor die unverpackte Probe mehr an Gewicht, wenn eine Temperaturschwankung auftrat. Verging ein Monat, betrug der Gewichtsverlust der unverpackten Proben ohne Temperaturschwankung 7,11 %, mit Schwankung 7,60 %. Es bestanden wieder unter den Lagerdauern große Unterschiede (ca. 4 %), jedoch hatte die Temperaturschwankung keinen großen Einfluss. Die verpackten Proben wiesen Gewichtsverluste von 0,17 % (Verpackung 1, ohne Schwankung), 0,13 % (Verpackung 2, ohne Schwankung), 0,06 % (Verpackung 1, mit Schwankung) und 0,05 % (Verpackung 2, mit Schwankung) auf. Die geringe Zunahme des Gewichts ist auf die Anlagerung von Eiskristallen zurückzuführen, welche auch bei der Analyse sichtbar waren. Jedoch kann auch hier eindeutig die Aussage getätigt werden, dass verpackte Proben - egal mit welcher der beiden Folien - weniger an Gewicht verloren als unverpackte.

Der Mittelwert der nicht verpackten Salzstangerlteiglinge einer Woche ohne Temperaturschwankung lag bei 1,27 %. Die verpackten Proben behielten ihr Anfangsgewicht. Bei einer Temperaturschwankung während der Lagerung betrug der Mittelwert der unverpackten Proben 1,57 %, also etwas mehr als ohne Temperaturschwankung und der verpackten Proben 0,07 % (Verpackung 1) und 0,01 % (Verpackung 2). Nach einem Monat sind folgende Mittelwerte berechnet worden: 5,16 % (nicht verpackt, ohne Schwankung), 5,51 % (nicht verpackt, mit Schwankung), 0,04 % (Verpackung 1, ohne Schwankung), 0,10 % (Verpackung 1, mit Schwankung), 0,01 % (Verpackung 2, ohne Schwankung) und 0,01 % (Verpackung 2, mit Schwankung). Die Unterschiede der Gewichtsverluste waren ähnlich wie bei den vorherigen Gebäcken.

Die Anzahl der Gebäckstücke in der Verpackung, also entweder ein oder fünf Stück, spielte laut Test der Zwischensubjekteffekte keine Rolle beim Gewichtsverlust ($p = 0{,}893$, $\eta^2 < 0{,}001$). Hier ist der Effekt des partiellen Eta^2 sehr klein (TRAN, 2011). Dies ist auch an den Mittelwerten in Tab. 15 zu erkennen.

Ganz im Gegensatz dazu wirkten sich die Lagerbedingungen mit einer Signifikanz von < 0,001 auf das Gewicht und $\eta^2 = 0{,}818$ aus. Alle vier verschiedenen Lagerbedingungen hatten einen signifikanten Einfluss auf den Gewichtsverlust (alle $p < 0{,}001$, außer Lagerbedingung 2 auf 4: $p = 0{,}042$). Auch die Art des Gebäcks zeigte einen Einfluss auf den Gewichtsverlust auf ($p = < 0{,}001$, $\eta^2 = 0{,}326$). Vergleicht man die Semmelteiglinge mit der Halbbackware, trat eine Signifikanz von 0,010 auf, beim Vergleich von Semmelteiglingen mit Salzstangerlteiglingen und Halbbackware mit Salstangerln beträgt $p < 0{,}001$. Daher war der Gewichtsverlust bei allen Gebäckarten signifikant unterschiedlich. Die genauen Werte dazu wurden bereits beschrieben.

In Abb. 26 wird der Gewichtsverlust in Abhängigkeit von der Verpackung für die vier verschiedenen Lagerbedingungen dargestellt. Auch hier ist wieder deutlich erkennbar, dass die nicht verpackten Proben (hier Verpackung 3) bei jeder Lagerung den höchsten Gewichtsverlust aufwiesen. Zwischen Verpackung 1 (Gefrierbeutel) und 2 (Schrumpffolie) bestanden nur sehr kleine Unterschiede, die laut Statistik nicht signifikant waren.

Zusammengefasst kann ausgesagt werden, dass sich die Verpackungsvariante signifikant auf den Gewichtsverlust der Gebäcke auswirkte. Zwischen der Kontrollgruppe, also der nicht verpackten Proben und beiden Verpackungsarten bestand ein signifikanter Unterschied, wohingegen keiner zwischen den beiden Folien wahrzunehmen war. Die Anzahl der Gebäckstücke in der Verpackung, also entweder ein oder fünf Stück, spielte keine Rolle. Im Gegensatz dazu hatten die vier verschiedenen Lagerbedingungen einen signifikanten Einfluss auf den Gewichtsverlust.

Tabelle 15: Mittelwerte und Standardabweichungen des Gewichtsverlustes bei allen Kombinationen der Lagerparameter

	Gewichtsverlust [%]		
Kombinationen Anzahl: Lagerbedingung: Gebäck	KG	Verp. 1	Verp. 2
Einzeln : 1 W. o. Schw. : Semmelt.	1,41 ± 0,54	0,08 ± 0,03	0,03 ± 0,02
Einzeln : 1 W. o. Schw. : Semmel teilgeb.	2,27 ± 0,58	0,02 ± 0,04	-0,03 ± 0,05
Einzeln : 1 W. o. Schw. : Salzstangerlt.	1,27 ± 0,42	0,00 ± 0,02	-0,02 ± 0,01
Einzeln : 1 M. o. Schw. : Semmelt.	6,03 ± 0,64	0,17 ± 0,02	0,13 ± 0,02
Einzeln : 1 M. o. Schw. : Semmel teilgeb.	7,11 ± 1,22	-0,01 ± 0,01	-0,01 ± 0,02
Einzeln : 1 M. o. Schw. : Salzstangerlt.	5,16 ± 0,81	0,04 ± 0,02	0,01 ± 0,02
Einzeln : 1 W. m. Schw. : Semmelt.	2,89 ± 0,24	0,09 ± 0,02	0,06 ± 0,03
Einzeln : 1 W. m. Schw. : Semmel teilgeb.	3,63 ± 0,40	0,03 ± 0,02	0,15 ± 0,04
Einzeln : 1 W. m. Schw. : Salzstangerlt.	1,57 ± 0,31	0,07 ± 0,02	0,01 ± 0,05
Einzeln : 1 M. m. Schw. : Semmelt.	6,33 ± 0,32	0,30 ± 0,06	0,09 ± 0,07
Einzeln : 1 M. m. Schw. : Semmel teilgeb.	7,60 ± 0,29	0,06 ± 0,05	0,05 ± 0,05
Einzeln : 1 M. m. Schw. : Salzstangerlt.	5,51 ± 0,18	0,10 ± 0,03	0,01 ± 0,03
5 : 1 W. o. Schw. : Semmelt.	-	0,05 ± 0,06	0,08 ± 0,12
5 : 1 W. o. Schw. : Semmel teilgeb.	-	-0,05 ± 0,04	-0,04 ± 0,05
5 : 1 W. o. Schw. : Salzstangerlt.	-	0,01 ± 0,07	-0,02 ± 0,03
5 : 1 M. o. Schw. : Semmelt.	-	0,14 ± 0,40	0,11 ± 0,07
5 : 1 M. o. Schw. : Semmel teilgeb.	-	-0,03 ± 0,20	-0,01 ± 0,28
5 : 1 M. o. Schw. : Salzstangerlt.	-	0,01 ± 0,04	0,02 ± 0,08
5 : 1 W. m. Schw. : Semmelt.	-	0,13 ± 0,11	0,06 ± 0,06
5 : 1 W. m. Schw. : Semmel teilgeb.	-	0,02 ± 0,13	0,05 ± 0,19
5 : 1 W. m. Schw. : Salzstangerlt.	-	0,04 ± 0,06	0,00 ± 0,14
5 : 1 M. m. Schw. : Semmelt.	-	0,20 ± 0,21	0,14 ± 0,16
5 : 1 M. m. Schw. : Semmel teilgeb.	-	0,25 ± 0,62	0,03 ± 0,27
5 : 1 M. m. Schw. : Salzstangerlt.	-	0,12 ± 0,21	0,02 ± 0,37

Tabelle 16: p-Werte der Post-Hoch-Tests für den Gewichtsverlust (Bonferroni-Test)

Verpackungsarten					
KG:V1	KG:V2	V1:V2			
< 0,001	**< 0,001**	0,927			
Lagerbedingungen					
1WoS:1MoS	1WoS:1WmS	1WoS:1MmS	1MoS:1WmS	1MoS:1MmS	1WmS:1MmS
< 0,001	**< 0,001**	**< 0,001**	**< 0,001**	**0,042**	**< 0,001**
Gebäckart					
SeTg:TGSe	SeTg:SsTg	TGSe:SsTg			
0,010	**< 0,001**	**< 0,001**			

* KG = Kontrollgruppe, V1 = Verpackung 1, V2 = Verpackung 2, 1WoS = 1 Woche ohne Schwankung, 1MoS = 1 Monat ohne Schwankung, 1MmS = 1 Monat ohne Schwankung, 1WmS = 1 Woche mit Schwankung, SeTg = Semmelteigling, TGSe = teilgebackene Semmel, SsTg = Salzstangerlteigling

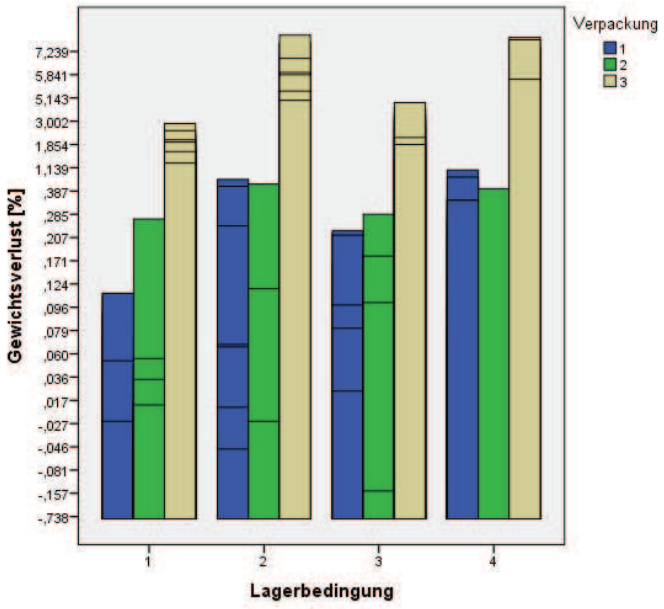


Abbildung 26: Gewichtsverlust in Abhängigkeit von den Lagerbedingungen und Verpackungsarten

*Lagerbedingung: 1 = 1 Woche ohne Schwankung, 2 = 1 Monat ohne Schwankung, 3 = 1 Woche mit Schwankung, 4 = 1 Monat mit Schwankung; Verpackung: 1 = Verpackung 1, 2 = Verpackung 2, 3 = Kontrollgruppe (nicht verpackt)

6.2.2.2 Spezifisches Volumen

Der Einfluss der Verpackung auf das spezifische Volumen war mit $p < 0,001$ signifikant. Das partielle Eta^2 mit 0,206 bedeutet, dass ein kleiner bis mittlerer Effekt bestand (TRAN, 2011). Betrachtet man dies mit dem Post-Hoc-Test genauer, kann man erkennen, wo die signifikanten Unterschiede lagen. Genauso wie beim Gewichtsverlust fanden auch hier wieder die Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und beiden Verpackungsvarianten statt ($p < 0,001$). Beim Vergleich zwischen den Gefrierbeuteln und der Schrumpffolie war lediglich ein Trend ($p = 0,056$) festzustellen.

Tab. 17 stellt die genauen Daten inklusive ihrer Standardabweichung bzgl. Des spezifischen Volumens dar. Der Mittelwert der nicht verpackten Semmelteiglinge einer Woche ohne Temperaturschwankung lag bei 179,91 cm^3/100 g. Die verpackten Proben wiesen ein spezifisches Volumen von 170,27 cm^3/100 g (Verpackung 1) und 176,84 cm^3/100 g auf. Bei einer Schwankung betrug der Mittelwert der unverpackten Proben 253,21 cm^3/100 g, also mehr als ohne Temperaturschwankung. Die verpackten Proben hatten Mittelwerte von 244,25 cm^3/100 g (Gefrierbeutel) und 248,93 cm^3/100 g (Schrumpffolie). Diese starke Volumenerhöhung stimmt nicht mit der Literatur überein (PHIMILSIRIPOL et al.,

2011; PHIMOLSIRIPOL et al., 2008; LE-BAIL und GABRIC, 2012). Nach einem Monat sind folgende Mittelwerte berechnet worden: 183,31 cm^3/100 g (nicht verpackt, ohne Schwankung), 198,28 cm^3/100 g (nicht verpackt, mit Schwankung), 161,02 cm^3/100 g (Verpackung 1, ohne Schwankung), 186,57 cm^3/100 g (Verpackung 1, mit Schwankung), 163,41 cm^3/100 g (Verpackung 2, ohne Schwankung) und 192,50 cm^3/100 g (Verpackung 2, mit Schwankung). Überall lagen Volumenzunahmen bei Temperaturschwankungen vor. Auch hier könnte wieder die Erklärung passen, dass sich Eiskristalle gebildet und am Gebäck abgelagert haben (LE-BAIL und GABRIC, 2012).

Bei den teilgebackenen Semmeln ohne Verpackung wurden folgende Mittelwerte festgestellt: 436,86 cm^3/100 g (eine Woche ohne Schwankung), 711,85 cm^3/100 g (eine Woche mit Schwankung), 553,87 cm^3/100 g (ein Monat ohne Schwankung), und 625,96 cm^3/100 g (ein Monat mit Schwankung). Für die Semmeln mit Verpackung 1 wurden die Mittelwerte 393,30 cm^3/100 g (eine Woche ohne Schwankung), 673,47 cm^3/100 g (eine Woche mit Schwankung), 499,67 cm^3/100 g (ein Monat ohne Schwankung) und 603,69 cm^3/100 g (ein Monat mit Schwankung) bestimmt. Und die Werte für Verpackung 2 lauten 406,93 cm^3/100 g (eine Woche ohne Schwankung), 691,08 cm^3/100 g (eine Woche mit Schwankung), 509,00 cm^3/100 g (ein Monat ohne Schwankung) und 604,70 cm^3/100 g (ein Monat mit Schwankung). Auch hier lässt sich die Volumenerhöhung der Proben, die einer Temperaturschwankung unterlagen, durch dies schon im vorigen Absatz beschriebenen Erklärungen erläutern.

Was bei den Salzstangerl-Proben anders ausfiel, ist, dass bei ihnen alle Proben, die einer Temperaturschwankung unterlagen, ein kleineres Volumen aufwiesen, als jene ohne Schwankung: 142,30 cm^3/100 g (eine Woche ohne Schwankung, nicht verpackt), 120,30 cm^3/100 g (eine Woche mit Schwankung, nicht verpackt), 133,94 cm^3/100 g (ein Monat ohne Schwankung, nicht verpackt), 92,24 cm^3/100 g (ein Monat mit Schwankung, nicht verpackt), 116,89 cm^3/100 g (eine Woche ohne Schwankung, Verpackung 1), 125,09 cm^3/100 g (eine Woche mit Schwankung, Verpackung 1), 106,09 cm^3/100 g (ein Monat ohne Schwankung, Verpackung 1), 80,90 cm^3/100 g (ein Monat mit Schwankung, Verpackung 1), 134,05 cm^3/100 g (eine Woche ohne Schwankung, Verpackung 2), 128,68

cm^3/100 g (eine Woche mit Schwankung, Verpackung 2), 111,05 cm^3/100 g (ein Monat ohne Schwankung, Verpackung 2), 84,87 cm^3/100 g (1 Monat mit Schwankung, Verpackung 2). Bei den allen Proben bis auf eine Ausnahme nahm das Volumen sowohl bei Temperaturschwankungen als auch mit der Zeit ab. Hier können also die Behauptungen aus der Literatur (LE-BAIL und GABRIC, 2012; PHIMOLSIRIPOL et al., 2011; PHIMOLSIRIPOL et al., 2008) bestätigt werden. Vergleicht man die zwei Folien untereinander, fielen die Werte des spezifischen Volumens sehr ähnlich aus. Verpackung 1 wies jedoch immer ein etwas kleineres Volumen auf, was beim aufgebackenen Produkt jedoch kaum zur Geltung kommen wird, da es sich um keine signifikanten Unterschiede handelt.

Die Anzahl der Gebäckstücke in der Verpackung hatte laut Test der Zwischensubjekteffekte einen Einfluss ($p = 0{,}001$, $\eta^2 = 0{,}042$) auf das spezifische Volumen. Hier wurden die Unterschiede zwischen den beiden Verpackungen betrachtet. Die Mittelwerte lagen nahe beieinander und es konnte keine Aussage getroffen werden, welche Folie besser war. In den meisten Fällen lag bei den Proben ein höheres spezifisches Volumen vor, die zu fünft in einer Folie gelagert wurden. Dies ist wahrscheinlich wieder auf die Anhaftung von Eiskristallen zurückzuführen (LE-BAIL und GABRIC, 2012).

Auch die Lagerbedingungen hatten einen signifikanten Einfluss ($p < 0{,}001$, $\eta^2 = 0{,}897$). Die p-Werte des Post-Hoc-Tests sagen aus, dass sich jede einzelne Lagerbedingung, also jeweils eine Woche bzw. ein Monat mit oder ohne Temperaturschwankung, voneinander mit einem Wert von < 0,001 voneinander unterschieden. Das Volumen der Gebäcksorten unterschied sich wie auch wie erwartet stark ($p < 0{,}001$, $\eta^2 = 0{,}994$). Die genauen Mittelwerte wurden schon in den Absätzen zuvor beschrieben.

Zusammengefasst kann ausgesagt werden, dass eine Verpackung einen signifikanten Einfluss auf das spezifische Volumen hatte. Es gab Unterschiede zwischen der Kontrollgruppe und beiden Verpackungsvarianten, zwischen den Gefrierbeuteln und der Schrumpffolie jedoch nicht. Bei nicht verpackten Semmelteiglingen nach Lagerung von einer Woche ohne Temperaturschwankung war das Volumen größer als ohne Temperaturschwankung. Bei den verpackten Proben fand eine starke Volumenerhöhung nach einem Monat statt. Die

Salzstangerl-Proben erfuhren ebenfalls eine Volumenzunahme nach einem Monat. Proben, die einer Temperaturschwankung unterlagen, wiesen ein kleineres Volumen auf im Gegensatz zu jenen ohne Schwankung. Die Anzahl der Gebäckstücke in der Verpackung hatte beim spezifischen Volumen einen Einfluss auf die Proben. Verglich man die Folien untereinander, konnte nicht festgestellt werden, welche Folie besser war. Das Volumen der Proben, die zu fünft in einer Verpackung gelagert wurden, fiel bei Lagerende höher aus (Abb. 27).

Tabelle 17: Mittelwerte und Standardabweichungen des spez. Volumens bei allen Kombinationen der Lagerparameter

	Spezifisches Volumen [cm3/100 g]		
Kombinationen Anzahl: Lagerbedingung: Gebäck	**KG**	**Verp. 1**	**Verp. 2**
Einzeln : 1 W. o. Schw. : Semmelt.	179,91 ± 18,75	170,27 ± 12,19	176,84 ± 13,62
Einzeln : 1 W. o. Schw. : Semmel teilgeb.	436,86 ±20,60	393,30 ± 18,64	406,93 ± 15,03
Einzeln : 1 W. o. Schw. : Salzstangerlt.	142,30 ± 6,86	116,89 ± 5,66	134,05 ± 4,91
Einzeln : 1 M. o. Schw. : Semmelt.	183,31 ± 9,00	161,02 ± 12,52	163,41 ± 9,76
Einzeln : 1 M. o. Schw. : Semmel teilgeb.	553,87 ± 29,52	499,67 ± 15,56	509,00 ± 17,20
Einzeln : 1 M. o. Schw. : Salzstangerlt.	133,94 ± 9,51	106,09 ± 17,60	111,05 ± 24,30
Einzeln : 1 W. m. Schw. : Semmelt.	253,21 ± 12,79	244,25 ± 17,99	248,93 ± 17,55
Einzeln : 1 W. m. Schw. : Semmel teilgeb.	711,85 ± 20,96	673,47 ± 28,41	691,08 ± 14,73
Einzeln : 1 W. m. Schw. : Salzstangerlt.	120,30 ± 19,32	125,09 ± 31,27	128,68 ± 21,05
Einzeln : 1 M. m. Schw. : Semmelt.	198,28 ± 11,80	186,57 ± 5,71	192,50 ± 7,01
Einzeln : 1 M. m. Schw. : Semmel teilgeb.	625,96 ± 20,09	603,69 ± 9,13	604,70 ± 15,78
Einzeln : 1 M. m. Schw. : Salzstangerlt.	92,24 ± 4,46	80,90 ± 5,33	84,87 ± 4,74
5 : 1 W. o. Schw. : Semmelt.	-	168,68 ± 15,01	180,51 ± 18,75
5 : 1 W. o. Schw. : Semmel teilgeb.	-	419,94 ± 11,80	425,54 ± 17,16
5 : 1 W. o. Schw. : Salzstangerlt.	-	118,09 ± 12,07	129,98 ± 9,63
5 : 1 M. o. Schw. : Semmelt.	-	171,69 ± 10,82	166,39 ± 2,52
5 : 1 M. o. Schw. : Semmel teilgeb.	-	514,48 ± 16,25	504,54 ± 21,95
5 : 1 M. o. Schw. : Salzstangerlt.	-	119,12 ± 10,58	133,16 ± 2,29
5 : 1 W. m. Schw. : Semmelt.	-	247,87 ± 24,98	246,34 ± 15,09
5 : 1 W. m. Schw. : Semmel teilgeb.	-	694,21 ± 18,93	696,79 ± 19,68
5 : 1 W. m. Schw. : Salzstangerlt.	-	134,64 ± 20,70	132,97 ± 26,70
5 : 1 M. m. Schw. : Semmelt.	-	192,94 ± 6,39	187,13 ± 7,05
5 : 1 M. m. Schw. : Semmel teilgeb.	-	609,78 ± 11,18	607,83 ± 9,45
5 : 1 M. m. Schw. : Salzstangerlt.	-	82,03 ± 5,58	87,14 ± 6,08

Tabelle 18: p-Werte der Post-Hoch-Tests für das spez. Volumen (Bonferroni-Test)

Verpackungsarten					
KG:V1	KG:V2	V1:V2			
< 0,001	**< 0,001**	0,056			
Lagerbedingungen					
1WoS:1MoS	1WoS:1WmS	1WoS:1MmS	1MoS:1WmS	1MoS:1MmS	1WmS:1MmS
< 0,001	**< 0,001**	**< 0,001**	**< 0,001**	**< 0,001**	**< 0,001**
Gebäckart					
SeTg:TGSe	SeTg:SsTg	TGSe:SsTg			
< 0,001	**< 0,001**	**< 0,001**			

* KG = Kontrollgruppe, V1 = Verpackung 1, V2 = Verpackung 2, 1WoS = 1 Woche ohne Schwankung, 1MoS = 1 Monat ohne Schwankung, 1MmS = 1 Monat ohne Schwankung, 1WmS = 1 Woche mit Schwankung, SeTg = Semmelteigling, TGSe = teilgebackene Semmel, SsTg = Salzstangerlteigling

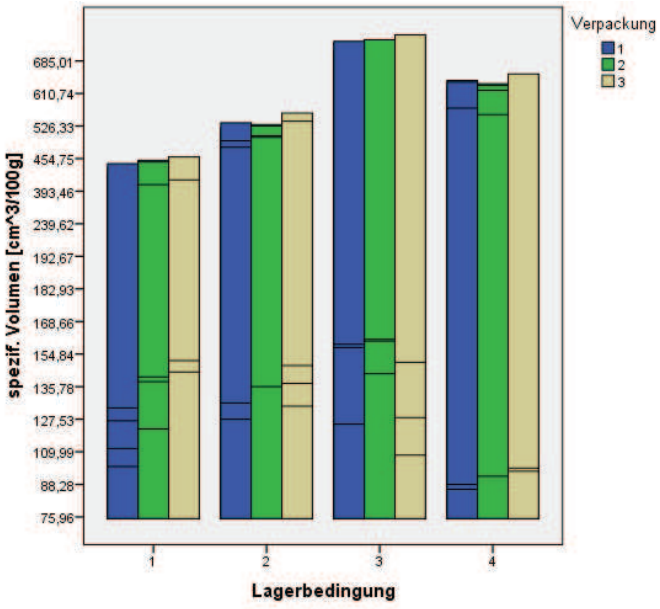


Abbildung 27: spezifi. Volumen in Abhängigkeit von den Lagerbedingungen und Verpackungsarten

*Lagerbedingung: 1 = 1 Woche ohne Schwankung, 2 = 1 Monat ohne Schwankung, 3 = 1 Woche mit Schwankung, 4 = 1 Monat mit Schwankung; Verpackung: 1 = Verpackung 1, 2 = Verpackung 2, 3 = Kontrollgruppe (nicht verpackt)

6.2.2.3 Umfang

Beim Umfang bestand keine signifikante Beeinflussung durch die Verpackung ($p = 0{,}161$, $\eta^2 = 0{,}015$). Näher betrachtet lauten die p-Werte im Post-Hoc-Test beim Vergleich Kontrollgruppe mit Verpackung 1 1,000, Kontrollgruppe mit Verpackung 2 0,617 und Verpackung 1 mit Verpackung 2 0,335. Auch die Anzahl der Gebäckstücke innerhalb der Verpackung nahm keinen Einfluss auf den Umfang ($p = 0{,}277$, $\eta^2 = 0{,}005$).

Betrachtet man den Einfluss der Lagerbedingungen auf den Umfang, so wurde hier ein signifikanter Unterschied ($p < 0{,}001$, $\eta^2 = 0{,}183$) entdeckt. Der Effekt wird als klein eingestuft. Sieht man sich die einzelnen Wechselwirkungen näher an, ist zu sehen, dass der Umfang der Gebäcke von Lagerbedingung 1 (1 Woche ohne Schwankung) verglichen mit jenem von Lagerbedingung 2 (1 Monat ohne Schwankung) keinen signifikanten Unterschied aufwies ($p = 1{,}000$). Das gleiche gilt für den Vergleich zwischen Lagerbedingung 3 (1 Woche mit Schwankung) und 4 (1 Monat mit Schwankung, $p = 0{,}158$). Bei allen anderen Kombinationen fanden signifikante Unterschiede statt. (1:3 $p = 0{,}002$; 1:4 $p < 0{,}001$; 2:3 $p = 0{,}001$; 2:4 $p < 0{,}001$). Sieht man sich die Mittelwerte dieser Kombinationen an, fand man für die

unverpackten Semmelteiglinge folgende Werte: 38,10 zu 36,60 cm (1:3), 38,10 zu 36,60 cm (2:3), 38,10 zu 36,50 cm (2:4). Die verpackten Semmeln zeigten Werte von 38,56 zu 36,20 cm (1:3; Verpackung 1), 38,10 zu 36,20 cm (2:3; Verpackung 1), 38,10 zu 36,60 cm (2:4; Verpackung 1), 38,00 zu 37,40 cm (1:3; Verpackung 2), 37,80 zu 37,40 cm (2:3; Verpackung 2) und 37,80 zu 36,60 cm (2:4; Verpackung 2). Überall wurde der Umfang der Semmelteiglinge kleiner. Das gleiche traf auch auf die Teiglinge zu, von denen fünf Stück in einer Folie verpackt waren. Vergleicht man die teilgebackenen Semmeln und auch die Salzstangerln, konnte keine so allgemeine Aussage mehr getätigt werden. Teilweise nahm der Umfang zu, teilweise ab (siehe Tab. 19 und Abb. 28).

Natürlich hatte die Gebäckart auch einen Einfluss auf den Umfang ($p < 0,001$, $\eta^2 = 0,987$). Dies war auch bei allen Gebäcksorten im Post-Hoc-Test zu erkennen. Semmelteiglinge wiesen einen Umfang zwischen 36,20 und 38,56 cm auf, halbgebackene Semmeln zwischen 51,50 und 53,60 cm und Salzstangerlteiglinge zwischen 55,30 und 58,70 cm.

Tabelle 19: Mittelwerte und Standardabweichungen vom Umfang bei allen Kombinationen der Lagerparameter

	Umfang [cm]		
Kombinationen Anzahl: Lagerbedingung: Gebäck	KG	Verp. 1	Verp. 2
Einzeln : 1 W. o. Schw. : Semmelt.	38,1 ± 1,0	38,6 ± 0,7	38,0 ± 1,2
Einzeln : 1 W. o. Schw. : Semmel teilgeb.	53,5 ± 0,6	52,8 ± 1,4	51,5 ± 1,0
Einzeln : 1 W. o. Schw. : Salzstangerlt.	58,4 ± 1,7	57,6 ± 1,5	56,2 ± 1,0
Einzeln : 1 M. o. Schw. : Semmelt.	38,1 ± 0,7	38,1 ± 0,6	37,8 ± 0,8
Einzeln : 1 M. o. Schw. : Semmel teilgeb.	52,2 ± 1,2	53,3 ± 1,2	52,8 ± 1,0
Einzeln : 1 M. o. Schw. : Salzstangerlt.	58,6 ± 0,4	57,0 ± 1,5	58,1 ± 1,0
Einzeln : 1 W. m. Schw. : Semmelt.	36,6 ± 1,4	36,2 ± 1,4	37,4 ± 1,3
Einzeln : 1 W. m. Schw. : Semmel teilgeb.	52,6 ± 1,0	53,2 ± 0,3	52,1 ± 0,9
Einzeln : 1 W. m. Schw. : Salzstangerlt.	57,4 ± 0,7	56,2 ± 1,6	56,8 ± 1,3
Einzeln : 1 M. m. Schw. : Semmelt.	36,5 ± 0,5	36,6 ± 0,6	36,6 ± 0,7
Einzeln : 1 M. m. Schw. : Semmel teilgeb.	51,8 ± 0,6	52,8 ± 0,5	53,0 ± 0,4
Einzeln : 1 M. m. Schw. : Salzstangerlt.	55,5 ± 1,0	55,9 ± 1,6	55,7 ± 1,2
5 : 1 W. o. Schw. : Semmelt.	-	37,9 ± 0,8	38,2 ± 0,8
5 : 1 W. o. Schw. : Semmel teilgeb.	-	53,6 ± 1,0	53,4 ± 1,6
5 : 1 W. o. Schw. : Salzstangerlt.	-	58,0 ± 1,3	55,8 ± 1,6
5 : 1 M. o. Schw. : Semmelt.	-	37,1 ± 0,8	38,3 ± 1,3
5 : 1 M. o. Schw. : Semmel teilgeb.	-	52,1 ± 1,3	52,0 ± 0,5
5 : 1 M. o. Schw. : Salzstangerlt.	-	57,7 ± 1,6	58,7 ± 1,0
5 : 1 W. m. Schw. : Semmelt.	-	37,7 ± 1,1	36,8 ± 1,6
5 : 1 W. m. Schw. : Semmel teilgeb.	-	52,9 ± 1,1	51,7 ± 1,2
5 : 1 W. m. Schw. : Salzstangerlt.	-	56,8 ± 1,0	57,5 ± 1,1
5 : 1 M. m. Schw. : Semmelt.	-	36,9 ± 0,8	36,9 ± 0,9
5 : 1 M. m. Schw. : Semmel teilgeb.	-	53,4 ± 0,4	52,9 ± 0,4
5 : 1 M. m. Schw. : Salzstangerlt.	-	56,3 ± 0,8	55,3 ± 0,8

Tabelle 20: p-Werte der Post-Hoch-Tests für das spez. Volumen (Bonferroni-Test)

Verpackungsarten					
KG:V1	KG:V2	V1:V2			
1,000	0,617	0,335			
Lagerbedingungen					
1WoS:1MoS	1WoS:1WmS	1WoS:1MmS	1MoS:1WmS	1MoS:1MmS	1WmS:1MmS
1,000	**0,002**	**< 0,001**	**0,001**	**< 0,001**	0,158
Gebäckart					
SeTg:TGSe	SeTg:SsTg	TGSe:SsTg			
< 0,001	**< 0,001**	**< 0,001**			

* KG = Kontrollgruppe, V1 = Verpackung 1, V2 = Verpackung 2, 1WoS = 1 Woche ohne Schwankung, 1MoS = 1 Monat ohne Schwankung, 1MmS = 1 Monat ohne Schwankung, 1WmS = 1 Woche mit Schwankung, SeTg = Semmelteigling, TGSe = teilgebackene Semmel, SsTg = Salzstangerlteigling

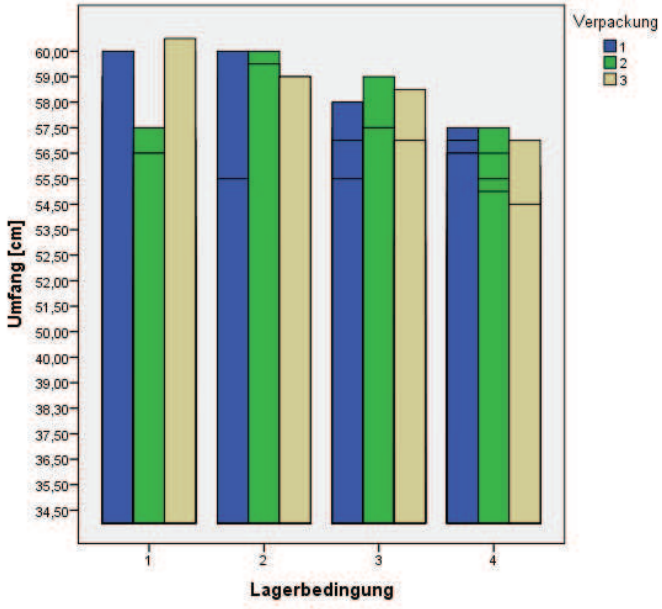


Abbildung 28: Umfang in Abhängigkeit von den Lagerbedingungen und Verpackungsarten

*Lagerbedingung: 1 = 1 Woche ohne Schwankung, 2 = 1 Monat ohne Schwankung, 3 = 1 Woche mit Schwankung, 4 = 1 Monat mit Schwankung; Verpackung: 1 = Verpackung 1, 2 = Verpackung 2, 3 = Kontrollgruppe (nicht verpackt)

6.2.3 Fallversuch

Keine einzige Semmel – ob Teigling oder teilgebacken – wurde bei den Fallversuchen beschädigt. Der Bruchwiderstand bei freiem Fall war hiermit bei 150 cm Höhe 100 %.

Anders war dies bei den Salzstangerln. Durch ihre langgezogene und dünne Form sind sie allgemein anfälliger zu brechen. In Tab. 21 sind die Zahlen der gebrochenen Proben abzulesen. Vergleicht man die unterschiedlichen Lagerbedingungen, ist auffällig, dass nach einer Woche ohne Temperaturschwankung die wenigsten Proben beschädigt wurden (9 von 50 Stück). Bei den anderen Bedingungen waren die Zahlen ähnlich (18 Stück nach einem Monat ohne Schwankung, 15 Stück nach einer Woche mit Schwankung und 16 Stück nach einem Monat mit Schwankung). Somit ist auszusagen, dass die kürzeste Lagerdauer und keine Temperaturschwankungen für die Stabilität der Proben am besten waren. In Abb. 29 und 30 sind beschädigte bzw. unbeschädigte Salzstangerl-Proben nach dem Falltest abgebildet.

Bezüglich der Verpackung ist die Aussage zu treffen, dass Proben, die verpackt wurden und im ausgepackten Zustand dem Falltest unterzogen wurden, dieser Belastung nicht eher standhalten konnten als unverpackte Proben. Dieses Problem konnte mit beiden Verpackungsarten somit nicht behoben werden.

Tabelle 21: Ergebnisse des Fallversuches (n pro Verpackungsart = 5)

Proben	1 Woche ohne Schwankung	1 Monat ohne Schwankung	1 Woche mit Schwankung	1 Monat mit Schwankung
Teiglinge				
V1, einzeln	0	0	0	0
V1, 5 in 1	0	0	0	0
V2, einzeln	0	0	0	0
V2, 5 in 1	0	0	0	0
Nicht verpackt	0	0	0	0
Summe	**0**	**0**	**0**	**0**
Teilgebackene Semmeln				
V1, einzeln	0	0	0	0
V1, 5 in 1	0	0	0	0
V2, einzeln	0	0	0	0
V2, 5 in 1	0	0	0	0
Nicht verpackt	0	0	0	0
Summe	**0**	**0**	**0**	**0**
Salzstangerlteiglinge				
V1, einzeln	0	3	1	2
V1, 5 in 1	2	3	2	3
V2, einzeln	1	3	3	4
V2, 5 in 1	5	4	5	3
Nicht verpackt	1	5	4	4
Summe	**9**	**18**	**15**	**16**

Abbildung 29: Beispiele für beschädigte Proben

Abbildung 30: unbeschädigte Probe

6.3 Ergebnisse der Vorversuche mit der Mikrowelle

Die in diesem Kapitel erörterten Vorversuche wurden aus dem Grund durchgeführt, um die Bedingungen für die darauffolgenden Hauptversuche grundsätzlich zu definieren. Durch sensorische und haptische Beurteilung wurden die Ergebnisse eingegrenzt bzw. ausgeschlossen.

Die Bewertung der wie in Kapitel 5.3 „Vorversuch mit der Mikrowelle“ beschriebenen, zubereiteten Semmeln wurde in zwei Kategorien unterteilt. Zum einen wurde die innere Beschaffenheit (Krume) mit den Zahlen 1, 2 und 3 (1 = nicht zufriedenstellend, 2 = zufriedenstellend, 3 = sehr zufriedenstellend), zum anderen die Kruste mit denselben Zahlen sensorisch und haptisch bewertet. In Tab. 22 werden sowohl die Versuchsparameter als auch die Bewertung nach 30 min Wartezeit aufgelistet. Die am besten bewerteten Proben sind fett dargestellt.

Bei den ersten Vorversuchen (Vorversuch 1) wurde die Zubereitung bei Stufe 1 schnell ausgeschlossen, da die Innentemperatur der Semmeln eindeutig zu tief war. Bei Stufe 3 wiederum waren die Proben viel zu heiß und die Beschaffenheit so ungünstig, dass auch diese ausgeschlossen wurde. Somit war Stufe 2 am optimalsten. Nach 0,75 min wurden bei den Ergebnissen keine Unterschiede zwischen dem Zubereiten mit und ohne Suszeptor gefunden. Womöglich benötigten diese eine gewisse Zeit, um funktionieren zu können. Nach 1 min waren die Ergebnisse von dem normal aufgebackenen Semmel und jenem mit Suszeptor 1 gleich, jedoch sind die Ergebnisse beim Zubereiten mit Suszeptor 2 positiver ausgefallen. Beim weiteren Versuch bei 2 min fiel die Bewertung der Krume zwar mit 3 aus, die Kruste hingegen war nicht zufriedenstellend. Somit wurde das idealste Ergebnis bei Stufe 2 (340 W) mit Suszeptor 2 nach ca. 1 min erzielt. Aus diesem Grund wurde auch nur noch mit Stufe 2 weitergearbeitet. Jedoch war es nicht möglich, eine zuverlässige Aussage über den Einfluss der verschiedenen Versuchsparameter auf die Proben zu tätigen.

In Tab. 23 werden die Ergebnisse nach 2 – 3 min Wartezeit aufgelistet, das Bewertungsschema war das gleiche wie nach 30 min. Die Proben wurden nur bei Stufe 2 bei einer Dauer zwischen 0,75 und 2 min und mit den zwei verschiedenen Suszeptoren zubereitet. Die besten Ergebnisse wurden erneut mit Suszeptor 2 bei 0,75 und 1 min erzielt.

Aufbauend wurden firmeninterne Versuche (Vorversuch 2) mit verschiedenen Mikrowellen durchgeführt, die ebenfalls in Kapitel 5.3 „Vorversuch mit der Mikrowelle“ beschrieben wurden.

Laut den Umrechnungen der angegebenen auf die tatsächlichen Mikrowellenleistungen entsprachen die Stufen der Mikrowellen den in Tab. 24 dargestellten Wattbeträgen.

In Tab. 25 und 26 sind die Versuchsbedingungen, Bewertungen und eventuelle Bemerkungen mit Mikrowelle 1 und 2 dargestellt. Die unterschiedlichen Verpackungsarten wurden mit Farbe hintermalt (o. SZ weiß, SZ 1 grün, SZ 2 grau). Stufe 1 (ca. 60 W) war nicht ausreichend für eine optimale Erhitzung. Ebenfalls negative Ergebnisse brachten die Stufen 4 (ca. 470 W) und 5 (ca. 620 W). Die Semmeln waren zu heiß, weich und zäh. Die besten Ergebnisse wurden bei Stufe 3 (ca. 310 W) erzielt und mit Suszeptor 2. Wurde kein Suszeptor verwendet und 1 min erhitzt, war zwar die Krume passabel, die Kruste wurde jedoch nur mit 1 bewertet. Wurde das gleiche mit Suszeptor 1 wiederholt, war das Ergebnis etwas besser und die Semmel am Boden knuspriger. Mit Suszeptor 2 und den gleichen Versuchsparametern konnten die besten Resultate mit Mikrowelle 1 erzielt werden, jedoch waren diese noch nicht optimal. Kleine kalte Stellen in der Semmel wurden wahrgenommen. Doch war sie knusprig, vor allem auch am Boden und die Bewertung für Krume und Kruste fiel mit 2 aus. Wurden die gleichen Bedingungen fortgeführt, nur die Dauer erhöht, waren die Ergebnisse wieder etwas schlechter als zuvor.

Mit Mikrowelle 3 wurde fast ausschließlich mit Suszeptor 2 gearbeitet, da dieser bei den Versuchen zuvor die besten Ergebnisse lieferte. Wieder war Stufe 2 (ca. 120 W) zu schwach und Stufe 4 (ca. 360 W) etwas zu stark. Die besten Ergebnisse wurden mit Stufe 3 (ca. 240 W) erzielt. Nach 1 min mit Suszeptor 1 waren die Proben zu weich, mit Suszeptor 2 war das Ergebnis besser (Kruste und Krume: 1 – 2). Jedoch waren kalte Stellen in der Krume aufzufinden. Wurde die Dauer auf 1,50 min erhöht, fiel die Bewertung noch besser aus und die Semmel war am Boden knuspriger, eventuell etwas zu hart. Nach 2 min war die Kruste der Proben sehr knusprig, vielleicht schon etwas zu hart. Jedoch waren keine kalten

Stellen mehr vorzufinden und auch die Bewertung fiel hier am besten aus (Krume: 1,5; Kruste: 2,5).

Die besten Ergebnisse bei den Vorversuchen wurden also bei ca. 240 W – 310 W und zwischen 1 und 2 min mit Suszeptor 2 erzielt.

In Tab. 27 und 28 sind die Bewertungen des Vergleiches zwischen den herkömmlichen Proben (herk.) und jenen, welche vakuumgekühlt (vak.) wurden zu sehen (Vorversuch 3). Mit Mikrowelle 1 konnten keine Unterschiede zwischen vakuumgekühlten und herkömmlichen Proben sowohl bei Krume als auch Kruste festgestellt werden.

Bei Mikrowelle 3 war es schwierig, allgemeine Aussagen zu tätigen. Die Ergebnisse der verschiedenen Proben waren meist ähnlich bzw. fielen die Bewertungen der vakuumgekühlten Semmeln sogar teilweise schlechter aus als der herkömmlichen. Deshalb wurden die Hauptversuche mit den herkömmlichen Proben fortgesetzt.

Tabelle 22: Versuchsbedingungen und Ergebnisse nach 30 min Wartezeit; Vorversuch 1

Leistung (Stufe)	Dauer [min]	Verpackung	Bewertung Krume	Bewertung Kruste
1	1,00	o. SZ	2	2
1	1,00	SZ 1	2	1
2	0,75	o. SZ	1,5	1,5
2	0,75	SZ 1	1,5	1,5
2	1,00	o. SZ	1	1
2	1,00	SZ 1	1	1
2	**1,00**	**SZ 2**	**2**	**2**
2	**1,00**	**SZ 2**	**3**	**3**
2	2,00	SZ 2	3	1
3	0,75	SZ 2	1	1
3	0,50	SZ 2	1	1
3	0,50	o. SZ	1	1

Tabelle 23: Versuchsbedingungen und Ergebnisse nach 2 – 3 min Wartezeit; Vorversuch 1

Leistung (Stufe)	Dauer [min]	Verpackung	Bewertung Krume	Bewertung Kruste
2	**1,00**	**m. SZ 2**	**2,5**	**2**
2	**0,75**	**m. SZ 2**	**2,5**	**2**
2	2,00	m. SZ 2	1	1
2	2,00	m. SZ 2	1,5	2
2	0,75	m. SZ 1	1	1,5

Tabelle 24: Umrechnung der Leistungsstufen in die tatsächliche Leistung; Vorversuch 2

Mikrowellenmodell	Stufe	Tatsächliche Leistung [W]
1	5	623,00
	4	467,25
	3	311,50
	2	155,75
	1	62,30
3	5	483,00
	4	362,25
	3	241,50
	2	120,75
	1	48,30

Tabelle 25: Versuchsbedingungen und Ergebnisse mit Mikrowelle 1; Vorversuch 2

Leistung (Stufe)	Dauer [min]	Verpackung	Bewertung Krume	Bewertung Kruste	Bemerkung
2	1,50	SZ 2	1-2	1	
3	0,75	SZ 2	1-2	1-2	Zu weich (nach 2 min Wartezeit)
3	0,75	SZ 2	1	2	Zäh (nach 7 min)
3	1,00	o. SZ	2	1	
3	1,00	SZ 1	1-2	1-2	Unten knuspriger
3	**1,00**	**SZ 2**	**2**	**2**	**Tlw. Kalte Stellen (ganz klein), unten knuspriger**
3	1,00	SZ 2	1-2	1-2	
3	1,50	SZ 2	1	1	
3	2,00	SZ 2	n.a.	2	
3	2,00	SZ 2	n.a.	n.a.	Sehr zäh
4	0,75	SZ 2	n.a.	n.a.	Sehr zäh
4	0,75	SZ 1	n.a.	n.a.	Sehr zäh
4	1,00	SZ 3	1	1	Sehr schlecht
5	1,00	SZ 2	1	2	Zu weich (nach 2 min Wartezeit)
5	1,00	SZ 2	1	2	Gleich (nach 6 min)

Tabelle 26: Versuchsbedingungen und Ergebnisse mit Mikrowelle 3; Vorversuch 2

Leistung (Stufe)	Dauer [min]	Verpackung	Bewertung Krume	Bewertung Kruste	Bemerkung
2	2,00	SZ 2	1	1	
3	1,00	SZ 1	1	1	Sehr weich
3	1,00	SZ 2	1-2	1-2	Gut, noch etwas kalt innen
3	1,50	SZ 2	1,5-2	2,5	Unten knuspriger (ev. zu hart)
3	**2,00**	**SZ 2**	**1,5**	**2,5**	**innen auch nicht mehr kalt**
4	1,00	SZ 2	1	1	Zu weich

Tabelle 27: Versuchsbedingungen und Ergebnisse mit Mikrowelle 1; Vorversuch 3

Stufe	Dauer [min]	Verp.	Bewertung Krume		Bewertung Kruste		Bemerkung	
			herk.	vak.	herk.	vak.	herk.	vak.
3	1,00	SZ 2	1-2	1-2	1-2	1-2	zäh	zäh, unten hart
3	2,00	SZ 2	1-2	1-2	1-2	1-2	zäh	zäh

Tabelle 28: Versuchsbedingungen und Ergebnisse mit Mikrowelle 3; Vorversuch 3

Stufe	Dauer [min]	Verp.	Bewertung Krume		Bewertung Kruste		Bemerkung	
			herk.	vak.	herk.	vak.	herk.	vak.
3	1,00	SZ 2	1-2	2	2	1-2	noch etwas kalt	Krume nicht mehr so kalt, dafür nicht so knusprig
3	1,00	SZ 1	1	1	1-2	1-2	zäh	zäh
3	1,50	SZ 2	1	1	2	1-2	zäh, Boden nach 10 min knusprig	zäh, Boden nach 10 min knusprig
2	2,00	SZ 2	1	1-2	2	2	zäh	zäh
3	2,00	SZ 2	1	1	1	1		
4	1,00	SZ 2	1	1	1	2	zäh	zäh
3	1,00	SZ 2	1	1	1	2	zäh	zäh
3	1,00	SZ 2	1	1	2	2-3	kalt, aber knusprig	kalt, aber sehr knusprig
3	2,00	SZ 2	2	1,5	2-3	2-3		
2	2,00	SZ 2	1	1-2	3	2,5-3	noch kalt	noch kalt aber nicht mehr so

6.4 Ergebnisse der Hauptversuche Mikrowelle

6.4.1 Gebäckeigenschaften

Die statistische Auswertung wurde ebenfalls mithilfe der MANOVA bewerkstelligt. Die Unterschiede für alle unabhängigen Variablen (Verpackung, Leistung, Dauer und Messzeit) fielen signifikant aus. Bei den Variablen Verpackung, Leistung und Dauer war die Signifikanz < 0,001, bei der Messzeit 0,018. Das heißt, dass Unterschiede zwischen den verschiedenen Parametern bestanden. Tab. 29 stellt die unabhängigen Variablen für den Großversuch dar.

In den nachfolgenden Tabellen (Tab. 30, 32, 34 und 36) werden alle Mittelwerte und Standardabweichungen für die abhängigen Variablen Gewichtsverlust 1 [g], Gewichtsverlust 2 [g], die L*a*b*-Werte, das spezifische Volumen [cm^3/100 g] und die relative Elastizität RE 1 und 2 [%] als Übersicht abgebildet. Alle Kombinationen

der unabhängigen Variablen werden dargestellt. Zur besseren Übersicht wurde die Leistung von 160 W grün, 350 W grau hinterlegt.

Tabelle 29: Abkürzungen für die Versuchsparameter

Unabhängige Variablen	Abkürzung	Erklärung
Verpackungsart	o. SZ	Ohne Suszeptor
	SZ 1	Mit Suszeptor 1
	SZ 2	Mit Suszeptor 2
Leistung [W]	160	160 Watt
	350	350 Watt
	-	Keine Leistung
Verweildauer in der Mikrowelle [min]	1:15	1:15 Minuten
	2:00	2:00 Minuten
	-	0:00 Minuten
Messung der Gebäckeigenschaften nach Zeit [min]	15	15:00 Minuten
	60	60:00 Minuten

6.4.1.1 Gewichtsverlust

Tab. 30 zeigt alle Mittelwerte inklusive ihrer Standardabweichungen der Gewichtsverluste 1 und 2. Bei den Tests der Zwischensubjekteffekte sieht man, dass sich die Verpackungsvariante signifikant auf Gewichtsverlust 1 und 2 auswirkte ($p < 0{,}001$). Nach den zugehörigen p-Werten des Post-hoc-Tests in Tab. 31 waren die Unterschiede von Gewichtsverlust 1 und 2 zwischen den nicht verpackt zubereiteten Semmeln und jenen mit Suszeptor 2 sowie zwischen Suszeptor 1 und Suszeptor 2 signifikant ($p < 0{,}001$). Der p-Wert zwischen den Proben ohne Verpackung und Suszeptor 1 betrug beim Gewichtsverlust 1 0,011 und bei Gewichtsverlust 2 0,001, welche wieder auf einen signifikanten Unterschied hindeuten. Auch bei der Interaktion zwischen Leistung und Gewichtsverlust zeigte der Zwischensubjekteffekt-Test eine Signifikanz von < 0,001. So hatte die Leistungseinstellung der Mikrowelle einen signifikanten Einfluss auf das Gewicht. Das gleiche traf auch auf die Bedeutung der Dauer der Zubereitung in der Mikrowelle zu ($p < 0{,}001$). Der Einfluss der Messzeit (15 min oder 60 min nach der Mikrowellenzubereitung) wurde beim Gewichtsverlust nicht miteinbezogen, da sich die Messzeit auf das spezifische Volumen und die REL-Werte bezog.

Vergleicht man die zwei verschiedenen Leistungen der Mikrowelle (160 und 350 W), erkennt man an den Mittelwerten eindeutig, dass bei mehr Leistung ein höherer Gewichtsverlust auftrat. Dieser war nach einer längeren Wartezeit noch höher als unmittelbar nach der Mikrowellenerwärmung. Der Gewichtsverlust war bei den unverpackten Proben signifikant höher als bei denen, die in einem Suszeptor waren. Ebenfalls signifikant war, dass bei Suszeptor 1 mehr an Gewicht bzw. Feuchtigkeit verlorenging als mit Suszeptor 2. Wahrscheinlich lag dies daran, dass bei Suszeptor 1 Luftlöcher in der Verpackung eingebracht waren, was bei Suszeptor 1 nicht der Fall war. So konnte die Feuchtigkeit leichter entweichen und nicht wieder zurück auf das Gebäckstück kondensieren. Die Werte für Leistung 3 in den letzten zwei Zeilen von Tab. 30 dienen zum Vergleich mit nicht erhitzten Proben.

Suszeptor 1 wies eine geringere optische Dichte als Suszeptor 2 auf. Darum wurde davon ausgegangen, dass die Proben mit der zweiten Verpackungsvariante stärker erhitzt wurden und somit mehr an Feuchtigkeit und Gewicht verloren ging. Wahrscheinlich war die schon beschriebene Öffnung des Kartons von Suszeptor 1, auf welchen die Folie mit dem aufgedampften Aluminium angebracht wurde, Grund dafür, dass nicht eindeutig auszusagen war, welche Suszeptorenart für einen höheren Gewichtsverlust sorgte.

Zusammengefasst ist auszusagen, dass die Verpackung mit Suszeptoren bei der Mikrowellenzubereitung einen signifikanten Einfluss auf den Gewichtsverlust hatte. Auch die Variation der Leistung und Dauer beeinflusste das Gewicht eindeutig. Je höher die Mikrowellenleistung war desto mehr Gewichtsverlust wurde gemessen. Auch signifikant war, dass unverpackte Proben mehr Verlust aufzeigten als in Suszeptoren eingebrachte Semmeln. Unter den beiden Suszeptorenarten wiederum wurde ein höherer Gewichtsverlust bei den Proben mit Suszeptor 1 erörtert. Dies ist in den Abb. 31 und 32 übersichtlich dargestellt.

Tabelle 30: Mittelwerte und Standardabweichungen von Gewichtsverlust 1 und 2 bei allen Kombinationen der Lagerparameter. Verglichen werden die verschiedenen Verpackungsmethoden o. SZ, SZ 1 und SZ 2

Kombinationen	Gewichtsverlust 1 [g]			Gewichtsverlust 2 [g]		
Leistung : Dauer : Messzeit	o. SZ	SZ 1	SZ 2	o. SZ	SZ 1	SZ 2
160 : 1:15 : 15	0,30 ± 0,06	0,23 ± 0,12	0,18 ± 0,05	1,41 ± 0,25	0,56 ± 0,06	0,41 ± 0,04
160 : 1:15 : 60	0,33 ± 0,04	0,23 ± 0,03	0,17 ± 0,03	0,73 ± 0,07	0,77 ± 0,03	0,36 ± 0,04
160 : 2:00 : 15	0,66 ± 0,18	0,55 ± 0,13	0,30 ± 0,04	1,52 ± 0,37	1,00 ± 0,03	0,52 ± 0,08
160 : 2:00 : 60	0,63 ± 0,13	0,49 ± 0,33	0,30 ± 0,05	1,24 ± 0,27	1,02 ± 0,10	0,56 ± 0,06
350 : 1:15 : 15	2,09 ± 0,76	1,12 ± 0,16	0,65 ± 0,04	3,84 ± 0,73	2,55 ± 0,34	1,19 ± 0,11
350 : 1:15 : 60	1,47 ± 0,19	0,84 ± 0,25	0,67 ± 0,05	3,10 ± 0,15	1,72 ± 0,32	1,24 ± 0,13
350 : 2:00 : 15	5,25 ± 0,72	4,01 ± 0,14	2,27 ± 0,40	5,63 ± 0,53	4,94 ± 0,35	3,23 ± 0,31
350 : 2:00 : 60	4,86 ± 0,61	3,77 ± 0,77	2,83 ± 0,08	6,41 ± 0,58	4,98 ± 0,55	4,00 ± 0,63
- : - : 15	0,00 ± 0,00			0,05 ± 0,06		
- : - : 60	0,38 ± 0,03			0,45 ± 0,03		

Tabelle 31: p-Werte des Post-Hoc-Tests (Bonferroni-Test)

	Verpackungsarten		
	o. SZ:SZ 1	o. SZ:SZ 2	SZ 1:SZ 2
Gewichtsverlust 1	0,011	**< 0,001**	**< 0,001**
Gewichtsverlust 2	**0,001**	**< 0,001**	**< 0,001**

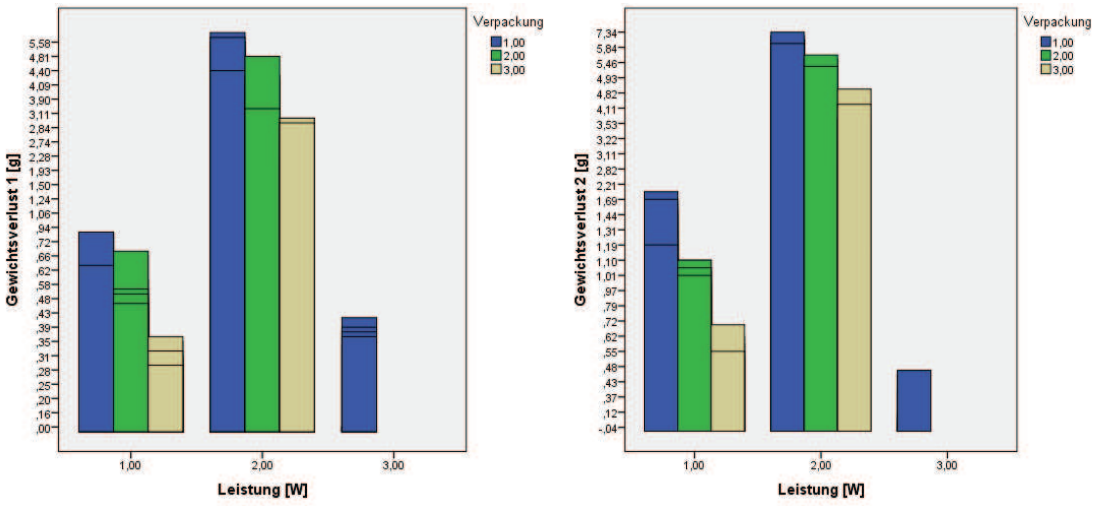


Abbildung 31: Gewichtsverlust 1 und 2 in Abhängigkeit von Verpackung und Leistung

*Leistung: 1 = 160 W, 2 = 350 W, 3 = 0 W; Verpackung: 1 = ohne Suszeptor, 2 = Suszeptor 1, 3 = Suszeptor 2

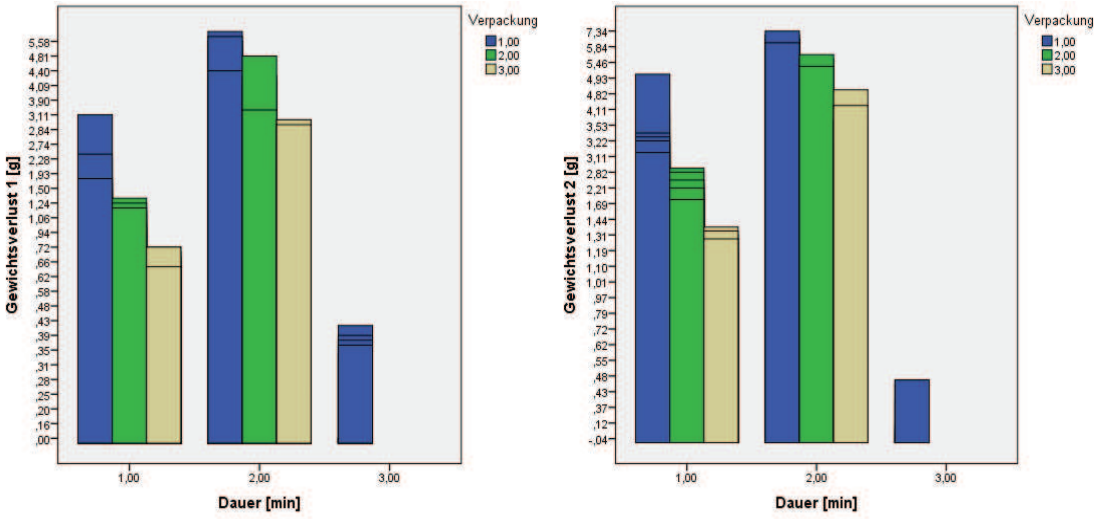


Abbildung 32: Gewichtsverlust 1 und 2 in Abhängigkeit von Verpackung und Erhitzungsdauer

*Dauer: 1 = 1:15, 2 = 2:00, 3 = 0 W; Verpackung: 1 = ohne Suszeptor, 2 = Suszeptor 1, 3 = Suszeptor 2

6.4.1.2 Farbmessung

Laut Test der Zwischensubjekteffekte hatte die Verpackung nur auf den L*-Wert einen Einfluss (p < 0,001), auf a* (0,090) und b* (0,539) nicht. Zwischen Suszeptor 1 und der nicht verpackten Variante bestand bei den L*a*b*-Werten kein Zusammenhang (p = 1,000). Werden die Werte nach Zubereitung mit Suszeptor 2 und kein Suszeptor verglichen, bestand nur beim L*-Wert ein signifikanter Einfluss (0,001), bei a* (0,391) und b* (1,000) nicht. Auch unter den beiden Suszeptoren gab es nur signifikante Unterschiede beim L*-Wert (L*: 0,019; a*: 0,198; b*: 1,000). Der Zwischensubjekteffekt zwischen den L*a*b*-Werten und der Leistung zeigte bei L* (p = 0,010) und a* (p = 0,003) einen Unterschied, bei b* nicht (p = 0,697). Im Gegensatz dazu fand man bei der Dauer nur einen Einfluss auf den b*-Wert (p = 0,001; L*: 0,936; a*: 0,081). Allgemein befanden sich die Mittelwerte für L* zwischen 61 und 67. Der L*-Wert steht für die Helligkeit, wobei 0 Schwarz und 100 Weiß repräsentiert. Die Mittelwerte der a*-Messungen betrugen 13 – 17. Negative Zahlen stehen für Grün, positive für Rot. In diesem Fall ergaben alle Messungen positive Zahlen. Bei b* stehen Negativwerte für Blau, positive für Gelb. Die gemessenen Zahlen in dieser Arbeit bewegten sich zwischen 32 und 36.

Die einzigen signifikanten Unterschiede bei den L*a*b*-Messwerten waren bei L* zu finden, und zwar zwischen Suszeptor 2 und keiner Verpackung und zwischen den beiden Suszeptoren. Die L*-Werte der Semmeln, die mit dem Suszeptor 2 zubereitet wurden, waren meistens höher als jene, die ohne Suszeptor oder mit Suszeptor 1 erhitzt wurden. Dies wurde nicht erwartet, da davon ausgegangen wurde, dass eher eine dunklere Oberfläche der Proben zustande kommen würde, wenn ein Suszeptor eingesetzt wird. Bei der Durchführung der Versuche war jedoch auffallend, dass die Proben schon vor dem Zubereiten sehr unterschiedliche Farben aufwiesen, da sie bereits vom Hersteller vorgebacken wurden. Alle anderen Werte zeigten, dass es keine Veränderung der Farbe gab (Werte siehe Tab. 32).

Tabelle 32: Mittelwerte und Standardabweichungen der L*a*b*-Werte bei allen Kombinationen der Lagerparameter. Verglichen werden die verschiedenen Verpackungsmethoden o. SZ, SZ 1 und SZ 2

Kombinationen	L*			a*			b*		
Leistung : Dauer : Messzeit	o. SZ	SZ 1	SZ 2	o. SZ	SZ 1	SZ 2	o. SZ	SZ 1	SZ 2
160 : 1:15 : 15	61,59 ± 1,64	62,82 ± 1,03	64,22 ± 1,75	15,03 ± 0,38	14,99 ± 0,57	15,64 ± 0,67	33,30 ± 1,48	34,32 ± 0,23	35,11 ± 0,23
160 : 1:15 : 60	63,25 ± 2,53	63,81 ± 1,00	66,33 ± 1,75	14,77 ± 1,26	14,97 ± 0,65	13,98 ± 1,33	34,08 ± 1,39	34,13 ± 0,47	34,62 ± 0,87
160 : 2:00 : 15	63,97 ± 2,23	64,33 ± 1,66	63,96 ± 1,89	15,04 ± 1,27	15,07 ± 0,88	14,28 ± 1,25	35,19 ± 0,46	34,76 ± 0,44	34,16 ± 0,63
160 : 2:00 : 60	64,71 ± 2,48	64,42 ± 0,84	65,54 ± 1,30	14,43 ± 1,65	14,84 ± 0,45	13,57 ± 0,98	34,57 ± 1,21	35,01 ± 0,52	33,88 ± 0,66
350 : 1:15 : 15	61,73 ± 3,09	63,66 ± 2,28	63,86 ± 1,55	14,46 ± 0,73	14,93 ± 0,82	15,00 ± 0,94	32,36 ± 1,33	34,21 ± 0,38	34,65 ± 1,04
350 : 1:15 : 60	62,88 ± 0,38	65,12 ± 0,88	64,58 ± 1,91	14,88 ± 0,25	14,47 ± 0,50	14,92 ± 1,54	34,89 ± 0,29	34,07 ± 0,76	34,72 ± 0,88
350 : 2:00 : 15	62,55 ± 0,62	61,90 ± 3,91	64,21 ± 1,41	16,08 ± 0,68	15,63 ± 1,75	15,44 ± 0,66	35,25 ± 0,47	34,69 ± 0,47	34,28 ± 0,98
350 : 2:00 : 60	61,82 ± 1,01	61,81 ± 1,76	64,29 ± 1,24	16,53 ± 0,33	16,10 ± 1,29	14,87 ± 0,92	35,15 ± 0,45	34,63 ± 0,49	34,90 ± 0,70
- : - : 15	65,22 ± 1,19			14,85 ± 0,68			34,61 ± 0,53		
- : - : 60	64,17 ± 1,86			14,27 ± 1,08			34,82 ± 0,89		

Tabelle 33: p-Werte des Post-Hoc-Tests (Bonferroni-Test)

	Verpackungsarten		
	o. SZ:SZ 1	o. SZ:SZ 2	SZ 1:SZ 2
L*	1,000	**0,001**	0,019
a*	1,000	0,391	0,198
b*	1,000	1,000	1,000

6.4.1.3 Spezifisches Volumen

Die Ergebnisse des spezifischen Volumens sind in Tab. 34 und 35 und in Abb. 33 dargestellt. Der Einfluss der Verpackung auf das spezifische Volumen war mit $p < 0,001$ als signifikant zu bewerten. Beim Post-Hoc-Test erkannte man, welche Wechselwirkungen die signifikanten sind - jene zwischen den unverpackten und Suszeptor 1 ($p < 0,001$) und jene zwischen den unverpackten und Suszeptor 2 (< 0,001). Zwischen den beiden Suszeptorenarten trat ebenfalls ein Unterschied auf ($p = 0,011$). Auch die Mikrowellenleistung ($p = 0,031$) und die Dauer der Zubereitung ($p < 0,001$) hatten einen signifikanten Einfluss auf das Volumen der Proben. Nun kam auch die Betrachtung der Wartezeit, bis das Volumen der Semmeln gemessen wurde, hinzu. Diese hatte ebenfalls Einfluss ($p = 0,035$).

Es kann nicht allgemein gesagt werde, bei welcher Verpackungsart ein höheres spezifisches Volumen gemessen wurde. Betrachtet man z.B. Proben, die mit Leistung 1 (160 W) 2 min zubereitet wurden nach 15 min, kommt man zu dem Schluss, dass Semmeln ohne Verpackung das geringste Volumen aufwiesen (510,30 cm^3/100 g) und mit Suszeptor 1 und 2 ähnliche Werte aufzeigten (564,98 cm^3/100 g; 566,84 cm^3/100 g). Anders waren die Ergebnisse bei 160 W und einer Zubereitungsdauer von 1,25 min nach 15 min Wartezeit. Die Mittelwerte der unterschiedlichen Verpackungsarten lauteten: 510,85 cm^3/100 g (o. SZ), 432,93 cm^3/100 g (SZ 1) und 544,83 cm^3/100 g (SZ 2). Hier war das Volumen der Proben in Suszeptor 1 am geringsten, gefolgt von keiner Verpackung und Suszeptor 2. Zum Vergleich wurde wieder das Volumen von Proben gemessen, die keiner Mikrowellenzubereitung unterzogen wurden. Dieses betrug nach ca. 15 min im Mittel 496,57 cm^3/100 g, nach 60 min nur noch 418,69 cm^3/100 g. Daher ist davon auszugehen, dass das Volumen von TK-Halbbackware beim Auftauen mit der Zeit an Volumen verlor.

Sind die Proben ohne Suszeptor in der Mikrowelle zubereitet worden, nahm bei allen Parametern das spezifische Volumen mit der Wartezeit ab. Bei den verpackten Proben fanden unterschiedliche Veränderungen statt.

Nach einer Wartezeit von 15 min nahm bei den unverpackten Semmeln das Volumen bei höherer Leistung (350 W) im Gegensatz zur niedrigeren (160 W) zu. Waren die Proben mit Suszeptoren verpackt, nahm bei beiden Verpackungsarten

nach einer Zubereitungsdauer von 1,25 min das spezifische Volumen mit erhöhter Leistung zu, nach 2 min jedoch sank es wieder.

Nach 60 min Wartezeit wurde bei den unverpackten Proben bei höherer Leistung im Gegensatz zu einer niedrigeren bei einer Zubereitungsdauer von 1,25 min ein kleineres spezifisches Volumen gemessen. Bei Suszeptor 1 war dies auch so, bei Suszeptor 2 nahm das Volumen jedoch zu. Dauerte die Zubereitung 2 min, nahm das Volumen der unverpackten Proben mit Erhöhung der Leistung wiederum zu. Gegensätzlich dazu verhielten sich die Proben, die entweder mit Suszeptor 1 oder 2 zubereitet wurden, diese verloren in diesem Fall an Volumen. An den Ergebnissen ist erkennbar, dass für Aussagen jeder Einzelfall betrachtet werden muss.

Tabelle 34: Mittelwerte und Standardabweichungen des spezifischen Volumens bei allen Kombinationen der Lagerparameter. Verglichen werden die verschiedenen Verpackungsmethoden o. SZ, SZ 1 und SZ 2

Kombinationen	**Spezifisches Volumen [cm^3/100g]**		
Leistung : Dauer : Messzeit	o. SZ	SZ 1	SZ 2
160 : 1:15 : 15	510,85 ± 48,14	432,93 ± 12,98	544,83 ± 23,36
160 : 1:15 : 60	471,79 ± 11,82	567,15 ± 21,82	531,11 ± 27,06
160 : 2:00 : 15	510,30 ± 45,51	564,98 ± 15,28	566,84 ± 8,86
160 : 2:00 : 60	490,90 ± 66,53	587,63 ± 18,41	536,53 ± 39,28
350 : 1:15 : 15	536,42 ± 53,89	447,22 ± 41,44	564,15 ± 16,54
350 : 1:15 : 60	380,41 ± 25,61	502,63 ± 12,26	580,95 ± 19,96
350 : 2:00 : 15	551,20 ± 12,31	535,78 ± 16,07	491,63 ± 13,99
350 : 2:00 : 60	526,67 ± 33,67	535,76 ± 19,72	518,54 ± 28,56
- : - : 15	496,57 ± 32,55		
- : - : 60	418,69 ± 21,03		

Tabelle 35: p-Werte des Post-Hoc-Tests (Bonferroni-Test)

	Verpackungsarten		
	o. SZ:SZ 1	o. SZ:SZ 2	SZ 1:SZ 2
Spezifisches Volumen	**< 0,001**	**< 0,001**	0,011

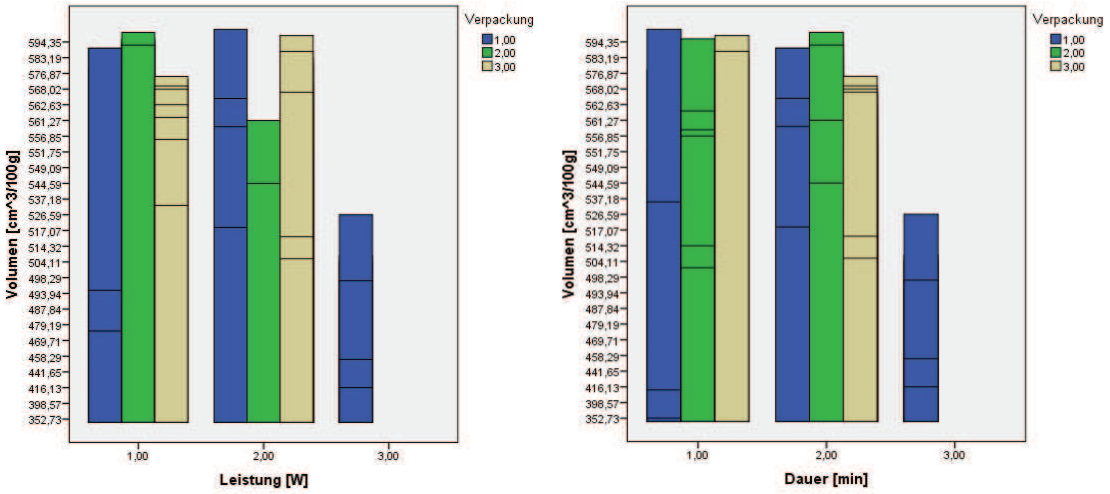


Abbildung 33: spezifisches Volumen in Abhängigkeit von Verpackung und Leistung bzw. Dauer

*Leistung: 1 = 160 W, 2 = 350 W, 3 = 0 W; Dauer: 1 = 1:15, 2 = 2:00, 3 = 0 W; Verpackung: 1 = ohne Suszeptor, 2 = Suszeptor 1, 3 = Suszeptor 2

6.4.1.4 Relative Elastizität und Maximalkraft

Die Maximalkraft (F_{max}) wurde von der Verpackung ($p < 0{,}001$), der Leistung ($p < 0{,}001$) und dem Zeitpunkt der Messung ($p = 0{,}002$) signifikant beeinflusst. Nur die Dauer der Erhitzung in der Mikrowelle nahm keinen signifikanten Einfluss. Auch auf die Relative Elastizität hatten Verpackung und Leistung einen Einfluss, die anderen zwei Parameter nicht (siehe Tab. 37). Es gab Unterschiede zwischen Proben, die ohne Suszeptor zubereitet wurden und jenen mit Suszeptor 1 und 2 ($p < 0001$). Zwischen den Suszeptoren gab es ebenfalls einen signifikanten Unterschied ($p = 0{,}008$).

Die maximale Kraft der Proben, die ohne Mikrowellenerwärmung 15 min nach Herausnehmen aus dem Tiefkühler gemessen wurden (Kontrollgruppe, unaufgebacken), lag bei 3,91 N. Alle anderen Werte, bis auf eine Ausnahme (4,17 N; 160 W, 1,25 min, SZ 2), lagen zu diesem Zeitpunkt darunter. Die Krume der nicht aufgebackenen Proben war somit im Gegensatz zu allen anderen härter. Der Mittelwert der Kontrollgruppe nach 60 min war 4,75 N, die Maximalkraft, die aufgewendet werden musste, stieg also nach der Wartezeit. Bei fast allen Proben ohne Suszeptor war F_{max} höher als mit Verpackung - es war mehr Kraft für die Deformation aufzuwenden. Somit war die Krume der nicht verpackten Proben härter als jener, die mit Suszeptoren aufgebacken wurden. Der höchste Wert von

F_{max} wurde bei 350 W, 1,25 min nach 60 min bei einer ohne Suszeptor aufgebackenen Probe gemessen (5,93 N). Am wenigsten Kraft musste bei einer Semmel, die mit Suszeptor 2, bei 160 W für 2 min zubereitet wurde, aufgebracht werden (0,81 N).

Die Kontrollgruppe bei der Relativen Elastizität zeigte folgende Werte: 38 % (keine Mikrowellenerwärmung, Messung 15 min nach Herausgeben aus der Tiefkühlung) und 41 % (keine Mikrowellenerwärmung, Messung 60 min nach Herausgeben aus der Tiefkühlung). Die Werte lagen unter allen anderen Werten, bei denen eine Zubereitung in der Mikrowelle stattfand. Die Mittelwerte ohne Suszeptor lagen insgesamt zwischen 41 und 62 %, mit Suszeptor 1 zwischen 52 und 63 % und mit Suszeptor 2 zwischen 43 und 60 %. Am weichsten schnitten bei jeder Versuchsreihe die mit einem Suszeptor verpackten Proben ab. Bei 160 W waren immer die mit Suszeptor 1 aufgebackenen Proben weicher, bei 350 W Leistung waren es immer – bis auf eine Ausnahme (1,25 min; nach 60 min Wartezeit) die mit Suszeptor 2.

All diese Erkenntnisse sind u.a. auf inhomogene elektrische Felder im Inneren des Lebensmittels und auf die verschiedenen dielektrischen Eigenschaften zurückzuführen. Das heißt die Mikrowellenerwärmung findet sehr unregelmäßig statt. Aufgrund dieser Vorkommnisse bildeten sich im inneren der Probe unterschiedliche Temperaturen aus (SCHUBERT, 2007).

Zusammengefasst ist auszusagen, dass unaufgebackene Proben härter als die aufgebackenen waren. Die Verpackung trug ebenfalls zu einem Weicherwerden der Krume im Gegensatz zu den unverpackten Proben bei. Beim Vergleich zwischen den beiden Suszeptorenarten war auffällig, dass bei einer Leistung von 160 W alle Proben härter waren, die mit Suszeptor 1 aufgebacken wurden. Im Gegensatz dazu waren bei 350 W jene Proben weicher, die mit Suszeptor 2 zubereitet wurden (siehe Abb. 34).

Tabelle 36: Mittelwerte und Standardabweichungen von F_{max}, F_{120} und RE bei allen Kombinationen der Lagerparameter. Verglichen werden die verschiedenen Verpackungsmethoden

Kombinationen	F_{max} [N]			F_{120} [N]			RE [%]		
Leistung : Dauer : Messzeit	o. SZ	SZ 1	SZ 2	o. SZ	SZ 1	SZ 2	o. SZ	SZ 1	SZ 2
160 : 1:15 : 15	2,08 ± 0,48	1,80 ± 0,05	4,17 ± 1,70	1,16 ± 0,29	1,07 ± 0,06	1,69 ± 0,54	56,05 ± 2,39	59,22 ± 2,05	43,30 ± 7,08
160 : 1:15 : 60	1,64 ± 0,07	1,48 ± 0,02	1,73 ± 0,10	0,99 ± 0,04	0,90 ± 0,02	0,83 ± 0,05	59,97 ± 0,33	60,32 ± 0,55	57,83 ± 0,79
160 : 2:00 : 15	1,32 ± 0,27	1,20 ± 0,12	1,32 ± 0,15	0,81 ± 0,13	0,75 ± 0,07	0,78 ± 0,08	62,09 ± 2,34	62,67 ± 1,31	58,84 ± 1,49
160 : 2:00 : 60	2,32 ± 0,92	1,54 ± 0,05	1,84 ± 0,17	1,29 ± 0,45	0,93 ± 0,02	1,06 ± 0,07	56,50 ± 5,57	60,48 ± 0,70	58,81 ± 1,53
350 : 1:15 : 15	3,05 ± 0,60	2,68 ± 0,24	0,98 ± 0,03	1,58 ± 0,31	1,53 ± 0,13	0,63 ± 0,02	52,70 ± 1,51	57,08 ± 0,48	64,61 ± 0,50
350 : 1:15 : 60	5,93 ± 0,62	1,71 ± 0,09	1,48 ± 0,02	2,40 ± 0,21	1,05 ± 0,05	0,89 ± 0,02	41,44 ± 2,50	61,29 ± 0,68	60,26 ± 0,98
350 : 2:00 : 15	2,89 ± 0,41	2,09 ± 0,32	1,84 ± 0,27	1,45 ± 0,11	1,14 ± 0,15	1,02 ± 0,15	50,63 ± 3,30	54,72 ± 1,41	55,71 ± 0,67
350 : 2:00 : 60	5,26 ± 1,13	3,06 ± 0,51	2,95 ± 0,32	2,28 ± 0,37	1,56 ± 0,17	1,54 ± 0,14	43,90 ± 2,96	51,75 ± 3,25	52,59 ± 1,46
- : - : 15	3,91 ± 0,47			1,48 ± 0,13					
- : - : 60	4,75 ± 2,25			1,80 ± 0,65					

Tabelle 37: p-Werte des Post-Hoc-Tests (Bonferroni-Test)

	Verpackungsarten		
	o. SZ:SZ 1	o. SZ:SZ 2	SZ 1:SZ 2
RE 1	**< 0,001**	**< 0,001**	0,008
RE 2	**< 0,001**	**< 0,001**	0,155
F_{max}	**< 0,001**	**< 0,001**	1,000
F_{120}	**< 0,001**	**< 0,001**	0,812
Verhältnis	**< 0,001**	**< 0,001**	0,006
RE	**< 0,001**	**< 0,001**	0,008

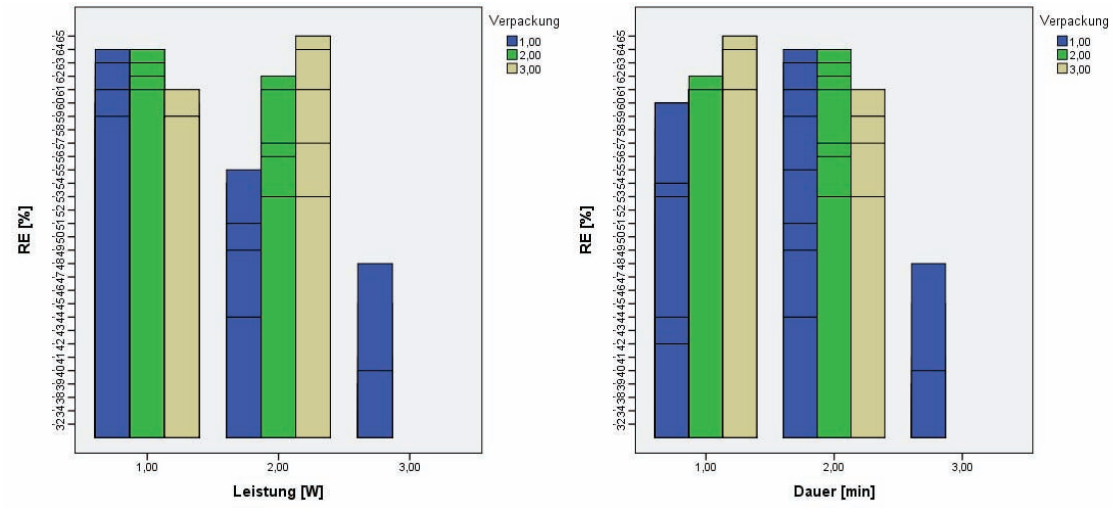


Abbildung 34: REL in Abhängigkeit von Verpackung und Leistung bzw. Dauer

*Leistung: 1 = 160 W, 2 = 350 W, 3 = 0 W; Dauer: 1 = 1:15, 2 = 2:00, 3 = 0 W; Verpackung: 1 = ohne Suszeptor, 2 = Suszeptor 1, 3 = Suszeptor 2

7 Schlussfolgerungen

7.1 Gefrierbrand bzw. Feuchtigkeitsverlust

Das Ziel dieser Masterarbeit, nämlich herauszufinden, in wie weit unterschiedliche Verpackungsarten einen Einfluss auf die Beschaffenheit von TK-Gebäck haben, konnte erreicht werden.

Bei den Vorversuchen konnte festgestellt werden, dass bei teilgebackenen Proben der Gewichtsverlust zwischen drei und sieben Tagen stark zunahm, was bei Semmelteiglingen nicht so ausgeprägt vorkam. Den größten Gewichtsverlust nach zehn Tagen zeigten teilgebackenen Semmeln, die keiner Temperaturschwankung ausgesetzt waren. Bereits gebackene Teigware neigte aufgrund ihrer lockeren, porösen Beschaffenheit eher dazu, Feuchtigkeit freizusetzen als Teiglinge mit ihrer festeren Struktur. Teiglinge verloren ohne Lagerschwankungen insgesamt weniger an Gewicht. Unterlagen Proben einer Temperaturschwankung in der Tiefkühlung, trat höchstwahrscheinlich bei Temperaturerhöhung Flüssigkeit aus der Backware aus. Bei Wiedererreichen der TK-Temperaturen lagerte sich diese Flüssigkeit teilweise in Form von Eiskristallen wieder am Gebäckstück an und ließ den Gewichtsverlust so niedriger ausfallen (PHIMOLSIRIPOL et al., 2008).

Ein verpacktes Gebäckstück hatte einen signifikant geringeren Gewichtsverlust als nicht verpackte Proben. Auch Temperaturschwankungen wirkten sich auf das Gewicht aus, was nach einer Woche deutlich zu sehen war. Nach einem Monat waren diese Unterschiede zwar nicht mehr so groß, jedoch immer noch signifikant. Somit kann eindeutig die Aussage getätigt werden, dass der Einsatz von passenden Verpackungen zu einer Reduktion des Gewichts- und Feuchtigkeitsverlustes beitragen kann. Dies stimmt auch mit Aussagen der Literatur überein (MATZINGER, 2015). Wichtig ist hier wiederum, die Vorteile dieses Verpackungseinsatzes mit den Nachteilen abzuwiegen. Denn nicht nur die Qualitätsverbesserung sondern auch andere Aspekte wie der Umweltschutz sind im Interesse des Verbrauchers und der Gesellschaft.

Wenn mehrere Proben in einer Verpackung untergebracht wurden, war das Ergebnis nicht signifikant unterscheidbar von einzeln verpackten Gebäckstücken. Dies ist ebenfalls eine positive Erkenntnis, vor allem für die Industrie.

Auch das spezifische Volumen ist beeinflussbar von Verpackung und Lagerbedingungen. Wieder spielte es keine signifikante Rolle, welche der verwendeten Verpackungsarten eingesetzt wurde. Jedoch ist hier schwierig, eine allgemeinen Aussage zu treffen, da durch die schon genannte Bildung von Eiskristallen das Volumen beeinflusst werden kann. Interessant wäre hier, wie die verschiedenen Proben mit den unterschiedlichen Parametern im aufgebackenen Zustand abschneiden würden.

Beim Umfang der Gebäckstücke konnte keine allgemeine Aussage gemacht werden. Es traten zwar signifikante Unterschiede bedingt durch unterschiedliche Lagerdauer und Temperaturschwankungen auf, jedoch lag dies höchstwahrscheinlich an den schon unterschiedlichen Umfängen, die die Proben bereits vor dem Einpacken aufgewiesen haben.

Semmelteiglinge und Semmel-Halbbackware wiesen bei einer Fallhöhe von 150 cm keine Beschädigungen auf. Zwar splitterte bei den halbgebackenen Proben mehr von der Kruste ab, da sie nicht so kompakt und fest wie Teiglinge waren, gänzlich beschädigt wurde jedoch keine Probe. Dies ist jedoch für die Industrie von Interesse, weil es ein Kritikpunkt bei der Entscheidung sein könnte, ob mehr an Halbbackware oder Teiglingen hergestellt werden soll. Anders sieht dies bei Salzstangerlteiglingen aus, da sie aufgrund ihrer Form eher zu Bruchanfälligkeit neigten. Nach einer Woche ohne Temperaturschwankung gingen die wenigsten Proben zu Bruch. Somit gilt die Aussage, dass diese Art von Gebäck nach einer möglichst kurzen Lagerung und bei konstanter Temperatur am stabilsten war. Interessant wäre hier noch, wie das Bruchverhalten von Salzstangerln innerhalb einer Verpackung ist, wenn sich mehrere Proben darin befinden, da dies auch in der Industrie der Fall sein könnte. Bezüglich der Optimierung durch eine Verpackung ist die Aussage zu treffen, dass Proben, die verpackt wurden und im ausgepackten Zustand einem Falltest unterzogen wurden, dieser Belastung nicht besser standhalten konnten als unverpackte Proben.

Aufgrund all dieser Gebäckeigenschaften, die ermittelt wurden, kann vor allem eine wichtige Aussage gemacht werden. Da bei keiner Auswertung ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Verpackungsvarianten ausfindig gemacht werden konnte, ist ein Vergleich der beiden Folien angebracht. Nach Betrachtung der Foliendicke beider Arten (Schrumpffolie 14,9 ± 0,32 µm; Gefrierbeutel 28,4 ± 0,52 µm) ist hinsichtlich des Aspekts Abfallvermeidung, Umweltverschmutzung und auch aus logistischen Gründen (die Schrumpffolie liegt enger an, somit kann in der Lagerung Platz gespart werden) eindeutig die Überlegung angebracht, die dünnere Folie auszuwählen. Natürlich müssen für einen industriellen Einsatz Herstellungskosten, Energieaufwand und Maschinengängigkeiten ebenfalls begutachtet werden. Jedoch ist die Erkenntnis, dass es keine Rolle spielt, in welcher dieser beiden Verpackungen sowohl ein Teigling als auch Halbbackwaren gelagert wird, von großer Bedeutung.

7.2 Zubereiten von tiefgekühlter Halbbackware mit der Mikrowelle

Das Ziel, optimale Mikrowellen-Einstellungen für das Aufbacken von tiefgekühlten, halbgebackenen Semmeln mithilfe von Suszeptoren zu finden, war sehr schwer zu erreichen. Es konnten nur wenige allgemein zutreffende Aussagen bezüglich der resultierenden Gebäckeigenschaften getroffen werden.

Bei Vorversuchen wurde ein passables Ergebnis der Proben bei einer Leistung von ca. 240 – 310 W, einer Dauer zwischen 1 – 2 min und der Verwendung eines Suszeptors mit einer optischen Dichte von 0,27 erzielt. Diese Bereiche wurden in den Hauptversuchen variiert und verschiedene Gebäckeigenschaften nach der Zubereitung gemessen.

Die Art der Suszeptoren wirkte sich signifikant auf den Gewichts- bzw. Feuchtigkeitsverlust von Semmeln aus. Den höchsten Verlust zeigten Proben, die mit Suszeptor 1 zubereitet wurden. Wahrscheinlich lag dies an den Luftlöchern, die in den Karton eingebracht waren. Diese lagen bei Suszeptor 2 nicht vor.

Die Farbmessungen der zubereiteten Proben stimmten wiederum nicht mit den Erwartungen überein. Laut Literatur sorgen Suzeptoren für eine Bräunung von Oberflächen (BUCHNER, 1999). In dieser Arbeit konnten jedoch solche Farbveränderungen nicht festgestellt werden. Grund dafür ist, dass die Semmeln

schon vorgebacken wurden und bereits der Bräunungsgrad vor Versuchsbeginn sehr unterschiedlich war. Somit ist es schwierig, Aussagen über die Fähigkeit, Bräunungen durch Suszeptoren hervorzurufen, zu tätigen.

Der Einfluss der Verpackungen auf das spezifische Volumen ist schwer zu beurteilen, da die Werte keine allgemeinen Aussagen zulassen und darum die Fälle einzeln betrachtet werden müssen. Wurden die Proben ohne Suszeptor in der Mikrowelle zubereitet, nahm das spezifische Volumen mit der Wartezeit ab. Bei den verpackten Proben fanden unterschiedliche Veränderungen statt.

Die Maximalkraft, die aufgewendet werden musste, um eine in der Mikrowelle zubereiteten halbgebackenen Semmel zu deformieren, stieg in fast allen Fällen mit der Zeit. Jedoch kann nicht ausgesagt werden, welche Leistung, Dauer und Verpackung für diese Art von Zubereitung die am besten geeignete war. Diese Erkenntnisse sind u.a. auf inhomogene elektrische Felder im Inneren des Lebensmittels und die unregelmäßige Erwärmung durch Mikrowellen zurückzuführen. Deshalb bilden sich im inneren der Probe unterschiedliche Temperaturen aus (SCHUBERT, 2007).

8 Zusammenfassung

Diese Masterarbeit befasste sich mit zwei Themengebieten, welche beide das gemeinsame Ziel einer Qualitätsverbesserung von TK-Backwaren durch optimierte Verpackungen hatten.

Zum einen wurde die Beschaffenheit von verschiedenen TK-Backwaren nach Einsatz unterschiedlicher Verpackungsarten und vier verschiedenen Lagerbedingungen - nämlich mit bzw. ohne Temperaturschwankungen - analysiert. Mithilfe der Versuche wurde eruiert, dass ein Verpacken der Ware einen Gewichtsverlust signifikant verringern und einhergehende qualitative Eigenschaften verbessern konnte. Ein wichtiger Aspekt dabei ist, dass eine Kunststoffverpackung mit einer um die Hälfte dünneren Folie annähernd dieselben guten Ergebnisse brachte, wie jene mit doppelt so dicker Beschaffenheit. Auch die Erhöhung der Anzahl der Gebäckstücke innerhalb einer Verpackung spielte eine untergeordnete Rolle. Somit können eventuell Kosten reduziert und ein Beitrag zur Verpackungs- und Abfallvermeidung geleistet werden.

Das zweite Ziel dieser Arbeit war es, optimale Einstellungen einer Mikrowelle zu finden und teilgebackene TK-Semmeln durch eventuellen Einsatz von Suszeptoren so zubereiten zu können. Eine Reduzierung des Zeitaufwandes im Gegensatz zur herkömmlichen Zubereitung im Backofen war hier der Beweggrund. Zusätzlich ist dieser Ansatz für eventuelle Produktentwicklungen bezüglich mikrowellengeeigneter Verpackungen für tiefgekühlte Backwaren nützlich. Es konnten zwar einige befriedigende Lösungen gefunden werden, jedoch war es schwierig, diese mit wissenschaftlichen Parametern zu untermauern und konstante Ergebnisse zu erhalten. Vor allem die Regulierung von Leistung des Mikrowellenherdes und der Erhitzungsdauer war schwierig zu kombinieren, um gute Ergebnisse zu erlangen. Bei 160 bis 350 W und bei 1,25 bis 2 min waren signifikante Unterschiede zwischen mit Suszeptoren zubereiteten Semmeln und jenen, die ohne Verpackung erhitzt wurden, erkennbar.

Insgesamt ist die Aussage zu treffen, dass durch optimierte Verpackungen sicherlich noch viele gewinnbringende Verbesserungen der Qualität von TK-Backwaren erreicht werden können.

9 Summary

This master thesis deals with two topics which both have the same aim: the quality improvement of frozen baked goods by optimized packaging.

First quality and texture of different frozen bakery goods were analyzed after the use of various types of packaging and storage conditions, i.e. with or without temperature fluctuations. Using these approaches it was found that packaging of the samples can significantly reduce weight loss and accompanied quality characteristics can be improved. An important aspect is that plastic packaging with a thinner film has approximately the same positive effects as a thicker one. Also the increase of the number of baked goods played a minor role and had the same effect on weight loss as samples which have been packed separately. Thus costs can be reduced and also a positive contribution to the environment and prevention of waste can be made.

The second aim of this thesis was to find optimal settings of a microwave oven for the preparation of partially-baked frozen rolls. The use of different susceptors was tested and the power and duration of heating in the microwave was varied. Motivation for this experiment was the reduction of time requirement in contrast to a conventional preparation in the oven. Further this concept would be useful for an eventual product development regarding microwaveable packaging of frozen bakery. Although some satisfying solutions could be found it was challenging to prove them with scientific parameters and to find consistent results. It was hard to combine microwave power with heating time to achieve good outputs. From 160 to 350 W and 1,25 to 2 min significant differences between rolls which were prepared with susceptors and those which were heated unpackaged could be found.

Altogether it can be concluded that still many improvements to the quality of frozen bakery goods can be achieved by means of optimized packaging.

10 Literaturverzeichnis

AACC, C.: Approved methods of the American association of cereal chemists. Methods 45, 21 (2000).

ALTAMIRANO-FORTOUL, R. und ROSELL, C. M.: Physico-chemical changes in breads from bake off technologies during storage. LWT – Food Science and Technology 44 (2011) 631-636.

BÁRCENAS, M. E. und ROSELL C. M.: Effect of frozen storage time on the bread crumb and aging of par-baked bread. Food Chemistry 95 (2006) 438-445.

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

BERTRAND, K.: Microwave Foods – Microwavable Foods Satisfy Need for Speed and Palatability. Food Technology 59 (2005) 30-34.

BOJKOW, E.: Getränkeverpackung und Umwelt: Auswirkungen der Verpackung von Getränken und flüssigen Molkereiprodukten auf die Umwelt. Daten und Fakten zur Verpackungsdiskussion. Springer-Verlag, Wien New York. ISBN: 13:978-3-211-82134-3 (1989) 106.

BUCHNER, N.: Verpackung von Lebensmitteln. Lebensmitteltechnologische, verpackungstechnische und mikrobiologische Grundlagen. Springer Verlag, Berlin Heidelberg. ISBN: 978-3-642-58585-2 (1999).

CAUVAIN, S. P. und YOUNG, L. S.: “Current approaches to the Classification of Bakery Products”, in Baked Products: Science, Technology and Practice, Blackwell Publishing Ltd. ISBN: 978-1-4051-2702-8 (2006) 15.

CĚSNEK, J.; DOBIÁŠ, J.; HOUŠOVÁ, J. und SEDLÁČEK, J.: Properties of Thin Metallic Films for Microwave Susceptors. Czech J. Food Sci. 21, 1 (2003) 34-40.

COOPER, T. A.: Developments in plastic materials and recycling systems for packaging food, beverages and other fast-moving consumer goods. In Trends in Packaging of Food, Beverages and Other Fast-Moving Consumer Goods (FMCG), Ed. by FARMER, N. Elsevier Science. ISBN: 9780857095039 (2013) 58-107.

ĆURIĆ, D.; GABRIĆ, D. und GALIĆ, K.: Shelf Life of Packaged Bakery Goods – A Review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 49 (2009) 405-426.

CURIC, D.; NOVOTNI, D.; SKEVIN, D.; ROSELL, C. M.; COLLAR, C.; LE BAIL, A.; COLIC-BARIC, I. und GABRIC, D.: Design of a quality index for the objective evaluation of bread quality: Application to wheat breads using selected bake off technology for bread making. Food Research International 41 (2008) 714-719.

DAROUGHEH, F.; BARZEGAR, M. und SAHARI, M. A.: Antioxidant and Anti-fungal Effect of Caraway (*Carun Carvi* L.) Essential Oil in Real Food System. Current Nutrition & Food Science 10 (2014) 70-76.

DIN 53370: Prüfung von Kunststoff-Folien – Bestimmung der Dicke durch mechanische Abtastung (2006) 1-8.

EVANS, J. A.: Frozen Food Science and Technology. Blackwell Puplishing Ltd., Oxford, Ames, Victora. ISBN: 978-1-4051-5478-9 (2008).

FIELD, A.: Discovering statistics using SPSS. 3rd edition, SAGE, London. ISBN: 978-1-4462-4917-8 (2009).

GHERGHINA, E.; ISRAEL-ROMING, F.; BALAN, D.; LUTA, G.; SIMION, V. und ZACHIA, M.: Assessment of some nutrients in bakery products. Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies, Vol. XIX (2015) 140-144.

GIANNOU, V. und TZIA, C.: Frozen dough bread: Quality and textural behaviour during prolonged storage – Prediction of final product characteristics. Journal of Food Engineering (2007) 2-7.

GRABOWSKI, H.-U. und ROLFE, B.: Getreide, Brot und Feine Backwaren. In: Handbuch für Lebensmittelchemiker. Hrgb.: FREDE, W., Springer Verlag, Berlin Heidelberg, New York. ISBN: 978-3-642-01685-1 (2010) 633-660.

(GRILLO, O.; RIZZO, V.; SACCONE, R.; FALLICO, B.; MAZZAGLIA, A.; VENORA, G. und MURATORE, G.: Use of image analysis to evaluate the shelf life of bakery products. Food Research International 62 (2014) 514-522) → noch nicht gebraucht (auch so in Mappe).

HOLLAND, H. und SCHARNBACHER, K.: Grundlagen der Statistik: Datenerfassung und –darstellung, Maßzahlen, Indexzahlen, Zeitreihenanalysen. 8. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden. ISBN: 978-3-8349-2010-2 (2010).

IDRISS, M.: Materialwissenschaftliche und technologische Untersuchungen von Teigen aus Weizen- und Kichererbsenmehlmischungen. Dissertation an der Technischen Universität Berlin, Aleppo, Syrien (2011).

JANSSEN, J. und LAATZ, W.: Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows. Eine anwendungsorientierte Einführung in das Basissystem. Springer Verlag, Berlin Heidelberg. ISBN: 978-3-540-58522-0 (1994).

KLINGER, R. W.: Grundlagen der Getreidetechnologie. 2. Auflage, B. Behr's Verlag GmbH & Co. KG, Hamburg. ISBN: 978-3-89947-668-2 (2010).

KOZŁOWSKA, M.; ŻBIKOWSKA, A.; GRUCZYŃSKA, E.; ŻONTAŁA, K. und PÓŁTORAK, A.: Effects of spice extracts on lipid fraction oxidative stability of cookies investigated by DSC. J Therm Anal Calorim DOI 10.1007/s10973-014-4058-y (2014) 1-10.

KUNZ, B.: Lexikon der Lebensmitteltechnologie (1993) 19.

LAGUERRE, O und FLICK, D.: Frost formation on frozen products preserved in domestic freezers. Journal of Food Engineering 79 (2007) 124-136.

LE-BAIL, A. und GABRIC, D.: "Improving the quality of bread made from partially baked, refrigerated and frozen dough," Woodhead Publishing Limited (2012) 661-686.

LE BAIL, A.; TZIA, C. und GIANNOU, V.: Quality and Safety of Frozen Bakery Products. In: Handbook of Frozen Food Processing and Packaging. Ed. by SUN, D.-W., Taylor & Francis Group, Boca Raton. ISBN: 978-1-4398-3605-7 (2012) 501-527.

LEFEUVRE, S. A. E. und AUDHUY-PEAUDECERF, M. B. M.: Microwavability of packaged foods. In: Food Packaging and Preservation. Ed. by MATHLOUTHI, M., Springer Science + Business Media, Dordrecht. ISBN: 978-1-4613-5909-8 (1994) 62-87.

MARSH, K. und BUGUSU, B.: Food Packaging – Roles, Materials, and Environmental Issues. JFS Vol 72, Nr. 3 (2007) 39-55.

MATZINGER, S.: Methoden zur Reproduktion von mechanischen und thermischen Belastungen bei Tiefkühlbackwaren. Masterarbeit an der Universität Wien, Wien (2015).

MONDAL, A. und DATTA, A. K.: Bread baking – A review. Journal of Food Engineering 86 (2008) 465-474.

ofi-Verpackungsinstitut: Stoßprüfung von Kunststoffbechern durch freien Fall – ofi Methode V11 (1981) 1-4.

PAQUET-DURAND, O.; SOLLE, D.; SCHIRMER, M.; BECKER, T. und HITZMANN, B.: Monitoring baking processes of bread rolls by digital image analysis. Journal of Food Engineering 111 (2012) 425.

PELSHENKE, P.: Untersuchungsmethoden für Brotgetreide, Mehl und Brot. Schäfer.

PHIMOLSIRIPOL, Y.; SIRIPATRAWAN, U.; TULYATHAN, V. und CLELAND, D. J.: Effects of freezing and temperature fluctuations during frozen storage on frozen dough and bread quality. Journal of Food Engineering (2008) 48-56.

PHIMOLSIRIPOL, Y.; SIRIPATRAWAN, U. und CLELAND, J.: Weight loss of frozen bread dough under isothermal and fluctuating temperature storage conditions. Journal of Food Engineering 106 (2011) 134-143.

PULIGUNDLA, P.; ABDULLAH, S. A.; CHOI, W.; JUN, S.; OH, S.-E. und KO, S.: Potentials of Microwave Heating Technology for Select Food Processing Applications – a Brief Overview and Update. J Food Process Technol 4:11 (2013) 3-9.

RELLMANN, J.; SCHENCK, H. und HOMBURG, B.: Barrieremedien: Sperrschichten in Verpackung und Behälterbau. Kunststoffe vol. 82 (1992) 729-738.

ROSELL, C. M. und GÓMEZ, M.: Frozen dough and partially baked bread: an update. Food Reviews International 06 (2007) 23 (3 4-19.

SAROPACK Schrumpffolienspezialist Nr. 1: Foliendatenblatt SAROFILM BRX (2016).

SCHMIDT, S. J. und LEE, J. W.: How Does the Freezer Burn Our Food? Journal of Food Science Education Vol. 8 (2009) 45-52.

SCHUBERT, H.: Kausalität in der Verfahrenstechnik - dargestellt am Beispiel der Bio- und Lebensmittelverfahrenstechnik. Präsentation, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (2007) 37.

SEIBEL, W. und SPICHER, G.: Backwaren. In: Lebensmitteltechnologie – Biotechnologische, chemische, mechanische und thermische Verfahren der Lebensmittelverarbeitung. Hrgb.: HEISS, R., Springer Verlag, Berlin Heidelberg. ISBN: 978-3-662-08284-3 (1991) 167-175.

SIDDIQUI, M. W. und RAHMAN, M. S.: Minimally Processed Food. Technologies for Safety, Quality, and Convenience. Springer Verlag, Schweiz. ISBN: 978-3-319-10677-9 (2015) 9-44.

SINGH, R. P.: Food Freezing: Food Engineering – Vol. III (2001) 1-6.

SUMNU, G.: A review on microwave baking of foods. International Journal of Food Science and Technology 36 (2001) 117-127.

SUN, D.-W.: Handbook of Frozen Food Processing and Packaging. Taylor & Francis Group, Boca Raton. ISBN: 978-1-4398-3605-7 (2012) 508-509.

TRAN, U.: Vorlesungsunterlagen – Ausgewählte Methoden SS 2011, Wien (2011).

WEISSER, H.: Tiefgefrieren von Lebensmitteln. Grundl. Landtechnik Bd. 22 (1972) 1-5.

WÖLFLE, R. D.: Der Mikrowellenherd. EMVU-Informationsseite, Murr (2009). Online unter: http://www.ralf-woelfle.de/elektrosmog/redir.htm?http://www.ralf-woelfle.de/elektrosmog/technik/mw_herd.htm, 10.03.2016.

YAM, K. L.: The Wiley encyclopedia of packaging technology. John Wiley & Sons, Inc., USA. ISBN: 978-0-470-08704-6 (2009) 896-897.

YAM, K. L.: The Wiley encyclopedia of packaging technology. 3rd edition, John Wiley & Sons, Inc., USA. ISBN: 978-0-470-08704-6 (2009) 792, 1003.

ZANONI, B. und PERI, C.: A Study of the Bread-Baking Process. I: A Phenomenological Model. Journal of Food Engineering 19 (1993) 389-398.

ZAWADA, K.; KOZLOWSKA M. und ŻBIKOWSKA A.: Oxidative stability of the lipid fraction in cookies – the EPR study. Nukleonika 60 (2015) 469-473.

Arbeitsanweisungen:

VERIVIDE: DigiEye-Putting Colour In Context: DigiEye System User Manual (2014).

Internetquellen:

ALTMANN, R.: Mehr Bits für Farbe – Der richtige Farbraum. Heise online (2008). Online unter: http://www.heise.de/foto/artikel/Mehr-Bits-fuer-Farbe-226838.html, 17.02.2016.

ANONYM: Kennzeichnung von Kunststoffen. Die Umweltberatung Wien. Online unter: http://www.umweltberatung.at/kennzeichnung-von-kunststoffen, 16.1.2016.

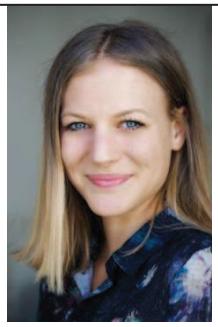
LEBENSMITTELBUCH, Ö.: Kapitel B18 Backerzeugnisse (2010). Online unter: http://www.lebensmittelbuch.at/backerzeugnisse/, 04.09.2016.

Vorlesungsunterlagen:

BERGMAIR, J.: Vorlesungsunterlagen – Food Packaging SS 2014, Wien (2014).

SCHLEINING, G.: Vorlesungsunterlagen – Lebensmittelphysik SS 2014, Wien (2014).

11 Lebenslauf



Persönliche Angaben

Name	Helene Schober, Bakk. rer. nat.
Anschrift	Lichtenauergasse 9/16, 1020 Wien
Telefon	+43 650 8120061
E-Mail	schober_helene@gmx.net
Geburtsdatum und -ort	19.02.1989, Linz
Familienstand	ledig

Ausbildung

seit 02/2013 **Universität für Bodenkultur Wien**
Masterstudium: Lebensmittelwissenschaften und –technologie
Schwerpunkte: Untersuchung und Verarbeitung von Rohstoffen, natur und ingenieurwissenschaftliche technologischen Prinzipien, angewandtes Qualitätsmanagement, Produktentwicklung

10/2008-10/2012 **Universität Wien**
Bachelorstudium: Ernährungswissenschaften
Schwerpunkte: Physiologie, Ernährung angewandt und multidisziplinär, Chemie, Statistik
Abschlussarbeit: Antibiotikarückstände in Aquakulturen (Lebensmitteltoxikologie)

09/2003-06/2008 **Höhere Lehranstalt für wirtschaftliche Berufe Steyr**
Ausbildungsschwerpunkt: Gesundheitsmanagement
abgeschlossen mit Matura
sowie **Koch- und Kellnerausbildung**

09/1999-07/2003 **Stiftsgymnasium Wilhering**

Berufserfahrung

09/2015-03/2016 **OFI Österreichisches Forschungsinstitut für Chemie und Technik**
Abteilung: Lebensmittel und Verpackung, Vertrieb
Tätigkeiten: Diplomandin, praktische Arbeit in Form eines Firmenprojekts, Verfassung der **Masterarbeit** mit dem Thema: Qualitätsverbesserung von Tiefkühl-Backwaren durch optimierte

Verpackungen“
außerdem Mithilfe bei Projekten, Verpackungsprüfungen, Kundenbesuche, Recherche, Verfassung von Anträgen und Berichten

09/2014 **Berglandmilch eGen Wels**
Abteilung und Tätigkeiten: Mitarbeit in der Käserei (Produktion)

07-08/2014 **Verlag Neuer Merkur München**
Abteilung: Redaktion der Fachzeitschrift rhw management und rhw praxis (Bereich Hygiene, Lebensmittel), Print und Online
Tätigkeiten: Pressemitteilungen, Recherche mit entsprechender Korrespondenz, Interviews, Protokolle, Präsentations-Vorbereitung, Einblick in die Grafikabteilung

Seit 07/2014 **freie Autorin** beim Verlag Neuer Merkur München

09/2013 **BAYER AUSTRIA Gesellschaft m.b.H.**
Abteilung: Health Care/Kundenservice
Tätigkeiten: Auftragserfassung, Fakturierung, Datenpflege, Rückstandsauflösung, Rechnungsverteilung

2005-2011 **SIEMENS ELIN GmbH & Co KG Linz**
wiederkehrend insgesamt **6 Monate** Praktikum bzw. Ferialarbeit
Abteilungen: Heizung Klima Lüftung Sanitär, Rechnungswesen, Haustechnik
Tätigkeiten: Mitarbeit im technischen Büro, Verrechnungen, Rechnungswesen

11/2009-06/2010 **Müller HandelsgmbH & Co KG**
Tätigkeiten: geringfügig Beschäftigte/Einräumerin

06-09/2006 **4****superior Fürstenhaus am Achensee**
Abteilung: Küche
Tätigkeiten: Einblick ins Gastgewerbe, Verarbeitung von Lebensmitteln, Mitarbeit beim Tagesgeschäft

08/2004 **MÖMAX Wels**
Abteilungen und Tätigkeiten: Lager und Verkauf

Auslandserfahrung

02-07/2015	**University of Zagreb, Croatia** **Faculty of Food Technology and Biotechnology** Schwerpunkte: Powder Technology, Biochemical Analysis, Ecogenetic Studies, Nutrigenomics, Ultrasound in Food Engineering
11/2012-01/2013	**Red Sea Environmental Centre Dahab, Egypt** Volontariat zum Thema mariner Umweltschutz **Tätigkeiten**: wissenschaftliche Studie und Erstellung eines Berichts zum Thema „coral-feeding snails“, Tauchausbildung inkl. Reef Check Eco-Diver, Durchführung von Reef Checks, Teilnahme an Riffschutz-Kursen und Unterwasser-Studien

Zusätzliche Qualifikationen

IT-Kenntnisse	MS Office (sehr gut), SAP (gut), SPSS (gut), WordPress (gut), StatGraphics (gut)
Fremdsprachen	Deutsch (Muttersprache), Englisch (sehr gut), Französisch (Schulkenntnisse), Latein (Schulkenntnisse)
Führerschein	Klasse B
Zertifikate	Toxicology in Practice

Soziales Engagement

seit 2015	**Flüchtlings- und Obdachlosenhilfe** freiwillige Mitarbeit bei: happyThankYouMorePlease, Die Gruft
seit 2012	**Mare mundi – protect the sea** Umweltorganisation
2009 und 2010	**Projekt „Barfuss-Bar“, Pro Mente Oberösterreich** Zubereitung alkoholfreier Cocktails bei diversen Veranstaltungen

Hobbys und Interessen

Sport: Laufen, Workout, Tauchen; Reisen, Lesen, Kochen