



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Fachbereich Lebensmitteltechnologie

WS 2018/19

Bachelorarbeit

zum Erlangen des akademischen Grades Bachelor of Science (B.Sc.)

Untersuchung kompostierbarer Verpackungen zur
Verringerung von Bruch unter Beibehaltung optimaler
sensorischer Eigenschaften von Bio Mais-Tostadas

urn:nbn:de:gbv:519-thesis 2018-0831-3

Verfasserin Dominique Cîrstea

Betreuer Prof. Dr. Peter Meurer
Daniel Möhler (Bachelor Of Hospitality Management)

Bearbeitung 19.11.2018 bis 21.01.2019

Neubrandenburg, den 17.01.2019

Abstract

Bio-based plastics are in line with the ecological trend right now. Many food companies changed their packaging system in the last years to get an eco-friendlier image. Although there are many positive facts about bio-based compostable packaging, the research regarding dry food storage is incomplete or non-specific.

This work concerns the feasibility of using bio-based packaging for organic corn Tostadas. The main focus was on the testing and analysis of different kinds of compostable packaging. A huge influence regarding the samples was given by the CEO of Tlaxcalli GmbH, in cooperation with whom this work originated.

Testings showed, that the use of compostable packaging is not manageable without loss of product quality. Responsible for this is the high water vapor permeability of the packaging. In hopes of the invention of a bio-based compostable packaging with better properties tests should be expanded in upcoming papers.

Inhaltsverzeichnis

	Abstract	S. 1
	Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen und Abkürzungen	S. 4
1	Einleitung	S. 5
2	Stand von Wissenschaft und Technik	S. 6
2.1	Recycling von Verpackungen nach dem neuen Verpackungsgesetz	S. 6
2.2	Lebensmittelverpackungen	
2.2.1	Allgemeines	S. 7
2.2.2	Positive und negative Aspekte von kompostierbaren Lebensmittelverpackungen	S. 8
2.3	Biobasierte Polymere	S. 9
2.3.1	Polylactid (PLA)	S. 10
2.3.2	Cellulosehydrat (Zellglas)	S. 11
2.4	Kartonverpackungen	S. 12
2.5	Tostadas	S. 13
2.5.1	Herstellung	S. 13
2.5.2	Nixtamalisation	S. 13
3	Material und Methoden	S. 14
3.1	Versuchsplanung	S. 14
3.2	Verwendete Materialien und Geräte	S. 15
3.3	Analytische Methoden	S. 16
3.3.1	Texturanalyse mittels Texture Analyser	S. 16
3.3.2	Messung des a_w -Wertes	S. 18
3.3.3	Gravimetrische Bestimmung der Trockenmasse	S. 20
3.3.4	Farbmessung	S. 20
3.4	Statistische Methoden	S. 22
4	Ergebnisse	S. 23
4.1	Lagerbedingungen 40 °C und 80 % relative Luftfeuchtigkeit	S. 23
4.1.1	Texturanalyse mittels Texture Analyser	S. 23
4.1.2	Messung des a_w -Wertes	S. 26

4.1.3	Bestimmung des Wassergehalts mittels Schnellfeuchtemesser	S. 28
4.1.4	Farbmessung	S. 30
4.2	Lagerbedingungen 40 °C und 50 % relative Luftfeuchtigkeit	S. 32
4.2.1	Texturanalyse mittels Texture Analyser	S. 32
4.2.2	Messung des a_w -Wertes	S. 34
4.2.3	Bestimmung des Wassergehalts mittels Schnellfeuchtemesser	S. 35
4.2.4	Farbmessung	S. 37
5	Diskussion	S. 39
6	Zusammenfassung	S. 44
7	Literaturverzeichnis	S. 45
8	Tabellenverzeichnis	S. 51
9	Abbildungsverzeichnis	S. 51
10	Erklärung über die selbstständige Anfertigung der Arbeit	S. 53
11	Anhang	S. 54

Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen und Abkürzungen

BAW	Biologisch abbaubare Werkstoffe
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
d	day [zu deutsch: Tag]
GKZ	Gesamtkeimzahl
GRAS	Generally Recognized as Safe
ISO	International Organization for Standardization
max.	maximal
NABU	Naturschutzbund Deutschland e.V.
OV	ohne Verpackung
PHA	Polyhydroxyalkanoate
PLA	Polylactid (Polymilchsäure)
rel.	Relativ
SF	Sichtfensterschachtel
TA	Take Away Lunch Box
UBA	Umweltbundesamt

1 Einleitung

Lebensmittelverpackungen erfahren medial immer mehr Aufmerksamkeit. Verbraucherinnen und Verbraucher fordern umweltschonende Alternativen zu herkömmlichen Kunststoffverpackungen (Petition 80946, 2018). Nach Angaben des Naturschutzbundes Deutschland e.V. (NABU) gelangen jährlich mehr als zehn Millionen Tonnen Kunststoffabfälle vom Land in die Ozeane, wo sie für die dortige Flora und Fauna erhebliche Probleme verursachen. Allein in Deutschland beträgt die Masse an Kunststoffabfall knapp sechs Millionen Tonnen jährlich. Pro Kopf macht das einen Wert von 70 kg aus, von denen mehr als die Hälfte auf Verpackungen zurückgeht (NABU, 2016). Biobasierte kompostierbare Verpackungen stellen eine Alternative zu petrochemischen Kunststoffen dar, da sie in Bezug auf Erdöl ressourcenschonender sind.

Das 2016 gegründete Unternehmen Tlaxcalli GmbH produziert Bio-zertifizierte Tostadas aus regionalem nixtamalisierten Mais. Um das Produkt besser vor äußeren Einflüssen zu schützen, strebt das Unternehmen eine Veränderung der Verpackung an. Vor allem die durch Druck auf die Verpackung entstehende Bruchware ist nach Angaben des Unternehmens ein Problem. Das Einbringen ökologisch sinnvoller Aspekte in Produktion und Vertrieb ist dem Unternehmen ein wichtiges Anliegen. Die bislang verwendeten Verkaufsverpackungen für das Produkt „Tostada Clasica“ bestehen aus einem Verbund von Papier und einer Folie aus Polylactid-Kunststoff. Ziel der Arbeit ist es, eine für das Produkt „Tostada Clasica“ geeignete Verkaufsverpackung zu finden, die kompostierbar ist und das Produkt vor Bruch durch unsachgemäßes Handling schützt. Dies kann beispielsweise durch Kombination eines Kartons ohne Kunststoffbeschichtung und einem innenliegenden kompostierbaren Schlauchbeutel oder die Nutzung eines Kartons mit einer natürlichen Innenbeschichtung aus Wachs erreicht werden. Im Vorfeld der Arbeit wird dazu eine Auswahl an Verpackungen gewählt, die näher untersucht wird. Zudem werden unverpackte Proben eingelagert und anschließend untersucht, um die Schutzwirkung besser einordnen zu können. Auf das Auswahlverfahren wird in der Arbeit nicht näher eingegangen. Durch Analysen mittels Texture Analyser, sowie durch Farb- und a_w -Wert Messungen während eines mehrwöchigen Lagertests bei erhöhter Temperatur und Luftfeuchtigkeit, sollen Rückschlüsse auf die physikalischen Eigenschaften der Verpackungen und ihrer Tauglichkeit für das Produkt und seine Erfordernisse untersucht werden.

2 Stand der Wissenschaft und Technik

2.1 Recycling von Verpackungen nach dem neuen Verpackungsgesetz

Recycling nach Bleisch et al. (2003) ist die „Rückführung gebrauchter Materialien wie Verpackung in den Stoffkreislauf zum wiederholten Verwenden der Werkstoffe durch werkstoffliches oder rohstoffliches Verwerten“. Seit dem 1. Januar 2019 gilt in Deutschland das neue „Gesetz zur Fortentwicklung der haushaltsnahen Getrennterfassung von wertstoffhaltigen Abfällen“ vom 5. Juli 2017, das die bis dahin geltende Verpackungsverordnung ablöst. Das Gesetz legt hohe Quoten für die stoffliche Verwertung von Verpackungsabfällen fest, die bei privaten Endverbrauchern anfallen und beispielsweise über die Wertstofftonne gesammelt wird. In den ersten Jahren nach Inkrafttreten des Gesetzes liegen die Quoten bei 58,5 % für Kunststoffverpackungen, 80 % für Glas-, Eisenmetall- und Aluminiumverpackungen und bei 85 % für Papierverpackungen. Ab 2022 erhöhen sich die Quoten auf 63 % für Kunststoffverpackungen sowie 90 % für alle weiteren Verpackungen. Verbundverpackungen müssen ab 2019 zu 55 %, ab dem Jahr 2022 zu 70 % verwertet werden (UBA, 2018). Ziele des neuen Gesetzes sind die Förderung und Konzeption einer recyclingfreundlichen Verpackungsgestaltung entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Gesetzlich festgeschrieben ist auch der Einsatz von Rezyklaten, die Optimierung der Materialbeschaffenheit und Farben, die quantitative Minimierung der Materialeinsätze, die Vermeidung von Verpackungsabfällen und die Möglichkeit einer sortenreinen Aufbereitung von Produkt- und Verpackungsmaterialien zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit von Verpackungen (Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister, 2018). Im Sinne des neuen Verpackungsgesetzes werden Händler_innen dazu angehalten, Verpackungen recyclinggerecht zu gestalten. Dies bedeutet, dass bei Entwicklung und Herstellung einer Verpackung eine möglichst hohe Recyclingfähigkeit angestrebt wird. So können bereits verwendete Materialien in den Werkstoffkreislauf zurückgeführt und wiederaufbereitet werden. Daraus entstehende Sekundärprodukte sind schonender für die Umwelt, da Ressourcen unangetastet bleiben und weniger Abfall entsteht (Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister, 2018).

2.2 Lebensmittelverpackungen

2.2.1 Allgemeines

Verpackungen haben besonders in der Lebensmittelindustrie einen hohen Stellenwert. Sie sind einerseits werbewirksames Marketinginstrument, das potentielle Konsument_innen dazu anregt, ebendieses Produkt ins Auge zu fassen und zu kaufen (Morris, 2017). Auf der anderen Seite müssen sie unterschiedlichen Umwelteinflüssen standhalten, wobei vor allem physikalische und atmosphärische Einflüsse eine Rolle spielen. Durch physikalische Einflüsse, wie Stöße oder starke Vibrationen während des Transports, können Beschädigungen an der Verpackung und dem Produkt entstehen. Solche Beschädigungen können den Verderb eines Produktes begünstigen. Hierfür verantwortlich sind atmosphärische Gase, wie Sauerstoff, aber auch Wasser und Wasserdampf, Licht und Temperatur, sowie Mikroorganismen und Schädlinge, die ubiquitär vorkommen. Um eine Verpackung optimal gestalten zu können, müssen die Eigenschaften des zu verpackenden Produktes ebenso berücksichtigt werden, wie die klimatischen Bedingungen im Produktions- und Vertriebsort. Je nach Anforderung werden verschiedene Materialien zum Verpacken von Lebensmitteln eingesetzt, die unterschiedliche Barriereigenschaften gegenüber Umwelteinflüssen oder technologisch erforderlichen Maßnahmen, wie das Pasteurisieren, aufweisen. Für Hersteller ist die Praktikabilität von Verpackungen in Bezug auf entstehende Kosten zudem relevant. Von Form und Größe einer Verpackung hängt ab, wie viele Produkte verpackt werden können und beispielsweise auf Paletten transportierbar sind oder wo sie im Markt platziert werden (Morris, 2017). Die Vorteile von Kunststoffverpackungen sind ihre geringe Masse, die Möglichkeit eines individuellen Zuschnittes sowie der relativ niedrige Preis - weniger als 10 % des Verkaufspreises von Lebensmitteln gehen auf die Verpackung zurück (Deans, 2018). Ein Großteil der Kunststoffverpackungen wird aus petrochemischen Rohstoffen hergestellt. Jährlich werden 4 % des weltweit genutzten Erdöls zu mehr als 240 Millionen Tonnen Plastik verarbeitet – auch für die Verpackungsindustrie. Konventionelle Kunststoffverpackungen haben zwar viele Vorteile, mit ihnen verbunden sind aber auch Problematiken, wie die für Flora und Fauna bedrohliche Umweltverschmutzung.

2.2.2 Positive und negative Aspekte von kompostierbaren

Lebensmittelverpackungen

Die Entsorgung, Wiederverwendung oder das Recycling von Kunststoffen ist aufwendig und in vielen Ländern aufgrund einer fehlenden oder unzureichenden Abfall-Infrastruktur nur bedingt erfolgreich, sodass ein Großteil der thermischen Verwertung zufällt. Problematisch sind vor allem Verbundmaterialien, also kombinierte Werkstoffe, da spezielle Trennverfahren mit einem hohen finanziellen Aufwand verbunden sind. Aber auch die Verwendung verschiedener Kunststoffe in einer Verpackung erschweren das Recyceln erheblich, da eine sortenreine Trennung im Vorfeld notwendig, jedoch technologisch sehr aufwendig ist (NABU). Trotz des Potentials biobasierter Kunststoffe, ein umweltfreundlicher Ersatz für erdölbasierte Kunststoffe zu werden, bringen sie einige Nachteile bezüglich ihrer physikalischen Eigenschaften und Verarbeitung mit sich. Dadurch ist die Anwendung solcher Materialien nur in begrenztem Maß möglich, vor allem im Bereich der Verpackungen für Lebensmittel. Gründe hierfür sind eine geringere thermische Belastbarkeit und Gasbarriere, ihr hydrophiler Charakter sowie eine kurze Lebensdauer, bedingt durch chemische und physikalische Einflüsse. Durch Zugabe von Nanoadditiven sollen einige dieser Nachteile – vor allem die ausgeprägte Hydrophilie sowie die geringe mechanische Beanspruchbarkeit – ausgeglichen werden (Deans, 2018). Ein Großteil dieser Nanoadditive sind petrochemischen Ursprungs. Die Entwicklung und Anwendung neuartiger Modifikatoren auf Basis nachwachsender Rohstoffe ist seit 2016 unter anderem Forschungsziel eines Verbundprojektes des Kunststoff-Zentrums, des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Polymerforschung, der Professur für Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung der TU Chemnitz sowie dem Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe der Hochschule Hannover (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.).

Ein bedeutender Nachteil von biobasierten Kunststoffen ist der Fakt, dass – obwohl Hersteller oftmals angeben, dass die Verpackung problemlos kompostierbar sei – dies in herkömmlichen industriellen Anlagen oftmals nicht realisierbar ist. Nach EN 13432 ist eine Kompostierbarkeit innerhalb von 90 Tagen in einer industriellen Kompostieranlage gegeben. Das bedeutet, dass das Produkt innerhalb dieser Zeit in definierte Restbestandteile zersetzt wird. Die Dauer eines Zyklus in industriellen Anlagen ist mit sechs bis acht Wochen jedoch nicht ausreichend für die vollständige Zersetzung biologisch abbaubarer Kunststoffe, sodass

große Restbestandteile nach der Kompostierung übrig bleiben (Bionatic GmbH & Co. KG). In Deutschland sind Biokunststoffe aus dem System der Getrenntsammlung von Bioabfällen ausgeschlossen. Nach Auffassung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit gehören Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen nicht in den separat geführten Bioabfall. In Deutschland wird dieser kompostiert oder vergoren. Der Kompost wird als Ersatz für mineralische Düngemittel eingesetzt, um die Humusbilanz der Böden zu verbessern (BMU, 2016).

Biokunststoffverpackungen zeigen in ihrer Ökobilanz oftmals bessere Ergebnisse hinsichtlich der Treibhausgasemissionen und des fossilen Rohstoffverbrauchs, sind jedoch gesamtökologisch nach Angaben des BMU (2012) nicht vorteilhafter als entsprechende Verpackungen aus fossilen Kunststoffen. Dennoch sind biobasierte Kunststoffe eine Alternative hinsichtlich der begrenzten fossilen Rohstoffkapazität. Bislang werden lediglich < 1 % aller Verpackungen anteilig oder komplett aus biobasierten Kunststoffen hergestellt (BMEL, 2018). Mit zunehmender Verwendung könnten die Ressourcen geschont und Emissionen verringert werden (Bionatic GmbH & Co. KG).

2.3 Biobasierte Polymere

Biobasierte Polymere werden vollständig oder teilweise aus pflanzlichen Rohstoffen hergestellt. Biobasiert bedeutet nicht zwingend, dass der Stoff biologisch abbaubar oder kompostierbar ist, sondern bezieht sich lediglich auf den Ursprung der Polymere. Die Entwicklung biobasierter Polymere wurde zu Beginn des 21. Jahrhunderts aufgrund steigender Erdölpreise und Förderkürzungen stark vorangetrieben. Polymere aus nachwachsenden Rohstoffen wurden nicht nur als eine Lösung gesehen, den stark schwankenden Erdölpreis zu umgehen, sondern auch, umweltfreundlichere Alternativen aufgrund niedrigerer CO₂-Emissionen zu schaffen. In den darauffolgenden Jahren haben die globalen Erdölreserven „zugenommen“ - durch Fracking sowie horizontalen Bohrungen war es möglich, Erdöl aus tieferen Schichten zu fördern. Vor allem in den U.S.A. wurden so viele Reserven erstmals zugänglich gemacht. Obwohl es derzeit wieder einen Aufschwung in der Branche gibt, ist es ungewiss, inwieweit die Entwicklung von Biopolymeren in Zukunft vorangetrieben wird. Zahlreiche Studien belegen, dass Konsument_innen durchaus bereit sind, nachhaltigere Verpackungen zu nutzen, nicht aber, mehr dafür auszugeben (Morris, 2017).

Nach Morris (2017) gibt es allgemein drei Herangehensweisen zur Herstellung biobasierter Polymere:

- Die Nutzung natürlicher biobasierter Polymere mit Veränderungen, bspw. stärkebasierte Polymere.
- Die Herstellung von Monomeren aus einer biologischen Quelle, bspw. durch Fermentation von Zucker unter Verwendung konventioneller Polymerisationsprozesse. Beispiele hierfür sind Polylactid oder Bioethylen.
- Die Herstellung neuer Polymere durch Bakterien, z.B. Polyhydroxyalkanoate.

2.3.1 Polylactid (PLA)

Polylactid-Kunststoff (Polymermilchsäure-Kunststoff, PLA) wurde bereits im Jahr 1932 von dem US-amerikanischen Chemiker Wallace Hume Carothers entdeckt und diente zunächst, in Kombination mit Polyglycoliden, als Material für medizinisches Garn und Implantate, die seit Anfang der 1970er Jahre in der Chirurgie eingesetzt werden (Wolff, A. G., 2018). Es gehört zu den biobasierten Polyestern. Die Herstellung erfolgt synthetisch über die Fermentation von Zucker, unter Zuhilfenahme von Mikroorganismen, zu Milchsäure. Diese wird unter Zugabe eines Katalysators polymerisiert (Baur, E. et al., 2013). Durch Auswahl der Fermentationsbakterien lässt sich die spätere Molekülstruktur – L- oder D-Lactide – und damit die Haltbarkeit sowie die Abbaubarkeit des Materials bestimmen. Dabei dient reines PLA als Rohstoff, der durch Hinzufügen von Compounds bzw. Additiven auf die jeweilige Anwendung angepasst wird. Von der United States Food and Drug Administration (FDA) wurden Polylactid-Kunststoffe als GRAS – Generally Recognized as Safe (zu dt. „als sicher anerkannt“) - klassifiziert. Damit ist es für die Anwendung im Lebensmittelbereich zugelassen (Wolff, A. G., 2018). Die Glasübergangstemperatur T_g von PLA liegt zwischen 50 bis 80 °C. Beim Erwärmen teilkristalliner Kunststoffe wird im Bereich der Glasübergangstemperatur der amorphe Teil des Kunststoffes erweicht und damit formbar (Bleisch et al., 2011). Die Größe des Temperaturbereichs hängt von den Eigenschaften des Polymers ab. Diese sind abhängig von der Kettenbeweglichkeit, also der Bewegung bestimmter Kettensegmente innerhalb des Moleküls (Piringer, 1993). Unterhalb der Glasübergangstemperatur zeigen die Moleküle ein Minimum an Beweglichkeit, sowie maximale Brüchigkeit (Lee et al. 2008). Die Schmelztemperatur von PLA liegt zwischen 173 bis 178 °C. Sofern PLA verflüssigt wird, nimmt

seine Flexibilität zu, sodass Materialien daraus gefertigt werden, die Kunststoffe, wie Polyvinylchlorid, Polypropylen, Polystyrol und Polyethylen verschiedener Dichtigkeiten, imitieren können (Wolff, A. G., 2018).

2.3.2 Cellulosehydrat (Zellglas)

Ein nachwachsender Rohstoff, der für die Herstellung biobasierter Kunststoffe eingesetzt wird, ist Cellulose. Dieses komplexe Strukturpolysaccharid besteht aus α -Glucose-Einheiten, die durch β -glykosidische Bindungen miteinander verknüpft sind. Es findet sich in pflanzlichen Zellwänden als Stützsubstanz wieder (Wolff, A. G., 2018).

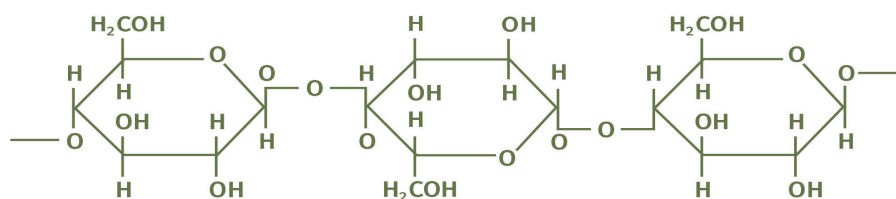


Abbildung 1: Struktur von Cellulose | Quelle:

<https://www.cellulforce.com/en/products/cellulose-nanocrystals/>

Seine zahlreichen intramolekularen Wasserstoffbindungen verhindern die freie Drehbarkeit der glycosidischen Bindungen, sodass eine lineare Struktur entsteht (Wollrab, 2014). Dadurch besitzt Cellulose eine gute Widerstandskraft gegenüber Hydrolyse. Cellulosepolymere werden durch Extraktion oder chemische Modifikation natürlicher

Cellulose hergestellt. Cellulosepolymere werden in drei Hauptgruppen unterteilt: Celluloseester, welche organisch oder anorganisch sein können, Celluloseether sowie regenerierte Cellulose. Vor allem letztere als auch organische Celluloseester werden mit Abstand weltweit am häufigsten zur Produktion von cellulosebasierten Kunststoffen eingesetzt (Shen et al., 2009).



Abbildung 2: Produkt in Cellulosefolie verpackt
Quelle: <https://vekoop.de/Sonnentor-Goldener-Kurkuma-Tee-Bio-36g>

Zellglas ist eine unter dem Markennamen „Cellophan“ bekannte Folie, die 1924 entwickelt und in den 1950er Jahren zum

meist genutzten Verpackungsmaterial für Lebensmittel wurde (Shen et al., 2009). Die Herstellung erfolgt zunächst unter Aufschluss von Holz durch Natronlauge sowie einer anschließenden kontrollierten Polymerisation. Durch die Erwärmung mit Schwefelkohlenstoff in Natronlauge wird die so entstandene Alkalicellulose in Viskose (Cellulosexanthogenat) überführt. Durch Schlitzdüsen wird die Viskose in ein Schwefelsäurebad geleitet, wobei sich die Zellglasfolie durch Regeneration der Cellulose ausbildet. Diese wird anschließend mit Wasser gereinigt. Während der Extrusion und des Waschvorgangs werden der Folie Feuchthaltemittel zugesetzt, um die Geschmeidigkeit zu erhöhen und so die Weiterverarbeitung und Nutzung als Verpackungsfolie zu ermöglichen. Unbehandelte Zellglasfolie ist nicht siegelfähig, daher wird sie häufig mit Polyvinylchlorid oder Nitrozellulose-Lack beschichtet. Reine Zellglasfolie ist kompostierbar. Die Entsorgung von beschichtetem Zellglas hingegen ist komplizierter, daher wird sie meist thermisch verwertet (Bleisch et al., 2003).

2.4 Kartonverpackungen

If für den mehrlagigen aus Zellstofffasern und Holzschliff gefertigten Werkstoff, der für die Verpackungsindustrie von großer Bedeutung ist. Seine flächenbezogene Masse liegt mit 150 bis 600 g/m² zwischen der von Papier und Pappe (Bleisch et al., 2003). Hauptrohstoff für die Herstellung von Papier- und Kartonverpackungen ist Holz. Durch mechanische Bearbeitung wird aus dem Rohstoff Holzschliff hergestellt, durch chemischen Aufschluss von Pflanzenfasern dagegen Zellstoff. Dabei wird das im Holz enthaltene Lignin beim Sulfat-Verfahren durch Einwirkung von Alkali abgebaut und in Form von Phenolaten (= Alkalisalze) abgebaut. Der entstandene Stoffbrei fließt auf schüttelnden Endlossieben aus Metall oder Kunststoff, sodass die Fasern verfilzen und Papier gebildet wird. Durch Gautschen – dem Verbinden mehrerer vorgefertigter Faserstofflagen im feuchten Zustand ohne zusätzliche Verwendung von Klebstoff (gemäß DIN 67630) – kann mehrlagiger Karton produziert werden (Piringer, 1993). Aufgrund der Stabilität werden Verpackungen aus Karton vor allem für Stoffe verwendet, die vor mechanischer Beanspruchung geschützt werden sollen. Bei Lebensmitteln wird Karton mit einer Innenbeschichtung aus Wachs oder Kunststoff als Primärverpackung, sowie unbeschichtet als Sekundärverpackung eingesetzt, wobei Karton hier hauptsächlich in Form von Faltschachteln zum Einsatz kommt (Bleisch et al., 2003). Ein

entscheidender Nachteil von Papier- und Kartonverpackungen ist die Stoffdurchlässigkeit. Vor allem für Gase und organische Verbindungen (Piringer, 1993). Die günstigsten Lagerbedingungen für Papier- und Kartonverpackungen liegen bei +20 °C / 50 % relativer Luftfeuchtigkeit. Temperaturen unter + 10 °C sowie über + 25 °C, als auch direkte Sonneneinstrahlung oder übermäßige Feuchtigkeit sind zu vermeiden (Kaßmann et al., 2014). Obwohl Holz zu den regenerativen Rohstoffen gehört, können durch den unsachgemäßen Anbau der Boden geschädigt werden, sowie Erosion und eine erhöhte Anfälligkeit für Erkrankungen bedingt werden. Ein wesentlich negativer Faktor bei der Herstellung von Papier und Karton ist die Wasserverschmutzung. Vor allem Bleichmittel haben hier einen entscheidenden Anteil (Selke, 1992).

2.5 Tostadas

2.5.1 Herstellung

Traditionelle Tostadas [spanisch: Toast] werden, ähnlich wie Tortillas, aus nixtamalisiertem Hartmais (siehe 2.5.2) hergestellt. Der Maisteig bildet die Grundlage für verschiedene traditionell mexikanische Spezialitäten, wie Tacos, Tostadas, Quesadillas, Empanadas, Tamale oder Sopas. Nach der Nixtamalisation wird der Mais in einer Vulkansteinmühle zu Teig gemahlen, welcher anschließend zu flachen runden Teiglingen geformt und ausgebacken wird. Das Unternehmen Tlaxcalli GmbH nutzt nach eigenen Angaben für den Backprozess gusseiserne Scheiben über offenem Feuer. Ein Fließbild zur Veranschaulichung des Herstellungsprozesses von Tostada der Firma Tlaxcalli GmbH findet sich unter Anhang 1.

2.5.2 Nixtamalisation

Die Nixtamalisation ist ein traditionelles Verfahren zur Behandlung von Hartmais oder anderen Getreidekörnern in einer alkalischen Lösung. Ziel ist es, das Korn von seiner harten äußeren Schicht zu lösen, sodass die im Korninneren enthaltenen Nährstoffe in eine für den menschlichen Verdauungstrakt bioverfügbare Form überführt werden. Vor allem das im Mais Korn enthaltene Niacin wird durch dieses Verfahren zugänglich gemacht (Castro-Muñoz et al., 2016). In Ländern, in denen Mais oder Sorghum-Hirse Grundnahrungsmittel darstellen, ist das Verfahren der Nixtamalisation von großer Bedeutung. Die tägliche Zufuhrempfehlung beträgt 15 mg für Frauen und 18 mg für Männer (Biesalski et al., 2015). Obwohl der Anteil der im Mais Korn enthaltenen Aminosäuren während des Verfahrens leicht

abnimmt, können die im nixtamalisierten Mais enthaltenen Aminosäuren schneller vom Körper aufgenommen werden, wodurch die biologische Verfügbarkeit erhöht wird. Zudem steigt der Gehalt an Calcium im Produkt durch die Einwirkung von Hitze und Calciumhydroxid deutlich von 10 auf 196 mg pro 100 g Mais. In Mexico sind Maistortilla Grundnahrungsmittel. Der jährliche Prokopfverbrauch liegt durchschnittlich bei 120 kg (Guzmán-de-Peña, 2010). Zunächst werden die gereinigten Maiskörner nach Milán-Carrillo et al. (2004) für 31 Minuten bei 85 °C in einer Calciumhydroxidlösung gekocht, wobei das Verhältnis von Maiskörnern zum Kochmedium 1:3 beträgt. Anschließend werden die Körner für 8 Stunden bei Raumtemperatur eingeweicht und nass zu einem Teig vermahlen.

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsplanung

Gesucht wird eine neue Primärverpackung für das Produkt „Tostada Clasica“ der Firma Tlaxcalli GmbH, um einen besseren Schutz vor Bruch zu gewährleisten. Bislang wird das Produkt in einem Blockbeutel aus Kraftpapier mit Clipbandverschluss und einer Innenbeschichtung sowie einem Sichtfenster aus Polylactid-Kunststoff verpackt. Um den IST-Zustand zu erfassen, werden Versuche am frisch produzierten Produkt unternommen. Hierzu wird unter anderem der Texture Analyser eingesetzt, um die Textur - genauer die Knusprigkeit - der Tostadas zu ermitteln. Hinzu kommen Messungen des a_w -Wertes, der Trockensubstanz, sowie Farbmessungen, um etwaige Veränderungen während der Lagerung feststellen zu können. Nach Erhalt der Musterverpackungen wird das Produkt darin verpackt für 21 Tage bei + 40 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 % eingelagert. Parallel dazu wird eine zweite Versuchsgruppe bei + 40 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 80 % eingelagert. Grundlage für die Versuche ist die van't Hoff'sche RGT-Regel. Sie besagt eine Verdopplung bis Verdreifachung der Reaktionsgeschwindigkeiten bei einer Temperaturerhöhung um 10 K (Westphal et al., 1996). Demnach entspricht eine Lagerung von 21 Tagen bei + 40 °C einer Lagerung von ca. 105 Tagen bei + 20 °C, wenn von einer 2,5-fachen Reaktionsgeschwindigkeit ausgegangen wird. Um eine Veränderung des Aggregatzustandes (siehe Glasübergangstemperatur unter 2.3.1) zu verhindern, werden die Produkte bei Temperaturen < 50 °C eingelagert. Die Proben werden jeweils im sieben-Tage-Rhythmus analysiert. Dabei werden, wie bei den vorhergehenden Untersuchungen,

Texturanalysen mittels Texture Analysers, sowie a_w -Wert- und Farbmessungen sowie Messungen der Trockensubstanz bzw. der enthaltenen Feuchtigkeit durchgeführt. Unter Punkt 3.2 findet sich in Tabelle 1 eine Auflistung benötigter Materialien und Geräte für die geplanten Versuche. Die Proben in der Braunen Bio Sichtfensterschachtel werden zusätzlich in PLA-Folienbeutel eingeschweißt.

3.2 Verwendete Materialien und Geräte

Eine Auflistung aller verwendeten Materialien und Geräte findet sich unter Tabelle 1.

Tabelle 1: Für die Versuche benötigte Geräte und Materialien

Geräte / Materialien	Firma	Hinweise
Geräte		
Klimaschrank	WTB Binder Labortechnik GmbH	+ 40 °C und 50 / 80 % relative Luftfeuchtigkeit, ohne Licht
ColorFlex® EZ Spektralphotometer	FMS Jansen GmbH & Co. KG HunterLab	5-fach Bestimmung, 34 mm Rundglasküvette, 34 mm Messblende
a_w -Messgerät cx-2	aqua lab	5-fach Bestimmung, Probenschale darf nur max. halb gefüllt sein,
Schnellfeuchtemesser (Moisture Analyzer) MA-40	Satorius	Doppelbestimmung, Einwaage jeweils ca. 1 g, Trocknungstemperatur: 105 °C
Texture Analyser	Winopal Forschungsbedarf GmbH	5-fach Bestimmung, 50 kg Kraftmesszelle, Prüfaufsatz: SMS P/5 S, Probenaufsatz: SMS P/35
Verpackungsmaterial		
Braune Bio Sichtfensterschachtel, 900 ml	Bionatic GmbH & Co. KG	ausgekleidet mit PLA-Folie
Bio-Folienbeutel	Bionatic GmbH & Co. KG	Polylactid-Folie
Take Away Lunch Box mit Klickverschluss, 650 ml	Bionatic GmbH & Co. KG	beschichtet mit pflanzlichem Wachs
Rohstoffe		
Tostadas Clasica	Tlaxcalli GmbH	Maistostadas

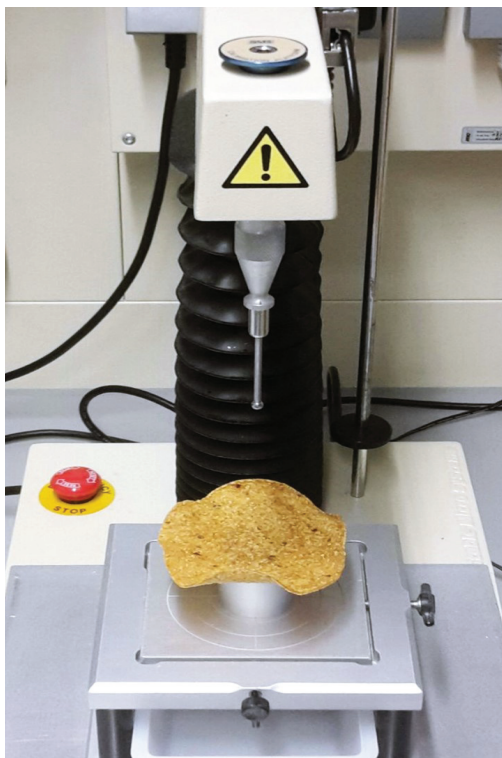
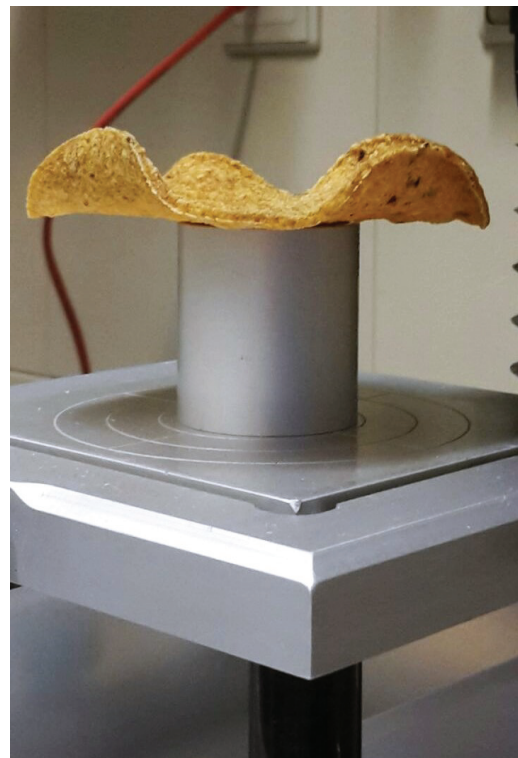
3.3 Analytische Methoden

3.3.1 Texturanalyse mittels Texture Analyser

Der Texture Analyser ist ein elektronisch gesteuertes Materialprüfgerät zur Ermittlung der Druck- und Zugkräfte. Mittels Kraftmesszelle kann die Kraft aufgezeichnet werden, die erforderlich ist, um in eine Probe einzudringen. Die spezifische Textur hängt von der Zusammensetzung und Struktur der Moleküle eines Lebensmittels ab (DLG, 2015). Abhängig von Modell und Kapazität der eingebauten Kraftmesszelle können Kräfte im Bereich von 0 bis 7,5 kN erfasst werden. Die Kraftmesszellen können nach Bedarf gewechselt werden, um ein genaueres Ergebnis zu erzielen. Aufgenommen werden die Daten mit bis zu 500 einzelnen Messpunkten pro Sekunde mittels der Software Exponent. Durch diese hohe Datenauflösung können kleinste Veränderungen innerhalb der zu untersuchenden Probe festgestellt und analysiert werden (Winopal Forschungsbedarf GmbH). Bei Nahrungsmitteln wird Textur als diejenigen Eigenschaften definiert, die sich aus der Makro- und Mikrostruktur des Lebensmittels ergeben (DLG, 2015). Nach Definition der International Organization for Standardization (ISO) ist Textur ein Merkmal, das durch Kombination verschiedener physikalischer Eigenschaften entsteht und durch kinästhetische, haptische, visuelle und auditorische Sinne wahrgenommen wird (Weipert et al., 1993). Knusprigkeit ist ein für zellulär feste Lebensmittel wichtiges Qualitätskriterium. Ein knuspriges Produkt wird allgemein durch einen tiefen Bruch durch starkes Kauen mit unterschiedlich aufeinander folgenden Bruch-Ereignissen, begleitend durch Schallemissionen, charakterisiert (Luyten et al. 2004). Interessant für die Auswertung der Texturanalyse sind einerseits die aufgebrachte Kraft zum Durchdringen der Probe, sowie die jeweilige Steigung der Kurve. Letztere gibt an, wie spröde oder biegsam ein Produkt ist. Je steiler der Anstieg, desto spröder die analysierte Probe (Winopal Forschungsbedarf GmbH). Dabei gilt es auch, die Anzahl an Peaks (= Kraftspitzen) in einer Kurve zu beobachten. Je mehr Peaks in einer Kurve auftreten, desto knuspriger ist das Produkt. Ein Peak steht dabei jeweils für einen Bruch. Die Bruchneigung einer Probe ist ein Ansatz, wie die Knusprigkeit bestimmt werden kann. Viele Peaks weisen typischerweise Kartoffelchips, Erdnussflips oder andere Extrudate auf, was akustisch wahrnehmbar ist (Zwick Roell AG). Die eingesetzten Messparameter sind in Tabelle 2 aufgelistet.

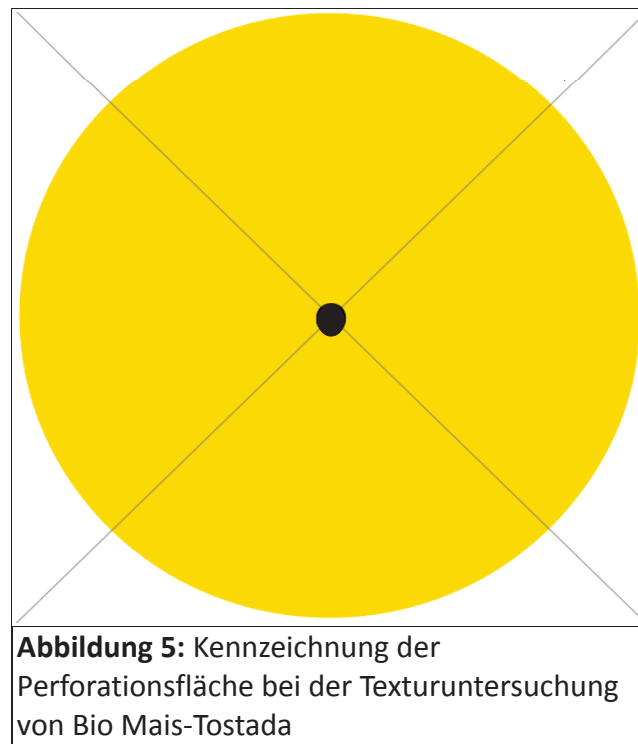
Tabelle 2: Messparameter Texture Analyser

Messparameter	Zahlenwerte
Vortestgeschwindigkeit	1,0 mm/sec
Testgeschwindigkeit	1,0 mm/sec
Rücktestgeschwindigkeit	10,0 mm/sec
Testweg	5,0 mm
Auslösekraft	5,0 g
Messdatenaufnahme	250 pps
Messstempel	SMS P/5 S

**Abbildung 3:** Frontalansicht
Versuchsaufbau Texturanalyse**Abbildung 4:** Seitenansicht
Versuchsaufbau Texturanalyse

Um die Texturmessung an den Tostadas durchführen zu können, werden diese leicht erhöht auf einem hohlen Zylinder gelagert und zentral ausgerichtet, sodass der Prüfstempel den Prüfkörper in der Mitte perforieren kann. Dabei werden Lufteinschlüsse oder Unebenheiten im unmittelbaren Perforationsbereich des Prüfstempels möglichst vermieden, um das Messergebnis nicht zu verfälschen. Zudem wird eine möglichst plane Auflage der Produkte angestrebt. Der Versuchsaufbau wird auf Abbildung 3 und 4 dargestellt.

Eine grafische Darstellung des Versuchsaufbaus findet sich unter Abbildung 5. Der angestrebte Perforationsbereich ist schwarz hervorgehoben.



3.3.2 Messung des a_w -Wertes

Unter dem a_w -Wert versteht sich der Wasseraktivitätswert, also der Anteil an ungebundenem Wasser in einer Probe. Er gibt das Verhältnis zwischen dem über einem Lebensmittel herrschenden Wasserdampfdruck p zu dem Wasserdampfdruck über reinem Wasser p_0 bei gleicher Temperatur an (Heiss, 2004):

$$a_w = p / p_0$$

Für die Praxis bedeutet dies, die relative Luftfeuchtigkeit über der wasserhaltigen Substanz in einem abgeschlossenen Raum zu messen. Bei der Messung ist zu beachten, dass eine exakte Einhaltung der Messtemperatur gegeben ist, da die Menge an Wasserdampf, die von der Luft aufgenommen werden kann, stark temperaturabhängig ist. Eine bedeutende Messtechnik zur Bestimmung der Wasseraktivität ist die Bestimmung des Taupunkts. Der Taupunkt wird durch Messung derjenigen Temperatur ermittelt, bei der Wasserdampf aus der Luft der

Probenkammer auf einem gekühlten Spiegel kondensiert. Die Berechnung des a_w -Wertes erfolgt anschließend mit Hilfe des Taupunkts. Eine weitere Methode ist das kapazitive Messverfahren. Dabei wird der a_w -Wert über einen kapazitiven Feuchtesensor ermittelt. Die Funktion eines solchen Sensors beruht auf Änderungen der Kapazität eines dünnen Polymerfilms bei Aufnahme oder Abgabe von Wassermolekülen. Die von der Temperatur abhängige Feuchtigkeitsmenge der Luft (des Kopfraums) durchdringt in Form von Wasserdampf die hygroskopische obere Elektrode und erreicht den aktiven Polymerfilm. Die vom Polymerfilm aufgenommene Wasserdampfmenge verändert die elektrischen Eigenschaften des Feuchtesensors und wirkt sich als Kapazitätsänderung aus – diese ist proportional der Änderung der relativen Feuchte und wird elektronisch in ein standardisiertes Ausgangssignal umgeformt. Dieses Messsignal wird aufgezeichnet und anschließend als Messwert ermittelt, sofern über einen zuvor definierten Zeitraum keine Veränderungen auftreten (Tscheuschner, 2017). Der Verderb von Lebensmitteln hängt entscheidend von deren Wasseraktivität ab (Figura, 2004). Der a_w -Wert ist mit dem Wassergehalt eines Lebensmittels durch die Sorptionsisotherme verknüpft (Heiss, 2004). Diese gibt an, wie stark Wasser in einem Produkt gebunden ist (Figura, 2004). Diese bedeutet ein absolut trockenes Gut bei $a_w = 0$. Demgegenüber hat Wasser einen a_w -Wert = 1 (Heiss, 2004). Adsorptions- und Desorptionsprozesse sind nicht nur für den aktuellen a_w -Wert eines Lebensmittels von Bedeutung, sondern auch für Extraktion und Trocknung sowie die Erzeugung eines Vakuums. Die Haltbarkeit von Lebensmitteln ist stark begrenzt durch Verderbsreaktionen, wie Fettoxidation, Hydrolyse, enzymatische und nicht-enzymatische Bräunungsreaktionen sowie Stoffwechselreaktionen von Hefen, Pilzen und Bakterien (Figura, 2004). Erzeugnisse mit einem a_w -Wert von 0,1 bis 0,6 werden als trocken bezeichnet, solche mit einem Wert von 0,6 bis 0,85 als halbfeucht. Ab einem Wert von 0,85 bis 1,0 gelten Lebensmittel als wasserreich (Matissek, 2016). Der a_w -Wert ist vor allem für jegliche Veränderungen maßgeblich, bei denen ein Stoffaustausch durch Zellmembranen stattfindet – beispielsweise das Wachstum von (unerwünschten) Mikroorganismen. Enzymatische Veränderungen können erst knapp über einem a_w -Wert = 0 ausgeschlossen werden. Je nachdem, wie anfällig ein Lebensmittel für enzymatische oder oxidative Prozesse ist, muss es auf einen Wassergehalt von 13 bis 2 % getrocknet und möglichst sauerstofffrei verpackt werden. Sofern die Knusprigkeit bei Lebensmitteln eine Rolle spielt, sollte ein a_w -Wert von 0,4 bis 0,5 nicht überschritten werden (Heiss, 2004).

3.3.3 Gravimetrische Bestimmung der Trockensubstanz

Die Summe aller nicht flüchtigen Bestandteile eines Lebensmittels wird als Trockenmasse bezeichnet. Darunter fallen allen voran Kohlehydrate, Lipide, Proteine sowie Mineralstoffe (Matissek et al., 2018). Standardmethode nach §64 LFGB zur Ermittlung der Trockensubstanz ist die direkte Trocknung im Trockenschrank, auch bezeichnet als Trockenschrankmethode (Tscheuschner, 2017). 1 bis 10 g homogenisierte Probe wird genau in ein Wägegläschen eingewogen und bei Temperaturen von $103\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ ca. 3 Stunden durch Konvektion mit heißer Luft bis zur Massekonstanz getrocknet. Durch Differenzwägung kann anschließend der Trocknungsrückstand ermittelt werden (Matissek et al., 2018). Der prozentuale Trockensubstanzgehalt nach Matissek et al. (2018) lässt sich wie folgt errechnen:

$$T [100\%] = (m_3 - m_1 / m_2 - m_1) \cdot 100$$

m_1 = Leermasse Wägegläschen [g]

m_2 = Masse Wägegläschen und Probe vor der Trocknung [g]

m_3 = Masse Wägegläschen und Probe nach der Trocknung [g]

$(m_2 - m_1)$ = Probeneinwaage

Der prozentuale „Wassergehalt“ der Probe kann folgendermaßen ermittelt werden:

$$W [\%] = 100 [\%] - T [\%]$$

3.3.4 Farbmessung

Die Farbmessung erfolgt mittels Zweistrahl-Spektralphotometer im Lab-System in einem Bereich zwischen 400 bis 700 nm. Die Probe wird zirkular unter 45 ° beleuchtet, um eine möglichst homogene Ausleuchtung zu erreichen. Der Empfänger sammelt das reflektierte Licht unter 0 ° (FMS Hansen GmbH & Co. KG, Hunter Lab). Es gibt verschiedene Darstellungen von Farbsystemen. Nach Munsell werden Farben als Vektoren in einem Farbraum aufgefasst, welcher als Zylinder-Koordinatensystem dargestellt wird. Im Munsell-System wird die Helligkeit mittels der vertikalen Achse angezeigt. Die Farbsättigung wird durch den horizontalen Abstand des Farbpunktes von der vertikalen Achse, der Farbton durch den

ebenen Winkel α gekennzeichnet (Figura, 2004). Abbildung 6 zeigt das Munsell-System.

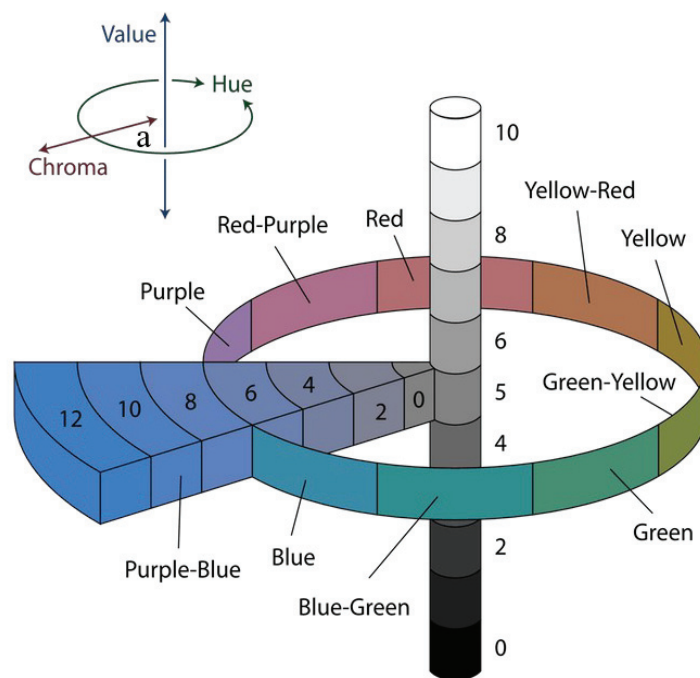


Abbildung 6: Munsell-Farbsystem | Quelle: <https://de.kisspng.com/png-dti74r/>

Vom Judd-Hunter-System spricht man, wenn anstelle des ebenen Winkels α zur Kennzeichnung des Farbtons die Größen a und b verwendet werden, sowie die Helligkeit mit L benannt wird. Es gilt

$$\tan \alpha = \frac{b}{a}$$

Die Größen a^* und b^* bilden die Katheten des vom Winkel α aufgespannten rechtwinkligen Dreiecks. Abbildung 7 verdeutlicht dies. Der Helligkeitswert L^* kennzeichnet die Lage der a - b -Ebene im Farbraum. Für die jeweils betrachtete Farbe gilt: Positive Werte von a^* stehen für den Anteil an Rot, negative Werte für den Anteil an Grün. Positive Werte von b^* geben die Anteil an Gelb an, negative Werte den Anteil an Blau (Figura, 2004). Über die Lagerdauer kann sich die Farbe von Lebensmitteln verändern. Grund hierfür ist unter anderem die Maillard-Reaktion. Die Maillard-Reaktion ist eine nicht-enzymatische Bräunungsreaktion und beschreibt die Umwandlungsreaktion von Aminosäuren mit reduzierenden Zuckern unter Einfluss thermischer Energie, wodurch Zuckerabbauprodukte miteinander oder mit anderen Verbindungen unter Entstehung farbiger Melanoidine reagieren (Maissek et al., 2016).

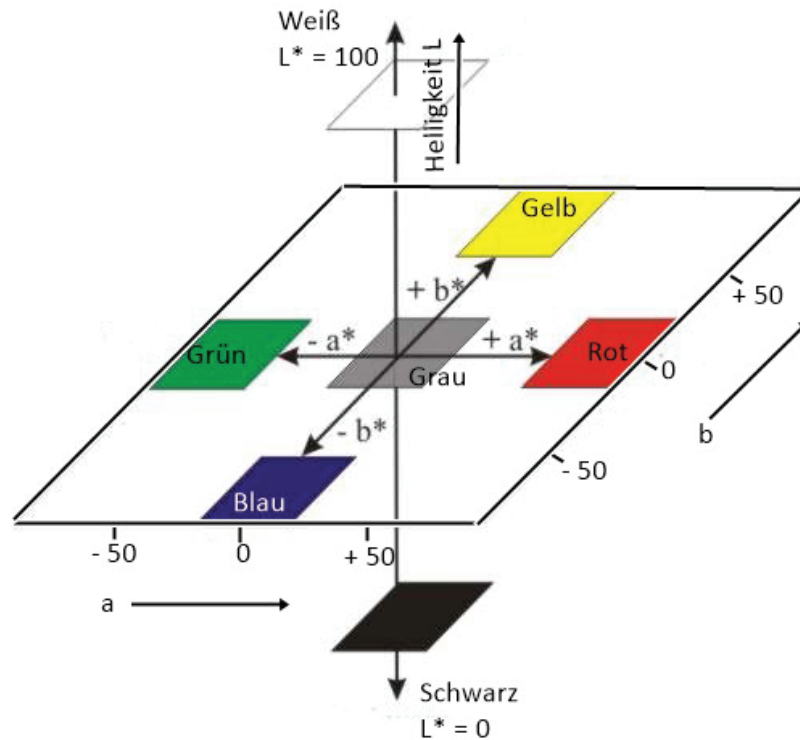


Abbildung 7: L*a*b*-System // Judd-Hunter-System | Quelle: <https://www.webmasterpro.de/design/article/farblehre-der-lab-farbraum.html> (modifiziert nach Figura, 2004)

3.4 Statistische Methoden

Aus den Daten der Mehrfachbestimmungen werden jeweils der arithmetische Mittelwert $\bar{x}$ und die Standardabweichung σ bestimmt. Das arithmetische Mittel beschreibt den statistischen Durchschnittswert. Die Berechnung erfolgt über Aufsummieren aller Werte und anschließende Division durch die Anzahl aller Summanden. Die Standardabweichung dient der Darstellung der Streubreite der Werte eines Merkmals um dessen arithmetisches Mittel. Sie ist ein Maß für die „Zuverlässigkeit“ des Mittelwertes $\bar{x}$. Ihre Berechnung erfolgt über die Quadratwurzel der Varianz σ^2 , welche die Verteilung von Werten um den Mittelwert kennzeichnet (Kuchling, 2014). Die Varianz wird nach folgender Formel berechnet:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{x_i}^n (x_i - \bar{x})^2$$

4 Ergebnisse

4.1 Lagerbedingungen 40 °C und 80 % relative Luftfeuchtigkeit

4.1.1 Texturanalyse mittels Texture Analyser

Um den Ist-Zustand und damit die optimalen physikalischen Eigenschaften der Produkte zu analysieren, werden im Vorfeld zu den Lagerversuchen frisch produzierte Tostadas untersucht. Die gemessenen Werte dienen der Referenz. Bei der Maximalkraftmessung konnten bei den frischen Tostadas Werte von durchschnittlich 13,28 N gemessen werden. Zudem konnte ein Anstieg der Kraft-Zeit-Kurve von durchschnittlich 30,29 N/sec gemessen werden. Eine Abbildung der Kraft-Zeit-Kurve findet sich in Anhang 2. Die stark ausgeprägten Peaks und der eher steile Anstieg der Kurven sind Eigenschaften knuspriger Produkte.

Die Messung der maximalen Kraft zum Durchdringen der Proben hat ergeben, dass die Werte nach sieben Tagen Lagerung bei den Tostadas ohne Verpackung am höchsten sind. Zudem konnten beim Anstieg der Kraft-Zeit-Kurve Werte von durchschnittlich 10,83 N/sec ermittelt werden. Die Proben in der Sichtfensterschachtel konnten mit einer Kraft von durchschnittlich 9,94 N durchstoßen werden. Dabei konnte haptisch, wie auch akustisch eine reduzierte Brüchigkeit festgestellt werden. Die Werte der Kraft-Zeit-Kurve können diesen Eindruck messtechnisch widerspiegeln. Dabei konnten durchschnittliche Werte von 2,16 N/sec ermittelt werden. Anhand der Grafik in Anhang 3 konnte festgestellt werden, dass die Anzahl und Ausprägung der Peaks deutlich abgenommen hat.

Bei den Proben in der Take Away Lunch Box konnte eine durchschnittliche maximale Kraft von 8,07 N sowie ein Anstieg der Kraft-Zeit-Kurve von durchschnittlich 2,08 N/sec gemessen werden.

Nach insgesamt 14 Tagen Lagerung konnten Veränderungen der Textur messtechnisch bestimmt werden. Bei allen eingelagerten Proben konnte ein Anstieg der maximalen Kraft zum Durchdringen der Proben festgestellt werden.

Eine Erhöhung von durchschnittlich 9,94 N auf durchschnittlich 10,95 N konnte bei den Proben in der Sichtfensterschachtel gemessen werden. Der Anstieg der Kraft-Zeit-Kurve konnte bei einem Wert von durchschnittlich festgemacht werden, wobei der Anstieg der Kraft-Zeit-Kurve bei durchschnittlich 3,29 N/sec gelegen hat.

Bei der Take Away Lunch Box konnte ein Anstieg der maximalen Kraft von 8,07 N auf

durchschnittlich 11,42 N gemessen werden. Beim Anstieg der Kraft-Zeit-Kurve lag der Wert bei durchschnittlich 4,27 N/sec.

Bei den Proben ohne Verpackung konnte ebenfalls eine Erhöhung der Werte festgestellt werden. Die maximale Kraft zum Durchdringen der Probe lag bei durchschnittlich 18,13 N, der Anstieg der Kraft-Zeit-Kurve konnte mit durchschnittlich 10,73 N/sec bemessen werden. Eine grafische Darstellung der Kraft-Zeit-Kurve kann unter Anhang 4 eingesehen werden. Eine Abnahme der Brüchigkeit der untersuchten Proben kann aus dem niedrigen Anstieg der Kurve, sowie dem Fehlen signifikanter Peaks abgelesen werden

Da nach 21 Tagen Lagerung bei den Proben ohne Verpackung sowie den Proben in der Take Away Lunch Box stark sichtbarer Schimmelbefall nachgewiesen werden konnte, wurde auf weitere Messungen verzichtet und die Proben verworfen. Bei den Proben in der Sichtfensterschachtel war kein Schimmelbefall erkennbar, daher wurden die Untersuchungen an dieser Stelle weitergeführt.

Die maximale Kraft zum Durchdringen der Probe konnte nach 21 Tagen Lagerung bei einem Wert von durchschnittlich 10,85 N gemessen werden. Eine deutliche Veränderung der Werte konnte beim Anstieg der Kraft-Zeit-Kurve nachgewiesen werden. Hier ist der Wert von 3,29 N/sec auf durchschnittlich 6,79 N/sec angestiegen. Eine Grafik der Kraft-Zeit-Kurven kann unter Anhang 5 eingesehen werden.

Der Verlauf der Texturmessungen über 21 Tage kann mit Hilfe der Abbildungen 8 und 9 nachvollzogen werden. Die berechneten Mittelwerte und Standardabweichungen wurden in einem Liniendiagramm dargestellt.

Dabei werden folgende Abkürzungen genutzt:

TA = Take Away Lunch Box, **SF** = Sichtfenschachtel und **OV** = ohne Verpackung. Diese Bezeichnungen werden für kommende Grafiken beibehalten.

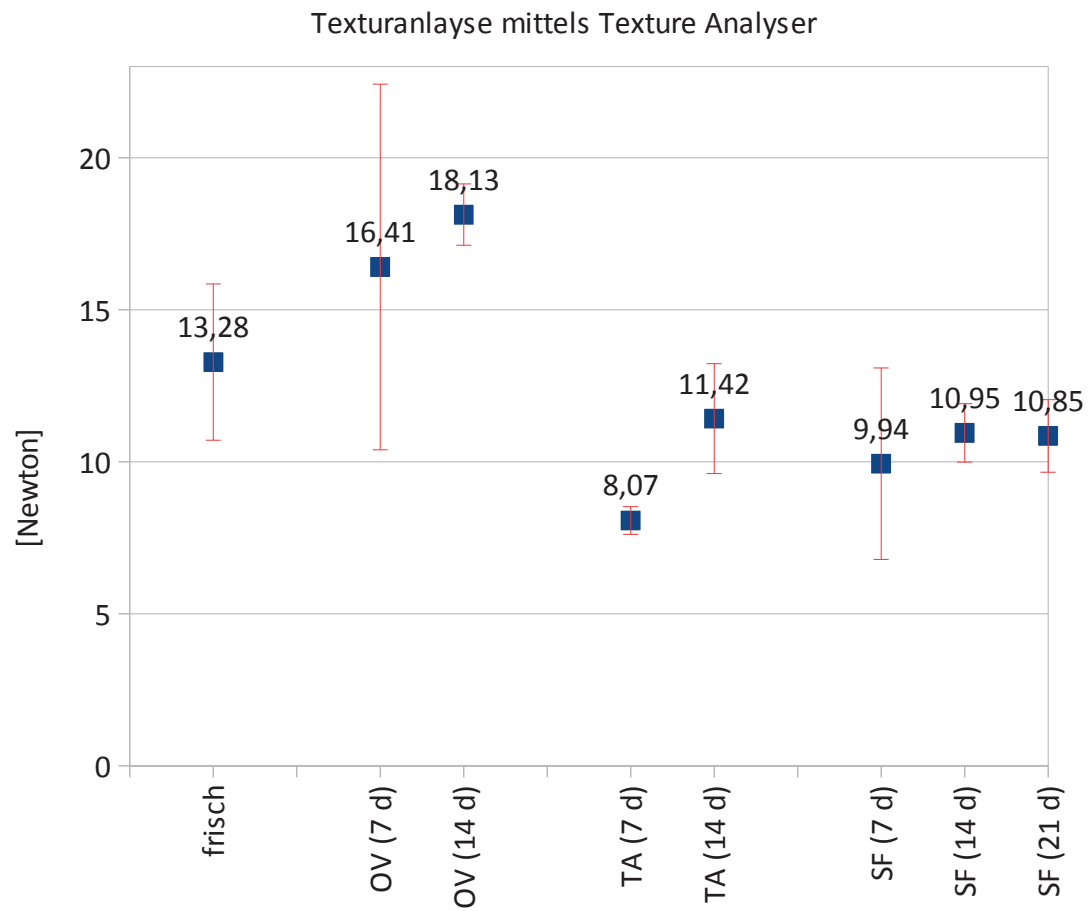


Abbildung 8: Maximale Kraft zum Durchdringen der Probe | frische Tostadas, sowie Proben nach sieben, 14 und 21 Tagen Lagerung bei 40 °C und 80 % relativer Luftfeuchtigkeit

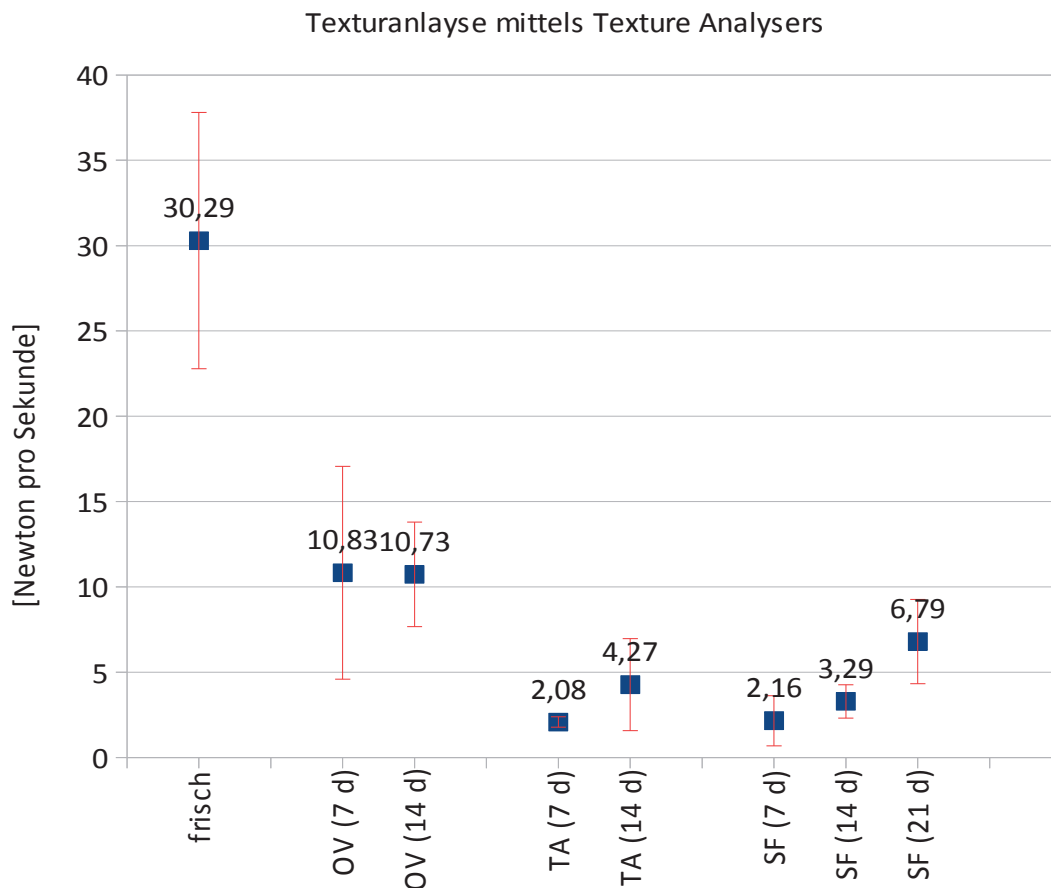


Abbildung 9: Anstieg der Kraft-Zeit-Kurve zur Ermittlung der Knusprigkeit | frische Tostadas, sowie Proben nach sieben, 14 und 21 Tagen Lagerung bei 40 °C und 80 % relativer Luftfeuchtigkeit

4.1.2 Messung des a_w -Wertes

Äquivalent zu den Messdaten des Texture Analysers sind auch die a_w -Werte der untersuchten Proben ausgefallen. Die durchschnittlichen Abweichungen vom Mittelwert lagen bei allen untersuchten Proben bei Werten zwischen 0,004 und 0,03. Bei den frischen Proben konnte ein a_w -Wert von durchschnittlich 0,30 gemessen werden, was auch den Literaturangaben entspricht (vgl. Heiss, 2004).

Bei den Proben in der Sichtfenschachtel konnten nach sieben Tagen Lagerung ein durchschnittlicher a_w -Wert von 0,78 gemessen werden. Die Proben in der Take Away Lunch Box haben einen durchschnittlichen Wert von 0,83 aufgewiesen. Bei den Proben ohne Verpackung haben die Werte mit 0,65 niedriger gelegen.

Nach 14 Tagen konnte bei den Proben ohne Verpackung ein Anstieg der Messwerte auf durchschnittlich 0,68 festgestellt werden. Ebenfalls konnte bei den Proben in der Sichtfensterschachtel ein leichter Anstieg auf 0,79 verzeichnet werden. Zudem konnte nach 14 Tagen optisch die Bildung von Kondenswasser festgestellt werden, welches sich an der Innenseite der Folie gebildet hat. Abbildung 10 zeigt das an der Folieninnenseite gesammelte Kondenswasser, welches sich in Form kleiner Tropfen zeigt. Anders verhält es sich bei den Tostadas in der Take Away Lunch Box. Hier sind die Werte von 0,83 auf 0,78 gesunken. Auch hier ist Kondenswasser sichtbar, jedoch deutlich reduzierter, als bei der Sichtfensterschachtel, wie auf Abbildung 11 zu sehen ist.



Abbildung 10: Ansammlung von Kondenswasser auf der Innenseite der PLA-Folie nach 14 Tagen Lagerung



Abbildung 11: Bildung von Kondenswasser an der Innenseite der Take Away Lunch Box nach 14 Tagen Lagerung

Nach 21 Tagen konnte bei den Proben in der Sichtfensterschachtel ein leichter Abfall der Werte auf durchschnittlich 0,76 verzeichnet werden. Bei den Proben ohne Verpackung sowie in der Take Away Lunch Box konnten, aufgrund des starken Schimmelbefalls, die Proben nicht weiter untersucht werden.

Abbildung 12 zeigt ein Diagramm zur Veranschaulichung der gemessenen a_w -Werte nach sieben, 14 und 21 Tagen Lagerung bei 40 °C und 80 % rel. Luftfeuchtigkeit.

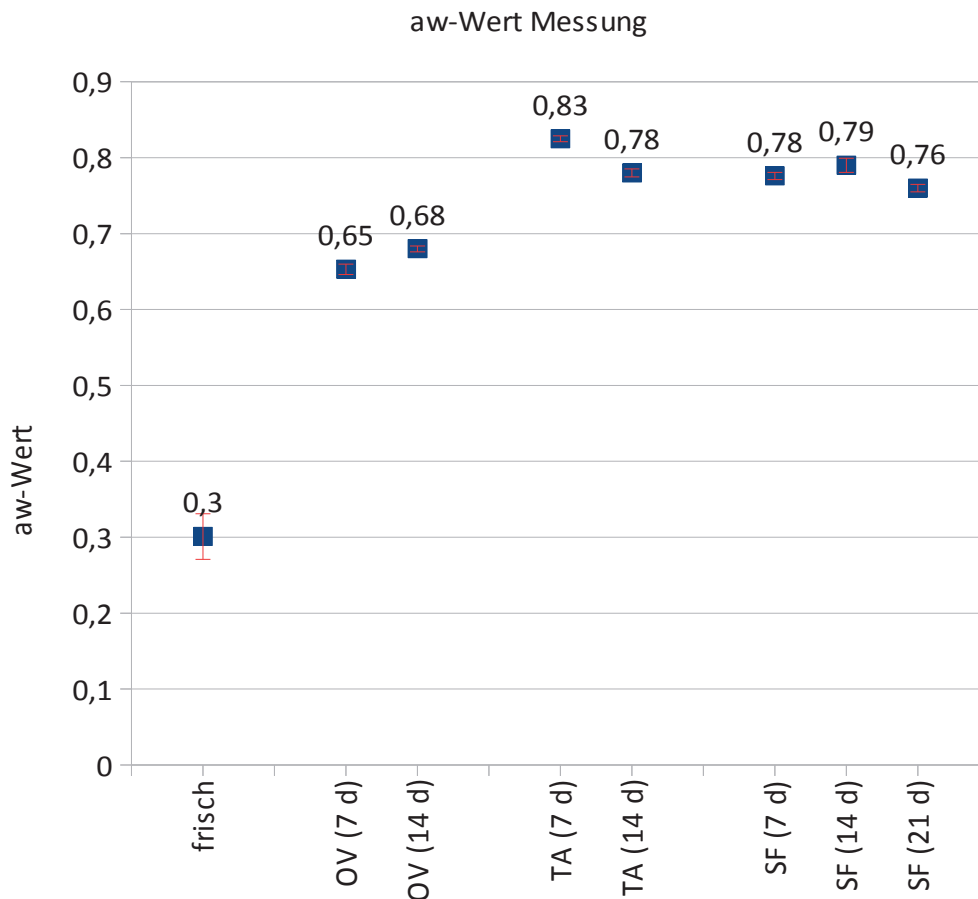


Abbildung 12: aw-Werte nach sieben, 14 und 21 Tagen Lagerung bei 40 °C und 80 % rel. Luftfeuchtigkeit

4.1.3 Bestimmung des Wassergehalts mittels Schnellfeuchtemesser

Ähnlich wie bei den a_w -Werten haben sich auch beim Gesamtwassergehalt starke Unterschiede zwischen dem frischen Produkt und den eingelagerten Proben aufgezeigt, wobei die Standardabweichungen jeweils unter 0,6 % gelegen haben.

Die frischen Proben haben mit 2,93 % den geringsten Gehalt an Wasser aufgewiesen, was durch den hochtemperierten Backprozess bedingt und für ein Snackprodukt dieser Art außerdem gewünscht ist. Ähnliche Produkte weisen den Literaturangaben nach ebenfalls niedrige Gehalte an Feuchtigkeit auf. Nach Elmadfa et al. (2017) weist Knäckebrot einen Wassergehalt von 6,2 %, Kracker einen Wassergehalt von 4 % auf. Bedeutend höher ist der Wassergehalt bei den eingelagerten Produkten ausgefallen. Bei den unverpackten Proben konnten Werte von durchschnittlich 10,52 % nachgewiesen werden. Bei den Proben in der

Sichtfensterschachtel konnte ein durchschnittlicher Wassergehalt von 13,26 % gemessen werden. Der höchste Gehalt an Wasser konnte bei den Proben in der Take Away Lunch Box mit einem Wert von durchschnittlich 14,44 % nachgewiesen werden.

Nach 14 Tagen Lagerung haben die Proben in der Sichtfensterschachtel Werte von 13,93 % aufgewiesen, bei den Proben ohne Verpackung konnten Werte von durchschnittlich 10,59 % gemessen werden. Im Gegensatz dazu ist der Feuchtigkeitsgehalt der Proben in der Take Away Lunch Box auf 13,99 % gesunken.

Bei den Proben in der Sichtfensterschachtel haben die Werte nach 21 Tagen Lagerung bei durchschnittlich 13,1 % gelegen. Die Proben in der Take Away Lunch Box und die Proben ohne Verpackung konnten aufgrund starken Schimmelbefalls nicht zu weiteren Analysezwecken eingesetzt werden. Abbildung 13 verdeutlicht die Messwerte über 21 Tage Lagerung in einer grafischen Darstellung.

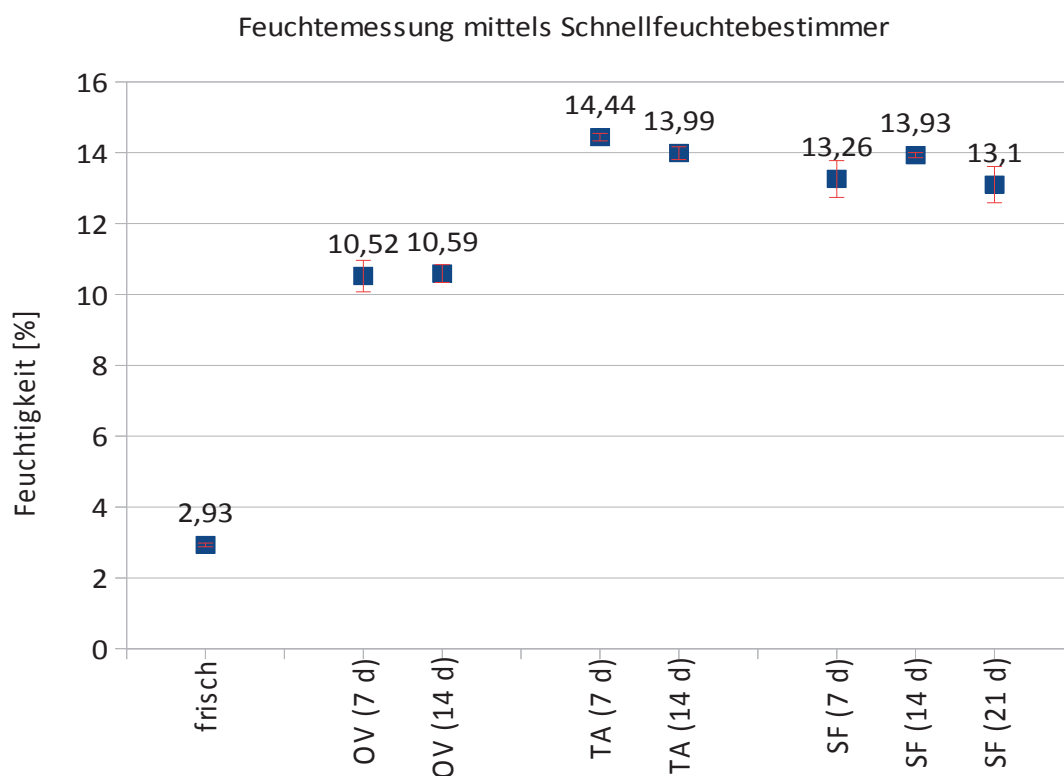


Abbildung 13: Feuchtemessung von frischen Tostadas, sowie nach sieben, 14 und 21 Tagen Lagerung bei 40 °C / 80 % rel. Luftfeuchtigkeit

4.1.4 Farbmessung

Um jegliche Farbveränderungen der Produkte feststellen zu können, die während der Lagerung auftreten, wurden Farbmessungen mittels Spektralphotometer durchgeführt. Als Referenz können dabei die Daten der frischen Tostadas dienen. Die frische Probe hat mit durchschnittlich 61,92 einen höheren L^* Wert aufgewiesen, als die eingelagerten Produkte. Hier lagen die Werte nach sieben Tagen bei durchschnittlich 59,61 (Sichtfensterschachtel), 56,93 (ohne Verpackung) sowie 58,13 (Take Away Lunch Box).

Der a^* Wert hat bei allen Proben über die gesamte Lagerdauer nur leichte Schwankungen gezeigt. Bei den frischen Proben lag der Wert bei 8,76. Nach einer Lagerdauer von sieben Tagen hat der a^* Wert für die Proben in der Sichtfensterschachtel bei durchschnittlich 8,16 gelegen. Bei den Proben in der Take Away Lunch Box lag der a^* Wert nach gleicher Lagerdauer bei durchschnittlich 9,15. Die Proben ohne Verpackung haben durchschnittlich einen a^* Wert von 8,94 aufgewiesen.

Die b^* Werte haben sich während der gesamten Lagerperiode kaum verändert. Bei der frischen Probe konnte ein b^* Wert bei 36,61 gemessen werden. Nach sieben Tagen lagen die b^* Werte bei durchschnittlich 32,93 (Sichtfensterschachtel), 33,63 (ohne Verpackung) und 31,78 (Take Away Lunch Box).

Nach einer Lagerdauer von insgesamt 14 Tagen sind die L^* Werte bei allen Proben gesunken. Bei den Proben in der Sichtfensterschachtel konnte eine Senkung auf 55,24 verzeichnet werden. Bei der Take Away Lunch Box konnte ein L^* Wert von 53,57 nach 14 Tagen Lagerung gemessen werden. Ebenfalls gesunken ist der L^* Wert bei den Proben, die ohne Verpackung eingelagert wurden. Hier lag der Wert bei 53,49.

Nach 14 Tagen konnte bei den Proben in der Sichtfensterschachtel ein Anstieg des a^* Wertes auf 8,87 verzeichnet werden. Ebenfalls konnte eine Erhöhung des a^* Wertes auf 9,34 bei den Proben ohne Verpackung gemessen werden. Lediglich bei den Proben in der Take Away Lunch Box ist der a^* Wert auf 9,33 abgesunken.

Nach einer Lagerdauer von 14 Tagen ist der b^* Wert bei den Proben in der Sichtfensterschachtel auf durchschnittlich 30,42 gesunken. Eine Verringerung des b^* Wertes auf 31,42 konnte bei den Proben ohne Verpackung gemessen werden. Bei den Proben in der Take Away Lunch Box konnte eine Senkung des b^* Wertes von 31,78 auf durchschnittlich 30,72 nachvollzogen werden.

Nach 21 Tagen wurden die Proben ohne Verpackung sowie in der Take Away Lunch Box aufgrund starken Schimmelbefalls verworfen. Die Messungen wurden lediglich an den Proben fortgesetzt, die in der Sichtfensterschachtel eingelagert wurden. Die L*Werte sind dabei durchschnittlich auf einen Wert von 52,02 abgesunken. Bei den a* Werten kam es zu einer Steigerung auf durchschnittlich 10,23. Eine leichte Steigerung auf durchschnittlich 31,79 konnte auch beim b* Wert verzeichnet werden.

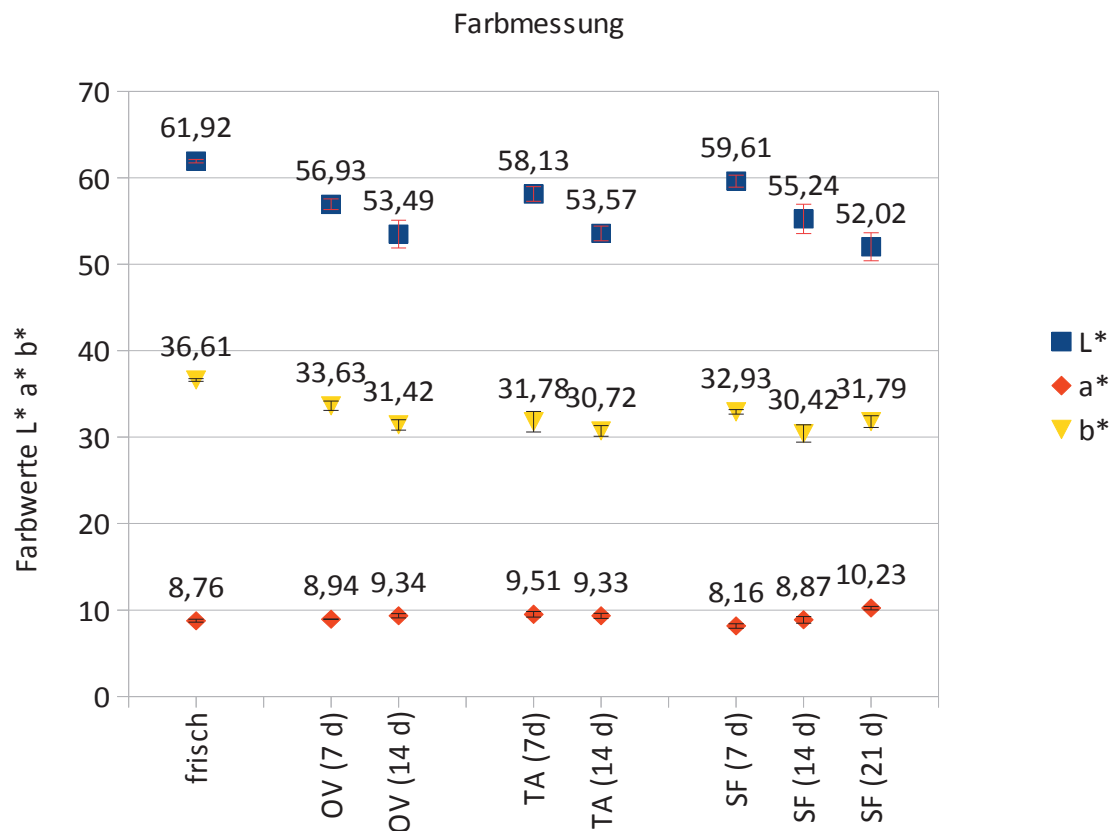


Abbildung 14: Farbmessung frischer Tostadas sowie eingelagerter Proben nach 7 und 14 Tagen bei 40 °C und 80 % relativer Luftfeuchtigkeit

4.2 Lagerbedingungen 40 °C und 50 % relative Luftfeuchtigkeit

4.2.1 Texturanalyse mittels Texture Analysers

Um Vergleichswerte bei optimaler rel. Luftfeuchtigkeit von 50 % (Kaßmann et al., 2014) bei einer Temperatur von 40 °C erhalten zu können, wurden weitere Versuche unternommen. Die Texturanalyse erfolgte unter den Punkten der maximalen Kraft zum Durchdringen der Probe, sowie der Steigung der Kraft-Zeit-Kurve.

Bei den Proben in der Sichtfensterschachtel wurde nach sieben Tagen ein durchschnittlicher Wert von 10,60 N gemessen. Die Steigung der Kraft-Zeit-Kurve lag bei durchschnittlich 19,07 N/sec.

Die maximale Kraft zum Durchdringen der Proben in der Take Away Lunch Box lag bei einem durchschnittlichen Wert von 10,27 N. Der Anstieg der Kraft-Zeit-Kurve konnte mit einem durchschnittlichen Wert von 17,95 N/sec bemessen werden.

Bei den Proben ohne Verpackung lag die durchschnittliche maximale Kraft bei einem Wert von 11,25 N. Die Steigung der Kraft-Zeit-Kurve lag bei 19,99 N/sec. Unter Anhang 6 findet sich eine grafische Darstellung der Kraft-Zeit-Kurve. Der steile Anstieg der Kurven sowie die vorkommenden Peaks können Merkmale brüchiger Produkte sein.

Nach 14 Tagen konnte ein Rückgang der maximalen Kraft zum Durchdringen der Proben in der Sichtfensterschachtel auf durchschnittlich 9,22 N verzeichnet werden. Die Steigung der Kraft-Zeit-Kurve konnte auf einen durchschnittlichen Wert von 19,76 N/sec steigen.

Eine leichte Steigung der maximalen Kraft auf einen Wert von 11,02 N konnte nach 14 Tagen bei den Proben in der Take Away Lunch Box verzeichnet werden. Ebenfalls erhöht hat sich die Steigung der Kurve, auf einen Wert von 12,08 N/sec.

Bei den unverpackten Proben kam es zu einer Absenkung der Werte auf durchschnittlich 10,06 N. Die Steigung der Kraft-Zeit-Kurve lag bei durchschnittlich 19,78 N/sec. Die hohe Anzahl an Peaks kann anhand einer grafischen Darstellung unter Anhang 7 eingesehen werden.

Nach einer Lagerzeit von 21 Tagen lag die maximale Kraft bei den Proben in der Sichtfensterschachtel bei einem durchschnittlichen Wert von 9,60 N. Die Steigung der Kraft-Zeit-Kurve konnte bei durchschnittlich 17,23 N/sec gemessen werden.

Bei den Proben in der Take Away Lunch Box ist die maximale Kraft auf durchschnittlich 9,97 N

gesunken. Die Steigung der Kraft-Zeit-Kurve ist auf durchschnittlich 12,81 N/sec gesunken.

Bei den Proben ohne Verpackung ist die maximale Kraft auf durchschnittlich 11,57 N gestiegen. Bei der Kraft-Zeit-Kurve ist es zu einer Senkung der Werte auf durchschnittlich 18,89 N/sec gekommen. Eine grafische Darstellung der Kraft-Zeit-Kurven findet sich unter Anhang 8.

Über den gesamten Zeitraum von 21 Tagen kam es zu Texturveränderungen, wobei diese geringer ausgefallen sind, als bei den Proben, die bei einer rel. Luftfeuchtigkeit von 80 % eingelagert wurden. Besonders groß sind die Unterschiede bei der Anzahl und Ausprägung der Peaks in den Kraft-Zeit-Kurven, erkennbar in den grafischen Darstellungen dieser. Durchschnittlich kam es zu geringeren Abweichungen vom Referenzwert. In Abbildung 15 und 16 lässt sich der Verlauf der Messungen über 21 Tage nachvollziehen.

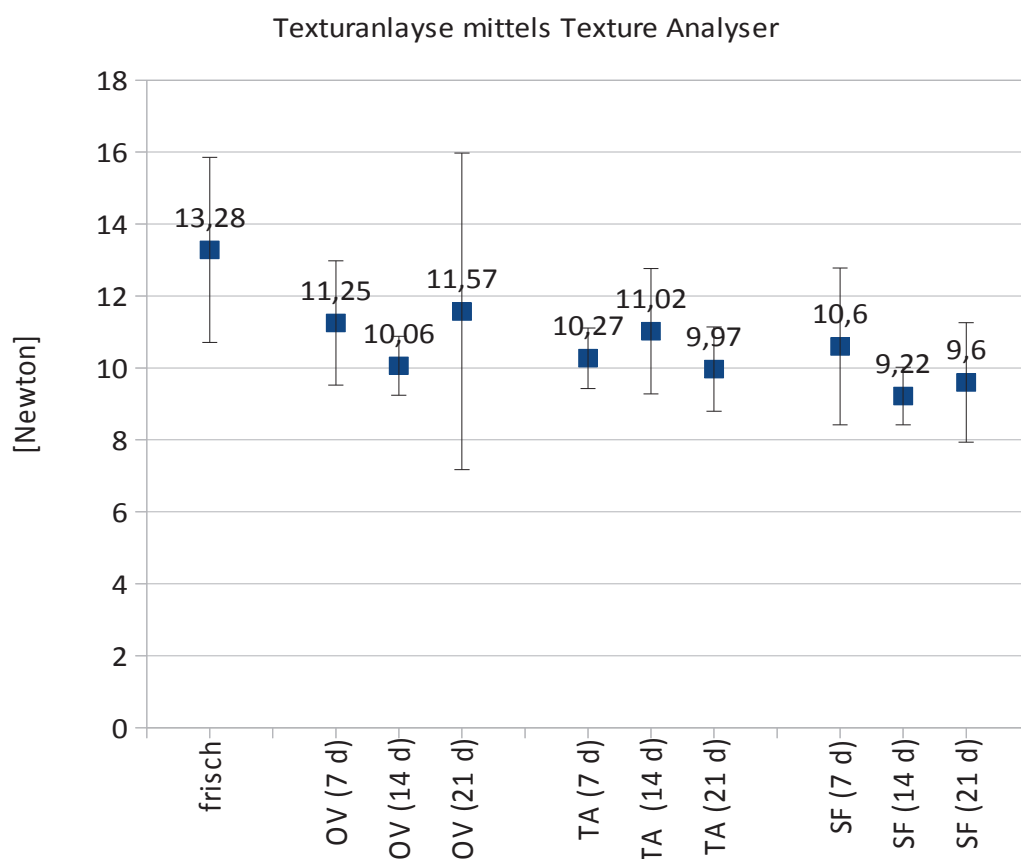


Abbildung 15: Maximale Kraft zum Durchdringen der Probe | frische Tostadas, sowie Proben nach 7, 14 und 21 Tagen Lagerung bei 40 °C und 50 % relativer Luftfeuchtigkeit

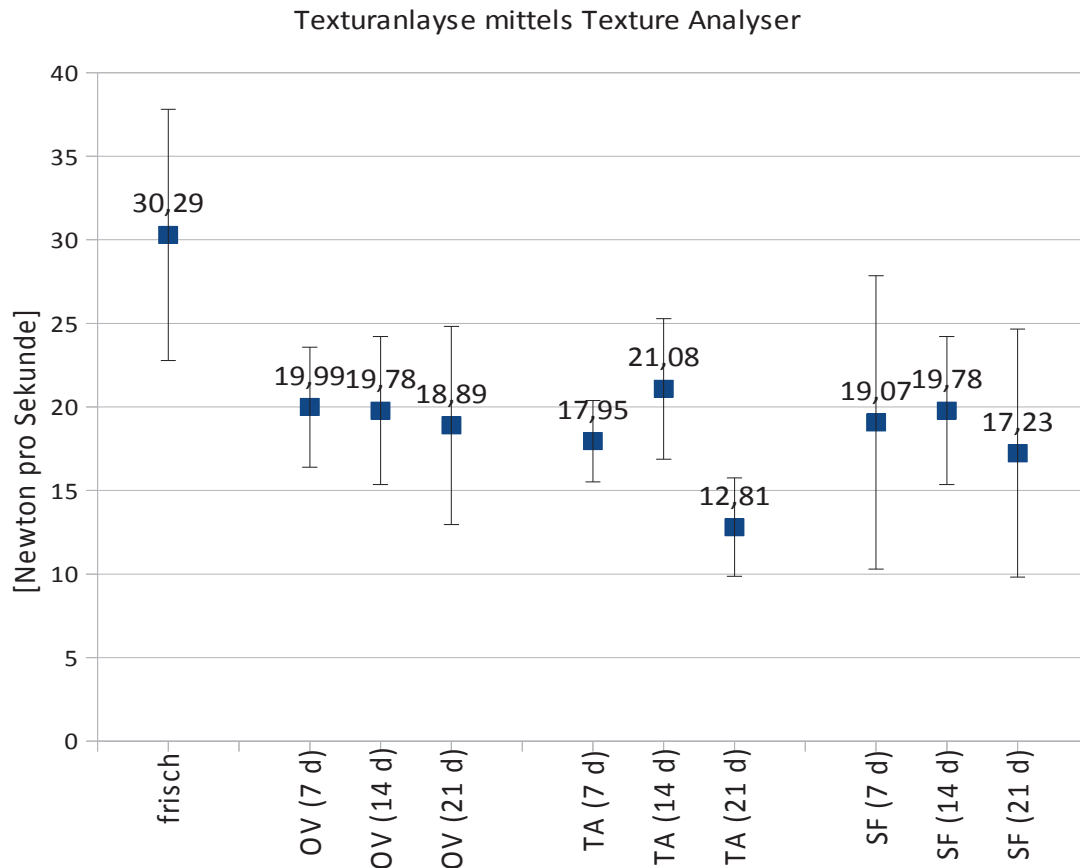


Abbildung 16: Anstieg der Kraft-Zeit Kurve zur Ermittlung der Knusprigkeit | frische Tostadas, sowie Proben nach 7, 14 und 21 Tagen Lagerung bei 40 °C und 50 % relativer Luftfeuchtigkeit

4.2.2 Messung des a_w -Wertes

Über die gesamte Lagerdauer von 21 Tagen gab es nur geringe Schwankungen der a_w -Werte. Nach sieben Tagen können Werte von durchschnittlich 0,38 bei den Proben in der Sichtfensterschachtel und in der Take Away Lunch Box gemessen werden. Bei den Proben ohne Verpackung lag der durchschnittliche Wert bei 0,36.

Nach 14 Tagen kam es zu keiner Veränderung des Durchschnittswertes bei den Proben in der Sichtfensterschachtel. Der Wert lag erneut bei durchschnittlich 0,38.

Bei den Proben in der Take Away Lunch Box ist der Wert auf durchschnittlich 0,37 gesunken.

Zu einem Anstieg auf durchschnittlich 0,38 kam es bei den Proben ohne Verpackung.

Nach 21 Tagen Lagerung lagen die Werte für die Proben in der Sichtfensterschachtel, sowie die Proben in der Take Away Lunch Box bei je durchschnittlich 0,4. Bei den Proben ohne Verpackung konnte ein durchschnittlicher Wert von 0,36 gemessen werden.

Abbildung 17 zeigt eine grafische Darstellung der Messwerte über eine Lagerdauer von 21 Tagen.

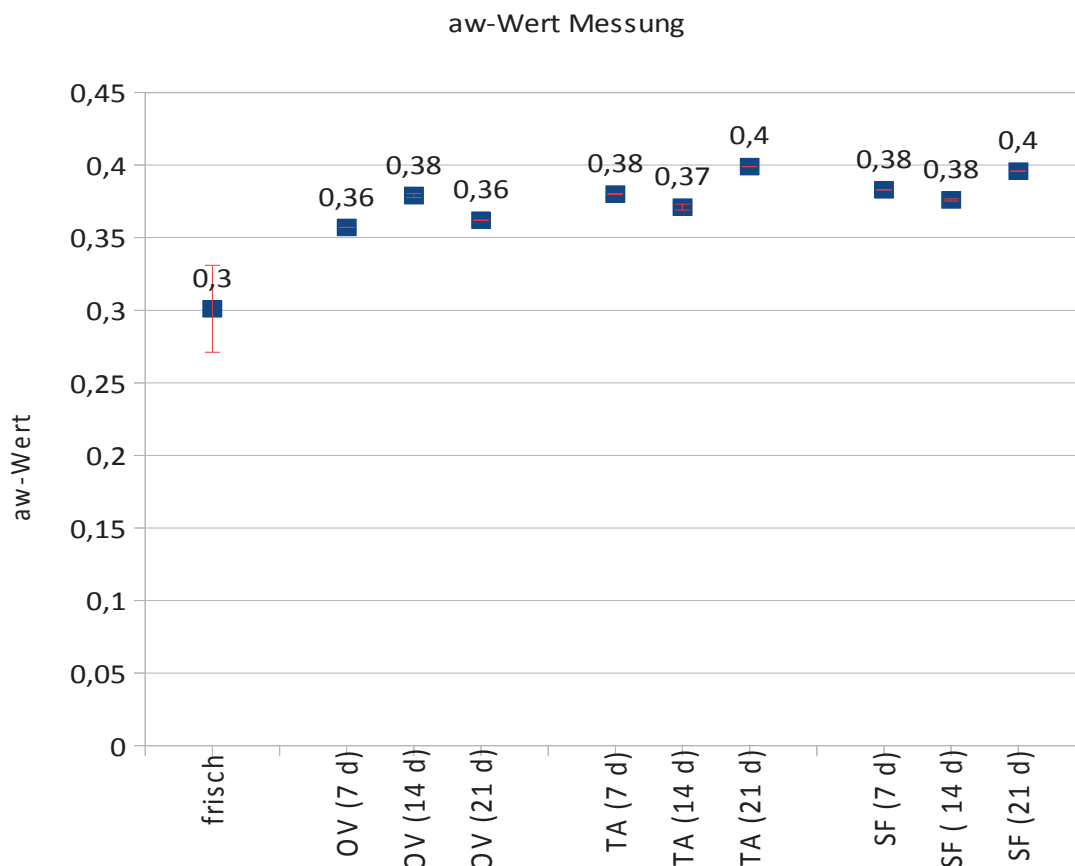


Abbildung 17: aw-Wert Messung von Tostadas nach 7, 14 und 21 Tagen Lagerung bei 40 °C / 50 % rel. Luftfeuchtigkeit

4.2.3 Bestimmung des Wassergehalts mittels Schnellfeuchtemesser

Unterschiede im Wassergehalt zu den frischen Referenzproben wurden bereits nach sieben Tagen Lagerung ersichtlich. Eine grafische Darstellung der Messwerte findet sich unter Abbildung 18.

Bei den Proben in der Sichtfensterschachtel konnte ein durchschnittlicher Wert von 6,08 % gemessen werden. Ein Wert von 6,69 % konnte bei den Proben in der Take Away Lunch Box

gemessen werden.

Bei den Proben ohne Verpackung konnte ein Wert von 5,52 % Gesamtfeuchte ermittelt werden.

Nach einer Lagerdauer von 14 Tagen können geringe Abweichungen zu den ersten Messdaten festgestellt werden. Mit einem Wert von 6,57 % kam es bei den Proben in der Sichtfensterschachtel zu einer leichten Steigerung der Gesamtfeuchte.

Auch bei den Proben ohne Verpackung kam es zu einem Anstieg der Gesamtfeuchte auf einen Wert von durchschnittlich 6,85 %.

Ein Abfall der Werte auf durchschnittlich 5,55 % konnte bei den Proben in der Take Away Lunch Box gemessen werden.

Nach einer Lagerzeit von 21 Tagen konnte ein leichter Rückgang der Gesamtfeuchte bei den Proben in der Sichtfensterschachtel (6,21 %) und den Proben ohne Verpackung (5,47 %) gemessen werden. Bei den Proben in der Take Away Lunch Box kam es im Durchschnitt zu einem Anstieg der Gesamtfeuchte auf einen Wert von 5,80 %.

Eine grafische Darstellung der Messwerte findet sich unter Abbildung 18.

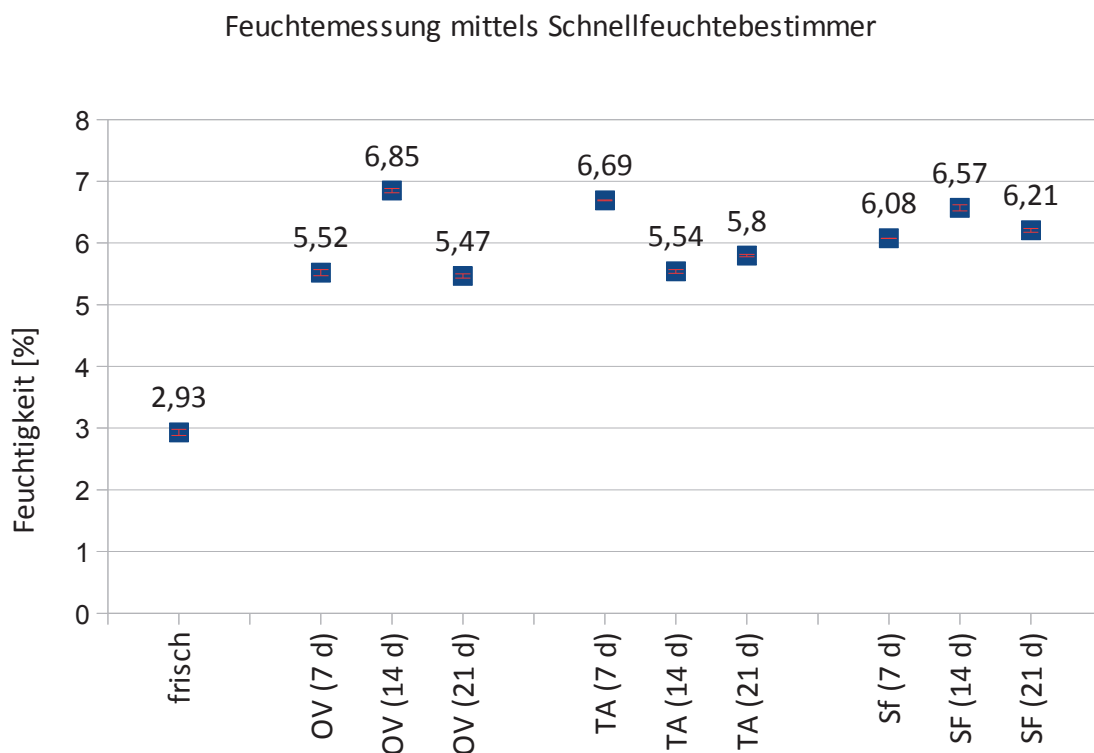


Abbildung 18: Feuchtemessung von frischen Tostadas, sowie nach 7, 14 und 21 Tagen Lagerung bei 40 °C / 50 % rel. Luftfeuchtigkeit

4.2.4 Farbmessung

Über die gesamte Lagerdauer kam es bei den Proben in der Sichtfensterschachtel zu den größten Farbunterschieden bzgl. der Referenzprobe.

Nach sieben Tagen lag hier der durchschnittliche L^* Wert bei 63,21. Bei der Proben ohne Verpackung lag der L^* Wert nach gleicher Lagerzeit bei durchschnittlich 62,48. Bei den Proben in der Take Away Lunch Box war der durchschnittliche L^* Wert mit 62,32 am niedrigsten.

Lediglich geringe Unterschiede konnten bei den a^* und b^* Werten gemessen werden. Bei den Proben in der Sichtfensterschachtel lag der durchschnittliche a^* Wert bei 8,46, bei den Proben in der Take Away Lunch Box konnte ein durchschnittlicher a^* Wert von 8,52 gemessen werden. Bei den Proben ohne Verpackung lag der a^* Wert mit durchschnittlich 9,06 am höchsten.

Die durchschnittlichen b^* Werte lagen für die Proben in der Take Away Lunch Box bei 36,36. Bei den Proben in der Sichtfensterschachtel lagen die b^* Werte bei durchschnittlich 36,39. Die höchsten b^* Werte von durchschnittlich 37,16 haben die Proben ohne Verpackung aufgewiesen.

Nach einer Lagerdauer von 14 Tagen konnte bei allen Proben eine Erhöhung der L^* Werte gemessen werden. Die a^* und b^* Werte hingegen sind gesunken. Bei den Proben in der Sichtfensterschachtel lag der L^* Wert bei durchschnittlich 64,06. Bei den Proben in der Take Away Lunch Box konnte ein durchschnittlicher Wert von 63,51 gemessen werden. Mit durchschnittlich 63,18 lag der L^* Wert bei den Proben ohne Verpackung am niedrigsten.

Der a^* Wert ist bei allen Proben über eine Lagerdauer von 14 Tagen gesunken. Bei den Proben in der Sichtfensterschachtel lag der durchschnittliche a^* Wert bei 8,35. Bei der Take Away Lunch Box lag der a^* Wert bei durchschnittlich 8,07. Der höchste Wert mit 8,43 konnte bei den Proben ohne Verpackung gemessen werden.

Wie der a^* Wert ist auch der b^* Wert bei allen Proben gefallen. Bei den Proben in der Sichtfensterschachtel lag der durchschnittliche b^* Wert bei 35,93. Die Proben in der Take Away Lunch Box haben nach 14 Tagen einen b^* Wert von 35,62 aufgewiesen. Der höchste b^* Wert mit 36,55 konnte bei den Proben ohne Verpackung gemessen werden.

Nach einer Lagerdauer von 21 Tagen konnte eine Absenkung der L^* Werte bei allen Proben festgestellt werden. Bei den Proben in der Sichtfensterschachtel lag der durchschnittliche L^* Wert bei 62,31. Ein Wert von durchschnittlich 62,48 konnte bei den Proben in der Take Away Lunch Box gemessen werden. Der höchste L^* Wert konnte mit 62,93 bei den Proben ohne Verpackung gemessen werden.

Eine Veränderung konnte auch bei den a^* Werten festgestellt werden. Hier lagen die Werte bei den Proben ohne Verpackung mit durchschnittlich 8,34 etwas niedriger, mit durchschnittlichen Werten von 8,62 (Take Away Lunch Box) und 8,79 (Sichtfensterschachtel) etwas höher, als bei den vorhergehenden Messungen.

Zu einer Absenkung der b^* Werte kam es bei den Proben in der Sichtfensterschachtel (35,58), sowie den unverpackten Proben (36,49). Eine Erhöhung auf einen b^* Wert von 35,76 konnte bei den Proben in der Take Away Lunch Box festgestellt werden.

Unter Abbildung 19 findet sich eine grafische Darstellung der Werte.

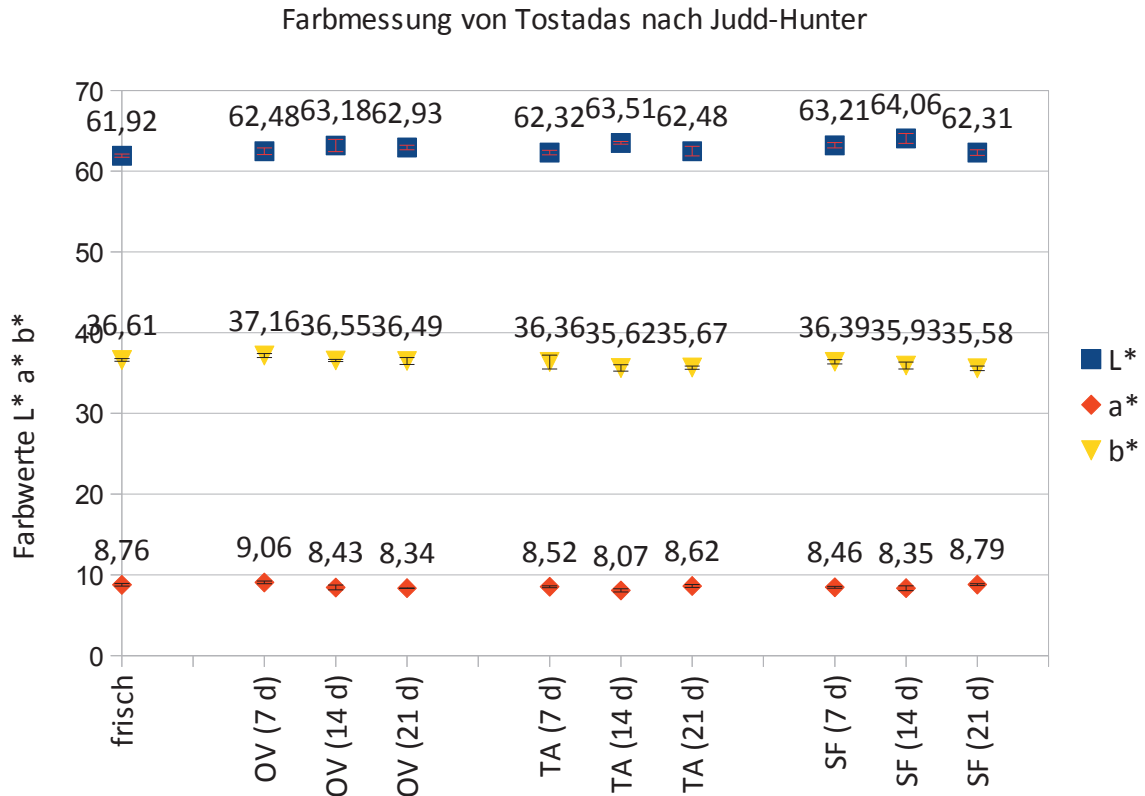


Abbildung 19: Farbmessung frischer Tostadas sowie eingelagerter Proben nach 7 und 14 Tagen bei 40 °C und 50 % relativer Luftfeuchtigkeit

5 Diskussion

Bei abschließender Betrachtung aller Ergebnisse lassen sich Zusammenhänge zwischen den Lagerbedingungen und der Eignung kompostierbarer Verpackungen - nach EN 13432 - für Mais-Tostadas beschreiben. Da die Lagerung der Proben bei unterschiedlichen Parametern vorgenommen wurde, konnten einerseits die Ergebnisse untereinander, also innerhalb einer Lagerperiode bei gleichen Parametern, als auch zwischen den unterschiedlichen Lagerbedingungen verglichen werden. Bei allen Untersuchungen konnten Abweichungen von den Referenzwerten festgestellt werden, was auf eine unzureichende Schutzfunktion der eingesetzten Verpackungen zurückzuführen ist.

Bei den Texturmessungen konnten bereits nach sieben Tagen bei allen Proben, die bei einer Temperatur von 40 °C und einer rel. Luftfeuchtigkeit von 80 % eingelagert wurden, deutliche

Unterschiede zu den Referenzwerten festgestellt werden. Die PLA-Folie in der Sichtfensterschachtel weist diesen ersten Untersuchungen zufolge eine unzureichende Wasserdampfbarriere auf, um das Produkt vor Aufnahme von Wasser zu schützen. Dies konnte einerseits an den Messwerten nachvollzogen werden, zudem konnte nach einer Lagerzeit von 14 Tagen die Bildung von Kondenswasser auf der Innenseite der Folie festgestellt werden. Die Daten der Kraftmessung beschreiben messtechnisch, was zudem haptisch und akustisch während der Untersuchung festgestellt werden konnte: Die Elastizität, also Bruchfestigkeit der Produkte hat zugenommen, was an der flachen Steigung der Kraft-Zeit-Kurve nachvollziehbar ist. Die Brüchigkeit und damit Knusprigkeit hatte während der Lagerung abgenommen. Dies kann auch gut an der grafischen Darstellung der Kraft-Zeit-Kurven nachvollzogen werden. Die Anzahl an Peaks steht dabei für die Anzahl an Brüchen, die beim Durchdringen des Prüfkörpers entstehen. Eine deutliche Reduktion solcher Brüche korreliert mit den Werten des flachen Kurvenanstiegs. Da Tostadas oder Maischips nicht in den Leitsätzen der Deutschen Lebensmittelbuch Kommission vorkommen, werden an dieser Stelle die Leitsätze für Kartoffelerzeugnisse herangezogen. Die Beschaffenheit von Kartoffelchips wird darin wie folgt beschrieben: „knusprige, nicht weiche oder pappige Textur“ (DLMBK, 1997). Der Bundesverband der Deutschen Süßwarenindustrie e.V. beschreibt Tortilla Chips, die rohstoffbedingt eine Ähnlichkeit zu Tostadas aufweisen, als „knusprige [...] Maischips“ (BDSI).

Ähnlich den Proben in der Sichtfensterschachtel haben auch die Proben in der Take Away Lunch Box nach einer Lagerdauer von sieben Tagen eine reduzierte Knusprigkeit aufgewiesen. Die Take Away Lunch Box besteht aus einem Karton mit einer Beschichtung aus pflanzlichem Wachs und kommt damit ohne biobasierte Kunststoffe aus. Dies hat auch Nachteile, wie sich in den Messergebnissen gezeigt hat. Da die Verpackung nicht versiegelt ist, konnte Feuchtigkeit ans Produkt gelangen. Nach 14 Tagen konnte die Bildung von Kondenswasser optisch nachgewiesen werden, wobei die Tröpfchenbildung nicht so stark ausgeprägt war, wie bei der Sichtfensterschachtel nach gleicher Lagerdauer. Eine wichtige Rolle spielen könnte die hohe Wasserdampfdurchlässigkeit des Kartons. Der Inhalt steht so in Wechselwirkung mit der Umwelt - der Luftfeuchtigkeit, der Temperatur und den in der Atmosphäre enthaltenen Substanzen. Auffällig waren die hohen Standardabweichungen bei den Proben ohne Verpackung. Diese sind insofern zu erklären, als dass die Proben in unterschiedlichen Bereichen – obere oder untere Etage, weiter vorn oder nahe des

Ventilators etc. - des Klimaschranks gelagert wurden und aufgrund der nicht vorhandenen Verpackung am stärksten von den Einflüssen der zugeführten Wärme und Luftfeuchtigkeit betroffen waren. Auch bei den Proben, die unter der Parameterkombination 40 °C / 50 % rel. Luftfeuchtigkeit gelagert wurden, konnten Unterschiede zu den Referenzwerten festgestellt werden. Jedoch sind diese deutlich geringer ausgefallen, als bei den Proben, die bei höherer Luftfeuchtigkeit eingelagert wurden.

Alle ermittelten Werte der Texturmessung wiesen im Vergleich zu den anderen Analysemethoden hohe Standardabweichungen auf. Dies hängt mit der ungleichmäßigen Struktur der Proben zusammen, die durch mögliche Lufteinschlüsse noch verstärkt wird. Bei der Probenauswahl wurde darauf geachtet, Produkte mit Lufteinschlüssen zu verwerfen und nicht für die Texturanalyse einzusetzen. Bei den Proben, die bei 40 °C und 80 % rel. Luftfeuchtigkeit eingelagert wurden, fielen die Standardabweichungen durchschnittlich etwas geringer aus. Durch Aufnahme der Feuchtigkeit hatten die Produkte nicht nur an Knusprigkeit verloren, sondern auch ihre Form verändert. Die wellenförmigen Verformungen am Rand, wie sie besonders bei den frischen Referenzproben aufgetreten sind, waren bei den eingelagerten Proben nicht so stark ausgeprägt.

Da die Gesamtfeuchte, als auch der a_w -Wert Einfluss auf die Textur haben, sollte eine Texturanalyse immer auch in Verhältnis zu weiteren Messdaten betrachtet werden.

Getrocknete Lebensmittel sind hygroskopisch. Das bedeutet, sie nehmen Wasser aus der Umgebung auf und besitzen so bereits bei relativ niedrigen Luftfeuchtigkeiten einen verhältnismäßig hohen Wassergehalt. Die richtige Verpackung für solche Produkte zu finden, ist daher von hoher Relevanz, um sie vor Verderbnis oder einer Qualitätsminderung bzgl. ihrer sensorischen Eigenschaften zu schützen (Nemitz, 1963). Aufgrund der hohen rel. Luftfeuchtigkeit in der Atmosphäre des Klimaschranks haben sich auch der a_w -Wert, sowie der Gesamtwassergehalt bei den eingelagerten Proben über die Lagerzeit verändert. Besonders deutliche Veränderungen sind bei der Parameterkombination 40 °C / 80 % rel. Luftfeuchtigkeit zu verzeichnen gewesen. Die durchschnittlichen Messwerte haben sich weit über denen der Referenzprobe bewegt. Auffällig war dabei, dass die Werte der unverpackten Proben niedriger waren, als die der verpackten Proben. Dies ist so zu erklären, dass beim Herausnehmen der Proben aus dem Klimaschrank ein Teil des freien Wassers auf der Oberfläche der Probe an die Umwelt abgegeben wurde. Anders bei den verpackten Proben.

Hier konnte die Feuchtigkeit aufgrund der Umverpackung nicht direkt entweichen. Die Ansammlung von Kondenswasser lässt vermuten, dass die Wasserdampfbarriere der Sichtfensterschachtel sowie der Take Away Lunch Box nicht ausreichend waren, um das Produkt bei hoher Luftfeuchtigkeit vor Wasseraufnahme zu schützen. Die Aufnahme von Feuchtigkeit beeinflusst die Textur negativ, was Auswirkungen auf die Sensorik hat.

Temperatur und Feuchtigkeit haben nicht nur Einfluss auf die Textur oder den Wassergehalt eines Lebensmittels, sondern auch auf die Farbe (Buchner, 1999). Bei den Proben, die einer rel. Luftfeuchtigkeit von 80 % ausgesetzt waren, ist eine Verringerung der L^* Werte über die Lagerdauer deutlich zu erkennen. Auch eine Verringerung der b^* Werte konnte in den Messergebnissen gesehen werden. Der L^* Wert gibt die Helligkeit, also den Anteil an Weiß in einer Probe an. Der b^* Wert gibt den Anteil an Gelb- oder Blaupigmenten in einer Probe an, wobei ein positiver Wert für den Anteil an Gelb steht, ein negativer Wert für Blau (Figura, 2004). Der Anteil an Helligkeit und Gelbpigmenten hat den Messergebnissen nach, während der Lagerung, abgenommen. Dies deutet auf eine nicht-enzymatische Bräunungsreaktion hin, wie die Maillard-Reaktion. Auch der Anstieg der a^* Werte (Rot) kann ein Anzeichen für die Maillard-Reaktion sein. Durch Entstehung von Melanoidinen kommt es zu einer Braunfärbung der Produkte, wobei Rot ein Bestandteil brauner Farbpigmente und damit von Melanoidinen ist (Matissek et al., 2016). Signifikante Unterschiede zwischen den unverpackten und verpackten Proben wurden bei den Messdaten nicht deutlich. Ein abweichendes Ergebnis war bei den Proben zu verzeichnen, die bei einer Luftfeuchtigkeit von 50 % eingelagert wurden. Hier gab es einen leichten Anstieg der L^* Werte, also eine Aufhellung der Proben. Den Messergebnissen nach ist auszugehen, dass es zu keiner Bräunung gekommen ist. Der Farbunterschied zur Referenzprobe kann messfehlerbedingt sein. Möglich ist auch eine Aufhellung der Probe durch die Wasseraufnahme (Buchner, 1999). Bei den a^* und b^* Werten ist es zu keinen signifikanten Abweichungen vom Referenzwert gekommen.

Mögliche Fehlerquellen können auch gerätebedingt sein, bspw. wenn das eingesetzte Messgerät bereits ein hohes Alter aufweist oder nur sehr ungenau arbeitet. Messwertschwankungen können aber auch temperaturbedingt sein. Dies hat vor allem auf den zu messenden a_w -Wert Einfluss (Matissek, 2016). Auch eine zu geringe Probenmenge

kann zu Messwertabweichungen führen. Durch Erhöhung der Probenmenge können Messfehler verringert oder fast vollständig eliminiert werden. Neben der Probenmenge sollte auch die (mehrmalige) Wiederholung des Tests berücksichtigt werden. Durch die zeitliche Begrenzung zur Anfertigung dieser Arbeit war eine Wiederholung der Lagerversuche sowie die Einlagerung von Proben über einen längeren Zeitraum nicht möglich. Aufgrund des Ausfalls eines Klimaschranks war auch die Kapazität zur Aufnahme von Proben deutlich begrenzt.

Um differenziertere Erkenntnisse über die Eignung biobasierter kompostierbarer Verpackungen für Produkte mit geringem Wassergehalt zu erlangen, sollten weitere Tests mit unterschiedlichen Verpackungen durchgeführt werden. Dabei ist vor allem die Probenmenge höher zu wählen, als auch die Lagerdauer zu verlängern, um Veränderungen über einen längeren Zeitraum beobachten zu können. Der Einsatz unterschiedlicher Parameter (Temperatur und Luftfeuchtigkeit) ist dabei elementar, um definieren zu können, welche Lagerbedingungen für verschiedene Verpackungen und Produkte optimal sind. Vor allem bei Wasserdampf-empfindlichen Produkten ist es wichtig, den Anfangswassergehalt beim Abpacken sowie den kritischen Wassergehalt zu kennen, um die Haltbarkeit beurteilen zu können. Der kritische Wassergehalt ist dabei der Wert, bei dessen Überschreitung ein Produkt seine optimalen Eigenschaften verliert und unverkäuflich wird (Buchner, 1999). Der Einsatz sensorischer Prüfverfahren kann dabei helfen, den kritischen Wassergehalt festzulegen. Zudem bieten solche Testverfahren eine zusätzliche Möglichkeit, um die Verbraucher_innenakzeptanz bei farblich oder texturell veränderten Produkten zu untersuchen. Besonders geeignet sind bewertende Prüfverfahren. Dabei können wichtige Kriterien, wie Textur, Aussehen, Geruch und Geschmack von Prüfpersonen systematisch beurteilt werden (Nießen et al., 2007).

6 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, kompostierbare Verpackungen während mehrwöchiger Lagertests zu untersuchen, um ihre Eignung zum Schutz von Bio Mais-Tostadas gegenüber Umwelteinflüssen zu bewerten. Die optimalen sensorischen Eigenschaften, die als Referenzwerte dienen sollten, wurden durch Untersuchungen frischer Bio Mais-Tostadas in Form physikalischer Messwerte festgelegt. Durchgeführt wurden Texturmessungen, Farbmessungen sowie Messungen des a_w -Wertes und des Gesamtwassergehaltes. Die Bewahrung der sensorischen Eigenschaften diente dabei als Maß zur Beurteilung der Schutzwirkung verschiedener kompostierbarer Kartonverpackungen - mit und ohne Inlay aus biobasiertem Kunststoff. Nach Auswertung aller Messdaten lässt sich eine erste Schlussfolgerung bezüglich der Eignung kompostierbarer Kartonverpackungen für Mais-Tostadas anstellen. Im direkten Vergleich der unverpackten Proben mit den verpackten Proben zeigte sich, dass die eingesetzten Verpackungen während der Lagerung bei 40 °C und 80 % relativer Luftfeuchtigkeit keine ausreichende Barrierefunktion gegenüber Wasserdampf besitzen. Die Proben wiesen einen Verlust ihrer Brüchigkeit auf, zudem haben sich der Gesamtwassergehalt, als auch der a_w -Wert durch die Aufnahme von Feuchtigkeit aus der Umgebungsluft stark verändert. Eine unzureichende Wasserdampfbarriere bei der Verpackung trockener Lebensmittel ist ein Defizit, durch das der Verderb beschleunigt werden kann. Bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 % haben sich die Unterschiede zu den Referenzproben nicht derartig hoch gezeigt. Trotz dessen gab es auch bei diesen Lagerversuchen Verluste bzgl. der Knusprigkeit. Nach Auswertung verschiedener Forschungsergebnisse zu biobasierten kompostierbaren Verpackungen stellt sich zudem die Frage, inwiefern solche Verpackungen hinsichtlich der unter Punkt 2.2.2 erläuterten Fakten ökologisch sinnvoll sind, sofern die thermische Verwertung einer Kompostierung vorgezogen wird. Eine Weiterentwicklung biobasierter Kunststoffe zum Einsatz in Lebensmittelverpackungen könnte in den folgenden Jahren eine Veränderung der Verpackungsbranche nach sich ziehen. Bislang aber ist ein völliger Verzicht auf petrochemische Kunststoffe nicht möglich. Als mögliche Lösung für das bestehende Problem des Produktbruchs, liegt die Empfehlung auf einer erdölbasierten PE-Folie, welche als Primärverpackung dient, und einem Karton als Umverpackung. Sofern beide Komponenten nicht miteinander verklebt werden, ist eine Mülltrennung unproblematisch.

7 Literaturverzeichnis

Baur, E.; Osswald, T. A.; Rudolph, N.: Saechtling Kunststoff Taschenbuch. 31. Auflage.

München: Hanser Fachbuchverlag, 2013.

Bionatic GmbH & Co. KG

URL: <https://www.biologischverpacken.de/recycling-entsorgung>

[Zugriff am: 17.12.2018 | 11.52 Uhr]

Biesalski, H. K., Grimm, P., Nowitzki-Grimm, S.: Taschenatlas Ernährung. 6. Auflage. Stuttgart u.a.: Thieme Verlag, 2015.

Bleisch, G.; Goldhahn, H.; Schricker, G.; Vogt, H.: Lexikon Verpackungstechnik. 1. Auflage.

Hamburg: Behr's Verlag, 2003.

Bleisch, G.; Majschak, J.-P.; Weiß, U.: Verpackungstechnische Prozesse. 1. Auflage. Hamburg:

Behr's Verlag, 2011.

Buchner, N.: Verpackung von Lebensmitteln – Lebensmitteltechnologische,

verpackungstechnische und mikrobiologische Grundlagen. Berlin u.a.: Springer Verlag, 1999.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Biobasierte Kunststoffe als Verpackung von Lebensmitteln. Bericht vom Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung und narocon, 2018.

URL: [https://www.ifeu.de/wp-](https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/Zusammenfassung_Endbericht_bbKV_20180612.pdf)

[content/uploads/Zusammenfassung_Endbericht_bbKV_20180612.pdf](https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/Zusammenfassung_Endbericht_bbKV_20180612.pdf)

[Zugriff am: 17.12.2018 | 16.43 Uhr]

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: Das gehört in die Biotonne. 2016

URL: <https://www.bmu.de/themen/wasser-abfall-boden/abfallwirtschaft/abfallarten->

abfallstroeme/bioabfaelle/das-gehoert-in-die-biotonne/

[Zugriff am: 17.12.2018 | 12.17 Uhr]

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: Untersuchung der Umweltwirkung von Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen.

Forschungsbericht des Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH im Auftrag des BMU, 2012.

URL: https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/3710_95_314_kunststoffe_bf.pdf

[Zugriff am: 17.12.2018 | 15.09 Uhr]

Bundesverband der Deutschen Süßwarenindustrie e.V.: Chips und Sticks – nur das beste aus der Kartoffel.

URL: <https://www.bdsi.de/warenkunde/knabberartikel/chips-und-sticks-nur-das-beste-aus-der-kartoffel/>

[Zugriff: 14.01.2019 | 11:48 Uhr]

Castro-Muñoz, R.; Barragán-Huerta, B. E.; Yáñez-Fernández, J.: The Use of Nixtamalization Waste Waters Clarified by Ultrafiltration for Production of a Fraction Rich in Phenolic.
Springer Verlag, 2016.

Deans, M.: Nanomaterials for food packaging. 1. Auflage. Amsterdam: Elsevier Verlag, 2018.

Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft: Instrumentelle Sensorik in der Ernährungswissenschaft – Teil 2: Mechanische Texturanalyse bei Lebensmitteln. DLG-Expertenwissen 3/2015

URL: <https://www.dlg.org/de/lebensmittel/themen/publikationen/expertenwissen-sensorik/mechanische-texturanalyse-bei-lebensmitteln/>

[Zugriff am: 25.11.2018 | 11:40 Uhr]

Deutsche Lebensmittelbuch Kommission: Leitsätze für Kartoffelerzeugnisse.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 1997.

URL: <https://www.deutsche-lebensmittelbuch-kommission.de/sites/default/files/downloads/leitsaetzekartoffelerzeugnisse.pdf>
[Zugriff: 14.01.2019 | 11:16 Uhr]

Elmadfa, I.; Aign, W.; Muskat, E.; Fritzsche, D.: Die große G|U Nährwert, Kalorien Tabelle.
München: Gräde und Unzer, 2017.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.: Verarbeitung von biobasierten Kunststoffen
URL: <https://biowerkstoffe.fnr.de/biokunststoffe/verarbeitung/verarbeitung-von-biobasierten-kunststoffen/>
[Zugriff: 08.01.2019 | 12:27 Uhr]

Figura, L. O.: Lebensmittelphysik. 5. Auflage. Berlin u.a.: Springer Verlag, 2004.

Guzmán-de-Peña, D.: The Destruction of Aflatoxins in Corn by “Nixtamalización”. Berlin u.a.: Springer Verlag, 2010.
URL: <https://libcatalog.cimmyt.org/Download/reprints/98545.pdf>
[Zugriff am: 29.12.2018 | 18:35 Uhr]

Heiss, R.: Lebensmitteltechnologie. 6. Auflage. Berlin u.a.: Springer Verlag, 2004.

Kaßmann, M.: Grundlagen der Verpackung – Leitfaden für die fächerübergreifende Verpackungsausbildung. 2. Auflage. Berlin u.a.: Beuth Verlag, 2014.

Kuchling, H.: Taschenbuch der Physik, München: Carl Hanser Verlag, 2014.

Lee, D. S.; Yam, K. L.; Piergiovanni, L.: Food Packaging Science and Technology, Boca Raton: CRC Press, 2008.

Luyten, H.; van Vliet, T.: Acoustic emission, fracture behavior and morphology of dry crispy foods: a discussion article. Journal of Texture Studies (2006), Nr. 37, S. 221 – 240

Matissek, R.; Fischer, M.; Steiner, G.: Lebensmittelanalytik. 6. Auflage. Berlin u.a.: Springer Verlag, 2018.

Matissek, R.; Baltes, W.: Lebensmittelchemie. 8. Auflage. Berlin u.a.: Springer Verlag, 2016.

Milán-Carrillo, J.; Gutiérrez-Dorado, R.; Cuevas-Rodríguez, E.O.; Garzón-Tiznado, J.A.; Reyes-Moreno, C.: Nixtamalized Flour from Quality Protein Maize (*Zea mays* L). Optimization of Alkaline

Processing. *Plant Foods for Human Nutrition*, Vol. 59. page 35–44

URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11130-004-4306-6>

[Zugriff am: 11.12.2018 | 14.05 Uhr]

Morris, B. A.: The Science and Technology of Flexible Packaging. Amsterdam u.a.: Elsevier Verlag, 2017.

Naturschutzbund Deutschland e.V.: Kunststoffabfälle in Deutschland

Online-Broschüre

URL: <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/abfall-und-recycling/22033.html>

2016, NABU-Bundesverband, 2. Auflage 09/2018

[Zugriff am: 11.11.2018 | 14.20 Uhr]

Naturschutzbund Deutschland e.V.: Plastikmüll und seine Folgen, NABU

Bundesverband, 5. Auflage 08/2016

Online-Broschüre

URL: <https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/meere/muellkippe-meer/muellkippemeer.html>

[Zugriff am: 11.11.2018 | 14.25 Uhr]

Naturschutzbund Deutschland e.V.: Parkbänke im Überfluss - Der

Herstellung neuer Kunststoff-Recyclingprodukte sind Grenzen gesetzt

URL: <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/abfall-und-recycling/recycling/12591.html>

[Zugriff am 08.01.2019 | 12.07 Uhr]

Nemitz, G.: Die hygroskopischen Eigenschaften getrockneter Lebensmittel. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung (1963), Nr. 123, S. 1 – 5.

Nießen, M.; Thölking, S.: Sensorische Prüfverfahren. 1.Auflage. Hamburg: Behr's Verlag, 2007.

Piringer, O.: Verpackungen für Lebensmittel. 1. Auflage. Weinheim: VHC Verlag, 1993.

[Petition 80946]: Verpackungsverordnung - Erweiterung des Verpackungsgesetzes hinsichtlich der Reduzierung der Verwendung von biologisch nicht abbaubaren Verpackungen im Lebensmittelsektor vom 16.06.2018
URL: https://epetitionen.bundestag.de/petitionen/_2018/_06/_16/Petition_80946.nc.html

Robertson, G. L.: Food Packaging – Principles and Practise. 3. Auflage. Boca Ratonm: CRC Press, 2013.

Selke, S.: Verpackung und Umwelt – Alternativn, Trends, Lösungen. 1. Auflage. Hamburg: Behr's Verlag, 1992.

Shen, L.; Haufe, J.; Patel, M. K.: Product overview and market projection of emerging bio-based plastics. Universität Utrecht, 2009.
URL: http://news.bio-based.eu/media/news-images/20091108-02/Product_overview_and_market_projection_of_emerging_bio-based_plastics,_PRO-BIP_2009.pdf
[Zugriff am: 21.11.2018 | 14.33 Uhr]

Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister
URL: www.verpackungsregister.org
[Zugriff am: 10.11.2018 | 9.24 Uhr]

Tscheuschner, H.-D.: Grundzüge der Lebensmitteltechnik. 4. Auflage. Hamburg: Behr's Verlag, 2017.

Umweltbundesamt: Verpackungen, 26.07.2018

URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/verpackungen>

[Zugriff am: 11.11.2018 | 19.10 Uhr]

Weipert, D.; Tscheuschner, H.-D.; Windhab, E.: Rheologie der Lebensmittel. 1. Auflage. Hamburg: Behr's Verlag, 1993.

Westphal, G.; Buhr, H.; Otto, H.: Reaktionskinetik in Lebensmitteln. 1. Auflage. Berlin: Springer Verlag, 1996.

Winopal Forschungsbedarf GmbH

Online-Broschüre

URL: https://www.analytica-media.de/download/1180_9_8_2848_8_1_279/winopal_ueberblickuniversalpruefmaschine.pdf

[Zugriff am: 25.11.2018 | 09:51 Uhr]

Wolff, A.G. et al.: Food Packaging and Preservation. 9. Auflage. Amsterdam: Elsevier, 2018.

Wollrab, A.: Organische Chemie. 4.Auflage. Berlin: Springer Verlag, 2014.

Zwick Roell AG: Prüfsysteme für die Texturanalyse, Viskositätsmessung und Verpackungsprüfung

Online-Broschüre

URL: https://www.zwick.de/-/media/files/sharepoint/...br/99_485_textur_fp_d.pdf

[Zugriff am 03.01.2019 | 13.50 Uhr]

Übersetzungen aus dem Englischen und Spanischen wurden mittels PONS Online-Wörterbuch getätigt:

URL: <https://de.pons.com/>

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle	Titel	Seite
1	Für die Versuche benötigte Geräte und Materialien	15
2	Messparameter Texture Analyser	17

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung	Titel	Seite
1	Struktur von Cellulose Quelle: https://www.celluforce.com/en/products/cellulose-nanocrystals/	11
2	Produkt in Cellulosefolie verpackt Quelle: https://vekoop.de/Sonnentor-Goldener-Kurkuma-Tee-Bio-36g	11
3	Frontalansicht Versuchsaufbau Texturanalyse	17
4	Seitenansicht Versuchsaufbau Texturanalyse	17
5	Kennzeichnung der Perforationsfläche bei der Texturuntersuchung von Bio Mais-Tostada	18
6	Munsell-Farbsystem	21
7	L* a* b*-System // Judd-Hunter-System	22
8	Maximale Kraft zum Durchdringen der Probe frische Tostadas, sowie Proben nach sieben, 14 und 21 Tagen Lagerung bei 40 °C und 80 % relativer Luftfeuchtigkeit	25
9	Anstieg der Kraft-Zeit-Kurve zur Ermittlung der Knusprigkeit frische Tostadas, sowie Proben nach sieben, 14 und 21 Tagen Lagerung bei 40 °C und 80 % relativer Luftfeuchtigkeit	26
10	Ansammlung von Kondenswasser auf der Innenseite der PLA-Folie nach 14 Tagen Lagerung	27
11	Bildung von Kondenswasser an der Innenseite der Take Away Lunch Box nach 14 Tagen Lagerung	27
12	aw-Werte nach sieben, 14 und 21 Tagen Lagerung bei 40 °C und 80 % relativer Luftfeuchtigkeit	28
13	Feuchtemessung von frischen Tostadas sowie nach sieben, 14 und 21 Tagen Lagerung bei 40 °C / 80 % rel. Luftfeuchtigkeit	29
14	Farbmessung frischer Tostadas sowie eingelagerter Proben nach 7 und 14 Tagen bei 40 °C und 80 % relativer Luftfeuchtigkeit	31
15	Maximale Kraft zum Durchdringen der Probe frische Tostadas, sowie Proben nach 7, 14 und 21 Tagen Lagerung bei 40 °C und 50 % relativer	33

	Luftfeuchtigkeit	
16	Anstieg der Kraft-Zeit-Kurve zur Ermittlung der Knusprigkeit frische Tostadas, sowie Proben nach sieben, 14 und 21 Tagen Lagerung bei 40 °C und 50 % relativer Luftfeuchtigkeit	34
17	aw-Wert Messung von Tostadas nach 7, 14 und 21 Tagen Lagerung bei 40 °C / 50 % rel. Luftfeuchtigkeit	35
18	Feuchtemessung von frischen Tostadas (Referenz) sowie nach 7, 14 und 21 Tagen Lagerung bei 40 °C / 50 % rel. Luftfeuchtigkeit	36
19	Farbmessung frischer Tostadas sowie eingelagerter Proben nach 7 und 14 Tagen bei 40 °C und 80 % relativer Luftfeuchtigkeit	38

10 Erklärung über die selbstständige Anfertigung der Arbeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe angefertigt habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Textstellen, die wörtlich oder nahezu wörtlich aus Veröffentlichungen entnommen wurden, sind durch Zitate als solche gekennzeichnet.

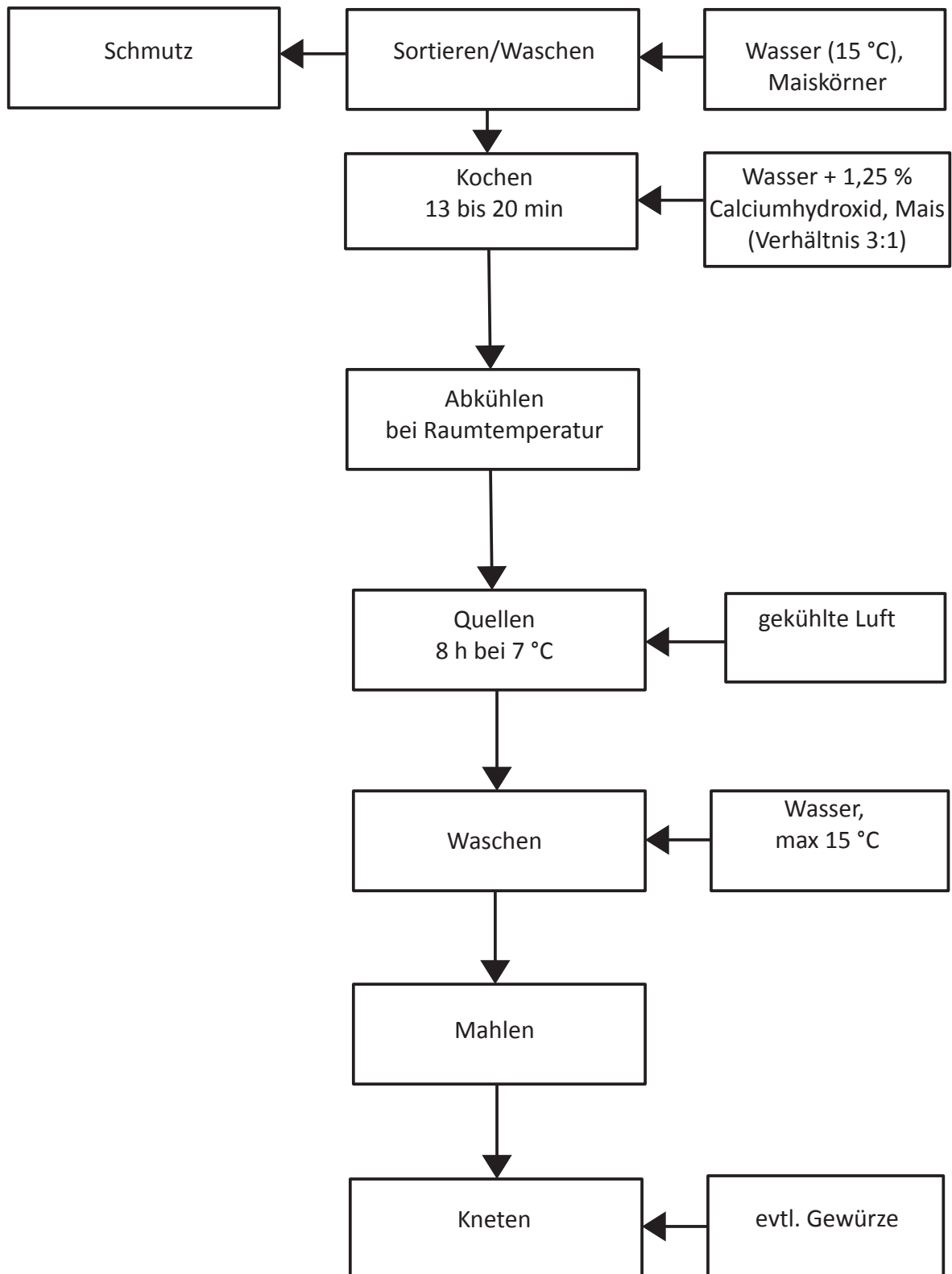
Ich erkläre weiterhin, dass die abgegebene digitale Version mit der eingereichten schriftlichen Arbeit übereinstimmt.

Neubrandenburg, 17.01.2019

Ort, Datum

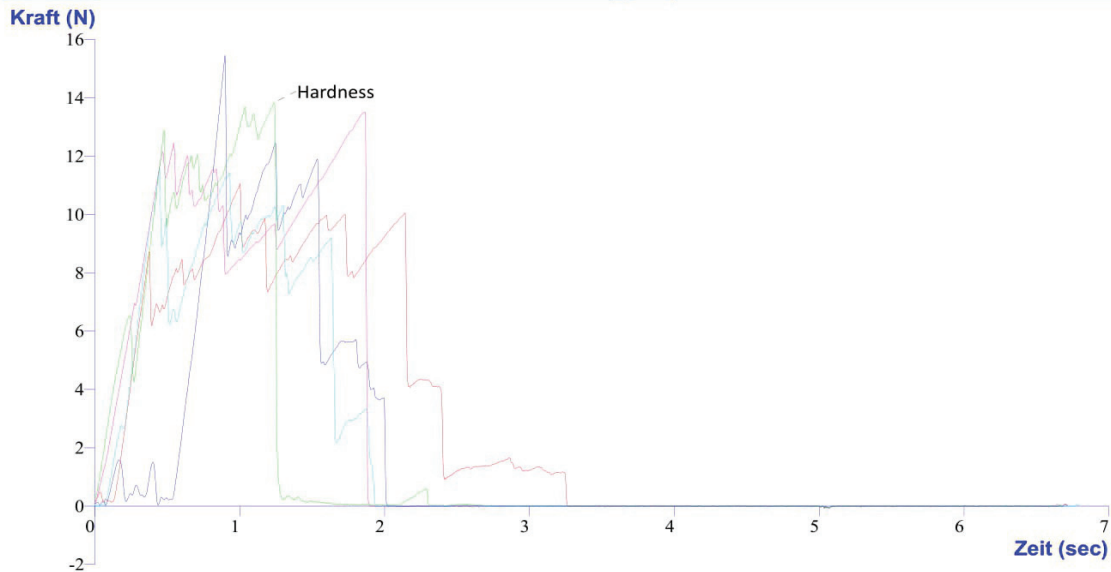
Dominique Cîrstea

11 Anhang



Anhang 1: Fließdiagramm Herstellung von Tostada Clasica der Firma Tlaxcalli GmbH

Projekt Titel: Tortilla chips
Title: Tortilla_Chips



T.A SETTINGS

Test Art: Druck
Return to Start (Set Dist)

Vor Geschwindigkeit: 1,00 mm/sec
Test Geschwindigkeit: 1,00 mm/sec
Rück Geschwindigkeit: 10,00 mm/sec

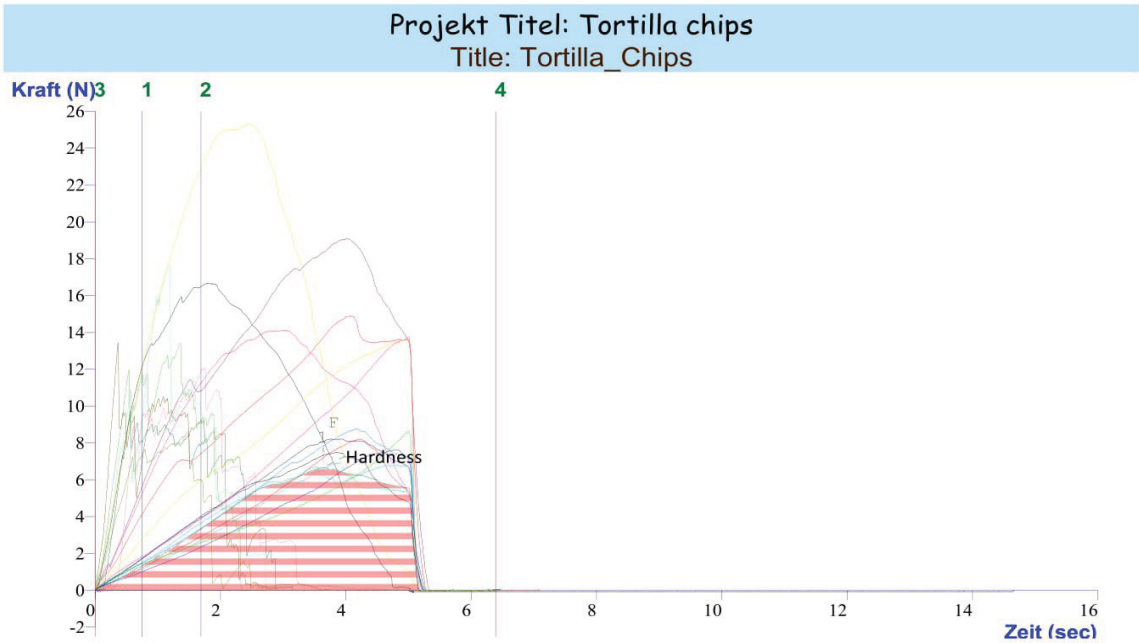
Weg: 5,0 mm
Auslöse Kraft: 5,0 g

PRODUCT PARAMETERS

Charge: Muster1-
Gemessen am: Donnerstag, 22. November 2018 13:23:59
Gemessen von: Studierende
Messpunkte pro Sekunde: 250
Werkzeug: HDP/CFS ; CRISP
FRACTURE SUPPORT
Kapazität Kraftmesszelle : 50000g

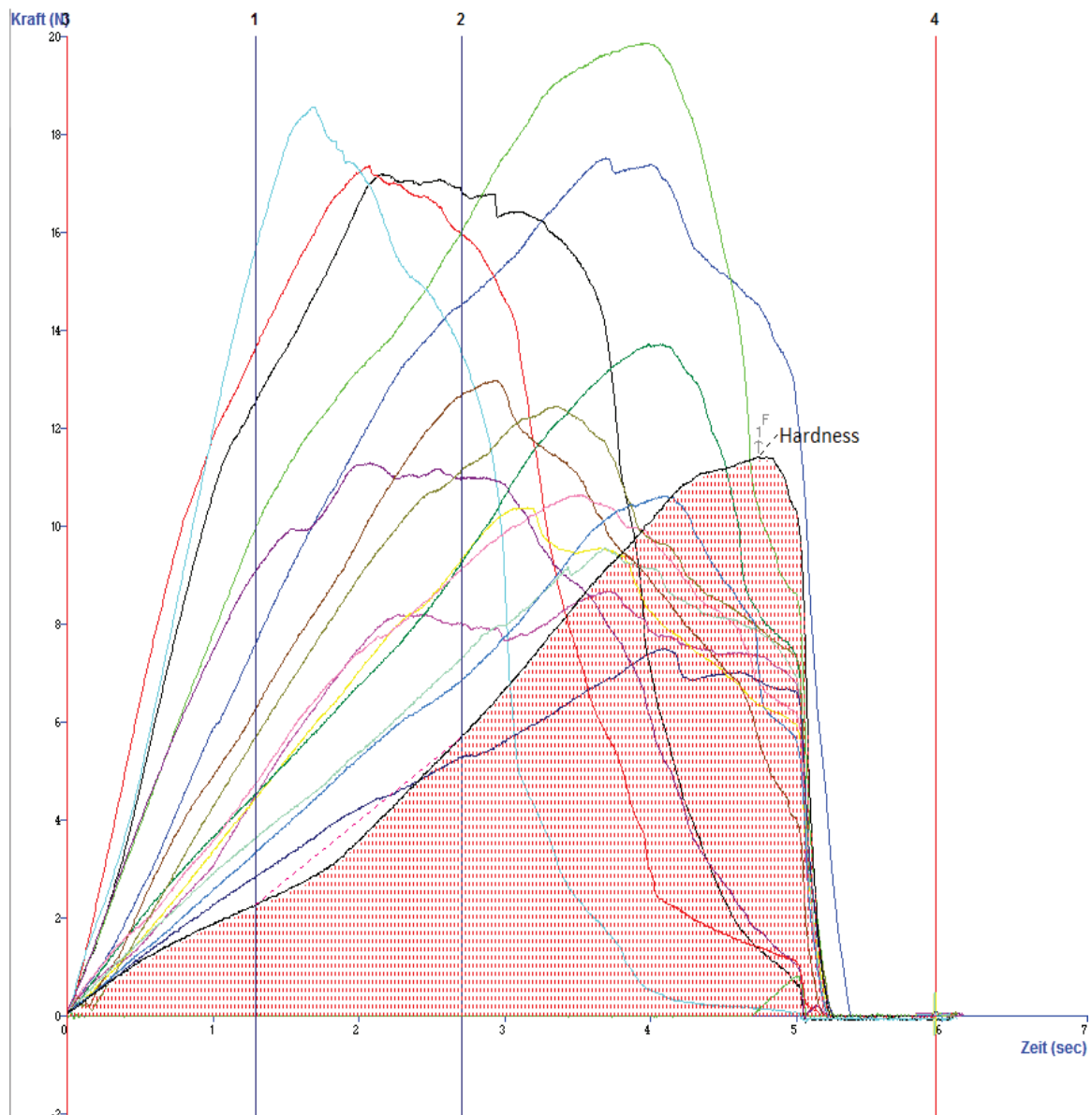
Ergebnisse

Test ID	Charge	Steigung N/sec	Kraft 1 N	Fläche F-T 3:4 N.sec
		Steigung F-T 1:2	Kraft 1	Fläche F-T 3:4
Start Charge: Muster1-	Muster1-			
Muster1-02	Muster1-	40,48	15,45	12,09
Muster1-03	Muster1-	36,49	11,07	18,88
Muster1-04	Muster1-	16,78	13,85	12,23
Muster1-05	Muster1-	27,04	11,61	13,54
Muster1-06	Muster1-	27,78	13,51	17,62
Ende Charge: Muster1-	Muster1-			
Mittelwert:	Muster1- (F)	29,71	13,10	14,87
Standardabweichung	Muster1- (F)	9,22	1,78	3,17
Variationskoeffizient	Muster1- (F)	31,03	13,57	21,29
Ende Testdaten				

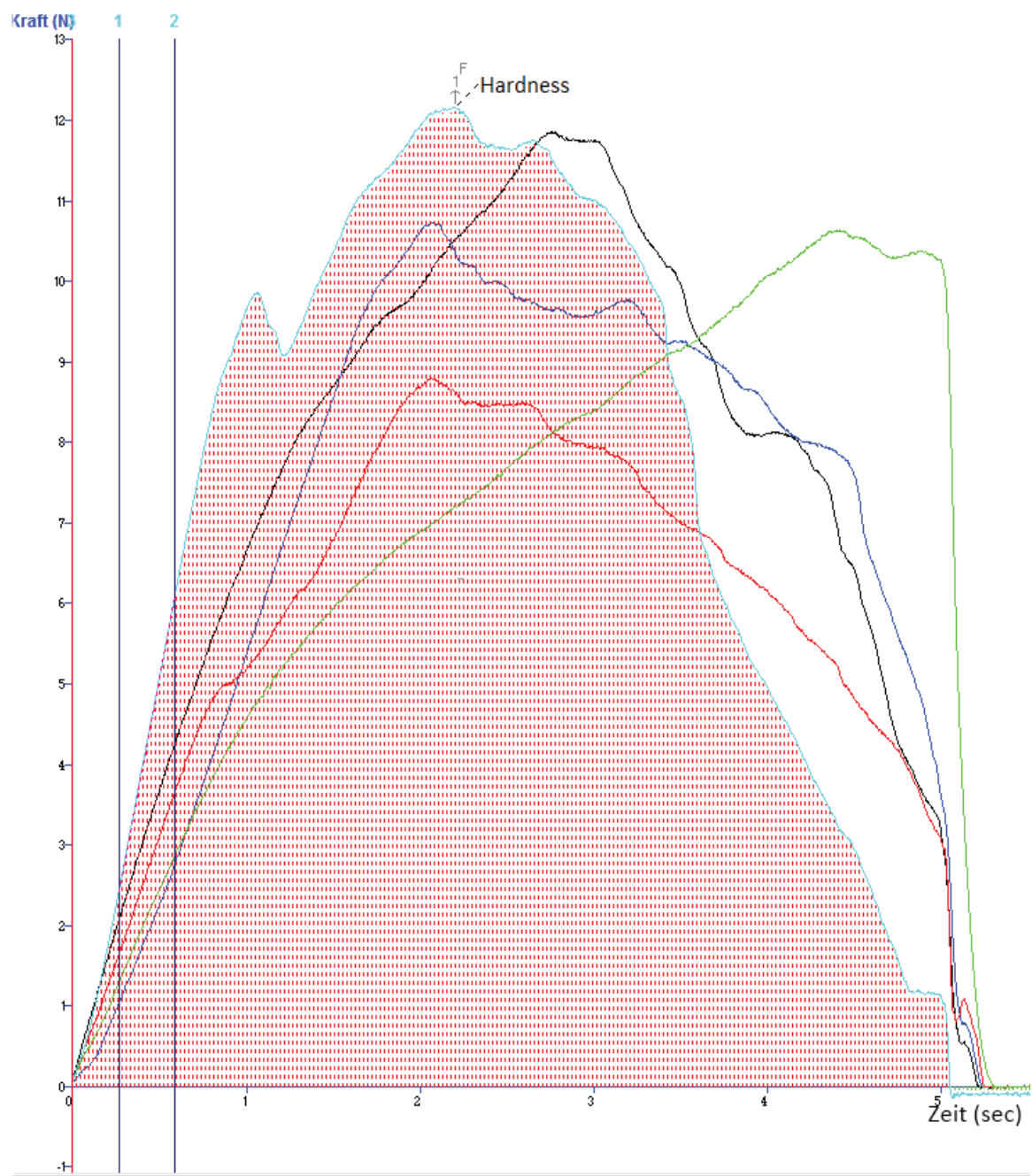


T.A SETTINGS	PRODUCT PARAMETERS
Test Art: Druck	Charge: Probe40-80-
Return to Start (Set Dist)	Gemessen am: Mittwoch, 5. Dezember 2018 09:30:14
Vor Geschwindigkeit: 1,00 mm/sec	Gemessen von: Studierende
Test Geschwindigkeit: 1,00 mm/sec	Messpunkte pro Sekunde: 250
Rück Geschwindigkeit: 10,00 mm/sec	Werkzeug: HDP/CFS ; CRISP FRACTURE SUPPORT
Weg: 5,0 mm	Kapazität Kraftmesszelle : 50000g
Auslöse Kraft: 5,0 g	

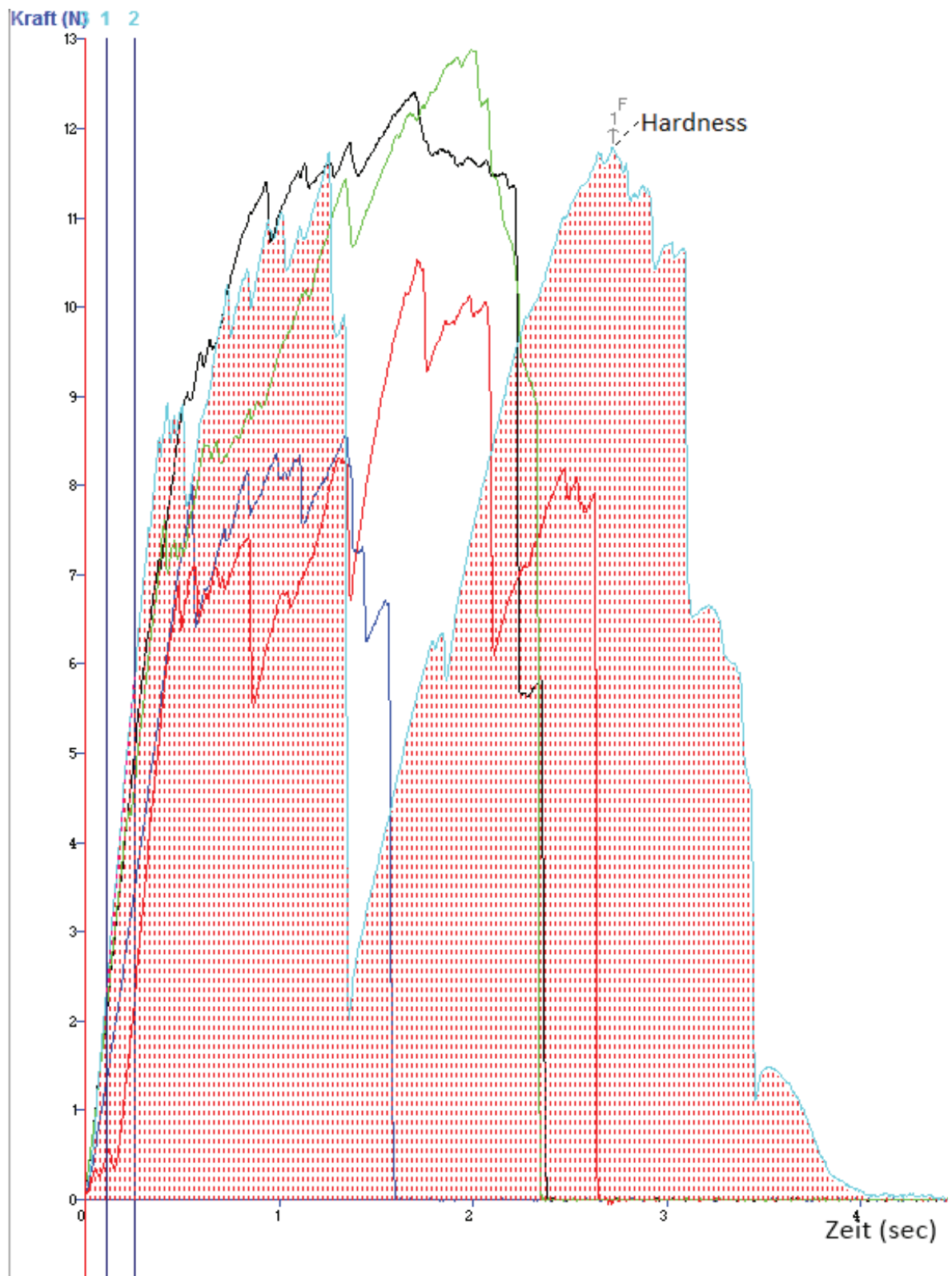
Ergebnisse				
Test ID	Charge	Steigung N/sec Steigung F-T 1:2	Kraft 1 N Kraft 1	Fläche F-T 3:4 N.sec Fläche F-T 3:4
Start Charge: Probe40-80-				
Probe40-80-01	Probe40-80-	19,52	16,08	48,14
Probe40-80-05	Probe40-80-	2,27	6,82	22,93
Probe40-80-06	Probe40-80-	7,62	14,13	48,98
Probe40-80-07	Probe40-80-	8,42	19,09	65,09
Probe40-80-08	Probe40-80-	16,30	25,33	70,86
Probe40-80-09	Probe40-80-	24,39	9,74	17,68
Probe40-80-10	Probe40-80-	41,57	13,43	18,28
Probe40-80-11	Probe40-80-	36,87	12,14	20,83
Probe40-80-13	Probe40-80-	25,98	13,42	19,53
Probe40-80-14	Probe40-80-	22,66	17,66	20,50
Probe40-80-15	Probe40-80-	2,44	8,23	26,56
Probe40-80-16	Probe40-80-	2,10	8,78	25,61
Probe40-80-17	Probe40-80-	2,38	7,50	23,91
Probe40-80-18	Probe40-80-	1,61	7,64	20,06
Probe40-80-19	Probe40-80-	1,88	8,22	22,42
Probe40-80-20	Probe40-80-	1,23	8,66	19,79
Probe40-80-21	Probe40-80-	1,76	6,93	19,85
Probe40-80-22	Probe40-80-	2,60	13,79	33,26
Probe40-80-24	Probe40-80-	3,10	13,62	40,15
Probe40-80-25	Probe40-80-	2,13	6,69	21,78
Ende Charge: Probe40-80-				
Mittelwert	Probe40-80- (F)	11,34	11,92	30,31
Standardabweichung	Probe40-80- (F)	12,83	4,98	15,94
Variationskoeffizient	Probe40-80- (F)	113,11	41,77	52,57
Ende Testdaten				



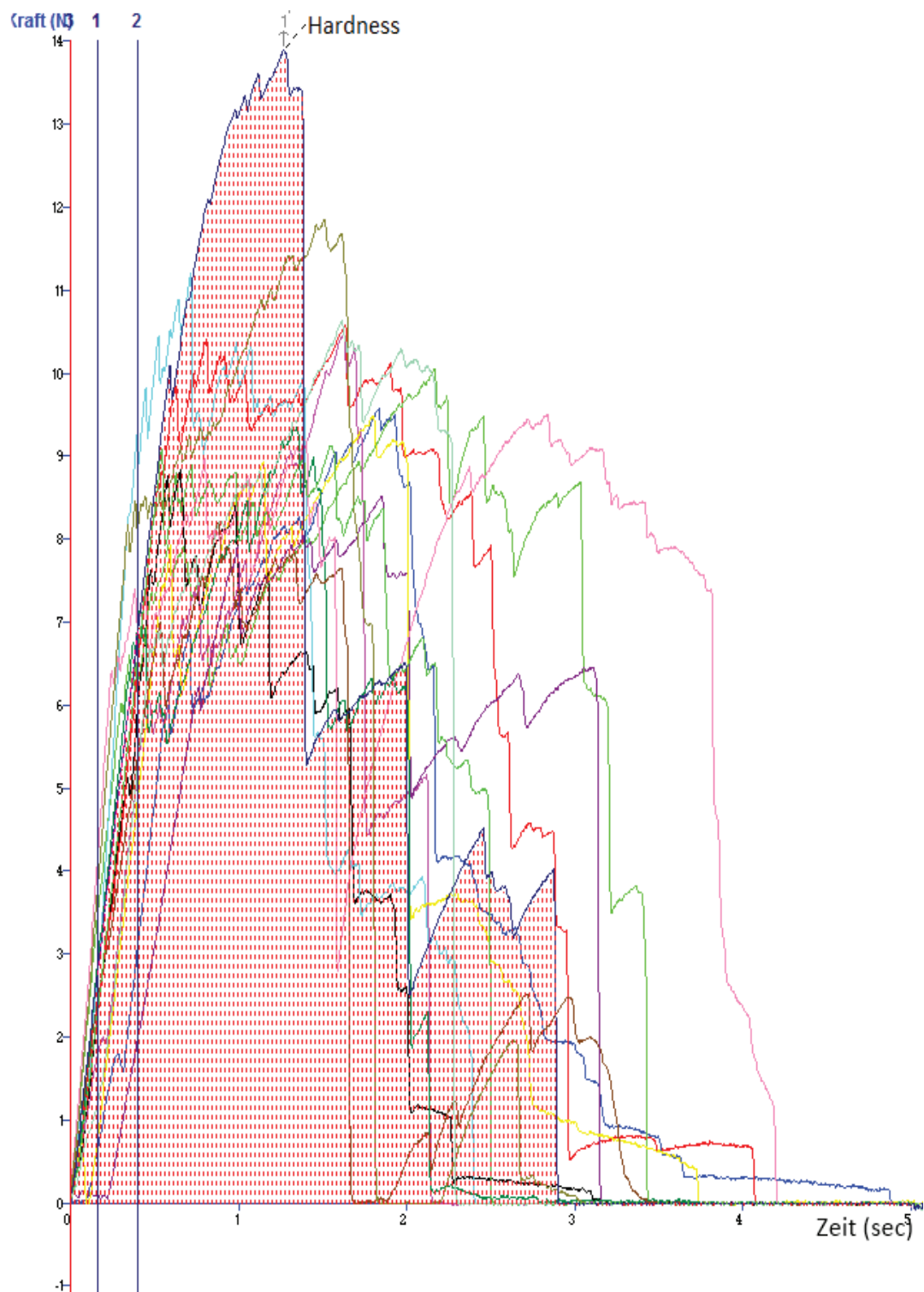
Anhang 4: Kraft-Zeit-Kurven nach 14 Tagen Lagerung



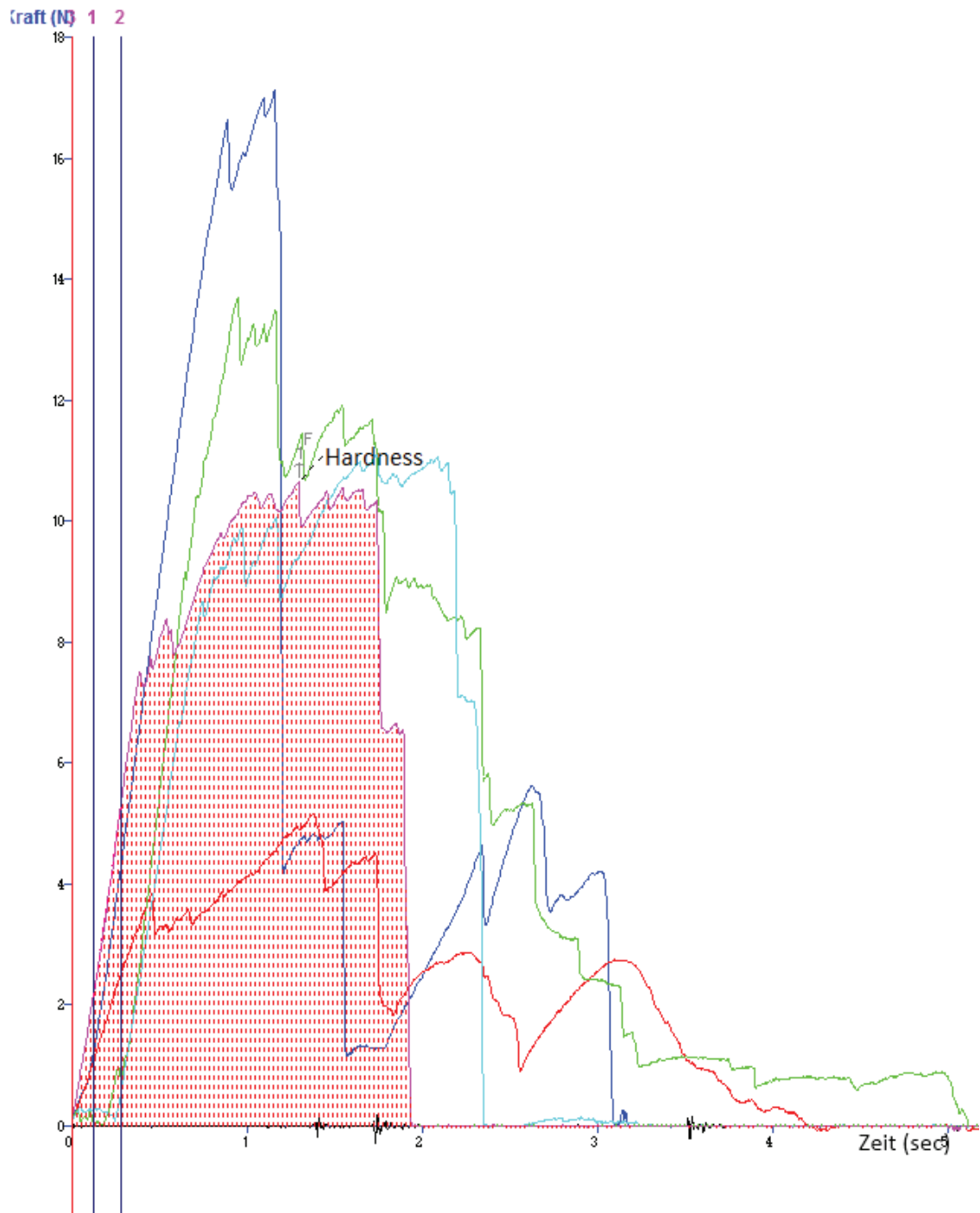
Anhang 5: Kraft-Zeit-Kurven nach 21 Tagen Lagerung bei 40 °C und 80 % rel. Luftfeuchte



Anhang 6: Kraft-Zeit-Kurve nach 7 Tagen Lagerung bei 40 °C und 50 % rel. Luftfeuchte



Anhang 7: Kraft-Zeit-Kurve nach 14 Tagen Lagerung bei 40 °C und 50 % rel. Luftfeuchte



Anhang 8: Kraft-Zeit-Kurve nach 21 Tagen Lagerung bei 40 °C und 50 % rel. Luftfeuchte