

# **DISSERTATION**

**Produktentwicklung von innovativen Lebensmitteln  
auf Basis einer alternativen Proteinquelle aus Basidiomyceten**

---

**Produktentwicklung von innovativen Lebensmitteln  
auf Basis einer alternativen Proteinquelle aus  
Basidiomyceten**

eingereicht durch  
Dipl. Lebensmittelchemiker  
**Alexander Stephan**

dem Fachbereich Biologie und Chemie  
der Justus-Liebig-Universität Gießen  
erstellt am  
Institut für Lebensmittelchemie und Lebensmittelbiotechnologie

zum Erlangen des akademischen Grades  
*Doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.)*

**Justus Liebig Universität Gießen**  
**Gießen, 2018**

---

Diese Arbeit wurde von der Fakultät für Biologie und Chemie der Justus-Liebig-Universität in Gießen als Dissertation angenommen und erfüllt die Anforderungen an den Dokortitel *Rerum Naturalium*.

Dekan: Prof. Dr. Jürgen Janek

Prüfungskommission: Prof. Dr. Holger Zorn  
Prof. Dr. Dr. Dieter Schrenk  
Prof. Dr. Martin Rühl  
Prof. Dr. Elmar Schlich

1. Gutachter: Prof. Dr. Holger Zorn

Institut für Lebensmittelchemie und Lebensmittelbiotechnologie, Justus-Liebig-Universität  
Gießen

2. Gutachter Prof. Dr. Dr. Dieter Schrenk

Institut für Lebensmittelchemie und Toxikologie, Technische Universität Kaiserslautern

---

*„Man merkt nie, was schon getan wurde, man sieht immer nur, was noch zu tun bleibt!“*

Marie Curie (1867-1934, frz.-polnische Universalgelehrte der Naturwissenschaften, Wissenschaftlerin, Nobelpreisträgerin)

*für meine Frau Susanne und unsere gemeinsame Zukunft*

Hiermit versichere ich, die vorgelegte Thesis selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt zu haben, die ich in der Thesis angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Thesis erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der ‚Satzung der Justus-Liebig-Universität zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis‘ niedergelegt sind, eingehalten. Gemäß § 25 Abs. 6 der Allgemeinen Bestimmungen für modularisierte Studiengänge dulde ich eine Überprüfung der Thesis mittels Anti-Plagiatssoftware.

Gießen, 2018

---

Alexander Stephan

Die vorliegende Arbeit wurde zwischen September 2014 und Juli 2018 unter der Leitung von Professor Dr. Holger Zorn am Institut für Lebensmittelchemie und Lebensmittelbiotechnologie der Justus-Liebig-Universität Gießen und der VAN HEES GmbH, Walluf, abgeschlossen. Diese These wurde durch die Hilfe und Unterstützung vieler Personen und Organisationen ermöglicht, die mir in vielerlei Hinsicht geholfen haben und denen ich hiermit großen Dank ausspreche.

Ich möchte **Professor Dr. Holger Zorn** meinen tiefsten Dank dafür aussprechen, dass er mir die wertvolle Gelegenheit gegeben hat, in seiner Forschungsgruppe zu arbeiten und die Forschung für diese Dissertation im Rahmen meiner täglichen Arbeit bei VAN HEES GmbH zu betreiben. Seine ausgezeichnete wissenschaftliche und kollegiale Unterstützung, sein tiefes Vertrauen, Ansichten die er mir durch perspektivische Änderung auf Probleme gegeben hat und seine kontinuierliche Ermutigung waren motivierend und ermöglichten es mir, den mit meinem Projekt verbundenen Herausforderungen gerecht zu werden und meine Forschung mit einem positiven Ergebnis abzuschließen. Während meiner Promotion bot er mir auch die wertvolle Gelegenheit, das Deutsche Forschungszentrum für Lebensmittelchemie am Leibniz-Institut in Freising zu besuchen. Diese Erfahrung hat meinen Horizont in Bezug auf die Backtechnologie erweitert und hat mich zu einem tieferen Verständnis der techno-funktionellen Eigenschaften der von mir untersuchten Basidiomycetenmyzelien geführt. Besonders die vielen Diskussionen über Produktionstechnologie, der Einfluss, den das Basidiomycetenmyzel auf die techno-funktionellen Eigenschaften hat, sowie der rege Austausch über die Anwendung des Myzels in verschiedenen Lebensmitteln sind inspirierend und äußerst spannend gewesen. Es war mir ein Privileg, meine Doktorarbeit unter der Aufsicht eines so herzlichen und engagierten Forschers zu führen, und ich freue mich auf zukünftige Projekte, die wir gemeinsam durchführen dürfen.

**Professor Dr. Dr. Dieter Schrenk** bin ich sehr dankbar für die Übernahme des Zweitgutachtens und möchte mich für die gute Zusammenarbeit im Projekt, sowie die schon im Studium ausgesprochenen Ratschläge ganz herzlich bedanken. Ich möchte auch Herrn **Professor Dr. Martin Rühl** und Herrn **Professor Dr. Elmar Schlich** bezüglich Teilnahme als Mitglieder meines Disputationsausschusses danken.

Vielen Dank an alle meine Kollegen am Institut für Lebensmittelchemie und Lebensmittelbiotechnologie. Sie waren nicht nur eine Quelle für gute Beratung und Kooperation, sondern haben auch eine Atmosphäre der gegenseitigen Unterstützung und des kritischen Austauschs geschaffen, die der Wissenschaft in jeder Situation förderlich gewesen

ist. Ohne die Unterstützung der Arbeitsgruppe wäre die Produktion von Basidiomycetenmyzelien (mein besonderer Dank geht an **Jenny Ahlborn** und **Martina Zajul**) nicht möglich gewesen und die Diskussionen sowie der Austausch über die sensorischen Eigenschaften von Basidiomycetenmyzelien (besonders mit **Tobias Trapp**, dem ich danke) wäre nie zustande gekommen. Ich danke Professor Dr. Martin Rühl und **Dr. Marco Fraatz** für ihre Ratschläge, Unterstützung und Zusprüche in der gesamten Zeit. Ihr profundes Wissen und ihre praktische Erfahrung haben mir geholfen, voranzukommen. Ich bin dankbar für ihre Bereitschaft, einen großen Teil ihrer Zeit und Energie darauf zu verwenden, das Projekt durch die verschiedenen Schritte zu führen.

Des Weiteren möchte ich dem **VAN HEES Team** für die tatkräftige Unterstützung während kritischer Phasen und Krisen während des Projekts danken und dafür danken, dass ich Zeit für die Arbeit an meiner Dissertation zur Verfügung gestellt wurde. Auch dem Sensorik Panel für die vielen Verkostungen, die wesentlich zur Produktentwicklung beigetragen haben, bin ich zu Dank verpflichtet. Ich bin auch dankbar für die Teilnahme an der IFFA 2016 und der dortig durchgeführten Verkostung. Besonders zu erwähnen sind **Petra Weingärtner**, **Rolf Häubler**, **Dr. Hirsemann** und das **QS Team** (Sebastian Reil, Carina Claus, Jerome Korn, Heike Fleck, Simon Heinke, Sandra Landgrebe, Klaus Fuchs, Dominik Laufer, Jessy Lebensky und Natalie Höcker), die mich in meinen experimentellen Studien unterstützt haben, und auch persönlich mein Leben in anstrengenden Situationen bereicherten. Ich möchte vor allem **Horst Brauer**, **Norbert Rolzhäuser**, **Eduard Puzer** und den **Mitgliedern der ethnic-Fast-Food-Gruppe** danken, deren technische und sensorische Unterstützung gerade die Applikation in Hackfleischspieße nach Döner Art sehr bereichert haben. Herzlichen Dank dafür!

Ich hatte das Vergnügen, mich mit **Burkhard Stoessel-Felsch** und dem **Team um Axel Kaltenbrunner** von Döhler über *Up scaling* und Trocknungsmöglichkeiten und mit **Dr. Jörg Kowalczyk** und **Dr. Alain Graf** von der Südzucker AG über die Möglichkeiten von weiteren Agrar – Nebenströme auszutauschen. Ich schätze diese Zeit und den Wissensaustausch, die Sie mir gegeben haben und habe großen Dank. Vielen Dank auch an den Projektpartner Quh-Lab, insbesondere an **Dr. Martin Frettlöh**. Durch unsere Zusammenarbeit konnte ich ein hohes Maß an Lebenserfahrung gewinnen, die sehr wertvoll für weitere Projekte ist.

Besonderer Dank gilt der ehemaligen und derzeitigen Geschäftsführung der Firma VAN HEES GmbH, insbesondere **Dr. hc. Jürgen Georg Hüniken**. Er war für mich immer Mentor und Unterstützer in meinem beruflichen Leben sowie der umfassenden Tätigkeiten innerhalb

des Projektes. Er erlaubte mir, mich um eine Projektförderung zu bewerben, ohne die meine These nicht möglich gewesen wäre. Seine Nachfolger, **Robert Becht** und **Frédéric Guet**, setzten die Unterstützung fort, die er mir geleistet hatte, und ich bin ihnen zutiefst verpflichtet auch hier ein herzliches Dankeschön auszusprechen. Ein weiterer großer Dank geht an die **Eigentümerfamilie** der VAN HEES Gruppe, dass Sie mir diese Möglichkeit gegeben haben. Ich danke dem **Land Hessen** für die finanzielle Förderung meiner Doktorarbeit, im Forschungsförderungsprojekt "Produktion von vegetarischen / veganen Lebensmitteln auf Basis von kokultiviertem Pilzprotein (Akronym: Pilzprotein)" (HA-Projekt Nr. 478 / 15-20) durch LOEWE (Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz, Förderlinie 3: KMU-Verbundvorhaben).

Last but not least danke ich meiner Familie, meiner **Mutter Renate** und meinen Geschwistern **Jennifer** und ihrem Ehemann **Sylvio** und **Philipp**. Ich danke auch meinen guten Freunden **Maximilian** und seiner Frau **Melanie**, **Nico** und seiner Frau **Michaela**, **Jennifer**, **Christiane** und ihrem Ehemann **Tim** und **Jonas** und seiner Frau **Yvonne** sowie meinen ehemaligen Lehrletern **Inge** und **Helmut** für ihre ständige Ermutigung und Beratung in vielen privaten und beruflichen Angelegenheiten.

Insbesondere möchte ich meiner Frau **Susanne** meine tief empfundene Dankbarkeit für ihre Liebe, Fürsorge, Toleranz und Unterstützung in allen Lebenslagen ausdrücken. Ihre Liebe, helfenden Worte, sensible und vernünftige Vorschläge gaben mir Ruhe, Gelassenheit und appellierten meistens, sich nochmals mit der vorliegenden Materie zu beschäftigen.

Ohne Dich Susanne wäre ich nicht das, was ich heute bin!

Die Gesamte Hilfe, die ich von den oben erwähnten Menschen erhielt, hat mich auch spirituell unterstützt. Ich werde die vielen Eindrücke, Gespräche und Ratschläge mein ganzes Leben mit mir tragen und hoffe sie auch im richtigen Moment wieder abzurufen.

Habt dafür großen Dank!



Angesichts der Prognose, dass wegen der steigenden Weltbevölkerung im Jahr 2050 ca. 70% mehr Makronährstoffe für die Humanernährung produziert werden müssen, führt zur Schlussfolgerung, dass mehr für den Menschen wichtiges Protein auf weniger Raum produziert werden muss. Die Ressourcen schonende Produktion von proteinreichem Myzel von Basidiomyceten (Ständerpilzen) durch Submerskultivierung auf engstem Raum kann hierbei in Zukunft eine Schlüsseltechnologie darstellen.

Die techno-funktionellen, toxikologischen und sensorischen Untersuchungen der kultivierten Basidiomycetenmyzelien dieser Arbeit hatte zum Ziel einen Rohstoff für den Einsatz im Lebensmittel zu etablieren der hohe Wasser- und Ölbindeigenschaften, gute Emulsionsstabilität, toxikologisch unbedenklich, eine helle Farbe mit geringem Eigengeruch hat. Es wurden die Myzelien von *Pleurotus sapidus* kultiviert mit Isomaltulosemelasse (PSA\_IM), auf Apfeltrester (PSA\_AP), auf Zwiebeltrester (PSA\_ZT), von *Lentinula edodes* kultiviert mit Karottentrester (LED\_CP) etabliert. Um die Eigenschaften der Basidiomycetenmyzelien sensorisch, rheologisch und techno-funktionell zu bewerten wurden drei verschiedene Lebensmittelsysteme ausgewählt, die dem Protein unterschiedliche Eigenschaften abverlangen: a) vegane Fleischanaloga (emulgierende und emulsionsstabilisierende Eigenschaften) b) glutenfreies Brot (elastische, fließfähige und stabilisierende Eigenschaften) und c) Bindungssystem in Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art (wasser-, ölbindende, stabilisierende und emulgierende Eigenschaften). In allen drei Lebensmittelsystemen konnte durch den Vergleich zu kommerziell verfügbaren Proteinen die Funktionalität der Basidiomycetenmyzelien bewertet und vergleichbare Ergebnisse erzielt werden. Es konnte ein veganer Brotbelag als Fleischanaloga mit PSA\_IM entwickelt werden, der auch in einem sensorischen Großversuch mit einem sehr guten Ergebnis bewertet wurde. Weiterhin konnte mit PSA\_IM glutenfreies Brot gebacken werden, dass vergleichbar mit glutenhaltigem Brot gewesen ist. Andere Basidiomycetenmyzelien wie PSA\_AP und LED\_CP zeigten gute Ergebnisse für die weitere Applikation in Vollkornbroten oder Pumpnickel. In der Applikation Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art konnte das Basidiomycetenmyzel LED\_CP überzeugen und ist in dieser Anwendung vergleichbar mit kommerziell verfügbaren Proteinen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass subkultiviertes Basidiomycetenmyzel eine techno-funktionelle alternative Proteinquelle für die Humanernährung für die Zukunft ist. Mit der weiteren Untersuchung des Einflusses Agrarnebenströme auf die technologischen

Eigenschaften, und der Optimierung des Spektrums der gebildeten geruchsaktiven Verbindungen, können die Einsatzbereiche im Lebensmittelsektor erweitert werden.

Due to the increasing world population, it is expected that the production of food calories needs to be increased by about 70% until 2050. This leads to the assumption that more protein needs to be produced in a space- and resource-saving manner to ensure adequate human nutrition. which could be achieved by the submerged cultivation of basidiomycetous mycelia. The aim of this study was the examination of techno-functional, toxicologic and sensory properties to establish a raw material that has a light colour and inconspicuous odour, high water- and oil-binding capacity, good emulsion stability and that is toxicologically uncritical. Mycelia of *Pleurotus sapidus* cultivated on isomaltose molasse (PSA\_IM), or apple pomace (PSA\_AP), or onion pomace (PSA\_ZT), and mycelia of *Lentinula edodes* cultivated on carrot pomace (LED\_CP) have been established. To investigate the sensory, rheological and techno-functional properties of the basidiomycetous mycelia, three different food systems have been selected that require different protein functionalities: a) vegan meat analogue (emulsifying and emulsion stabilizing properties), b) gluten free bread (elastic, flowable and stabilizing properties) and c) minced meat doner kebab (water- and oil-binding, stabilizing and emulsifying properties).

The protein functionality of basidiomycetous mycelia was assessed in all three food systems and was comparable to commercial proteins. With PSA\_IM, a vegan boiled sausage system as meat analogue was established that could convince in a large-scale sensory testing. In addition, a gluten-free bread was produced with PSA\_IM that showed similar properties as bread containing native gluten.

Other basidiomycetes like PSA\_AP und LED\_CP showed good results for the application in whole-grain bread or pumpernickel. LED\_CP showed good results in the minced meat doner kebab application and was comparable to other commercial proteins.

In conclusion, the submerge cultivated mycelia of basidiomycetes is a techno-functional protein source that can be an alternative to support human nutrition in future. Further investigations on the effect of the used agriculture side stream and optimization of the spectrum of odour active components built in the mycelia can further enlarge the range of possible food applications.

**Autor**

Stephan, A., et al. "Edible mushroom mycelia of *Pleurotus sapidus* as novel protein sources in a vegan boiled sausage analog system: functionality and sensory tests in comparison to commercial proteins and meat sausages." *European Food Research and Technology* (2018): 244: 913.

**Co-Autor**

Trapp, T., Zajul, M., Ahlborn, J., Stephan, A.; Zorn, H.; Fraatz, M. (2016). Submerged Cultivation of *Pleurotus sapidus* with Molasses: Aroma Dilution Analyses by Means of Solid Phase Microextraction and Stir Bar Sorptive Extraction

**Vorträge**

Stephan A., Zajul, M., Ahlborn, J., Frettlöh, M., Zorn, H. (2016). Herstellung einer alternativen Proteinquelle durch Submerskultivierung von Basidiomyceten auf industriellen Nebenströmen als Nahrungsmittelrohstoff mit technofunktionellen Applikationen im veganen Modellsystem. Regionaltagung der lebensmittelchemischen Gesellschaft Südwest, 9.3.2016 Freiburg, Germany.

Stephan, A., Zajul, M., Ahlborn, J., Trapp, T., Zorn, H. (2016). Herstellung einer alternativen Proteinquelle durch Submerskultivierung von Basidiomyceten auf industriellen Nebenströmen als Nahrungsmittelrohstoff mit anschließenden lebensmitteltechnologischen Applikationen in veganen Modellsystemen. GDL – Kongress der Gesellschaft deutscher Lebensmitteltechnologien, 21.10.2016 Lemgo, Germany.

Stephan, A., Ahlborn, J., Zajul, M., Zorn, H. (2017). Herstellung von Drehspießen nach Döner Art mit Basidiomycetenmyzel als Bindungssystem im Vergleich zu kommerziellen Proteinen. Regionaltagung der lebensmittelchemischen Gesellschaft Südwest, 8.3.2016 Sigmaringen, Germany.

Stephan, A., Ahlborn, J., Zajul, M., Trapp, T., Köhler, P., Zorn, H., (2017). Herstellung einer alternativen Proteinquelle auf Basis von Basidiomyceten und technofunktionelle Applikation in glutenfreiem Brot. *Lebensmittelchemie*, 72, 5. 46. Deutscher Lebensmittelchemikertag, 25.-27.09.2016 Würzburg, Germany.

**Poster**

Stephan, A., Zajul, M., Ahlborn, J., Frettlöh, M., Zorn, H. (2016). Herstellung einer alternativen Proteinquelle durch Submerskultivierung von Basidiomyceten auf industriellen Nebenströmen als Rohstoff für vegane Lebensmittel. Lebensmittelchemie, 70, 159. Poster am 45. Deutschen Lebensmittelchemikertag, 12. - 14.09.2016 Freising Weihenstephan, Deutschland.

Stephan, A., Ahlborn, J., Zajul, M., Zorn, H. (2017). Mycelia of *Pleurotus sapidus* and *Lentinula edodes* as functional raw materials in comparison to commercial proteins in a minced meat doner kebab system. Poster on ICoMST, 14.8.2017 Corck, Ireland Nurturing Locally, Growing Globally: 554.

**Co-Autor Poster:**

Trapp, T., Zajul, A., Ahlborn, J., Stephan, A., Frettlöh, M., Fraatz, M.A., Zorn, H., (2016). Development of Alternative Protein Sources based on Submerged Cultivation of Basidiomycetes on Industrial Side-streams: Analysis of Aroma Profiles and Biotransformations. Poster am 45. Deutschen Lebensmittelchemikertag, 12. - 14.09.2016 Freising Weihenstephan, Deutschland.

Trapp, T., Zajul, A., Ahlborn, J., Stephan, A., Frettlöh, M., Fraatz, M.A., Zorn, H., (2016). Development of a Meat-substitute based on Biotransformation of Industrial Sidestreams by Basidiomycetes: Investigation of Aroma Profiles. Poster am 11. Wartburg Symposium für Flavor Biology and Chemistry, Eisenach, 21.-24.06.2016

---

%	Prozent
$\dot{\gamma}$	Scherrate [ $s^{-1}$ ]
°C	Grad Celsius
$\mu m$	Mikrometer
AACC	American Assosiation of Cereal Chemists
AAE	<i>Agrocybe aegerita</i> (Südlicher Ackerling)
Abb.	Abbildung
ANOVA	Varianzanalyse
AP	Apfeltrester
$a_w$	Wasseraktivität
BS	Blattspinat
bzw.	beziehungsweise
bzw.	beziehungsweise
CIE	Commision international de l'Éclairage (Internationale Belichtungskommission)
$cm^2$	Quadratcentimeter
CMC	Carboxymethylcellulose
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
CP	Karottentrester
dest.	destilliertes Wasser
<i>et al.</i>	<i>et altera</i>
etc.	<i>et cetera</i> (und die übrigen)
EWP	Hühnereialbumin (getrocknet)
FAO	Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen
g	gram
$g$	Newtonsche Gravitationskonstante
$G'$	Speichermodul [Pa]
$G''$	Verlustmodul [Pa]
GA	Granatapfeltrester
Gl.	Gleichung
GLU	Gluten
h	Messspalt [m]
h	Stunde

---

H <sub>2</sub> O	Wasser
HCl	Salzsäure
HPMC	Hydroxypropylmethylcellulose
IM	Isomaltulosemelasse
inkl.	inklusive
J	Joule
JLU	Justus Liebig Universität Gießen
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	Dikaliumhydrogenphosphat
KCl	Kaliumchlorid
kg	kilo Gramm
KON	Kontrolle
L	Liter
LED	<i>Lentinula edodes</i> (Shiitake)
LED_CP	<i>Lentinula edodes</i> submers kultiviert mit Karottentrestern
LSE	<i>Large scale experiment</i> (Technikumsmaßstab)
LSU	<i>Laetiporus sulphureus</i> (Gemeiner Schwefelporling)
m	Meter
M	molar
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
mbar	Millibar
mg	Milligramm
min.	Minute
mind.	mindestens
mL	Milli-Liter
mm <sup>2</sup>	Quadratmillimeter
mPas	Millipascal
N	Newton
n	Wiederholung
N <sub>2</sub>	Stichstoff
NaCl	Natriumchlorid
NaOH	Natriumhydroxid
ÖBK	Ölbindekapazität
p	Signifikanzniveau

---

Pa	Pascal
pH	<i>pondus hydrogenii</i> (negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionen-Aktivität)
POPI	Kartoffelproteinisolat
PPI	Erbsenproteinkonzentrat
PSA	<i>Pleurotus sapidus</i> (Seitling Subspezies <i>sapidus</i> )
PSA_AP	<i>Pleurotus sapidus</i> submers kultiviert mit Apfeltrebern
PSA_IM	<i>Pleurotus sapidus</i> submers kultiviert mit Isomaltulosemelasse
PSA_ZT	<i>Pleurotus sapidus</i> submers kultiviert mit Zwiebeltrebern
RFU	<i>relative fluorescence units</i> (relative Fluoreszenz)
RH	<i>relative humidity</i> (relative Gleichgewichtsfeuchte)
RM	Zuckerrübenmelasse
rpm	<i>round per minute</i> (Umdrehungen pro Minute)
RT	Raumtemperatur
S9-Mix	Enzymquelle aus dem Überstand (Supernatant) nach 10min bei 9000g Zentrifugation
SBK	Sonnenblumenproteinkonzentrat
SD	<i>Standard deviation</i> (Standardabweichung)
sec.	Sekunde
SPC	Sojaproteinkonzentrat
SPI	Sojaproteinisolat
SRU	<i>Stropharia rugosoannulata</i> (Riesen Träuschling)
SSE	<i>Small scale experiment</i> (Labormaßstab)
Tab.	Tabelle
tan $\delta$	Verlustfaktor
TM	Trade mark (Schutzmarke)
TS	Trockensubstanz
TU KL	Technische Universität Kaiserslautern
U	Umdrehungen
UV	Ultraviolett
v	Schergeschwindigkeit [ $\text{m s}^{-1}$ ]
VEG	vegetarische Rezeptur
Vol%	Volumenprozent (v/v)
WBK	Wasserbindekapazität

WCO	<i>Wolfiporia cocos</i> (Kiefernschwamm)
WDT	Wurstrezeptur deutsch
WRU	Wurstrezeptur russisch
z.B.	zum Beispiel
ZT	Zwiebeltrester
$\eta$	Viskosität [Pa s]
$\tau$	Schubspannung [Pa]



# Inhaltsverzeichnis

---

<b>Versicherung an Eides statt</b> .....	<b>I</b>
<b>Danksagung</b> .....	<b>II</b>
<b>Zusammenfassung / Abstract</b> .....	<b>III</b>
<b>Publikationsliste</b> .....	<b>IV</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>V</b>

---

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Motivation, Stand der Technik und Marktausblick .....	2
1.2 Bedeutung der alternativen Proteinquelle Basidiomycetenmyzel für die Lebensmittelindustrie .....	5
1.2.1 Basidiomyceten und Gewinnung des Basidiomycetenmyzels durch Submerskultivierung als Rohstoff für die Produktentwicklung.....	5
1.3 Selektion von Lebensmittelsystemen für die Produktentwicklung .....	8
1.3.1 Vegane Wurstanaloga .....	9
1.3.2 Glutenfreies Brot .....	9
1.3.3 Bindsystem für Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art .....	10
1.4 Sensorische Untersuchungen von Lebensmitteln .....	11
1.5 Rheologische Untersuchungen von Lebensmitteln .....	12
1.5.1 Oszillierendes Scherrheometer .....	12
1.5.2 Texturanalyse von Lebensmitteln .....	15
1.6 Zielsetzung.....	17
<b>2 Materialien und Methoden</b> .....	<b>18</b>
2.1 Chemikalien und eingesetzte Lebensmittelzutaten.....	18
2.2 Geräte.....	20
2.3 Verwendete Basidiomycetenmyzelien .....	21
2.3.1 Techno-funktionelle Untersuchungen .....	21
2.3.1.1 Wasserbindekapazität .....	21
2.3.1.2 Ölbindekapazität .....	22
2.3.2 Sensorische Untersuchung der Basidiomycetenmyzelien.....	23
2.3.2.1 Schulung des Sensorik-Panels .....	23
2.3.2.2 Beurteilung der Basidiomycetenmyzelien .....	25
2.3.3 Toxikologische Untersuchungen ausgewählter Basidiomyceten .....	26
2.3.3.1 Simulation der menschlichen Verdauung.....	26
2.3.3.2 Resazurin-Reduktions-Assay.....	27

# Inhaltsverzeichnis

---

2.3.3.3	Test auf Mutagenität im Ames-Fluktuationstest .....	27
2.4	Herstellungsmethoden in der Produktentwicklung.....	29
2.4.1	Vegane Wurstanaloga .....	29
2.4.1.1	Wurstrezepturen und Rezepturen des veganen Brühwurstsystems .....	29
2.4.1.1.1	Deutsche Brühwurst.....	29
2.4.1.1.2	Russische Brühwurst.....	29
2.4.1.1.3	Rezeptur der veganen Systeme .....	29
2.4.1.2	Herstellung der Fleischprodukte (russische und deutsche Brühwurst) im Pilotmaßstab .....	30
2.4.1.3	Produktion der veganen und vegetarischen Wurstanaloga im Pilotmaßstab..	30
2.4.1.4	Herstellung des veganen Brotbelags im großtechnischen Maßstab .....	31
2.4.1.5	Erhitzungsprozess .....	32
2.4.2	Glutenfreies Brot .....	32
2.4.2.1	Rezeptur und Mehlmischung.....	32
2.4.2.2	Brotherstellung .....	33
2.4.3	Bindesystem für Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art.....	33
2.4.3.1	Rezeptur und Fleischauswahl .....	33
2.4.3.2	Herstellung von Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art.....	35
2.4.3.3	Grillen.....	35
2.5	Analytische Methoden.....	36
2.5.1	Trockenmasse (indirekte Wasserbestimmung) .....	36
2.5.2	Aschegehalt .....	36
2.5.3	Wasseraktivität .....	36
2.5.4	pH-Wert.....	37
2.5.5	Farbmessung.....	37
2.5.6	Volumenmessung von Backwaren .....	38
2.6	Messung der techno-funktionellen Eigenschaften.....	39
2.6.1	Rheologische Untersuchungen roher Lebensmittelsysteme.....	39
2.6.1.1	Klebrigkeitsmessung mittels instrumenteller Texturanalyse.....	39
2.6.1.1.1	Glutenfreie Teige .....	39
2.6.1.1.2	Rohe Hackfleischmasse zur Herstellung von Drehspießen .....	39
2.6.1.2	Kriecherholung und Schwingungsrheologie mittels oszillierendem Scherrheometer.....	40
2.6.2	Rheologische Untersuchung erhitzter Lebensmittelsysteme.....	40
2.6.2.1	Textur-Profil-Analyse.....	40

# Inhaltsverzeichnis

---

2.6.2.1.1	Vegane Wurstanaloga .....	41
2.6.2.1.2	Glutenfreies Brot.....	41
2.6.2.1.3	Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art.....	41
2.7	Sensorische Untersuchungen der Lebensmittel .....	42
2.7.1	Panelauswahl und Schulung für Lebensmittel .....	42
2.7.2	Haptische Untersuchung der Steckbarkeit von rohem Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art.....	43
2.7.3	Sensorische Untersuchung von Lebensmittelsystemen.....	43
2.7.3.1	Wurstanaloga .....	43
2.7.3.1.1	Beschreibende Sensorik .....	43
2.7.3.1.2	Sensorischer Akzeptanztest.....	43
2.7.3.2	Glutenfreies Brot .....	45
2.7.3.3	Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art .....	45
2.7.3.3.1	Sensorische Beurteilung während des Grillens.....	45
2.7.3.3.2	Sensorische Beurteilung der gegrillten Hackfleischspieße.....	45
2.8	Statistische Auswertungen.....	46
<b>3</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion.....</b>	<b>47</b>
3.1	Basidiomycetenmyzelien.....	47
3.1.1	Techno-funktionelle Untersuchungen .....	47
3.1.1.1	Wasserbindekapazität .....	47
3.1.1.2	Ölbindekapazität.....	48
3.1.2	Sensorische Untersuchungen.....	49
3.1.3	Toxikologische Untersuchungen.....	54
3.1.3.1	Resazurin-Reduktions-Assay.....	54
3.1.3.2	Test auf Mutagenität im Ames-Fluktuationstest .....	57
3.2	Vegane Fleischanaloga .....	60
3.2.1	Sensorische Untersuchungen.....	60
3.2.1.1	Beschreibende Sensorik.....	60
3.2.1.2	Sensorischer Akzeptanztest .....	61
3.2.2	Analytische und rheologische Untersuchungen .....	62
3.2.2.1	Wasseraktivität ( $a_w$ ).....	62
3.2.2.2	pH-Wert.....	62
3.2.2.3	Trockenmasse (indirekte Wasserbestimmung).....	63
3.2.2.4	Aschegehalt .....	64
3.2.2.5	Farbmessung .....	65

# Inhaltsverzeichnis

---

3.2.2.6	Textur-Profil-Analyse.....	67
3.3	Glutenfreies Brot .....	73
3.3.1	Sensorische Untersuchungen der gebackenen Brote aus Technikumsversuchen .. .....	73
3.3.2	Volumenbestimmung der gebackenen Brote .....	77
3.3.2.1	Volumenbestimmung der Produkte aus den Laborversuchen .....	77
3.3.2.2	Volumenbestimmung der Produkte aus den Technikumsversuchen .....	78
3.3.2.3	Vergleich beider Ansatzgrößen .....	78
3.3.3	Rheologische Untersuchungen der Teige.....	81
3.3.3.1	Klebrigkeit von Teigen aus den Technikumsversuchen.....	81
3.3.3.2	Kriecherholung und <i>Frequenz-Sweep</i> oszillierende Untersuchungen von Teigen aus den Laborversuchen .....	82
3.3.4	Rheologische Untersuchungen der gebackenen Brote .....	84
3.3.4.1	Textur-Profil-Analyse der Produkte aus den Laborversuchen .....	84
3.3.4.2	Textur-Profil-Analyse der Produkte aus den Technikumsversuchen .....	84
3.3.4.3	Vergleich der Proben aus dem Laborversuch mit den Technikumsversuchen	85
3.4	Bindesystem für Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art .....	87
3.4.1	Haptische Untersuchung der Steckbarkeit von rohem Hackdöner zu Dönerspießen .....	87
3.4.2	Sensorische Beurteilung der gegrillten Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art während des Grillens und Schneidens .....	88
3.4.3	Sensorische Untersuchungen der gegrillten Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art.....	93
3.4.4	Analytische Untersuchungen der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art....	94
3.4.4.1	Farbmessung der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art .....	97
3.4.5	Rheologische Untersuchungen der Massen roh und gegrillt der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art.....	99
3.4.5.1	Klebrigkeit der rohen Massen der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art	99
3.4.5.2	Textur Profil Analyse der gegrillten Massen von Hackfleischspießen nach Döner Kebab Art in Aluformen.....	100
<b>4</b>	<b>Fazit aus den einzelnen Abschnitten .....</b>	<b>103</b>
4.1	Auswahl der Basidiomycetenmyzelien .....	103
4.2	Vegane Wurstanaloga.....	104
4.3	Glutenfreies Brot .....	105
4.4	Bindesystem für Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art .....	107
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen und Ausblick.....</b>	<b>109</b>

## **Inhaltsverzeichnis**

---

<b>6</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>114</b>
<b>7</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>129</b>
7.1	pH und $a_w$ -Werte der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art.....	129
7.2	Bilder der technologischen Herstellungsschritte .....	130
7.2.1	Vegane Wurstanaloga .....	130
7.2.2	Glutenfreies Brot .....	131
7.2.3	Bindesystem für Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art.....	132

# Abbildungen-, Tabellen- und Gleichungsverzeichnis

---

## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1.** Schematische Abfolge der Submerskultivierung von Basidiomyceten.....6
- Abb. 2.** Herstellung der Vorkultur: Von links: Kultivierung von *Pleurotus sapidus* auf 2% Malz-Extrakt-Agarplatten; 2%ige Malzextraktlösung für die Vorkultur; mit Myzel des *Pleurotus sapidus* bewachsene Malzextraktlösung der Vorkultur.....6
- Abb. 3.** Herstellung des lyophilisierten Myzels aus der Hauptkultur von *Pleurotus sapidus* auf Isomaltulosemelasse: Von links: mit Myzel bewachsene Hauptkultur mit Isomaltulosemelasse als Agrarnebenstrom; von der Nährlösung abgetrennte Biomasse (Myzel); lyophilisiertes Myzel.....7
- Abb. 4.** Schematische Darstellung verschiedener Messgeometrien: Von links: Kegel-Platte, Platte-Platte, koaxiale Zylinder modifiziert nach [130].....13
- Abb. 5.** Schematische Darstellung rheologischer Methoden: Links: Dehnungs-Zeit-Diagramm des Kriecherholungstests; rechts: Viskositäts-Dehnungs-Diagramm des Frequenz-Sweep Oszillationstests ( $G'$ : Speichermodul; dies steht für den elastischen Anteil der Probe;  $G''$ : Verlustmodul; dies steht für den viskosen Anteil der Probe; Verlustfaktor  $\tan \delta$  als Quotient von  $G'$  und  $G''$ ) modifiziert nach [133,134].....14
- Abb. 6.** Schematische Darstellung einer TPA modifiziert nach [140]. .....15
- Abb. 7.** Aufbau der Schulung von Attributen im Zuordnungstest. Proben mit Referenzmaterialien (links) müssen den entsprechenden Attributen (rechts) zugeordnet werden.....24
- Abb. 8.** Aufbau der Schulung von Attributen im Rangfolgetest. Proben mit Referenzmaterialien (links) müssen für jedes Attribut in der Rangfolge nach Konzentration (rechts) geordnet werden.....25
- Abb. 9.** Aufbau einer beschreibenden sensorischen Analyse (Verkostung mit Attributen) von Basidiomycetenmyzel. Standards der zu bewertenden Attribute standen während der Verkostung zur Verfügung (oben). Jede Probe der Basidiomycetenmyzelien wurde auf einer unipolaren Kategorienskala (0-9) für jedes Attribut bewertet (unten). .....26
- Abb. 10.** CIE  $L^*a^*b^*$ -Farbraum modifiziert nach [158]: Der  $L^*a^*b^*$ -Farbraum enthält alle wahrnehmbaren Farben. Der Farbraum ist auf Grundlage der Gegenfarbentheorie konstruiert und geräteunabhängig. Das bedeutet, dass die Farben unabhängig nach DIN 6174 von der Art ihrer Erzeugung und Wiedergabetechnik definiert werden.38

## Abbildungen-, Tabellen- und Gleichungsverzeichnis

- Abb. 11.** Fragebogen für die Verkostung des veganen Brotbelags mit PSA\_IM zur Bewertung der Akzeptanz auf der IFFA 2016. Abgefragt wurden Daten zur Person (Beruf, Geschlecht und Alter). Zur Bewertung der Akzeptanz wurden die Attribute Farbe, Geschmack, Geruch, Mundgefühl und Festigkeit/Biss abgefragt und jeweils auf einer 5-Punkte-Scala bewertet (gefällt, akzeptiert, weder gefällt noch missfällt (entspricht einer neutralen Bewertung), nicht akzeptabel, ablehnend).....**44**
- Abb. 12.** Deskriptive sensorische Beurteilung des Myzels von PSA\_IM (n=12). Ergebnisse aus Bewertungen vom Myzel im wässrigen System (blau) und in der Öl-Wasser-Emulsion (orange). Bewertet wurden die Intensitäten der Attribute hefig, nach Apfel, fenchelartig, nach Cerealien, süß, bitter, krautartig und pilzartig. ....**51**
- Abb. 13.** Deskriptive sensorische Beurteilung des Myzels PSA\_AP (n=12). Ergebnisse aus Bewertungen vom Myzel im wässrigen System (blau) und in der Öl-Wasser-Emulsion (orange). Bewertet wurden die Intensitäten der Attribute nach Ingwer, nach Apfel, fenchelartig, nach Cerealien, süß, bitter, krautartig und pilzartig.....**52**
- Abb. 14.** Deskriptive sensorische Beurteilung des Myzels PSA\_ZT (n=12). Ergebnisse aus Bewertungen vom Myzel im wässrigen System (blau) und in der Öl-Wasser-Emulsion (orange). Bewertet wurden die Intensitäten der Attribute nach Ingwer, nach Apfel, fenchelartig, nach Cerealien, süß, bitter, krautartig und pilzartig.....**53**
- Abb. 15.** Deskriptive sensorische Beurteilung des Myzels von LED\_CP (n=12). Ergebnisse aus Bewertungen vom Myzel im wässrigen System (blau) und in der Öl-Wasser-Emulsion (orange). Bewertet wurden die Intensitäten der Attribute nach Ingwer, nach Apfel, fenchelartig, nach Cerealien, süß, bitter, krautartig und pilzartig.....**54**
- Abb. 16.** Resazurin-Test nach Behandlung von Rattenhepatozyten mit PSA\_IM-I (n = 3). Die ANOVA-Analyse zum Vergleich der Mittelwerte, verbunden mit dem Dunnett-Test erbrachte keine signifikanten Unterschiede der Probe im Vergleich mit der Medienkontrolle. \* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$ .....**55**
- Abb. 17.** Resazurin-Test nach Behandlung von Rattenhepatozyten mit PSA\_IM-II (n = 3). Die ANOVA-Analyse zum Vergleich der Mittelwerte, mit dem Dunnett-Test wurden die Signifikanzen in Bezug auf die jeweilige Medienkontrolle angegeben und sind wie folgt definiert: \* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$ .....**56**
- Abb. 18.** Resazurin-Test nach Behandlung von Rattenhepatozyten mit LED\_CP-I (n = 3). Die ANOVA-Analyse zum Vergleich der Mittelwerte, mit dem Dunnett-Test

## Abbildungen-, Tabellen- und Gleichungsverzeichnis

---

- wurden die Signifikanzen in Bezug auf die jeweilige Medienkontrolle angegeben und sind wie folgt definiert: \* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$ .....56
- Abb. 19.** Resazurin-Test nach Behandlung von Rattenhepatozyten mit LED\_CP-II (n = 3). Die ANOVA-Analyse zum Vergleich der Mittelwerte; mit dem Dunnett-Test wurden die Signifikanzen in Bezug auf die jeweilige Medienkontrolle angegeben und sind wie folgt definiert: \* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$ .....57
- Abb. 20.** Ames-Fluktuationstest mit TA98 ohne S9-Mix (n = 3). Die ANOVA-Analyse zum Vergleich der Mittelwerte, mit dem Dunnett-Test wurden die Signifikanzen in Bezug auf die Negativkontrolle (NK) angegeben und sind wie folgt definiert: \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ . PK: 4-Nitro-o-phenylendiamin (4-NOPD) 20  $\mu\text{g mL}^{-1}$ . .....58
- Abb. 21.** Ames-Fluktuationstest mit TA98 mit S9-Mix (n = 3). Die ANOVA-Analyse zum Vergleich der Mittelwerte, mit dem Dunnett-Test wurden die Signifikanzen in Bezug auf die Negativkontrolle (NK) angegeben und sind wie folgt definiert: \*\* =  $p < 0,01$ . PK: 2-Aminoanthracen (2-AA) 0,1  $\mu\text{g mL}^{-1}$ .....58
- Abb. 22.** Ames-Fluktuationstest mit TA100 ohne S9-Mix (n = 3). Die ANOVA-Analyse zum Vergleich der Mittelwerte, mit dem Dunnett-Test wurden die Signifikanzen in Bezug auf die Negativkontrolle (NK) angegeben und sind wie folgt definiert: \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ . PK: Nitrofurantoin 0,25  $\mu\text{g mL}^{-1}$ .....59
- Abb. 23.** Ames-Fluktuationstest mit TA100 mit S9-Mix (n = 3). Die ANOVA-Analyse zum Vergleich der Mittelwerte, mit dem Dunnett-Test wurden die Signifikanzen in Bezug auf die Negativkontrolle (NK) angegeben und sind wie folgt definiert: \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ . PK: 2-Aminoanthracen (2-AA) 0,5  $\mu\text{g mL}^{-1}$ . .....59
- Abb. 24.** Ergebnisse des sensorischen Akzeptanztests mit 330 Probanden auf der IFFA 2016. Bewertet wurden die Attribute Festigkeit/Biss, Mundgefühl, Geruch, Geschmack und Farbe. Angegeben sind die bei der Verkostung erzielten Prozentpunkte für die Kriterien gefällt, akzeptiert, weder gefällt noch missfällt (entspricht einer neutralen Bewertung), nicht akzeptiert und abgelehnt. ....61
- Abb. 25.** Fotografien der verschiedenen Brotkrumen aus den Technikumsversuchen (LSE). KON: Kontrolle; EPI, Erbsenproteinisolat; SPK, Sojaproteinkonzentrat; GLU, Gluten; PSA\_IM, *Pleurotus sapidus* kultiviert mit Isomaltulosemelasse; PSA\_AP, *Pleurotus sapidus* kultiviert mit Apfeltrester; LED\_CP, *Lentinula edodes* kultiviert mit Karottentrester. ....76



## **Abbildungen-, Tabellen- und Gleichungsverzeichnis**

---

<b>Abb. 26.</b> Schematische Darstellung der Produktion von veganen Wurstanaloga. ....	<b>130</b>
<b>Abb. 27.</b> Schematische Darstellung der Produktion von glutenfreiem Brot im Labormaßstab. .....	<b>131</b>
<b>Abb. 28.</b> Schematische Darstellung der Produktion von Hackfleischspießen nach Döner Kebab Art.....	<b>132</b>

### **Tabellenverzeichnis**

<b>Tabelle 1</b> Beispiele für Proteinfunktionalitäten in verschiedenen Lebensmitteln sowie die dazugehörigen techno-funktionellen Mechanismen [26-33].....	<b>2</b>
<b>Tabelle 2</b> Liste der verwendeten Chemikalien und Lebensmittelzutaten.....	<b>18</b>
<b>Tabelle 3</b> Liste der verwendeten Geräte.....	<b>20</b>
<b>Tabelle 4</b> Liste der eingesetzten Basidiomycetenmyzelien.....	<b>21</b>
<b>Tabelle 5</b> Attribute, Referenzmaterialien und ihre eingesetzte Konzentration für die erste Sensorik-Sitzung .....	<b>24</b>
<b>Tabelle 6</b> Konzentrationen der Referenzmaterialien im Reihenfolgetest zur Sensorik Schulung.....	<b>25</b>
<b>Tabelle 7</b> Inhaltsstoffe der eingesetzten Proteinquellen (glutenfreies Brot).....	<b>33</b>
<b>Tabelle 8</b> Wasserbindekapazität der untersuchten Basidiomycetenmyzelien.....	<b>47</b>
<b>Tabelle 9</b> Wasserbindekapazität von kommerziell verfügbaren pflanzlichen Proteinen ...	<b>48</b>
<b>Tabelle 10</b> Ölbindekapazität der untersuchten Basidiomycetenmyzelien.....	<b>48</b>
<b>Tabelle 11</b> Ölbindekapazität von kommerziell verfügbaren pflanzlichen Proteinen .....	<b>49</b>
<b>Tabelle 12</b> Sensorische Ergebnisse der untersuchten Basidiomycetenmyzelien (durchgeführt mit 3 ausgebildeten Sensorikern) .....	<b>50</b>
<b>Tabelle 13</b> Ergebnisse der beschreibenden Sensorik der Attribute Geruch/ Geschmack und Textur. Mittelwerte und Standardabweichung der Bewertung auf einer hedonischen 9-Punkte Kategorienskala (9 = gefällt außerordentlich bis 1 = missfällt außerordentlich). Produkte wurden direkt nach der Herstellung sowie nach 4 Wochen Lagerung bei 2 °C beurteilt. Der Prozentsatz der Teilnehmer, die die getestete Eigenschaft zwischen 6 und 9 bewertet haben, ist in Klammern angegeben.....	<b>60</b>
<b>Tabelle 14</b> Wasseraktivität (aw) der hergestellten Proben direkt nach der Produktion und nach 4-wöchiger Lagerung (n = 3) .....	<b>62</b>

## **Abbildungen-, Tabellen- und Gleichungsverzeichnis**

---

<b>Tabelle 15</b> pH-Werte der Proben, gemessen unmittelbar nach der Herstellung und nach 4-wöchiger Lagerung bei 2 °C (n = 3).....	<b>63</b>
<b>Tabelle 16</b> Wassergehalt [%] der hergestellten Proben, gemessen nach 4-wöchiger Lagerung bei 2 °C (n = 3).....	<b>64</b>
<b>Tabelle 17</b> Aschegehalt [%] der hergestellten Proben, gemessen nach 4-wöchiger Lagerung bei 2 °C (n = 3) .....	<b>64</b>
<b>Tabelle 18</b> Farbmessung (CIE L*a*b*-Farbraum), gemessen unmittelbar nach der Herstellung und nach 4 Wochen Lagerung bei 2 °C (n = 4) .....	<b>66</b>
<b>Tabelle 19</b> Härte der mittels Textur-Profil-Analyse vermessen Produkte, gemessen nach der Produktion und nach 4 wöchiger Lagerung bei 2 °C (n = 8). Signifikanzniveau $p < 0,05$ .....	<b>67</b>
<b>Tabelle 20</b> Sprödigkeit der Produkte, gemessen mittels Textur-Profil-Analyse nach der Produktion und nach 4 wöchiger Lagerung bei 2 °C (n = 8). Signifikanzniveau $p < 0,05$ .....	<b>68</b>
<b>Tabelle 21</b> Adhäsion der Produkte, gemessen mittels Textur-Profil-Analyse nach der Produktion und nach 4 wöchiger Lagerung bei 2 °C (n = 8). Signifikanzniveau $p < 0,05$ .....	<b>69</b>
<b>Tabelle 22</b> Elastizität der Produkte, gemessen mittels Textur-Profil-Analyse nach der Produktion und nach 4 wöchiger Lagerung bei 2 °C (n = 8). Signifikanzniveau $p < 0,05$ .....	<b>69</b>
<b>Tabelle 23</b> Kohäsion der Produkte, gemessen mittels Textur-Profil-Analyse nach der Produktion und nach 4 wöchiger Lagerung bei 2 °C (n = 8). Signifikanzniveau $p < 0,05$ .....	<b>70</b>
<b>Tabelle 24</b> Gummiartigkeit der Produkte, gemessen mittels Textur-Profil-Analyse nach der Produktion und nach 4 wöchiger Lagerung bei 2 °C (n = 8). Signifikanzniveau $p < 0,05$ .....	<b>71</b>
<b>Tabelle 25</b> Kaugbarkeit der Produkte, gemessen mittels Textur-Profil-Analyse nach der Produktion und nach 4 wöchiger Lagerung bei 2 °C (n = 8). Signifikanzniveau $p < 0,05$ .....	<b>72</b>
<b>Tabelle 26</b> Sensorische Untersuchung von glutenfreien Broten aus Technikumsversuchen mit 10 Sensorikern (n = 3). Signifikanzniveau $p < 0,05$ .....	<b>75</b>
<b>Tabelle 27</b> Ergebnisse der Volumenbestimmung der Produkte aus den Laborversuchen (SSE) und den Technikumsversuchen LSE. Übersicht der Volumina, Teig- und	

## **Abbildungen-, Tabellen- und Gleichungsverzeichnis**

---

Mehlgewichte sowie der spezifischen Volumina der glutenfreien Brote (n = 3), Signifikanzniveau $p < 0,05$ .....	<b>80</b>
<b>Tabelle 28</b> Klebrigkeit der glutenfreien Teige der Technikumsversuche (n = 10). Signifikanzniveau $p < 0,05$ .....	<b>81</b>
<b>Tabelle 29</b> Rheologie der glutenfreien Teige der Laborversuche (SSE mit n = 9). Signifikanzniveau $p < 0,05$ .....	<b>83</b>
<b>Tabelle 30</b> Textur-Profil-Analyse der glutenfreien Brote aus Laborversuchen (SSE mit n = 9) und Technikumsversuchen (LSE mit n = 10). Signifikanzniveau $p < 0,05$ .....	<b>86</b>
<b>Tabelle 31</b> Haptik- und Verarbeitungsprüfung der rohen Massen der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art, 3 Fleischtechnologe, n = 3. Signifikanzniveau $p < 0,05$ .....	<b>88</b>
<b>Tabelle 32</b> Visuelle Begutachtung der nicht geschnittenen Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art vor dem Schnitt (15 Sensoriker, n = 3 je Schnitt). Signifikanzniveau $p < 0,05$ .....	<b>90</b>
<b>Tabelle 33</b> Bewertung der Schneideigenschaften des gegrillten Hackfleischspießes nach Döner Kebab Art durch einen Fleischtechnologe des Ethnic-Fast-Food-Teams (n = 3 je Schnitt). Signifikanzniveau $p < 0,05$ .....	<b>91</b>
<b>Tabelle 34</b> Visuelle Begutachtung der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art nach dem Schnitt (15 Sensoriker, n = 3, je Schnitt). Signifikanzniveau $p < 0,05$ .....	<b>92</b>
<b>Tabelle 35</b> Sensorische Untersuchungen der gegrillten Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art. 3 unabhängige Produktionen und 3 sensorische Untersuchungen pro Produktion mit 15 geschulten Sensorikern. Signifikanzniveau $p < 0,05$ .....	<b>93</b>
<b>Tabelle 36</b> Analytisch gemessene Inhaltsstoffe von rohen und gegrillten Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art (n = 3).....	<b>96</b>
<b>Tabelle 37</b> Farbmessung (CIE L*a*b*-Farbraum) der rohen und gegrillten Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art mit n = 10, Signifikanzniveau $p < 0,05$ .....	<b>98</b>
<b>Tabelle 38</b> Klebrigkeit der rohen Hackfleischmassen nach Döner Kebab Art (n = 10). Signifikanzniveau $p < 0,05$ .....	<b>100</b>
<b>Tabelle 39</b> Textur Profil Analyse der gegrillten Produkte von Hackfleischmassen nach Döner Kebab Art (Produkt gefroren in 1 kg Aluminiumformen, gegrillt und in Scheiben geschnitten; n = 10). Signifikanzniveau $p < 0,05$ .....	<b>102</b>
<b>Tabelle 40</b> pH- und aw-Werte von rohen und gegrillten Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art (n = 3).....	<b>129</b>

## **Abbildungen-, Tabellen- und Gleichungsverzeichnis**

---

### **Gleichungsverzeichnis**

<b>Gl.: 1-5.1.</b> Berechnung der Schubspannung .....	<b>12</b>
<b>Gl.: 1-5.2.</b> Berechnung der Scherrate.....	<b>13</b>
<b>Gl.: 1-5.3.</b> Berechnung der Viskosität .....	<b>13</b>
<b>Gl.: 2-3.1.</b> Berechnung der Wasserbindekapazität.....	<b>22</b>
<b>Gl.: 2-3.2.</b> Berechnung der Ölbindekapazität .....	<b>23</b>
<b>Gl.: 2-5.1.</b> Berechnung der Trockenmasse.....	<b>36</b>
<b>Gl.: 2-5.2.</b> Berechnung des Aschegehaltes .....	<b>36</b>
<b>Gl.: 2-5.3.</b> Berechnung der Wasseraktivität.....	<b>37</b>

---

# 1 Einleitung

Nach Angaben der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) könnte das Wachstum der Weltbevölkerung zu einem Mangel an Nährstoffen und zu einer erhöhten Nachfrage nach alternativen Proteinquellen führen [1, 2]. Der derzeitige anthropogene Druck auf die endlichen Ressourcen der Erde und die damit einhergehende Dynamik des Klimawandels geben Anlass zu ernsthafter Besorgnis über die Robustheit der derzeitigen landwirtschaftlichen Nahrungs- und Futtermittelketten [3, 4]. Angesichts einer prognostizierten Weltbevölkerung von etwa 10 Milliarden im Jahr 2050 [4] wird erwartet, dass bis dahin etwa 70% mehr Makronährstoffe für die Humanernährung produziert werden müssen als 2006. Daher müssen verlässliche alternative Proteinquellen entwickelt werden, um in Zukunft die Ernährungssicherheit ohne Beeinträchtigung der globalen Nachhaltigkeit zu gewährleisten [2, 5, 6]. Der Pro-Kopf-Verbrauch von Fleisch und Fleischprodukten hat sich zwischen 1961 und 2007 mehr als verdoppelt [7, 8]. Dies führt zu der Schlussfolgerung, dass mehr Protein auf weniger Raum produziert werden muss [9-11]. Diese notwendigen Entwicklungen werden durch den Trend unterstützt, dass immer mehr Verbraucher es vorziehen, den Verzehr tierischer Produkte aus ethischen, religiösen oder gesundheitlichen Gründen zu vermeiden oder zu reduzieren [12-14]. Zudem kommt die Ablehnung von gentechnisch modifizierten Nahrungsmitteln aus ethischen, religiösen oder gesundheitlichen Gründen [15], die Trendsuche nach alternativen Proteinquellen mit geringem CO<sub>2</sub> *foot print* [16, 17], die ökonomische Entwicklung [18] und bzw. oder von der allgemeinen Verbrauchernachfrage [19].

---

## 1.1 Motivation, Stand der Technik und Marktausblick

Proteine spielen in biologischen und Lebensmittelsystemen eine wichtige Rolle. Sie sind Biokatalysatoren (Enzyme), strukturelle Komponenten von Zellen und Organen (z. B. Kollagen, Keratin oder Elastin), kontraktile Proteine (Aktin, Myosin und Tubulin), Hormone (Insulin, Wachstumsfaktoren, etc.), Transportproteine (Serumalbumin, Transferrin, Hämoglobin), Metallchelatoren (Phosvitin, Ferritin), Antikörper (Immunglobuline) und Speicherproteine (Samenproteine, Caseinmizellen, Eialbumin) als Stickstoff- und kalorische Quelle für Embryonen [20]. Daher ist die Aufnahme von Proteinen mit hoher biologischer Wertigkeit für die menschliche und tierische Ernährung von grundlegender Bedeutung. Neben ihrer ernährungsphysiologischen Funktion sind Proteine Schlüsselfaktoren für die sensorischen Eigenschaften von Lebensmitteln. Die Lebensmittelpräferenzen der Konsumenten richten sich vorwiegend auf organoleptische Eigenschaften von Lebensmitteln wie Farbe, Geruch, Geschmack und Textur [21, 22]. Zudem tragen Proteine in Lebensmitteln durch unterschiedliche Mechanismen zu charakteristischen und funktionellen Eigenschaften bei, wie beispielsweise die viskoelastischen und teigbildenden Eigenschaften von Weizengluten in Backwaren [23, 24]. Muskelproteine verleihen Fleischprodukten einzigartige Textur- und Saftigkeitseigenschaften [25]. Einige der Hauptfunktionen von Proteinen in der Nahrungsmittelproduktion sowie der dazugehörige Mechanismus sind in Tabelle 1 aufgelistet.

**Tabelle 1** Beispiele für Proteinfunktionalitäten in verschiedenen Lebensmitteln sowie die dazugehörigen techno-funktionellen Mechanismen [26-33]

Funktion	Mechanismus	Lebensmittel	Proteintypen
Löslichkeit	Hydrophilie	Getränke	Hühnereialbumin bzw. Proteine aus Molke, hydrolysierte Proteine
Viskosität	Wasserbindung, hydrodynamische Größe und Form	Suppen, Bratensoßen, Salatdressings, Nachtisch	Gelatine
Wasserbindung	Wasserstoffbrückenbindung, Hydratation	Wurst, Kuchen, Brot	Hühnereialbumin, Fleischprotein
Gelbildung	Wassereinschluss und Immobilisierung, Netzwerkbildung	Wurst, Gele, Käse, Bäckereiprodukte	Fleischproteine, Hühnereialbumin, Milchprotein

Funktion	Mechanismus	Lebensmittel	Proteintypen
Kohäsion, Adhäsion	Hydrophobe	Schinken, Wurst,	Fleischproteine,
	Wechselwirkung,	Pasta,	Hühnereialbumin,
	Wasserstoffbrückenbindung	Bäckereiprodukte	Proteine aus Molke
Elastizität	Hydrophobe Bindung,	Fleisch- und	Fleisch- und
	Disulfid-Brückenbildung	Bäckereiprodukte	pflanzliche Proteine
Emulgiervermögen	Adsorption und Filmbildung an Grenzflächen	Brühwurst, Suppen,	Proteine aus Fleisch,
		Kuchen, Dressings	Ei, Sonnenblume, Soja und Milch
Schaumbildung	Grenzflächenadsorption und Filmbildung	Schlagsahne, Eis, Kuchen, Desserts	Hühnereialbumin und Milchprotein
Fett- und Aromabindung	Hydrophobe Bindung, Einschluss	Fettarme Backwaren, Donuts	Proteine aus Milch, Ei und Pflanzen

Da die Nachfrage nach dem Ersatz von Fleisch in vegetarischen oder veganen Produkten steigt, wird eine alternative Proteinquelle benötigt, die die gleichen techno-funktionellen Eigenschaften aufweist wie Fleisch in Fleischprodukten [33-35]. Darüber hinaus müssen einige der Pflanzenproteine, die derzeit als Ersatz für tierisches Protein in Fleisch und Gluten in Backwaren verwendet werden, aufgrund ihres allergenen Potenzials oder aus wirtschaftlichen Gründen, ersetzt werden [36, 37]. Besonders interessant ist die Substitution des allergenen Weizenproteins Gluten in glutenfreiem Brot [38] und von Sojaprotein in Fleischprodukten (Döner Kebab oder Kochschinken) [39] bzw. der Einsatz als Proteinquelle in Fleischanaloga (wie beispielsweise die Verwendung von Erbsenproteinisolat, Sonnenblumenproteinkonzentrat oder Sojaprotein) [40-42]. Proteine verleihen verschiedenen Lebensmitteln Schlüsseleigenschaften und werden daher für die Herstellung von Lebensmitteln benötigt. Derzeit eingesetzte Proteine sind jedoch oft von geringer biologischer Wertigkeit und haben bedingt durch den geringen Anteil an Albumin wenig techno-funktionelle Eigenschaften [43-45].

Der derzeitige Marktausblick im Sektor Substitution von allergenen Proteinen, Produktion von veganen bzw. vegetarischen Produkten sowie von alternativen Proteinquellen zur Humanernährung wird von der stetig steigenden Nachfrage an hochwertigen Proteinen bestimmt. Hierbei können anfallende Agrarnebenströme in Verbindung mit Basidiomyceten und deren Fähigkeit, Lignocellulosen als Kohlenstoffquelle zu nutzen, herangezogen werden. Durch Kultivierung von Basidiomyceten mit Agrarnebenströmen in Submerskultur werden proteinreiche Myzelien erzeugt, die in Zukunft eine große Rolle in der menschlichen

---

Ernährung spielen können [46-48]. Dass dieses Konzept erfolgreich sein kann, zeigt das Pilzprodukt „Quorn™“, das für eine Linie von Lebensmitteln aus Myzelien des Schimmelpilzes *Fusarium venenatum* [49-52] steht. Es wird derzeit in verschiedenen Märkten wie beispielsweise in Großbritannien, der Schweiz und auch in Deutschland verkauft. Der Schimmelpilz wird in Fermentern gezüchtet, verarbeitet und texturiert, um fleischähnliche Nahrungsmittel zu erzeugen. Im Allgemeinen wird der filamentös wachsende Pilz für die Fleischersatzproduktion verwendet, da erwartet wurde, dass er ähnliche texturgebende Eigenschaften beim Verzehr wie Fleischprodukte aufweist [5]. Um eine fleischähnliche Textur zu erhalten, muss die gebildete Biomasse jedoch mit einem Bindemittel wie Eialbumin oder Weizenprotein, sowie mit Aromastoffen und anderen Zutaten in Abhängigkeit von den gewünschten Eigenschaften der Endprodukte versetzt werden [53]. Nach dem Erhitzen koaguliert das als Bindemittel verwendete Protein und verbindet die Hyphen miteinander. Durch die Extrusion der Masse führt dies zu Fabrikaten, die ähnliche strukturelle Eigenschaften wie Fleischprodukte aufweisen [26, 54]. Basidiomycetenmyzel soll dagegen ohne solche Zusätze auskommen und als techno-funktioneller Rohstoff in der Lebensmittelindustrie zum Einsatz kommen.



---

## 1.2 Bedeutung der alternativen Proteinquelle

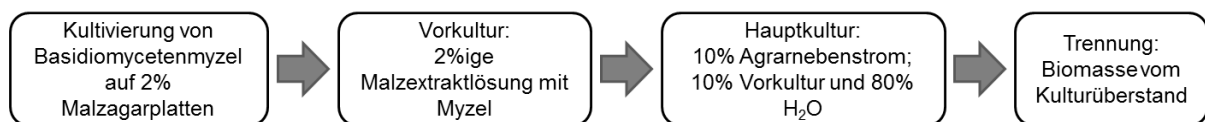
### Basidiomycetenmyzel für die Lebensmittelindustrie

Um den vielfältigen Auswirkungen einer industriellen Nutztierhaltung auf Umwelt und Klima sowie ihrem Verbrauch an Ressourcen entgegenzuwirken, sind Maßnahmen zur Steigerung der Nachhaltigkeit notwendig. Vor allem Fortschritte in den Bereichen der Digitalisierung, Automatisierung und der Biotechnologie können die Effizienz der landwirtschaftlichen Produktion weiter steigern und ihre negativen Auswirkungen mindern [8]. Ein Kernpunkt liegt dabei auf einer besseren Versorgung in Entwicklungsländern, der Verbesserung der ökonomischen Bilanz von Agrarnebenströmen und einer Reduktion und Substitution des Konsums tierischer Produkte in den Industrieländern. Ein wachsendes Bewusstsein über die negativen Konsequenzen der Erzeugung tierischer Lebensmittel und das Aufkommen neuer, biotechnologischer Verfahren der Proteinerzeugung hat auch zu vermehrtem Investoreninteresse und insbesondere in den USA, Israel, Frankreich und den Niederlanden zu erheblichem Kapitaleinsatz geführt [55, 56]. Die neuen Ansätze zielen auf a) die Nutzbarmachung neuer Proteinquellen, b) die Entwicklung neuer Produkte auf Basis traditioneller Proteinquellen und c) den Einsatz von derzeit ungenutzten Kohlenstoffquellen [57]. Die Produktion von mikrobiellen Proteinen bzw. Myzel aus höheren Pilzen kann hierbei in Zukunft eine Schlüsseltechnologie darstellen, da diverse Enzyme in die Umgebung sezerniert werden, wodurch der Abbau von schwer zugänglichen Makromolekülen möglich ist und die dadurch entstehenden Nährstoffe für das Wachstum verfügbar werden. Zudem ist die biologische Wertigkeit von Myzelien aus Basidiomyceten im Vergleich zu pflanzlichen Proteinen hoch [58]. Auch die Kultivierung und damit verbundene Schonung von Ressourcen (Verbrauch an Wasser, Fläche und CO<sub>2</sub> *foot print*) zeigt, dass Basidiomycetenmyzelien eine effiziente alternative Proteinquelle darstellen. Der benötigte Energiebedarf für Fermenter und Trocknungsanlagen könnte hierbei durch erneuerbare Energiegewinnung wie beispielsweise Fotovoltaik, Wasserkraft oder Windkraft gedeckt werden [17].

#### 1.2.1 Basidiomyceten und Gewinnung des Basidiomycetenmyzels durch Submerskultivierung als Rohstoff für die Produktentwicklung

Seit Jahrtausenden werden die Fruchtkörper (*Basidiom* oder *Basidiocarp*) der Abteilung *Basidiomycota* (Ständerpilze) aufgrund ihres Nährwerts und ihrer Textureigenschaften als

Nahrungsquelle gesammelt oder kultiviert. Sie werden in diversen Speisen wegen ihres Geschmacks eingesetzt und erleichtern durch ähnliche Textureigenschaften die Substitution von Fleisch in verschiedenen Nahrungsmitteln [59]. Die Abteilung der *Basidiomycota* ist in die drei Unterabteilungen *Agaricomycotina*, *Pucciniomycotina* und *Ustilaginomycotina* unterteilt [60, 61]. Die Basidiomyceten umfassen etwa 30.000 Arten (37% der beschriebenen Pilzarten), darunter die meisten essbaren Pilze mit einer jährlichen Produktion von 3,5 Milliarden Tonnen. Die Hauptarten sind Champignon (*Agaricus bisporus*), Shiitake (*Lentinula edodes*) und Austernpilz (*Pleurotus spp.*), wobei die beiden letzten auch in vorliegender Arbeit zum Einsatz gekommen sind [62, 63]. Als Wachstumssubstrate verwenden die Basidiomyceten organische Materialien wie beispielsweise Stroh oder Holz [64]. Basidiomyceten sezernieren ein breites Arsenal an Enzymen in das umgebende Substrat, um chemisch schwer zugängliche Stoffe als Nährstoffe verfügbar zu machen [65, 66]. Darüber hinaus ist die Kultivierung von Pilzen für die Fruchtkörperproduktion ein zeitaufwendiger Prozess, da je nach Art und Substrat ein bis mehrere Monate für die ersten Fruchtkörper benötigt werden [67]. Eine Submerskultur bietet den Vorteil einer beschleunigten Produktion von Biomasse durch Basidiomyceten auf wenig Raum und mit geringerem Kontaminationsrisiko [11, 68]. In Abb. 1 bis Abb. 3 ist der Ablauf der Submerskultivierung schematisch und graphisch dargestellt.



**Abb. 1.** Schematische Abfolge der Submerskultivierung von Basidiomyceten.



**Abb. 2.** Herstellung der Vorkultur:

Von links: Kultivierung von *Pleurotus sapidus* auf 2% Malz-Extrakt-Agarplatten; 2%ige Malzextraktlösung für die Vorkultur; mit Myzel des *Pleurotus sapidus* bewachsene Malzextraktlösung der Vorkultur.



**Abb. 3.** Herstellung des lyophilisierten Myzels aus der Hauptkultur von *Pleurotus sapidus* auf Isomaltulosemelasse:

Von links: mit Myzel bewachsene Hauptkultur mit Isomaltulosemelasse als Agrarnebenstrom; von der Nährlösung abgetrennte Biomasse (Myzel); lyophilisiertes Myzel.

Darüber hinaus bietet die Submerskultivierung eine skalierbare Produktionsmethode und hohe Ausbeuten an biologisch aktiven Verbindungen. Im Vergleich zu den Erträgen, die in Karpophoren der Fruchtkörper erzielt werden, liefert das Basidiomycetenmyzel Proteine, die reich an essentiellen Aminosäuren sind und daher als funktionelle Nahrung dienen können [69].

Wie im obigen Schema (Abb. 1 bis Abb. 3) dargestellt, können in submerser Kultivierung verschiedene landwirtschaftliche Agrarnebenströme und verschiedene Basidiomyceten zur Produktion von Myzelien kombiniert werden. Darüber hinaus steht eine standardisierte Methode zur Verfügung, um deren Proteingehalt zu bestimmen, sodass bewertet werden kann, welche Substrat Pilz Kombination nach Submerskultivierung am meisten Protein enthält [48, 70-72]. Die diversen Myzelien wurden im Arbeitskreis von Prof. Zorn an der Universität Gießen kultiviert und im Anschluss in kleineren Mengen in Gießen und später in größeren Mengen bei der Firma Döhler in Dahlenburg lyophilisiert. Die Trockenmasse kultivierter Basidiomycetenmyzelien besteht im Durchschnitt aus ca. 20-30% Protein, 0,5-1% Fett, 5-6% Asche und 55-60% Kohlenhydraten wie zum Beispiel  $\beta$ -Glucanen oder Chitin [58, 73]. Kombinationen wie *Pleurotus sapidus* auf Apfeltrester [47], Zwiebeltrester oder Isomaltulosemelasse und *Lentinula edodes* auf Karottentrester wurden als Material für die techno-funktionellen Tests in verschiedenen Lebensmittelsystemen verwendet. Diverse Basidiomyceten-Substratkombinationen wurden schon seit einigen Jahren erforscht und bilden hierbei die Grundlage für eine Produktentwicklung [58, 73].

---

## 1.3 Selektion von Lebensmittelsystemen für die Produktentwicklung

Der Produktentwicklungsprozess ist in der Lebensmittelindustrie von großer Bedeutung und zeichnet sich durch einen multidisziplinären, multifunktionalen Prozessrahmen aus. Wichtige Voraussetzungen für einen Prototypen sind Produktstrategieentwicklung, Produktdesign, Prozessentwicklung und sensorische Akzeptanzstudien [74-76]. Wie in 1.1 beschrieben, haben verschiedene Proteine unterschiedliche Eigenschaften. Für die Entwicklung von Lebensmittelprodukten müssen diese Eigenschaften bekannt sein, um Lebensmittel zu entwickeln in denen die Proteineigenschaften den technologischen Zweck wie beispielsweise Emulsionsbildung, Schaumbildung, Texturausbildung zu übernehmen und zudem die Verbrauchererwartung zu erfüllen. Auftretende techno-funktionelle und sensorische Unterschiede zu Referenzsystemen können von einem geschulten sensorischen Panel und in rheologischen Messungen bewertet werden [77, 78]. Myzelien bzw. Fruchtkörper von Basidiomyceten (z. B. *Agaricus bisporus*, *Grifola frondosa*, *Hypsizygu marmoreus*, *Pholiota nameko*, *Pleurotus eryngii*, *Lentinula edodes*, *Tremella fuciformis*, *Tricholoma matsutak*, *Pleurotus sapidus*) wurden verschiedenen Lebensmitteln in Form von Pilzextrakt oder gemahlenem Pulver (Fruchtkörper) als funktionelle Bestandteile zugesetzt, um die Qualität des verarbeiteten Nahrungsmittels zu verbessern. Beispiele sind Backwaren (z. B. glutenfreies Brot), Fleischprodukte (z. B. Hackfleischdöner oder Schweinebraten), Wurstanaloga (z. B. veganer Brotaufstrich / veganer Aufschnitt oder vegetarische Salami), Suppenmix und Würzmittel [11, 79-81]. Gegenwärtig werden hauptsächlich frische oder getrocknete ganze Fruchtkörper, Fruchtkörperteile oder Pulver des Fruchtkörpers in Nahrungsmitteln verarbeitet. Die techno-funktionellen Eigenschaften der Basidiomycetenmyzelien sind daher von großem Interesse für die Lebensmittelherstellung. Da Proteine in verschiedenen Lebensmitteln verschiedene Eigenschaften zur Erfüllung von techno-funktionellen und sensorischen Anforderungen und der Verbrauchererwartung aufweisen müssen, wurden folgende Systeme ausgewählt [82]:

Vegane Fleischanaloga (emulgiertes System), glutenfreies Brot (elastisches, gelbildendes System) und ein Bindungssystem für Hackdöner (wasser- und ölbindendes System, das bei Erhitzung leicht emulgierend wirkt). Alle Untersuchungen der techno-funktionellen Eigenschaften von verschiedenen Basidiomycetenmyzelien wurden im Vergleich zu pflanzlichen und tierischen Proteinen durchgeführt.

---

### **1.3.1 Vegane Wurstanaloga**

Einige Fleischanaloga basieren auf jahrhundertealten Rezepten für Weizengluten, Reis, Pilze, Hülsenfrüchte, Tempeh oder gepressten Tofu, mit Aromastoffen, die dazu beitragen, dass das fertige Produkt nach Huhn, Rind, Lamm, Schinken, Wurst, Meeresfrüchten usw. schmeckt. Diese proteinreichen Lebensmittel werden aus religiösen bzw. ethischen Gründen oder aus Mangel von Fleisch verzehrt. Zudem werden sie verwendet, um Formulierungskosten zu reduzieren, da sie kostengünstiger als Fleisch bzw. Fleischerzeugnisse sind. Andere Eigenschaften, wie die Fähigkeit Wasser und Feuchtigkeit während des Kochens, Wiedererwärmens, Einfrierens und Auftauens zu halten, machen sie technologisch sehr interessant [83]. Das Hauptziel bei der Entwicklung von veganen Wurstanaloga, wie zum Beispiel Brühwurstanaloga, ist die vollständige Erfüllung der Verbrauchererwartungen bezüglich der textuellen und gustatorischen Eigenschaften des Lebensmittels. Daher liegt der Fokus auf den typischen Eigenschaften Fleischbeschaffenheit, Aussehen und Geschmack, wie sie auch bei der handwerklichen Herstellung von Fleisch- und Wurstwaren erzielt werden [84, 85]. Die Aufnahme von fleischähnlichen Nahrungsmittelprodukten als Proteinquelle in die fleischlose Ernährung kann durch die Verwendung proteinreicher pflanzlicher Grundstoffe in Wurstanaloga erreicht werden. Um Wurstanaloga mit akzeptablen Eigenschaften, wie fleischartiger Textur, fleischartigem Aussehen und Geschmack produzieren zu können, müssen adäquate technologische Verfahren angewendet werden. [34, 35, 40, 86].

Der Hauptzweck des Proteins in einem veganen Brühwurstsystem ist die Emulsionsbildung und Emulsionsstabilisierung während der Erhitzung sowie der Lagerung. Die Herausforderung besteht darin, die gleiche Elastizität und Härte zu erreichen wie bei einem Original-Fleischprodukt [5, 87].

### **1.3.2 Glutenfreies Brot**

Die Produktentwicklung von glutenfreien Broten hat in den letzten Jahren stark zugenommen, da das Wissen über den Einfluss von Gluten auf die Gesundheit gestiegen ist und die Zahlen von Zöliakiepatienten zunehmen [88-91]. Die Produktentwicklung von glutenfreiem Brot bleibt jedoch eine technologische Herausforderung, da Gluten eine Schlüsselrolle bei der Bildung der Brotstruktur, des Aussehens, der Textur und der Haltbarkeit spielt [92-96].

Die technologische Hauptaufgabe des Proteins in glutenfreiem Brot besteht darin, dem gekneteten Teig Elastizität und der fertigen Backware Stabilität während des Kauens zu

---

verleihen. Durch die Gelbildung beim Anteigen werden die aus der Fermentation von Zuckern und Hefe gebildeten Gasbläschen gleichmäßig verteilt gehalten, sodass sich homogene Teiglinge ausbilden können. Während des Backens koaguliert das Protein, stabilisiert die Teigmischung und trägt zur gesamten Krumenstruktur und zum Volumen bei [23, 96-98]. Die Herausforderung der Entwicklung von glutenfreiem Brot besteht darin, die Gashaltekapazität (gemessen als Volumen), die Klebrigkeit und die rheologischen Eigenschaften des Teigs sowie die Härte und Elastizität der Krume zu verbessern [99, 100]. Die reine Änderung der zu Grunde liegenden Rezeptur bzw. deren Inhaltsstoffe reichen jedoch nicht aus, um glutenfreie Brote herzustellen, da die resultierenden Teigstrukturen verschieden sind. Der gesamte Brotherstellungsprozess mit Präkonditionierungsschritten, Mischen, Ausruhen, Gären und Backen muss an das glutenfreie Medium angepasst werden [97, 101, 102].

### **1.3.3 Bindesystem für Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art**

Ein Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art kann aus Fleisch verschiedener Tierarten, wie Rind, Lamm, Kalb oder Geflügel bestehen, das mit Salz, Gewürzen und verschiedenen Verarbeitungsmaterialien wie beispielsweise pflanzlichen Proteinen und Lebensmittelzusatzstoffen [103-105] versetzt wird. Der Fettgehalt von Hackfleischspießen nach Döner Kebab Art liegt normalerweise zwischen 20 und 40% und das Gewicht üblicherweise zwischen 10 und 15 kg [106]. Die verschiedenen Proteinquellen fungieren als natürlicher Emulgator und Bindemittel für Wasser und Fett [31, 107, 108]. Die Oberfläche des tiefgekühlten (-18 °C) rohen Hackfleischspießes nach Döner Kebab Art wird mit Hilfe eines Gasgrills unter ständigem Drehen erhitzt [109]. Sobald die Fleischoberfläche die gewünschte Bräunung hat, wird sie mit Hilfe eines Messers geschnitten und in oder mit Brot mit verschiedenen Gemüsen und Sauce serviert [110-112]. Dabei haben die eingesetzten Proteine die Aufgabe im kalten Zustand (Herstellungsprozess) zwischen den Fleischpartikeln eine Bindung und damit Kohäsion herzustellen. Zudem sollen sie der Hackfleischmasse zusammen mit dem Fleischprotein die nötige Bindefähigkeit (Klebrigkeit) verleihen, sodass der Dönerspieß gesteckt werden kann und seine Form nicht verliert. Dies ist für die Hersteller sehr wichtig [113-117], da durch schnellere Verarbeitung des Hackfleischs Arbeitszeit eingespart werden kann. Bei der Erhitzung dagegen sorgt die zweite Eigenschaft des eingesetzten Proteins dafür, dass der Döner stabil und nicht zu viel Wasser und Öl verliert (emulgierende Wirkung) [115, 116, 118], was wiederum wichtig für die Dönerrestaurants ist.

---

## 1.4 Sensorische Untersuchungen von Lebensmitteln

Die sensorischen Eigenschaften eines Lebensmittels wie Aussehen (Farbe), Textur (Festigkeit, Mundgefühl, Kaubarkeit), Geruch und Geschmack (typischer Geruchs- und Geschmackseindruck oder Fehltöne) werden durch die menschlichen Sinne begutachtet und bewertet [21, 119]. Hierbei sind unsere Sinne, neben empfindlichen Analysemethoden, notwendiger Bestandteil bei der Untersuchung und Bewertung beispielsweise von Frische und Genusstauglichkeit. Die sensorische Analyse ist eine eigenständige analytische Untersuchung. Im Vergleich zu anderen Untersuchungsmethoden ist sie in ihrer Bedeutung genauso wichtig wie beispielsweise mikrobiologische, chemische oder physikalische Analysen und kann je nach Methodik der ausgewählten Prüfung verschiedene Aussagen über das untersuchte Lebensmittel geben [22, 120, 121]:

- Unterschiedsprüfungen (Dreieckstest)
- Beschreibende Prüfungen (deskriptive Prüfungen)
- Genusstauglichkeitsprüfung
- Hedonische Prüfung (Beliebtheitstest)

In der Produktentwicklung sind sensorische Prüfungen mit einem geschulten Panel ein wichtiges Werkzeug zur Sicherung der Qualität und des Erfolgs des Produktes im Markt [25, 122, 123]. Wenn ein Produkt nicht gut schmeckt, wird es nicht mehr vom Verbraucher gekauft [76, 124]. Sensorische Untersuchungen von Lebensmitteln sind aus diesem Grund ein wertvolles Instrument, um die sensorischen Eigenschaften eines Lebensmittels zu untersuchen [22, 74]. Lebensmittelsensorische Prüfungen umfassen die Beschreibung, Messung und Bewertung der Eigenschaften eines Lebensmittels, die durch die menschlichen Sinnesorgane erfasst werden können. Menschliche Sinne dienen hierbei als Messinstrument, um die sensorischen Eigenschaften von Lebensmitteln sowohl objektiv als auch subjektiv zu bewerten [125].

---

## 1.5 Rheologische Untersuchungen von Lebensmitteln

Der Begriff Rheologie leitet sich von dem griechischen Wort *rheos* (das Fließen) ab, und ist eine Bezeichnung für die Fließkunde. Die Rheologie befasst sich mit der Untersuchung des Fließ- und Deformationsverhaltens von hochviskosen Flüssigkeiten und plastischen Massen oder festen Körpern unter der Einwirkung von Druck-, Zug-, Scher- und Schubspannungen [126]. In der Lebensmitteltechnologie und der Produktentwicklung spielt die Rheologie eine große Rolle, da die Fließeigenschaften bei der Herstellung die Struktur des Lebensmittels bestimmen und die sensorische Wahrnehmung des fertigen Lebensmittels maßgeblich beeinflussen. In der Lebensmitteltechnologie sowie in der Produktentwicklung ist die Rheologie von großer Bedeutung, da die Fließeigenschaften durch sie standardisiert und objektiv bestimmen werden. Es lassen sich während der Herstellung und in der Qualitätssicherung von Endprodukten, im Wareneingang von Rohstoffen oder in Vergleichsmessungen in der Produktentwicklung Eigenschaften und Veränderungen von Produkten bestimmen. Um gemessene Ergebnisse in der Praxis bewerten zu können, ist eine Korrelation von Messergebnissen mit sensorischen Einrücken notwendig. Auf diese Weise sind rheologische Messungen wichtige Hilfsmittel für die Herstellung und Entwicklung von qualitativ hochwertigen Lebensmitteln [127, 128].

### 1.5.1 Oszillierendes Scherrheometer

Durch das Scherrheometer wird eine Probe einer Scherung ausgesetzt und deren Verformungs- und Fließverhalten (rheologisches Verhalten) gemessen. Eine häufig verwendete Messgeometrie ist das Platte/ Platte-Messsystem (siehe Abb. 4 links). Hier wird die Probe zwischen einer feststehenden, ebenen Platte und einer zweiten, rotierenden Platte in einen definierten Abstand geschert. Die Schubspannung  $\tau$  [Pa] ist der Quotient aus der aufgetragenen Scherkraft  $F$  [N] und der durch die Messgeometrie bestimmten Scherfläche [m<sup>2</sup>] (Gl. 1-5.1).

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (\text{Gl.: 1-5.1.})$$

$\tau$  = Schubspannung [Pa]  
 $F$  = Scherkraft [N]  
 $A$  = Scherfläche [m<sup>2</sup>]



Die Scherrate  $\dot{\gamma}$  [ $s^{-1}$ ] ergibt sich aus der angewendeten Schergeschwindigkeit  $v$  [ $m s^{-1}$ ] dividiert durch die Höhe des Messspaltes  $h$  [ $m$ ] (Gl. 1-5.2.).

$$\dot{\gamma} = \frac{v}{h} \quad (\text{Gl.: 1-5.2.})$$

$\dot{\gamma}$  = Scherrate [ $s^{-1}$ ]

$v$  = Schergeschwindigkeit [ $m s^{-1}$ ]

$h$  = Messspalt [ $m$ ]

Die Viskosität  $\eta$  [ $Pa s$ ] wird aus dem Quotient aus Schubspannung  $\tau$  [ $Pa$ ] und der Scherrate  $\dot{\gamma}$  [ $s^{-1}$ ] (Gl. 1-5.3.) errechnet [129].

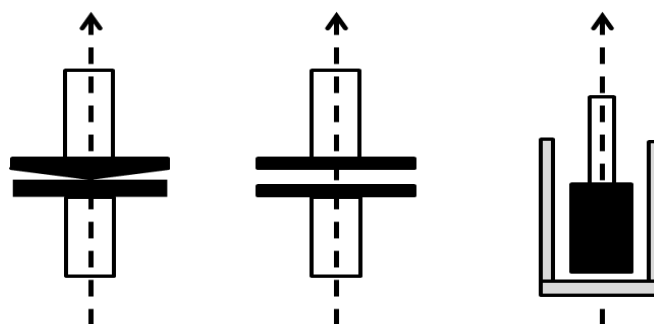
$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (\text{Gl.: 1-5.3.})$$

$\eta$  = Viskosität [ $Pa s$ ]

$\dot{\gamma}$  = Scherrate [ $s^{-1}$ ]

$\tau$  = Schubspannung [ $Pa$ ]

Die Palette zur Verfügung stehender Messgeometrien (Abb. 4) erlaubt das Abdecken eines großen Scherraten- und Viskositätsbereiches. Elastische Materialeigenschaften (Lebensmittel können sich infolge einer Beanspruchung elastisch verformen) erhält man aus den Axialkräften, die beim Kegel-Platte- und Platte-Platte-Rheometer senkrecht zur Scherebene wirken. Mittels Rotationsrheometer sind eine Vielzahl unterschiedlicher Versuchsdurchführungen, bei denen entweder Schubspannung, Scherdeformation oder Schergeschwindigkeit vorgegeben werden können, möglich.

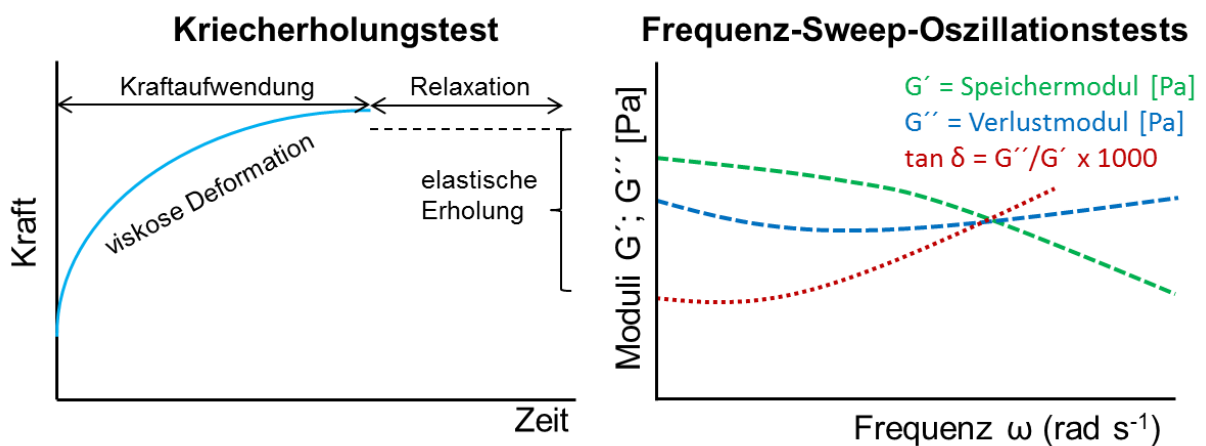


**Abb. 4.** Schematische Darstellung verschiedener Messgeometrien:  
Von links: Kegel-Platte, Platte-Platte, koaxiale Zylinder modifiziert nach [130].

Um physikalische Eigenschaften von Teigen wie Viskosität, Fließgrenze und Elastizität zu bestimmen, werden die Proben zwischen zwei Messplatten platziert. Über die obere Platte wird eine Kraft auf die Probe ausgeübt, die Reaktion der Probe auf die Kraft wird mit der unteren Platte gemessen. Die aufbrachte Kraft ist in der Regel so gering, dass im Gegensatz

zu Zugversuchen eine zerstörungsfreie Messung gewährleistet ist, wenn nicht zusätzlich erhitzt wird. Abhängig von der Art der angewandten Kraft gibt es einen Unterschied in den Messmodi.

Der sogenannte Kriecherholungstest (*creep recovery test*) wird durchgeführt, indem die Probe für eine definierte Zeit mit konstanter Kraft geschert wird, dann die Kraft abgeschaltet wird und die Relaxation der Probe verfolgt wird (Abb. 5., links) [38, 131-134]. Im Kriechschritt des Kriecherholungsversuchs ist die Spannung über einen definierten Zeitraum konstant, während im Erholungsschritt die Kraft während der Entspannung des gemessenen Systems aufgezeichnet wird. Die Verformung am Ende des Erholungsschritts, dividiert durch die Verformung am Ende des Kriechschrittes, liefert den Anteil der bleibenden Verformung. Anhaltende Verformungen von 1 (100%) zeigen viskose Eigenschaften der Probe an, während eine bleibende Verformung von 0 voll elastischen Eigenschaften entspricht. Zustände zwischen 0 und 1 werden viskoelastisch genannt. Die Kraft kann zudem auch oszillierend wirken, wobei einerseits die Frequenz der Schwingung, andererseits ihre Amplitude variiert werden kann (*stress sweep*, *Frequenz sweep*, Abb. 5, rechts) [92, 94, 97, 98]. Rheologische Größen können aus der gemessenen Phasenverschiebung zwischen der anregenden und der reagierenden Kraft berechnet werden.



**Abb. 5.** Schematische Darstellung rheologischer Methoden:

Links: Dehnungs-Zeit-Diagramm des Kriecherholungstests; rechts: Viskositäts-Dehnungs-Diagramm des *Frequenz-Sweep* Oszillationstests ( $G'$ : Speichermodul; dies steht für den elastischen Anteil der Probe;  $G''$ : Verlustmodul; dies steht für den viskosen Anteil der Probe; Verlustfaktor  $\tan \delta$  als Quotient von  $G'$  und  $G''$ ) modifiziert nach [133, 134].

## 1.5.2 Texturanalyse von Lebensmitteln

Das Zerkauen von Lebensmitteln dient nicht nur der Zerkleinerung und Vorverdauung der Nahrung. Durch die Freisetzung von Aromen und der wahrgenommenen Textur kann auch der Genuss beim Essen gesteigert werden. Dabei spielen die wahrgenommene Textur bzw. das Mundgefühl eine bedeutende Rolle für die Einschätzung der Qualität der Lebensmittel und für die Steuerung des Kauprozesses und des Schluckmoments. Während der instrumentellen Texturanalyse können die Einstellungen so gewählt werden, dass die Textureigenschaften des Lebensmittels während des simulierten Kauprozesses aufgezeichnet werden können. Die sogenannte instrumentelle Textur-Profil-Analyse (TPA) dient der Beurteilung der mechanischen und physikalischen Eigenschaften einer Probe. Dabei werden folgende Messwerte direkt bzw. indirekt gemessen [135, 136]:

*Härte* (maximale Kraft des ersten Kompressionszyklus), *Sprödigkeit* (definiert als die Kraft, bei der das Lebensmittel bricht), *Adhäsion* (der Bereich der negativen Kraft der ersten Kompression, die erforderlich ist, um den Kompressionskolben von der Probe wegzuziehen), *Elastizität* (Abstand der detektierten Höhe des Lebensmittels der zweiten Kompression dividiert durch die ursprüngliche Höhe des Lebensmittels), *Gummiartigkeit* (Härte x Kohäsion), *Kaubarkeit* (Härte x Kohäsion x Elastizität) und *Kohäsion* (positive Bereiche der zweiten Kompression dividiert durch die Bereich der ersten Kompression) [137-139]. Eine schematische Darstellung einer TPA ist in Abb. 6 dargestellt.

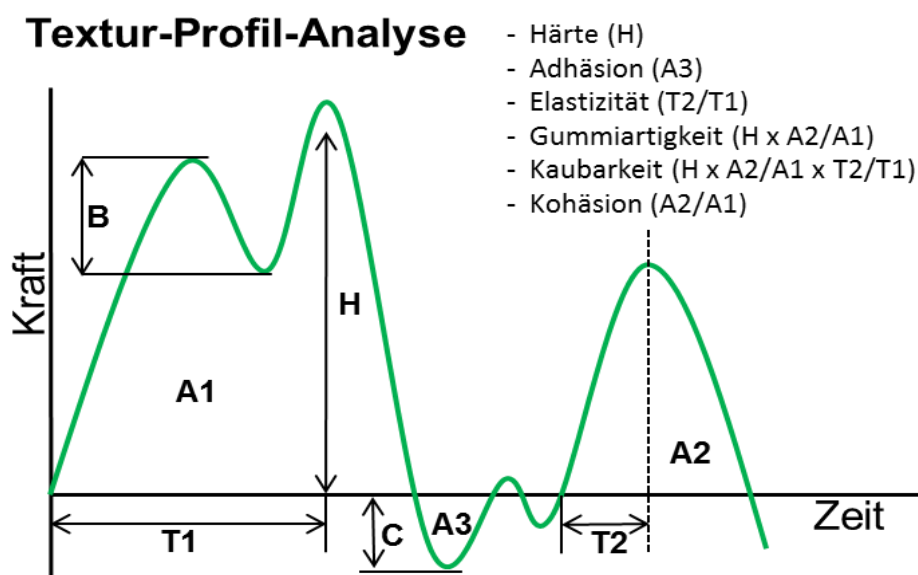


Abb. 6. Schematische Darstellung einer TPA modifiziert nach [140].

---

Durch die Änderung der Methodik (Messzelle, Messwerkzeuge) können mit der instrumentellen Texturanalyse diverse rheologische Kenngrößen gemessen werden. Die Ergebnisse der instrumentellen Texturanalyse schließen subjektive Einflüsse auf die Prüfung aus und können bereits geringe Schwankungen in der Probenqualität bestimmen. Die erhaltenen Werte können miteinander verknüpft und sensorischen Eigenschaften zugeordnet werden. [135, 141-145].

---

## 1.6 Zielsetzung

Basidiomyceten sind die am höchsten entwickelte Klasse von Pilzen. Sie werden mittels Submerskultivierung mit verschiedenen landwirtschaftlichen Nebenströmen fermentiert und bilden innerhalb von 4-5 Tagen Biofeuchtmassen von über 300 g L<sup>-1</sup>. Die gewonnenen Myzelien enthalten etwa 20-30% Protein in der Trockenmasse. Aufgrund ihrer platzsparenden und sehr schnellen Kultivierung stellen Myzelien aus Basidiomyceten eine interessante alternative Proteinquelle dar und könnten als Ersatz für derzeit etablierte pflanzliche und tierische Proteine in der Lebensmittelindustrie zum Einsatz kommen.

Ziel der Arbeit war es den Ressourcen schonenden und schnell nachwachsenden Rohstoff Basidiomycetenmyzel in der Lebensmittelerzeugung anstelle von derzeit etablierten Proteinen einzusetzen. Hierzu sollten neuartige Produkte wie vegane Wurstanaloga, glutenfreies Brot und Myzel als Bindesystem für Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art entwickelt werden. Dabei sollten die Produkte die gleichen techno-funktionellen, sensorischen und haptischen Eigenschaften wie die bereits etablierten Produkte aufweisen. Als Grundlage der Produktentwicklung sollten diverse Myzelien von Basidiomyceten dienen, die mit landwirtschaftlichen Nebenströmen submers kultiviert wurden. Die kultivierten Myzelien sowie die daraus entwickelten Lebensmittelsysteme sollten sensorisch evaluiert und technofunktionell mittels rheologischen Untersuchungsmethoden beschrieben werden, um in der Produktentwicklung die Verbrauchererwartung gezielt umsetzen zu können.

## 2 Materialien und Methoden

### 2.1 Chemikalien und eingesetzte Lebensmittelzutaten

**Tabelle 2** Liste der verwendeten Chemikalien und Lebensmittelzutaten

Chemikalie/ Lebensmittelzutat	Reinheit/ Beschreibung	Hersteller
Anis gemahlen	Lebensmittelqualität	VAN HEES GmbH, Walluf
Cellulosepulver	Lebensmittelqualität	JRS J. Rettenmaier & Söhne GmbH + Co KG, Rosenberg
Champignonpulver	Lebensmittelqualität	DiaFood GmbH, Heidelberg
Dextrose	Lebensmittelqualität	Roquette Frères, Nord-Pas-de-Calais, Frankreich
Dikaliumhydrogenphosphat (K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> )	p.a.	Chemische Fabrik Budenheim KG, Budenheim
Hühnereialbuminpulver	Proteingehalt: 82,3%	Ovobest Eiprodukte GmbH u. Co. KG, Neuenkirchen-Vörden
Erbsenproteinisolat	Proteingehalt: 90,1%	Cosucra-Groupe Warcoing, Pecq, Belgien
Fleisch (diverse Teile)	Lebensmittelqualität	Fa. Rembser, Mainz-Kastel
Frische Hefe	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	F.X. Wienering GmbH, Passau
Hefeextrakt	Lebensmittelqualität	taste line 21 GmbH, Roetgen
Ingwer gemahlen	Lebensmittelqualität	VAN HEES GmbH
Kaliumchlorid (KCl)	p.a.	K+S Kali GmbH, Kassel
Karottenpulver	Lebensmittelqualität	Kräuter-Mix GmbH, Abtswind
Kartoffelprotein	Proteingehalt: 93,2%	Avebe, Veendam, Niederlande
Kartoffelstärke	Lebensmittelqualität	Roquette Frères
Koffein	Reinst	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe
LEMAL® GC 17	Stabilisator	VAN HEES GmbH
Mucin	p.a.	Carl Roth GmbH + Co. KG
Nalo TOP 60er Kaliber	Kunst darm	Kalle GmbH, Wiesbaden
Natriumchlorid (NaCl)	Lebensmittelqualität	esco - european salt company GmbH & Co.KG, Hannover
Natriumchlorid (NaCl)	p.a.	Südwestdeutsche Salzwärke AG, Heilbronn
Natriumcitrat	Lebensmittelqualität	Ter-Hell Co. GmbH, Hamburg
Natronlauge (NaOH) 1M	p.a.	Carl Roth GmbH + Co. KG
Nitritpökelsalz	0,05% Nitrit	Südwestdeutsche Salzwärke AG
Paraffinöl dünnflüssig	p.a.	Carl Roth GmbH + Co. KG
Pepsin	p.a.	Carl Roth GmbH + Co. KG
Petersilie gemahlen	Lebensmittelqualität	VAN HEES GmbH
PRALLO® Döner Funktion	Funktionsmischung	VAN HEES GmbH
PRALLO® Spezial stabil	Stabilisator	VAN HEES GmbH
Resazurin	reinst	Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, Vereinigte Staaten
Saccharose	Lebensmittelqualität	Südzucker AG, Mannheim
Salzsäure (HCl) 1 M	p.a.	Carl Roth GmbH + Co. KG
Semmelbrösel	Lebensmittelqualität	Ulmer Nahrungsmittel GmbH, Ulm

Chemikalie/ Lebensmittelzutat	Reinheit/ Beschreibung	Hersteller
Sojaproteinisolat	Proteingehalt: 90,8%	Gushen Biological Technology Group Co. Ltd., Shangdong, China
Sojaproteinkonzentrat	Proteingehalt: 70,1%	Solae, St. Louis, Missouri, Vereinigte Staaten
Sonnenblumenöl	standardisiert	Carl Roth GmbH + Co. KG
Sonnenblumenprotein-konzentrat	Proteingehalt: 68,5%	Fraunhofer IVV, Freising
Triton-X 100	reinst	Carl Roth GmbH + Co. KG
VAN HEES® Aufschnitt	Gewürzmischung	VAN HEES GmbH
VAN HEES® Doktorskaja	Gewürzmischung	VAN HEES GmbH
VAN HEES® Funktion	Funktionsmischung vegan	VAN HEES GmbH
VAN HEES® Gluten frei	Mehlmischung	VAN HEES GmbH
VAN HEES® Hackdöner		
Gewürz KP	Gewürzmischung	VAN HEES GmbH
VAN HEES® Veggi flavour	Gewürzaromamischung	VAN HEES GmbH
Walocel CRT 20.000 PA	Carboxymethylcellulose	Dow Chemical Company, Midland, Michigan, Vereinigte Staaten
Weizengluten	Proteingehalt: 91,3%	Roquette Frères
Wellence Gluten free 47129	Hydroxypropylmethylcellulose/ Carboxymethylcellulose	Dow Chemical Company
WürstchenPÖK®	Umrötehilfsmittel	VAN HEES GmbH
Zwiebel gemahlen	Lebensmittelqualität	KräuterMix GmbH

## 2.2 Geräte

**Tabelle 3** Liste der verwendeten Geräte

Gerät	Modell	Hersteller
Analysewaage	ABJ-120-4NM	Kern Sohn GmbH, Balingen
Aufschnittmaschine	A406	Bizerba SE & Co. KG, Balingen
a <sub>w</sub> -Wert Messgerät	Lab Master water activity meter	Novasina AG, Laachen, Schweiz
Backofen	Shelf Cooking Center <sup>®</sup> 101	Rational AG, Landsberg am Lech
Brotbackofen	FD23	Binder GmbH, Tuttlingen
Dönerofen	GD4 Gas Gyrogrill Dönergrill	Potis GmbH & Co. KG, Göttingen
Elektrisches Dönermesser	DM 1014	Potis GmbH & Co. KG
Exsikkator	DN 300	DURAN Group GmbH, Wertheim
Farinograph <sup>®</sup>	mechanischer Farinograph	Brabender GmbH & Co KG, Duisburg
Mischfleischwolf	Typ 409	K+G Wetter, Biedenkopf - Breidenstein
Faltenfilter	Qualitativ; nr. 60. Mittelschnell filtrierend: 88s gem. DIN 53137, Stärke 0,163mm	Th. Geyer GmbH & Co. KG, Renningen
Fleischwolf, klein	MEW 713-H82	MADO GmbH, Dornhan
Gärschrank	B5042	Heraeus Holding, Hanau
Kenwood Küchenmaschine	Cooking chef <sup>®</sup>	Kenwood, Hampshire, Vereinigtes Königreich
Kutter	K64	Maschinenfabrik Seydelmann KG, Stuttgart
Kutter, klein	DMK 20C	DMS Maschinensysteme, Saarbrücken
Labormixer	DP-800G La Moulinette Plus	Groupe SEB, Écully, Frankreich
Laborwaage	MSE2202S-OCE-DO	Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG, Göttingen
Membranfilter	729241 Chromafil Xtra PES-45/25 0,45µm	Macherey-Nagel, Düren
Mikrowellen-Muffelofen	Pheonix	CEM GmbH, Kamp-Lintfort
pH-Meter mit Stich-pH-Elektrode	Inolab IDS Multi 9430	Xylem Analytics Germany Sales GmbH & Co. KG, WTW, Weilheim
Rheometer	Physica MCR 301	Anton Paar GmbH, Graz, Österreich
Spektralphotometer	CM-5	Konica Minolta Business Solutions Deutschland GmbH, Langenhagen
Textur-Messgerät	TAXT2i	Stable Micro Systems Ltd, Godalming, Vereinigtes Königreich
Thermomix	TM31	Vorwerk & Co. KG, Wuppertal
Ultra Turrax	Micra D9	Micra GmbH, Müllheim
Vakuum-Paddelmischer	UM 100 VC	EKOMEX Sp. z.o.o Sp. K, Panki, Polen
Vertikalkutter	VCB 62	AB Hälde Maskiner, Kista, Schweden
Wasserbad	WNE7	Memmert GmbH & Co. KG, Schwabach
Volumenscanner	VolScan Profiler 600	Stable Micro Systems Ltd
Zentrifuge	Heraeus Megafuge 8	Thermo Scientific, Waltham, Massachusetts, Vereinigte Staaten



## 2.3 Verwendete Basidiomycetenmyzelien

Die verwendeten Basidiomycetenmyzelien wurden an der Justus-Liebig Universität Gießen (JLU) kultiviert und zur Produktentwicklung zur Verfügung gestellt. Die Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl wurde zudem an der JLU durchgeführt. Die Myzelien wurden in wässriger Suspension auf Geruch und Farbe sensorisch untersucht und die Wasserbindekapazität und Ölbindekapazität bestimmt. In Tabelle 4 sind alle im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Basidiomyceten-Substrat-Kombinationen inkl. Abkürzungen dargestellt.

**Tabelle 4** Liste der eingesetzten Basidiomycetenmyzelien

Spezies	Agrarnebenstrom	Abkürzung
<i>Agrocybe aegerita</i>	Blattspinat	AAE_BS
<i>Agrocybe aegerita</i>	Granatapfeltrester	AAE_GA
<i>Agrocybe aegerita</i>	Apfeltrester	AAE_AP
<i>Agrocybe aegerita</i>	Isomaltulosemelasse	AAE_IM
<i>Agrocybe aegerita</i>	Karottentrester	AAE_CP
<i>Lentinula edodes</i>	Apfeltrester	LED_AP
<i>Lentinula edodes</i>	Granatapfeltrester	LED_GA
<i>Lentinula edodes</i>	Karottentrester	LED_CP
<i>Lentinula edodes</i>	Isomaltulosemelasse	LED_IM
<i>Laetiporus sulphureus</i>	Apfeltrester	LSU_AP
<i>Laetiporus sulphureus</i>	Karottentrester	LSU_CP
<i>Pleurotus sapidus</i>	Aroniatrester	PSA_ARO
<i>Pleurotus sapidus</i>	Apfeltrester	PSA_AP
<i>Pleurotus sapidus</i>	Blattspinat	PSA_BS
<i>Pleurotus sapidus</i>	Granatapfeltrester	PSA_GA
<i>Pleurotus sapidus</i>	Karottentrester	PSA_CP
<i>Pleurotus sapidus</i>	Isomaltulosemelasse	PSA_IM
<i>Pleurotus sapidus</i>	Zwiebeltrester	PSA_ZT
<i>Stropharia rugosoannulata</i>	Blattspinat	SRU_BS
<i>Stropharia rugosoannulata</i>	Granatapfeltrester	SRU_GA
<i>Wolfiporia cocos</i>	Aroniatrester	WCO_ARO
<i>Wolfiporia cocos</i>	Karottentrester	WCO_CP
<i>Wolfiporia cocos</i>	Zwiebeltrester	WCO_ZT

### 2.3.1 Techno-funktionelle Untersuchungen

#### 2.3.1.1 Wasserbindekapazität

Die Wasserbindekapazität (WBK) der Basidiomycetenmyzelien sowie der zu vergleichenden pflanzlichen Proteine wurde bei Raumtemperatur ermittelt. Die Durchführung der Methode orientierte sich an der *American Association of Cereal Chemists* (AACC) Methode 88-04

---

[146]. 0,5-1 g Probe wurden auf 0,01 g genau in ein 50 mL Zentrifugenröhrchen eingewogen und schrittweise mit destilliertem (dest.) Wasser versetzt, bis sich ein wässriger Überstand bildete. Die Probe wurde für 20 min zur vollkommenen Rehydratisierung ruhen gelassen und danach nochmals gut durchmischt. Anschließend wurde bei 3000 x g und 20 °C für 15 min zentrifugiert. Der Überstand wurde dekantiert und das Röhrchen anschließend für 10 min in einem Neigungswinkel von 30 ° mit der Öffnung nach unten aufgestellt. Das Zentrifugenröhrchen wurde zurückgewogen und das Gewicht der mit Wasser gesättigten Probe bestimmt. Die Berechnung der Wasserbindekapazität erfolgte nach Gleichung 2-3.1.:

$$\text{WBK} = \frac{m_1 - m_2}{m_2 \cdot \text{TS}_{\text{Probe}}} * 100\% \quad (\text{Gl.: 2-3.1.})$$

WBK	=	Wasserbindekapazität
$m_1$	=	Masse der Probe mit gebundenem Wasser [g]
$m_2$	=	Einwaage Probe [g]
$\text{TS}_{\text{Probe}}$	=	Trockensubstanzgehalt der Probe [%]

Die Messung der Wasserbindekapazität eines Rohstoffes wird in der Produktentwicklung zur Berechnung der gebundenen Wasserbilanz herangezogen. Eine ausgeglichene Wasserbilanz ist erforderlich, um einen Wasserabsatz nach dem Erhitzungsprozess zu vermeiden bzw. um eine gewünschte Textur im Lebensmittel zu erreichen.

### 2.3.1.2 Ölbindekapazität

Die Ölbindekapazität (ÖBK) der Basidiomycetenmyzelien sowie der zu vergleichenden pflanzlichen Proteine wurde bei Raumtemperatur ermittelt. Zur Bestimmung der Ölbindekapazität wurde 1 g Probe in einem tarierten 50 mL Zentrifugenröhrchen auf 0,01 g genau eingewogen, mit 5 mL standardisiertem Sonnenblumenöl intensiv durchmischt und für 1 h ruhen gelassen. Danach wurde das Röhrchen in einem Wasserbad für 30 min bei 30 °C temperiert und nach einer erneuten Durchmischung 15 min bei 3000 x g zentrifugiert. Anschließend wurde das ungebundene Öl entfernt indem der Überstand zunächst dekantiert und das Falcon anschließend 10 min in einem Neigungswinkel von 30 ° mit der Öffnung nach unten aufgestellt wurde. Anschließend würde das Röhrchen zurückgewogen. Die Ölbindekapazität wurde nach Gleichung 2-3.2. berechnet (mod. nach Nosenko et al. 2014 [147]):

---

$$\text{ÖBK [\%]} = \frac{m_f - m_u}{m_u \cdot \text{TS}_{\text{Probe}}} * 100\% \quad (\text{Gl.: 2-3.2.})$$

ÖBK	=	Ölbindekapazität [%]
$m_f$	=	Masse der Probe mit gebundenem Öl [g]
$m_u$	=	ursprüngliche Masse der Probe [g]
$\text{TS}_{\text{Probe}}$	=	Trockensubstanzgehalt der Probe [%]

Die Ölbindekapazität ist ein Maß dafür, wieviel Öl durch einen Stoff gebunden werden kann. Besonders bei der Produktentwicklung von Lebensmitteln mit hohem Fettgehalt ist dieser Wert von hohem Interesse, da Fett bzw. Öl sowohl im kalten Zustand als auch während der Erhitzung gebunden werden soll.

## **2.3.2 Sensorische Untersuchung der Basidiomycetenmyzelien**

Im ersten Schritt wurden die sensorischen Analysen der Basidiomycetenmyzelien durch drei sensorisch geschulte Personen durchgeführt. Hierbei wurden Farbe und Geruch in Konsensfindung beurteilt, und die submers kultivierten Myzelien für die Prüfung im Sensorik-Panel ausgewählt [148]. Zudem wurden Attribute festgelegt, welche die Grundlage für die Schulung des Sensorik-Panels darstellten.

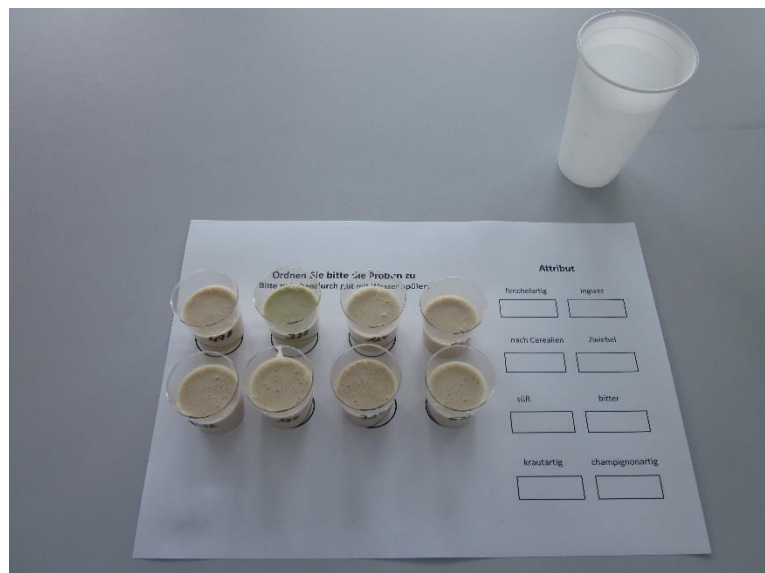
### **2.3.2.1 Schulung des Sensorik-Panels**

Das Sensorik-Panel (n = 12 bis n = 15) wurde zur Vorbereitung der deskriptiven Beurteilung der Basidiomycetenmyzelien schrittweise geschult [21]. In der ersten Sitzung wurden die zuvor festgelegten Referenzmaterialien für die sensorische Bewertung in eine Basissauce (1 L dest. Wasser, 100 g Kartoffelstärke, 10 g NaCl) kalt eingearbeitet und anschließend zusammen beschrieben. In Tabelle 5 sind die definierten Attribute und die hierzu verwendeten Referenzmaterialien und Konzentrationen gezeigt.

**Tabelle 5** Attribute, Referenzmaterialien und ihre eingesetzte Konzentration für die erste Sensorik-Sitzung

Attribute	Referenzmaterial	Konzentration [g L <sup>-1</sup> Basissauce]
nach Ingwer	Ingwer gemahlen	4 g L <sup>-1</sup>
zwiebelartig	Zwiebelpulver	3 g L <sup>-1</sup>
nach Apfel	Apfelpulver	5 g L <sup>-1</sup>
nach Karotte	Karotte gemahlen	4 g L <sup>-1</sup>
hefig	Hefeextrakt	3 g L <sup>-1</sup>
fenchelartig	Fenchel gemahlen	3 g L <sup>-1</sup>
nach Cerealien	Sojakonzentrat	5 g L <sup>-1</sup>
süß	Saccharose	3 g L <sup>-1</sup>
bitter	Koffein	0,1 g L <sup>-1</sup>
krautartig	Petersilie gemahlen	4 g L <sup>-1</sup>
pilzartig	Champignonpulver	4 g L <sup>-1</sup>

Für Attribute, die den Eindruck einer Aroma- oder Geschmacksgruppe beschreiben, wurde ein charakteristisches Referenzmaterial verwendet, um den sensorischen Eindruck zu erzeugen. In der zweiten Sitzung wurden die gelernten Attribute mittels Zuordnungstest (Abb. 7) beurteilt. Diese Sitzung wurde zwei Mal wiederholt. Zur deskriptiven Beschreibung wurden nur Sensoriker zugelassen, die hierbei mindestens 80% richtig zugeordnet hatten [149]. In der dritten Sitzung wurde ein Reihenfolgetest durchgeführt (Abb. 8).



**Abb. 7.** Aufbau der Schulung von Attributen im Zuordnungstest. Proben mit Referenzmaterialien (links) müssen den entsprechenden Attributen (rechts) zugeordnet werden.



**Abb. 8.** Aufbau der Schulung von Attributen im Rangfolgetest. Proben mit Referenzmaterialien (links) müssen für jedes Attribut in der Rangfolge nach Konzentration (rechts) geordnet werden.

Hierzu wurden verschiedene Konzentrationen der Referenzmaterialien (Tabelle 6) in die oben beschriebene Basissauce eingearbeitet und beurteilt. Die Sitzung wurde drei Mal wiederholt. Wurde durch den Sensoriker hierbei nicht mind. 65% richtig erkannt, wurde einmalig nachgeschult. Bei Nichtbestehen wurde der Sensoriker ausgeschlossen [150].

**Tabelle 6** Konzentrationen der Referenzmaterialien im Reihenfolgetest zur Sensorik-Schulung

	Konzentration [g L <sup>-1</sup> Basissauce]			
Ingwer gemahlen	1,0	2,0	4,0	6,0
Zwiebelpulver	0,1	0,5	1,0	2,0
Apfelpulver	0,1	0,3	0,5	1,0
Karotte gemahlen	0,1	0,5	1,0	2,0
Hefeextrakt	0,1	0,5	1,0	2,0
fenchelartig	0,1	0,5	1,0	2,0
Sojakonzentrat	2,0	4,0	6,0	8,0
Saccharose	1,0	2,0	4,0	6,0
Koffein	0,1	0,5	1,0	1,5
Petersilie gemahlen	0,1	0,5	1,0	2,0
Champignonpulver	0,1	0,5	1,0	2,0

### 2.3.2.2 Beurteilung der Basidiomycetenmyzelien

Die erfolgsversprechenden Basidiomycetenmyzelien wurden von einem Panel (n = 12) untersucht. Die Proben für die sensorischen Prüfungen wurden hergestellt, indem das gefriergetrocknete Myzel 1:10 in Wasser oder in einer 1:5:8 Öl in Wasser (o/w)-Emulsion

---

dispergiert wurde. Die Proben wurden durch retronasale Verkostung, also durch die Bewertung des Geschmackes in Kombination mit den über den Rachenraum transportierten und im Nasenraum wahrgenommenen flüchtigen Aromastoffen, bewertet. Die zuvor definierten Aromaeigenschaften (siehe 2.3.2.1) wurden jeweils auf einer unipolaren Kategorienskala (0-9) bewertet [78-80].

Die Beurteilung der Basidiomycetenmyzelien erfolgte in einem klimatisierten Raum bei 22 °C. Die Sensoriker wurden angehalten eine verdeckte, stille Verkostung durchzuführen. Standards der definierten Aromaeigenschaften (Attribute) standen zur Beurteilung zur Verfügung (Abb. 9). Durch die Unterteilung der Kategorienskala mit zehn Einheiten können die wahrgenommenen Reize der komplexen Probe auf einem hohen Skalenniveau sehr genau aufgetragen werden. Die Verwendung einer geraden Anzahl von Einheiten verhindert, dass die Sensoriker im Zweifel einen Mittelwert auswählen [22, 79].



**Abb. 9.** Aufbau einer beschreibenden sensorischen Analyse (Verkostung mit Attributen) von Basidiomycetenmyzel.

Standards der zu bewertenden Attribute standen während der Verkostung zur Verfügung (oben). Jede Probe der Basidiomycetenmyzelien wurde auf einer unipolaren Kategorienskala (0-9) für jedes Attribut bewertet (unten).

## 2.3.3 Toxikologische Untersuchungen ausgewählter Basidiomyceten

### 2.3.3.1 Simulation der menschlichen Verdauung

Die Basidiomycetenmyzelien von PSA\_IM und LED\_CP wurden *in vitro* für toxikologische Untersuchungen verdaut. Hierzu wurde eine Probe von 50,12 g gefriergetrocknetem PSA\_IM

---

mit dest. Wasser auf 150 g ergänzt und homogenisiert. Eine Probe von 102,23 g LED\_CP mit einer Restfeuchte von 57,5% wurde ebenfalls verwendet. Die Proben wurden mit 150 g synthetischem Magensaft (900 mg KCl, 3000 mg NaCl; 360 mg K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>; 1500 mg Mucin mit dest. Wasser auf 1 L gefüllt) homogenisiert und in zwei Aliquote (I und II) von 150 g aufgeteilt. Die Proben wurden mit 1 M HCl auf einen pH-Wert von 2,0 eingestellt. Alle Proben wurden mit 140 mg Pepsin behandelt, homogenisiert, mit N<sub>2</sub> überspült, mit Parafilm (Sigma, Deutschland) bedeckt und unter anaeroben Bedingungen 2 h bei 37 °C inkubiert. Die Proben wurden im Anschluss durch einen Faltenfilter filtriert. LED\_CP\_II und PSA\_IM\_II wurden 1 h auf 85 °C in einem Wasserbad erhitzt. Alle Proben wurden mit 1 M NaOH auf einen pH-Wert von 6,8 bis 6,9 eingestellt und wurden über einen 0,45 µm Membranfilter steril filtriert. Die Proben wurden im Anschluss an den Projektpartner TU Kaiserslautern gegeben. Die aus den toxikologischen Untersuchungen erhaltenen Ergebnisse bilden die Grundlage für den Einsatz in Lebensmittel.

### **2.3.3.2 Resazurin-Reduktions-Assay**

Um die Zytotoxizität der Basidiomycetenmyzelien von PSA\_IM und LED\_CP indirekt zu bestimmen, wurde die Vitalität von Rattenhepatozyten in Primärkultur mittels des Resazurin-Reduktions-Assays bestimmt. Rattenleber wurden nach der Zweistufenmethode von Seglen perfundiert, um primäre Rattenhepatozyten zu isolieren [151]. Die Vitalität der Zellpräparate überschritt in allen Fällen 90%. Hepatozyten wurden mit den Membran-filtrierten Produkten in Konzentrationen von 0,1, 0,5, 1,0, 2,0 und 10% (v/v) in Kulturmedium behandelt und bei 37 °C und 5% CO<sub>2</sub> inkubiert. Die Inkubation mit 0,1% (v/v) Triton-X100 (zugegeben als wässrige Lösung) diente als Positivkontrolle für Zytotoxizität, die Inkubation mit Kulturmedium als Negativkontrolle. Für den Resazurin-Reduktions-Assay [152] wurden Zellen in kollagenisierten 24 Well-Platten in einer Dichte von 160.000 Zellen cm<sup>-2</sup> ausgesät. Nach 24 h, 48 h und 72 h Behandlung wurden die Zellen für 90 min mit Resazurin haltigem Medium inkubiert. Die Emission des von metabolisch aktiven Zellen gebildeten, fluoreszierenden Metabolits Resorufin wurde mittels Fluoreszenzplattenleser detektiert (Emissionswellenlänge 585 nm) und als relative Fluoreszenz (RFU) wiedergegeben.

### **2.3.3.3 Test auf Mutagenität im Ames-Fluktuationstest**

Die Mutagenität der Basidiomycetenmyzelien wurde nach der Methode von Maron und Ames in *Salmonella* Typhimurium mit einer Variation des Ames Fluktuationstests untersucht [153-

---

155]. Der Stamm TA98 wurde verwendet, um Rasterverschiebungsmutationen und der Stamm TA100, um Basenpaarsubstitutionen nachzuweisen. Die Tests wurden mit und ohne metabolische Aktivierung durch Ratten-hepatische S9-Mischung durchgeführt. Hepatische S9-Mischung wurde aus den Lebern von Ratten, die mit Aroclor 1254 behandelt wurden, nach der Methode von Maron und Ames [153] hergestellt. Bakteriensuspensionen wurden mit den Proben aus Basidiomycetenmyzel in Konzentrationen von 0,1, 0,5, 2,0 und 10% (v/v) in Histidin-defizientem Medium behandelt und bei 37 °C inkubiert. 4-Nitro-o-phenylendiamin (für Stamm TA 98 ohne S9), Nitrofurantoin (für Stamm TA 100 ohne S9), 2-Aminoanthracen (für beide Stämme mit S9) dienten als Positivkontrollen und destilliertes Wasser als Negativkontrolle. Das Wachstum von Revertanten in histidinfreiem Medium wurde in 384-Well-Platten mittels des pH-Indikatorfarbstoffs Bromcresolpurpur gemessen, und der Prozentsatz positiver Wells wurde entsprechend berechnet.



---

## 2.4 Herstellungsmethoden in der Produktentwicklung

### 2.4.1 Vegane Wurstanaloga

#### 2.4.1.1 Wurstrezepturen und Rezepturen des veganen Brühwurstsystems

##### 2.4.1.1.1 Deutsche Brühwurst

40% SII Schweinefleisch mit anhaftendem Fettgewebe

30% Schweinefett

30% Eis

3,0 g kg<sup>-1</sup> Natriumdiphosphat (E450)

1,0 g kg<sup>-1</sup> WürstchenPÖK<sup>®</sup> (Ascorbinsäure E300, Dextrose)

10 g kg<sup>-1</sup> g kg<sup>-1</sup> VAN HEES<sup>®</sup> Aufschnitt (Gewürzmischung);

20 g kg<sup>-1</sup> Pökelsalz

##### 2.4.1.1.2 Russische Brühwurst

10% Hühnerbrust

30% mechanisch entbeintes Hühnerfleisch

30% Eis

30% Hühnerhaut-Emulsion (1 Teil LEMAL<sup>®</sup> GC 17 : 17 Teile Wasser : 17 Teile Hühnerhaut)

10 g kg<sup>-1</sup> VAN HEES<sup>®</sup> Doktorskaja (Gewürzzusatzkombination)

17 g kg<sup>-1</sup> Pökelsalz

15 g kg<sup>-1</sup> PRALLO<sup>®</sup> spezial stabil

##### 2.4.1.1.3 Rezeptur der veganen Systeme

80 g VAN HEES<sup>®</sup> Funktion (funktionelle Mischung bestehend aus Kappa- und Iota-Carrageen, Salz, Johannisbrotkernmehl, Reisstärke, Konjak, Zitronensäure, modifizierte Stärke, Natriumcitrat, Süßkartoffelkonzentrat, Karottenextrakt)

12,5 g VAN HEES<sup>®</sup> Veggi flavour (Bestandteile der Gewürzaromamischung: Salz, Dextrose, Gewürze, Gewürzextrakte, Aroma)

---

700 mL dest. Wasser

27,5 g pflanzliches Protein/ Basidiomycetenmyzel/ Füllstoff: Dextrose

180 g standardisiertes Sonnenblumenöl

#### **2.4.1.2 Herstellung der Fleischprodukte (russische und deutsche Brühwurst) im Pilotmaßstab**

Alle tierischen Ausgangsmaterialien (jeweils aus 2.4.1.1.1 oder 2.4.1.1.2.) wurden durch einen kleinen Fleischwolf auf eine Partikelgröße von 3 mm zerkleinert und 1 h bei -18 °C gelagert. Das Material wurde anschließend mit einem kleinen Kutter (4er Messerkopf) auf der höchsten Schüsseldrehzahl und der zweithöchsten Messerdrehzahl mittels All-in-Technologie [156] zerkleinert. Pulverförmige Rezepturbestandteile (jeweils aus 2.4.1.1.1 oder 2.4.1.1.2) wurden den zerkleinerten Fleischrohstoffen nach der ersten Schüttung zugegeben. Die Endtemperatur des Brühwurstbräts betrug 12 °C. Wursthüllen des Kalibers 60 wurden mit dem Brät ohne Bildung von Lufteinschlüssen gefüllt. Jede Charge wurde in fünf Nalo TOP 60er Kaliber Wursthüllen gefüllt. Alle Produkte wurden dreimal hergestellt.

#### **2.4.1.3 Produktion der veganen und vegetarischen Wurstanaloga im Pilotmaßstab**

Für das vegane Brühwurstsystem (aus 2.4.1.1.3) wurde die Mischung VAN HEES® Funktion ohne Proteinquelle und eine Gewürzmischung VAN HEES® Veggi flavour verwendet. Die beiden Mischungen wurden in dest. Wasser bei Raumtemperatur dispergiert. Für die Ansätze mit Protein oder Basidiomycetenmyzel wurden 27,5 g des jeweiligen Pulvers zu den Mischungen (Funktion und Veggi flavour) gegeben. Dextrose wurde als Kontrolle in der Charge ohne Protein bzw. Basidiomycetenmyzel verwendet. Die Mischungen wurden in einem Thermomix für 60 s bei Stufe 4 gerührt, bevor das standardisierte Sonnenblumenöl zugegeben wurde. Die Suspension wurde für 90 s auf Geschwindigkeitsstufe sieben emulgiert und in jeweils zwei Nalo TOP 60er Kaliber Wursthüllen gefüllt.

Eine schematische Abfolge des Herstellungsprozesses ist im Anhang (7.2.1) abgebildet.

---

Folgende pflanzlichen Proteine, Basidiomycetenmyzelien oder Füllstoffe wurden in den Rezepturen eingesetzt:

KON	Dextrose (0-Charge)
SPI	Sojaproteinisolat
SPK	Sojaproteinkonzentrat
EPI	Erbsenproteinisolat
SBK	Sonnenblumenproteinkonzentrat
PSA_IM	<i>Pleurotus sapidus</i> kultiviert mit Isomaltulosemelasse
PSA_AP	<i>Pleurotus sapidus</i> kultiviert mit Apfeltrester

Es wurden jeweils drei Ansätze hergestellt.

Das vegetarische Produkt wurde von der Rügenwalder Mühle ("Vegetarischer Schinken Spicker") bezogen. Alle Zutaten für Textur und Geschmack stammen von der VAN HEES GmbH. Die Deklaration dieses Endprodukts war: Hühnereialbumin, Rapsöl, Wasser, Salz, Gewürze, Johannisbrotkernmehl, Xanthan, Carrageen, Kaliumlactat, Natriumacetat, Glucose, Carotin und Anthocyane.

#### **2.4.1.4 Herstellung des veganen Brotbelags im großtechnischen Maßstab**

Für den großtechnischen Versuch wurde die 15-fache Ansatzmenge der Rezeptur des veganen Systems (siehe aus 2.4.1.1.3) verwendet und die Gewürzmischung angepasst. Hierzu wurden  $1,5 \text{ g kg}^{-1}$  Muskatblüte,  $1,0 \text{ g kg}^{-1}$  Majoran gemahlen,  $0,5 \text{ g kg}^{-1}$  Thymian gemahlen der Masse hinzugefügt.

Im Kutter wurde lauwarmes dest. Wasser vorgelegt. Alle pulverförmigen Produkte wurden im langsamen Gang mit  $500 \text{ U min}^{-1}$  untergemischt. Nach Verteilung wurde für 3 min in den zweiten Schüsselgang mit  $1000 \text{ U min}^{-1}$  der Messerwelle geschaltet. Standardisiertes Sonnenblumenöl wurde zugegeben und das Gemisch bei  $3000 \text{ U min}^{-1}$  unter Vakuum (240 mbar) für 5 min emulgiert. Die Masse wurde in Nalo TOP 60er Kaliber Wursthüllen gefüllt.

---

### 2.4.1.5 Erhitzungsprozess

Alle hergestellten Produkte wurden in einem Backofen bei einer konstanten Temperatur von 85 °C mit 100% Feuchtigkeit wärmebehandelt, bis eine Kerntemperatur von 72 °C erreicht war. Danach wurden die Proben sofort in einem Eiswasserbad gekühlt. Alle Proben wurden für mind. 24 h bei 4 °C gelagert.

## 2.4.2 Glutenfreies Brot

### 2.4.2.1 Rezeptur und Mehlmischung

Das Rezept der untersuchten Brote im Laborversuch (SSE: *small scale experiments*) und Technikumsversuch (LSE: *large scale experiments*) hatte folgende Zusammensetzung:

37,5% VAN HEES® Gluten frei (glutenfreie Mehlmischung bestehend aus: Tapiokastärke, Reismehl, Erbsenfaser, Kartoffelstärke, Psyllium, Maismehl, Zucker und Salz. Die analytischen Daten waren: Trockenmasse 90,1%, Aschegehalt 3,8%, verdaubare Kohlenhydrate 63,6%, Faser 18,3%, Fett 0,4% und Protein 4,0%)

1,1% WELLENCE™ Gluten Free 47129 (Mischung aus Hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) und Natriumcarboxymethylcellulose (CMC)) und

0,5% WALOCEL™ CRT 20.000 PA (CMC)

1,9% frische Hefe

3,8% standardisiertes Sonnenblumenöl

51% destilliertes Wasser

4,2% verschiedene Proteinquellen/ Basidiomycetenmyzelien

Folgende pflanzliche Proteine oder Basidiomycetenmyzelien wurden in den Rezepturen eingesetzt:

EPI Erbsenproteinisolat

SPK Sojaproteinkonzentrat

GLU Gluten

PSA\_IM *Pleurotus sapidus* kultiviert mit Isomaltulosemelasse

PSA\_AP *Pleurotus sapidus* kultiviert mit Apfeltrester

LED\_CP *Lentinula edodes* kultiviert mit Karottentrester

Es wurden jeweils drei Ansätze hergestellt. Die Inhaltsstoffe der eingesetzten Proteinquellen sind in Tabelle 7 dargestellt.

**Tabelle 7** Inhaltsstoffe der eingesetzten Proteinquellen (glutenfreies Brot)

	Protein- gehalt [%]	Fett- gehalt [%]	Asche- gehalt [%]	Feuchte [%]	Kohlenhydrat- gehalt* [%]
EPI	86.1 ± 2.0	1.2 ± 0.1	6.0 ± 0.1	4.0 ± 0.1	2.7 ± 2.3
SPK	70.1 ± 1.4	1.0 ± 0.2	8.0 ± 0.2	6.5 ± 0.3	14.4 ± 2.1
GLU	91.3 ± 1.5	0.7 ± 0.2	4.3 ± 0.1	3.7 ± 0.1	
PSA_IM	27.7 ± 0.5	3.0 ± 0.3	6.0 ± 0.1	2.4 ± 0.2	60.9 ± 1.1
PSA_AP	24.1 ± 0.6	4.0 ± 0.2	1.6 ± 0.2	4.1 ± 0.2	66.2 ± 1.2
LED_CP	29.0 ± 0.4	4.4 ± 0.3	5.8 ± 0.3	4.5 ± 0.1	56.3 ± 1.1

\* Kohlenhydratgehalt wurde berechnet

### 2.4.2.2 Brotherstellung

Für alle Versuche wurden die Mehlmischung, die verschiedenen Proteinquellen bzw. kein Protein (KON) und die beiden Methylcellulose-Derivate gemischt. Im Anschluss wurden standardisiertes Sonnenblumenöl und frische Hefe zugegeben und das Gemisch für 1 min homogenisiert. Destilliertes Wasser wurde zugegeben und das Gemisch für 3 min angeteigt. In den Laborversuchen wurde ein Farinograph® für die Teigverarbeitung verwendet, während die Teige im Technikumsversuch mit einem CookingChef® Küchengerät mit einem Knethaken hergestellt wurden. Die Laborversuche wurden dreifach aus 130 g Teig hergestellt. Die Versuche im Technikum (1000 g Teig) wurde einmal durchgeführt. Die Teige wurden für 20 min bei 31 °C und 90% Feuchtigkeit gehen gelassen. Danach wurden die Teige 30 s geknetet, in Laibe portioniert (SSE: 80 g; LSE: 600 g) und erneut für 40 min bei 31 °C und 90% Luftfeuchtigkeit im Gärschrank fermentiert. Die Brote aus dem Laborversuch wurden bei 230 °C für 20 min (Brotbackofen Fa. Binder FD 23) auf Einschub 3 und die Brote im Technikumsversuch bei 170 °C für 40 min (Backofen Fa. Rational) auf Einschub 5 gebacken. Eine schematische Abfolge des Herstellungsprozesses ist im Anhang (7.2.2) abgebildet.

## 2.4.3 Bindesystem für Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art

### 2.4.3.1 Rezeptur und Fleischauswahl

*Fleischrezeptur zur Herstellung von Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art*

35% frische, knochenlose Truthahnschenkel

15% Rinderfett

---

15% Rindfleisch (Kategorie RII)

35% dünne Bauchlappen von Kalb

30 g kg<sup>-1</sup> Gewürzmischung VAN HEES® Hackdöner Gewürz KP (Gewürze, Speisesalz)

26 g kg<sup>-1</sup> PRALLO® Döner Funktion (Speisesalz, Kartoffelstärke, Natriumcitrat, Cellulosepulver

13 g kg<sup>-1</sup> der verschiedenen Proteine / Basidiomycetenmyzelien bzw. Dextrose als Kontrolle

30 g kg<sup>-1</sup> Paniermehl

Das Fleisch wurde von einer örtlichen Metzgerei (Metzgerei D. Rembser GmbH, Mainz-Kastel) bezogen. Das rohe Fleisch wurde in Würfel mit einer Kantenlänge von ca. 8 cm geschnitten und anschließend bei -1 °C für 1 h gelagert. Die Gewürzmischung (VAN HEES® Hackdöner Gewürz KP) und eine Funktionsmischung (PRALLO® Döner Funktion) wurden zu 1 kg Hackfleisch hinzugefügt. Zusätzlich wurden 13 g kg<sup>-1</sup> der verschiedenen Proteine bzw. Dextrose (KON) oder Basidiomycetenmyzel hinzugegeben. Während des Herstellungsprozesses wurden der Masse zur Stabilisierung zusätzlich 30 g kg<sup>-1</sup> Paniermehl hinzugefügt.

Folgende pflanzliche Proteine oder Basidiomycetenmyzelien wurden in den Rezepturen eingesetzt:

KON Dextrose

SPI Sojaproteinisolat

SPK Sojaproteinkonzentrat

SBK Sonnenblumenproteinkonzentrat

EPI Erbsenproteinisolat

POPI Kartoffelproteinisolat

EWP Hühnereialbuminpulver

PSA\_IM *Pleurotus sapidus* kultiviert mit Isomaltulosemelasse

LED\_CP *Lentinula edodes* kultiviert mit Karottentrester

Es wurden jeweils drei Ansätze hergestellt.

---

### 2.4.3.2 Herstellung von Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art

Die frisch geschnittenen Fleischwürfel wurden im Mischfleischwolf für 5 min homogenisiert und über eine 3 mm Scheibe gewolft. Das gesamte Hackfleisch für den Versuch wurde mit einem Vakuum-Paddelmischer standardisiert. Das Hackfleisch wurde in 10 kg Portionen aufgeteilt. Neun verschiedene Marinaden wurden mit 150 mL kg<sup>-1</sup> dest. Wasser, 26 g kg<sup>-1</sup> Funktionsmischung, 30 g kg<sup>-1</sup> Gewürzmischung und 13 g kg<sup>-1</sup> der verschiedenen Proteinquellen, Basidiomycetenmyzelien oder Dextrose zur Kontrolle hergestellt. Die Marinade wurde dem Fleisch, das sich im Vakuum-Paddelmischer befand, zugesetzt und mit 43 rpm (Umdrehungen pro Minute) mit 90% Vakuum (245 mbar) bei -1 °C für 15 min gemischt. Anschließend wurden Semmelbrösel (30 g kg<sup>-1</sup>) zugegeben und das Produkt erneut für 10 min bei den gleichen Einstellungen gemischt. Die Massen wurden für 12 h bei 2 °C gelagert. Nach der Lagerung wurden die Massen in 1 kg große Kugeln portioniert. Jede Portion wurde 1 min geknetet und dann auf einen Dönerspieß gesteckt und sieben Tage bei -18 °C eingefroren. Der Versuch wurde dreimal wiederholt, um den potentiellen Einfluss der Varietät des Rohstoffs Fleisch auf die Versuchsergebnisse zu reduzieren. Die Herstellung der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art wurde durch die Technologen des *Ethnic-Fast-Food-Teams* der VAN HEES GmbH randomisiert durchgeführt.

Für die TPA wurden ein Kilogramm jeder rohen fertigen Masse in eine hitzebeständige Aluminiumform gefüllt und bei -18 °C für 24 h gelagert.

Eine schematische Abfolge des Herstellungsprozesses ist im Anhang (7.2.3) abgebildet.

### 2.4.3.3 Grillen

Die gefrorenen, rohen Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art wurden auf einem vertikalen Spieß, der sich langsam vor einem offenen Gasofen drehte, gegrillt. Die gegrillte Oberfläche wurde mit einem elektrischen Messer für Döner unter standardisierten Abläufen geschnitten. Das erste Schneiden erfolgte nach 45 min grillen. Die nächsten vier Schnitte wurden jeweils nach 15 min durchgeführt. Danach wurde der Ofen abgeschaltet und die Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art wurden für 1 h ruhen gelassen. Nach der Ruhezeit wurde nach 15 min Grillzeit erneut geschnitten.

Die für die TPA vorbereiteten gefrorenen 1 kg-Proben wurden in einem Backofen bei 160 °C mit 10% Feuchtigkeit für 80 min gegrillt. Die Proben wurden dann gekühlt und 24 h bei 2 °C gelagert.

---

## 2.5 Analytische Methoden

### 2.5.1 Trockenmasse (indirekte Wasserbestimmung)

Die Differenz zwischen dem Probengewicht (Masse) vor und nach dem Trocknen wurde bei Normaldruck ermittelt. Hierzu wurde die Probe (2-5 g) in dreifacher Wiederholung mit Seesand (25-30 g) vermischt, für 3 h bis zur Massenkonstanz bei 105 °C getrocknet. Die Probe wurde im Exsikkator über Nacht auskühlen lassen und danach das Gewicht bestimmt [96]. Die Trockenmasse wurde gemäß Gleichung 2-5.1 ermittelt.

$$\% \text{ Trockenmasse} = \frac{m_T}{m_{\text{ges}}} \times 100 \quad (\text{Gl.: 2-5.1.})$$

$m_T$  = Masse der getrockneten Substanz

$m_{\text{ges}}$  = Gesamtmasse der Probe vor dem Trocknen

### 2.5.2 Aschegehalt

Der Aschegehalt wurde in einem Mikrowellen-Muffelofen bestimmt. Hierzu wurde die Probe in einen Glasfasertiegel eingewogen und bei 600 °C für 1 h verascht. Bei dieser Methode ist keine Probenvorbereitung nötig. Die Probe wurde im Exsikkator über Nacht auskühlen lassen und danach das Gewicht bestimmt [97]. Der Aschegehalt wurde gemäß Gleichung 2-5.2. ermittelt.

$$\% \text{ Asche} = \frac{m_A}{m_{\text{ges}}} \times 100 \quad (\text{Gl.: 2-5.2.})$$

$m_A$  = Masse der veraschten Substanz

$m_{\text{ges}}$  = Gesamtmasse der Probe vor dem Veraschen

### 2.5.3 Wasseraktivität

Die Wasseraktivität ist ein Maß für die Verfügbarkeit von „freiem“ Wasser in Lebensmitteln und darf nicht mit dem Wassergehalt (g Wasser/g Substrat) verwechselt werden. Der Wasseraktivitätswert ( $a_w$ -Wert) wird zwischen 0 (absolute Trockenheit) und 1 (kondensierende Feuchte) angegeben und ergibt sich aus Gleichung 2-5.3. Er ist damit



---

gleichbedeutend mit der relativen Gleichgewichtsfeuchtigkeit bei einer bestimmten Temperatur.

$$a_w = \frac{p}{p_0} \quad (\text{Gl.: 2-5.3})$$

$a_w$  = Wasseraktivität

$p$  = Wasserdampfpartialdruck im Lebensmittel

$p_0$  = Wasserdampfpartialdruck von reinem Wasser

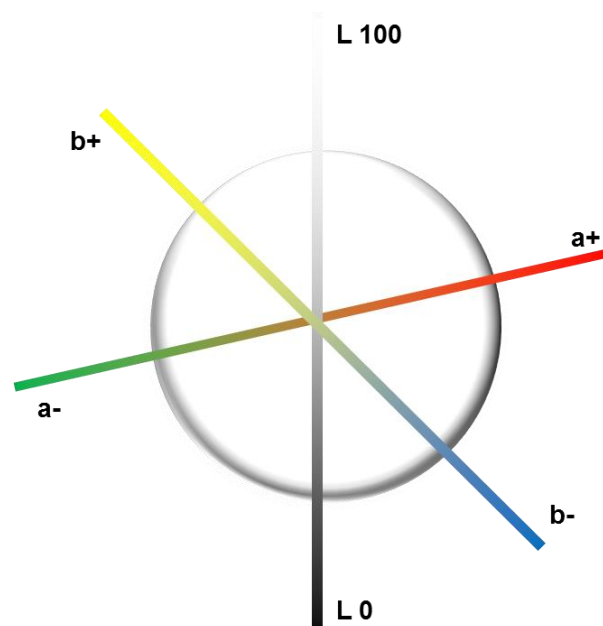
Um die Wasseraktivität eines Produktes zu messen, wird die Probe in die luftdichte Kammer des Messgerätes gegeben. Nach Erreichen des Gleichgewichtes bei einer konstanten Temperatur wird die Luftfeuchtigkeit über der Probe gegen eine Kalibriergrade vermessen. Die Kalibriergrade wurde durch resistive-elektrolytische Messzellen vor jedem Messbeginn standardisiert vom Wasseraktivitäts-Messgerät vermessen. Die  $a_w$ -Wert-Bestimmung wurde dreimal wiederholt [98].

#### **2.5.4 pH-Wert**

Der pH-Wert ist das Maß für die Stärke der sauren bzw. basischen Wirkung einer Lösung. Daneben kann der Messwert Auskunft über den sensorischen Eindruck und die systemischen Eigenschaften des Lebensmittels gegenüber mikrobiellen Stämmen liefern. Die pH-Werte wurden mit einer Stich-pH-Elektrode bei einer RT von 22 °C direkt im Lebensmittel bestimmt bzw. das Lebensmittel mit einem Labormixer homogenisiert und dann vermessen. Hierzu wurde die Elektrode für 5 min im Lebensmittel belassen und danach abgelesen. Die Bestimmung wurde dreifach wiederholt [41].

#### **2.5.5 Farbmessung**

Die Farbe wurde mit einem Spektralphotometer gemessen und unter Verwendung des CIE-L\*a\*b\*-Farbraums (Abb. 10) aufgezeichnet [157, 158]. Alle Messungen wurden vierfach auf transversal geschnittenen Proben der hergestellten Würste bzw. Dönerschnitte durchgeführt. Eine visuelle Bewertung der Farbe wurde ebenfalls vom Sensorik-Panel im Rahmen der beschreibenden Sensorik (siehe 2.7.3.1.1) vorgenommen.



**Abb. 10.** CIE L\*a\*b\*-Farbraum modifiziert nach [158]:

Der L\*a\*b\*-Farbraum enthält alle wahrnehmbaren Farben. Der Farbraum ist auf Grundlage der Gegenfarbentheorie konstruiert und geräteunabhängig. Das bedeutet, dass die Farben unabhängig nach DIN 6174 von der Art ihrer Erzeugung und Wiedergabetechnik definiert werden.

## 2.5.6 Volumenmessung von Backwaren

Das Brotvolumen wurde mittels AACC Methode 10-16.01 mit einem Volumenscanner zwei Stunden nach dem Ende der Backzeit bestimmt (SSE Versuche). Das Messprinzip beruht auf der berührungslosen Abstandsmessung mit einem Lasersensor. Der Umfang der Probe wird längs der Brotachse in definierten Abständen gescannt. Mit den so erhaltenen Messdaten wird das Volumen errechnet [159].

Bei den Technikumsversuchen (LSE) wurden die Brotvolumina nach einer modifizierten Neumann-Methode gemessen [93]. Die Ermittlung des Gebäckvolumens erfolgt auf der Grundlage des Verdrängungsprinzips. Der Messbehälter wurde bis zum Rand mit Speisesalz gefüllt, die überschüssige Menge mit einem Lineal abgestrichen (Volumen des Behälters). Der Messbehälter wurden geleert, das zu messende Gebäck hineingelegt, das Speisesalz hineingegeben und das überschüssige Salz mit einem Lineal abgestrichen. Durch die Differenzwägung des Salzes wurde dann das Volumen berechnet.

---

## 2.6 Messung der techno-funktionellen Eigenschaften

### 2.6.1 Rheologische Untersuchungen roher Lebensmittelsysteme

#### 2.6.1.1 Klebrigkeitsmessung mittels instrumenteller Texturanalyse

Die Klebrigkeit eines Lebensmittels kann während der Herstellung gewünscht oder hinderlich sein. Da Proteine auch die Eigenschaften besitzen, Klebrigkeit zu vermitteln, wurden der Teig des glutenfreien Brotes und die rohe Hackfleischmasse der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art auf Klebrigkeit getestet [117, 160]. Alle Proben wurden in zehnfacher Wiederholung mit einem Dia-Zylinder (P/1 Dia Zylinder Delrin gerundetes Aluminium; Kontakt 506,71 mm<sup>2</sup>, Nr. SMS P/50) unter Verwendung des Textur-Messgerätes TAXT2i und der Software Exponent vermessen. Der Dia-Zylinder wurde mit 0,5 mm s<sup>-1</sup> betrieben. Der Dia-Zylinder hatte 10 s Haltezeit mit 1500 g Gegendruck, bevor er zurückzog. Der Zielparameter war die Kraft. Die Höhe des negativen Peaks stellte die maximale Kraft dar, die erforderlich war, um das rohe Lebensmittel vom Zylinder zu trennen (maximale Ablösungskraft). Die Adhäsionskraft, die zur Ablösung des Zylinders nötig war, wurde aus dem Bereich unter der Kraft-Zeit-Kurve berechnet.

##### 2.6.1.1.1 *Glutenfreie Teige*

Die Proben wurden unmittelbar nach dem Portionieren der rohen Laibe von den Teigen genommen. Sie wurden in 10 g Portionen abgewogen und in runden Teiglingen vermessen. Da es sich bei der Klebrigkeit um einen praxisorientierten Index handelt, wurde dieser nur beim Pilotmaßstab im Technikum (LSE) untersucht.

##### 2.6.1.1.2 *Rohe Hackfleischmasse zur Herstellung von Drehspießen*

Die Proben wurden unmittelbar nach dem Stecken des Dönerspießes genommen. Sie wurden in 10 g Portionen abgewogen, in runde Bällchen geformt und vermessen.

---

### **2.6.1.2 Kriecherholung und Schwingungsrheologie mittels oszillierendem Scherrheometer**

Die Teig rheologie der Laborversuche wurde unter Verwendung eines Rheometers mit einer Parallelplattengeometrie (PP25, Durchmesser 25 mm) durch eine Kombination eines Kriecherholungs- und eines *Frequenz-Sweep* Oszillationstests analysiert.

#### *Kriecherholung*

Die Parameter für die Kriechphase waren: Temperatur 30 °C, Scherspannung 50 Pa, Kriechzeit 300 s, Spalt 2 mm; in der Erholungsphase: Temperatur 30 °C, Scherspannung 0 Pa, Erholungszeit 900 s, Spalt 2 mm.

#### *Schwingungsrheologie (Frequenz-Sweep)*

Die Parameter für den Oszillationstest: Temperatur 30 °C, Spannung 0,001, Frequenz 0,1-10 Hz log (innerhalb des linearen viskoelastischen Bereichs), Spalt 2 mm.

In beiden Versuchen wurde der Teig (2 g) vor Beginn der Messung mit einem Spatel zwischen die Platten gelegt und die obere Platte vorsichtig auf den eingestellten Spalt von 2 mm abgesenkt. Der überschüssige Teig wurde vorsichtig mit einem Spatel abgeschnitten und der Rand mit Paraffinöl (dynamische Viskosität bei 20 °C: 110-230 mPas) bedeckt, um ein Austrocknen der Probe während der Messung zu verhindern. Es wurde vor jeder Messung eine Ruhezeit von 2 min bei 30 °C eingehalten, um die Teige komplett zu entspannen. Daten wurden mit der Software Rheoplus-32-V3.40 aufgezeichnet und verarbeitet.

## **2.6.2 Rheologische Untersuchung erhitzter Lebensmittelsysteme**

### **2.6.2.1 Textur-Profil-Analyse**

Alle instrumentellen Texturanalysen [137-139] wurden bei 22 °C durchgeführt. Die Einstellungen sowie die Werkzeuge wurden je nach Lebensmittelsystem ausgewählt. Alle Proben wurden mit einem Textur-Messgerät TAXT2i und der Software Exponent komprimiert und ausgewertet. In allen Experimenten wurde der Dia-Zylinder mit 5 mm s<sup>-1</sup> betrieben [161].

---

#### 2.6.2.1.1 *Vegane Wurstanaloga*

Für jede Charge und deren Wiederholung wurden acht Messungen direkt nach der Herstellung und nach einer Lagerung von 4 Wochen durchgeführt. Die Proben wurden mit einer Dicke von 1,0 cm und einem Durchmesser von 6 cm zweimal auf 50% ihrer ursprünglichen Höhe komprimiert. Hierfür wurde ein Test-Dia-Zylinder (P/05R1/2 Dia Zylinder Delrin; Kontakt 126,68 mm<sup>2</sup>, Nr. SMSP /0-5) verwendet.

#### 2.6.2.1.2 *Glutenfreies Brot*

Für jede unabhängige Charge wurden neun (SSE) bzw. zehn Messungen (LSE) einen Tag nach dem Backen durchgeführt. Die Proben wurden mit einer Dicke von 2,5 cm zweimal auf 50% ihrer ursprünglichen Höhe komprimiert. Hierfür wurden ein Plexiglaszylinder (P/05R1/2 Dia Zylinder Delrin mit Radius; Kontakt 126,68 mm<sup>2</sup>, Nr. SMSP / 0-5) für den Laborversuch und ein Dia Zylinder (P/1 Dia Zylinder Delrin gerundetes Aluminium; Kontakt 506,71 mm<sup>2</sup>, Nr. SMSP / 50) für den Großversuch verwendet.

#### 2.6.2.1.3 *Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art*

Aus den gegrillten und abgekühlten 1 kg Portionen der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art wurden mit einer Aufschnittmaschine Scheiben mit einer Dicke von 20 mm geschnitten, aus denen Proben mit einem Durchmesser von 8 cm ausgestochen wurden. Diese wurden zweimal auf 50% ihrer ursprünglichen Höhe komprimiert. Hierzu wurde ein Dia Zylinder (P/1 Dia Zylinder Delrin gerundetes Aluminium; Kontakt 506,71 mm<sup>2</sup>, Nr. SMSP / 50) verwendet.

---

## 2.7 Sensorische Untersuchungen der Lebensmittel

### 2.7.1 Panalauswahl und Schulung für Lebensmittel

Das Sensorik-Panel beschäftigt sich weitgehend mit der Beurteilung von Fleisch- und Wurstwaren. Aus diesem Grund wurden besonders die Lebensmittel geschult, die für das Panel neu waren, wie beispielsweise Brot.

Folgende Schulungen wurden durchgeführt:

- Offene Darstellung des Lebensmittels + Attribute zum Kennenlernen + Fehler erkennen
- Fehler erkennen und darstellen
- Hedonische Beurteilung der Lebensmittel auf einer 9-Punkte Kategorienskala

Alle Lebensmittel in der Produktentwicklung wurden mittels bekannter 9-Punkte Kategorienskala bewertet:

- 1 = missfällt außerordentlich
- 2 = missfällt sehr
- 3 = missfällt deutlich
- 4 = missfällt gering
- 5 = weder gefällt noch missfällt (neutral)
- 6 = gefällt gering
- 7 = gefällt deutlich
- 8 = gefällt sehr
- 9 = gefällt außerordentlich

Die Auswahl der Sensoriker wurde nach der Zugehörigkeit in der Firma, dem täglichen Umgang mit sensorischen Bewertungen von Lebensmitteln, sowie der Verfügbarkeit in der Bewertungszeit vorgenommen. Alle Sensoriker hatten sich durch den täglichen Umgang mit Fleisch- und Wurstwaren sowie Analogen dazu qualifiziert.

---

## **2.7.2 Haptische Untersuchung der Steckbarkeit von rohem Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art**

Jedes Produkt wurde vom *Ethnic*-Fast-Food-Team bewertet. Hierbei wurden folgende Attribute abgefragt: Portionier-, Form- und Steckbarkeit des Spießes. Die Bewertung erfolgte auf einer hedonischen 9-Punkte- Kategorienskala (9 = gefällt außerordentlich, 1 = missfällt außerordentlich).

## **2.7.3 Sensorische Untersuchung von Lebensmittelsystemen**

### **2.7.3.1 Wurstanaloga**

#### *2.7.3.1.1 Beschreibende Sensorik*

Die sensorischen Analysen wurden von 13 Sensorikern (Sensorik-Panel vgl. 2.7.1) aus der Abteilung Entwicklung, Forschung und Qualität der VAN HEES GmbH in drei Wiederholungen für jede hergestellte Charge durchgeführt. Vor den sensorischen Analysen wurde das Panel speziell für die sensorische Beschreibung dieser Produkte geschult. Die Teilnehmer wurden zu den Attributen Geschmack und Textur (Beschaffenheit / Härte) befragt und mussten ihren Eindruck auf einer hedonischen 9-Punkte- Kategorienskala (siehe 2.7.1) eintragen. Zusätzlich musste das Panel die Produkte in der Reihenfolge von weich bis hart sortieren (Tabelle 13). Die Proben wurden in Scheiben von 2 mm Dicke auf einem Teller gereicht. Die Experimente wurden in einem angemessen gestalteten, belüfteten und beleuchteten Raum durchgeführt. Bewertungen von 1-4 Punkten zeigten an, dass das Panel-Mitglied die Textur und/ oder den Geschmack des Produkts nicht mochte. Eine Punktzahl von 5 bedeutete eine neutrale Wahrnehmung, und Punktzahlen von 6 bis 9, dass die Testperson die Probe bevorzugte. Die Lagerung der Proben über 4 Wochen bei 2 °C simulierte die Lagerzeit im Supermarkt, um die Stabilität der Textur und mögliche Geschmacksveränderungen während der Lagerung zu bewerten.

#### *2.7.3.1.2 Sensorischer Akzeptanztest*

Auf der Internationalen Fleischer Fachausstellung (IFFA) 2016 in Frankfurt am Main wurde ein branchennaher sensorischer Akzeptanztest (n=330) mit einem hergestellten veganen Brotbelag mit PSA\_IM durchgeführt. Zur Bewertung des veganen Systems wurde ein

Fragebogen mit den Attributen Farbe, Geschmack, Geruch, Mundgefühl und Festigkeit/ Biss erstellt (Abb. 11). Unter jedem Attribut wurde die Ähnlichkeit im gelernten Vergleich zur Wurstware mit einer 5-Punkte-Skala bewertet (1 = gefällt bis 5 = ablehnend). Zusätzlich wurden die Probanden zu ihrem Beruf, ihrem Alter und ihrem Geschlecht befragt.

### Akzeptanztest eines veganen Brotbelags

Zur Person: Sind Sie

Fleischer/in       Fleischtechniker/in       Verkäufer/in  
 Lebensmitteltechnologe/in       sonstiges \_\_\_\_\_  
 männlich       weiblich  
 18-25    25-35    35-45    45-55    55-65    > 65

Sie haben 3 Scheiben vegane Wurst vor sich bitte beurteilen Sie (bitte 1 Kreuz machen)

FARBE

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
gefällt	akzeptiert	weder gefällt noch missfällt	nicht akzeptiert	ablehnend

GESCHMACK

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
gefällt	akzeptiert	weder gefällt noch missfällt	nicht akzeptiert	ablehnend

GERUCH

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
gefällt	akzeptiert	weder gefällt noch missfällt	nicht akzeptiert	ablehnend

MUNDGEFÜHL

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
gefällt	akzeptiert	weder gefällt noch missfällt	nicht akzeptiert	ablehnend

FESTIGKEIT/ BISS

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
gefällt	akzeptiert	weder gefällt noch missfällt	nicht akzeptiert	ablehnend

**Abb. 11.** Fragebogen für die Verkostung des veganen Brotbelags mit PSA\_IM zur Bewertung der Akzeptanz auf der IFFA 2016.

Abgefragt wurden Daten zur Person (Beruf, Geschlecht und Alter). Zur Bewertung der Akzeptanz wurden die Attribute Farbe, Geschmack, Geruch, Mundgefühl und Festigkeit/Biss abgefragt und jeweils auf einer 5-Punkte-Skala bewertet (gefällt, akzeptiert, weder gefällt noch missfällt (entspricht einer neutralen Bewertung), nicht akzeptabel, ablehnend).



---

### **2.7.3.2 Glutenfreies Brot**

Mit einem zehnköpfigen Sensorik-Panel wurde das sensorische Profil der Brote aus dem Technikumsversuch mit den Attributen Bräunung der Kruste (Farbe), Krumenstruktur und Porengleichheit beurteilt. Zudem wurden der Geruch und der Geschmack bewertet, um mögliche Fehlgerüche zu detektieren und eine Bewertung der Akzeptanz für jedes gebackene Produkt abgefragt. Jeder Sensoriker wurde vor dem Verkosten für alle Attribute anhand eines handelsüblichen Weizenmischbrottes ausgerichtet und zudem wie in 2.7.1 geschult [162].

### **2.7.3.3 Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art**

#### *2.7.3.3.1 Sensorische Beurteilung während des Grillens*

Während des Grillens bewertete das Panel (15 Personen) die gegrillte Oberfläche der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art vor und nach dem Schneiden auf einer hedonischen 9-Punkte-Kategorienskala. Einer der Technologen des *Ethnic-Fast-Food-Teams* bewertete jeweils die Schnittqualität. Das Schneiden wurde bei der Wiederholung jeweils durch einen anderen Technologen durchgeführt.

#### *2.7.3.3.2 Sensorische Beurteilung der gegrillten Hackfleischspieße*

Für die sensorische Untersuchung wurden die gegrillten Schnitte der verschiedenen Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art für 2, 4 und 6 Tage in Vakuumbuteln gelagert. Die Beurteilung der verschiedenen Proben wurde vom Sensorik-Panel dreimal wiederholt. Zuvor war das Panel speziell geschult worden, wobei hier besonders Fehlgeschmack und Bindung der Hackfleischmasse im Vordergrund standen (2.7). Die Teilnehmer wurden gebeten anzugeben, wie sehr sie jedes Produkt auf einer hedonischen 9-Punkte- Kategorienskala (2.7.1) bezüglich Farbe, Härte und Geschmackseigenschaften bevorzugen oder ablehnen. Die Proben wurden zur Verkostung erneut erhitzt, abgedeckt und im warmen Zustand zwischen 35 °C und 45 °C getestet. Die Experimente wurden in einem angemessen gestalteten, belüfteten und beleuchteten Raum bei 22 °C durchgeführt.

---

## 2.8 Statistische Auswertungen

Für toxikologische Untersuchungen wurden die statistischen Werte (Mittel und Standardabweichungen) und die in den Diagrammen (Balkendiagrammen) verwendeten Daten unter Verwendung des Softwarepakets Origin 9.1 (OriginLab, Northampton, MA, USA) berechnet. Die statistische Signifikanz wurde durch ANOVA- und Dunnett-Test mit der Software InStat 3.0 (GraphPad, La Jolla, CA, USA) bestimmt. Alle Experimente wurden mindestens mit  $n = 3$  Wiederholungen durchgeführt. Für alle anderen Messungen wurden eine *one way*-Varianzanalyse (ANOVA) und ein paarweiser PostHoc-Test (Tukey-Test) durchgeführt. Das Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  wurde als signifikant und das Signifikanzniveau von  $p < 0,01$  als hoch signifikant definiert. Vor den ANOVA-Berechnungen wurden Standardabweichungen und Varianz bestimmt und Grubbs-Ausreißertests mit einem Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  durchgeführt. Die Vergleichsvariablen waren die verschiedenen Proteine und die Kontrolle.

---

## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Basidiomycetenmyzelien

#### 3.1.1 Techno-funktionelle Untersuchungen

##### 3.1.1.1 Wasserbindekapazität

**Tabelle 8** Wasserbindekapazität der untersuchten Basidiomycetenmyzelien

	WBK [mL g <sup>-1</sup> ]	SD [%]	Proteingehalt [%]
AAE_BS	2,69	0,15	26,1
AAE_GA	5,99	0,14	18,6
AAE_AP	7,05	0,13	17,9
AAE_IM	1,83	0,19	13,3
AAE_CP	6,59	0,18	20,5
LED_AP	4,43	0,14	20,4
LED_GA	4,50	0,13	16,3
LED_CP	7,00	0,12	27,1
LED_IM	3,56	0,14	24,0
LSU_AP	7,46	0,14	15,5
LSU_CP	7,36	0,21	8,9
PSA_ARO	7,20	0,15	11,6
PSA_AP	6,73	0,10	20,7
PSA_BS	3,81	0,18	28,0
PSA_GA	6,48	0,17	11,1
PSA_CP	7,76	0,07	23,3
PSA_IM	2,51	0,28	22,1
PSA_ZT	5,23	0,15	28,4
SRU_BS	3,07	0,17	34,0
SRU_GA	8,91	0,21	7,0
WCO_ARO	5,81	0,22	12,9
WCO_CP	8,86	0,17	13,2
WCO_ZT	5,63	0,15	14,0

\* Proteingehalt an der JLU Gießen analysiert

Die Ergebnisse in Tabelle 8 zeigen, dass besonders die Basidiomycetenmyzelien eine hohe Wasserbindekapazität hatten, die mit faserreichen Agrarnebenströmen kultiviert wurden. Besonders Basidiomyceten, die mit dem Agrarnebenstrom Karottenfaser (CP) kultiviert wurden haben überdurchschnittliche hohe Werte erzielt.

**Tabelle 9** Wasserbindekapazität von kommerziell verfügbaren pflanzlichen Proteinen

	WBK [mL g <sup>-1</sup> ]	SD [%]	Proteingehalt [%]
EPI	3,0	0,1	90,1
SPK	4,0	0,1	69,8
SPI	6,7	0,2	90,2

Die Werte der Wasserbindekapazität von Basidiomycetenmyzelien und von kommerziell verfügbaren Proteinen (Tabelle 9) sind miteinander vergleichbar. Kultiviert man jedoch die Basidiomyceten mit Agrarnebenströmen wie Isomaltulosemelasse (IM), die keine Fasern enthalten, waren die gemessenen Wasserbindekapazitäten geringer und bewegt sich zwischen 1,83 mL g<sup>-1</sup> und 3,56 mL g<sup>-1</sup>.

### 3.1.1.2 Ölbindekapazität

Die Ölbindekapazität der Basidiomycetenmyzelien (Tabelle 10) zeigten eine große Bandbreite von 2,99 mL g<sup>-1</sup>-10,97 mL g<sup>-1</sup>.

**Tabelle 10** Ölbindekapazität der untersuchten Basidiomycetenmyzelien

	ÖBK [mL g <sup>-1</sup> ]	SD	Proteingehalt [%]
AAE_BS	2,99	0,10	26,1
AAE_GA	8,60	0,14	18,6
AAE_AP	9,30	0,16	17,9
AAE_IM	4,70	0,17	13,3
AAE_CP	7,60	0,13	20,5
LED_AP	10,55	0,17	20,4
LED_GA	6,09	0,21	16,3
LED_CP	9,25	0,28	27,1
LED_IM	2,49	0,11	24,0
LSU_AP	9,02	0,09	15,5
LSU_CP	10,97	0,08	8,9
PSA_ARO	7,40	0,11	11,6
PSA_AP	6,73	0,15	20,7
PSA_BS	3,95	0,16	28,0
PSA_GA	7,14	0,14	11,1
PSA_CP	9,52	0,20	23,3
PSA_IM	4,03	0,07	22,1
PSA_ZT	8,35	0,09	28,4
SRU_BS	4,08	0,15	34,0
SRU_GA	7,75	0,14	7,0
WCO_ARO	6,40	0,17	12,9
WCO_CP	10,96	0,19	13,2
WCO_ZT	6,69	0,21	14,0

Die Ölbindekapazität kann durch den Agrarnebenstrom sowie durch die pilzeigenen Hydrokolloide Chitin und  $\beta$ -Glucan beeinflusst werden [73]. Basidiomycetenmyzelien kultiviert mit Agrarnebenströmen, die einen hohen Fasergehalt aufweisen bzw. die Fett bindende Inhaltsstoffe wie beispielsweise Pektin enthalten, zeigten in der Literatur eine hohe Bindung von Öl [163]. Myzelien, die mit Agrarnebenströmen kultiviert wurden, von denen keine Ölbindekapazität zu erwarten ist (wie Isomaltulosemelasse) zeigten Ölbindekapazitäten zwischen 2,49 mL g<sup>-1</sup> und 4,70 mL g<sup>-1</sup>.

Im Vergleich zu Ölbindekapazitäten von kommerziell verfügbaren pflanzlichen Proteinen (siehe Tabelle 11), lagen die Werte der Basidiomycetenmyzelien deutlich erhöht.

**Tabelle 11** Ölbindekapazität von kommerziell verfügbaren pflanzlichen Proteinen

	ÖBK [mL g <sup>-1</sup> ]	SD [%]	Proteingehalt [%]
EPI	1,0	0,1	90,1
SPK	1,0	0,1	69,8
SPI	0,9	0,1	90,2

### 3.1.2 Sensorische Untersuchungen

Die sensorische Untersuchung der Basidiomycetenmyzelien wurde auf Grundlage der diversen Applikationsmöglichkeiten in Lebensmitteln beurteilt, wobei kommerzielle Proteine (hell, wenig geruchsintensiv) als Vergleich dienten. Da der visuelle Eindruck eines Lebensmittels vor dessen Verzehr steht, ist die Farbe des Rohstoffes Basidiomycetenmyzel von großer Bedeutung. Daher wurden die in Tabelle 12 dargestellten Basidiomycetenmyzelien, die sehr dunkel, braun oder grün waren, nicht weiter berücksichtigt. Auch die Basidiomycetenmyzelien mit negativ belegten Geruchsattributen, wie modrig, erdig, fäkalartig, nach Abwasser und nach nassen Lappen riechend, wurden abgelehnt.

Anhand ihrer techno-funktionellen und sensorischen Eigenschaften und unter Berücksichtigung ihrer Proteingehalte sowie der jeweiligen Kulturdauer (ermittelt von der JLU Gießen) wurden für die weiteren Untersuchungen folgende Substrat-Basidiomyceten-Kombinationen ausgewählt:

PSA\_IM; PSA\_AP, PSA\_ZT und LED\_CP

Diese vier Myzelien wurden durch das Sensorik-Panel in einer deskriptiven Sensorik in einem wässrigen System und in einer Öl-Wasser-Emulsion beurteilt (siehe 2.3.2.2). Unter den getesteten Geschmacksattributen wurden die höchsten Intensitäten für "süß", "pilzartig", "nach Apfel" und "fenchelartig" vergeben. Der süßliche Geschmack wurde wahrscheinlich durch restliche, nicht metabolisierte Zucker aus der Melasse verursacht.

Um die erhaltenen Daten zusätzlich abzusichern, wurde die Probe PSA\_IM (Abb. 12) mittels Aromaverdünnungsanalyse an der JLU Gießen vermessen. Das durch Trapp *et al.* 2017 aus dem Myzel PSA\_IM identifizierte 4-Hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanon ("Zuckerwatte, Karamell") könnte den "süßen" Geschmack synergistisch verstärkt haben. Die pilzartige Note wurde wahrscheinlich durch 1-Octen-3-on verursacht. Basierend auf der Beobachtung von Trapp *et al.*, dass arylische Verbindungen wie p-Anisaldehyd überwiegend im Überstand aus der Submerskultivierung lokalisiert waren, waren die identifizierten Benzofuranverbindungen wahrscheinlich für das fenchelartige Aroma des Myzels verantwortlich [164].

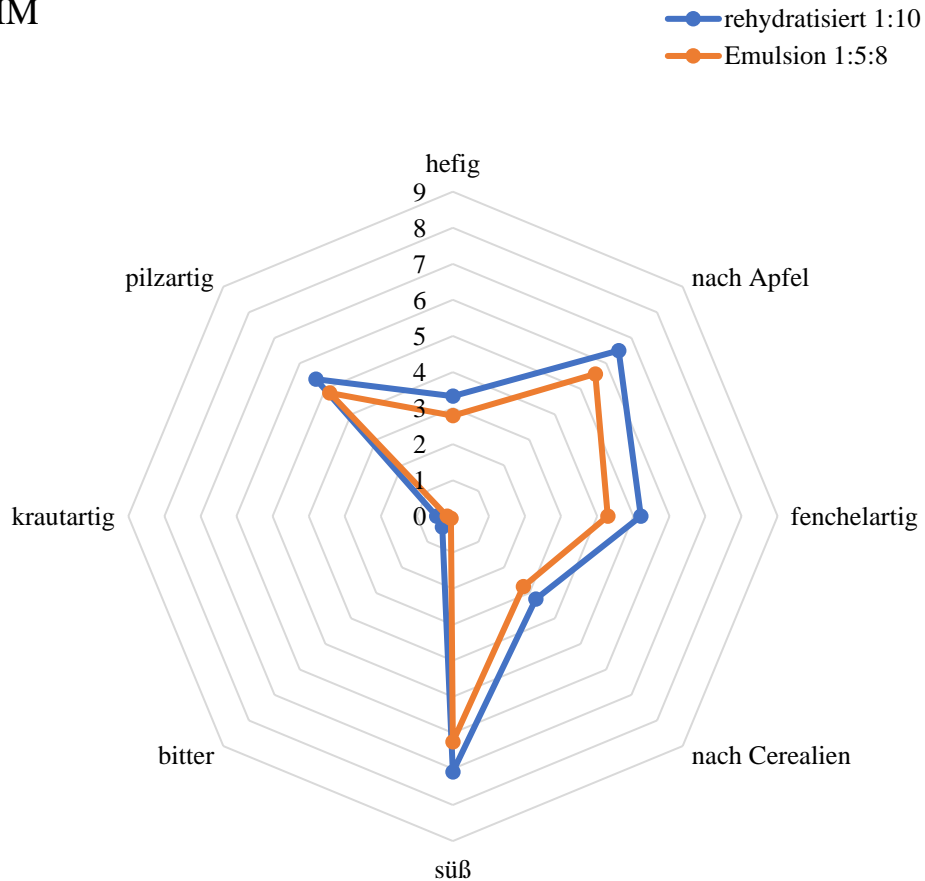
**Tabelle 12** Sensorische Ergebnisse der untersuchten Basidiomycetenmyzelien (durchgeführt mit 3 ausgebildeten Sensorikern)

	Farbe		Geruch	
AAE_BS	grün	abgelehnt	modrig, erdig	abgelehnt
AAE_GA	rötlich	in Ordnung	modrig, erdig	abgelehnt
AAE_AP	dunkelbraun	abgelehnt	modrig, erdig	abgelehnt
AAE_IM	hell	in Ordnung	modrig, erdig	abgelehnt
AAE_CP	hellbraun	in Ordnung	modrig, erdig	abgelehnt
LED_AP	dunkelbraun	abgelehnt	pilzartig, erdig	abgelehnt
LED_GA	rötlich	abgelehnt	Verschimmelt	abgelehnt
LED_CP	hellbraun	in Ordnung	etwas nach Karotte	in Ordnung
LED_IM	hell	in Ordnung	nicht definierbar	abgelehnt
LSU_AP	dunkelbraun	abgelehnt	fäkalartig, modrig	abgelehnt
LSU_CP	dunkelbraun	abgelehnt	fäkalartig, modrig	abgelehnt
PSA_ARO	rötlich	in Ordnung	stark nach Anis/Fenchel	abgelehnt
PSA_AP	dunkelbraun	abgelehnt	leicht nach Apfel	in Ordnung
PSA_BS	grün	abgelehnt	erdig, muffig	abgelehnt
PSA_GA	dunkel	abgelehnt	modrig, faulig	abgelehnt
PSA_CP	hellbraun	in Ordnung	nach Karotte	abgelehnt
PSA_IM	hell	in Ordnung	nach Anis/Fenchel	in Ordnung
PSA_ZT	hellbraun	in Ordnung	leicht nach Zwiebel	in Ordnung
SRU_BS	grün	abgelehnt	muffig, modrig	abgelehnt
SRU_GA	rötlich	abgelehnt	muffig, erdig	abgelehnt
WCO_ARO	rötlich	in Ordnung	nach Abwasser	abgelehnt
WCO_CP	dunkelbraun	abgelehnt	nasser Lappen	abgelehnt
WCO_ZT	dunkelbraun	abgelehnt	nasser Lappen	abgelehnt

Alle Untersuchungen der deskriptiven sensorischen Analysen zeigten, dass die wässrigen Ansätze mit den Ansätzen in Emulsionen vergleichbar sind (siehe Abb. 12 - Abb. 15). Die Noten „fenchelartig“, „nach Karotte“, „nach Apfel“, „zwiebelartig“ waren teilweise stark

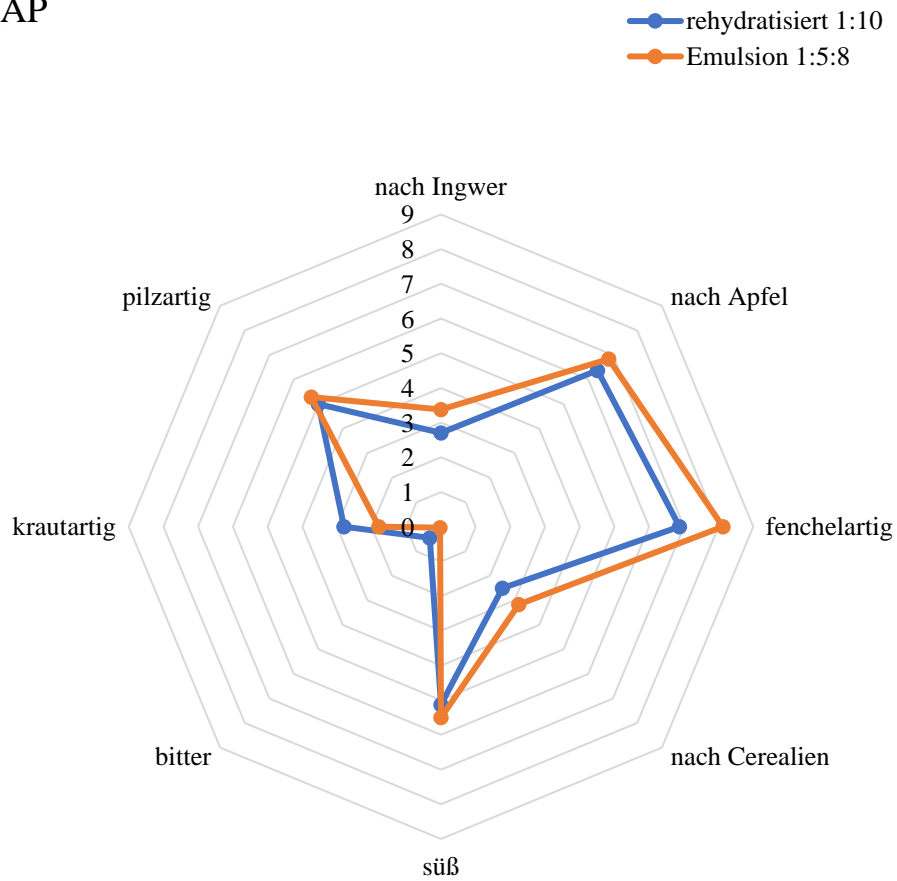
ausgeprägt und wurden vom Sensorik-Panel häufig als Fehltöne bewertet. Besonders *Pleurotus sapidus* wurde mit dem Attribut „fenchelartig“ in Verbindung gebracht. Bei der Probe LED\_CP wurde das Aroma „fenchelartig“, jedoch durch das Panel nicht als Kopfnote beschrieben.

## PSA\_IM



**Abb. 12.** Deskriptive sensorische Beurteilung des Myzels von PSA\_IM (n=12).

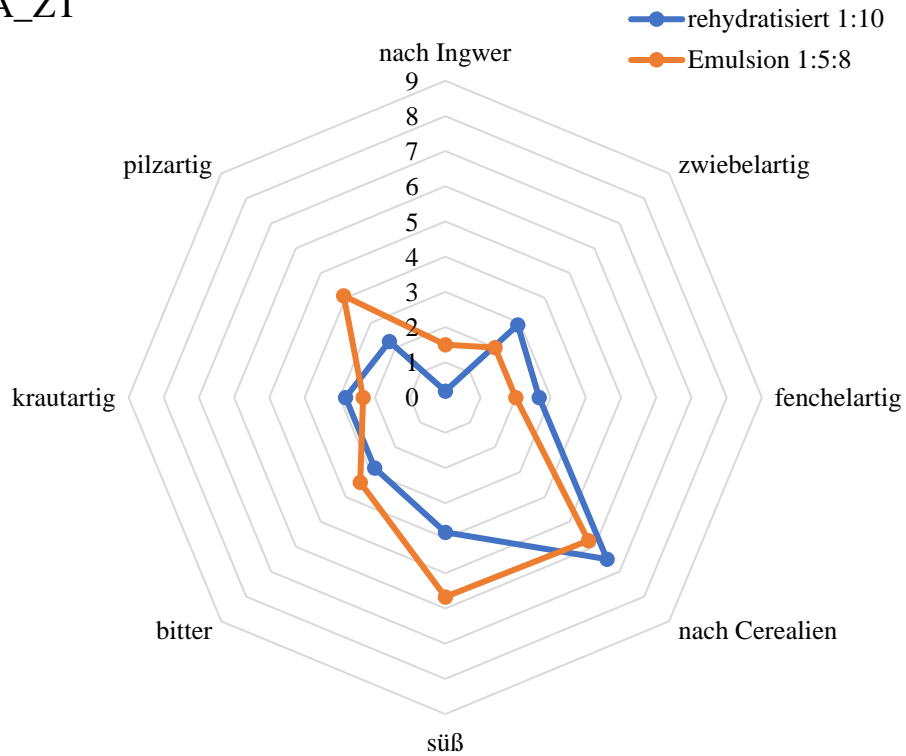
Ergebnisse aus Bewertungen vom Myzel im wässrigen System (blau) und in der Öl-Wasser-Emulsion (orange). Bewertet wurden die Intensitäten der Attribute hefig, nach Apfel, fenchelartig, nach Cerealien, süß, bitter, krautartig und pilzartig.



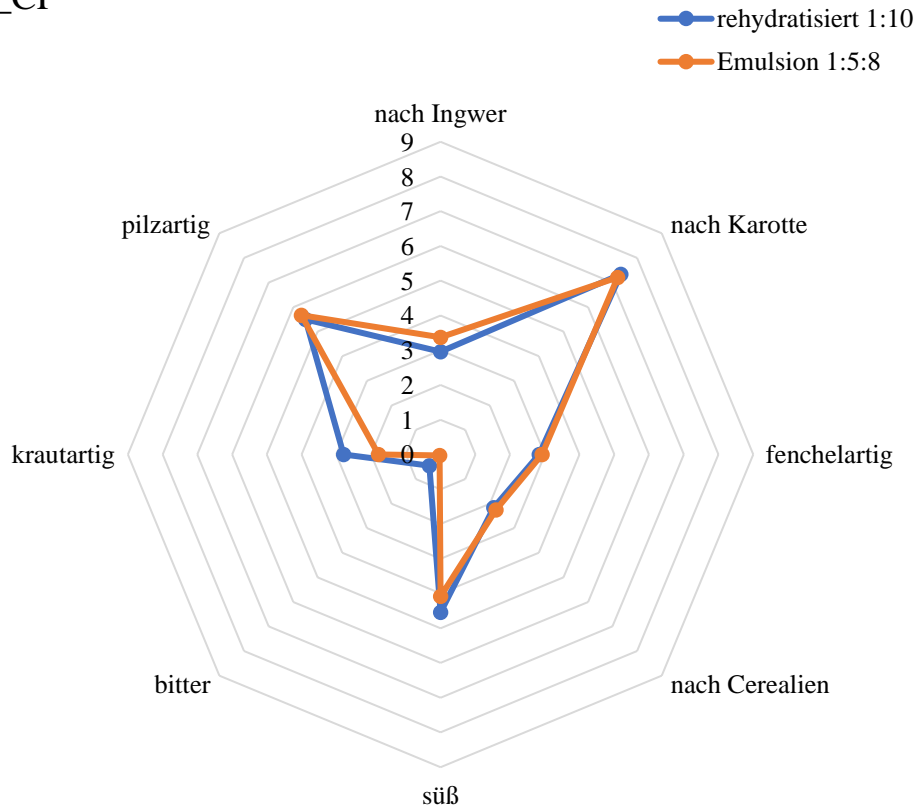
**Abb. 13.** Deskriptive sensorische Beurteilung des Myzels PSA\_AP (n=12). Ergebnisse aus Bewertungen vom Myzel im wässrigen System (blau) und in der Öl-Wasser-Emulsion (orange). Bewertet wurden die Intensitäten der Attribute nach Ingwer, nach Apfel, fenchelartig, nach Cerealien, süß, bitter, krautartig und pilzartig.



## PSA\_ZT



**Abb. 14.** Deskriptive sensorische Beurteilung des Myzels PSA\_ZT (n=12). Ergebnisse aus Bewertungen vom Myzel im wässrigen System (blau) und in der Öl-Wasser-Emulsion (orange). Bewertet wurden die Intensitäten der Attribute nach Ingwer, nach Apfel, fenchelartig, nach Cerealien, süß, bitter, krautartig und pilzartig.



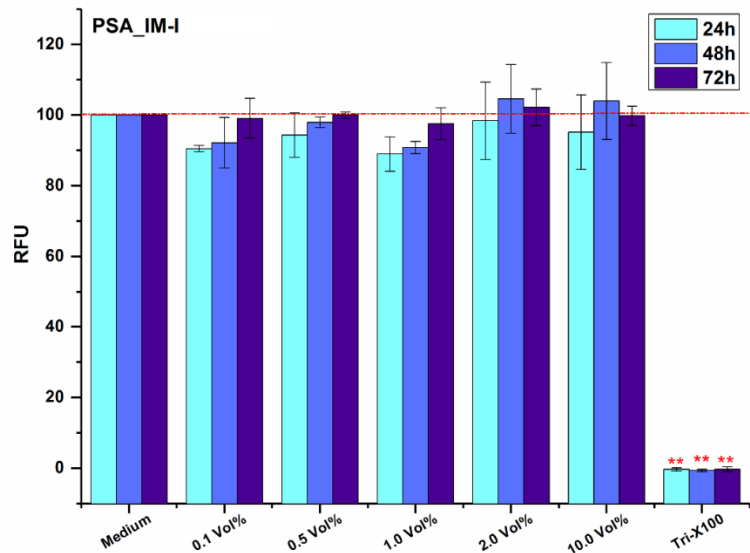
**Abb. 15.** Deskriptive sensorische Beurteilung des Myzels von *LED\_CP* (n=12). Ergebnisse aus Bewertungen vom Myzel im wässrigen System (blau) und in der Öl-Wasser-Emulsion (orange). Bewertet wurden die Intensitäten der Attribute nach Ingwer, nach Apfel, fenchelartig, nach Cerealien, süß, bitter, krautartig und pilzartig.

### 3.1.3 Toxikologische Untersuchungen

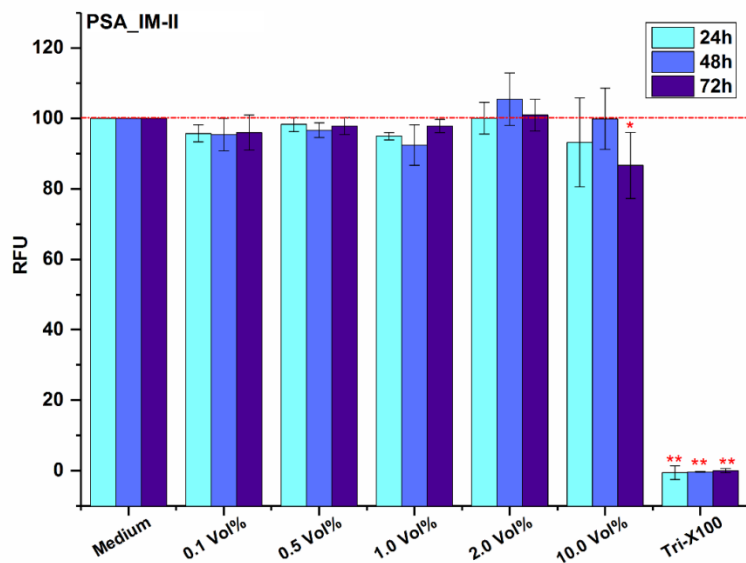
#### 3.1.3.1 Resazurin-Reduktions-Assay

Die Ergebnisse der Varianzanalyse (ANOVA) zum Vergleich der Mittelwerte, kombiniert mit dem Dunnett-Test, zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen der Probe PSA\_IM-I und der Medium-Kontrolle (Abb. 16). Das Ergebnis der Probe PSA\_IM-II zeigte nach 72 h bei einer Konzentration von 10 Vol% signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) zur Medium-Kontrolle. Für die Ergebnisse der Probe LED\_CP-II wurden hoch signifikante Unterschiede ( $p < 0,01$ ) im Vergleich zur Medium-Kontrolle bei einer Konzentration von 10 Vol% nach 48 h und 72 h gefunden. Die Positivkontrolle mit Triton-X100 bewirkte im Versuch eine hoch signifikante ( $p < 0,01$ ) verringerte Lebensfähigkeit der Zellen auf nahezu null. Die Viabilität der Zellen war immer höher als 75% im Vergleich zur Medium-Kontrolle.

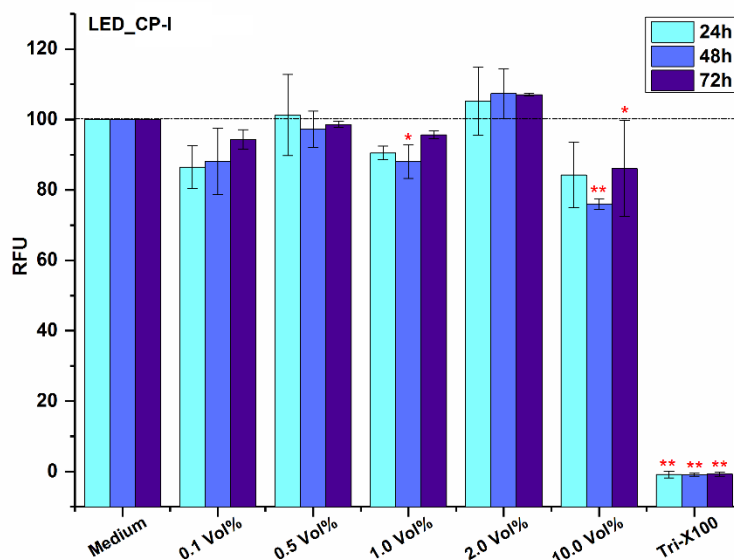
Ein signifikanter Unterschied der Probenergebnisse trat nur in sehr hohen Konzentrationen auf (Abb. 17 - Abb. 19). Ähnliche Effekte wurden bei der Untersuchung hoher Konzentrationen natürlicher Lebensmittelzutaten oder -zusätze beobachtet [165-168]. Daher kann die biologische Relevanz dieser Befunde als gering angesehen werden.



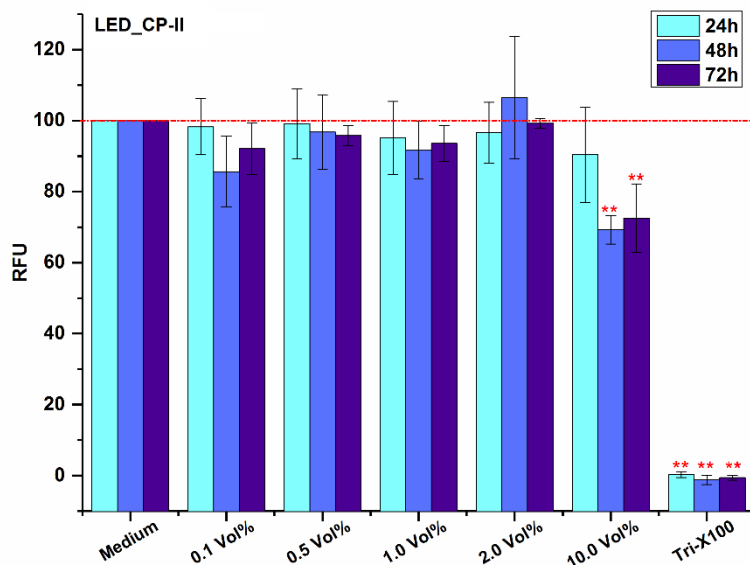
**Abb. 16.** Resazurin-Test nach Behandlung von Rattenhepatozyten mit PSA\_IM-I (n = 3)  
Die ANOVA-Analyse zum Vergleich der Mittelwerte, verbunden mit dem Dunnett-Test erbrachte keine signifikanten Unterschiede der Probe im Vergleich mit der Medienkontrolle.



**Abb. 17.** Resazurin-Test nach Behandlung von Rattenhepatozyten mit PSA\_IM-II (n = 3). Die ANOVA-Analyse zum Vergleich der Mittelwerte, mit dem Dunnett-Test wurden die Signifikanzen in Bezug auf die jeweilige Medienkontrolle angegeben und sind wie folgt definiert: \* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$ .



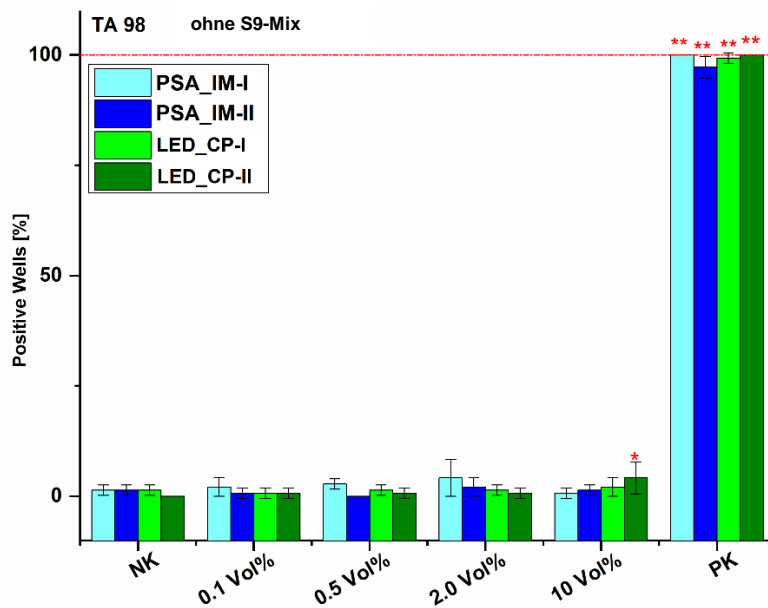
**Abb. 18.** Resazurin-Test nach Behandlung von Rattenhepatozyten mit LED\_CP-I (n = 3). Die ANOVA-Analyse zum Vergleich der Mittelwerte, mit dem Dunnett-Test wurden die Signifikanzen in Bezug auf die jeweilige Medienkontrolle angegeben und sind wie folgt definiert: \* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$ .



**Abb. 19.** Resazurin-Test nach Behandlung von Rattenhepatozyten mit LED\_CP-II (n = 3). Die ANOVA-Analyse zum Vergleich der Mittelwerte; mit dem Dunnett-Test wurden die Signifikanzen in Bezug auf die jeweilige Medienkontrolle angegeben und sind wie folgt definiert: \* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$ .

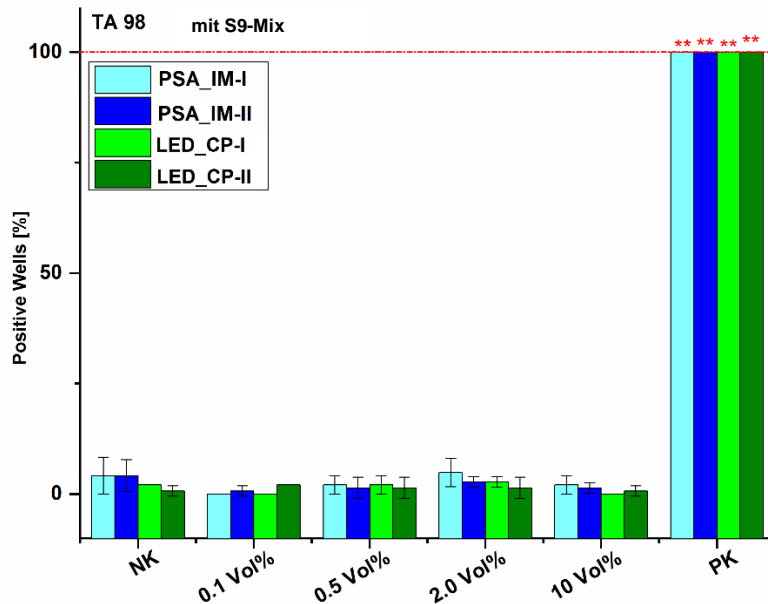
### 3.1.3.2 Test auf Mutagenität im Ames-Fluktuationstest

Die Ergebnisse der ANOVA mit dem Dunnett-Test ergaben im Vergleich der Mittelwerte einen signifikanten Effekt ( $p < 0,01$ ) der Proben PSA\_IM-I und PSA\_IM-II in TA100 bei einer Konzentration von 10 Vol% (ohne S9 Mix) im Vergleich zur Medium-Kontrolle (Abb. 20 - Abb. 23). Zusätzlich zeigten LED\_CP-I und LED\_CP-II signifikante ( $p < 0,05$ ;  $p < 0,01$ ) Effekte bei einer Konzentration von 10 Vol% in Abwesenheit und Anwesenheit von S9-Mix im Vergleich zur Negativkontrolle. Mit TA98 wurden keine signifikanten Effekte im Vergleich zur Negativkontrolle für die PSA\_IM-I, PSA\_IM-II und die LED\_CP-I-Proben nachgewiesen. Für die Probe LED\_CP-II mit S9-Mix trat ein signifikanter Effekt im Vergleich zur Negativkontrolle bei einer Konzentration von 10 Vol% ( $p < 0,05$ ) auf. Zusammenfassend wurden signifikante, aber sehr geringe Effekte im Vergleich zur Negativkontrolle bei sehr hohen Konzentrationen beobachtet. Diese hohen Konzentrationen von verdaulichem Basidiomycetenmyzel werden bei der Verwendung als Nahrungsmittel nicht erreicht. Darüber hinaus werden vergleichbare Wirkungen für viele Naturstoffe beobachtet [169], somit werden die gezeigten Effekte nicht als Hinweis auf ein relevantes genotoxisches Potential der untersuchten Basidiomycetenmyzelien angesehen.



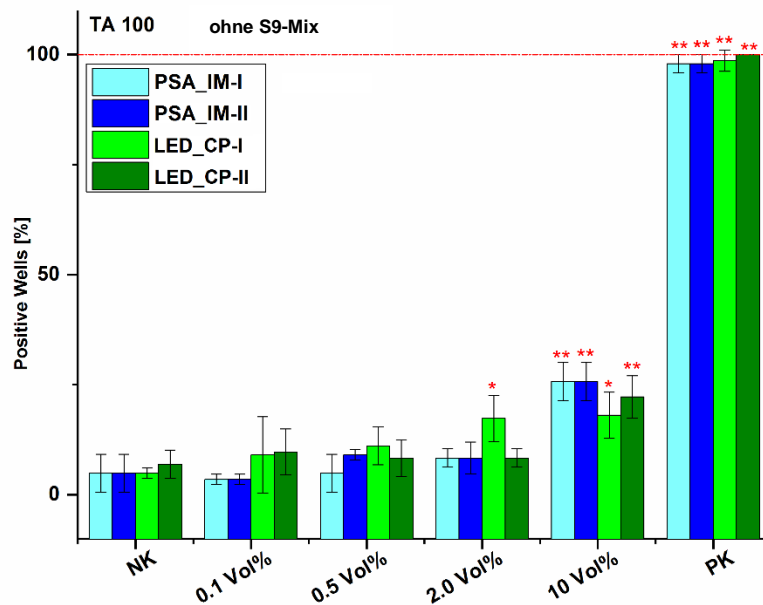
**Abb. 20.** Ames-Fluktuationstest mit TA98 ohne S9-Mix (n = 3).

Die ANOVA-Analyse zum Vergleich der Mittelwerte, mit dem Dunnett-Test wurden die Signifikanzen in Bezug auf die Negativkontrolle (NK) angegeben und sind wie folgt definiert: \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ . PK: 4-Nitro-o-phenylendiamin (4-NOPD)  $20 \mu\text{g mL}^{-1}$ .



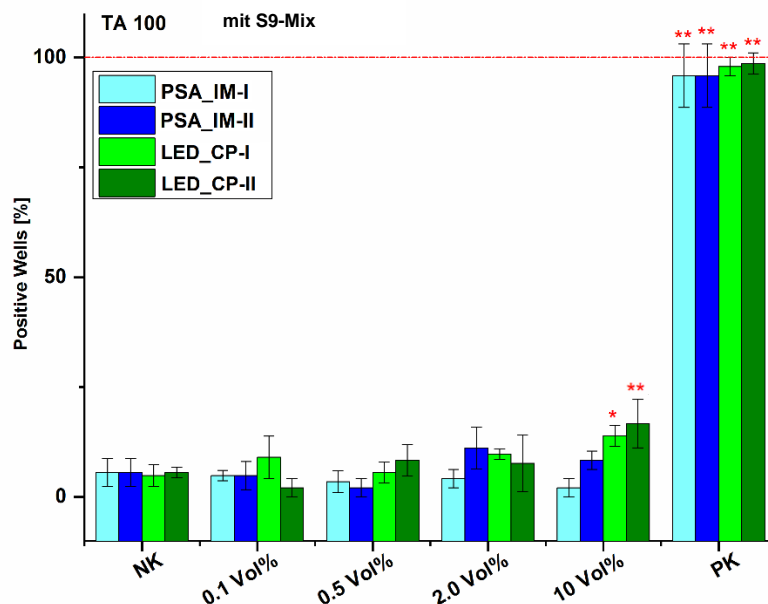
**Abb. 21.** Ames-Fluktuationstest mit TA98 mit S9-Mix (n = 3).

Die ANOVA-Analyse zum Vergleich der Mittelwerte, mit dem Dunnett-Test wurden die Signifikanzen in Bezug auf die Negativkontrolle (NK) angegeben und sind wie folgt definiert: \*\* =  $p < 0,01$ . PK: 2-Aminoanthracen (2-AA)  $0,1 \mu\text{g mL}^{-1}$ .



**Abb. 22.** Ames-Fluktuationstest mit TA100 ohne S9-Mix (n = 3).

Die ANOVA-Analyse zum Vergleich der Mittelwerte, mit dem Dunnett-Test wurden die Signifikanzen in Bezug auf die Negativkontrolle (NK) angegeben und sind wie folgt definiert: \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ . PK: Nitrofurantoin  $0,25 \mu\text{g mL}^{-1}$ .



**Abb. 23.** Ames-Fluktuationstest mit TA100 mit S9-Mix (n = 3).

Die ANOVA-Analyse zum Vergleich der Mittelwerte, mit dem Dunnett-Test wurden die Signifikanzen in Bezug auf die Negativkontrolle (NK) angegeben und sind wie folgt definiert: \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ . PK: 2-Aminoanthracen (2-AA)  $0,5 \mu\text{g mL}^{-1}$ .

## 3.2 Vegane Fleischanaloga

### 3.2.1 Sensorische Untersuchungen

#### 3.2.1.1 Beschreibende Sensorik

Hinsichtlich der Aromaeigenschaften (Attribut Geruch/Geschmack) der frischen Produkte (Tabelle 13) wurde die Wurst auf Basis der deutschen Rezeptur (WDT) vom Panel am besten bewertet, gefolgt von der vegetarischen Wurst, der russischen Wurst (WRU) und den auf Basidiomycetenmyzel basierenden Proben. Nach 4 Wochen bei 2 °C änderte sich diese Reihenfolge nur geringfügig. Im Vergleich zu den Ergebnissen der pflanzlichen Proteine schnitten die Produkte mit Basidiomycetenmyzel im Geschmacksprofil mit 0,4-1,0 Bewertungspunkten besser ab. Die Ergebnisse der sensorisch beurteilten Textur der Produkte mit PSA\_IM und PSA\_AP zeigten, dass diese nach der Herstellung vergleichbare bzw. bessere Eigenschaften als Produkte mit pflanzlichen Proteinen erzielten. Nach der Lagerung zeigte sich jedoch eine Abnahme in der Texturbewertung.

**Tabelle 13** Ergebnisse der beschreibenden Sensorik der Attribute Geruch/ Geschmack und Textur.

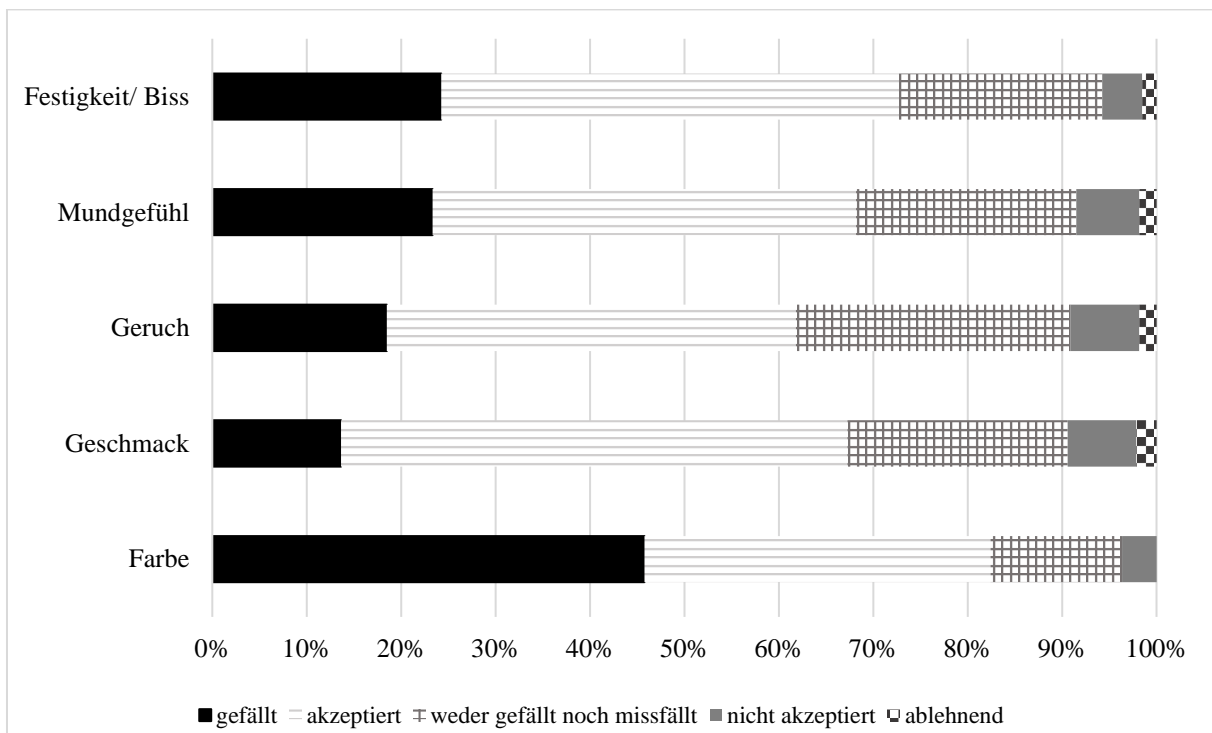
Mittelwerte und Standardabweichung der Bewertung auf einer hedonischen 9-Punkte Kategorienskala (9 = gefällt außerordentlich bis 1 = missfällt außerordentlich). Produkte wurden direkt nach der Herstellung sowie nach 4 Wochen Lagerung bei 2 °C beurteilt. Der Prozentsatz der Teilnehmer, die die getestete Eigenschaft zwischen 6 und 9 bewertet haben, ist in Klammern angegeben (n = 15)

Produkt	Geruch/Geschmack			
	Geruch/Geschmack nach der Produktion	nach 4 Wochen Lagerung	Textur nach der Produktion	Textur nach 4 Wochen Lagerung
KON	3,7 ± 0,1 (13,3)	5,9 ± 0,4 (46,7)	6,5 ± 0,3 (80,0)	5,1 ± 0,2 (46,7)
SPI	5,7 ± 0,3 (40,0)	5,3 ± 0,3 (46,7)	5,7 ± 0,7 (53,3)	5,8 ± 0,7 (60,0)
SPK	5,8 ± 0,3 (53,3)	5,4 ± 0,1 (53,3)	5,8 ± 0,5 (73,3)	5,5 ± 0,6 (53,3)
SBK	5,7 ± 0,6 (53,3)	4,7 ± 0,3 (26,7)	6,5 ± 0,6 (80,0)	5,5 ± 0,6 (53,3)
EPI	5,7 ± 0,4 (53,3)	5,5 ± 0,4 (46,7)	4,8 ± 0,4 (33,3)	5,7 ± 0,5 (53,3)
PSA_AP	6,7 ± 0,2 (86,7)	5,9 ± 0,5 (46,7)	6,5 ± 0,6 (93,3)	5,7 ± 0,4 (60,0)
PSA_IM	6,1 ± 0,3 (86,7)	6,4 ± 0,6 (80,0)	7,2 ± 0,7 (100,0)	6,2 ± 0,6 (86,7)
VEG	7,4 ± 0,4 (100,0)	7,1 ± 0,3 (86,7)	5,7 ± 0,4 (53,3)	7,3 ± 0,5 (100,0)
WDT	8,5 ± 0,2 (100,0)	8,3 ± 0,5 (100,0)	8,6 ± 0,3 (100,0)	7,9 ± 0,3 (100,0)
WRU	6,8 ± 0,1 (100,0)	7,3 ± 0,3 (100,0)	1,5 ± 0,4 (0,0)	1,8 ± 0,2 (0,0)



### 3.2.1.2 Sensorischer Akzeptanztest

Die Ergebnisse des umfangreichen Verkostungstests sind in Abb. 24 zusammengefasst (Abb. 11 zeigt den Verkostungsbogen). Zusammenfassend für alle Attribute (Geschmack, Geruch, Mundgefühl, Farbe und Härte / Kaubarkeit) erreichte das vegane Produkt mit dem Myzel PSA\_IM bei mehr als 60% der Probanden die Ergebnisse „gefällt“ (1) oder „akzeptiert“ (2). Wenn auch die Bewertung „weder gefällt noch missfällt“ (entspricht einer neutralen Bewertung) berücksichtigt wird (3), beträgt die Gesamtakzeptanz 90%. Durch die Veränderung der Gewürzmischung kann eine weitere Verbesserung für das Attribut "Geschmack" erzielt werden. Durch die Verkostung konnte gezeigt werden, dass die Produktentwicklung eines veganen Produktes mit Basidiomycetenmyzel zu einem marktfähigen Produkt führen kann.



**Abb. 24.** Ergebnisse des sensorischen Akzeptanztests mit 330 Probanden auf der IFFA 2016. Bewertet wurden die Attribute Festigkeit/Biss, Mundgefühl, Geruch, Geschmack und Farbe. Angegeben sind die bei der Verkostung erzielten Prozentpunkte für die Kriterien gefällt, akzeptiert, weder gefällt noch missfällt (entspricht einer neutralen Bewertung), nicht akzeptiert und abgelehnt.

---

## 3.2.2 Analytische und rheologische Untersuchungen

### 3.2.2.1 Wasseraktivität ( $a_w$ )

Der  $a_w$ -Wert (Tabelle 14) ist von entscheidender Bedeutung für die mikrobielle Stabilität von Lebensmitteln. Der Bereich der  $a_w$ -Werte von veganen Fleischanaloga nach 24 h lag zwischen  $0,963 \pm 0,004$  und  $0,978 \pm 0,005$  in den verschiedenen Modellsystemen und der Kontrolle und ist somit mit den Werten der beiden Fleischrezepturen vergleichbar. Die  $a_w$ -Werte blieben nach der Lagerung für 4 Wochen bei 2 °C stabil. Die Ergebnisse zeigten, dass das gebundene Wasser durch die Lagerung nicht, wie häufig in Fleischprodukten beschrieben, durch Tropfsaftverlust austritt [170-172].

**Tabelle 14** Wasseraktivität ( $a_w$ ) der hergestellten Proben direkt nach der Produktion und nach 4-wöchiger Lagerung (n = 3)

Produkt	Nach der Produktion [SD]	Nach 4 Wochen Lagerung [SD]
KON	$0,964 \pm 0,005$	$0,967 \pm 0,004$
SPI	$0,963 \pm 0,004$	$0,965 \pm 0,005$
SPK	$0,968 \pm 0,004$	$0,969 \pm 0,005$
SBK	$0,969 \pm 0,005$	$0,971 \pm 0,004$
EPI	$0,967 \pm 0,004$	$0,968 \pm 0,003$
PSA_AP	$0,966 \pm 0,003$	$0,968 \pm 0,004$
PSA_IM	$0,967 \pm 0,004$	$0,969 \pm 0,005$
VEG	$0,978 \pm 0,005$	$0,981 \pm 0,004$
WDT	$0,955 \pm 0,004$	$0,957 \pm 0,005$
WRU	$0,988 \pm 0,003$	$0,989 \pm 0,003$

### 3.2.2.2 pH-Wert

Die pH-Werte (Tabelle 15) der veganen Produkte mit PSA\_AP ( $4,7 \pm 0,01$ ) und PSA\_IM ( $4,7 \pm 0,01$ ) waren vergleichbar mit denen der Kontrolle. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Basidiomycetenmyzelien nur 10 - 20% Protein enthalten und die Gesamtpufferkapazität der Proteine somit begrenzt ist [173]. Die Zugabe von pflanzlichen Proteinen (SPI; SPK; EPI; SBK) bzw. Hühnereialbumin (VEG) erhöhte den pH-Wert des Systems im Vergleich zur Kontrolle (KON) auf Werte zwischen  $5,1 \pm 0,02$  (SPI) und  $5,8 \pm 0,08$  (VEG). Die pH-Werte der Rezepte mit Fleisch waren mit  $6,6 \pm 0,01$  (WDT) und  $6,4 \pm 0,01$  (WRU) höher als die des vegetarischen Rezepts und der veganen Modellsysteme. Nach 4 Wochen sanken die pH-Werte der Wurstrezepte im für Fleischprodukte üblichen Maß [174].

**Tabelle 15** pH-Werte der Proben, gemessen unmittelbar nach der Herstellung und nach 4-wöchiger Lagerung bei 2 °C (n = 3)

Produkt	Nach der		Nach 4 Wochen	
	Produktion	[SD]	Lagerung	[SD]
KON	4,6	± 0,02	4,6	± 0,01
SPI	5,1	± 0,02	5,0	± 0,01
SPK	5,1	± 0,04	5,0	± 0,01
SBK	5,1	± 0,03	5,0	± 0,01
EPI	5,1	± 0,01	5,0	± 0,01
PSA_AP	4,7	± 0,01	4,6	± 0,02
PSA_IM	4,7	± 0,01	4,6	± 0,02
VEG	5,8	± 0,08	5,6	± 0,01
WDT	6,6	± 0,01	6,5	± 0,01
WRU	6,4	± 0,01	6,3	± 0,01

Es ist bekannt, dass Zucker und Proteine im Laufe der Zeit von verschiedenen Mikroorganismen metabolisiert werden und die dadurch steigenden Konzentrationen organischer Säuren einen pH-Wert-Abfall verursachen [175]. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass diese Effekte nicht auf Fleischprodukte beschränkt sind, sondern auch in den vegetarischen und veganen Modellsystemen auftreten.

### 3.2.2.3 Trockenmasse (indirekte Wasserbestimmung)

Die Ergebnisse des Wassergehalts (%) der verschiedenen Proben sind in Tabelle 16 dargestellt. Die Herstellung von veganen oder vegetarischen Wurstanaloga erforderte mehr Wasser als die Produktion von herkömmlichen Fleisch- und Wurstprodukten, da die getrockneten Proteine und Hydrokolloide nur über wenig Wasser verfügen und rehydratisiert werden mussten. Durch den Vergleich der veganen Modelle (KON; SPI; SPK; EPI; SBK; PSA\_IM; PSA\_AP), mit einem Wassergehalt zwischen 75,1% ± 0,3 (PSA\_AP) und 77,7% ± 0,4 (KON), mit dem vegetarischen Produkt (VEG 71,3% ± 0,6), konnte ein ähnlicher Trocknungsverlust (indirekte Bestimmung des Wassergehaltes) festgestellt werden. Die Vergleichbarkeit der Proben ist auf ähnliche Produktionsschritte zurückzuführen. Der Wassergehalt der deutschen Wurst (WDT) war aufgrund des hohen Fleischanteils geringer (56,5% ± 0,7). Der Unterschied des Trocknungsverlusts der deutschen und russischen Rezepte (WRU 67,1% ± 0,5) lag bei 10-12%, da in Fleisch und Wurstwaren in Russland mehr Wasser verwendet wird [144, 171]. Für die Produktion von veganen bzw. vegetarischen Produkten heißt das, dass mehr Wasser benötigt wird, um vergleichbare Lebensmitteleigenschaften in der Produktentwicklung zu erreichen.

**Tabelle 16** Wassergehalt [%] der hergestellten Proben, gemessen nach 4-wöchiger Lagerung bei 2 °C (n = 3)

Produkt	Nach 4 Wochen	
	Lagerung [%]	
KON	77,7 ± 0,4	
SPI	76,0 ± 0,3	
SPK	75,7 ± 0,3	
SBK	75,7 ± 0,5	
EPI	75,8 ± 0,4	
PSA_AP	75,1 ± 0,3	
PSA_IM	75,9 ± 0,4	
VEG	71,3 ± 0,6	
WDT	56,5 ± 0,7	
WRU	67,1 ± 0,5	

### 3.2.2.4 Aschegehalt

Der Aschegehalt wurde 4 Wochen nach der Herstellung (Lagerung bei 2 °C) bestimmt (Tabelle 17). Die Werte lagen zwischen 1,53% ± 0,16 (WRU) und 2,66% ± 0,26 (WDT) und waren für alle Rezepte vergleichbar. Der Aschegehalt hängt hauptsächlich von der eingesetzten Konzentration an Natriumchlorid ab, welcher bei allen Rezepturen fast gleich war. In russischen Rezepten wird weniger Salz verwendet, weil die lokale Bevölkerung salzarme Produkte bevorzugt. Meist werden dort statt 20 g kg<sup>-1</sup>, 16 g kg<sup>-1</sup> verwendet.

**Tabelle 17** Aschegehalt [%] der hergestellten Proben, gemessen nach 4-wöchiger Lagerung bei 2 °C (n = 3)

Produkt	Nach 4 Wochen	
	Lagerung [%]	[SD]
KON	2,19 ± 0,20	
SPI	2,55 ± 0,15	
SPK	2,51 ± 0,24	
SBK	2,44 ± 0,16	
EPI	2,60 ± 0,09	
PSA_AP	2,64 ± 0,47	
PSA_IM	2,52 ± 0,23	
VEG	2,18 ± 0,33	
WDT	2,66 ± 0,26	
WRU	1,53 ± 0,16	

---

### 3.2.2.5 Farbmessung

Die direkt nach der Herstellung und nach 4-wöchiger Lagerung instrumentell gemessenen Farbbewertungsdaten (CIE L\*a\*b\*-Farbraum) sind in Tabelle 3.2.6. zusammengefasst. Signifikante Unterschiede ( $p < 005$ ) wurden zwischen den unmittelbar nach der Herstellung und den nach 4 Wochen Lagerung erhaltenen Daten beobachtet. Die Helligkeit ( $L^*$ ) nahm in unterschiedlichem Maße zu. Darüber hinaus nahmen die Anteile der rötlichen ( $a^*+$ ) und der gelbliche Farbbereiche ( $b^*+$ ) ab. Insbesondere war die Intensität der roten Farbe des veganen Modellsystems stark reduziert, was auf die Instabilität des zugesetzten natürlichen Farbstoffs hindeutet. Der eingesetzte schwarze Karottenextrakt basiert auf Anthocyanen und Carotinoiden, die durch UV-Licht abgebaut werden [176].

Der Vergleich des Produktes mit PSA\_IM mit WDT oder WRU (unmittelbar nach der Herstellung) zeigte im  $b^*+$ -Wert Unterschiede. Die Probe des veganen Modellsystems mit PSA\_IM war leicht gelblich mit einem Orangeton, was in der beschreibenden Sensorik (siehe 3.2.1.1) aber als akzeptabel bewertet wurde. Außer dem Produkt mit PSA\_AP wurde kein Produkt, auch nach 4-wöchiger Lagerung, vom Sensorik-Panel wegen seines Aussehens abgelehnt. Die Farbe des Produktes mit PSA\_AP (Tabelle 18) wurde vom Sensorik-Panel als inakzeptabel eingestuft, da sie stark vom Braunton des landwirtschaftlichen Nebenstroms (Apfeltreber) bestimmt wurde. Während der Lagerung wurde die Farbe des Produktes mit PSA\_AP heller. Dies wurde auch durch die instrumentelle Farbmessung bestätigt. Alle anderen Proben hatten auch nach 4 Wochen noch eine helle und frische Farbe.

**Tabelle 18** Farbmessung (CIE L\*a\*b\*-Farbraum), gemessen unmittelbar nach der Herstellung und nach 4 Wochen Lagerung bei 2 °C (n = 4)

Produkt	Nach der Produktion			Nach 4 Wochen Lagerung		
	L	a+/a-	b+/b-	L	a+/a-	b+/b-
KON	52,54 ± 0,01	21,03 ± 0,01	13,77 ± 0,01	85,65 ± 0,05	0,55 ± 0,02	0,25 ± 0,02
VEG	74,15 ± 0,02	14,38 ± 0,01	12,10 ± 0,01	88,73 ± 0,02	1,51 ± 0,03	1,13 ± 0,02
WDT	75,47 ± 0,01	10,68 ± 0,01	12,15 ± 0,02	88,17 ± 0,05	0,93 ± 0,01	1,21 ± 0,01
WRU	72,35 ± 0,01	11,56 ± 0,01	12,52 ± 0,01	88,25 ± 0,03	1,12 ± 0,02	1,82 ± 0,02
SPI	62,87 ± 0,01	14,92 ± 0,01	13,96 ± 0,02	86,80 ± 0,02	0,91 ± 0,01	0,73 ± 0,01
SPK	61,37 ± 0,01	14,40 ± 0,01	12,30 ± 0,01	86,33 ± 0,01	0,86 ± 0,01	0,64 ± 0,01
SBK	61,63 ± 0,01	14,96 ± 0,02	14,23 ± 0,01	86,42 ± 0,01	0,70 ± 0,01	0,58 ± 0,02
EPI	61,52 ± 0,01	15,09 ± 0,01	13,75 ± 0,03	86,30 ± 0,02	0,72 ± 0,01	0,54 ± 0,01
PSA_IM	66,23 ± 0,01	13,09 ± 0,01	20,52 ± 0,01	87,13 ± 0,01	0,91 ± 0,01	1,36 ± 0,01
PSA_AP	47,47 ± 0,01	9,62 ± 0,01	13,78 ± 0,01	85,82 ± 0,01	0,33 ± 0,01	0,60 ± 0,01

L = Helligkeit (100 = weiß; 0 = schwarz); a+ = rot; a- = grün; b+ = gelb; b- = blau

### 3.2.2.6 Textur-Profil-Analyse

Die Ergebnisse der TPA der veganen Produkte mit pflanzlichen Proteinen bzw. Basidiomycetenmyzel (Tabelle 19 -Tabelle 25) wurden statistisch gegen die Kontrolle, das vegetarische Vergleichsprodukt und gegen die beiden Wurstprodukte mittels ANOVA ausgewertet.

Die Härte (Tabelle 19) stellt einen der wichtigsten Qualitätsparameter von Brühwürsten [27] dar. Aus diesem Grund wurde dieser Parameter neben der instrumentellen Vermessung auch durch das Sensorik-Panel bewertet (Textur / Härte) (3.2.1). Alle Modellsysteme, die pflanzliche Proteine bzw. Basidiomycetenmyzel beinhalteten, zeigten nach der Produktion und nach Lagerung für 4 Wochen signifikante Unterschiede in der Härte im Vergleich zu den Rezepturen mit Fleisch. Während der Lagerung stieg die Härte für alle Proben mit pflanzlichen Proteinen außer für das Produkt mit SPI an. Für die beiden Proben mit Basidiomycetenmyzel wurde nach der Lagerung eine starke Abnahme der Härte festgestellt, die auf den vergleichsweise geringen Proteingehalt zurückgeführt werden kann [142, 177]. Dennoch hatten die veganen Produkte mit Basidiomycetenmyzel eine signifikant höhere Härte als WRU.

**Tabelle 19** Härte der mittels Textur-Profil-Analyse vermessen Produkte, gemessen nach der Produktion und nach 4-wöchiger Lagerung bei 2 °C (n = 8). Signifikanzniveau  $p < 0,05$

Produkt	Nach der Produktion		Nach 4 Wochen Lagerung	
	[N]	[SD]	[N]	[SD]
KON	1381	± 275	1176	± 73
VEG	1282	± 58	1204	± 29
WRU	796	± 133	859	± 38
WDT	1802	± 36	1869	± 46
SPI <sup>efgh</sup>	1238	± 61	1286	± 42
SPK <sup>efgh</sup>	1278	± 70	1274	± 57
SBK <sup>befgh</sup>	1361	± 63	1349	± 65
EPI <sup>aeefgh</sup>	1163	± 50	1074	± 47
PSA_IM <sup>efgh</sup>	1360	± 116	1126	± 221
PSA_AP <sup>ceefgh</sup>	1578	± 36	1261	± 169

<sup>a</sup> Signifikant unterschiedlich KON vs. nach der Produktion

<sup>c</sup> Signifikant unterschiedlich VEG vs. nach der Produktion

<sup>e</sup> Signifikant unterschiedlich WDT vs. nach der Produktion

<sup>g</sup> Signifikant unterschiedlich WRU vs. nach der Produktion

<sup>b</sup> Signifikant unterschiedlich KON vs. nach 4 Wochen

<sup>d</sup> Signifikant unterschiedlich VEG vs. nach 4 Wochen

<sup>f</sup> Signifikant unterschiedlich WDT vs. nach 4 Wochen

<sup>h</sup> Signifikant unterschiedlich WRU vs. nach 4 Wochen

Wie auch bei der Härte war die Sprödigkeit (Tabelle 20) der vegetarischen und veganen Produkte höher als die von WRU, aber niedriger als die der WDT Proben. Die Sprödigkeit der Proben WRU, VEG und WDT waren über 4 Wochen stabil, während die Sprödigkeit der

mit Basidiomycetenmyzel produzierten veganen Proben während der Lagerung abnahm. Diese Veränderungen spiegeln die unterschiedlichen Wasserbindungskapazitäten der verschiedenen Proteine über die Zeit wider [36, 137]. Die Produkte mit den Myzelien PSA\_IM und PSA\_AP, die im Vergleich einen niedrigeren Proteingehalt (PSA\_IM 14,7% und PSA\_AP 16,0%) im Gegensatz zu den pflanzlichen Proteinen hatten (70-90%), wiesen einen stärkeren Rückgang der Sprödigkeit während der Lagerung auf. Die Produkte mit pflanzlichen Proteinen zeigten nur eine geringe Abnahme der Sprödigkeit.

**Tabelle 20** Sprödigkeit der Produkte, gemessen mittels Textur-Profil-Analyse nach der Produktion und nach 4-wöchiger Lagerung bei 2 °C (n = 8).  
Signifikanzniveau  $p < 0,05$

Produkt	Nach der Produktion		Nach 4 Wochen Lagerung	
	[N]	[SD]	[N]	[SD]
KON	1916	± 75	1792	± 103
VEG	1508	± 94	1362	± 53
WRU	969	± 97	1168	± 136
WDT	3027	± 268	3256	± 368
SPI <sup>acdefgh</sup>	1690	± 44	1725	± 33
SPK <sup>acdefgh</sup>	1629	± 28	1628	± 73
SBK <sup>acdefgh</sup>	1785	± 28	1732	± 65
EPI <sup>abefgh</sup>	1488	± 68	1406	± 61
PSA_IM <sup>cdefgh</sup>	1943	± 106	1639	± 76
PSA_AP <sup>acdefgh</sup>	2238	± 88	1639	± 112

<sup>a</sup> Signifikant unterschiedlich KON vs. nach der Produktion  
<sup>c</sup> Signifikant unterschiedlich VEG vs. nach der Produktion  
<sup>e</sup> Signifikant unterschiedlich WDT vs. nach der Produktion  
<sup>g</sup> Signifikant unterschiedlich WRU vs. nach der Produktion

<sup>b</sup> Signifikant unterschiedlich KON vs. nach 4 Wochen  
<sup>d</sup> Signifikant unterschiedlich VEG vs. nach 4 Wochen  
<sup>f</sup> Signifikant unterschiedlich WDT vs. nach 4 Wochen  
<sup>h</sup> Signifikant unterschiedlich WRU vs. nach 4 Wochen

Die Adhäsion nahm im Laufe der Lagerung für alle fleischlosen Produkte zu (Tabelle 21). Da die Haftkraft ein Maß für die Klebrigkeit ist, kann daraus geschlossen werden, dass die Klebrigkeit der veganen Modellsysteme während der Lagerzeit zugenommen hat. Im Gegensatz dazu nahm die Klebrigkeit bei den beiden Fleischrezepturen ab, was auf einen Wasserfilm auf den Proben zurückzuführen ist, der bei der Lagerung von Fleischwaren auftreten kann [178].



**Tabelle 21** Adhäsion der Produkte, gemessen mittels Textur-Profil-Analyse nach der Produktion und nach 4-wöchiger Lagerung bei 2 °C (n = 8).  
Signifikanzniveau  $p < 0,05$

Produkt	Nach der Produktion [J] [SD]		Nach 4 Wochen Lagerung [J] [SD]	
	KON	-35,1	± 12,6	-95,4
VEG	-115,3	± 13,1	-137,6	± 77,8
WRU	-41,4	± 17,4	-14,8	± 6,0
WDT	-38,2	± 7,6	-14,7	± 2,0
SPI <sup>abefgh</sup>	-107,1	± 19,3	-158,5	± 14,5
SPK <sup>abefgh</sup>	-135,9	± 17,9	-187,8	± 37,9
SBK <sup>abefgh</sup>	-124,5	± 25,8	-195,6	± 32,1
EPI <sup>abefgh</sup>	-129,0	± 29,4	-172,1	± 21,6
PSA_IM <sup>bcefh</sup>	-60,2	± 20,5	-173,1	± 39,1
PSA_AP <sup>abdefgh</sup>	-129,9	± 38,7	-245,1	± 78,4

<sup>a</sup> Signifikant unterschiedlich KON vs. nach der Produktion

<sup>c</sup> Signifikant unterschiedlich VEG vs. nach der Produktion

<sup>e</sup> Signifikant unterschiedlich WDT vs. nach der Produktion

<sup>g</sup> Signifikant unterschiedlich WRU vs. nach der Produktion

<sup>b</sup> Signifikant unterschiedlich KON vs. nach 4 Wochen

<sup>d</sup> Signifikant unterschiedlich VEG vs. nach 4 Wochen

<sup>f</sup> Signifikant unterschiedlich WDT vs. nach 4 Wochen

<sup>h</sup> Signifikant unterschiedlich WRU vs. nach 4 Wochen

Die Elastizität (Tabelle 22) der veganen Modellsysteme und der Kontrolle nahm mit der Zeit ab, während die des vegetarischen Produkts konstant blieb. Die beiden Fleischprodukte zeigten eine leichte Erhöhung der Elastizität nach vierwöchiger Lagerung. Im Vergleich zu veganen Modellsystemen aus der Literatur war die Abnahme der Elastizität der veganen Proben während der Lagerung mit diesen vergleichbar [137].

**Tabelle 22** Elastizität der Produkte, gemessen mittels Textur-Profil-Analyse nach der Produktion und nach 4-wöchiger Lagerung bei 2 °C (n = 8).  
Signifikanzniveau  $p < 0,05$

Produkt	Nach der Produktion [SD]		Nach 4 Wochen Lagerung [SD]	
	KON	1,22	± 0,27	0,70
VEG	0,37	± 0,08	0,36	± 0,15
WRU	1,05	± 0,10	1,20	± 0,33
WDT	1,11	± 0,24	1,27	± 0,36
SPI <sup>abefgh</sup>	0,64	± 0,20	0,16	± 0,04
SPK <sup>abefgh</sup>	0,37	± 0,06	0,17	± 0,03
SBK <sup>abefgh</sup>	0,44	± 0,18	0,16	± 0,02
EPI <sup>abefgh</sup>	0,40	± 0,13	0,18	± 0,02
PSA_IM <sup>bcefh</sup>	0,98	± 0,09	0,37	± 0,22
PSA_AP <sup>abefgh</sup>	0,46	± 0,30	0,16	± 0,04

<sup>a</sup> Signifikant unterschiedlich KON vs. nach der Produktion

<sup>c</sup> Signifikant unterschiedlich VEG vs. nach der Produktion

<sup>e</sup> Signifikant unterschiedlich WDT vs. nach der Produktion

<sup>g</sup> Signifikant unterschiedlich WRU vs. nach der Produktion

<sup>b</sup> Signifikant unterschiedlich KON vs. nach 4 Wochen

<sup>d</sup> Signifikant unterschiedlich VEG vs. nach 4 Wochen

<sup>f</sup> Signifikant unterschiedlich WDT vs. nach 4 Wochen

<sup>h</sup> Signifikant unterschiedlich WRU vs. nach 4 Wochen

Die Ergebnisse der Kohäsion (Tabelle 23) waren über die Lagerzeit stabil. Die Produkte mit Fleisch erreichten die höchsten Werte ( $0,041 \pm 0,010$  (WRU) und  $0,051 \pm 0,009$  (WDT)) unmittelbar nach der Herstellung und nach 4 Wochen Lagerung ( $0,034 \pm 0,010$  (WRU) und

0,045 ± 0,015 (WDT)). Die veganen Produkte zeigten eine geringere Kohäsion mit vergleichbaren Ergebnissen zwischen 0,017 ± 0,002 (SPI) und 0,020 ± 0,007 (PSA\_AP) unmittelbar nach der Produktion und zwischen 0,012 ± 0,001 (PSA\_AP) und 0,014 ± 0,003 (SPI) nach 4 Wochen Lagerung. Die Kohäsion des vegetarischen Produkts lag mit 0,028 ± 0,002 unmittelbar nach der Produktion und 0,027 ± 0,012 nach 4 Wochen zwischen den Werten der veganen und der auf Fleisch basierten Produkte.

**Tabelle 23** Kohäsion der Produkte, gemessen mittels Textur-Profil-Analyse nach der Produktion und nach 4-wöchiger Lagerung bei 2 °C (n = 8).  
Signifikanzniveau p < 0,05

Produkt	Nach der Produktion		Nach 4 Wochen Lagerung	
	[N]	[SD]	[N]	[SD]
KON	0,020	± 0,009	0,019	± 0,008
VEG	0,028	± 0,002	0,027	± 0,012
WRU	0,041	± 0,010	0,034	± 0,010
WDT	0,051	± 0,009	0,045	± 0,015
SPI <sup>cdefg</sup>	0,017	± 0,002	0,014	± 0,003
SPK <sup>defg</sup>	0,018	± 0,002	0,013	± 0,001
SBK <sup>cdefg</sup>	0,018	± 0,004	0,013	± 0,001
EPI <sup>defg</sup>	0,016	± 0,006	0,013	± 0,001
PSA_IM <sup>cefg</sup>	0,019	± 0,008	0,013	± 0,002
PSA_AP <sup>defg</sup>	0,020	± 0,007	0,012	± 0,001

<sup>a</sup> Signifikant unterschiedlich KON vs. nach der Produktion

<sup>c</sup> Signifikant unterschiedlich VEG vs. nach der Produktion

<sup>e</sup> Signifikant unterschiedlich WDT vs. nach der Produktion

<sup>g</sup> Signifikant unterschiedlich WRU vs. nach der Produktion

<sup>b</sup> Signifikant unterschiedlich KON vs. nach 4 Wochen

<sup>d</sup> Signifikant unterschiedlich VEG vs. nach 4 Wochen

<sup>f</sup> Signifikant unterschiedlich WDT vs. nach 4 Wochen

<sup>h</sup> Signifikant unterschiedlich WRU vs. nach 4 Wochen

Die Gummiartigkeit (Tabelle 24) wird aus der Härte und der Kohäsion berechnet. Die Werte der von WRU und WDT waren höher als die der veganen Modellsysteme mit SPI, SPK, SBK und EPI. Die Ergebnisse der beiden untersuchten Produkte mit Basidiomycetenmyzelien, PSA\_AP und PSA\_IM, waren mit dem vegetarischen Produkt (VEG) vergleichbar.

**Tabelle 24** Gummiartigkeit der Produkte, gemessen mittels Textur-Profil-Analyse nach der Produktion und nach 4-wöchiger Lagerung bei 2 °C (n = 8). Signifikanzniveau  $p < 0,05$

Produkt	Nach der Produktion		Nach 4 Wochen Lagerung	
	[N]	[SD]	[N]	[SD]
KON	446	± 113	266	± 67
VEG	216	± 19	211	± 75
WRU	310	± 49	318	± 76
WDT	679	± 60	690	± 81
SPI <sup>abdefh</sup>	272	± 68	88	± 26
SPK <sup>abdefh</sup>	191	± 35	93	± 12
SBK <sup>abdefh</sup>	225	± 88	93	± 10
EPI <sup>abdefgh</sup>	166	± 53	81	± 7
PSA_IM <sup>bcdefh</sup>	392	± 52	124	± 52
PSA_AP <sup>abdefh</sup>	247	± 138	82	± 12

<sup>a</sup> Signifikant unterschiedlich KON vs. nach der Produktion

<sup>c</sup> Signifikant unterschiedlich VEG vs. nach der Produktion

<sup>e</sup> Signifikant unterschiedlich WDT vs. nach der Produktion

<sup>g</sup> Signifikant unterschiedlich WRU vs. nach der Produktion

<sup>b</sup> Signifikant unterschiedlich KON vs. nach 4 Wochen

<sup>d</sup> Signifikant unterschiedlich VEG vs. nach 4 Wochen

<sup>f</sup> Signifikant unterschiedlich WDT vs. nach 4 Wochen

<sup>h</sup> Signifikant unterschiedlich WRU vs. nach 4 Wochen

Die Kaubarkeit (Tabelle 25) der Modellsysteme mit und ohne Protein nahm mit der Zeit signifikant ab. Eine Abnahme der Kaubarkeit hat zur Folge, dass das Produkt beim zweiten Eindringen des Stempels in die Probe nicht mehr genügend Gegendruck aufweist. Alle veganen Produkte waren nach 4 Wochen deutlich weicher und damit leichter kaubar. Das Produkt KON sowie das Produkt mit PSA\_IM wiesen nach der Produktion ähnliche Kaeigenschaften wie die russische Wurst auf. Nach 4 Wochen Lagerung zeigten KON und alle Proben des veganen Modellsystems eine starke Abnahme der Kaubarkeit. Die Kaubarkeit des vegetarischen Produkts blieb unmittelbar nach der Herstellung und nach 4 Wochen Lagerung auf dem gleichen Niveau, während die Kaubarkeit der Fleischwürste sogar leicht anstieg. Das Ergebnis der deutschen Wurst zeigte den höchsten Wert für den Messwert Kaubarkeit.

Die Gummiartigkeit, Kaubarkeit und Kohäsionskraft nahmen für alle Modellsysteme während der Lagerzeit ab. Die Werte der Kaubarkeit des Produktes mit PSA\_IM direkt nach der Herstellung waren mit der von WRU vergleichbar und zeigten gegenüber VEG sogar bessere Werte. Aufgrund der unterschiedlichen Wasserbindekapazitäten der einzelnen Proteinquellen [33, 137] konnten die veganen Modell Systeme ihre textuellen Eigenschaften nach der Lagerung nicht halten.

**Tabelle 25** Kaubarkeit der Produkte, gemessen mittels Textur-Profil-Analyse nach der Produktion und nach 4-wöchiger Lagerung bei 2 °C (n = 8). Signifikanzniveau  $p < 0,05$

Produkt	Nach der Produktion		Nach 4 Wochen Lagerung	
	[N]	[SD]	[N]	[SD]
KON	555	± 241	200	± 108
VEG	80	± 21	84	± 63
WRU	326	± 64	382	± 139
WDT	825	± 231	872	± 261
SPI <sup>aef</sup>	185	± 90	15	± 8
SPK <sup>aefg</sup>	72	± 25	16	± 5
SBK <sup>aefg</sup>	113	± 95	15	± 3
EPI <sup>aefg</sup>	72	± 45	15	± 2
PSA_IM <sup>cef</sup>	387	± 72	55	± 64
PSA_AP <sup>aef</sup>	150	± 162	13	± 5

<sup>a</sup> Signifikant unterschiedlich KON vs. nach der Produktion

<sup>c</sup> Signifikant unterschiedlich VEG vs. nach der Produktion

<sup>e</sup> Signifikant unterschiedlich WDT vs. nach der Produktion

<sup>g</sup> Signifikant unterschiedlich WRU vs. nach der Produktion

<sup>b</sup> Signifikant unterschiedlich KON vs. nach 4 Wochen

<sup>d</sup> Signifikant unterschiedlich VEG vs. nach 4 Wochen

<sup>f</sup> Signifikant unterschiedlich WDT vs. nach 4 Wochen

<sup>h</sup> Signifikant unterschiedlich WRU vs. nach 4 Wochen

---

## 3.3 Glutenfreies Brot

### 3.3.1 Sensorische Untersuchungen der gebackenen Brote aus Technikumsversuchen

Die Ergebnisse der sensorischen Akzeptanztests (Tabelle 26) umfassen visuelle (Profil, Bräunung der Kruste, Krumenstruktur, Porenverteilung) und geschmackliche Bewertungen sowie eine Gesamtbewertung der Akzeptanz [100].

Die Porenverteilung wurde in drei und die Krumenstruktur in fünf Klassifizierungsstufen kategorisiert. Diese beiden Attribute beschreiben, wie die Gase im Brot verteilt sind. Feine Strukturen zeigten, dass sich die Fermentationsgase homogen gebildet haben und der Teig ausreichend Stabilität hatte, um die fragilen Strukturen zu halten [101]. Struktur und Porung waren bei den Broten PSA\_IM\_LSE und GLU\_LSE nahezu gleichwertig. Die Verwendung anderer Proteine führte zu einer Abnahme der Akzeptanz hinsichtlich dieser Parameter. Abb. 25 zeigt die Verteilung der Poren in den gebackenen Broten. In PSA\_AP\_LSE und PSA\_CP\_LSE waren keine bzw. nur sehr kleine Poren vorhanden, was sich auch in der schlechten sensorischen Beurteilung widerspiegelte. Hierbei wurde besonders die Verbrauchererwartung bzgl. Volumen und Poren nicht erfüllt.

Beide Myzelien färbten den Teig dunkel. Die Farbe wurde hierbei vom Sensorik-Panel als sehr hochwertig wahrgenommen. Dahingegen konnte jedoch die Bräunung der Kruste kaum bewertet werden, da die Brote eine sehr dunkle Farbe aufwiesen. Es wurde eine Einordnung durch das Sensorik-Panel durchgeführt, jedoch sind die Werte nur schwierig miteinander zu vergleichen. Das Brot mit PSA\_IM\_LSE zeigte eine ockerartige Farbe, welche noch tolerierbar war. Basidiomycetenmyzelien, die mit dunklen Agrarnebenströmen submers kultiviert wurden, können somit die Farbe des Brotes stark beeinflussen. Durch die Diversität in der Farbgebung ergeben sich verschiedene Möglichkeiten in der Produktentwicklung. Nicht nur Weizenmischbrot und Weißbrot stehen hier im Fokus, sondern auch dunkle Sorten wie Vollkorn oder Schwarzbrot. Auf Grund der unterschiedlichen Färbung unterschieden sich die Brote auch in der sensorischen Bewertung des Attributes "Bräunung der Kruste" deutlich voneinander. Eine Vergleichbarkeit konnte nur zwischen den Broten mit pflanzlichen Proteinen, der Kontrolle und mit PSA\_IM gezeigt werden. Die Brote mit pflanzlichen Proteinen (EPI; SPK und GLU) zeigten ähnliche Bräunungseigenschaften wie das Kontrollbrot. Das Brot mit PSA\_IM bräunte, wahrscheinlich aufgrund verbliebener reduzierender Zucker aus dem Agrarnebenstrom, etwas stärker [100, 179].

---

Die Profile der Proben wurden positiv für CON\_LSE, GLU\_LSE und PSA\_IM\_LSE bewertet. Die Brote SPK\_LSE und EPI\_LSE zeigten gleiche Profile wie GLU\_LSE. Insgesamt wurden die Proben mit PSA\_AP\_LSE und LED\_CP\_LSE am schlechtesten bewertet, da die Krumenstruktur und Porung durch die fehlende Volumenausbildung teilweise oder gänzlich fehlte (Tabelle 26).

Die Zugabe von PSA\_IM\_LSE, PSA\_AP\_LSE und LED\_CP verursachte eine signifikante Änderung der Akzeptanz des Brotgeruchs und -geschmacks. Die Verwendung der beiden Myzelien PSA\_IM und PSA\_AP führte zu einer Verbesserung der Akzeptanz. Die mit LED\_CP hergestellten Brote wurden abgelehnt, da sie einen intensiven erdigen und karottenartigen Geschmack aufwiesen. Die Aromaeindrücke der Produkte mit PSA\_IM und PSA\_AP waren mit der Kontroll- und der GLU-Probe vergleichbar. CON\_LSE zeigte weiche Strukturen und geringe Stabilität während des Kauprozesses und wurde aus diesem Grund abgewertet.

**Tabelle 26** Sensorische Untersuchung von glutenfreien Broten aus Technikumsversuchen mit 10 Sensorikern (n = 3). Signifikanzniveau  $p < 0,05$

Produkt	Profil	Bräunung		Geschmack	Krumen-		Porung		
		[SD]	der Kruste [SD]		struktur [SD]	[SD]			
KON_LSE	1,7	0,5	3,8	0,6	in Ordnung	1,5	0,7	1,1	0,3
EPI_LSE	2,1	0,7	3,8	0,8	nach Tomate, bitter	3,3	0,8	2,0	0,7
SPK_LSE	2,4	0,5	2,6	0,7	bitter, nach Cerealien	2,6	1,0	2,1	0,3
GLU_LSE	1,9	0,6	3,3	0,5	in Ordnung	1,8	1,0	2,2	0,6
PSA_IM_LSE	1,7 <sup>cfg</sup>	0,5	4,6 <sup>ede</sup>	0,4	nach Milch und Gurke	1,8 <sup>bfg</sup>	0,8	2,0 <sup>afg</sup>	0,7
PSA_AP_LSE	2,9 <sup>abde</sup>	0,3	*5,8 <sup>a-g</sup>	0,6	hefig	3,2 <sup>adeg</sup>	1,2	2,4 <sup>deg</sup>	0,7
LED_CP_LSE	2,9 <sup>abde</sup>	0,3	*4,9 <sup>abcde</sup>	0,7	sauer, erdig, nach Karotte	4,5 <sup>acdef</sup>	1,0	2,7 <sup>def</sup>	0,5

\* Bräunung der Brote wurde durch die Farbe des Pilzmyzels bestimmt. Beide Myzelien PSA\_AP und LED\_CP sind sehr braun. Eine Einordnung der Farbe durch die Sensoriker ist durchgeführt worden, jedoch kann nicht verglichen werden.

Krumenstruktur: gut (1) / immer noch gut (2) / befriedigend (3) / immer noch zufriedenstellend (4) / mangelhaft (5)

Porung: einheitlich (1) / ziemlich einheitlich (2) / ungleichmäßig (3)

Bräunung: zu schwach (1) / schwach (2) / normal (3) / noch normal (4) / stark (5) / zu dunkel (6)

Profil: gut (1) / leicht flach (2) / flach (3)

Geschmack: in Ordnung oder Beschreibung des Fehlgeschmacks

a: Signifikant unterschiedlich zu KON

b: Signifikant unterschiedlich zu EPI

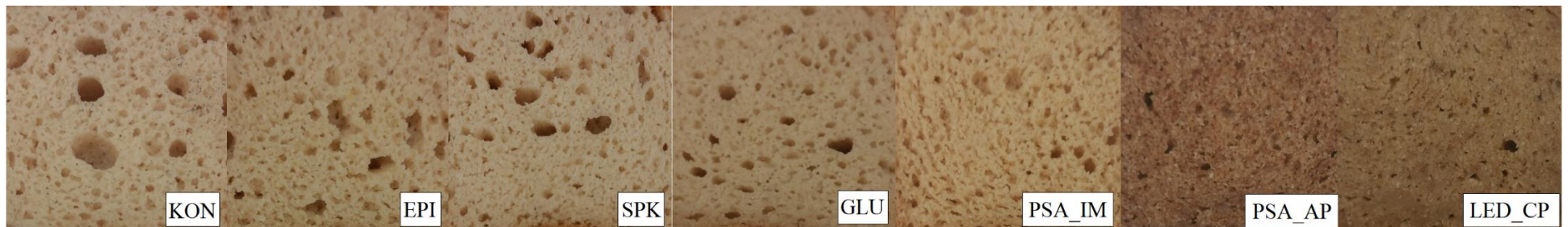
c: Signifikant unterschiedlich zu SPK

d: Signifikant unterschiedlich zu GLU

e: Signifikant unterschiedlich zu PSA\_IM

f: Signifikant unterschiedlich zu PSA\_AP

g: Signifikant unterschiedlich zu LED\_CP



**Abb. 25.** Fotografien der verschiedenen Brotkrumen aus den Technikumsversuchen (LSE).  
KON: Kontrolle; EPI, Erbsenproteinisolat; SPK, Sojaproteinkonzentrat; GLU, Gluten; PSA\_IM, *Pleurotus sapidus* kultiviert mit Isomaltulosemelasse; PSA\_AP, *Pleurotus sapidus* kultiviert mit Apfeltrester; LED\_CP, *Lentinula edodes* kultiviert mit Karottentrester.



---

## 3.3.2 Volumenbestimmung der gebackenen Brote

### 3.3.2.1 Volumenbestimmung der Produkte aus den Laborversuchen

Das Volumen und das spezifische Volumen der Brote der Kontrolle (CON\_SSE) betragen in den Laborversuchen 152,7 mL und 2,39 mL g<sup>-1</sup> (Tabelle 27). Alle gebackenen Brote mit dem Zusatz von pflanzlichen Proteinen oder Basidiomycetenmyzel zeigten im Vergleich zur CON\_SSE geringere Volumina. Das glutenhaltige Brot (GLU\_SSE) wies ein spezifisches Volumen von 1,55 mL g<sup>-1</sup> auf. Die beiden Brote PSA\_AP\_SSE und LED\_CP\_SSE zeigten sehr geringe Volumina. Das Brot mit PSA\_IM zeigte mit einem spezifischen Volumen von 2,01 mL g<sup>-1</sup> ähnliche Ergebnisse wie CON\_SSE und GLU\_SSE. Die Produkte mit den pflanzlichen Proteinen zeigten eine schlechtere Ausbildung des Volumens als PSA\_IM\_SSE und GLU\_SSE. Durch die Zugabe der verschiedenen Proteine wurden die Eigenschaften der Teige verändert. Die Aufgabe der Proteine in glutenfreien Teigen ist die Wasserbindung, die Vermittlung von Elastizität und die Stabilisierung des Stärkegels, das während der Verkleisterung entsteht [96, 180]. Die Strukturbildungsfähigkeit von Proteinen hängt mit ihren Schaum-, Quell- und Emulgiereigenschaften zusammen. Vergleichbar mit den Ergebnissen von PSA\_IM\_SSE führte der Zusatz von Eialbumin zu glutenfreiem Brot zu einer signifikanten Erhöhung des Brotvolumens im Vergleich zu GLU\_SSE. Diese Beobachtung wurde hauptsächlich mit den Schaumeigenschaften von Eialbumin in Verbindung gebracht [91, 96]. Gute Schaum- und Schäumungsstabilität sowie gute Emulsionskapazität und Stabilitätseigenschaften werden in der Literatur sowohl von Gluten [181] als auch von essbaren Pilzmehlpräparaten (aus Fruchtkörpern) beschrieben [182]. Geringere Volumina der Proben mit PSA\_AP und LED\_CP können durch den hohen Ballaststoffanteil erklärt werden, der durch ungenügende Fermentation des landwirtschaftlichen Nebenstroms während der Submerskultivierung übrig bleibt. Der Zusatz von Ballaststoffen bzw. Fasern führte in einer früheren Studie ebenfalls zu reduzierten Brotvolumina [99, 183].

Glutenfreie Brotrezepte zeichnen sich typischerweise durch verminderte Porenbildung und Gashaltung aus, was zu geringen Volumina führt [97]. Mit dem Zusatz der Stabilisatoren HPMC und CMC sollten Porenbildung und Gashaltung verbessert werden. Nach Angaben von Dow Chemical wurden die Stabilisatoren speziell entwickelt, um die Gasretention von glutenfreien Teigen und die thermische Gelbildung im Temperaturbereich der

---

Stärkeverkleisterung zu verbessern. Da es bekannt ist, dass glutenfreie Brote eine reduzierte Gasretention aufweisen, wurde sich für dieses Vorgehen entschieden und keine Rezeptur der Versuche ohne Zusatz von Stabilisatoren durchgeführt [23, 88]. Bei allen Proben zeigten die Volumina, die sowohl auf dem Mehl- (Anteil Mehl an der Rezeptur; meist die Gesamtheit der Trockenstoffe) als auch dem Teiggewicht (Eingesetztes Gewicht von Teig im Backversuch) beruhen, die gleiche Tendenz und waren vergleichbar mit Broten mit Gluten. Die spezifischen Volumina sind mit der Literatur vergleichbar und können durch die Zugabe von CMC und HPMC erklärt werden [132, 184].

### **3.3.2.2 Volumenbestimmung der Produkte aus den Technikumsversuchen**

Das Volumen und das spezifische Volumen des Brotes der Kontrolle (CON\_LSE) betragen 950,5 mL und  $1,98 \text{ mL g}^{-1}$  (Tabelle 27), während die Proben mit PSA\_IM ein größeres Volumen (1044,6 mL) und spezifisches Volumen ( $2,13 \text{ mL g}^{-1}$ ) aufwiesen. Auch im vergrößerten Maßstab zeigten die Proben PSA\_AP\_LSE und LED\_CP\_LSE die geringsten Volumina, was auf den angesprochenen nicht komplett abgebauten Faseranteil zurückgeführt werden kann (siehe auch 3.3.2.1).

Die Brote mit den pflanzlichen Proteinen zeigten ähnliche spezifische Volumen wie PSA\_IM\_LSE. Wie in 3.3.2.1 diskutiert, werden die Teigeigenschaften durch die Zugabe verschiedener Proteine beeinflusst [96, 98] und der Zusatz von HPMC und CMC führt durch die Verbesserung der Gashaltekapazität zur Erhöhung des Volumens [97, 132].

### **3.3.2.3 Vergleich beider Ansatzgrößen**

Das Volumen der Brotlaibe hängt direkt von der Porenbildung und den Gashalteigenschaften der Teige ab. Wenn der Teig kompakt, wenig fließfähig und trocken ist, können sich die Poren nur schlecht ausbilden, wie in den Broten mit den Basidiomycetenmyzelien PSA\_AP und LED\_CP zu beobachten war.

Mit dem erhöhtem Mehlgewicht im Technikumsversuch nahm das spezifische Volumen im Vergleich zu den Laborversuchen ab. Spezifische Brotvolumina basierend auf Mehl- und Teiggewicht zeigten die gleiche Tendenz für Labor- und Technikumsversuche (Tabelle 27). Eine Zunahme des Brotvolumens wurde in der Literatur bei Zugabe von Weizengluten und Eialbumin beschrieben [90, 91, 179]; dieser Effekt ist mit den Ergebnissen aus den Labor- und Technikumsversuchen mit PSA\_IM und GLU vergleichbar. Zudem ist in der Literatur beschrieben, dass die Brotvolumina durch die Zugabe von alternativen Proteinquellen wie

---

Soja oder Erbse verringert werden, was ebenfalls durch die spezifischen Fähigkeiten, die bei Sojaisolat, -konzentrat und Erbsenisolat schlechter sind, der Schaumstabilisierung und der Wasserbindekapazitäten erklärt werden kann. Eine Verbesserung der Schaumstabilisierung wird durch die löslichen Proteinfractionen der eingesetzten Proteine bewirkt. Das hat zur Folge, dass sich Poren gut ausbilden können, das Gas gehalten wird und das Volumen sich ausprägen kann. Die unlösliche Kohlenhydratfraktion und Proteinfraction führt jedoch zum Gegenteil und somit dazu, dass Brote nicht aufgehen, da zu kompakt und unelastisch sind (wie bei den Versuchen mit PSA\_AP und LED\_CP) [90, 91, 97, 185].

**Tabelle 27** Ergebnisse der Volumenbestimmung der Produkte aus den Laborversuchen (SSE) und den Technikumsversuchen LSE. Übersicht der Volumina, Teig- und Mehlgewichte sowie der spezifischen Volumina der glutenfreien Brote (n = 3), Signifikanzniveau  $p < 0,05$

Produkt	Volumen		Teiggewicht		Mehlgewicht		Volumen pro Mehl [mL g <sup>-1</sup> ]		Volumen pro Gewicht [mL g <sup>-1</sup> ]	
	[mL]	[SD]	[g]	[SD]	[g]	[SD]	[SD]	[SD]	[SD]	
KON_SSE	152,7	1,3	66,8	0,1	29,91	0,17	5,10	0,04	2,39	0,02
EPI_SSE	134,4	0,5	66,1	0,5	30,09	0,12	4,47	0,04	2,03	0,02
SPK_SSE	115,6	1,8	66,8	0,3	29,86	0,26	3,87	0,07	1,73	0,03
GLU_SSE	104,9	1,2	67,8	0,3	30,01	0,09	3,49	0,03	1,55	0,01
PSA_IM_SSE	133,9	4,0	66,7	0,4	30,18	0,13	4,44	0,01	2,01	0,04
PSA_AP_SSE	96,2 <sup>a,b,e</sup>	3,1	70,6	2,9	30,06	0,04	3,20 <sup>a,b,e</sup>	0,11	1,37	0,04
LED_CP_SSE	85,0 <sup>a,b,e</sup>	2,1	71,0	3,0	30,10	0,06	2,82 <sup>a,b,e</sup>	0,08	1,20	0,03
KON_LSE	950,5	1,6	480,0	0,7	225,00	0,13	4,22	0,02	1,98	0,01
EPI_LSE	1052,9	1,5	491,8	1,4	225,45	0,15	4,67	0,01	2,14	0,01
SPK_LSE	951,5	1,2	512,7	2,3	225,19	0,18	4,23	0,01	1,86	0,02
GLU_LSE	836,6	2,2	498,0	1,1	225,11	0,21	3,72	0,01	1,68	0,01
PSA_IM_LSE	1044,6	1,4	490,4	1,3	225,15	0,04	4,64	0,01	2,13	0,02
PSA_AP_LSE	720,2 <sup>a-e</sup>	1,6	478,9	1,4	225,11	0,06	3,20 <sup>a-e</sup>	0,01	1,50	0,02
LED_CP_LSE	757,1 <sup>a-e</sup>	1,6	511,4	1,3	225,08	0,08	3,36 <sup>a-e</sup>	0,01	1,48	0,02

- a: Signifikant unterschiedlich zu KON
- b: Signifikant unterschiedlich zu EPI
- c: Signifikant unterschiedlich zu SPK
- d: Signifikant unterschiedlich zu GLU
- e: Signifikant unterschiedlich zu PSA\_IM
- f: Signifikant unterschiedlich zu PSA\_AP
- g: Signifikant unterschiedlich zu LED\_CP

### 3.3.3 Rheologische Untersuchungen der Teige

#### 3.3.3.1 Klebrigkeit von Teigen aus den Technikumsversuchen

Die Klebrigkeit von Teigen ist ein wichtiger Parameter während der industriellen Verarbeitung und ein Maß für ihre Bearbeitbarkeit und Handhabung. Die Klebrigkeit wurde für die Teige aus den Technikumsversuchen bestimmt (Tabelle 28). Die Ergebnisse der maximalen Ablösekraft der Teige von GLU\_LSE und PSA\_IM\_LSE waren vergleichbar, während sich die Ergebnisse der Teige von PSA\_AP\_LSE und LED\_CP\_LSE signifikant unterschieden. Die gleichen Tendenzen zeigten sich zudem bei der Adhäsionskraft. Die Teige mit pflanzlichen Proteinen als Substitut von Gluten zeigten trockene und nicht klebrige Eigenschaften in EPI\_LSE und SPK\_LSE.

Bei PSA\_AP\_LSE und LED\_CP\_LSE ist davon auszugehen, dass die in der Submerskultivierung nicht abgebauten Fasern des landwirtschaftlichen Nebenstroms Wasser binden und somit dem Teig Trockenheit und weniger Klebrigkeit verleihen. In der Literatur konnte gezeigt werden, dass die Zugabe von Fasern zu Teigen die Wasserbindungskapazität erhöht und den Teig verfestigt [183, 186]. Für eine Verarbeitung im großen Maßstab ist eine geringere Klebrigkeit von Vorteil, da sie die Handhabung des Teigs erleichtert, jedoch muss in der anschließenden Fermentation der Teig durch seine Fließfähigkeit auch aufgehen können.

**Tabelle 28** Klebrigkeit der glutenfreien Teige der Technikumsversuche (n = 10). Signifikanzniveau  $p < 0,05$

Produkt	Max. Ablösekraft		Adhäsionskraft	
	[g]	[SD]	[gxs]	[SD]
KON_LSE	-815	94	-3508	195
EPI_LSE	-474	36	-1607	386
SPK_LSE	-470	58	-1184	394
GLU_LSE	-693	27	-4047	628
PSA_IM_LSE	-686 <sup>a-c,f,g</sup>	21	-4414 <sup>a-c,f,g</sup>	502
PSA_AP_LSE	-362 <sup>a-e,g</sup>	43	-1026 <sup>a,d,e,g</sup>	363
LED_CP_LSE	-215 <sup>a-f</sup>	30	-584 <sup>a-f</sup>	159

a: Signifikant unterschiedlich zu KON

b: Signifikant unterschiedlich zu EPI

c: Signifikant unterschiedlich zu SPK

d: Signifikant unterschiedlich zu GLU

e: Signifikant unterschiedlich zu PSA\_IM

f: Signifikant unterschiedlich zu PSA\_AP

g: Signifikant unterschiedlich zu LED\_CP

---

### 3.3.3.2 Kriecherholung und *Frequenz-Sweep* oszillierende Untersuchungen von Teigen aus den Laborversuchen

Die Messungen der viskoelastischen Eigenschaften geben einen Überblick über den Einfluss der Inhaltsstoffe auf das rheologische Verhalten des Teiges. Tabelle 29 zeigt die Ergebnisse der Schwingungs-Oszillationstests, ausgedrückt als Änderungen des Speichermoduls  $G'$ , des Verlustmoduls  $G''$ , des Verlustfaktors Tangens  $\delta$  ( $\tan \delta = G''/G'$ ) und der dauerhaften Verformung als Folge des Kriecherholungstests. Die Werte von  $G'$  waren für alle getesteten Teige mit pflanzlichen Proteinen bzw. Basidiomycetenmyzelien größer als die von  $G''$ , was zeigte, dass die elastischen Eigenschaften überwogen. Es ist charakteristisch für Systeme, die als schwache Gele betrachtet werden, dass der  $\tan \delta$  im Bereich  $0,1 < \tan \delta < 0,5$  variiert, was bedeutet, dass elastische Eigenschaften dominanter sind als viskose [131].

Die Zugabe der Myzelien von PSA\_AP und LED\_CP zu den Teigen hatte einen großen Einfluss auf die Rheologie. Ihre Verwendung induzierte einen signifikanten Anstieg der Module  $G'$  und  $G''$  im Vergleich zu allen anderen eingesetzten pflanzlichen Proteinen und Basidiomycetenmyzelien. Der Einsatz von PSA\_AP und LED\_CP führte zu einer signifikanten Abnahme von  $\tan \delta$  im Vergleich zu den Ergebnissen mit PSA\_IM. Die Teige mit PSA\_IM und ohne Zugabe von Protein (CON) zeigten ein ähnliches Verhalten wie die Teige mit GLU. Die Abnahme von  $\tan \delta$  und damit verbundene Eigenschaften, wie Teigfestigkeit wurden auch in der Literatur beschrieben, wobei viskoelastische Eigenschaften von pflanzlichen Proteinen in glutenfreien Teigen untersucht wurden [90, 98, 179].

Tabelle 29 zeigt zudem die dauerhafte Verformung von Teigen innerhalb des Kriecherholungstests. CON\_SSE zeigte mit 62,7% die geringste dauerhafte Deformation des Teigs. Die Zugabe von Gluten oder Basidiomycetenmyzel und daraus resultierende Ergebnisse zeigten, dass sich die Teige stärker dauerhaft verformen als die Kontrolle CON\_SSE. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei der Kontrolle der Anteil der zugegebenen pflanzlichen Proteine bzw. Basidiomycetenmyzelien nicht durch einen Trockenstoff ersetzt wurde. Nur das Ergebnis der dauerhaften Verformung des Teiges PSA\_AP\_SSE mit 79,4% unterschied sich signifikant und zeigte viskosere Eigenschaften im Vergleich zu dem Teig mit CON\_SSE.

**Tabelle 29** Rheologie der glutenfreien Teige der Laborversuche (SSE mit n = 9). Signifikanzniveau  $p < 0,05$

Produkt	Frequenz-Sweep Oszillationstest				Kriecherholungstest			
	$G' \times 10^3$ [Pa]	[SD] $\times 10^3$	$G'' \times 10^3$ [Pa]	[SD] $\times 10^3$	Verlustfaktor $\tan \delta$	[SD]	Dauerhafte Verformung [%]	[SD]
KON_SSE	15,53	1,17	6,55	0,94	0,425	0,070	62,7	1,6
EPI_SSE	21,77	0,32	7,90	3,36	0,401	0,084	72,5	2,4
SPK_SSE	27,70	1,59	11,15	1,34	0,405	0,064	63,9	2,0
GLU_SSE	16,03	2,75	7,39	1,65	0,460	0,056	71,6	2,9
PSA_IM_SSE	22,50 <sup>f,g</sup>	3,12	11,55 <sup>a,f,g</sup>	2,28	0,512 <sup>f,g</sup>	0,051	65,3	6,1
PSA_AP_SSE	88,13 <sup>a-e</sup>	8,89	26,30 <sup>a-e</sup>	2,61	0,299 <sup>d,e,g</sup>	0,022	79,4 <sup>a</sup>	6,4
LED_CP_SSE	73,76 <sup>a-e</sup>	7,91	24,30 <sup>a-e</sup>	0,20	0,332 <sup>e</sup>	0,036	75,9	3,4

a: Signifikant unterschiedlich zu KON

b: Signifikant unterschiedlich zu EPI

c: Signifikant unterschiedlich zu SPK

d: Signifikant unterschiedlich zu GLU

e: Signifikant unterschiedlich zu PSA\_IM

f: Signifikant unterschiedlich zu PSA\_AP

g: Signifikant unterschiedlich zu LED\_CP

---

### **3.3.4 Rheologische Untersuchungen der gebackenen Brote**

#### **3.3.4.1 Textur-Profil-Analyse der Produkte aus den Laborversuchen**

Die Zugabe von Gluten hatte einen starken Einfluss auf die Härte im Vergleich zu CON\_SSE (Tabelle 30). CON\_SSE zeigte die geringste Härte aller Proben, was auf den fehlenden Anteil an Protein zurückzuführen war [187]. Die Zugabe der Basidiomycetenmyzelien PSA\_AP und LED\_CP verursachte in den fertigen Broten im Vergleich zu allen anderen Proben eine signifikante Zunahme der Härte. Der Zusatz von Erbsenproteinisolat zu glutenfreiem Brot resultierte in ähnlichen Eigenschaften wie beim Brot PSA\_IM\_SSE. Die Proben mit Gluten und PSA\_IM hatten zudem eine höhere Adhäsionskraft als die Brote CON\_SSE. Die Resultate der TPA zeigten, dass die Brote mit pflanzlichen Proteinen ähnliche Eigenschaften wie Brote mit Basidiomycetenmyzel aufweisen. Die Brote aus dem Laborversuch zeigten Elastizitäten zwischen 88,2% und 90,4%. Dabei unterschieden sich die Proben mit Basidiomycetenmyzel signifikant von CON\_SSE. Die Kaubarkeit der Brote mit den Basidiomycetenmyzelien kann in zwei Gruppen eingeteilt werden. So war das Brot PSA\_IM\_SSE weicher und damit leichter kaubar, während die Brote PSA\_AP\_SSE und LED\_CP\_SSE fester als die Brote GLU\_SSE waren. Die Kohäsion der verschiedenen Proben betrug 29,7-34,9%. Diese Ergebnisse der TPA aus dem Laborversuch sind vergleichbar mit denen, die in der Literatur für glutenfreie Brote beschrieben sind. Hier waren glutenfreie Brote mit pflanzlichen Proteinen (Soja) und mit Eialbumin hergestellt worden [91, 98, 188, 189].

#### **3.3.4.2 Textur-Profil-Analyse der Produkte aus den Technikumsversuchen**

Die Ergebnisse der Härte (Tabelle 30) der Brote mit PSA\_IM\_LSE waren vergleichbar mit denen der Brote GLU\_LSE. Durch die Zugabe der beiden anderen Basidiomycetenmyzelien stieg die Härte im Vergleich zu allen anderen Broten signifikant an, was mit der erhöhten Wasserbindekapazität der Myzelien erklärt werden kann (siehe 3.1.1.1). Die Ergebnisse der Adhäsion der Probe PSA\_IM\_LSE waren höher als die der Proben mit CON\_LSE und GLU\_LSE. Zudem waren die Elastizität und Kohäsion der Brote von PSA\_IM\_LSE vergleichbar mit denen von GLU\_LSE. Die Ergebnisse der Brote PSA\_AP\_LSE und LED\_CP\_LSE unterschieden sich von allen anderen Proben, da die Brote kaum eine Porung ausgebildet hatten und somit kompakt, leicht klebrig (hohe Adhäsion) sowie schlecht kaubar



---

waren. Die Resultate der Kaubarkeit von PSA\_IM\_LSE waren vergleichbar mit denen von GLU\_LSE. Die Ergebnisse der TPA waren vergleichbar mit denen zu glutenfreien Broten mit Hydrokolloiden und nicht glutenhaltigen Proteinen in der Literatur [91, 98, 188, 189].

### **3.3.4.3 Vergleich der Proben aus dem Laborversuch mit den Technikumsversuchen**

Die Härte einer Probe hängt von ihrer Textur ab und hat den Haupteinfluss auf die Gesamtbewertung einer Brotkrume in Bezug auf die Qualität [100]. KON\_SSE und KON\_LSE lieferten das weichste Brot, da keine strukturbildende Proteinquelle zugegeben wurde. Mit dem Vergleich zur Literatur sind Brote ohne Zugabe einer Proteinquelle immer sehr weich [98]. Die Zugabe von Gluten oder Basidiomycetenmyzel zum System glutenfreies Brot führte zu einer starken Zunahme der Härte im Vergleich zur Kontrolle. Brote mit PSA\_AP und LED\_CP im Vergleich zu dem mit Gluten hergestellten Brot ergaben Krumen, die in der TPA härter waren. Dieses Ergebnis wurde auf den bereits angesprochenen Faseranteil zurückgeführt [99, 184]. Die Probenergebnisse mit PSA\_IM zeigten in den Laborversuchen als auch in den Technikumsversuchen die gleichen Tendenzen im Vergleich zur Kontrolle und zu den Proben mit Gluten sowie den anderen Basidiomycetenmyzelien. Dies bedeutet, dass die Ergebnisse aus dem Laborversuch mit denen im Technikumsversuch zu vergleichen sind und die Brote mit PSA\_IM ähnliche Ergebnisse mit den Produkten mit Gluten haben.

Auch im Vergleich der Ergebnisse der Produkte mit SPK, EPI mit PSA\_IM konnten in beiden Versuchen, ähnliche Eigenschaften, wie Backvolumen und Porung, gezeigt werden. Alle Proben mit Zusatz von pflanzlichen Proteinen bzw. Basidiomycetenmyzel waren klebriger als die Kontrollproben aus den jeweiligen Versuchen. Die Ergebnisse der Brote zeigten Elastizitäten zwischen 90,4% und 86,4% im Laborversuch und 90,2% und 86,1% im Technikumsversuch. In beiden Experimenten unterschieden sich die Ergebnisse der Elastizität der Proben mit LED\_CP signifikant von denen der KON. Die vorliegenden Ergebnisse zeigten, dass Brote mit PSA\_IM ähnliche Eigenschaften wie Brote mit Gluten aufweisen. Die Rezepturen der Brote mit den Basidiomycetenmyzelien PSA\_AP und LED\_CP müssen überarbeitet werden, um eine Porenbildung zu ermöglichen bzw. zu erleichtern.

**Tabelle 30** Textur-Profil-Analyse der glutenfreien Brote aus Laborversuchen (SSE mit n = 9) und Technikumsversuchen (LSE mit n = 10).  
Signifikanzniveau  $p < 0,05$

Produkt	Härte [g]	[SD]	Adhäsion [gxs]	[SD]	Elastizität [%]	[SD]	Kaubarkeit [g]	[SD]	Kohäsion [%]	[SD]
KON_SSE	97	26	-8,18	3,76	90,4	0,3	87	22	32,2	1,1
EPI_SSE	182	33	-11,77	3,52	87,5	0,2	159	30	29,3	1,8
SPK_SSE	295	47	-25,12	2,73	86,4	1,2	254	44	27,8	2,7
GLU_SSE	369	51	-18,69	3,42	90,1	1,7	331	42	32,9	4,0
PSA_IM_SSE	154 <sup>c,d,f,g</sup>	46	-11,43 <sup>c,f,g</sup>	4,21	88,2 <sup>a</sup>	1,8	135 <sup>c,d,f,g</sup>	31	29,9 <sup>g</sup>	3,8
PSA_AP_SSE	634 <sup>a-e,g</sup>	95	-32,61 <sup>a,b,d,e,g</sup>	7,49	88,3 <sup>a</sup>	1,6	558 <sup>a-e,g</sup>	108	32,3	3,7
LED_CP_SSE	913 <sup>a-f</sup>	53	-54,28 <sup>a-f</sup>	9,30	88,2 <sup>a</sup>	2,2	802 <sup>a-f</sup>	71	34,9 <sup>b,c,e</sup>	4,1
KON_LSE	1153	80	-0,37	0,14	90,2	2,3	1036	49	31,0	2,2
EPI_LSE	1415	156	-1,53	0,64	87,7	1,7	1237	73	29,2	2,6
SPK_LSE	1850	214	-0,85	0,36	86,1	2,5	1588	51	27,7	3,8
GLU_LSE	1831	238	-0,80	0,58	90,0	1,3	1642	98	32,8	4,1
PSA_IM_LSE	1591 <sup>a,f,g</sup>	327	-5,30 <sup>a-d,g</sup>	1,03	88,1	1,3	1398 <sup>a,b,d,f,g</sup>	125	29,7 <sup>g</sup>	2,8
PSA_AP_LSE	3105 <sup>a-e,g</sup>	317	-6,35 <sup>a-d,g</sup>	1,64	88,3	1,1	2733 <sup>a-e,g</sup>	99	32,5 <sup>c</sup>	3,9
LED_CP_LSE	5239 <sup>a-f</sup>	359	-12,85 <sup>a-f</sup>	3,03	88,0 <sup>a</sup>	2,3	4594 <sup>a-f</sup>	239	34,2 <sup>b,c,e</sup>	2,0

a: Signifikant unterschiedlich zu KON

b: Signifikant unterschiedlich zu EPI

c: Signifikant unterschiedlich zu SPK

d: Signifikant unterschiedlich zu GLU

e: Signifikant unterschiedlich zu PSA\_IM

f: Signifikant unterschiedlich zu PSA\_AP

g: Signifikant unterschiedlich zu LED\_CP

---

## **3.4 Bindsystem für Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art**

### **3.4.1 Haptische Untersuchung der Steckbarkeit von rohem Hackdöner zu Dönerspießen**

Hersteller von Hackfleischspießen nach Döner Kebab Art achten besonders auf schnelle Steckbarkeit des Hackfleisches zu Drehspießen. Die Ergebnisse der Haptik-, der Verarbeitungsprüfung (Portionierung, Formung, Bindung) und des daraus gebildeten Gesamteindrucks (Mittelwert, zusammengefasst als "Gesamt") sind in Tabelle 31 aufgeführt. Die Masse mit PSA\_IM zeigte in allen drei Verarbeitungsprüfungen einen signifikanten Unterschied zu allen anderen rohen Hackfleischspießen nach Döner Kebab Art. Besonders hervorzuheben ist die gute Steckbarkeit des Hackfleischspießes, da die Masse sehr klebrig war (siehe auch 3.4.5.1). Die Hackfleischmasse mit LED\_CP hingegen zeigte ähnliche (SPI, POPI) bzw. etwas bessere Eigenschaften (SPK, SBK, EPI) bei der Bewertung der Verarbeitung im Vergleich zu den Massen mit kommerziellen pflanzlichen Proteinen.

Die aufgrund ihrer hohen Albuminfraktion sehr gut löslichen Proteine POPI und EWP zeigten besonders bei der Steckbarkeit die gewünschten Eigenschaften wie Klebrigkeit und guter Steckbarkeit, die ebenfalls durch die Basidiomycetenmyzelien erreicht wurden [32, 188, 190, 191]. Aufgrund der dargestellten Ergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass das Basidiomycetenmyzel von PSA\_IM und LED\_CP zur Herstellung von Hackfleischspießen nach Döner Art verwendet werden kann.

**Tabelle 31** Haptik- und Verarbeitungsprüfung der rohen Massen der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art, 3 Fleischtechnologe, n = 3. Signifikanzniveau  $p < 0,05$

Produkt	Portionierung		Formen		Steckbarkeit		Gesamt	[SD]
	a-g; H	[SD]	a-g; A,D,E,H	[SD]	a-g; E+H	[SD]		
KON	6,4 (100)	0,2	5,3 (33)	0,6	6,6 (100)	0,5	6,1	0,4
SPI	5,8 (70)	0,2	6,1 (89)	0,4	6,6 (100)	0,2	6,1	0,3
SPK	6,1 (100)	0,2	6,0 (100)	0,0	5,6 (56)	0,2	5,9	0,1
SBK	5,8 (70)	0,7	5,2 (22)	0,2	5,8 (78)	0,4	5,6	0,4
EPI	5,9 (78)	0,5	5,8 (70)	0,2	5,3 (33)	0,0	5,7	0,2
POPI	6,4 (100)	0,5	7,0 (100)	0,0	6,8 (100)	0,2	6,7	0,2
EWP	6,7 (100)	0,0	6,7 (100)	0,0	7,0 (100)	0,0	6,8	0,0
PSA_IM	7,6 (100)	0,2	7,8 (100)	0,2	7,8 (100)	0,2	7,7	0,2
LED_CP	5,9 (70)	0,4	6,6 (100)	0,2	6,6 (100)	0,2	6,3	0,3

Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und KON  
 Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und SPI  
 Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und SPC  
 Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und SFC  
 Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und PPI  
 Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und POPI  
 Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und EWP

a  
b  
c  
d  
e  
f  
g

Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und CON  
 Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und SPI  
 Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und SPC  
 Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und SFC  
 Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und PPI  
 Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und POPI  
 Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und EWP  
 Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und PSA\_IM

A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
H

### 3.4.2 Sensorische Beurteilung der gegrillten Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art während des Grillens und Schneidens

Die Tabelle 32 – 34 zeigen die Ergebnisse der visuellen Beurteilung während des Grillens vor dem Schnitt des gegrillten Hackfleischspießes, die Bestimmung der Schneideigenschaften und die visuelle Beurteilung nach dem Schneiden des Hackfleischspießes durch das Sensorik-Panel bzw. durch das *Ethnic-Fast-Food-Team* (Tabelle 33). Bei den visuellen Eigenschaften vor dem Schneiden lagen die Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art mit SBK, EWP und LED\_CP im Durchschnitt über 6,5 von 9 Punkten. Produkte mit einer visuellen Bewertung und Schneideigenschaften von größer 6,5 werden als marktfähig betrachtet. Die drei höchsten Durchschnittswerte für die Schneideigenschaften der Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art (Tabelle 33) betragen  $6,7 \pm 0,3$  mit EPI,  $6,6 \pm 0,4$  mit EWP und  $7,9 \pm 0,5$  mit LED\_CP. Der einzige Mittelwert über 6,5 für die visuelle Begutachtung nach dem Schneiden betrug  $7,7 \pm 0,5$  für den Hackfleischspieß nach Döner

---

Kebab Art mit LED\_CP. Der Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art mit LED\_CP zeigte daher die besten sensorischen Eigenschaften beim Grillen. Hierbei zeigte der Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art mit LED\_CP, besonders bei dem Schritt Ruhezeit für 1 h, kein Zusammensacken der Masse. Das Myzel LED\_CP konnte die Masse gut stabilisieren. Diese Ergebnisse ähneln den veröffentlichten Ergebnissen für die Anwendung von kommerziellen Proteinen, wie Mischungen aus Sojaisolat und Sojakonzentrat sowie Erbsenproteinisolat [104, 107] in der Dönerherstellung.

**Tabelle 32** Visuelle Begutachtung der nicht geschnittenen Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art vor dem Schnitt (15 Sensoriker, n = 3 je Schnitt). Signifikanzniveau  $p < 0,05$

Produkt	1.Schnitt (45 min) b,d-h;A,C,H	2.Schnitt (15 min) a-g;F,H	3.Schnitt (15 min) a-g;A,C,E-H	4.Schnitt (15 min) a-g;A-C,E,F,H	5.Schnitt (15 min) a-g;A-H	Ruhezeit 1h 6.Schnitt (15 min) b-g;A-D,F-G	7.Schnitt (15 min) a-g;A-H	8.Schnitt (15 min) b-g;A-H	Ø
KON	5,9 ± 0,7	5,9 ± 0,7	5,2 ± 0,7	5,2 ± 0,5	6,1 ± 0,5	3,1 ± 0,5	1,3 ± 0,5	2,9 ± 0,3	4,4 ± 0,6
SPI	6,8 ± 0,5	6,2 ± 0,4	6,3 ± 0,5	6,2 ± 0,4	6,3 ± 0,4	6,2 ± 0,3	6,2 ± 0,3	6,2 ± 0,3	6,3 ± 0,4
SPK	6,0 ± 0,7	6,0 ± 0,5	5,5 ± 0,5	5,0 ± 0,1	5,0 ± 0,5	5,1 ± 0,3	4,2 ± 0,4	4,2 ± 0,4	5,2 ± 0,4
SBK	6,9 ± 0,3	6,7 ± 0,5	6,6 ± 0,5	6,7 ± 0,5	6,5 ± 0,5	6,7 ± 0,6	6,5 ± 0,5	6,7 ± 0,6	6,6 ± 0,5
EPI	6,8 ± 0,4	6,0 ± 0,2	6,0 ± 0,4	6,0 ± 0,2	6,1 ± 0,4	6,9 ± 0,3	6,8 ± 0,4	6,7 ± 0,5	6,4 ± 0,3
POPI	7,7 ± 0,5	7,0 ± 0,2	6,0 ± 0,4	5,9 ± 0,5	5,9 ± 0,5	4,2 ± 1,1	4,0 ± 0,8	3,9 ± 0,4	5,6 ± 0,5
EWP	7,5 ± 0,7	6,0 ± 0,4	6,2 ± 0,4	6,8 ± 0,4	6,7 ± 0,6	6,7 ± 0,5	6,7 ± 0,5	5,9 ± 0,5	6,5 ± 0,5
PSA_IM	5,5 ± 0,7	4,5 ± 0,7	4,4 ± 0,8	3,5 ± 0,5	2,7 ± 0,4	2,7 ± 0,4	2,7 ± 0,4	2,6 ± 0,7	3,6 ± 0,6
LED_CP	7,4 ± 0,5	6,5 ± 0,5	7,1 ± 0,6	7,1 ± 0,7	7,7 ± 0,4	7,7 ± 0,4	7,7 ± 0,4	7,7 ± 0,5	7,4 ± 0,5

- Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und KON a  
 Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und SPI b  
 Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und SPK c  
 Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und SBK d  
 Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und EPI e  
 Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und POPI f  
 Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und EWP g
- Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und KON A  
 Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und SPI B  
 Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und SPK C  
 Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und SBK D  
 Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und EPI E  
 Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und POPI F  
 Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und EWP G

**Tabelle 33** Bewertung der Schneideigenschaften des gegrillten Hackfleischspießes nach Döner Kebab Art durch einen Fleischtechnologen des *Ethnic-Fast-Food-Teams* (n = 3 je Schnitt). Signifikanzniveau p < 0,05

Produkt	1.Schnitt	2.Schnitt	3.Schnitt	4.Schnitt	5.Schnitt	Ruhezeit 1h		8.Schnitt	Ø	[SD]
	(45 min) c,e-g;A,B,D-F,H	(15 min) b-e,g;A,B,F-H	(15 min) a-g;A-C,F,H	(15 min) a-e,g;A-C,F,H	(15 min) b,d,e,g;A-F,H	6.Schnitt (15 min) b-e,g;A-H	7.Schnitt (15 min) b-e,g;A-C,F,H	(15 min) a-g;A-H		
KON	5,0 ± 0,0	4,7 ± 0,6	4,7 ± 0,6	5,0 ± 0,0	4,0 ± 1,0	3,0 ± 0,0	4,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	4,4	0,7
SPI	5,0 ± 0,0	5,3 ± 0,6	5,0 ± 0,0	5,3 ± 0,6	5,3 ± 0,6	5,3 ± 0,6	5,3 ± 0,6	5,0 ± 0,0	5,2	0,2
SPK	7,0 ± 0,0	7,0 ± 0,0	6,0 ± 0,0	6,0 ± 0,0	4,0 ± 0,0	6,0 ± 0,0	6,0 ± 1,0	7,0 ± 1,0	6,1	1,0
SBK	5,0 ± 0,0	6,7 ± 0,6	6,7 ± 0,6	6,7 ± 0,6	6,0 ± 0,0	6,7 ± 0,6	6,3 ± 0,6	7,0 ± 0,0	6,4	0,6
EPI	6,3 ± 0,6	6,7 ± 0,6	6,7 ± 0,6	6,7 ± 1,2	6,3 ± 0,6	7,0 ± 0,0	7,0 ± 0,0	7,0 ± 0,0	6,7	0,3
POPI	6,0 ± 0,0	4,7 ± 0,6	4,7 ± 0,6	4,3 ± 0,6	3,3 ± 0,6	3,0 ± 0,0	4,0 ± 0,0	4,7 ± 0,6	4,3	0,9
EWP	7,0 ± 0,0	6,0 ± 0,0	7,0 ± 0,0	7,0 ± 0,0	6,7 ± 1,2	6,7 ± 1,2	6,7 ± 1,2	6,0 ± 0,0	6,6	0,4
PSA_IM	4,7 ± 0,6	3,3 ± 0,6	3,0 ± 0,0	3,0 ± 0,0	3,0 ± 0,0	3,0 ± 0,0	3,3 ± 1,2	2,0 ± 0,0	3,2	0,7
LED_CP	7,3 ± 0,6	7,7 ± 0,6	7,3 ± 0,6	8,0 ± 0,0	8,0 ± 0,0	9,0 ± 0,0	8,0 ± 0,0	8,0 ± 0,0	7,9	0,5

Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und KON	a
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und SPI	b
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und SPK	c
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und SBK	d
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und EPI	e
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und POPI	f
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und EWP	g
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und KON	A
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und SPI	B
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und SPK	C
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und SBK	D
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und EPI	E
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und POPI	F
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und EWP	G

**Tabelle 34** Visuelle Begutachtung der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art nach dem Schnitt (15 Sensoriker, n = 3, je Schnitt).  
Signifikanzniveau  $p < 0,05$

Produkt	1.Schnitt (45 min) b;B,D	2.Schnitt (15 min) a-g;A,B,H	3.Schnitt (15 min) a-g;A-C,F,H	4.Schnitt (15 min) b,d-g;A-C,E-H	5.Schnitt (15 min) a-g;A-H	Ruhezeit 1h 6.Schnitt (15 min) b-g;A-H	7.Schnitt (15 min) b-g;A-H	8.Schnitt (15 min) b-g;A-H	Ø
KON	6,4 ± 0,4	5,4 ± 0,6	4,3 ± 0,5	4,3 ± 0,5	2,4 ± 0,6	3,4 ± 0,5	3,4 ± 0,4	3,7 ± 0,5	4,2 ± 0,5
SPI	5,1 ± 0,7	5,3 ± 0,7	5,3 ± 0,4	5,3 ± 0,4	5,4 ± 0,5	5,4 ± 0,5	6,3 ± 0,6	6,3 ± 0,7	5,5 ± 0,5
SPK	6,4 ± 0,5	6,3 ± 0,6	5,4 ± 0,5	4,4 ± 0,4	6,3 ± 0,6	6,3 ± 0,6	7,2 ± 0,6	6,7 ± 0,5	6,1 ± 0,5
SBK	5,3 ± 0,4	6,3 ± 0,6	6,3 ± 0,6	7,1 ± 0,7	6,4 ± 0,8	6,4 ± 0,8	5,5 ± 0,9	5,5 ± 0,9	6,1 ± 0,7
EPI	5,9 ± 0,4	5,9 ± 0,3	6,7 ± 0,6	6,3 ± 0,6	6,3 ± 0,6	6,3 ± 0,6	5,4 ± 0,5	5,6 ± 0,5	6,0 ± 0,5
POPI	5,4 ± 0,5	5,6 ± 0,9	5,4 ± 0,9	5,4 ± 0,9	5,4 ± 0,7	5,4 ± 0,5	4,4 ± 0,6	4,6 ± 0,6	5,2 ± 0,7
EWP	5,9 ± 0,6	6,0 ± 0,5	6,2 ± 0,4	6,2 ± 0,4	6,3 ± 0,4	6,3 ± 0,4	5,3 ± 0,4	5,5 ± 0,5	6,0 ± 0,4
PSA_IM	5,8 ± 0,4	3,0 ± 0,7	3,1 ± 0,6	3,9 ± 0,5	3,3 ± 0,6	3,3 ± 0,6	2,5 ± 0,7	1,9 ± 0,9	3,3 ± 0,6
LED_CP	6,2 ± 0,6	6,3 ± 0,7	6,9 ± 0,5	7,8 ± 0,4	7,9 ± 0,3	8,8 ± 0,4	8,7 ± 0,7	8,7 ± 0,7	7,7 ± 0,5

Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und KON a

Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und SPI b

Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und SPK c

Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und SBK d

Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und EPI e

Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und POPI f

Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und EWP g

Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und KON A

Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und SPI B

Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und SPK C

Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und SBK D

Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und EPI E

Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und POPI F

Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und EWP G



### 3.4.3 Sensorische Untersuchungen der gegrillten Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art

Alle gegrillten Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art wurden durch das Sensorik-Panel auf die sensorischen Eigenschaften Farbe, Textur (Härte/Festigkeit) und Geschmack beurteilt. Die sensorische Beurteilung der Festigkeit/Härte der Proben der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art war ein Maß für die unterschiedlichen techno-funktionellen Eigenschaften der Proteine im System, da das eingesetzte Protein mit dem Fleischprotein ein Gel bildet und eine feste Struktur im Endprodukt vermittelt [106, 107, 192]. Hierbei bildet das zugesetzte Protein ein koaguliertes Gel, das die Hackfleischstruktur stabilisiert und beim Erhitzen die Aufgabe der Emulsionsstabilisierung übernimmt. In Tabelle 35 sind die Ergebnisse der sensorischen Untersuchung der gegrillten Hackfleischspieße dargestellt:

**Tabelle 35** Sensorische Untersuchungen der gegrillten Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art. 3 unabhängige Produktionen und 3 sensorische Untersuchungen pro Produktion mit 15 geschulten Sensorikern. Signifikanzniveau  $p < 0,05$

Produkt	Mittelwerte auf einer hedonischen Skala und Standardabweichung (sensorische Eigenschaften) *		
	Farbe <sup>a-h; B-F</sup>	Härte/ Festigkeit <sup>a-h</sup>	Geschmack <sup>e+h; A-G</sup>
KON	6,5 ± 0,1 (83)	6,3 ± 0,3 (78)	6,4 ± 0,3 (93)
SPI	7,3 ± 0,0 (94)	6,6 ± 0,2 (93)	6,8 ± 0,2 (94)
SPK	4,5 ± 0,2 (22)	6,3 ± 0,4 (67)	6,7 ± 0,2 (94)
SBK	7,2 ± 0,1 (95)	6,5 ± 0,1 (74)	6,7 ± 0,2 (92)
EPI	7,3 ± 0,1 (100)	6,4 ± 0,1 (68)	6,8 ± 0,2 (92)
POPI	7,2 ± 0,2 (100)	6,9 ± 0,1 (84)	6,6 ± 0,2 (94)
EWP	6,8 ± 0,2 (95)	7,4 ± 0,4 (99)	6,6 ± 0,1 (86)
PSA_IM	5,3 ± 0,1 (47)	4,2 ± 0,1 (21)	6,3 ± 0,2 (77)
LED_CP	6,6 ± 0,1 (78)	6,9 ± 0,4 (93)	5,7 ± 0,1 (43)

\* Der Prozentsatz der Testpersonen in Klammern, die jede getestete Eigenschaft zwischen 6 und 9 bewertet haben

Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und KON	a
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und SPI	b
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und SPC	c
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und SFC	d
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und PPI	e
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und POPI	f
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und EWP	g
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und CON	A
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und SPI	B
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und SPC	C
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und SFC	D
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und PPI	E
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und POPI	F
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und EWP	G
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und PSA_IM	H

---

Einzig für die beiden Proben mit PSA\_IM und SPK konnte das Attribut Farbe die Bewertung von 6,5 nicht erreichen. Beim Attribut Festigkeit/Härte konnten nur die Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art mit KON, SPK und PSA\_IM und für das Attribut Geschmack die Proben PSA\_IM, KON und LED\_CP die 6,5 nicht erreichen. Das Produkt mit PSA\_IM erzielte mit  $4,2 \pm 0,1$  beim Attribut Härte/Festigkeit eine sehr niedrige Bewertung, die aus einer nicht akzeptablen Schnittfestigkeit resultierte. Das gegrillte Produkt mit PSA\_IM zerbröselte stark und zeigte nicht die typischen Bindungseigenschaften der Hackfleischmasse eines Hackfleischspießes nach Döner Kebab Art. Die somit anfänglich guten Ergebnisse der rohen Masse bei den Eigenschaften Klebrigkeit und Steckbarkeit konnten sich beim Grillen nicht bestätigen.

Die Bewertungen des Sensorik-Panels beim Attribut Geschmack zeigte, dass durch die Zugabe der beiden Basidiomycetenmyzelien unerwünschte Geschmackseindrücke, wie „cerealienartig“, „fenchelartig“ (PSA\_IM) und „nach Karotte“, „muffig“, „erdig“ (LED\_CP) in den gegrillten Proben wahrgenommen wurden. Jedoch wurde PSA\_IM noch mit  $6,3 \pm 0,2$  bewertet. Die Verwendung von geeigneten Gewürzmischungen könnte diesen nachteiligen Geschmack reduzieren oder sogar vollkommen kaschieren.

#### **3.4.4 Analytische Untersuchungen der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art**

In Tabelle 36 sind die Ergebnisse der analytisch gemessenen Inhaltsstoffe von rohen und gegrillten Hackfleischspießen nach Döner Kebab Art dargestellt. Die Mittelwerte zeigten in allen gemessenen Parametern keine signifikanten Unterschiede. Die Werte der Proben für rohen sowie gegrillten Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art sind mit der Literatur vergleichbar [192]. Da beim Grillen Wasser verdunstet und ein Teil des Fettes abtropft, variieren die Werte zwischen rohen und gegrillten Produkten. Zudem hat das Protein durch seine emulgierenden Eigenschaften Einfluss auf den Ölverlust [193]. Zwischen den gegrillten und den rohen Proben gab es Unterschiede beim Trocknungsverlust zwischen 12-15%, was durch den Wasserverlust beim Grillen zu erklären ist. Die rohen Proben zeigten einen durchschnittlichen Trocknungsverlust von 56,0-57,9% im Vergleich zu 41,2-44,1% für die gegrillten Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art. Somit war auch der Proteingehalt der gegrillten Proben höher als der der rohen Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art. Bei den rohen Massen wurden Proteingehalte von 13,4 bis 14,8% analysiert, während in den gegrillten Proben 22,1-25,2% ermittelt wurden. Diese Ergebnisse sind ähnlich zu Literaturwerten von

---

Seeger et *al.* und Küpeli et *al.* [105, 116]. Der Fettgehalt der rohen Proben betrug 15,9-17,5% im Vergleich zu 23,1-25,6% für die gegrillten Proben der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art. Hieraus ist ersichtlich, dass die zugesetzten Proteine während des Grillens einen emulgierenden Einfluss haben [192, 194]. Der Aschegehalt der Proben umfasst die Asche des eingesetzten Fleisches (ca. 1%) und wird durch Zugabe von Gewürzen, Speisesalz und Zusatzstoffen erhöht. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Proben mit Protein bzw. Basidiomycetenmyzel und der 0-Charge ist nicht zu beobachten gewesen.

**Tabelle 36** Analytisch gemessene Inhaltsstoffe von rohen und gegrillten Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art (n = 3)

Produkt	rohe Masse der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art				gegrillte Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art			
	Trocknungsverlust [%]	Protein-gehalt* [%]	Fett-gehalt* [%]	Asche [%]	Trocknungsverlust [%]	Protein-gehalt* [%]	Fett-gehalt* [%]	Asche [%]
KON	56,7 ± 0,6	13,4 ± 0,2	17,0 ± 0,3	2,58 ± 0,17	42,2 ± 0,3	24,9 ± 0,8	24,1 ± 0,8	2,83 ± 0,16
SPI	56,0 ± 0,7	13,8 ± 0,7	16,1 ± 0,4	2,39 ± 0,11	42,7 ± 1,1	25,2 ± 1,2	24,2 ± 0,6	2,89 ± 0,24
SPK	57,1 ± 0,7	14,8 ± 1,2	16,4 ± 0,6	2,62 ± 0,09	43,9 ± 0,8	23,8 ± 0,9	23,8 ± 0,7	2,91 ± 0,10
SBK	57,9 ± 0,5	13,7 ± 1,1	16,6 ± 1,3	2,40 ± 0,07	42,7 ± 0,7	24,0 ± 0,5	23,1 ± 0,8	2,82 ± 0,08
EPI	56,0 ± 0,9	14,1 ± 1,0	15,9 ± 0,7	2,61 ± 0,08	41,2 ± 0,9	23,2 ± 0,4	23,7 ± 0,4	2,69 ± 0,09
POPI	57,1 ± 0,8	14,7 ± 0,6	17,1 ± 0,9	2,30 ± 0,15	42,5 ± 1,1	23,9 ± 0,8	23,8 ± 0,5	2,79 ± 0,12
EWP	57,3 ± 0,9	14,1 ± 0,6	16,9 ± 1,1	2,59 ± 0,06	42,9 ± 1,0	22,1 ± 1,6	24,1 ± 0,7	2,81 ± 0,21
PSA_IM	56,7 ± 1,1	13,8 ± 0,8	17,0 ± 1,5	2,31 ± 0,12	44,1 ± 0,2	23,7 ± 0,5	25,6 ± 1,1	2,78 ± 0,14
LED_CP	57,2 ± 0,9	13,9 ± 0,3	17,5 ± 0,3	2,59 ± 0,04	41,2 ± 0,3	24,7 ± 0,8	24,5 ± 1,4	2,72 ± 0,05

\* Messungen sind an der JLU-Gießen und durch ein externes Labor (Arotop, Mainz) durchgeführt worden

---

#### 3.4.4.1 Farbmessung der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art

Das Aussehen, die Farbe sowie das Bräunungsverhalten spielen bei der Dönerherstellung und während des Grillens eine große Rolle. Einerseits soll die Fleischmasse hell nach Fleisch aussehen, andererseits beim Grillen dunkel werden und bräunen [192]. Durch die Zugabe der Basidiomycetenmyzelien änderten sich die  $L^*a^*b^*$ -Werte der rohen Massen (Tabelle 37). Die rohen Masse der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art mit PSA\_IM zeigten bei allen drei Werten einen signifikanten Unterschied zu denen mit POPI und EWP. Die  $L^*a^*b^*$ -Werte der rohen Masse mit LED\_CP zeigte dagegen nur einen signifikanten Unterschied zu der mit EWP. Nach dem Grillen unterschieden sich die Ergebnisse der Proben mit PSA\_IM und LED\_CP signifikant von der mit EPI. Besonders der gegrillte Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art mit LED\_CP war sehr dunkel und die Ergebnisse waren vergleichbar mit dem von SBK, während die Proben mit POPI und EWP nicht stark bräunten. Die zugrundeliegende Reaktion, die Maillard-Reaktion, hängt von der Anzahl der verfügbaren Reaktanten (Proteine und reduzierende Zucker) ab. In der Praxis ist eine schnelle Bräunungsreaktion gewünscht, da der Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art so schnell geschnitten und zubereitet werden kann [116, 192]. Durch die Zugabe von Basidiomycetenmyzel kann eine gute Bräunungsreaktion während des Grillens erzielt werden, was man im Vergleich zu den kommerziell eingesetzten Proteinen wie SPI; SPK und EPI mit Hilfe der Werte im  $L^*a^*b^*$ -Farbraum beobachten konnte.

**Tabelle 37** Farbmessung (CIE L\*a\*b\*-Farbraum) der rohen und gegrillten Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art mit n = 10, Signifikanzniveau p < 0,05

Produkt	rohe Masse der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art				gegrillte Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art							
	L f,g; G [SD]	a+/a- a-g;A-H [SD]	b+/b- a-g;A-H [SD]	L a-g; A-H [SD]	a+/a- b+c-g;B,F,G [SD]	b+/b- e-f;E,H [SD]						
KON	83,2	0,2	16,5	0,8	15,8	0,4	50,2	0,8	0,00	0,07	0,81	0,13
SPI	83,1	0,2	14,1	0,4	14,6	0,2	52,2	0,3	0,10	0,08	0,71	0,15
SPK	83,2	0,3	14,1	0,3	13,8	0,4	52,9	0,3	-0,04	0,06	0,85	0,17
SBK	83,1	0,2	18,7	0,4	16,5	0,3	48,0	0,2	0,01	0,09	0,85	0,10
EPI	83,2	0,4	14,7	0,5	13,6	0,2	51,5	0,1	0,07	0,13	1,01	0,13
POPI	82,9	0,2	15,7	0,4	15,1	0,1	55,6	0,3	0,09	0,09	0,64	0,20
EWP	82,8	0,1	16,3	0,2	16,2	0,2	55,8	0,4	0,13	0,07	0,51	0,13
PSA_IM	83,3	0,3	14,7	0,4	13,3	0,2	52,6	0,3	-0,04	0,09	0,83	0,17
LED_CP	83,1	0,2	17,1	0,3	16,8	0,2	49,0	0,1	-0,02	0,07	0,69	0,13

L = Helligkeit (100 = weiß; 0 = schwarz); a+ = rot; a- = grün; b+ = gelb; b- = blau

- Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und KON a
- Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und SPI b
- Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und SPC c
- Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und SFC d
- Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und PPI e
- Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und POPI f
- Signifikante Unterscheidung zwischen PSA\_IM und EWP g
  
- Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und CON A
- Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und SPI B
- Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und SPC C
- Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und SFC D
- Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und PPI E
- Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und POPI F
- Signifikante Unterscheidung zwischen LED\_CP und EWP G

---

### **3.4.5 Rheologische Untersuchungen der Massen roh und gegrillt der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art**

#### **3.4.5.1 Klebrigkeit der rohen Massen der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art**

Tabelle 38 zeigt die Ergebnisse der maximalen Ablösekraft der verschiedenen rohen Massen der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art. Die Zugabe der Proteine bzw. Basidiomycetenmyzelien soll die Hackfleischmasse klebriger machen, um die Steckbarkeit des Spießes zu verbessern [113, 115]. Die Resultate der Hackfleischmasse mit PSA\_IM zeigten, dass das Produkt durch den Zusatz im Vergleich zu den anderen Produkten sehr klebrig wurde (siehe Tabelle 38). Dadurch konnte der Hackfleischspieß sehr gut gesteckt werden. Die Klebrigkeit der Probe mit PSA\_IM konnte von allen anderen Proben nicht erreicht werden. Die Ergebnisse unterschieden sich signifikant von denen der anderen Hackfleischmassen nach Döner Kebab Art.

Die Probe mit LED\_CP zeigte vergleichbare Werte für die Klebrigkeit wie die Hackfleischmasse mit POPI und war im Vergleich zu den Massen mit KON, SPI und SPK geringfügig klebriger.

Die Adhäsionskraft der rohen Massen der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art ist ebenfalls in Tabelle 38 dargestellt. Die maximale Ablösekraft und die Adhäsionskraft korrelieren nicht. Im Gegensatz zur maximalen Ablösekraft bezieht sich die Adhäsionskraft auf das vollständige Entfernen der Probe vom Messwerkzeug, die maximale Ablösekraft dahingegen welche Kraft nötig ist um die Probe das erste Mal vom Messwerkzeug zu trennen. Die Hackfleischmasse mit PSA\_IM als die Probe mit der höchsten Adhäsionskraft. Dahingegen zeigte die Probe mit LED\_CP die geringste Adhäsionskraft. Dies kann auf den verwendeten Agrarnebenstrom und die damit verbundene Wasserbindekapazität zurückgeführt werden. Durch die bessere Wasserbindung konnte weniger Protein (aus Fleisch oder Myzelien) in Lösung gehen und somit hatte die Hackmasse mit LED\_CP eine geringere Adhäsionskraft.

**Tabelle 38** Klebrigkeit der rohen Hackfleischmassen nach Döner Kebab Art (n = 10).  
Signifikanzniveau  $p < 0,05$

Produkt	max. Ablösekraft [g] a-g;A,B,H	Adhäsionskraft a-g;A-H
KON	-509 ± 65	-3596 ± 517
SPI	-411 ± 44	-3934 ± 506
SPK	-417 ± 61	-3722 ± 305
SBK	-477 ± 71	-3741 ± 586
EPI	-456 ± 50	-3453 ± 439
POPI	-452 ± 39	-2895 ± 442
EWP	-480 ± 52	-3730 ± 398
PSA_IM	-573 ± 52	-5421 ± 632
LED_CP	-456 ± 40	-2514 ± 472

Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und KON	a
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und SPI	b
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und SPC	c
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und SFC	d
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und PPI	e
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und POPI	f
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und EWP	g
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und CON	A
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und SPI	B
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und SPC	C
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und SFC	D
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und PPI	E
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und POPI	F
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und EWP	G

### 3.4.5.2 Textur Profil Analyse der gegrillten Massen von Hackfleischspießen nach Döner Kebab Art in Aluformen

Um eine TPA durchzuführen, wurde jeweils 1 kg der hergestellten Massen auf einem Gitter gegrillt und nach dem Abkühlen in 2 cm dicke Scheiben geschnitten. Die Härte der Proben (Tabelle 39) ist ein wichtiger Qualitätsparameter von Fleischerzeugnissen und wurde sowohl vom Sensorik-Panel bewertet (siehe 3.4.3) als auch mittels TPA gemessen. Alle Ergebnisse der kommerziellen tierischen und pflanzlichen Proteine, die im System Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art eingesetzt wurden, zeigten einen signifikanten Unterschied im Attribut Härte im Vergleich zu den Ergebnissen mit den Basidiomycetenmyzelien PSA\_IM und LED\_CP. Die Probe mit PSA\_IM war die weichste Probe, was auch durch die Attribute Elastizität  $0,94 \pm 0,07$ , Gummiartigkeit  $18426 \pm 234$  g, Kaubarkeit  $17051 \pm 685$  g und Kohäsion  $0,326 \pm 0,042$  bestätigt wurde. Im Gegensatz dazu war die Probe mit LED\_CP, mit Ausnahme der Probe mit SPI, härter als alle anderen Proben. Im Vergleich zu der Probe mit LED\_CP zeigten die Proben mit SPI auch höhere Werte in den Attributen Gummiartigkeit



---

und Kaubarkeit. Die Probe mit POPI zeigte höhere Werte für die Gummiartigkeit und die Kohäsion, während die mit EWP höhere Werte für die Gummiartigkeit als die mit LED\_CP zeigte. Die gegrillten Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art mit LED\_CP zeigten im Vergleich zu den Proben mit den pflanzlichen Proteinen SPK, SBK und EPI etwas bessere techno-funktionelle Eigenschaften, die sich durch die Attribute Härte, Gummiartigkeit und Elastizität ausdrücken ließen. Die bessere Festigkeit und der hohe Zusammenhalt des gegrillten Hackfleischspießes nach Döner Kebab Art mit LED\_CP kann durch den Anteil an Fasern aus dem Agrarnebenstrom und die damit verbundene bessere Wasserbindung erklärt werden [195].

**Tabelle 39** Textur Profil Analyse der gegrillten Produkte von Hackfleischmassen nach Döner Kebab Art (Produkt gefroren in 1 kg Aluminiumformen, gegrillt und in Scheiben geschnitten; n = 10). Signifikanzniveau  $p < 0,05$

Produkt	Härte		Adhäsion		Elastizität		Gummiartigkeit		Kaubarkeit		Kohäsion	
	[N] <sup>a-g; A-H</sup>	[SD]	[Nxs] <sup>a-g; A-H</sup>	[SD]	<sup>a,c-g; B+H</sup>	[SD]	[N] <sup>g, G</sup>	[SD]	[N] <sup>a-g; A-H</sup>	[SD]	<sup>a-g; A+H</sup>	[SD]
KON	27784	683	-13,7	1,3	0,88	0,03	20575	816	19598	454	0,371	0,022
SPI	34334	729	-123,9	2,8	0,91	0,03	23676	441	21544	920	0,385	0,022
SPK	28219	631	-74,6	1,7	0,90	0,03	21027	484	20153	936	0,395	0,017
SBK	27118	842	-56,1	2,7	0,88	0,04	19544	302	18485	887	0,383	0,029
EPI	27731	625	-64,6	1,9	0,88	0,03	18479	325	18343	587	0,397	0,025
POPI	28612	392	-48,8	2,6	0,89	0,03	23406	673	19796	552	0,413	0,031
EWP	26911	711	-55,0	2,2	0,89	0,04	22766	418	19575	840	0,399	0,034
PSA_IM	21764	399	-43,6	0,6	0,94	0,07	18426	234	17051	685	0,326	0,042
LED_CP	32770	475	-32,7	0,7	0,87	0,04	22301	559	20562	837	0,404	0,028
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und KON					a							
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und SPI					b							
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und SPC					c							
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und SFC					d							
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und PPI					e							
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und POPI					f							
Signifikante Unterscheidung zwischen PSA_IM und EWP					g							
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und CON					A							
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und SPI					B							
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und SPC					C							
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und SFC					D							
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und PPI					E							
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und POPI					F							
Signifikante Unterscheidung zwischen LED_CP und EWP					G							

---

## 4 Fazit aus den einzelnen Abschnitten

### 4.1 Auswahl der Basidiomycetenmyzelien

Die Auswahl der Basidiomycetenmyzelien, die von der JLU zur Verfügung gestellt wurden, für die Produktentwicklung basierte auf der Bewertung der techno-funktionellen und sensorischen Eigenschaften. An der JLU wurde der Proteingehalt der Basidiomycetenmyzelien bestimmt und zusätzlich die erforderliche Dauer für die Submerskultur ermittelt. Diese beiden Werte wurden bei der Auswahl geeigneter Pilz-Substrat-Kombinationen berücksichtigt. Anhand der sensorischen Bewertungen wurden einige Agrarnebenströme als nicht für die Verarbeitung in Lebensmitteln geeignet befunden. Beispielsweise waren Blattspinat mit seiner grünen Farbe und Granatapfeltrester, dessen Kerne sich im Myzel wiederfanden (feste, harte, nicht kaubare Partikel) Agrarnebenströme, die nicht erfolgreich zur Gewinnung von Basidiomycetenmyzel eingesetzt werden konnten. Daneben bildeten einige Pilze, wie beispielsweise *Agrocybe aegerita*, *Laetiporus sulphureus* und *Wolfiporia cocos*, sehr geruchsaktive Aromastoffe (Fehltöne wie „erdig“, „nasser Lappen“ und „dumpf“), die für den Einsatz im Lebensmittel nur schlecht geeignet wären und die deshalb nicht zum Einsatz kamen. Die techno-funktionellen Untersuchungen waren ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Auswahl der Basidiomycetenmyzelien. So wurde die Kombination aus *Pleurotus sapidus* kultiviert mit Isomaltulose im ersten Schritt nicht ausgewählt, da die Myzelien im Vergleich zu anderen Myzelien sehr geringe Wasser- und Ölbindekapazitäten aufwiesen. Jedoch ermöglichen die Kombination aus der hellen Farbe, dem angenehmen Geruch und das Wissen, dass der eingesetzte Agrarnebenstrom keine zusätzlichen techno-funktionellen Eigenschaften vermitteln kann, ein potentiell breites Einsatzspektrum.

Die Entscheidung PSA\_IM, LED\_CP, PSA\_AP und PSA\_ZT zu verwenden, wurde anhand der Ergebnisse aus 3.1 getroffen. Zudem wurde bereits in diesem Schritt die potentielle Verwendung in den zu untersuchenden Modellsystemen berücksichtigt. Der Einsatz der Kombination von Pilz mit Apfeltrester bzw. Zwiebeltrester in Brot und in fleischähnlichen Produkten wurde aufgrund der enthaltenen Aromastoffe als erfolgsversprechend bewertet. Auch die Pilz-Substrat-Kombinationen mit Karottentrester überzeugten mit ihren hohen Wasserbindekapazitäten.

---

## 4.2 Vegane Wurstanaloga

Ziel der Studie zu veganen Wurstanaloga war es, die beiden Basidiomycetenmyzelien von *Pleurotus sapidus* in einem veganen Modellsystem im Vergleich zu pflanzlichen Proteinen (SPI, SPK, EPI, SBK), einem vegetarischen Vergleichsprodukt, einer Probe ohne Protein (Kontrolle) und Wurstrezepten aus Russland und Deutschland zu testen, um ein ideales veganes Produkt zu entwickeln.

Die analytischen Werte  $a_w$ -Wert, pH-Wert, Kochverlust, Aschegehalt und Trocknungsverlust waren sehr ähnlich denen von traditionellen Würsten. Die Textur-Profil-Analysen zeigten, dass die Stabilität der jeweiligen Produkte während der Lagerung variierte. Die deutsche Wurst zeigte die besten Ergebnisse in Bezug auf die Texturstabilität. Die Ergebnisse der veganen Modellsysteme mit Basidiomycetenmyzel zeigten unmittelbar nach der Produktion ähnliche Ergebnisse wie das vegetarische Vergleichsprodukt. Insgesamt kann gefolgert werden, dass die Myzelien von *Pleurotus sapidus* geeignete Alternativen zu SPK, EPI und SBK sind und sich zur Herstellung von Wurstanaloga eignen. Die Analysen des Sensorik-Panels zeigten, dass die Textur der Produkte mit PSA\_AP und PSA\_IM der von Produkten mit pflanzlichen Proteinen sehr ähnlich ist. Dies korreliert mit den Ergebnissen der TPA. Die Ergebnisse der sensorischen Untersuchung zeigten zudem eine höhere Akzeptanz für das Produkt mit Basidiomycetenmyzel PSA\_IM als für die Vergleichsprodukte mit pflanzlichen Proteinen.

Die veganen Produkte mit Basidiomycetenmyzel PSA\_AP und PSA\_IM zeigten nach der Produktion vergleichbare Eigenschaften wie das Produkt mit der Fleischrezeptur aus Russland. Durch Optimierung der Submerskultivierung dieser Basidiomycetenmyzelien könnte eine weitere Verbesserung des Proteingehaltes und eine Verbesserung der Farbe des Basidiomycetenmyzels erzielt werden. Hierdurch könnten die Probleme in der Lagerung wie Wasserverlust und das Auftreten von Sprödigkeit verbessert und somit marktfähige vegane Produkte entwickelt werden. Um die Eigenschaften einer traditionellen deutschen Wurst zu erreichen, müssten jedoch noch weitere Änderungen der Rezeptur wie beispielsweise die Zugabe von Hydrokolloiden oder eine Erhöhung des Anteils an Basidiomycetenmyzel durchgeführt werden. Jedoch waren die Ergebnisse für eine fleischfreie Alternative zufriedenstellend, was auch durch den sensorischen Akzeptanztest bei der IFFA 2016 mit 330 Probanden ermittelt werden konnte. Durch den Einsatz von PSA\_IM in einem veganen System konnten ähnliche Eigenschaften wie die einer Wurst aus Fleisch erreicht werden.

---

## 4.3 Glutenfreies Brot

Das Ziel der Substitution von Weizengluten in Brot ist, seine techno-funktionellen Eigenschaften in Teig und der fertigen Backware durch Verwendung anderer Bestandteile, die keine Unverträglichkeit auslösen, nachzuahmen. In der Studie wurden hierzu Basidiomycetenmyzelien als alternative Proteinquellen mit hohem Protein- und Kohlenhydratgehalt in einem glutenfreien System getestet (PSA\_IM, PSA\_AP und LED\_CP). Bei den Proben mit PSA\_IM wurden vergleichbare Volumina gebildet, zudem hatte die Porenverteilung große Ähnlichkeiten zu der Probe in der Weizengluten als Referenz eingesetzt worden war. In der sensorischen Untersuchung konnten zudem die gleichen Ergebnisse zwischen den Proben mit PSA\_IM und GLU belegt werden. Die „Bräunung der Brotkruste“ mit PSA\_IM ist etwas intensiver als die der anderen Proben (abgesehen von den beiden Broten mit LED\_CP und PSA\_AP), was aus dem Restgehalt von reduzierenden Zuckern resultieren kann. Die etwas dunklere Farbe der Kruste im Vergleich zur Kruste mit GLU hatte keine negativen Auswirkungen auf die sensorische Bewertung. Bei der Verarbeitung war jedoch auffällig, dass die Teige mit PSA\_IM etwas klebriger waren als die Teige mit GLU oder den pflanzlichen Proteinen. Die Teige ließen sich sehr gut verarbeiten, was auch durch die rheologischen Messungen der Teigeigenschaften unterstrichen wurde. Im Vergleich zu den beiden pflanzlichen Proteinen EPI und SPK wurden mit dem Basidiomycetenmyzel von PSA\_IM vergleichbare Ergebnisse erzielt. Der Vorteil von PSA\_IM als Gluten-Ersatz liegt darin, dass das Basidiomycetenmyzel kaum prozessiert werden muss, es auf geringerer Fläche submers kultiviert werden kann und nicht über ein allergenes Potential verfügt. Somit könnte PSA\_IM potentiell als Substitut von Gluten in einer breiten Palette von glutenfreien Broten Verwendung finden.

Die beiden anderen Brote mit LED\_CP und PSA\_AP erreichten nicht die erwünschten Backerfolge und zeigten auch schon während der Teigführung sehr unterschiedliche Eigenschaften im Vergleich zu den Broten mit pflanzlichen Proteinen. Die geringen Volumina und die geringere Porenbildung führten durchweg zu sehr kompakten und feuchten Produkten. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die Backeigenschaften durch den Restgehalt der faserreichen Agrarnebenströme verschlechtert haben. Beide Teige erwiesen sich im rheologischen Verhalten sehr kompakt. Die Teige von PSA\_AP und LED\_CP waren gegenüber den anderen Teigen mit eingesetzten kommerziellen Proteinquellen weniger formbar, trockener und weniger klebrig. Der durch die Agrarnebenströme hervorgerufene Unterschied in der Farbe wurde durch das Sensorik-Panel im Brot als positiv empfunden und

---

mit einer hohen Lebensmittelqualität in Verbindung gebracht. Aufgrund der Farbe und der Produkteigenschaft ist die Einsatzfähigkeit jedoch auf dunkle und kompakte Brotsorten begrenzt. Mit diesem Wissen kann die Mehlmischung in einem weiteren Schritt der Produktentwicklung verbessert werden und die Backversuche wiederholt werden.

Zusammenfassend ist der Hauptunterschied der in den Broten verwendeten Basidiomycetenmyzelien der Agrarnebenstrom, mit dem sie submers kultiviert wurden. Es kann davon ausgegangen werden, dass vom Agrarnebenstrom Isomaltulose keine techno-funktionellen Eigenschaften ausgehen (außer ggf. hygroskopischen Effekte). Durch die Eigenschaft des Agrarnebenstroms, höhere Wasser- und Ölmengen binden zu können, sind die Ergebnisse während der Teigführung von LED\_CP und PSA\_AP zu erklären. Der Teig mit PSA\_IM sowie das daraus gebackene Brot zeigten sehr gute Eigenschaften in der Teigführung sowie während des Backens. Der Zusatz von PSA\_IM führte zu einem hohen Brotvolumen und einer guten Bräunung der Kruste, zudem waren die sensorischen Eigenschaften sehr gut. PSA\_IM kann somit in einer großen Bandbreite unterschiedlicher Brotsorten eingesetzt werden.

---

## 4.4 Bindsystem für Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art

Basidiomycetenmyzelien von *Pleurotus sapidus* und *Lentinula edodes* wurden als Zusatz für ein Bindsystem für Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art getestet und mit kommerziellen tierischen und pflanzlichen Proteinen, wie sie üblicherweise in dieser Applikation zum Einsatz kommen, verglichen.

Die  $a_w$ -Werte, pH-Werte sowie der Aschegehalt der hergestellten rohen Massen der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art waren mit den beiden Proben mit Basidiomycetenmyzelien vergleichbar. Die geringe Dosierung von  $13 \text{ g kg}^{-1}$  hatte somit keinen Einfluss auf die oben genannten Werte. Es konnten mit den eingesetzten Myzelien ähnliche sensorische, analytische und rheologische Eigenschaften im Vergleich zu den kommerziell verfügbaren Proteinen gezeigt werden. Beispielsweise hatte das System mit Basidiomycetenmyzel PSA\_IM, besonders bei der Produktion durch seine Klebrigkeit überzeugt (Portionierung, Formung und Steckbarkeit des Hackspießes). Während des Grillens war die Maillard-Reaktion (Bräunung) von Produkten mit Basidiomycetenmyzel vergleichbar mit der der anderen getesteten Hackfleischspieße. Beim Grillen wurde jedoch festgestellt, dass beim Basidiomycetenmyzel von PSA\_IM das Fleisch zersetzt wurde und somit der Hackdrehspieß beim Schneiden während des Grillens zerbröckelte. Dies resultiert wahrscheinlich aus einem nicht genügend ausgewaschenen Basidiomycetenmyzel nach der Submerskultivierung und den darin enthaltenen exogenen Enzymen, die der Basidiomycet abgibt oder aus aktiven Enzymen aus dem Zellinneren, die nach der Lyophilisierung frei werden. Das Sensorik-Panel bewertete aus diesem Grund das Produkt mit PSA\_IM in der Textur als sehr schlecht. Zudem hatte es einen Fehlgeschmack „fenchelartig“, der durch geeignete Gewürze noch besser eingebunden werden könnte. Während des Verzehrs wurde das Produkt jedoch als saftig beurteilt. Das Produkt mit dem Basidiomycetenmyzel LED\_CP zeigte sich während der Herstellung als vergleichbar mit allen eingesetzten kommerziellen Proteinen und überzeugte besonders beim Grillen durch die Stabilität des Hackfleischspießes. In den sensorischen Eigenschaften „Härte/ Biss“ wurde der Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art mit LED\_CP als sehr gut bewertet, jedoch konnte auch hier ein starker Fehlgeschmack „nach Karotte“ festgestellt werden. Die Ergebnisse aus den sensorischen Tests (Härte/ Biss) konnten durch die der Textur-Profil-Analyse bestätigt werden. In künftigen Versuchen sollten die Basidiomycetenmyzelien nach der Submerskultivierung

---

besser ausgewaschen werden, um eventuell vorhandene Enzyme auszuwaschen. Zudem könnten durch eine Sprühtrocknung der Biomasse Enzyme inaktiviert werden. Wenn dies gelingt, wäre das Basidiomycetenmyzel eine gute Alternative zu Sojaisolat bzw. –konzentrat und Erbsenproteinisolat in der Verarbeitung von Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art.



---

## 5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Nach Schätzungen der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen kann die wachsende Weltbevölkerung ohne alternative Proteinquellen künftig nicht mehr ausreichend ernährt werden. Um der weltweit wachsenden Nachfrage nach Nahrungsmitteln gerecht zu werden, müsste die landwirtschaftliche Produktion bis 2050 um 70% gesteigert werden. Daraus lässt sich schließen, dass mehr Protein auf weniger Raum produziert werden muss.

In der vorliegenden Studie wurde der Einsatz von Myzelien essbarer Pilze (Basidiomyceten), die reich an Proteinen sind und mit landwirtschaftlichen Agrarnebenströmen submers kultiviert wurden, in Lebensmitteln und auf techno-funktionelle Eigenschaften hin untersucht. Zu diesem Zweck wurden Systeme entwickelt, die unterschiedliche Anforderungen an die Proteinquelle stellten, sodass die Funktionalität von Basidiomycetenmyzel untersucht werden konnte. Die Basidiomycetenmyzelien wurden in Submerskultivierung auf verschiedenen landwirtschaftlichen Nebenströmen kultiviert und in gleichen Massenanteilen in diversen Lebensmittelsystemen eingesetzt und mit kommerziell verfügbaren Proteinen verglichen. Der Vergleich zu bereits etablierten Proteinen war für die Produktentwicklung besonders wichtig, da bekannte techno-funktionelle Eigenschaften (der kommerziellen Proteine) zu Grunde gelegt werden konnten.

Vor der Produktentwicklung wurden diverse Vorversuche über Wasser- und Ölbindefähigkeit sowie zu sensorischen Eigenschaften der Basidiomycetenmyzelien durchgeführt. Zusätzlich wurden die Myzelien von *Pleurotus sapidus* kultiviert mit Isomaltulosemelasse (PSA\_IM) und *Lentinula edodes* kultiviert mit Karottentrester (LED\_CP) auf toxikologische Unbedenklichkeit hin untersucht. Zu diesem Zweck wurden die Basidiomycetenmyzelien einer *in vitro* Verdauung unterzogen und in Zytotoxizitätsstudien und Mutagenitätsstudien getestet. Die bei Basidiomycetenmyzelien beobachteten geringen Effekte konnten auch bei verschiedenen Studien mit Naturstoffen, die in Lebensmittel zum Einsatz kommen, gefunden werden (wie beispielsweise Zwiebelöl). Die toxikologische Bewertung konnte somit zum Schluss kommen, dass die Ergebnisse nicht als Hinweis auf ein relevantes toxikologisches Potenzial angesehen werden. Das Gefährdungspotential durch die bei hohen Konzentrationen beobachteten Effekte kann als gering angesehen werden.

Die Messungen der Proteinfunktionalität durch Öl-, Wasserbindekapazität und Emulsionsstabilität bildeten die Grundlage, um das Basidiomycetenmyzel zusätzlich

---

techno-funktionell zu untersuchen. Hierzu wurden diverse Basidiomycetenmyzelien in den Lebensmitteln a) vegane Wurstanaloga b) glutenfreies Brot und c) Bindungssystem in Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art eingesetzt und mittels rheologischen Untersuchungen wie beispielsweise Textur-Profil-Analyse, Klebrigkeitstests, *Frequenz-Sweep* und Kriecherholungstests untersucht. Zusätzlich wurden die instrumentell gemessenen Werte auch von einem geschulten Sensorik-Panel bestätigt. Für den veganen Brotbelag wurde zusätzlich eine Konsumstudie zur Akzeptanz durchgeführt.

Die eingesetzten Basidiomycetenmyzelien konnten im Lebensmittel besondere Vorteile im Vergleich zu kommerziell erhältlichen Proteinen sowie bei der Substitution von Proteinen zeigen.

PSA\_IM wurde in jedem Lebensmittelsystem eingesetzt, da es besonders durch seine helle Färbung und sensorischen Eigenschaften überzeugte.

In der Applikation im veganen Brotbelag konnte das Basidiomycetenmyzel die Emulsion während des Herstellprozesses und der Erhitzung stabilisieren. Nach der Lagerung traten jedoch Strukturprobleme auf, die sich durch spröde Strukturen und Verlust der Elastizität bemerkbar machten. Die techno-funktionellen Eigenschaften während der Lagerung sollten aus diesem Grund weiter verbessert werden. Insbesondere sollte die leicht gelbliche Farbe des Brotbelags mit PSA\_IM verbessert werden, um die Verbrauchererwartung zu erfüllen. Während des *up scales* in der Produktion des Brotbelages konnte durch die Herstellung mit Hilfe eines Vakuumkutters ein besseres Ergebnis mit der gleichen Rezeptur erzielt werden. Das hergestellte Produkt konnte auf der internationalen Fleischerfachausstellung in Frankfurt am Main (IFFA) präsentiert und mit 330 Probanden verkostet werden. Die Ergebnisse zeigten, dass mehr als 90% der Befragten das Produkt mit mindestens „weder gefällt noch missfällt“ (entspricht einer neutralen Bewertung) beurteilten. Es konnte somit gezeigt werden, dass ein veganer Brotbelag mit dem Basidiomycetenmyzel PSA\_IM marktfähig ist.

Der Einsatz von PSA\_IM in glutenfreiem Brot zeigte, dass die erhaltenen Produkteigenschaften mit denen von glutenhaltigen Broten vergleichbar sind, und PSA\_IM somit als potentieller Substituent für Gluten in der Herstellung von glutenfreiem Brot geeignet ist. Die Teigeigenschaften müssen bzgl. der Klebrigkeit noch optimiert werden, jedoch konnten Porung, Volumen, rheologische und sensorische Eigenschaften überzeugen.

In der Applikation als Bindesystem für Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art konnte PSA\_IM im Versuch zur Verarbeitbarkeit nicht überzeugen, da es durch die Aktivität von Enzymen zum Abbau des Fleischproteins während der Lagerung und des Grillens kam. Um

---

den Einsatz im Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art zu ermöglichen, muss sichergestellt werden, dass enthaltene Enzyme inaktiv sind. Dies kann beispielsweise durch eine Hitzebehandlung (Sprühtrocknung) erfolgen. Mit den daraus produzierten Myzelien sollten die Versuche im Lebensmittelsystem Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art wiederholt werden. Sensorisch konnte das gebrillte Endprodukt das Sensorik-Panel überzeugen.

LED\_CP, PSA\_AP sowie PSA\_ZT wurden aufgrund ihrer dunklen Farbe nicht in allen Lebensmitteln verwendet bzw. PSA\_ZT nur sensorisch bewertet.

PSA\_AP wurde wegen seiner guten Wasser- und Ölbindefähigkeit sowie den sensorischen Eigenschaften in Lebensmitteln eingesetzt. Im veganen Brotbelag zeigte das Produkt mit PSA\_AP direkt nach der Produktion gute Ergebnisse für alle Attribute der TPA. Nach einer Lagerzeit von 4 Wochen zeigte das Produkt mit PSA\_AP jedoch eine Abnahme der Funktionalität bzw. Stabilitätseigenschaften in der TPA und in der sensorischen Begutachtung des Sensorik-Panels. Die Experimente zeigten, dass ähnliche Textureigenschaften wie die von im Handel erhältlichen vegetarischen Würsten bzw. auf Fleisch basierenden Rezepturen erreicht werden können. Da die braune Farbe des Produktes sensorisch abgelehnt wurde, sollte die Farbe von PSA\_AP optimiert werden, um einen Einsatz in veganen fleischähnlichen Produkten zu ermöglichen.

Der Teig von glutenfreien Broten mit PSA\_AP zeigte sich sehr kompakt und trocken. Durch eine Erhöhung des Wassergehalts in der Rezeptur sollte der glutenfreie Teig mit PSA\_AP an Fließfähigkeit gewinnen. Besonders die Ausbildung der Porung sowie das Volumen der Brotlaibe könnten somit verbessert werden. Die sensorische Beurteilung im glutenfreien Brot zeigte keine Fehltöne, die nicht mit einer Gewürzmischung zu korrigieren wären. Andere Applikationen, wie beispielsweise in Schwarzbrot, Vollkornbrot oder Pumpernickel sind für diese Basidiomycetenmyzelien anzudenken, da die Farbe in den sensorischen Untersuchungen als sehr positiv empfunden wurde. Eine Optimierung der Rezeptur (höhere Wassermenge; andere Mehlmischung) kann in zukünftigen Studien untersucht werden.

LED\_CP wurde wegen seiner guten Wasserbindekapazität sowie seiner nur leicht bräunlichen Farbe eingesetzt. Der sensorische Eindruck „nach Karotte“ war schon im frühen Stadium des Projektes aufgefallen, es wurde jedoch entschieden, das Myzel in diversen Lebensmittelapplikationen zu testen. Teige mit LED\_CP ergaben kompakte, feste Teige. Die Volumina und die Ausbildung der Poren waren sehr schlecht. In der TPA konnten sehr feste,

---

feuchte Brote vermessen werden, die jedoch der Verbrauchererwartung von Weizenmischbrot nicht entsprachen. In den sensorischen Studien konnte glutenfreies Brot mit LED\_CP die Erwartungen nicht erfüllen, da das Brot stark mit dem Attribut „nach Karotte“ in Verbindung gebracht wurde. Daneben wurden vom Sensorik-Panel die beschreibenden Attribute erdig, sauer und ungewöhnlich/ untypisch verwendet. Daher eignet sich das Myzel von LED\_CP nicht für den Einsatz in glutenfreiem Brot, da der landwirtschaftliche Nebenstrom zu viele Fehleraromen in das Produkt überträgt, die auch mit Hilfe von Gewürzen nicht zu kaschieren wären.

Bei der Entwicklung eines Bindesystems für Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art soll die Proteinquelle bei der Herstellung Klebrigkeit und dem System Fettbindungs- und Stabilisierungseigenschaften verleihen. Daneben soll die Proteinquelle beim Grillen das Fett binden und stabilisierend wirken. Durch die hohe Wasserbindekapazität von LED\_CP war die Masse des Hackfleischspießes nach Döner Kebab Art deutlich kompakter und wenig klebrig. Die rheologischen Versuche zeigten sehr gute Funktionalität der Massen des Hackfleischspießes nach Döner Kebab Art mit LED\_CP. Das Attribut „nach Karotte“ war in den sensorischen Untersuchungen ebenfalls auffällig. Hierbei könnte jedoch im Gegensatz zum glutenfreien Brot mit einer Gewürzmischung der vorhandene Geruchseindruck mit dem Aroma der eingesetzten Gewürze (Kräuter; Paprika etc.) eingebunden werden. Durch Waschen des Agrarnebenstroms vor der Submerskultivierung könnte hier ebenfalls eine geschmackliche Verbesserung erfolgen.

PSA\_ZT konnte in den techno-funktionellen Eigenschaften überzeugen, durch die dunkle Farbe war nur der Einsatz in dunklen Broten denkbar. Die Ergebnisse der sensorischen Untersuchungen der Basidiomycetenmyzelien zeigten jedoch, dass PSA\_ZT auf Grund des Geruchs nur bedingt eingesetzt werden kann. Daher wurde das Basidiomycetenmyzel nicht in Lebensmittel eingesetzt. Die Aromaeigenschaften des Agrarnebenstroms müssen verbessert werden, um die sensorische Bewertung zu verbessern und den Einsatz im Lebensmittel zu ermöglichen.

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass Basidiomycetenmyzelien als alternative Proteinquelle in Lebensmitteln eingesetzt werden können. Ihre techno-funktionellen Eigenschaften sind vergleichbar mit pflanzlichen Proteinen oder übersteigen diese. Es wurde gezeigt, dass verschiedene Basidiomycetenmyzelien, die submers mit diversen landwirtschaftlichen Agrarnebenströmen kultiviert wurden, als Gluten-Ersatz in Brot, als

---

Proteinquelle in veganen Wurstanaloga und als Bindesystem in Fleischprodukten eingesetzt werden können. Durch die Etablierung der Herstellung von Basidiomyceten in Submerskultur im wirtschaftlichen Großmaßstab können die hergestellten Basidiomycetenmyzelien zur weltweiten Nahrungsmittelversorgung beitragen. Weitere Agrarnebenströme wie Cellulose-Abfälle, Zuckermelassen, Kakaoschalen oder Muskatschalen als Agrarnebenstrom der Gewürzindustrie sind weitere interessante Rohstoffe, die in weiteren Studien untersucht werden können.

---

## 6 Literatur

1. FAO. *Food and agriculture organisation of the United Nations: World Food Situation*. 2017; Available from: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>. 31.05.2018
2. Paillard, S., Treyer, S., Dorin, B., *Agrimonde–Scenarios and Challenges for Feeding the World in 2050*. Springer Science and Business Media, Luxemburg (2014). ISBN 978-94-017-8745-1
3. Flachowsky, G., Schafft, H., Meyer, U., *Animal feeding studies for nutritional and safety assessments of feeds from genetically modified plants: A review*. Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 2012. **7**(3): p. 179-194.
4. Godfray, H., *The debate over sustainable intensification*. Food Security, 2015. **7**(2): p. 199-208.
5. Asgar, M., et al., *Nonmeat protein alternatives as meat extenders and meat analogs*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2010. **9**(5): p. 513-529.
6. Haverstock, K., Forgays, D., *To eat or not to eat. A comparison of current and former animal product limiters*. Appetite, 2012. **58**(3): p. 1030-1036.
7. Steinkraus, K., *Fermentations in world food processing*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2002. **1**(1): p. 23-32.
8. Aiking, H., de Boer, J., Vereijken, J., *Sustainable protein production and consumption: Pigs or peas?*. Springer Science and Business Media, Luxemburg (2006). ISBN 978-1-4020-4842-5
9. Nijdam, D., Rood, T., Westhoek, H., *The price of protein: Review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes*. Food policy, 2012. **37**(6): p. 760-770.
10. Westhoek, H., et al., *Food choices, health and environment: effects of cutting Europe's meat and dairy intake*. Global Environmental Change, 2014. **26**: p. 196-205.
11. Kim, K., et al., *Bioproduction of mushroom mycelium of Agaricus bisporus by commercial submerged fermentation for the production of meat analogue*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011. **91**(9): p. 1561-1568.
12. Mustalahti, K., et al., *The prevalence of celiac disease in Europe: results of a centralized, international mass screening project*. Annals of medicine, 2010. **42**(8): p. 587-95

- 
13. Apostolidis, C., McLeay, F., *Should we stop meating like this? Reducing meat consumption through substitution*. Food Policy, 2016. **65**: p. 74-89.
  14. Apostolidis, C., McLeay, F., *It's not vegetarian, it's meat-free! Meat eaters, meat reducers and vegetarians and the case of Quorn in the UK*. Social Business, 2016. **6**(3): p. 267-290.
  15. Omobowale, E., Singer, P., Daar, A., *The three main monotheistic religions and gm food technology: an overview of perspectives*. BMC international health and human rights, 2009. **9**(1): p. 18.
  16. Day, L., *Proteins from land plants—potential resources for human nutrition and food security*. Trends in Food Science and Technology, 2013. **32**(1): p. 25-42.
  17. Matassa, S., et al., *Microbial protein: future sustainable food supply route with low environmental footprint*. Microbial biotechnology, 2016. **9**(5): p. 568-575.
  18. Lee, W., et al., *Research approaches and methods for evaluating the protein quality of human foods proposed by an FAO Expert Working Group in 2014*. The Journal of nutrition, 2016. **146**(5): p. 929-932.
  19. Fukase, E., Martin, W., *Who will feed China in the 21st century? Income growth and food demand and supply in China*. Journal of Agricultural Economics, 2016. **67**(1): p. 3-23.
  20. Wolf, S., Gassen, H., *Types and Function of Proteins*. Biotechnology Set, Second Edition, 2008: p. 1-41.
  21. Aceña, L., et al., *Sensory Analysis*. Food Authentication: Management, Analysis and Regulation. Wiley Blackwell, New Jersey (2017). ISBN: 978-1-118-81026-2
  22. Cayot, N., *Sensory quality of traditional foods*. Food Chemistry, 2007. **102**(2): p. 445-453.
  23. Brites, C., et al., *Maize-based gluten-free bread: influence of processing parameters on sensory and instrumental quality*. Food and Bioprocess Technology, 2010. **3**(5): p. 707-715.
  24. Lawless, H., Heymann, H., *Sensory evaluation of food: principles and practices*. Springer Science and Business Media, Luxemburg (2010). ISBN 978-1-4419-6488-5
  25. Resurreccion, A., *Sensory aspects of consumer choices for meat and meat products*. Meat Science, 2004. **66**(1): p. 11-20.
  26. Lam, R., Nickerson, M., *Food proteins: a review on their emulsifying properties using a structure–function approach*. Food Chemistry, 2013. **141**(2): p. 975-984.

- 
27. Damodaran, S., *Food proteins and their applications*. CRC Press, Boca Raton, USA (1997). ISBN 9780824798208
  28. De Wit, J., *Nutritional and functional characteristics of whey proteins in food products*. Journal of dairy science, 1998. **81**(3): p. 597-608.
  29. Fox, P., *Milk proteins as food ingredients*. International Journal of Dairy Technology, 2001. **54**(2): p. 41-55.
  30. Bender, A.E., Löfqist, B., Kihlberg, R., Munck, L., *Evaluation of Novel Protein Products*, Elsevier Inc. Academic Press, New York (1970). ISBN 9780080066356
  31. Gerrard, J., *Protein–protein crosslinking in food: methods, consequences, applications*. Trends in food science and technology, 2002. **13**(12): p. 391-399.
  32. Navam S.H., Kenji S., Maurice R.M., Arvind K., *Food Proteins and Peptides: Chemistry, Functionality, Interactions, and Commercialization*, CRC Press, Boca Raton, USA, (2016). ISBN 9781138199002
  33. Wilde, P., *Protein Functional Properties*. Gums and Stabilisers for the Food Industry 17: The Changing Face of Food Manufacture: The Role of Hydrocolloids, 2014. **17**: p. 3.
  34. Kumar, S., *Meat Analogs “Plant based alternatives to meat products: Their production technology and applications”*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2017, **57**(5): p. 1059-1071.
  35. Hoek, A., et al., *Are meat substitutes liked better over time? A repeated in-home use test with meat substitutes or meat in meals*. Food Quality and Preference, 2013. **28**(1): p. 253-263.
  36. Nishinari, K., et al., *Soy proteins: A review on composition, aggregation and emulsification*. Food Hydrocolloids, 2014. **39**: p. 301-318.
  37. Cianferoni, A., Spergel, J.M., *Food allergy: review, classification and diagnosis*. Allergology International, 2009. **58**(4): p. 457-466.
  38. Masure, H., Fierens, E., Delcour, J., *Current and forward looking experimental approaches in gluten-free bread making research*. Journal of Cereal Science, 2016. **67**: p. 92-111.
  39. Belloque, J., et al., *Analysis of soyabean proteins in meat products: a review*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2002. **42**(5): p. 507-532.
  40. Kumar, P., et al., *Meat analogues: Health Promising Sustainable Meat Substitutes*. Critical reviews in food science and nutrition, 2015. **57**(5): p. 923-932.



- 
41. Stephan, A., et al., *Mycelia of Pleurotus sapidus and Lentinula edodes as functional raw material in comparison to different vegetable proteins in döner kebab system*. 63rd International Congress of Meat Science and Technology, Nurturing Locally, Growing Globally, 2017: p. 1016.
  42. Ulca, P., Balta, H., and Senyuva, H., *A survey of the use of soy in processed Turkish meat products and detection of genetic modification*. Food Additives and Contaminants: Part B, 2014. **7**(4): p. 261-266.
  43. Shewry, P.R., Beaudoin, F., Jenkins, J., Griffiths-Jones, S., Mills, E.N., *Plant protein families and their relationships to food allergy*. Biochemical Society Transactions, 2002. **30**(6): p. 906-910.
  44. Kaplan, D.L., *Introduction to biopolymers from renewable resources*, in *Biopolymers from renewable resources*. Springer Science and Business Media, Luxemburg (1998). ISBN 978-3-662-03680-8
  45. Embuscado, M., Huber, K. C., *Edible films and coatings for food applications*. Springer Science and Business Media, Luxemburg (2009). ISBN 978-0-387-92824-1
  46. Kleofas, V., et al., *Fruiting body production and aroma profile analysis of Agrocybe aegerita cultivated on different substrates*. Natural Resources, 2014. **5**(06): p. 233.
  47. Bosse, A., Fraatz, M., Zorn, H., *Formation of complex natural flavours by biotransformation of apple pomace with basidiomycetes*. Food chemistry, 2013. **141**(3): p. 2952-2959.
  48. Elisashvili, V., et al., *Lentinus edodes and Pleurotus species lignocellulolytic enzymes activity in submerged and solid-state fermentation of lignocellulosic wastes of different composition*. Bioresource Technology, 2008. **99**(3): p. 457-462.
  49. Wiebe, M., *Myco-protein from Fusarium venenatum: a well-established product for human consumption*. Applied microbiology and biotechnology, 2002. **58**(4): p. 421-427.
  50. Wiebe, M.G., *Quorn™ Myco-protein—Overview of a successful fungal product*. Mycologist, 2004. **18**(1): p. 17-20.
  51. Huggett, A.C. Verschuren, P.M., *The safety assurance of functional foods*. Nutrition reviews, 1996. **54**(11): p. S132.
  52. Turnbull, W.H., Leeds, A.R., Edwards, D.G., *Mycoprotein reduces blood lipids in free-living subjects*. The American journal of clinical nutrition, 1992. **55**(2): p. 415-419.
  53. Denny, A., Aisbitt, B., Lunn, J., *Mycoprotein and health*. Nutrition bulletin, 2008. **33**(4): p. 298-310.

- 
54. Trinci, A.P., *Myco-protein: A twenty-year overnight success story*. Mycological Research, 1992. **96**(1): p. 1-13.
  55. Lichtfouse, E., Goyal, A., *Sustainable agriculture Reviews*. Springer Science and Business Media, Luxemburg (2015). ISBN 978-3-319-16988-0
  56. Müller, C., Schwarz, U., and Thole, V., *Zur Nutzung von Agrar-Reststoffen in der Holzwerkstoffindustrie*. European Journal of Wood and Wood Products, 2012. **70**(5): p. 587-594.
  57. Pietzsch, J., et al., *Bioökonomie für Einsteiger*. Springer Science and Business Media, Luxemburg (2017). ISBN 978-3-662-53763-3
  58. Zajul, M., *Biotechnologische Produktion von Basidiomyceten-Proteinen auf industriellen Nebenströmen zur Herstellung von Nahrungsmitteln*. Dissertation Justus-Liebig-Universität Gießen (2017).
  59. Greene, J., *In Pursuit of Wild Edibles: A Forager's Tour*, University of Virginia Press, Charlottesville USA (2017). ISBN 9780813941004
  60. Stadler, M. Hoffmeister, D., *Fungal natural products—the mushroom perspective*. Frontiers in microbiology, 2015. **6**: p. 127.
  61. Kirk, P., et al., *A without-prejudice list of generic names of fungi for protection under the International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants*. IMA (international mycological association) fungus, 2013. **4**(2): p. 381-443.
  62. Ferreira, I., Morales, P., Barros, L., *Wild Plants, Mushrooms and Nuts: Functional Food Properties and Applications*, John Wiley & Sons, New Jersey (2017). ISBN 9781118944622
  63. Tura, D., Wasser, S., Zmitrovich, I., *Wood-Inhabiting Fungi: Applied Aspects*. in Sunil K.D., Misra, J.K., Jalpa P., Tamas, P., *Fungi: Applications and Management Strategies*, chap. 12 p. 245-292. CRC Press, Boca Raton, USA (2016). ISBN 9781498724913
  64. Rubio, M., et al., *Heterologous Expression of Carbohydrate-Active Enzymes in Filamentous Fungi* in Silva, R.N., *Mycology: Current and Future Developments: Fungal Biotechnology for Biofuel Production*, Bentham Science, Sharjah, UAE (2016). ISBN 9781681080758
  65. Alberti, F., Foster, G., Bailey, A., *Natural products from filamentous fungi and production by heterologous expression*. Applied Microbiology and Biotechnology, 2017. **101**(2): p. 493-500.

- 
66. Zhang, Y., *Development of novel fermentation systems for the production of nonalcoholic beverages with basidiomycetes*. Dissertation Justus-Liebig-Universität Gießen (2015).
  67. Pfefferle, C., et al., *Improved secondary metabolite production in the genus Streptosporangium by optimization of the fermentation conditions*. Journal of biotechnology, 2000. **80**(2): p. 135-142.
  68. Kim, S., et al., *Mycelial growth and exo-biopolymer production by submerged culture of various edible mushrooms under different media*. Letters in Applied Microbiology, 2002. **34**(1): p. 56-61.
  69. Friel, M.T., McLoughlin, A.J., *Production of a liquid inoculum/spawn of Agaricus bisporus*. Biotechnology Letters, 2000. **22**(5): p. 351-354.
  70. Wu, J.-Z., et al., *Studies on submerged fermentation of Pleurotus tuber-regium (Fr.) Singer—Part I: physical and chemical factors affecting the rate of mycelial growth and bioconversion efficiency*. Food chemistry, 2003. **81**(3): p. 389-393.
  71. Gregori, A., Švagelj, M., Pohleven, J., *Cultivation techniques and medicinal properties of Pleurotus spp.* Food Technology and Biotechnology, 2007. **45**(3): p. 238-249.
  72. Gupta, V., *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Microbial Cellulase System Properties and Applications*, Elsevier Inc. Academic Press, New York (2016). ISBN 9780444635075
  73. Di Mario, F., et al., *Chitin and chitosan from Basidiomycetes*. International journal of biological macromolecules, 2008. **43**(1): p. 8-12.
  74. Lyon, D.H., Francombe, M.A., Hasdell, T.A., *Guidelines for sensory analysis in food product development and quality control*. Springer Science and Business Media, Luxemburg (1992). ISBN 978-1-4615-1999-7
  75. Earle, R., Anderson, A., *Food product development: Maximizing success*. Woodhead Publishing - Elsevier, Sawston UK (2001). ISBN 9781855736399
  76. Fuller, G., *New food product development: from concept to marketplace*. CRC Press, Boca Raton, USA, 3<sup>rd</sup> edition (2016). ISBN 9781439818657
  77. Smith, J., Charter E., *Functional food product development*. 2011: John Wiley & Sons, New Jersey (2011). ISBN 9781444390391
  78. Syuhairah, A., et al., *Research Article Effects of Vegetable Incorporation on Physical and Sensory Characteristics of Sausages*. Asian Journal of poultry science, 2016. **10**(3): p. 117-125.

- 
79. Cha, M.H., et al., *Retracted: Quality and Sensory Characterization of White Jelly Mushroom (Tremella fuciformis) as a Meat Substitute in Pork Patty Formulation*. Journal of Food Processing and Preservation, 2014. **38**(3): p. 1018-1023.
  80. Lee, M.-J., Kyung, K.-H., Chang, H.-G., *Effect of mushroom (Lentinus Tuber-Regium) powder on the bread making properties of wheat flour*. Korean Journal of Food Science and Technology, 2004. **36**(1): p. 32-37.
  81. Singh, S., Ghosh, S., Patil, G., *Development of a mushroom-whey soup powder*. International journal of food science and technology, 2003. **38**(2): p. 217-224.
  82. Siro, I., et al., *Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance—A review*. Appetite, 2008. **51**(3): p. 456-467.
  83. Chardigny, J.-M., Walrand, S., *Plant protein for food: opportunities and bottlenecks*. Oil seeds and fats crops and lipids, 2016. **23**(4): D404.
  84. Ruby, M., *Vegetarianism. A blossoming field of study*. Appetite, 2012. **58**(1): p. 141-150.
  85. Rodger, G., *Production and properties of mycoprotein as a meat alternative*. Food Technology, 2001. **55**(7): p. 36-41.
  86. Elzerman, J., et al., *Consumer acceptance and appropriateness of meat substitutes in a meal context*. Food Quality and Preference, 2011. **22**(3): p. 233-240.
  87. Malav, O., et al., *Meat analog: A review*. Critical reviews in food science and nutrition, 2015. **55**(9): p. 1241-1245.
  88. Alier, M., Casañ, M., *Gluten-Free Bread*. Babelcube Inc., Hackensack, USA (2016). ISBN 9781507143681
  89. Catassi, C., Gatti, S., Fasano, A., *The new epidemiology of celiac disease*. Journal of pediatric gastroenterology and nutrition, 2014. **59**: p. S7-S9.
  90. Ziobro, R., et al., *Non-gluten proteins as structure forming agents in gluten free bread*. Journal of food science and technology, 2016. **53**(1): p. 571-580.
  91. Ziobro, R., et al., *Supplementation of gluten-free bread with non-gluten proteins. Effect on dough rheological properties and bread characteristic*. Food Hydrocolloids, 2013. **32**(2): p. 213-220.
  92. Anton, A., Artfield, S., *Hydrocolloids in gluten-free breads: a review*. International journal of food sciences and nutrition, 2008. **59**(1): p. 11-23.
  93. Doose, O., *Verfahrenstechnik Bäckerei: Arbeitskunde für Bäcker*, Gildefachverlag, Alfeld (1982). ISBN 9783773401120

- 
94. Moore, M., et al., *Textural comparisons of gluten-free and wheat-based doughs, batters, and breads*. Cereal Chemistry, 2004. **81**(5): p. 567-575.
  95. Taylor, J., et al., *Functionality of the storage proteins in gluten-free cereals and pseudocereals in dough systems*. Journal of Cereal Science, 2016. **67**: p. 22-34.
  96. Witczak, M., et al., *Starch and starch derivatives in gluten-free systems—A review*. Journal of Cereal Science, 2016. **67**: p. 46-57.
  97. Elgeti, D., Jekle, M., Becker, T., *Strategies for the aeration of gluten-free bread—A review*. Trends in Food Science and Technology, 2015. **46**(1): p. 75-84.
  98. Witczak, T., et al., *Rheology of gluten-free dough and physical characteristics of bread with potato protein*. Journal of Food Process Engineering, 2016.
  99. Gómez, M., et al., *Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality*. European Food Research and Technology, 2003. **216**(1): p. 51-56.
  100. Mollakhalili, M., Mohammadifar, M., Feizollahi, E., *Gluten-Free Bread Quality: A Review of the Improving Factors*. Journal of food quality and hazards control, 2015. **2**(3): p. 81-85.
  101. Schleißinger, M., et al., *Impact of dietary fibers on moisture and crumb firmness of brown bread*. Advance Journal of Food Science and Technology, 2013. **5**(10): p. 1281-1284.
  102. Tsatsaragkou, K., Protonotariou, S., Mandala, I., *Structural role of fibre addition to increase knowledge of non-gluten bread*. Journal of Cereal Science, 2016. **67**: p. 58-67.
  103. Lentz, C., *Changing Food Habits*, Routledge, Oxon, UK, 2<sup>nd</sup> edition (2013). ISBN 9781136651243
  104. Ergonul, B., Kundakci A., *Chemical composition of raw and cooked turkey meat döner*. Italian journal of food science, 2006. **18**(3): p. 337-341.
  105. Küpeli G.V., Mükerrerem, K., *Yaprak Dönerin Mikrobiyolojik Kalitesi ve Kimyasal Bileşimi*. Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences, 2004. **28**(6): p. 1097-1103
  106. Demircioglu, S., Obuz, E., Kayaardi, S., *Textural, Chemical and Sensory Properties of Döners Produced from Beef, Chicken and Ostrich Meat*. Kafkas Universitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 2013. **19**(6).
  107. Demirok, E., et al., *The effects of tumbling and sodium tripolyphosphate on the proteins of döner*. Meat science, 2011. **89**(2): p. 154-159.
  108. McClements, D., Gumus, C., *Natural emulsifiers—Biosurfactants, phospholipids, biopolymers, and colloidal particles: Molecular and physicochemical basis of functional performance*. Advances in colloid and interface science, 2016. **234**: p. 3-26.

- 
109. Gök, İ., et al., *Effect of textured soy protein and tomato pulp on chemical, physical and sensory properties of ground chicken döner kebab*. African Journal of Biotechnology, 2012. **11**(25): p. 6730-6738.
  110. Kristbergsson, K., Oliveira, J., *Traditional Foods*. Springer Science and Business Media, Luxemburg (2016). ISBN 978-1-4899-7648-2
  111. da Cruz R.M.S., Vieira, M.M.C., *Mediterranean Foods: Composition and Processing*, CRC Press, Boca Raton, USA (2016). ISBN 9781498740890
  112. Sirkeci, I., *Transnational Döner Kebab taking over the UK*. Transnational Marketing Journal, 2016. **4**(2): p. 143-158.
  113. Ahhmed, A., Nasu, T., Muguruma, M., *Impact of transglutaminase on the textural, physicochemical, and structural properties of chicken skeletal, smooth, and cardiac muscles*. Meat science, 2009. **83**(4): p. 759-767.
  114. Kilic, B., *Effect of microbial transglutaminase and sodium caseinate on quality of chicken döner kebab*. Meat Science, 2003. **63**(3): p. 417-421.
  115. Pandey, M., P. Harilal, and K. Radhakrishna, *Effect of processing conditions on physico-chemical and textural properties of shami kebab*. International Food Research Journal, 2014. **21**(1): p. 223-228.
  116. Seeger, H., et al., *Doner kebabuber die Zusammensetzung des Turkischen Fleischgerichtes*. Fleischwirtschaft, 1986. **66**(1): p. 29-31.
  117. Hosoney, R. and J. Smewing, *Instrumental measurement of stickiness of doughs and other foods*. Journal of Texture Studies, 1999. **30**(2): p. 123-136.
  118. Kinsella, J., Melachouris, N., *Functional properties of proteins in foods: a survey*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1976. **7**(3): p. 219-280.
  119. Font-i-Furnols, M., Guerrero, L., *Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: An overview*. Meat Science, 2014. **98**(3): p. 361-371.
  120. Amerine, M.A., Pangborn, R.M., Roessler, E.B., *Principles of sensory evaluation of food*, Elsevier Inc. Academic Press, New York (1965). eBook ISBN: 9781483225210
  121. Hort, J., Kemp, S.E., Hollowood, T., *Time-dependent Measures of Perception in Sensory Evaluation*, John Wiley & Sons, New Jersey (2017). ISBN 9780470671382
  122. Meilgaard, M., Carr, B., Civille, G., *Sensory evaluation techniques*. CRC Press, Boca Raton, USA, 5<sup>th</sup> edition (2015). ISBN 9781482216905
  123. Murray, J., Delahunty, C., Baxter, I., *Descriptive sensory analysis: past, present and future*. Food research international, 2001. **34**(6): p. 461-471.

- 
124. Lancaster, K., *Change and innovation in the technology of consumption*. The American Economic Review, 1966. **56**(1/2): p. 14-23.
  125. Spence, C., Piqueras-Fiszman, B., *Food Color and Its Impact on Taste/Flavor Perception*, in *Multisensory Flavor Perception: From Fundamental Neuroscience Through to the Marketplace*. Woodhead Publishing - Elsevier, Sawston UK (2016). ISBN 9780081003503
  126. Falbe, J., Regitz M., *Römpp Chemie Lexikon, 9. erweiterte und neubearbeitete Auflage*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1995). ISBN 9783131027597
  127. Fischer, P. Windhab, E.J., *Rheology of food materials*. Current Opinion in Colloid and Interface Science, 2011. **16**(1): p. 36-40.
  128. Nishinari, K., *Texture and rheology in food and health*. Food Science and Technology Research, 2009. **15**(2): p. 99-106.
  129. Magnin, A., Piau, J., *Cone-and-plate rheometry of yield stress fluids. Study of an aqueous gel*. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 1990. **36**: p. 85-108.
  130. Hochstein, B., *Rheologie von Kugel- und Fasersuspensionen mit viskoelastischen Matrixflüssigkeiten.*, Dissertation Universität Karlsruhe (1997).
  131. Korus, J., et al., *The influence of acorn flour on rheological properties of gluten-free dough and physical characteristics of the bread*. European Food Research and Technology, 2015. **240**(6): p. 1135-1143.
  132. Lazaridou, A., et al., *Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations*. Journal of Food Engineering, 2007. **79**(3): p. 1033-1047.
  133. Tunick, M., *Rheology of Dairy Foods that Gel, Stretch, and Fracture I*. Journal of Dairy Science, 2000. **83**(8): p. 1892-1898.
  134. Tabilo-Munizaga, G., Barbosa-Cánovas, G., *Rheology for the food industry*. Journal of Food Engineering, 2005. **67**(1-2): p. 147-156.
  135. Singh, H., et al., *The analysis of stress relaxation data of some viscoelastic foods using a texture analyzer*. Journal of texture studies, 2006. **37**(4): p. 383-392.
  136. Pons, M., Fiszman, S., *Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems*. Journal of Texture Studies, 1996. **27**(6): p. 597-624.
  137. de Ávila, D., et al., *Rheological behaviour of commercial cooked meat products evaluated by tensile test and texture profile analysis (TPA)*. Meat science, 2014. **98**(2): p. 310-315.

- 
138. Friedman, H., Whitney J., Szczesniak A., *The texturometer—a new instrument for objective texture measurement*. Journal of Food Science, 1963. **28**(4): p. 390-396.
139. Nishinari, K., et al., *Parameters of texture profile analysis*. Food Science and Technology Research, 2013. **19**(3): p. 519-521.
140. Bourne, M., *Food texture and viscosity: concept and measurement*. Elsevier Inc. Academic Press, New York 2<sup>nd</sup> edition, (2002). ISBN 9780121190620
141. Chen, L., Opara, U., *Texture measurement approaches in fresh and processed foods—A review*. Food Research International, 2013. **51**(2): p. 823-835.
142. De Huidobro, F.R., et al., *A comparison between two methods (Warner–Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat*. Meat science, 2005. **69**(3): p. 527-536.
143. Fenko, A., Backhaus, B.W., van Hoof, J.J., *The influence of product-and person-related factors on consumer hedonic responses to soy products*. Food quality and preference, 2015. **41**: p. 30-40.
144. Herrero, A., et al., *Tensile properties of cooked meat sausages and their correlation with texture profile analysis (TPA) parameters and physico-chemical characteristics*. Meat science, 2008. **80**(3): p. 690-696.
145. Santhi, D., Kalaikannan, A., Sureshkumar, S., *Factors Influencing Meat Emulsion Properties and Product Texture: A Review*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2017. **57**(10): p. 2021-2027.
146. Chen, J., Piva, M., Labuza, T., *Evaluation of water binding capacity (WBC) of food fiber sources*. Journal of Food Science, 1984. **49**(1): p. 59-63.
147. Nosenko, T., Kot, T., Kichshenko, V., *Rape seeds as a source of feed and food proteins*. Polish journal of food and nutrition sciences, 2014. **64**(2): p. 109-114.
148. Hildebrandt, G., Jacob, J., Loewe-Stanienda, B., Oehlenschläger, J. und Schneider-Häder, B., *Descriptive sensory analysis with integrated quality rating as a tool for quality testing of commercial food products*. Journal of Food Safety and Food Quality, 2012. **63**(5), 155-162
149. Kiermeier, F., Haevecker U., *Zur sensorischen Qualitäts-Beurteilung von Lebensmitteln I. Mitteilung Bedeutung, Systematik, Verlässlichkeit* About the sensory evaluation of foods I. Meaning, systematology, reliability. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 1969. **141**(5): p. 277-290.



- 
150. Herter, J., *Eine Methode zur Unterstützung der disziplinübergreifenden Zusammenarbeit in der Produktentwicklung auf Grundlage einer integrierten Visualisierung konzeptioneller Modelle*. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe (2017).
  151. Seglen, P.O., *Preparation of isolated rat liver cells*, in *Methods in cell biology*, 1976. **13**: p. 29-83., Elsevier Inc. Academic Press, New York.
  152. Sittampalam, G.S., Coussens, N.P., Brimacombe, K., et al., *Assay Guidance Manual*. Chapter 4 Assay Guidance Manual [Internet]. NCBI, Rockville Pike (2017). ebook Bookshelf ID: NBK53196PMID: 22553861
  153. Maron, D.M., Ames, B.N., *Revised methods for the Salmonella mutagenicity test*. Mutation Research/Environmental Mutagenesis and Related Subjects, 1983. **113**(3-4): p. 173-215.
  154. Reifferscheid, G., et al., *International round-robin study on the Ames fluctuation test*. Environmental and molecular mutagenesis, 2012. **53**(3): p. 185-197.
  155. Berg, K., et al., *Evaluation of the cytotoxic and mutagenic potential of three ginkgolic acids*. Toxicology, 2015. **327**: p. 47-52.
  156. Brauer, H., *Brühwurst-Technologie: Technologischer Leitfaden für das Küttern, Umröten und sensorische Bewerten der Brühwurst*, Deutscher Fachverlag, Frankfurt a. M., 1999
  157. Goyeneche, R., et al., *Chemical characterization and antioxidant capacity of red radish (*Raphanus sativus* L.) leaves and roots*. Journal of Functional Foods, 2015. **16**: p. 256-264.
  158. Schulz, H., *Methoden zur Farbcharakterisierung pflanzlicher Lebensmittel-Rohstoffe*. Deutsche Lebensmittel-Rundschau, 1996. **92**(8): p. 242-246
  159. Scherf, K.A., et al., *Salt taste perception in hydrocolloid systems is affected by sodium ion release and mechanosensory–gustatory cross-modal interactions*. Food Hydrocolloids, 2015. **51**: p. 486-494.
  160. Boonyai, P., Bhandari, B., Howes, T., *Stickiness measurement techniques for food powders: a review*. Powder Technology, 2004. **145**(1): p. 34-46.
  161. Rosenthal, A., *Texture profile analysis—how important are the parameters?* Journal of texture studies, 2010. **41**(5): p. 672-684.
  162. Elia, M., *A procedure for sensory evaluation of bread: Protocol developed by a trained panel*. Journal of Sensory Studies, 2011. **26**(4): p. 269-277.

- 
163. Zhang, R., et al., *Influence of emulsifier type on gastrointestinal fate of oil-in-water emulsions containing anionic dietary fiber (pectin)*. Food Hydrocolloids, 2015. **45**: p. 175-185.
164. Trapp, T., et al., *Submerged Cultivation of Pleurotus sapidus with Molasses: Aroma Dilution Analyses by Means of Solid Phase Microextraction and Stir Bar Sorptive Extraction*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018. **66**(10): p. 2393–2402.
165. Gosslau, A., *Assessment of food toxicology*. Food Science and Human Wellness, 2016. **5**(3): p. 103-115.
166. Sahib, N.G., et al., *Coriander (Coriandrum sativum L.): A potential source of high-value components for functional foods and nutraceuticals-A review*. Phytotherapy Research, 2013. **27**(10): p. 1439-1456.
167. Schmidt, M., et al., *Toxicity of green tea extracts and their constituents in rat hepatocytes in primary culture*. Food and Chemical Toxicology, 2005. **43**(2): p. 307-314.
168. Zhang, Y., et al., *Aroma characterization and safety assessment of a beverage fermented by Trametes versicolor*. Journal of agricultural and food chemistry, 2015. **63**(31): p. 6915-6921.
169. Estevam dos Santos, P., et al., *Genotoxicity induced by Eugenia caryophyllata infusion*. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, 2008. **71**(7): p. 439-444.
170. DeFreitas, Z., et al., *Freeze/thaw stability of cooked pork sausages as affected by salt, phosphate, pH, and carrageenan*. Journal of food science, 1997. **62**(3): p. 551-554.
171. Fernández-Ginés, J., et al., *Effect of storage conditions on quality characteristics of bologna sausages made with citrus fiber*. Journal of Food Science, 2003. **68**(2): p. 710-714.
172. Jones, O., *Recent advances in the functionality of non-animal-sourced proteins contributing to their use in meat analogs*. Current Opinion in Food Science, 2016. **7**: p. 7-13.
173. Puolanne, E.J., Ruusunen, M.H., Vainionpää, J.I., *Combined effects of NaCl and raw meat pH on water-holding in cooked sausage with and without added phosphate*. Meat Science, 2001. **58**(1): p. 1-7.
174. Peelman, N., et al., *Use of biobased materials for modified atmosphere packaging of short and medium shelf-life food products*. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2014. **26**: p. 319-329.

- 
175. Lücke, F.-K., *Utilization of microbes to process and preserve meat*. Meat Science, 2000. **56**(2): p. 105-115.
176. Cai, Y., Corke, H., *Amaranthus betacyanin pigments applied in model food systems*. Journal of Food Science, 1999. **64**(5): p. 869-873.
177. Andrès, S., Zaritzky, N., Califano, A., *The effect of whey protein concentrates and hydrocolloids on the texture and colour characteristics of chicken sausages*. International Journal of Food Science and Technology, 2006. **41**(8): p. 954-961.
178. Andres, S., et al., *Storage stability of low-fat chicken sausages*. Journal of Food Engineering, 2006. **72**(4): p. 311-319.
179. Phongthai, S., et al., *Comparative study of rice bran protein concentrate and egg albumin on gluten-free bread properties*. Journal of Cereal Science, 2016. **72**: p. 38-45.
180. Roshid, M., et al., *Preparation of gluten free bread using the mixture of different cereals grain flour*. International journal of advanced multidisciplinary research, 2016. **3**(5): p. 9-16.
181. Day, L., Swanson, B., *Functionality of Protein-Fortified Extrudates*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2013. **12**(5): p. 546-564.
182. Aremu, M., et al., *Proximate Composition and Functional Properties of Mushroom Flours from Ganoderma spp., Omphalotus olearius (DC.) Sing. and Hebeloma mesophaeum (Pers.) Qué. sed in Nasarawa State, Nigeria*. Malaysian journal of nutrition, 2009. **15**(2): p. 233 - 241.
183. Sabanis, D., Lebesi, D., Tzia, C., *Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread*. LWT-Food Science and Technology, 2009. **42**(8): p. 1380-1389.
184. Wang, J., Rosell, C., de Barber, C., *Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality*. Food chemistry, 2002. **79**(2): p. 221-226.
185. Jiamyangyuen, S., Srijesdaruk, V., Harper, W., *Extraction of rice bran protein concentrate and its application in bread*. Extraction, 2005. **27**(1): p. 56.
186. Moazzezi, S., Seyedain, S., Nateghi, L., *Rheological properties of barbari bread containing apple pomace and carboxy methyl cellulose*. Life Science Journal, 2012. **9**(3): p. 1318-1325.
187. Jekle, M., Becker, T., *Effects of acidification, sodium chloride, and moisture levels on wheat dough: II. Modeling of bread texture and staling kinetics*. Food Biophysics, 2012. **7**(3): p. 200-208.

- 
188. Machado, F., et al., *Solubility and density of egg white proteins: Effect of pH and saline concentration*. LWT-food Science and Technology, 2007. **40**(7): p. 1304-1307.
  189. Zayas, J., *Functionality of Proteins in Food*. Springer Science and Business Media, Luxemburg (1997). ISBN 978-3-642-59116-7
  190. Ralet, M.-C., Guéguen J., *Fractionation of potato proteins: solubility, thermal coagulation and emulsifying properties*. LWT-Food Science and Technology, 2000. **33**(5): p. 380-387.
  191. Schein, C., *Solubility as a function of protein structure and solvent components*. Bio/technology (Nature Publishing Company), 1990. **8**(4): p. 308-317.
  192. Kayaardi, S., et al., *Sensory and chemical analysis of doner kebab made from turkey meat*. Journal of Muscle Foods, 2006. **17**(2): p. 165-173.
  193. Kilic, B., *Current trends in traditional Turkish meat products and cuisine*. LWT-Food Science and Technology, 2009. **42**(10): p. 1581-1589.
  194. Moure, A., et al., *Functionality of oilseed protein products: a review*. Food Research International, 2006. **39**(9): p. 945-963.
  195. Endress, H.-U., Fischer, J., *26 Fibres and fibre blends for individual needs: a physiological and technological approach*. Advanced Dietary Fibre Technology, 2008. **283**.

---

## 7 Anhang

### 7.1 pH und $a_w$ -Werte der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art

Die pH-Werte der gegrillten Proben lagen ausnahmslos über denen der rohen Massen. Erwartungsgemäß waren alle  $a_w$ -Werte der gegrillten Proben niedriger als die der rohen Proben (Tabelle 40). Bei den rohen Massen hatte die Zugabe der Proteine bzw. der Basidiomycetenmyzelien einen direkten Einfluss auf den pH-Wert im Vergleich zur Kontrolle. Die Zugabe von SBK erhöhte den pH-Wert der Probe. Bei Zusatz von EPI, POPI, EWP blieben die pH-Werte der Proben stabil, während die pH-Werte der Proben mit der Zugabe von SPI, SPK, PSA\_IM und LED\_CP absanken. Die gleichen Tendenzen wurden in den gegrillten Hackfleischspießen nach Döner Kebab Art beobachtet. Der Einfluss von Proteinen auf den pH- und  $a_w$ -Wert wurde auch in verschiedenen Literaturstellen beschrieben und ist begründet über die verschiedene Aminosäurezusammensetzung [36, 177]. Da die Zusammensetzung der zugesetzten Additive sich jedoch sehr unterscheiden wird hiervon nicht ausgegangen. Vielmehr ist der pH-Wert sowie der  $a_w$ -Wert des Fleisches für die sich nicht signifikant unterscheidenden Werte maßgeblich.

**Tabelle 40** pH- und  $a_w$ -Werte von rohen und gegrillten Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art (n = 3)

Produkt	rohe Masse der Hackfleischspieße nach Döner Kebab Art		gegrillte Hackfleischspießnach Döner Kebab Art	
	pH-Wert [SD]	$a_w$ Wert [SD]	pH-Wert [SD]	$a_w$ Wert [SD]
KON	6,0 ± 0,01	0,993 ± 0,002	6,4 ± 0,02	0,886 ± 0,001
SPI	5,8 ± 0,03	0,992 ± 0,001	6,2 ± 0,02	0,885 ± 0,000
SPK	5,8 ± 0,03	0,987 ± 0,001	6,2 ± 0,01	0,883 ± 0,001
SBK	6,2 ± 0,03	0,985 ± 0,001	6,6 ± 0,02	0,881 ± 0,000
EPI	6,0 ± 0,02	0,992 ± 0,002	6,5 ± 0,02	0,882 ± 0,001
POPI	6,1 ± 0,03	0,995 ± 0,002	6,4 ± 0,02	0,885 ± 0,001
EWP	6,1 ± 0,02	0,996 ± 0,001	6,5 ± 0,03	0,894 ± 0,001
PSA_IM	5,8 ± 0,01	0,987 ± 0,001	6,2 ± 0,02	0,871 ± 0,001
LED_CP	5,8 ± 0,02	0,985 ± 0,000	6,2 ± 0,03	0,870 ± 0,002

## 7.2 Bilder der technologischen Herstellungsschritte

### 7.2.1 Vegane Wurstanaloga



Abb. 26. Schematische Darstellung der Produktion von veganen Wurstanaloga.

## 7.2.2 Glutenfreies Brot



**Abb. 27.** Schematische Darstellung der Produktion von glutenfreien Brot im Labormaßstab.



### 7.2.3 Bindsystem für Hackfleischspieß nach Döner Kebab Art



**Abb. 28.** Schematische Darstellung der Produktion von Hackfleischspießen nach Döner Kebab Art.