



Hochschule Neubrandenburg  
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Studiengang Lebensmitteltechnologie

# Bachelorarbeit

## Entwicklung eines veganen, haltbaren Kuchens mit Hilfe verschiedener Ei-Alternativen

*Zur Erlangung des akademischen Grades*

*Bachelor of Science (B.Sc.)*

Vorgelegt durch: Marie Lankau

Betreuer: Prof. Dr. Peter Meurer

Prof. Dr. Jörg Meier

Neubrandenburg, 22.01.2020

URN: urn:nbn:de:gbv:519-thesis 2019-0481-1

**Abstract**

This study was conducted to develop recipes of different vegan, non-perishable carrot cake. In order to do so, nine different egg-substitutes were tested. Four of those substitutes were selected for further investigations due to their positive results. The cakes with the substitute products were compared to a cake recipe made with eggs. This comparison focused on density, moisture and sensory characteristics.

The egg-substitute banana and plant-based yoghurt substitute made of soy (in each case 60 g per replaced egg) resemble the cake with egg in all investigated factors. The only noticeable sensory difference was the banana flavour.

When using locust bean gum (2 g per replaced egg) as a substitute that binds the cake, it is necessary to increase the amount of water and Baking powder in the recipe.

The egg-substitute applesauce (60 g per replaced egg) replaces the raising properties of an egg, however, the proportion of liquid ingredients in the recipe should be increased when this egg-alternative is used.

The evaluation of sensory characteristics only showed very small differences.

There were no significant differences between the products in hedonic investigation with a 9-point-scale.

In order to extend the shelf life of the cakes, they were baked in preserving jars which then were sealed immediately after baking. With this method, the products were lasting for two weeks at room temperature.

### Verzeichnis verwendeter Formelzeichen, Symbole und Abkürzungen

Formelzeichen	Bezeichnung	Einheit
m	Masse	g, kg
t	Zeit	s, min, h
$\vartheta$	Temperatur	°C

Abkürzung	Bedeutung
$\Sigma$	Summe
alpro Natur	Fermentiertes Sojaprodukt als pflanzliche Joghurtalternative
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
GR	Geruch
GS	Geschmack
i.O.	In Ordnung
JHBKM	Johannisbrotkernmehl
MHD	Mindesthaltbarkeitsdatum

## **Verzeichnis der Abbildungen**

**Abbildung 1:** Versuchsplan Vorversuch

**Abbildung 2:** Versuchsplan Hauptversuche

**Abbildung 3:** Messpunkte Penetrometermessung

**Abbildung 4:** Feuchtigkeitsvergleich Vorversuche

**Abbildung 5:** Dichtevergleich Vorversuche

**Abbildung 6:** Dichtevergleich Backversuche im Glas

**Abbildung 7:** Feuchtigkeitsvergleich Backversuche im Glas

**Abbildung 8:** Dichtevergleich der Rezepturoptimierung Versuchsreihe A

**Abbildung 9:** Feuchtigkeitsvergleich der Rezepturoptimierung Versuchsreihe B

**Abbildung 10:** Dichtevergleich der Kombination von Apfelmus und Johannisbrotkernmehl (1,5-fache Menge Wasser)

**Abbildung 11:** Feuchtigkeitsvergleich der Kombination von Apfelmus und Johannisbrotkernmehl (1,5-fache Menge Wasser)

**Abbildung 12:** Masseveränderung während der Lagerung

## **Verzeichnis der Tabellen**

**Tabelle 1:** Rezeptur Möhrenkuchen (Referenzrezeptur) (Özcan, 2015)

**Tabelle 2:** Mengenangaben und Verwendungshinweise der vorgeschlagenen Ei-Alternativen von PeTA (2017)

**Tabelle 3:** Rezeptur mit verschiedenen Ei-Alternativen

**Tabelle 4:** Versuchsreihe A Rezepturen

**Tabelle 5:** Versuchsreihe B Rezepturen

**Tabelle 6:** Versuchsreihe C Rezepturen

**Tabelle 7:** Rezepturen Versuchsreihe C – Rezepturoptimierung

**Tabelle 8:** Sensorische Eigenschaften und Feuchtigkeit während der Lagerung

**Tabelle 9:** Ergebnisse der Penetrometermessung

**Tabelle 10:** Beschreibungen der verschiedenen Kuchen

**Tabelle 11:** Rohdaten hedonische Prüfung

**Tabelle 12:** Gruppierungen der hedonischen Prüfung

**Verzeichnis der Anlagen**

**Anlage 1:** Codierung der Proben bei der sensorischen Untersuchung

**Anlage 2:** Preiskalkulation Ei-Alternativen

**Anlage 3:** Marktvergleich verschiedener Fertigmöhlen

**Anlage 4:** Einfach beschreibende Prüfung - Auswertung der Häufigkeiten Originalrezeptur

**Anlage 5:** Einfach beschreibende Prüfung - Auswertung der Häufigkeiten Johannisbrotkernmehl

**Anlage 6:** Einfach beschreibende Prüfung - Auswertung der Häufigkeiten Apfelmus

**Anlage 7:** Einfach beschreibende Prüfung - Auswertung Häufigkeiten alpro Natur

**Anlage 8:** Einfach beschreibende Prüfung - Auswertung Häufigkeiten Banane

## Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	2
Verzeichnis verwendeter Formelzeichen, Symbole und Abkürzungen.....	3
Verzeichnis der Abbildungen.....	4
Verzeichnis der Tabellen.....	4
Verzeichnis der Anlagen.....	5
Inhaltsverzeichnis.....	6
1 Einleitung.....	8
2 Stand der Wissenschaft und Technik.....	10
2.1 Vegane Ernährung.....	10
2.2 Wirkung von Eiern in Rührkuchen.....	11
2.3 Pflanzliche Alternativen für tierische Zutaten.....	11
2.3.1 Fett.....	11
2.3.2 Milch.....	12
2.3.3 Eier.....	12
2.4 Umweltfreundliche Verpackungen – Prinzip des Kuchens im Glas.....	14
2.5 Rechtliche Grundlagen.....	15
3 Material und Methoden.....	17
3.1 Verwendete Geräte, Rohstoffe und Rezepturen.....	17
3.1.1 Verwendete Geräte.....	17
3.1.2 Rohstoffe.....	18
3.1.3 Rezepturen.....	19
3.2 Versuchsplanung.....	23
3.2.1 Ziel der Versuche.....	23
3.2.2 Versuchsplan Vorversuche.....	24
3.2.3 Versuchsplan Hauptversuche.....	25
3.3 Durchführung der Versuche.....	26
3.3.1 Festgelegte Parameter.....	26
3.3.2 Vorversuche.....	26

3.3.3	Versuchsreihe A.....	27
3.3.4	Versuchsreihe B.....	27
3.3.5	Versuchsreihe C.....	28
3.3.6	Versuchsreihe D1 und D2 - Haltbarkeitsversuche .....	29
3.4	Analytische Methoden.....	30
3.4.1	Feuchtigkeitsmessung.....	30
3.4.2	Volumenmessung .....	30
3.4.3	Sensorische Untersuchung .....	31
3.4.4	Bestimmung des Masseverlustes während der Lagerung .....	31
3.4.5	Messung der Festigkeit .....	31
3.5	Sensorische Methoden.....	32
3.5.1	Einfach beschreibende Prüfung .....	32
3.5.2	Hedonische Prüfung mit Hilfe einer 9-Punkte-Skala .....	32
4	Ergebnisse .....	33
4.1	Vorversuche.....	33
4.1.1	Ergebnisse der Vorversuche – Feuchtigkeit, Dichte, Sensorische Untersuchung	33
4.1.2	Backversuche im Glas.....	36
4.1.3	Schlussfolgerungen der Vorversuche und weiteres Vorgehen.....	38
4.2	Hauptversuche.....	40
4.2.1	Versuchsreihe A.....	40
4.2.2	Versuchsreihe B.....	41
4.2.3	Versuchsreihe C.....	42
4.2.4	Versuchsreihe D und Haltbarkeitsversuche.....	44
4.2.5	Ergebnisse sensorische Untersuchung .....	50
4.3	Diskussion und Schlussfolgerung.....	59
4.4	Nächste Schritte.....	67
5	Zusammenfassung und Ausblick.....	69
6	Literatur.....	71
7	Anlagen.....	76
	Erklärung über die selbstständige Anfertigung der Arbeit.....	83

## 1 Einleitung

Vegane Ernährung erfreut sich immer größerer Beliebtheit. Laut Skopos (2016) ernährten sich im Jahr 2016 ca. 1,3 Millionen Menschen in Deutschland vegan. Im Vergleich zur vorherigen Erhebung durch die „Nationale Verzehrstudie II“ von 2008 war das ein Anstieg von mindestens 1,22 Millionen Menschen. Die Befragung ergab auch, dass ca. 10 Millionen Menschen bereit wären, sich vegan zu ernähren, aber sich bisher aus Bequemlichkeit und aus Scheu vor dem Aufwand beim Einkaufen noch nicht dafür entschieden haben (Skopos, 2016). Der Markt für vegane Ersatzprodukte wird also immer größer, weil immer mehr Menschen auf Tierwohl und Umweltaspekte achten und dadurch gerne auf Lebensmittel ohne tierische Produkte zurückgreifen. Dazu gehören auch Menschen, die sich nicht strikt vegan ernähren. Von 2014 bis 2018 wurden 35 % mehr vegan gekennzeichnete Produkte auf dem Markt eingeführt (anuga, 2019).

Um auch nicht vegane Verbraucher\*innen von veganen Produkten zu überzeugen ist es wichtig, dass diese dem Geschmack und der Konsistenz von gewohnten Produkten ähneln.

Eine weitere Gruppe, die von veganen Lebensmitteln profitieren, sind Personen mit einer Lebensmittelallergie oder -unverträglichkeit. Durch den Verzicht auf Milch und Ei können Personen mit einer Laktoseintoleranz, einer Milcheiweißallergie oder einer Hühnereiallergie die Produkte ohne Probleme verzehren. Auch Personen, die Probleme mit Cholesterin haben, profitieren von Kuchen ohne Ei.

Damit Menschen, die sich bewusst dafür entscheiden vegan zu leben oder weniger tierische Produkte zu verzehren, auf nichts mehr verzichten müssen, ist es wichtig, den veganen Markt nicht nur in Hinsicht auf die herzhaften Lebensmittel, sondern auch auf süße Lebensmittel und Desserts zu erweitern.

In dieser Arbeit soll ein veganer, haltbarer Möhrenkuchen entwickelt werden, der verpackten Fertigmöhrnkuchen aus dem Supermarkt ähnelt. Da der Umweltaspekt bei Veganer\*innen häufig eine große Rolle spielt und generell immer mehr Menschen ihren Plastikverbrauch reduzieren wollen, sollen die Kuchen in einem Sturzglas gebacken und anschließend direkt verschlossen werden. Durch den entstehenden Unterdruck soll eine verlängerte Haltbarkeit gewährleistet werden. Außerdem wird der Kuchen in kleinen Portionen gebacken, so dass er sich auch als Snack für unterwegs eignet.

Auf dem Markt werden von verschiedenen namhaften Unternehmen Kuchen im Glas angeboten. Der Verkauf konzentriert sich hauptsächlich auf den Onlinemarkt. In Anbetracht des steigenden Umweltbewusstseins der Gesellschaft ist es denkbar, dass in den kommenden Jahren die Glasverpackung an Beliebtheit gewinnt und auch im Einzelhandel angeboten wird. Viele Kuchen im Glas, die aktuell auf dem Markt sind, sind dabei meist länger haltbar als gängige, in Folie verpackte Fertigmöhrnkuchen. So sind Kuchen im Glas meist bis zu 3 Monate lang haltbar (**Anlage 3**),



während die Fertigmöhen, die in Folie verpackt werden, häufig trotz Schutzatmosphäre nur 2 Monate haltbar sind.

Für die Entwicklung der Rezeptur soll ein nicht veganes Rezept für einen Möhenkuchen mit Hilfe von Ersatzprodukten in ein veganes Rezept umgewandelt werden. Ziel der Arbeit ist es, ein Produkt zu erhalten, das möglichst dem Kuchen mit tierischen Produkten ähnelt, damit auch andere, nicht vegan lebende Verbraucher\*innen angesprochen werden und die Akzeptanz veganer Produkte erhöht wird.

## 2 Stand der Wissenschaft und Technik

### 2.1 Vegane Ernährung

Eine vegane Ernährung bedeutet „konsequenter Verzicht auf tierische Produkte und Zutaten wie Fleisch, Fisch und Milchprodukte, sowie von Nahrungsmitteln, in denen Tierisches verarbeitet wurde“ (Reifenhäuser, 2015). Der Hauptgrund für eine vegane Ernährung ist für viele vegan lebenden Personen der Tierschutz, aber auch Gründe wie Klimaschutz und die Gesundheit werden genannt (Skopos, 2016).

In der Literatur sind geteilte Meinungen zu finden, inwieweit diese Ernährungsform als ernährungsphysiologisch wertvoll eingestuft werden kann bzw. ob eine komplett vegane Ernährung empfehlenswert ist. Die DGE beispielsweise empfiehlt eine komplett vegane Ernährung noch nicht, weil momentan noch zu wenige Produkte auf dem Markt sind, die mit kritischen Nährstoffen wie Vitamin B12 oder Vitamin D angereichert sind und diese Nährstoffe so supplementiert werden müssten. Auch andere Nährstoffe könnten in zu geringer Menge aufgenommen werden (Richter et.al., 2016). Ein Grund dafür ist unter anderem die EU-Bioverordnung, in der steht, dass Bio-Produkte nicht zusätzlich mit Vitaminen angereichert werden dürfen. Auch andere vegane Lebensmittel werden zu selten angereichert, weshalb es durch rein pflanzliche Ernährung noch nicht möglich ist, alle wichtigen Nährstoffe und Vitamine aufzunehmen. Um das zu ändern, müssten die Verordnung angepasst werden und die Hersteller auf dieses Thema reagieren (Rittenau, 2019). Bei einer ausgewogenen veganen Ernährung kann jedoch der Tagesbedarf der meisten Nährstoffe gedeckt werden. So werden im Durchschnitt die Referenzwerte von Protein, Fett und Kohlenhydraten erreicht. Die vegane Ernährung schneidet in dieser Hinsicht teilweise sogar besser ab als eine Mischkost-Ernährung, bei der der Protein- und Fettbedarf häufig überschritten wird und der Kohlenhydratbedarf meist unterschritten wird. Außerdem wird der Ballaststoffbedarf und die Menge sekundärer Pflanzenstoffe meist besser gedeckt. Kritische Nährstoffe einer veganen Ernährung sind v.a. die Vitamine B12 und D, die nicht bzw. kaum in pflanzlichen Lebensmitteln enthalten sind. Auch Vitamin A, Riboflavin, Calcium, Eisen und Zink sind kritische Nährstoffe, die jedoch mit dem Verzehr der richtigen pflanzlichen Zutaten gedeckt werden können. Die Proteinzufuhr kann kritisch ausfallen, weil die Bioverfügbarkeit von pflanzlichen Proteinen meist geringer ist, als bei tierischen Produkten und verschiedene Proteinquellen genutzt werden müssen, damit alle essenziellen Aminosäuren aufgenommen werden (Weder et.al., 2018; Großhauser, 2018). Grundlage für eine gesunde vegane Ernährung ist immer eine ausgewogene Ernährung, das Wissen über mögliche kritische Nährstoffe und wie deren Bedarf gedeckt werden kann. Auch ist es empfehlenswert regelmäßig von einem Arzt überprüfen zu lassen, inwieweit der Bedarf an essenziellen Nährstoffen gedeckt wird.

Wichtig für eine gesunde vegane Ernährung ist, wie in allen anderen Ernährungsformen, zuckerhaltige Produkte in Maßen zu verzehren. Das in dieser Arbeit entwickelte Produkt entspricht nicht

den Anforderungen einer gesunden, ausgewogenen Ernährung, sondern soll lediglich als Dessert dem Genuss dienen.

## **2.2 Wirkung von Eiern in Rührkuchen**

Eier erfüllen verschiedene Wirkungen in Kuchen. Durch die Bildung von Schäumen sind Eier maßgeblich an der Lockerung und Strukturbildung der Teige und Kuchen beteiligt. Dieser Schaum koaguliert beim Erhitzen, sodass die gebildete Struktur irreversibel erhalten bleibt. Dabei werden die Teigbestandteile in der Masse gebunden. Die enthaltenen Ei-Proteine verhindern außerdem die Ausbildung eines Glutennetzwerkes, indem sie in dessen Disulfidbrückenbindungen eingebaut werden. So bewirken so die typisch zarte Struktur der Kuchen (Kiosseoglou et.al., 2006; Yang et.al., 1995)

Weiterhin haben Eier bzw. die Lipoproteine im Eigelb eine emulgierende Wirkung. Damit sind sie besonders für fettreiche Massen von Bedeutung, weil sie bewirken, dass das Fett im Teig stabil dispergiert wird. Somit kann eine glatte Masse entstehen, die sich auch während des Backprozesses nicht trennt (Kiosseoglou et.al., 2006)

Eier verbessern unter anderem durch die enthaltenen Proteine die Nährwerte von Backwaren. Die Carotinoide im Eigelb sind für die typisch gelbliche Krumenfarbe verantwortlich. Außerdem sind die Aminosäuren der enthaltenen Proteine an der Bräunungsreaktion (Maillard-Reaktion) während des Backens beteiligt. Das enthaltene Fett im Eigelb bewirkt eine gewisse Geschmeidigkeit der Kuchen und das enthaltene Wasser macht Eier zu Feuchtigkeitsspendern (Conforti, 2006).

## **2.3 Pflanzliche Alternativen für tierische Zutaten**

### **2.3.1 Fett**

Fette werden sowohl im festen Zustand, in Form von Butter oder Margarine, als auch im flüssigen Zustand, in Form von Öl, in der Backindustrie verwendet. Bei Butter oder einigen Margarinensorten handelt es sich um tierische Produkte, die für eine vegane Ernährung ausgetauscht werden müssen. Diese tierischen Produkte sind außerdem weitaus teurer als pflanzliche Alternativen. Für Kuchen kann sowohl Butter, die den Vorteil hat, dass sie sich mit Zucker aufschlagen lässt und somit zur Lockerung beiträgt, als auch Öl verwendet werden. Für diese Arbeit wurde bewusst ein Rezept ausgewählt, das Butter enthält, damit eine gewisse Lockerung durch das Aufschlagen erzielt werden kann. Als veganer Ersatz für die Butter kann sowohl pflanzliche Margarine verwendet werden als auch Streichfett. Der Unterschied zwischen beiden liegt im Fettgehalt. Laut VO (EG) 2991/94 (1994) besteht ein Streichfett aus mindestens 10 % und maximal 90 % Fett. Damit es vegan ist, müssen alle Fette pflanzlichen Ursprungs sein. Eine Margarine hingegen besteht laut Margarine- und Mischfettverordnung (1990) aus mindestens 80 % Fettanteilen.

In dieser Arbeit wurde ein Streichfett mit 70 % Fettgehalt verwendet, das hauptsächlich aus Palm- und Kokosfett sowie Rapsöl besteht.

### 2.3.2 Milch

Bei pflanzlichen Milchalternativen gibt es auf dem Markt verschiedenste Möglichkeiten. Die bekannteste und älteste Möglichkeit ist der Sojadrink. Neben der Milchalternative aus Hülsenfrüchten, gibt es auch Alternativen aus (Pseudo-)Getreide (z.B. Hafer, Reis, Dinkel) und Nüssen (z.B. Kokosnuss, Mandel, Haselnuss). Von all diesen Alternativen ähnelt der Sojadrink den Eigenschaften und dem Nährstoffprofil der Kuhmilch am meisten. Der Proteingehalt vom Sojadrink ist mit ca. 3 % sehr ähnlich zu herkömmlicher Milch und weitaus größer als bei anderen pflanzlichen Milch-Alternativen. Außerdem ist Sojadrink durch das enthaltene Lecithin gerade zum Backen gut geeignet, da so die emulgierende Wirkung der Eier imitiert werden kann (Foterek, 2016). Aufgrund dieser Eigenschaften wurde sich dafür entschieden, für die Versuche Sojadrink zu verwenden.

### 2.3.3 Eier

Eier sind, aufgrund der zahlreichen Funktionen in einem Kuchen (siehe 2.2), schwieriger zu ersetzen als Fett und Milch. In veganen Koch- und Backbüchern und in Internetforen werden viele Alternativen vorgeschlagen, die v.a. Zutaten wie beispielsweise Banane, Apfelmus, Chiasamen, pflanzliche Joghurtalternativen oder Leinsamen enthalten (PeTA, 2017).

Gerade aufgrund der Tatsache, dass Eier eine der teuersten Zutaten in einem Kuchen sind, wurden zahlreiche Studien durchgeführt, wie man die Eier ersetzen kann. Dafür wurden nicht immer nur vegane Alternativen untersucht, sondern beispielsweise auch Molkenprotein (Shao et.al., 2015). Die verschiedenen Studien können nach den verwendeten Ei-Alternativen unterteilt werden.

Bei vielen Versuchen wurde nicht nur ein Stoff als Alternative untersucht, sondern eine Kombination aus Proteinen, Emulgatoren und Hydrokolloiden. Somit wurden die verschiedenen Funktionen eines Eis mit verschiedenen Stoffen ersetzt. Arozarena et.al. (2001) untersuchten Lupinenproteinisolat zusammen mit Lecethin, Mono- und Diglyceriden und Hydrokolloiden. Die Hydrokolloide waren nötig, damit der Schaum des Isolats nicht zusammenfällt, da er nicht, wie bei Eiern typisch, durch Hitze koaguliert. Versuche mit Linsenprotein (Jarpa-Parra et. al., 2017) oder Erbsenprotein (Söderburg, 2013) ergaben, dass diese zwar die Schaumbildung und emulgierende Wirkung von Eiern besitzen, aber keinen Beitrag zur Krumbildung liefern und v.a. durch negative sensorische Eigenschaften auffallen. Sojaprotein und die Wirkung als Ei-Alternative wurde durch Ratnayake et.al. (2012) getestet. Dabei wurde die emulgierende Wirkung und die gelbildenden Eigenschaften als positiv hervorgehoben, allerdings fehlt die Schaumbildung und es konnte ein Off Flavour festgestellt werden. Salwa (2009) machte Untersuchungen mit Alginatlécithingel, das eine hohe Schaumstabilität und eine gute Emulsionswirkung zeigt.

In manchen Studien wurden natürliche Zutaten, so wie sie auch in dieser Arbeit größtenteils verwendet werden, untersucht. Häufig wurden Versuche mit Chiasamen als Ei-Ersatz durchgeführt, weil diese die emulgierende Wirkung, die Stabilisierung und die Wasserbindung durch Netzwerkbildung von Eiern ersetzen können. Außerdem ist ihr Proteingehalt, im Vergleich zu vielen anderen natürlichen Ei-Alternativen, relativ hoch. (Agrahar-Murugkar et.al., 2016; Roth-Johnson, 2013; Ruscigno, 2016).

Geschrotete oder gemahlene Leinsamen erfüllen eine ähnliche Wirkung wie Chiasamen, da sie viel Wasser aufnehmen und in einem Gelnetzwerk Wasser binden. Das enthaltene Fett ist nicht nur ernährungsphysiologisch wertvoll, sondern es kann zusammen mit dem Protein die strukturgebende Wirkung von Eiern ersetzen und ist somit für die Textur der Kuchen verantwortlich. Die enthaltenen löslichen Ballaststoffe verstärken die Bindung (Roth-Johnson, 2013; Ruscigno, 2016).

Bananen wurden als Ei-Ersatz von Agrahar-Murugkar et. al. (2016) und Roth-Johnson (2013) untersucht. Sie eignen sich gut als Alternative, weil sie durch die enthaltene Stärke und die Polysaccharide, wie z.B. Pektin und Hemicellulose in der Lage sind, wie Eier, ein Netzwerk auszubilden und so eine Lockerung und Wasserbindung gewährleisten zu können. Außerdem sind Bananen gute Feuchtigkeitsspende im Kuchen. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zur Textur von Kuchen mit Eiern festgestellt werden und in hedonischen Prüfungen wurde die Alternative ähnlich bewertet, wie ein Kuchen mit Ei.

Apfelmus wird häufig von populären Quellen als gute Ei-Alternative vorgeschlagen (PeTA, 2017; Reifenhäuser, 2015; AOK, 2017), in wissenschaftlichen Studien wurde es aber eher selten untersucht. Roth-Johnson (2013) schreibt Apfelmus ähnliche Eigenschaften wie der Banane als Ei-Ersatz zu, da es auch durch die enthaltenen Polysaccharide in der Lage ist Gelnetzwerke zu bilden. Im Gegensatz zur Banane enthält Apfelmus jedoch weniger Stärke, weshalb kein Stärkenetzwerk ausgebildet wird und somit Apfelmus vermutlich auch weniger zu Bindung beiträgt.

Eine gute Alternative, die die Schaumbildung von Eiern ersetzen kann, ist sogenanntes Aquafaba. Dabei handelt es sich um die Kochflüssigkeit von gekochten und konservierten Kichererbsen. Diese ist aufgrund des hohen Proteingehaltes gut aufschlagbar und kann somit Eiweiß v.a. in Süßspeisen und Desserts ersetzen. Die Untersuchungen von Mustafa et.al. (2018) haben gezeigt, dass sich dieser Schaum nicht zur Lockerung von Kuchen eignet, weil er zusammenfällt, bevor die Denaturierungstemperatur erreicht ist und so nur ein geringes Volumen erreicht werden kann.

Sojamehl zusammen mit Wasser wurde von Rahmanti et.al. (2015) als Ei-Alternative untersucht. Dabei wurden die Eier teilweise und vollständig mit „Sojamilch“ bestehend aus Sojamehl und Wasser im Verhältnis 1:3 ausgetauscht. Wenn die Eier nicht vollständig ersetzt werden, konnte eine positive Wirkung auf die Dichte, die Härte und den Backverlust festgestellt werden. Als voller Ei-Ersatz eignet sich diese Alternative nicht, da das Volumen sinkt und somit die Dichte steigt,

der Wasserverlust nach dem Backen geringer wird und die Kuchen härter werden und schwerer zu kauen sind.

In anderen Untersuchungen wurden natürliche Zutaten mit Zusatzstoffen kombiniert, die die Wirkung von Eiern imitieren sollen. So wurden die Alternative Sojamehl zusammen mit Leinsamenpulver kombiniert und die Wirkung verschiedener Emulgatoren auf dieses System getestet. Dadurch konnte die emulgierende Wirkung des Sojalecithins im Sojaprotein verstärkt werden und somit das Volumen der Kuchen erhöht werden. Die Bindung wurde durch die Kombination von Leinsamen und Sojamehl verstärkt (Abhay Kumar et.al., 2017).

Hedayati et.al. (2019) untersuchten ebenfalls einen selbst hergestellten Sojadrink als Ei-Alternative in Kombination mit zugesetztem Sojalecithin als Emulgator, um das Volumen von Kuchen ohne Ei zu verbessern. Der Lecithingehalt im Sojadrink reicht nicht aus, um die Wirkung eines Eis zu ersetzen. Zugesetztes Lecithin bewirkt bessere Eigenschaften der Kuchen ohne Ei, da die Dichte reduziert werden konnte.

Johannisbrotkernmehl wurde so nicht in Studien untersucht. Da es sich hierbei um ein Hydrokolloid handelt, das Wasser in großer Menge bindet, wird vermutet, dass die Wirkung ähnlich der von anderen Hydrokolloiden wie Xanthan ist, welches von Shao et.al (2015) als Ei-Alternative in Kombination mit Proteinen und Emulgatoren untersucht wurde. Hydrokolloide verbessern demnach die Teigviskosität, sie binden Wasser und reduzieren somit den Feuchteverlust während des Backens und während der Lagerung und verbessern so die Qualität während der Lagerung. Zusammen mit der Stärke im Mehl beeinflussen sie die Struktur des Kuchens und können die Bindung von Eiern ersetzen. Die Wirkung von Hydrokolloiden als Ei-Ersatz wurde jedoch noch nicht ohne die Zugabe von zusätzlichen Proteinen und Emulgatoren untersucht.

## **2.4 Umweltfreundliche Verpackungen – Prinzip des Kuchens im Glas**

Heutzutage wird ein Großteil der Lebensmittel im Supermarkt in Kunststoffverpackungen verpackt, weil so ein hygienischer Verkauf gewährleistet werden kann und die Haltbarkeit der Produkte verlängert werden kann. Außerdem sind Kunststoffverpackungen günstig in der Herstellung und haben ein geringes Gewicht und somit geringere Transportkosten. Die Formen der Verpackungen können individuell gewählt werden, was diese Verpackung auch in Hinblick auf das Marketing attraktiv macht.

Nichtsdestotrotz ist der große Nachteil dieses Verpackungsmaterials die fehlende Abbaubarkeit und die somit immer größer werdende Menge Müll. Gerade durch die immer beliebter werdenden Convenience- und To-Go-Produkte, die teilweise mehrfach verpackt sind, entsteht unnötiger Verpackungsmüll. Ein großes Problem dabei ist sogenanntes Mikroplastik, das durch verschiedene Umwelteinflüsse auf die Verpackungen entsteht, so in die Umwelt gelangt und von Organismen aufgenommen wird (Glogowski, 2018; Wagner et. al. 2018). Um die Abfallmenge zu reduzieren müssen kunststofffreie bzw. kunststoffärmere Alternativen gefunden werden und gerade auf meist

unnötige Umverpackungen verzichtet werden. Bei immer mehr Menschen findet ein Umdenken statt, sodass sie probieren ihren Plastikmüll zu reduzieren. Damit das möglich ist, sollten Alternativen angeboten werden. Eine Möglichkeit ist, Lebensmittel in sogenannten Unverpacktläden, von denen aktuell in Deutschland über 100 Stück - mit steigender Tendenz - existieren, zu kaufen (Waldow, 2019). Convenience und To-Go Produkte, die haltbar sein sollen, können hier jedoch nicht gekauft werden, weshalb gerade in diesem Sektor von den Herstellern umgedacht werden muss. Eine Möglichkeit, ein To-Go Produkt umweltfreundlicher zu verpacken, ist die Verpackung im Glas. Gläser können mehrfach genutzt und anschließend gut recycelt werden. Gerade Fertigtorten und Desserts sind teilweise doppelt verpackt, damit die Produkte portionsweise mitgenommen werden können. Die umweltfreundlichere Variante wäre es, die Kuchen im Glas zu verpacken. Diese Art von Verpackung ist beliebt, bei Kuchen, die über den Onlinehandel vertrieben werden (siehe **Anlage 3**). Durch Backen der Kuchen direkt im Glas und anschließendes sofortiges Verschließen werden sie, wie bei der Konservierungsmethode für Marmeladen im Glas, haltbar gemacht. Der entstehende Unterdruck durch Volumenreduktion des Gasraumes beim Abkühlen verschließt das Glas fest (Schulz/Stolz, 1996).

## 2.5 Rechtliche Grundlagen

Um ein Lebensmittel als „vegan“ bezeichnen zu können, muss es laut den Leitsätzen für vegane und vegetarische Lebensmittel mit Ähnlichkeit zu Lebensmitteln tierischen Ursprungs (2018) folgende Kriterien erfüllen:

„Vegan sind Lebensmittel, die keine Erzeugnisse tierischen Ursprungs sind und bei denen auf allen Produktions- und Verarbeitungsstufen keine

- Zutaten (einschließlich Zusatzstoffe, Trägerstoffe, Aromen und Enzyme) oder
- Verarbeitungshilfsstoffe oder
- Nichtlebensmittelzusatzstoffe, die auf dieselbe Weise und zu demselben Zweck wie Verarbeitungshilfsstoffe verwendet werden, die tierischen Ursprungs sind, in verarbeiteter oder unverarbeiteter Form zugesetzt oder verwendet worden sind.“

In dieser Arbeit soll ein veganer Kuchen hergestellt werden. Um den Charakter des tierischen Vergleichsproduktes zu erhalten, müssen verschiedene tierische Zutaten ausgetauscht werden. Üblicherweise müssen die Ersatz-Zutaten gut sichtbar auf der Verpackung vermerkt werden. In den Leitsätzen werden jedoch hauptsächlich vegane Alternativen zu Fleisch- und Wurstwaren behandelt. Diese unterscheiden sich schon insofern von veganem Gebäck, als dass es zu Fleisch und Wurstwaren gesonderte Leitsätze gibt, die unter anderem auch die Benennung von Produkten festlegt.

Für Kuchen gibt es solche Leitsätze nicht, weshalb abgewogen werden muss, inwieweit die oben genannten Leitsätze auch für vegane Kuchen gelten. Hierbei handelt es sich um ein Produkt, dass, im Gegensatz zu Wurst- und Käsealternativen, nicht nahezu vollständig aus tierischen

Produkten besteht. Sie sind lediglich Teil der Rezeptur und somit ein kleinerer, wenn auch nicht unbedeutender, Bestandteil des Produktes. Da mehrere Zutaten ausgetauscht werden müssen, ist also fraglich, inwieweit alle Zutaten gut sichtbar als Ersatzprodukt gekennzeichnet werden müssen, zumal Zutaten wie Margarine bzw. Pflanzenstreichfett aus Kostengründen in der Industrie häufig auch in nicht veganen Produkten eingesetzt werden.



### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Verwendete Geräte, Rohstoffe und Rezepturen

##### 3.1.1 Verwendete Geräte

Messung der Feuchtigkeit:	Sartorius Schnellfeuchtebestimmer Moisture Analyzer MA 40 Seriennummer: 21004203 Messtemperatur: 105 °C
Ofen:	Combidämpfer CM® Heißluftfunktion RATIONAL AG E11MD01041045304 Backtemperatur: 170 °C
Rührgerät:	Krups Handrührgerät 3 Mix 4004 electronic Artikelnummer: 6680-70
Waage:	Satorius Seriennummer: BP8100 d=0,1 g Artikelnummer: 13208801
Gläser:	Sturzgläser 230 ml Füllvolumen
Penetromter:	petrotest PNR 10 Art Nr: 0404084797 Prüfkörper: Standardkonus 102,5 g Fallstab: 47,5 g Eindringzeit 5 s

### 3.1.2 Rohstoffe

Weizenmehl Typ 450:	TiP Weizenmehl Typ 550 MHD: 25.06.21 Chargennummer: L270HE11:41
Pflanzliches Streichfett:	Sana Streichfett mit 70 % Fett MHD: 24.01.2019 Chargennummer: L08:35C
Vanillezucker:	TiP Vannilin Zucker MHD: 08.2021 Chargennummer: L388960 2 18:13
Backpulver:	TiP Backpulver MHD: 08.2021 Chargennummer: L3888845 14:04
Sojadrink:	alpro Soja original MHD: 18.05.2020 DA291810:26 02 000
Haselnuss:	märschimport Haselnusskerne gehobelt MHD: 30.01.20 Durchmesser ca. 5-10 mm Höhe: ca. 1 mm
Zimt:	Fuchs Zimt gemahlen MHD: Ende 2022 Chargennummer: L9164BF
Johannisbrotkernmehl:	Bindobin pflanzliches Bindemittel (96 % Johannisbrotkernmehl, Calciumlactat) MHD: 30.07.2021 Chargennummer: L1919701MR01
Chiasamen:	borchers Schwarze CHIA Samen MHD: 052021 Chargennummer: L178902 7:09
Sonnenblumenöl:	Vita D'or Sonnenblumenöl MHD: 11.12.2020 Chargennummer: 19:32 001004667
Sojamehl:	Bauck Hof Sojamehl getoastet MHD: 08.05.2020 Chargennummer: 01066751837

Handelsüblicher Ei-Ersatz:	Nicol Gärtner Pflanzlicher Ei-Ersatz Zutaten: Süßlupinenmehl, Verdickungsmittel: Johannisbrotkernmehl, Maismehl, Leinprotein, Sonnenblumenprotein MHD: 31.08.2021 Chargennummer: 190068401 1508 21:20
Fermentiertes Sojaprodukt	alpro Natur
Pflanzliche Joghurtalternative:	Fermentiertes Sojaprodukt, angereichert mit Calcium und Vitaminen MHD: 11.12.2019 Chargennummer: CF443016:38 4
Leinsamenmehl:	Clasen Bio Leinsamenmehl MHD: 31.12.2020 Chargennummer: 19/15030001/31.12.2020
Apfelmus:	TiP Apfelmus MHD: 30.11.2020 Chargennummer: 0719:21 M60

Bei den untersuchten Ei-Ersatzprodukten (Johannisbrotkernmehl, Banane, Chiasamen, Sojamehl, Mehlgemisch aus Mehl, Öl, Wasser und Backpulver, pflanzliche Joghurtalternative, Apfelmus und Leinsamen) handelt es sich um von der Internetseite PeTA (2017) vorgeschlagene Ei-Alternativen. Diese dienen gerade den Verbraucher\*innen als hilfreiche Anregung, wie sie beim Kochen und Backen mit einfachen pflanzlichen Zutaten die Funktionen eines Eis imitieren können. In dieser Arbeit soll untersucht werden, welche Funktion oder welche Funktionen die einzelnen Ei-Ersatzprodukte erfüllen und inwieweit die angegebenen Mengenangaben pro Ei bei der Rezeptur eines Möhrenkuchens anwendbar sind.

### 3.1.3 Rezepturen

Für die Rezepturentwicklung wurde eine Rezeptur für einen Möhrenkuchen (**Tabelle 1**) mit tierischen Produkten gewählt und die tierischen Zutaten Butter, Milch und Eier durch die pflanzlichen Zutaten Streichfett, Sojadrink und die verschiedenen Ei-Alternativen ersetzt. Alle tierischen Zutaten bis auf die Eier werden dabei 1:1 ausgetauscht.

Die Eier in der Rezeptur werden durch die vorgeschlagenen Ei-Ersatzprodukte ausgetauscht (**Tabelle 3**). Die benötigten Mengen pro Ei werden dabei zunächst übernommen, überprüft und in den anschließenden Versuchen, wenn nötig angepasst. In **Tabelle 2** sind die ursprünglichen Mengen, wie von PeTA (2017) vorgeschlagen, angegeben.

**Tabelle 1: Rezeptur Möhrenkuchen (Referenzrezeptur) (Özcan, 2015)**

Zutat	Relative Menge (%) *
Butter (als Referenzrezeptur: Streichfett 70 % Fett)	13,6
Zucker	12,0
Salz	0,2
Vanillezucker	0,4
Eier	9,5
Mehl	27,2
Backpulver	0,3
Natron	0,2
Zimt	0,1
Milch (als Referenzrezeptur: Sojadrink)	10,9
Gehackte Nüsse (ersetzt durch gehobelte Haselnüsse)	6,8
Mohrrüben	19,0

\* Bezogen auf Gesamtmenge

In der Originalrezeptur werden Eier der Größe M verwendet. Für die prozentualen Angaben wurde mit 58 g pro Ei, als Mittel der Gewichtsangaben für Eier der Größe M (53 g - <63 g) gerechnet (Schünemann; Treu, 2016).

Für ein Sturzglas mit dem Füllvolumen von 230 ml werden 100 g Teig benötigt.

Damit eine Emulsion gebildet werden kann, ist es wichtig, dass alle Zutaten die gleiche Temperatur haben und diese bei ca. 22 °C liegt. Zunächst wird das Streichfett mit dem Zucker, dem Vanillinzucker und dem Salz für 3 min auf mittlerer Stufe gerührt (Aufgrund der kleinen Mengen in den Versuchen wird mit einem Handrührgerät gerührt). Bei der Referenzrezeptur werden anschließend die Eier so lange eingerührt, bis eine stabile Emulsion entstanden ist. Die Ei-Alternativen werden so dem Teig zugegeben wie in **Tabelle 2** angegeben ist. Das Mehl wird mit dem Backpulver, dem Natron und dem Zimt vermischt und im Wechsel mit dem Pflanzendrink portionsweise zur Masse hinzugegeben und so kurz wie möglich bei kleinster Stufe untergerührt. Am Schluss werden die Haselnüsse und die vorher fein geraspelten Mohrrüben untergehoben. Die Teige werden anschließend in die Gläser gefüllt und bei 170 °C Heißluft für 30 min gebacken. Danach werden sie sofort verschlossen und zum Abkühlen auf den Kopf gestellt.

Die von PeTA (2017) vorgeschlagenen Ei-Alternativen für Kuchen mit den Mengenangaben für ein Ei sind in **Tabelle 2** dargestellt. Bei einer Ei-Alternative handelt es sich um ein fermentiertes Sojaprodukt, das als pflanzliche Joghurtalternative verwendet wird. Dafür wurde das Produkt al-pro Natur ausgewählt und verwendet. Im Folgenden wird, um die Übersichtlichkeit zu wahren, der Produktname statt der offiziellen Verkehrsbezeichnung genannt. Für die Untersuchungen hätten auch andere pflanzliche Joghurtalternativen verwendet werden können.

**Tabelle 2: Mengenangaben und Verwendungshinweise der vorgeschlagenen Ei-Alternativen von PeTA (2017)**

<b>Ei-Alternative</b>	<b>Menge pro Ei in g</b>	<b>Zusätzliche Zutat oder nötige Rezepturänderung (pro Ei)</b>	<b>Vorgehensweise</b>
Apfelmus	60 g		Apfelmus vor dem Mehl in die Masse rühren
Banane zerdrückt	60 g	-	Reife Banane zerdrücken und vor dem Mehl in die Masse rühren
Chiasamen	18 g	60 g Wasser	Samen mit Wasser verrühren und kurz quellen lassen → 20 min (Ruscigno, 2016) Vor dem Mehl in die Masse rühren
Johannisbrotkernmehl	2 g	40 g Wasser	Johannisbrotkernmehl mit dem Mehl verrühren und zusammen in die Masse rühren. Zusätzliches Wasser zum Pflanzendrink dazugeben
Leinsamen	20 g	50 g Wasser	Leinsamen mahlen und mit Wasser verrühren, kurz quellen lassen → 20 min (Ruscigno, 2016) Vor dem Mehl in die Masse rühren
Sojamehl	7,5 g	30 g Wasser	Sojamehl mit Wasser verrühren Vor dem Mehl in die Masse rühren
alpro Natur	60 g	-	Vor dem Mehl in die Masse rühren
Mehlgemisch Mehl Wasser Backpulver Öl	20 g 30 g 9 g 20 g	-	Zutaten kurz aufschlagen und vor dem Mehl in die Masse rühren
Handelsüblicher pflanzlicher Eiersatz (Nicol Gärtner)	5 g	50 g Mineralwasser	Ei-Ersatz mit Mineralwasser verrühren und kurz mit dem Pflanzendrink aufschlagen

Tabelle 3: Rezeptur mit verschiedenen Ei-Alternativen

Zutaten	Relative Menge (%) *								
	Banane	Chiasamen	JHBKM	Leinsamenmehl	Sojamehl	alpro Natur	Mehlmisch**	Pflanzlicher Ersatz	Apfelmus
<b>Streichfett 70 % Fett</b>	13,5	13,4	13,8	13,3	14,2	13,5	13,1	13,6	13,5
<b>Zucker</b>	11,9	11,8	12,1	11,7	12,5	11,9	11,6	12,0	11,9
<b>Salz</b>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Vanillinzucker</b>	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
<b>Ei-Ersatz</b>	9,7	1,0	0,3	3,2	0,4	9,7	M: 3,2 W: 4,7 B: 1,4 Ö: 3,2	0,8	9,7
<b>Wasser</b>	-	9,7	7,7	8,0	5,1	-	-	8,2	-
<b>Mehl</b>	27,1	26,8	27,6	26,6	28,3	27,1	26,3	27,3	27,1
<b>Backpulver</b>	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
<b>Natron</b>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Zimt</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>Sojadrink</b>	10,8	10,7	11,0	10,7	11,3	10,8	10,5	10,9	10,8
<b>Gehobelte Haselnüsse</b>	6,8	6,7	6,9	6,7	7,1	6,8	6,6	6,8	6,8
<b>Mohrrüben</b>	18,9	18,8	19,3	18,6	19,8	18,9	18,4	19,1	18,9

\* Bezogen auf Gesamtmenge Teig

\*\* bestehend aus Mehl (M), Wasser (W), Backpulver (B) und Öl (Ö)

## **3.2 Versuchsplanung**

### **3.2.1 Ziel der Versuche**

Ziel der Arbeit ist es, einen veganen, haltbaren Möhrenkuchen zu entwickeln, der verpackten Fertigmöhrnkuchen mit tierischen Produkten aus dem Supermarkt ähneln soll. Um bei der Verpackung auf Plastik weitestgehend zu verzichten, werden die Kuchen in einem Glas gebacken und anschließend noch heiß verschlossen. Der dadurch entstehende Unterdruck konserviert den Kuchen und macht ihn so haltbarer.

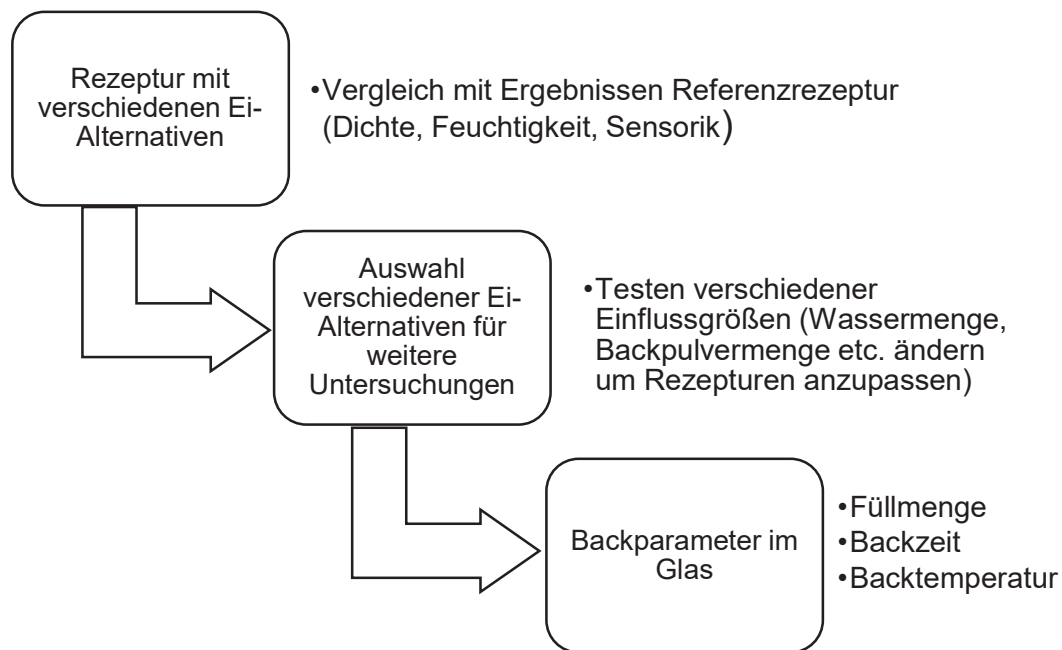
Für die Entwicklung der Rezeptur soll ein nicht veganes Rezept für einen Möhrenkuchen mit Hilfe von Ersatzprodukten in ein veganes Rezept umgewandelt werden. Bei der Rezepturentwicklung werden verschiedene Ei-Ersatzprodukte, die auf der Internetseite von PeTA (2017) vorgeschlagen werden, auf ihre Wirksamkeit untersucht. Dabei handelt es sich um Ei-Alternativen, die aus natürlichen Zutaten bestehen und so im Biomarkt bzw. Supermarkt erhältlich sind. Ziel ist es, diese wissenschaftlich zu untersuchen und mit den Ergebnissen anderer Publikationen zum Thema Ei-Substitute zu vergleichen.

Zunächst sollen Kuchen mit den verschiedenen Alternativen wie angegeben gebacken werden. Durch den Vergleich von Dichte, Feuchtigkeit und Sensorik wird ermittelt, welche Rezepturen noch angepasst werden müssen, damit sie der Referenzrezeptur ähneln.

Außerdem soll die Frischhaltung der Rezepturen untersucht werden, wenn sie im Glas verpackt sind. Damit soll überprüft werden, inwieweit die Gläser wasserdampfundurchlässig sind und somit die Frischhaltung - als wichtiges Kriterium für die Qualität während der Lagerung - verlängert wird.

In einer Sensorischen Untersuchung sollen die optimierten Rezepturen nach Einfach Beschreibender Prüfung (DIN10964, 2014) untersucht werden und so eventuelle Unterschiede zum Referenzprodukt herauskristallisiert werden. Über eine hedonische Untersuchung mit Hilfe einer 9-Punkte-Skala soll untersucht werden, inwieweit es Unterschiede zwischen den Produkten in der Beliebtheit gibt.

### 3.2.2 Versuchsplan Vorversuche



**Abbildung 1: Versuchsplan Vorversuch**

Die Vorversuche (**Abbildung 1**) sollen dazu dienen, die Wirkung der verschiedenen Ei-Alternativen auf den Möhrenkuchen zu untersuchen. Diese Wirkung wird über die Dichte, Feuchtigkeit und die sensorischen Eigenschaften beschrieben und mit der Referenzrezeptur, die mit Eiern gebacken wird, verglichen. Für die bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist die einzige tierische Zutat in dem Vergleichskuchen das Ei. Die Butter und die Milch wurden in allen Rezepten mit Streichfett und Sojadrink ersetzt. Da nicht auszuschließen ist, dass diese ausgetauschten Zutaten auch andere Einflüsse auf das Endprodukt haben und in dieser Arbeit hauptsächlich verschiedene Ei-Alternativen untersucht werden sollen, wurden diese auch in der Referenzrezeptur ausgetauscht.

Mit Hilfe der Ergebnisse werden vier Ei-Alternativen gewählt, die dann in den Hauptversuchen näher untersucht werden.



### 3.2.3 Versuchsplan Hauptversuche

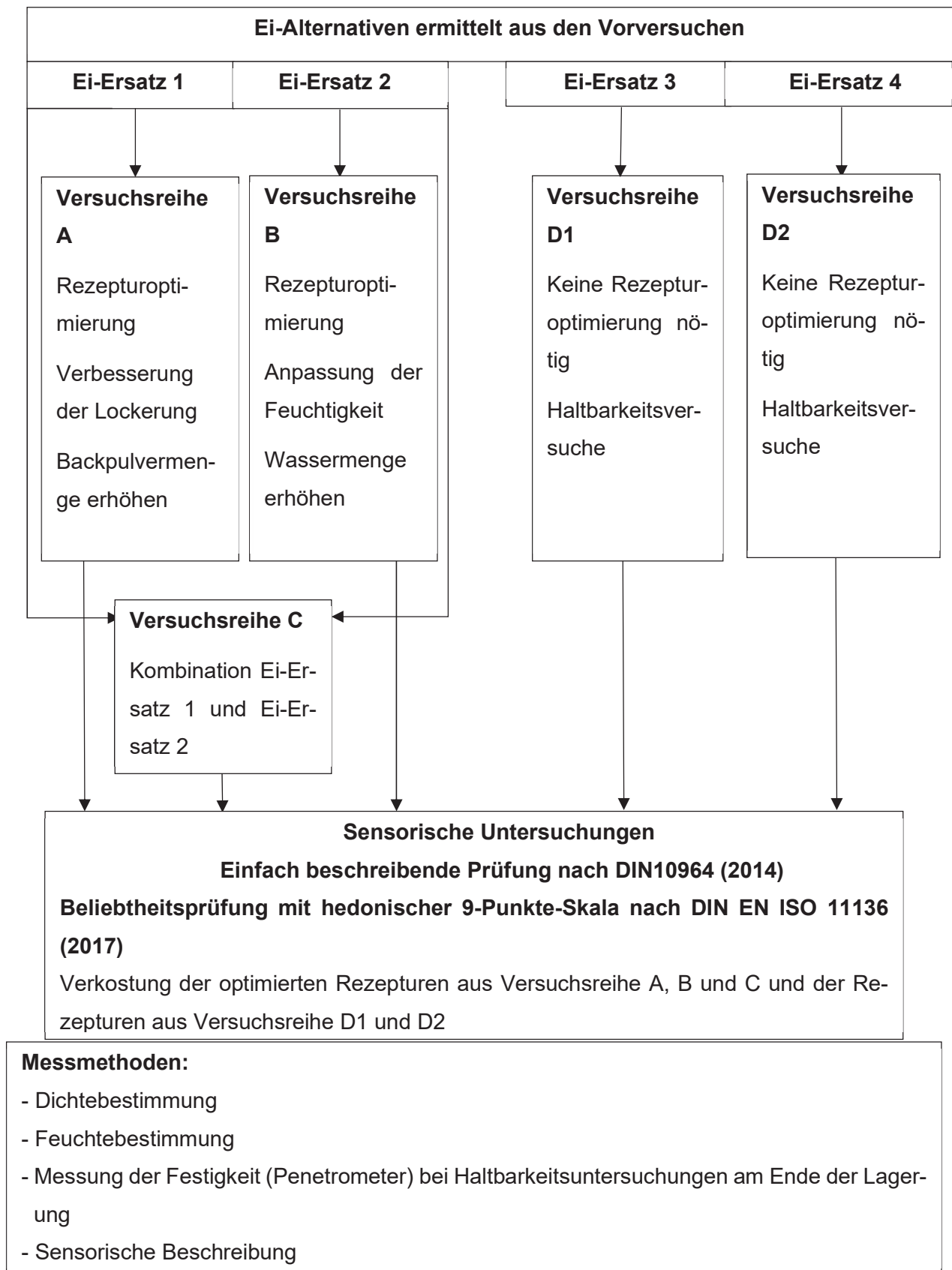


Abbildung 2: Versuchsplan Hauptversuche

### **3.3 Durchführung der Versuche**

#### **3.3.1 Festgelegte Parameter**

In allen Versuchen werden für die bessere Vergleichbarkeit Streichfett mit 70 % Fett und Sojadrink verwendet. Damit soll gewährleistet werden, dass mit dem Vergleich zur Referenzrezeptur nur die Wirkung der Eier gegenüber der der Alternativprodukte untersucht wird. Der Sojadrink und das Pflanzenfett haben zwar sehr ähnliche Eigenschaften zur Kuhmilch bzw. zur Butter, aber es kann nicht ausgeschlossen werden, dass diese Produkte sich in der Verarbeitung leicht unterscheiden und somit das Ergebnis der Untersuchungen verfälscht wird.

Für die Teige werden immer die gleichen Zutaten verwendet. Es wird immer eine bestimmte Menge an Teig hergestellt, weshalb sich die prozentualen Mengen der einzelnen Zutaten an den Ei-Ersatz anpassen.

Die Herstellung der Teige läuft grundsätzlich gleich ab. Es wird zuerst das Fett zusammen mit dem Zucker, Salz und Vanillezucker für 3 min aufgeschlagen und anschließend die Eier bzw. der Ei-Ersatz untergerührt (außer beim Johannisbrotkernmehl, das trocken zur Mehlmischung hinzugegeben wird). Anschließend wird das Mehl im Wechsel mit der Milch hinzugegeben und 20 s gerührt.

Außerdem werden die Kuchen alle mit den gleichen Backparametern (Heißluft, 170 °C, Kuchen im Glas 30 min, Kuchen in Muffinformen 20 min). Die Muffinformen in den Vorversuchen werden mit jeweils 60 g Teig gefüllt, während die Sturzgläser mit 100 g Teig befüllt werden.

Die Messungen der im Glas gebackenen Kuchen finden jeweils 24 h nach dem Backen statt. Die Messungen der Kuchen in den Vorversuchen, finden jeweils drei Stunden nach dem Backen statt. Für die verschiedenen Versuche werden jeweils vier Kuchen hergestellt.

#### **3.3.2 Vorversuche**

Für die Vorversuche werden die Teige wie im Punkt 3.1.3 beschrieben hergestellt. Da hier zunächst die Wirkung der verschiedenen Ei-Alternativen auf die Rezeptur des Möhrenkuchens allgemein beschrieben werden soll, werden die Kuchen nur in Muffinformen gebacken und anschließend untersucht. Die Ergebnisse werden ausgewertet und so entschieden, welche vier Ei-Alternativen für die weitere Versuche verwendet werden können. Dann werden damit erste Backversuche im Glas durchgeführt, um die nötige Füllmenge zu bestimmen. Die fertigen Kuchen dürfen nicht über den Rand der Gläser ragen, damit sie noch verschlossen werden können. Die einzustellenden Backparameter werden ermittelt.

### 3.3.3 Versuchsreihe A

Die Versuchsreihe A wird mit Ei-Ersatz 1 durchgeführt. Bei diesem muss die Rezeptur insofern angepasst werden, dass die Dichte verringert werden muss, weil der Kuchen kompakter ist als das Referenzprodukt. Mit der Bestimmung der Dichte kann die Lockerung der Produkte eingeschätzt werden. Um sie zu verbessern wird die Backpulvermenge um 33,33 %, 66,66 % bzw. 100 % zur Menge in der Ursprungsrezeptur erhöht. Die Teige werden nach Rezeptur hergestellt und in Gläsern gebacken. Die fertigen Kuchen werden einen Tag nach dem Backen untersucht.

Aus den verschiedenen Ei-Alternativen, die in den Vorversuchen untersucht wurden, wurde für die Versuchsreihe A der Ei-Ersatz Johannisbrotkernmehl (JHBKM) ausgewählt. Dabei wird die in den Vorversuchen veränderte Rezeptur mit 1,5-mal so viel Wasser wie in der Empfehlung verwendet. Dieser Ei-Ersatz wurde für die Versuchsreihe ausgewählt, weil der Feuchtigkeitsgehalt ähnlich der Originalrezeptur ist, die Dichte jedoch noch zu hoch ist. Um die Lockerung der Kuchen zu verbessern, wurde die Backpulvermenge erhöht. Die verwendeten relativen Rezepturen für Versuchsreihe A sind in **Tabelle 4** dargestellt.

**Tabelle 4: Versuchsreihe A Rezepturen**

Zutaten	Rezeptur mit Johannisbrotkernmehl mit 1,5-fachen Menge Wasser Relative Mengen (%)			
	Rezeptur mit veränderter Wassermenge und ursprünglicher Backpulvermenge	+ 33,3 % Backpulvermenge	+ 66,6 % Backpulvermenge	+ 100 % Backpulvermenge
<b>Streichfett 70 % Fett</b>	13,5	13,5	13,5	13,4
<b>Zucker</b>	11,9	11,9	11,9	11,8
<b>Salz</b>	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Vanillezucker</b>	0,4	0,4	0,4	0,4
<b>JHBKM</b>	0,3	0,3	0,3	0,3
<b>Wasser</b>	9,7	9,7	9,7	9,7
<b>Mehl</b>	27,0	27,0	26,9	26,9
<b>Backpulver</b>	0,3	0,4	0,5	0,6
<b>Natron</b>	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Zimt</b>	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>Sojadrink</b>	10,8	10,8	10,8	10,8
<b>Gehobelte Haselnüsse</b>	6,7	6,7	6,7	6,7
<b>Mohrrüben</b>	18,9	18,9	18,9	18,8

### 3.3.4 Versuchsreihe B

Die Versuchsreihe B wird mit einer Ei-Alternative durchgeführt, die ein Produkt mit zu geringer Feuchte hervorbringt (Ei-Ersatz 2). Dafür wird ein Ei-Ersatz ausgewählt, bei dem die Dichte ähnlich der des Originalproduktes ist, die Feuchtigkeit allerdings noch zu stark abweicht. Aus den Vorversuchen wurde hierfür der Ei-Ersatz Apfelmus ausgewählt. Hierbei ist die Feuchtigkeit der Endprodukte im Vergleich zur Rezeptur mit Eiern noch zu gering, weshalb untersucht werden

muss, inwieweit ein Erhöhen der Pflanzendrinkmenge das Ergebnis verbessert und um welchen Wert die Menge erhöht werden kann. Dabei ist wichtig, dass die Dichte der Produkte ähnlich bleibt und der Kuchen nicht zu kompakt wird. Es werden Versuche mit 10 %, 20 % und 30 % der Originalmenge Pflanzenmilch durchgeführt und diese Ergebnisse miteinander und mit der Originalrezeptur für den Ei-Ersatz Apfelmus verglichen. Die Teige werden auch hier nach Rezeptur (siehe **Tabelle 5**) hergestellt und in Gläsern gebacken, anschließend verschlossen und dann am nächsten Tag untersucht.

**Tabelle 5: Versuchsreihe B Rezepturen**

Zutaten	Rezeptur mit Apfelmus Relative Mengen			
	Rezeptur ursprünglich	Rezeptur mit 10 % mehr Sojadrink	Rezeptur mit 20 % mehr Sojadrink	Rezeptur mit 30 % mehr Sojadrink
<b>Streichfett 70 % Fett</b>	13,5	13,4	13,2	13,0
<b>Zucker</b>	11,9	11,8	11,6	11,5
<b>Salz</b>	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Vanillezucker</b>	0,4	0,4	0,4	0,4
<b>Apfelmus</b>	9,7	9,6	9,5	9,4
<b>Mehl</b>	27,1	26,8	26,4	26,1
<b>Backpulver</b>	0,3	0,3	0,3	0,3
<b>Natron</b>	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Zimt</b>	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>Sojadrink</b>	10,8	11,9	12,9	14,0
<b>Gehobelte Haselnüsse</b>	6,8	6,7	6,6	6,5
<b>Mohrrüben</b>	18,9	18,7	40,7	18,3

### 3.3.5 Versuchsreihe C

In der Versuchsreihe C werden Ei-Ersatz 1 (Johannisbrotkernmehl mit 1,5-fache Menge Wasser) und Ei-Ersatz 2 (Apfelmus) miteinander kombiniert. Dafür werden die Mengen genommen, die in den Vorversuchen untersucht wurden. Da in den Vorversuchen schon die Wassermenge beim Johannisbrotkernmehl um 50 % erhöht wurde und nur so ein positives Ergebnis bei der Feuchtigkeit erzielt werden konnte, wird diese Menge an Wasser auch hier übernommen und mit verrechnet.

Mit Hilfe dieser Versuchsreihe soll untersucht werden, ob sich die verschiedenen Eigenschaften der Ei-Alternativen verknüpfen lassen. Dafür werden jeweils 25 %, 50 % und 75 % der ursprünglichen Menge des einen Ei-Ersatzes mit jeweils 75 %, 50 % und 25 % des anderen Ei-Ersatzes kombiniert. Falls nötig, werden die relativen Mengen noch in 5 % Stufen angepasst, um so sowohl bei der Feuchtigkeit als auch bei der Dichte ein gutes Ergebnis zu erzielen. Die Rezeptur (siehe **Tabelle 6**) wird wie angegeben hergestellt und einen Tag danach untersucht.

Tabelle 6: Versuchsreihe C Rezepturen

Zutaten	Rezeptur mit der Kombination von Ei-Ersatz 1 und Ei-Ersatz 2 Relative Mengen		
	25 % Apfelmus 75 % JHBKM (1,5 x Wasser)	50 % Apfelmus 50 % JHBKM (1,5 x Wasser)	75 % Apfelmus 25 % JHBKM (1,5 x Wasser)
<b>Streichfett 70 % Fett</b>	13,50	13,50	13,50
<b>Zucker</b>	11,90	11,90	11,90
<b>Salz</b>	0,20	0,20	0,20
<b>Vanillezucker</b>	0,40	0,40	0,40
<b>JHBKM</b>	0,24	0,16	0,08
<b>Wasser</b>	7,30	4,90	2,40
<b>Apfelmus</b>	2,40	4,90	7,30
<b>Mehl</b>	27,00	27,00	27,00
<b>Backpulver</b>	0,30	0,30	0,30
<b>Natron</b>	0,20	0,20	0,20
<b>Zimt</b>	0,10	0,10	0,10
<b>Sojadrink</b>	10,80	10,80	10,80
<b>Gehobelte Haselnüsse</b>	6,80	6,80	6,80
<b>Mohrrüben</b>	18,90	18,90	18,90

### 3.3.6 Versuchsreihe D1 und D2 - Haltbarkeitsversuche

Die Haltbarkeitsversuche werden mit den zwei Ei-Alternativen durchgeführt, bei denen keine Rezepturoptimierung notwendig ist (Ei-Ersatz 3 und Ei-Ersatz 4). Hierfür wurde der Ei-Ersatz alpro Natur und Banane ausgewählt, da sie sowohl in Hinblick auf die Feuchtigkeit als auch in Hinblick auf die Lockerung dem Kuchen der Originalrezeptur ähneln.

Die Kuchen für die Haltbarkeit werden normal hergestellt und in Gläsern gebacken. Die Lagerung erfolgt bei Raumtemperatur für mindestens drei Wochen. Es wird vermutet, dass die Kuchen in der Zeit noch nicht schimmeln, da sie durch den entstehenden Unterdruck im Glas konserviert werden. Deshalb wird neben den visuellen Beobachtungen zur Feststellung von Schimmel und anderen Verderbniserscheinungen hauptsächlich die Frischhaltung der Kuchen untersucht. Die Frischhaltung gilt hier als Qualitätsmerkmal, das das Mindesthaltbarkeitsdatum bestimmt. Für die Messung wird zweimal pro Woche jeweils ein neuer, noch verschlossener Kuchen verkostet und die Feuchtigkeit bestimmt. Außerdem wird die Masse bestimmt und mit der Anfangsmasse des Kuchens verglichen, um eventuelle Masseverluste feststellen zu können. Für die Massebestimmung wird die Waage immer mit demselben Glas tariert, sodass die Werte vergleichbar sind, auch wenn die Gläser minimal in der Masse voneinander abweichen. Nach drei Wochen wird zusätzlich die Festigkeit der Kuchen mit einem Penetrometer bestimmt. Die Ergebnisse der Kuchen mit den Ei-Alternativen werden am Ende der Lagerung mit einem Kuchen verglichen, der mit Eiern gebacken wurde. Da in dieser Arbeit hauptsächlich ein veganer, haltbarer Kuchen im Glas entwickelt werden soll, werden die Kuchen lediglich am Ende mit der Originalrezeptur verglichen, um nicht unnötig Zutaten zu verschwenden, aber auch einen Vergleich zur Frischhaltung von Kuchen mit Eiern ziehen zu können.

Die Kuchen werden zunächst am Backtag (Tag 1) untersucht und anschließend zweimal pro Woche im Zeitraum von drei Wochen. Zwischen den einzelnen Versuchstagen liegen zwei bzw. drei Tage.

### **3.4 Analytische Methoden**

#### **3.4.1 Feuchtigkeitsmessung**

Die Feuchtigkeitsmessung wird mit dem Schnellfeuchtebestimmer MA40 der Firma Sartorius durchgeführt. Untersucht wird die Krume der Kuchen. Dafür wird aus dem Inneren des Kuchens eine Probe entnommen, zerkleinert und ca. 1 g auf die Probeschale gegeben. Diese Probe wird dann auf 105 °C erhitzt und so das enthaltene Wasser durch Verdampfen entzogen. Über die Massedifferenz wird die Feuchtigkeit der Produkte ermittelt und angezeigt.

Die Kuchen, die nicht im Glas gebacken werden (Vorversuche), werden 3 h nach dem Backen untersucht. Die Kuchen im Glas werden 24 h später gemessen.

Es wird immer eine Doppelbestimmung des gleichen Kuchens durchgeführt.

#### **3.4.2 Volumenmessung**

Für die Volumenbestimmung wird die Verdrängungsmethode mit Mohnsamen durchgeführt. Die Bestimmung der Kuchen im Glas wird gleich in den Gläsern durchgeführt. Dafür wird ein leeres Glas (Referenzglas) mit Mohnsamen gefüllt und mit einer Palette glatt abgestrichen. Die Mohnsamen aus dem Referenzglas werden in das Kuchenglas gegeben, glattgestrichen und überschüssige Samen in einer Schüssel aufgefangen. Das Volumen der Mohnsamen, die in die aufgefangen werden, entspricht dem Volumen des Kuchens, das mit Hilfe eines Messzylinders mit 500 ml Fassungsvermögen und 5 ml Einteilung ermittelt wird.

Für die bessere Vergleichbarkeit wird aus der Masse der Kuchen und dem Volumen die Dichte ermittelt, die dann die Kennzahl der Lockerung ist.

### 3.4.3 Sensorische Untersuchung

Um die einzelnen Ei-Alternativen sowohl visuell als auch geschmacklich einschätzen zu können, wird je ein Kuchen sowohl komplett als auch in der Mitte geteilt fotografiert. Außerdem werden die Kuchen von mindestens einer Person verkostet, um eventuelle Fehlgerüche feststellen zu können und die Textur und den Geschmack der Kuchen einschätzen zu können. Diese Ergebnisse fließen in die Entscheidung ein, welche Ei-Alternativen verwendet werden.

### 3.4.4 Bestimmung des Masseverlustes während der Lagerung

Für die Bestimmung des Masseverlustes während der Lagerung wird die Masse der Kuchen am Backtag und die Masse der Kuchen nach den unterschiedlichen Lagertagen bestimmt. Der Verlust lässt sich dann mit Hilfe von **Formel 1** berechnen.

#### Formel 1: Berechnung des Masseverlustes

$$\text{Masseverlust (\%)} = \left( \frac{100 \cdot m_2}{m_1} \right) - 100$$

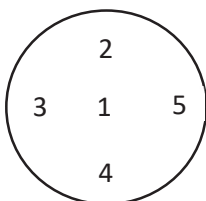
$m_1$  = Masse am Backtag

$m_2$  = Masse nach der Lagerung

### 3.4.5 Messung der Festigkeit

Die Festigkeit der Kuchen am Ende des Lagerungsversuches wird mit Hilfe eines Penetrometers bestimmt. Die obere Kruste der Kuchen wird vorher gerade abgeschnitten. Die Kuchen werden dann auf den Objektträger des Penetrometers gegeben und der Prüfkörper dicht über dem Produkt ausgerichtet. Durch Betätigen des Start Knopfes beginnt die Messung.

Für die Bestimmung der Festigkeit wird die Probe mit der Masse einer Prüfkombination, die sich aus der Masse des Prüfkörpers und des Fallstabes und eventuell von Belastungsgewichten zusammensetzt, für 5 s belastet und die Eindringtiefe gemessen. Die Eindringtiefe des Prüfkörpers in die Kuchen steht stellvertretend für die Festigkeit von Produkten. Je fester ein Produkt ist, desto geringer ist die Eindringtiefe des Prüfkörpers. Für Gebäcke wird normalerweise eine halbkugelförmige Kalotte genommen (Gesamtgewicht inklusive Fallstab und Belastungsgewichte = 80 g). Um Messfehler so gering wie möglich zu halten, werden jeweils drei Kuchen an fünf Stellen gemessen (siehe **Abbildung 3**).



**Abbildung 3: Messpunkte Penetrometermessung**

### 3.5 Sensorische Methoden

#### 3.5.1 Einfach beschreibende Prüfung

Für die sensorische Untersuchung werden sechs verschiedene Kuchen durch ein Prüfpanel, bestehend geschulten Prüfpersonen, verkostet. Es wird die Originalrezeptur mit Ei, die optimierten Rezepturen aus den Versuchsreihen A, B und C und die Produkte aus der Versuchsreihe D verkostet. Die Proben werden dabei mit randomisierten dreistelligen Ziffern codiert (siehe **Anlage 1**), sodass den Prüfpersonen unbekannt ist, welcher Kuchen welchen Ei-Ersatz enthält bzw. welcher Kuchen vegan ist oder nicht. Die Einfach beschreibende Prüfung wird nach DIN10964 (2014) in einem standardisierten Sensoriklabor mit Tageslichtlampe durchgeführt.

Die Ergebnisse werden empirisch mit Hilfe von Häufigkeiten der genannter Attribute ausgewertet. Für die Produkte wird ein Produktkompass erstellt, der sie beschreibt.

Der verwendete Prüfbogen kann in der **Digitalen Anlage 20** eingesehen werden.

#### 3.5.2 Hedonische Prüfung mit Hilfe einer 9-Punkte-Skala

Bei der hedonischen Prüfung (DIN EN ISO 11136) handelt es sich um eine Prüfung, die die Beliebtheit der Produkte untersuchen soll. Die statistische Aussagekraft steigt mit der Anzahl der Prüfpersonen. Es sollten aber mindestens 30 Prüfpersonen sein, damit mit den Ergebnissen eine statistische Aussage über die Beliebtheit eines Produktes getroffen werden kann (Busch-Stockfisch, 2008).

Die Prüfpersonen bewerten die verschiedenen Proben mit Hilfe einer 9-Punkte-Skala, wobei jedem Punkt eine Bewertung zugeordnet ist. Dabei bildet die 9 das Maximum des Gefallensbereiches mit „gefällt außerordentlich“ und die 1 das Minimum des Missfallensbereiches mit „missfällt außerordentlich“. Die verwendeten Prüfbögen können in der eingesehen werden.

Die Daten werden mittels einfaktorieller ANOVA ausgewertet, um signifikante Unterschiede feststellen zu können. Falls signifikante Unterschiede bestehen, wird in einem Post-Hoc-Test der LSD (least significant difference) bestimmt.

Außerdem werden die gewichteten Mittelwerte der Ergebnisse miteinander verglichen und die Ergebnisse in die Bereiche „Gefallen“ (9-6), „Neutral“ (5) und „Nicht Gefallen“ (4-1) eingeteilt.

Der verwendete Prüfbogen wurde in der **Digitalen Anlage 21** aufgeführt.



## 4 Ergebnisse

### 4.1 Vorversuche

#### 4.1.1 Ergebnisse der Vorversuche – Feuchtigkeit, Dichte, Sensorische Untersuchung

Für die Vorversuche werden neun Ei-Alternativen, die von PeTA (2017) vorgeschlagen wurden, mit der empfohlenen Menge getestet. Diese werden mit der Originalrezeptur, die mit Eiern gebacken wurde, verglichen, um so das weitere Vorgehen beurteilen zu können und die Ei-Alternativen für weitere Versuche auswählen zu können. Um die Wirkung der Eier in dem Rezept zu veranschaulichen, wird außerdem die Rezeptur ohne Eier gebacken.

##### Feuchtigkeit

Die Ergebnisse der Feuchtigkeitsmessung im Vergleich sind in **Abbildung 4** dargestellt. Die dunkleren Säulen kennzeichnen die Ei-Alternativen, die lediglich eine Abweichung von  $\pm 5\%$  im Vergleich zur Feuchtigkeit der Originalrezeptur zeigen. Somit liegen alle Produkte im selbst festgelegten akzeptablen Bereich, bei denen eine Feuchtigkeit von  $40,1\% - 44,3\%$  gemessen wurde, da der Vergleichswert der Originalrezeptur  $42,2\%$  ist.

Bei den Bananen, Chiasamen, dem pflanzlichen Ei-Ersatz von Nicol Gärtner, alpro Natur und Leinsamen ergibt die getestete Rezeptur ein ähnliches Ergebnis zur Originalrezeptur.

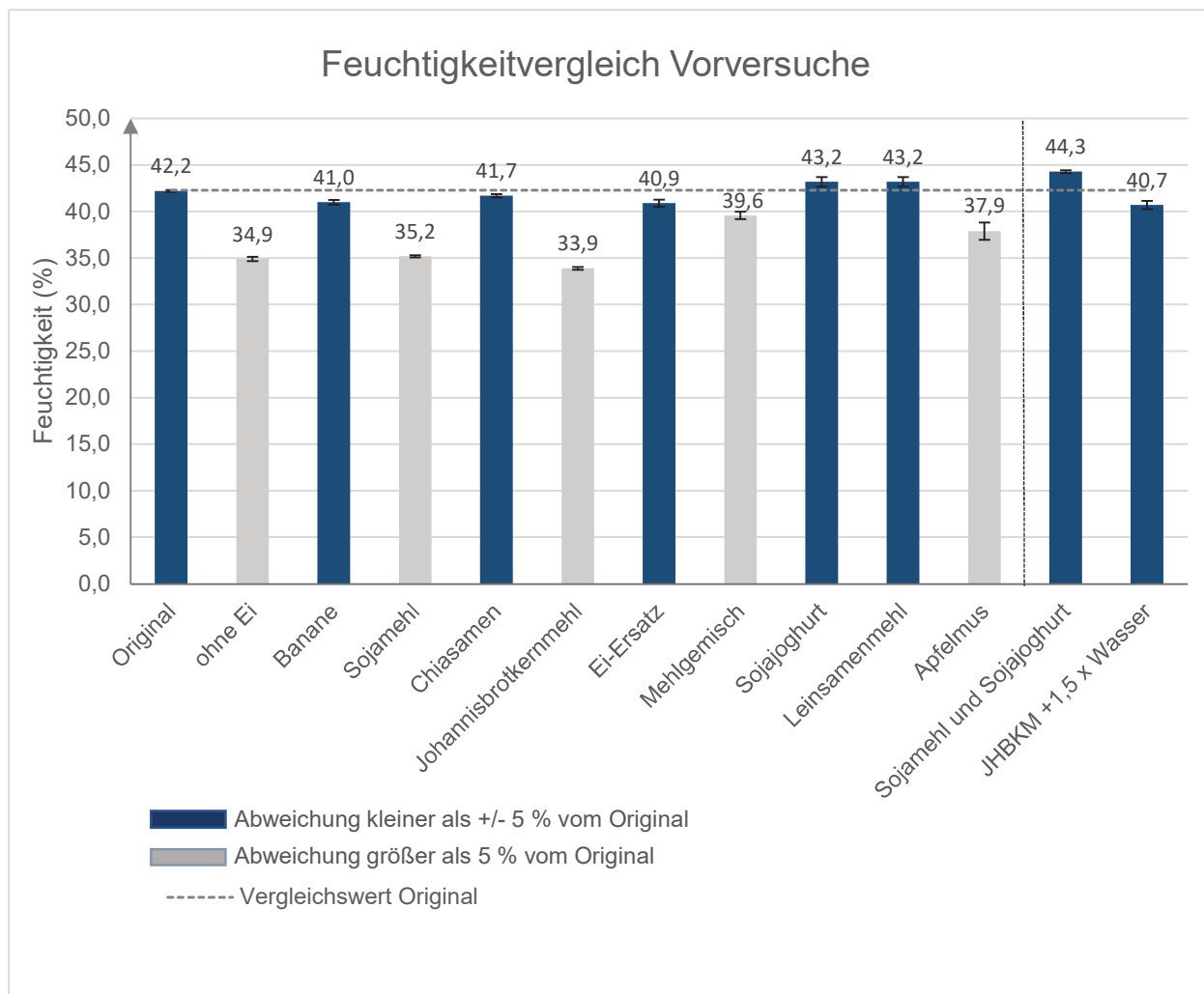
Die Rezeptur ohne Ei zeigt, dass die Eier einen großen Beitrag zur Feuchtigkeit der Endprodukte leisten. Dieser Beitrag kann durch die oben genannten Ei-Alternativen erfüllt werden, weshalb ihnen auch eine feuchtigkeitsspendende Wirkung zugeschrieben werden kann. Diese wird allerdings, außer bei den Bananen, durch zugegebenes Wasser hervorgerufen.

Bei Sojamehl, Johannisbrotkernmehl, dem Mehlgemisch und dem Apfelmus reicht die enthaltene Feuchtigkeit bzw. zugegebene Wassermenge nicht aus, um die feuchtigkeitsspendende Wirkung der Eier zu ersetzen. Deshalb wurde in den Vorversuchen beim Sojamehl und Johannisbrotkernmehl, die mit  $35,2\%$  bzw.  $33,9\%$  Feuchtigkeit am stärksten vom Original abweichen, durch Rezepturänderungen versucht, den Feuchtigkeitsgehalt anzupassen. Dafür wurde das Sojamehl mit alpro Natur kombiniert und die Wassermenge bei dem Johannisbrotkernmehl um  $50\%$  erhöht. Beide Maßnahmen führen dazu, dass die Feuchtigkeit der Endprodukte auf ein akzeptables Maß gestiegen ist.

Die Feuchtigkeit im Endprodukt ist abhängig von der Wassermenge, die beim Backen verloren geht. Obwohl die zugegebene Wassermenge entweder durch zusätzliches oder enthaltenes Wasser bei den eingesetzten Alternativen ähnlich ist, beeinflussen sie die Feuchtigkeit der Endprodukte unterschiedlich. Eine hohe Wasserbindung, wie es beispielsweise beim Leinsamenmehl und den Chiasamen der Fall ist, bewirkt, dass weniger Wasser beim Backen verloren geht und der Backverlust geringer ist. Gerade Leinsamenmehl kann aufgrund der großen Oberfläche durch die feine Zerkleinerung mehr Wasser binden. Apfelmus, das aufgrund des natürlich enthaltenen Wassers vermuten lässt, dass die Feuchtigkeit der Endprodukte ansteigt, hat ein zu trockenes

Produkt hervorgebracht, auch wenn die Feuchtigkeit von Apfelmus ähnlich der zugesetzten Wassermenge von beispielsweise Leinsamenmehl ist. Die unterschiedlichen Feuchtegehalte der Endprodukte deuten auf eine unterschiedliche Bindefähigkeit der Ei-Alternativen hin. Während Leinsamenmehl Wasser gut bindet, sodass weniger während des Backens verdampfen kann, ist die Bindung beim Apfelmus geringer.

Die Ursache dafür, dass bei den Alternativen Sojamehl und Johannisbrotkernmehl die geringste Feuchtigkeit gemessen wurden, ist die geringere Wassermenge als bei den anderen Alternativen. Während bei Leinsamenmehl und Chiasamen, die ebenfalls hauptsächlich zur Bindung der Produkte beitragen, 50-60 g Wasser hinzugegeben wird, ist die Wassermenge bei Sojamehl und Johannisbrotkernmehl mit 40 g Wasser geringer. Dadurch ist auch die Feuchte der Endprodukte geringer.



**Abbildung 4: Feuchtigkeitsvergleich Vorversuche**

## Dichte

Neben der Feuchtigkeit, die ein wichtiges Kriterium für den Vergleich mit der Originalrezeptur ist, wird auch die Dichte der Produkte ermittelt, um Rückschlüsse auf die Lockerung schließen zu können. Dafür werden die Masse und das Volumen der verschiedenen Kuchen bestimmt. Die Ergebnisse der Dichteuntersuchung bei den verschiedenen Ei-Alternativen sind in **Abbildung 5** dargestellt. Auch hier kennzeichnen die dunkleren Säulen die Produkte, die weniger als +/- 5 % von der Originaldichte abweichen.

Die meisten untersuchten Ei-Alternativen bewirken Produkte mit einer höheren Dichte, d.h. kompaktere Kuchen. Lediglich Bananen, alpro Natur und Apfelmus erzielen Produkte mit einer ähnlichen Lockerung wie das Originalprodukt mit Ei. Die Abweichung bei diesen Produkten liegt bei unter 2 % im Vergleich zur Originaldichte, d.h. die Produkte sind nur minimal kompakter als das Original.

Die Variante, die ohne Ei gebacken, hat eine Abweichung von 8,2 % zur Originaldichte. Diese doch geringe Abweichung zeigt, dass die Eier in dieser Rezeptur scheinbar weniger zur Lockerung beitragen.

Die Ei-Alternativen Sojamehl (auch in Kombination mit alpro Natur), Chiasamen, Johannisbrotkernmehl (auch mit mehr Wasser), der pflanzliche Ei-Ersatz, das Mehlgemisch und das Leinsamenmehl bewirkten, dass die Produkte kompakter wurden, d.h. nicht so stark gelockert sind wie der Kuchen mit Ei.

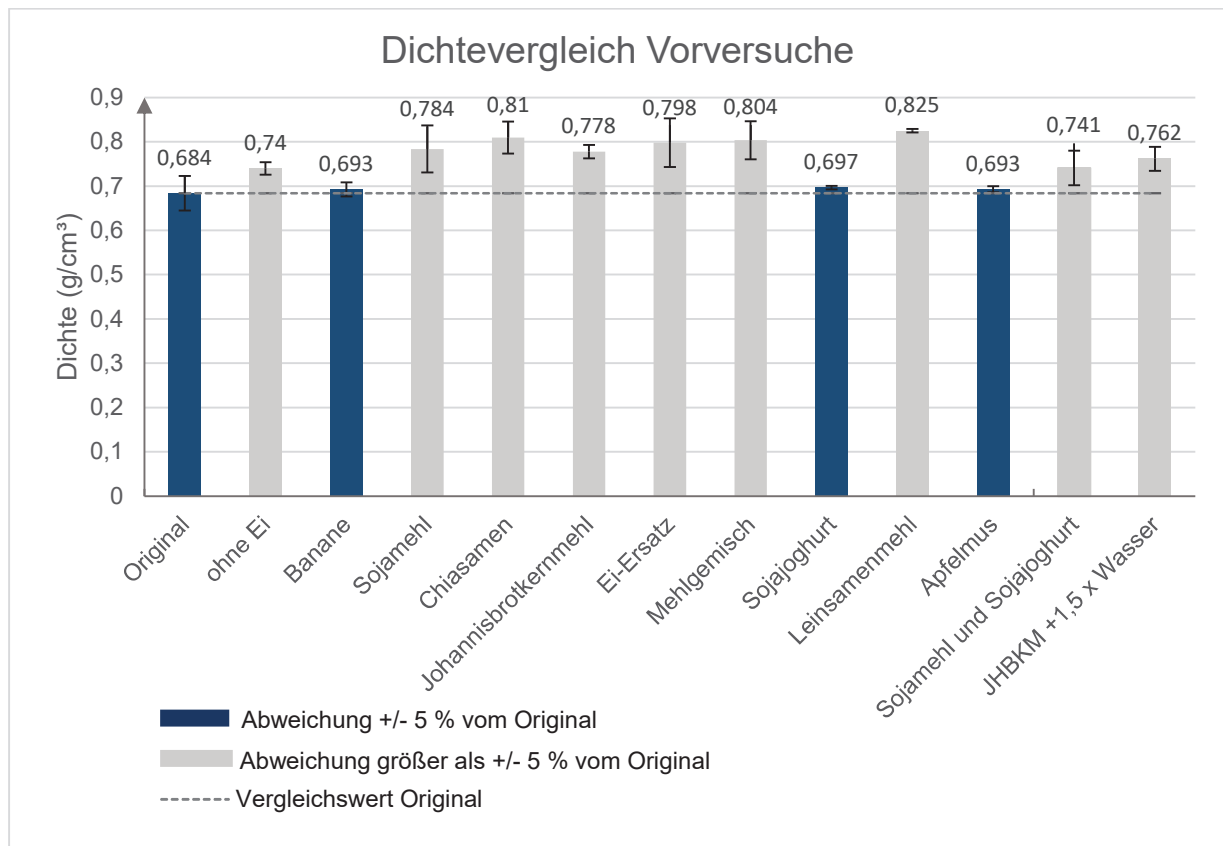


Abbildung 5: Dichtevergleich Vorversuche

### Sensorische Eigenschaften

Die Kuchen werden außerdem verkostet und visuell (siehe **Digitale Anlage 1-11**) untersucht. Beim Ei-Ersatz bestehend aus Mehl, Backpulver, Öl und Wasser ist allerdings der Backpulvergeschmack negativ aufgefallen. Das wurde vermutet, weil sich aufgrund der ziemlich hohen Eiermenge im Rezept die Backpulvermenge mehr als verfünffacht hat. Bei den Kuchen, die mit Chiasamen gebacken werden, sind die Chiasamen sowohl visuell als auch beim Mundgefühl erkennbar. Statt Leinsamen wird Leinsamenmehl verwendet. Hier ist die Farbe der Kuchen in einem deutlich dunkleren Braun. Außerdem ist ein intensiv nussiges, typisches Leinsamen Aroma erkennbar. Weiterhin ist dieser Kuchen sehr kompakt und auch klebrig.

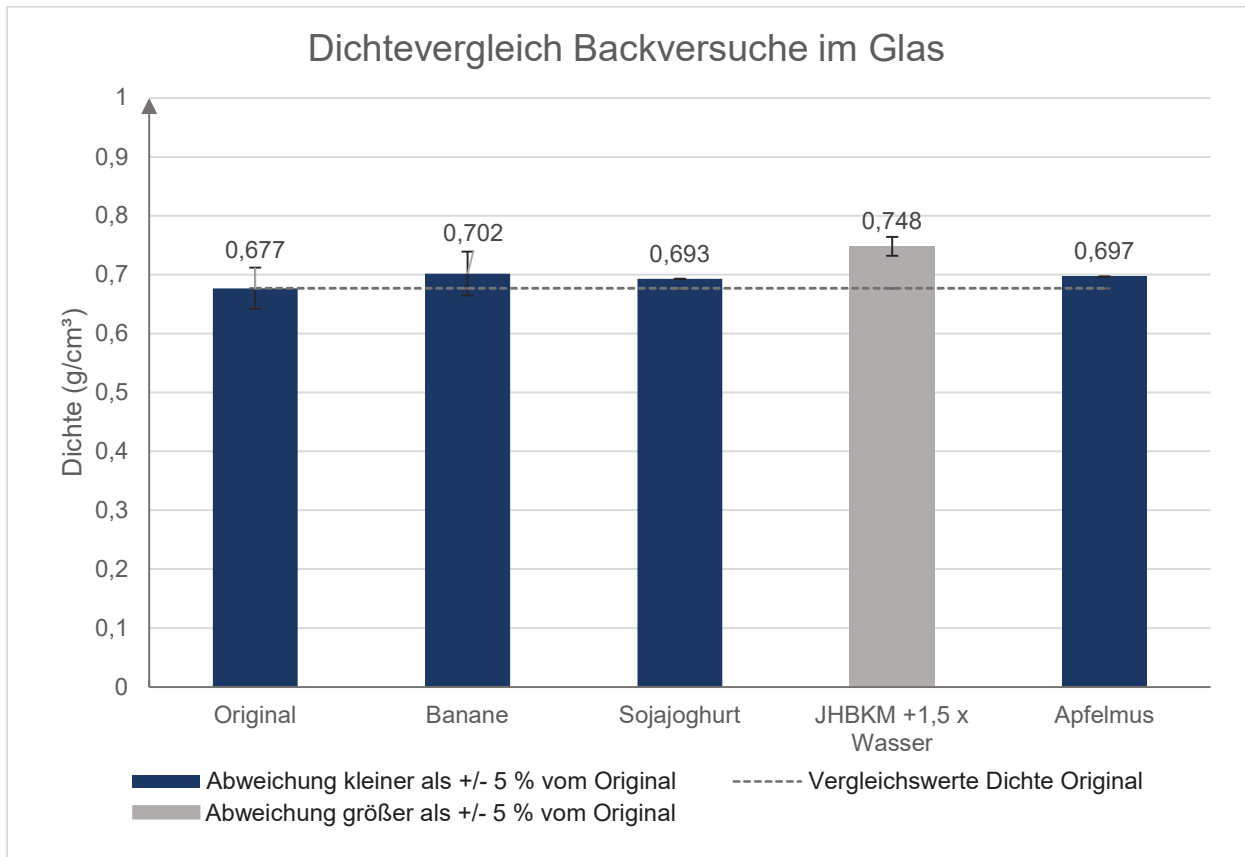
Beim Ei-Ersatz Banane ist das Bananenaroma auch dominant, jedoch hat es sehr gut zu der Zimt- und Haselnussnote gepasst. Alle anderen sensorischen Eigenschaften konnten auch als positiv angesehen werden.

Es ist zu erwähnen, dass die Unterschiede in der Dichte und in der Feuchtigkeit sensorisch nicht so stark auffällig sind, wie es teilweise in den Messwerten zu sehen ist.

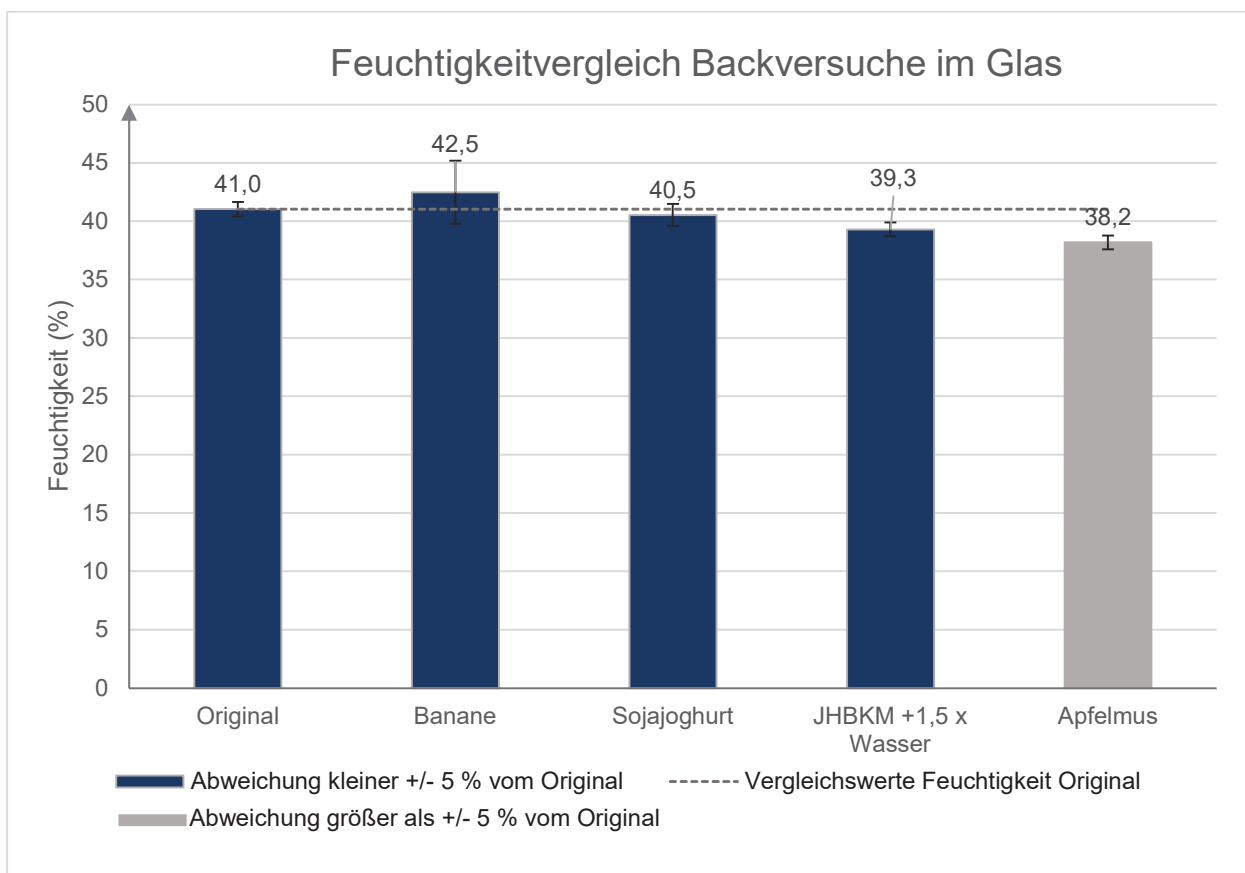
#### **4.1.2 Backversuche im Glas**

Die aus den Vorversuchen ermittelten Ei-Alternativen werden vor Beginn der Rezepturoptimierung im Glas gebacken, um zu ermitteln, ob die Rezepturänderungen auch hier nötig sind oder ob die Backmethode einen Einfluss auf Feuchtigkeit und Dichte hat. Die Gläser werden mit jeweils 100 g Teig befüllt. Anschließend wird der Kuchen bei 170 °C für 30 min gebacken.

Die Ergebnisse der Dichte- bzw. der Feuchtigkeitmessungen sind in **Abbildung 6** und **Abbildung 7** dargestellt. Auch wenn die Kuchen im Glas gebacken werden und die Messungen erst einen Tag nach dem Backen stattfinden, sind die Ergebnisse ähnlich der der Vorversuche. Die Dichte des Kuchens, der mit Johannisbrotkernmehl gebacken wird, ist zu hoch und die Feuchtigkeit des Kuchens mit Apfelmus zu gering. Bei Banane und alpro Natur als Ei-Alternative liegen beide untersuchten Eigenschaften im Bereich der Abweichung von  $\pm 5$  %. Die Werte der Feuchtigkeit bzw. der Dichte unterscheiden sich bei den unterschiedlichen Backformen minimal. Da die Unterschiede allerdings sowohl positiv als auch negativ sind, kann nicht eindeutig gesagt werden, inwieweit sich die Feuchtigkeit bzw. die Dichte der Produkte verändert, wenn sie im Glas gebacken werden. Die Unterschiede können aufgrund von Schwankungen in der Rezeptur entstanden sein.



**Abbildung 6: Dichtevergleich Backversuche im Glas**



**Abbildung 7: Feuchtigkeitsvergleich Backversuche im Glas**

### 4.1.3 Schlussfolgerungen der Vorversuche und weiteres Vorgehen

Mit Hilfe der Ergebnisse der Feuchtigkeitsmessungen, Dichtebestimmungen und der sensorischen Untersuchungen lassen sich die Ei-Alternativen für die weiteren Versuche ermitteln. Bis auf zwei Alternativen sind die anderen entweder zu kompakt oder zu trocken im Vergleich zur Originalrezeptur. Teilweise können auch sensorische Auffälligkeiten festgestellt werden, die zum Ausschluss der Alternativen führen.

#### Zusammenfassung der Ergebnisse der Feuchtigkeit, Dichte und Sensorik

Eine ähnliche Feuchtigkeit mit einer Abweichung von maximal  $\pm 5$  % zum Originalprodukt konnte von den Alternativen Chiasamen, Leinsamenmehl, der Ei-Ersatz von Nicol Gärtner und dem Mehlgemisch erzielt werden.

Bei der Dichte konnte, neben Banane und alpro Natur, lediglich mit Apfelmus als Ei-Ersatz ein ähnliches Produkt erzielt werden. Der Ei-Ersatz, der die nächstgeringere Abweichung vom Referenzprodukt im Vergleich zu den anderen Ei-Alternativen zeigte, war Johannisbrotkernmehl.

Sensorische Auffälligkeiten konnten bei den Chiasamen, dem Leinsamenmehl und dem Mehlgemisch festgestellt werden. Auch bei den Alternativen mit Apfelmus und Banane konnten andere Aromen wahrgenommen werden, jedoch sind diese nicht negativ aufgefallen und passten zu den anderen Komponenten. Die Chiasamen waren sowohl visuell als auch in der Textur wahrnehmbar. Das Leinsamenmehl hat die Farbe der Kuchen stark verdunkelt und auch im Geschmack konnte das nussige Leinsamenaroma deutlich wahrgenommen werden. Diese Unterschiede sind zwar nicht direkt negativ, allerdings haben sich die Produkte dadurch stark von einem Kuchen mit Ei unterschieden und konnten somit nicht mehr als ähnlich gewertet werden. Bei dem Mehlgemisch konnte aufgrund der erhöhten Menge an Backpulver eine starke Backpulvernote wahrgenommen werden.

#### Ei-Alternative Versuchsreihe A

Für die Versuchsreihe A, bei der die Dichte optimiert werden soll, ist es schwierig einen Ei-Ersatz zu ermitteln. Viele Alternativen brachten Produkte mit ähnlicher Feuchtigkeit aber zu hoher Dichte hervor. Allerdings wichen die meisten Alternativen sensorisch stark vom Original ab. Die einzige Alternative, die sensorisch akzeptable Ergebnisse hervorbrachte, war der handelsübliche Ei-Ersatz von Nicol Gärtner. Es wurde sich jedoch gegen diesen Ei-Ersatz entschieden, da zum einen eine großtechnische Anwendung hier nicht möglich ist und zum anderen die Dichte der Produkte stark von der Originalrezeptur abweicht. Damit trotzdem ein Ei-Ersatz für die Versuchsreihe A gefunden wird, wurde innerhalb der Vorversuchsreihe die Wassermenge der Ei-Alternative Johannisbrotkernmehl um das 50 % im Vergleich zur Ausgangsmenge erhöht. Bei dieser Alternative konnte eine geringere Dichte als bei den anderen Ei-Alternativen gemessen werden.

### Ei-Alternative Versuchsreihe B

Als Ei-Ersatz, bei dem in Versuchsreihe B die Feuchtigkeit erhöht werden muss, wurde Apfelmus gewählt, da es den einzigen Kuchen hervorgebracht hat, bei dem die Dichte, also die Lockerung, ähnlich zur Referenzrezeptur war.

### Ei-Alternativen Versuchsreihe D1 und D2 und Haltbarkeitsversuche

Bei den Ei-Alternativen Banane und alpro Natur waren die Dichte und die Feuchtigkeit ähnlich zur Originalrezeptur mit Ei. Bei diesen Ei-Alternativen funktionieren die vorgeschlagenen Mengenangaben für diesen Teig, weshalb sie für die Versuchsreihe D1 und D2 bzw. die Haltbarkeitsversuche ausgewählt wurden.

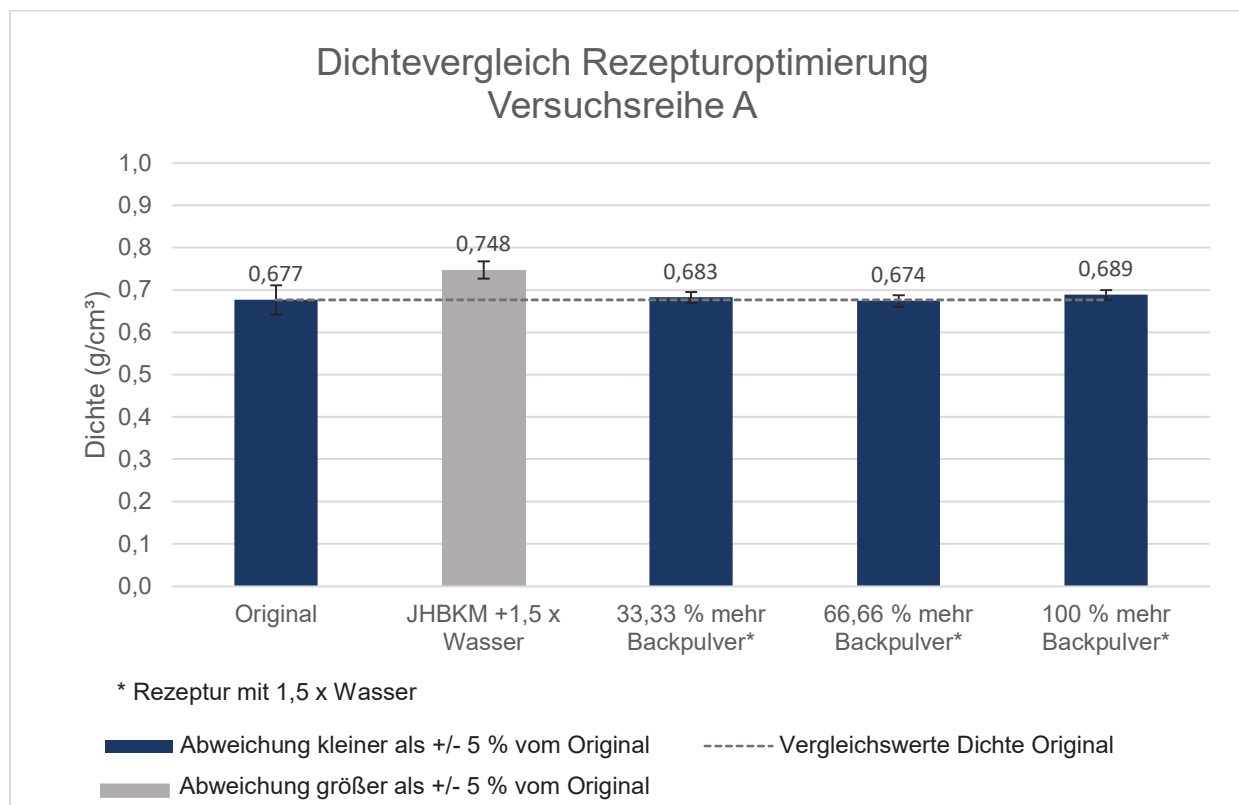
## 4.2 Hauptversuche

### 4.2.1 Versuchsreihe A

Die Versuchsreihe A wird mit der Ei-Alternative Johannisbrotkernmehl durchgeführt, bei der die vorgeschlagene Wassermenge um 50 % erhöht wurde. Hierbei handelt es sich um eine Ei-Alternative die weniger zur Lockerung als zur Wasserbindung beiträgt (Kuhnert, 2014). Um die Lockerung der Produkte zu verbessern wird die Backpulvermenge bei dieser Rezeptur schrittweise erhöht. Die Ergebnisse dieser Rezepturänderung sind in **Abbildung 8** dargestellt. Da hier die Flüssigkeitsmenge der Produkte nicht verändert wird, werden die Ergebnisse der Feuchtigkeitsmessung nicht weiter betrachtet. Eine Erhöhung der Backpulvermenge bewirkte eine bessere Lockerung der Ergebnisse. Die Unterschiede bezüglich des Volumens der Endprodukte zwischen den verschiedenen Backpulvermengen sind minimal, d.h. bei doppelter Backpulvermenge wird die gleiche Lockerung erzielt, wie bei einer Erhöhung um 33,33 %. Ab einer Backpulvermenge von 66,66% konnte eine Backpulvernote minimal wahrgenommen werden. Das kann als Fehl aroma eingestuft werden, das bei um 33,33 % erhöhte Backpulvermenge nicht aufgetreten ist, weshalb diese Rezeptur für die sensorischen Untersuchungen ausgewählt wurde.

Damit Johannisbrotkernmehl für diese Art Kuchen als Ei-Alternative verwendet werden kann und ähnliche Produkte wie mit der Originalrezeptur erzeugt, muss zum einen die Wassermenge von 6,6 % auf 9,7 % und zum anderen die Backpulvermenge von 0,3 % auf 0,4 % erhöht werden (vgl.

**Tabelle 4)**



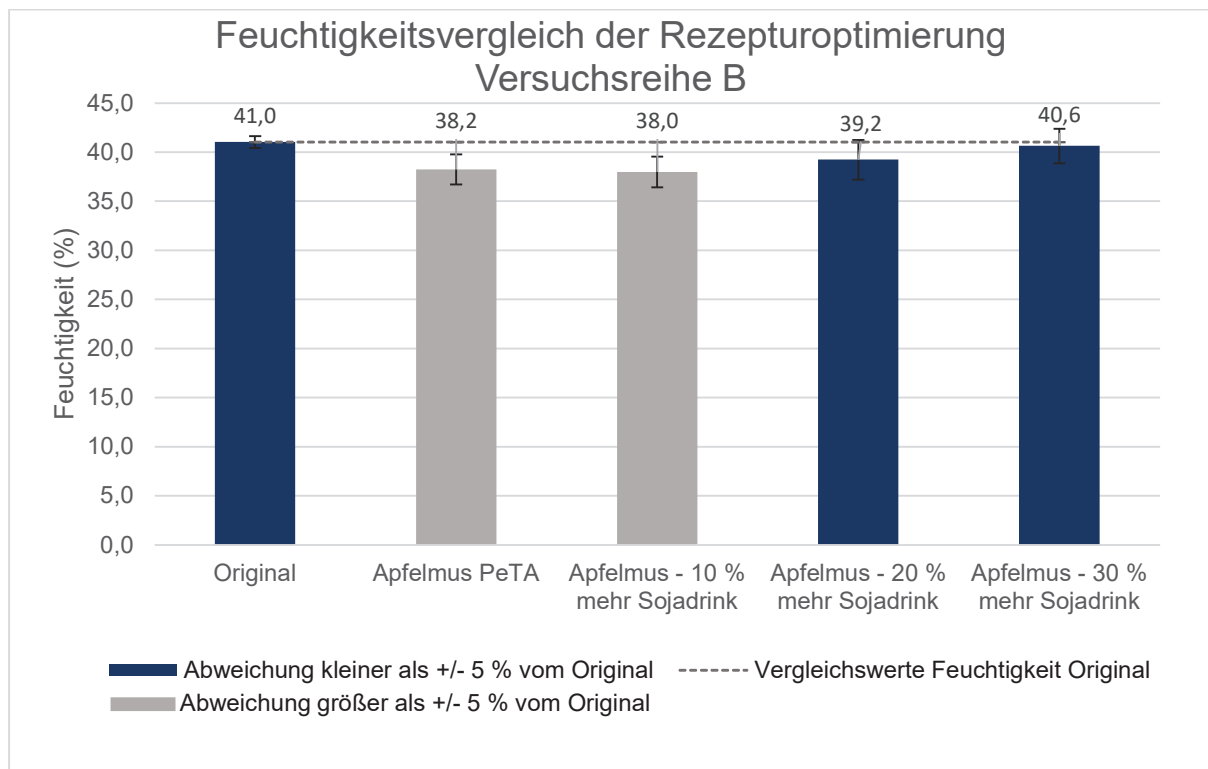
**Abbildung 8: Dichtevergleich der Rezepturoptimierung Versuchsreihe A**



#### 4.2.2 Versuchsreihe B

Bei der Versuchsreihe B wird die Rezeptur mit Apfelmus als Ei-Ersatz optimiert. Um die Feuchtigkeit an die der Referenzrezeptur anzupassen, wird die Pflanzendrinkmenge in der Rezeptur erhöht. Die Ergebnisse der Feuchtigkeitsbestimmung der angepassten Rezepturen sind in **Abbildung 9** dargestellt. Es kann kein Zusammenhang zwischen der Feuchtigkeitserhöhung und der Dichte der Produkte festgestellt werden, weshalb hier nur die Feuchtigkeit aufgeführt wird. Die Dichte der verschiedenen Produkte war annähernd gleichbleibend.

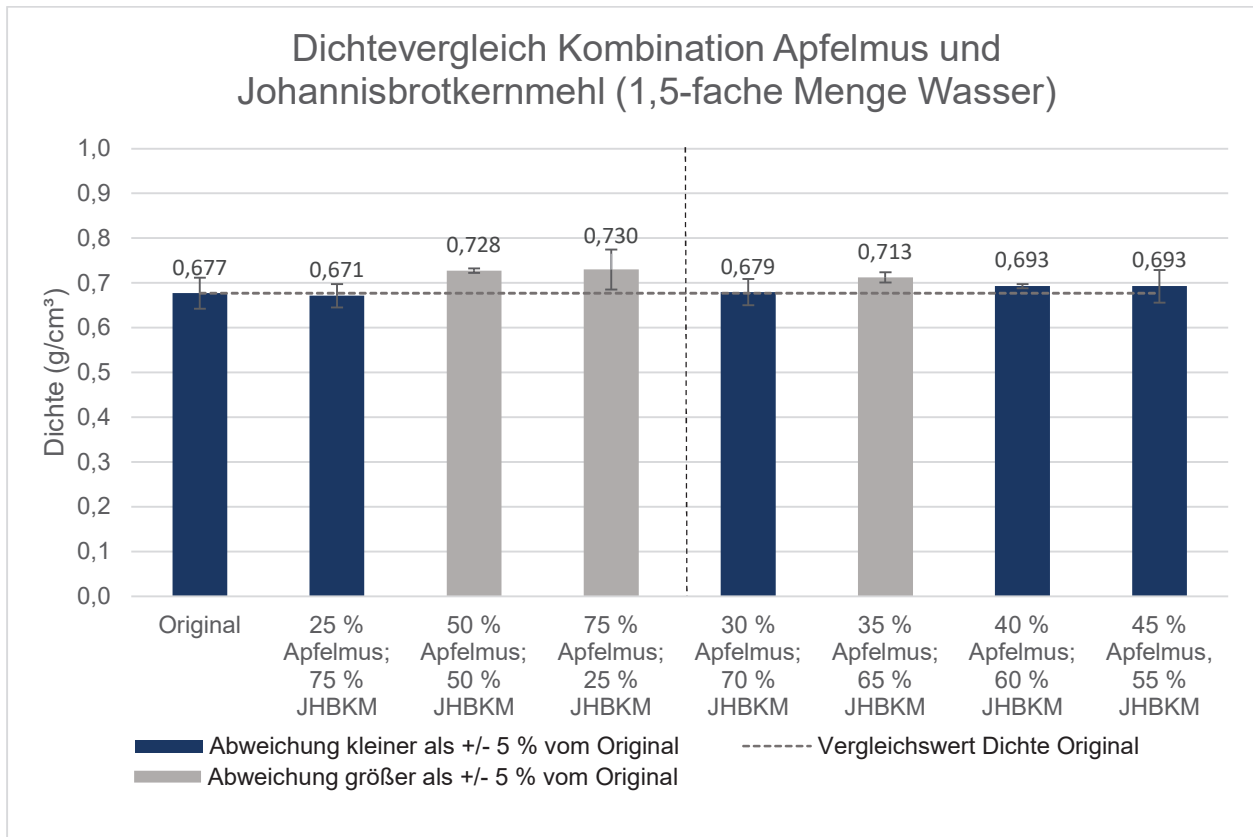
Das beste Ergebnis wird bei der Erhöhung der Pflanzendrinkmenge um 30 % erzielt. Bei dieser Menge liegt die Abweichung bei 0,9 % zum Referenzprodukt. Allerdings kann auch mit einer zusätzlichen Pflanzendrinkmenge von 20 % schon ein ähnliches Produkt mit einer Abweichung von 4,3 % erzielt werden. Diese Variante wäre kostengünstiger und wird deshalb bevorzugt. Der Anteil der Pflanzendrinkmenge sollte somit bei diesem Rezept auf 12,9 % erhöht werden (vgl. **Tabelle 5**).



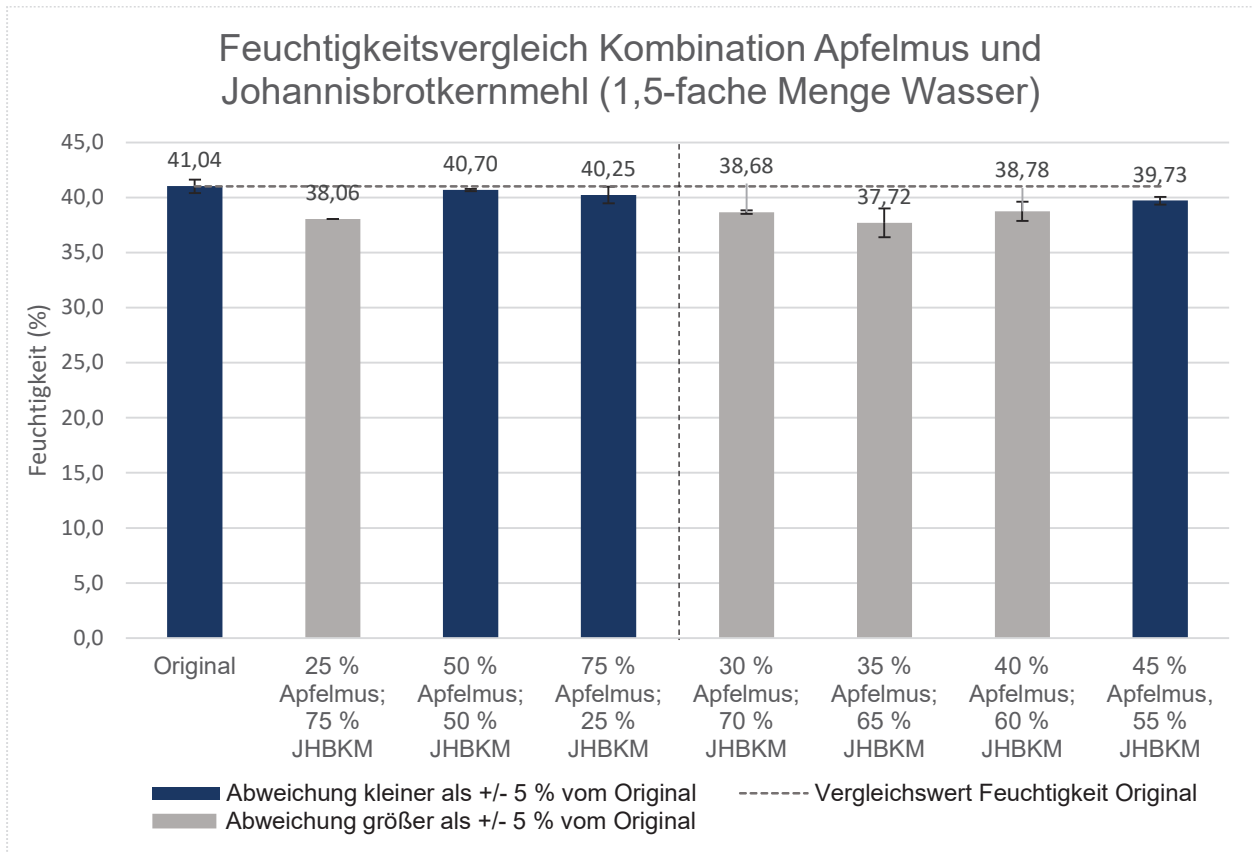
**Abbildung 9: Feuchtigkeitsvergleich der Rezepturoptimierung Versuchsreihe B**

### 4.2.3 Versuchsreihe C

Der Ei-Ersatz aus Johannisbrotkernmehl mit der 1,5-fachen Menge Wasser führt zu einem kompakteren Produkt, während die Feuchtigkeit der Kuchen, der der Referenzrezeptur ähnelt. Beim Ei-Ersatz Apfelmus ist hingegen die Feuchtigkeit zu gering und die Dichte ähnlich die der Referenzrezeptur. Die beiden Ei-Alternativen werden in verschiedenen Verhältnissen der Originalmengen miteinander kombiniert. Die Ergebnisse sind in **Abbildung 10** und **Abbildung 11** dargestellt.



**Abbildung 10: Dichtevergleich der Kombination von Apfelmus und Johannisbrotkernmehl (1,5-fache Menge Wasser)**



**Abbildung 11: Feuchtigkeitsvergleich der Kombination von Apfelmus und Johannisbrotkernmehl (1,5-fache Menge Wasser)**

Nachdem die ersten Versuche durchgeführt worden sind, konnte noch keine Rezeptur ein ähnliches Produkt hervorbringen. Bei 25 % der Apfelmusmenge und 75 % der Johannisbrotkernmehlmenge waren die Produkte noch zu trocken, während die Produkte mit 50 % von jedem Ei-Ersatz etwas zu kompakt waren. Deshalb werden in weiteren Versuchsreihen die Mengen dazwischen in 5 %-Stufen untersucht (**Tabelle 7**), bis ein Produkt entstanden ist, dass sowohl in der Dichte als auch in der Feuchtigkeit der Referenzrezeptur ähnelt. Dadurch kann ermittelt werden, dass 45 % der vorgeschlagenen Apfelmusmenge und 55 % der Johannisbrotkernmehlmenge und der erhöhten Wassermenge ein ähnliches Ergebnis in Hinblick auf die Feuchtigkeit und die Dichte erzielen. Somit kann die Rezeptur mit 0,18 % Johanniskernmehl, 5,35 % Wasser und 4,38 % Apfelmus verwendet werden. Allerdings konnten mit der Versuchsreihe A und B mit den beiden Ei-Alternativen Johannisbrotkernmehl und Apfelmus in verbesserter Rezeptur allein schon gute Ergebnisse erzielt werden, weshalb mit einem Kostenvergleich überprüft werden müsste, welche Variante am günstigsten ist.

Tabelle 7: Rezepturen Versuchsreihe C – Rezepturoptimierung

Zutaten	Rezeptur mit der Kombination von Ei-Ersatz 1 und Ei-Ersatz 2			
	Relative Mengen			
	30 % Apfelmus 70 % JHBKM (und Wasser)	35 % Apfelmus 65 % JHBKM (und Wasser)	40 % Apfelmus 60 % JHBKM (und Wasser)	45 % Apfelmus 55 % JHBKM (und Wasser)
<b>Streichfett 70 % Fett</b>	13,50	13,50	13,50	13,50
<b>Zucker</b>	11,90	11,90	11,90	11,90
<b>Salz</b>	0,20	0,20	0,20	0,20
<b>Vanillezucker</b>	0,40	0,40	0,40	0,40
<b>JHBKM</b>	0,23	0,21	0,19	0,18
<b>Wasser</b>	6,81	6,32	5,83	5,35
<b>Apfelmus</b>	2,92	3,40	3,89	4,38
<b>Mehl</b>	27,00	27,00	27,00	27,00
<b>Backpulver</b>	0,30	0,30	0,30	0,30
<b>Natron</b>	0,20	0,20	0,20	0,20
<b>Zimt</b>	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>Sojadrink</b>	10,80	10,80	10,80	10,80
<b>Gehobelte Haselnüsse</b>	6,80	6,80	6,80	6,80
<b>Mohrrüben</b>	18,90	18,90	18,90	18,90

#### 4.2.4 Versuchsreihe D und Haltbarkeitsversuche

In der Versuchsreihe D werden die Ei-Alternativen untersucht, bei denen die Rezeptur nicht mehr optimiert werden muss. Dies waren die Rezepte mit Banane und alpro Natur. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden in **Abbildung 6** dargestellt.

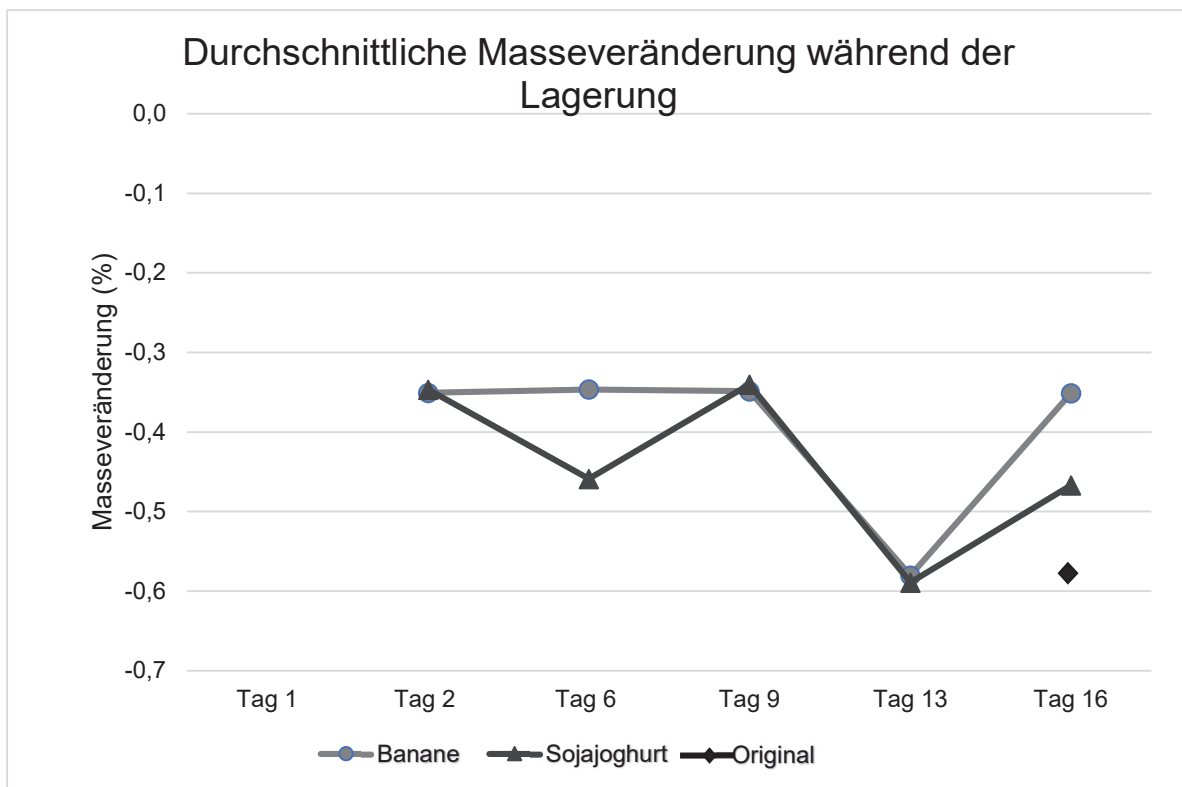
Verglichen mit der Originalrezeptur, die im Glas gebacken wurde, sind die Produkte in der Feuchtigkeit und in der Dichte ähnlich.

Mit diesen Rezepturen werden Kuchen im Glas gebacken, die für drei Wochen bei Raumtemperatur gelagert werden. Innerhalb dieser drei Wochen wird zweimal pro Woche die Masse und die Feuchtigkeit aller Kuchen bestimmt. Außerdem werden sie sensorisch beurteilt.

##### Masseveränderung

Um einen möglichen Masseverlust feststellen zu können, wird jeweils die Masse der Kuchen an den verschiedenen Messtagen bestimmt. In Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. werden die Masseverluste im Vergleich zur Anfangsmasse der jeweiligen Kuchen dargestellt. Sowohl bei den Kuchen mit Ei als auch bei dem Kuchen mit alpro Natur hat ein geringer Masseverlust während der Lagerung stattgefunden. Der Masseverlust bei dem Kuchen mit Banane als Ei-Ersatz war meistens konstant. Eine Ausnahme bildet Tag 13 mit 0,58 % Masseverlust.

Bei der Rezeptur mit alpro Natur sind die Masseverluste nicht so gleichbleibend wie bei der mit Banane. An Tag 2 und an Tag 9 sind die Masseverluste bei den Rezepturen mit Banane und alpro Natur im Vergleich zur Anfangsmasse am Tag 1 gleich. Der größte Masseverlust bei beiden Produkten ist an Tag 13 gemessen worden. Da bei beiden Produkten der Verlust an diesem Tag ähnlich stark absinkt und dann wieder geringer wird, kann vermutet werden, dass dieser Unterschied mit der Messmethode zusammenhängt. Die sichtbaren Schwankungen sind relativ zu sehen, da zwischen den Werten lediglich 0,25 % Unterschied liegen. Der größte Masseverlust am Ende der Lagerung konnte beim Original mit Eiern festgestellt werden. Am wenigsten Masse hat der Kuchen mit Banane verloren.



**Abbildung 12: Masseveränderung während der Lagerung**

### Feuchtigkeit und sensorische Veränderungen

Die Ergebnisse der Feuchtigkeitsmessung, als einer der entscheidenden Faktoren der Frischhaltung, werden in **Tabelle 8** verglichen. Für die Untersuchungen wird an jedem Messtag ein neues, noch verschlossenes Glas verwendet. Damit kann auch erklärt werden, warum die Feuchtigkeit bei manchen Messungen wieder steigt. Auffällig ist, dass die Feuchtigkeit am Tag 2 im Vergleich zu Tag 1 gestiegen ist. Am Backtag selbst hat sich am Glas und am Deckel Kondenswasser abgesetzt. Dieses ist am Tag 2 in den Kuchen eingezogen, womit sich die höhere Feuchtigkeit erklären lässt. Die größte Differenz in der Feuchtigkeit ist bei beiden Varianten zwischen Tag 2 und Tag 6 zu messen, sodass sich vermuten lässt, dass zu Beginn der Lagerung noch die meiste Flüssigkeit verloren geht und dann die Werte relativ ähnlich bleiben.

Bei den meisten Messungen wird beim Kuchen mit alpro Natur eine höhere Feuchtigkeit gemessen als beim Produkt mit Banane. Beim Vergleichsprodukt mit Eiern wird nur am ersten und am 16. Tag eine Messung durchgeführt. Mit 29,4 % Feuchtigkeit ist dieser Kuchen nach 16 Tagen Lagerung am trockensten. Der Kuchen mit Banane hatte zu diesem Zeitpunkt eine Feuchtigkeit von 30,99 % und der mit alpro Natur eine Feuchtigkeit von 33,97%.

Ab Tag 6 werden die Kuchen immer trockener und krümeliger, v.a. im Vergleich zum frischen Produkt. Außerdem werden die Produkte immer fester und auch beim Mundgefühl immer kompakter. Geruch und Geschmack können bis zu Tag 16 als intensiv und unverändert wahrgenommen werden.

Am Tag 20 können so starke Veränderungen wahrgenommen werden, dass die Produkte als verdorben eingestuft werden konnten. Dazu gehören süß-säuerliche Fehlgerüche im Geruch und eine eher schleimige Fadenbildung beim Auseinanderziehen der Kuchen. Aufgrund dieser Fadenbildung (siehe **Digitaler Anhang: Anlage 12 und 13**) werden diese Produkte nicht mehr verkostet und der Lagerungsversuch abgebrochen. Bei der Rezeptur mit Ei konnte der Fehlgeruch am intensivsten wahrgenommen werden. Außerdem ist die Fadenbildung deutlicher, als bei den anderen Kuchen und innerhalb des Kuchens waren schleimige Stellen ersichtlich.

Tabelle 8: Sensorische Eigenschaften und Feuchtigkeit während der Lagerung

Tag	Banane			alpro Natur		
	Optik	Feuchte	Sensorik	Optik	Feuchte	Sensorik
1	Kondenswasser noch sichtbar, sowohl am Deckel als auch am Rand	35,71 34,27	intensiver GS und GR, feuchte Krume, aber nicht matschig, feste, aber nicht krosse Kruste	Kondenswasser sichtbar	37,51 39,11	intensiver GS und GR, weich, leicht klebrig, etwas kompakt, aber Porung sichtbar
	Mittelwert	34,99		Mittelwert	38,31	
	Standardabweichung	0,72		Standardabweichung	0,80	
2	i.O., kein Kondenswasser	39,19 41,32	intensiver GS und GR, weich, etwas kompaktes Mundgefühl, aber trotzdem locker	i.O., kein Kondenswasser	41,48 39,6	intensiver GR (Zimt, Haselnuss), intensiver GS (Haselnuss), leicht klebrig, etwas kompakt, aber Porung sichtbar
	Mittelwert	40,26		Mittelwert	40,54	
	Standardabweichung	1,07		Standardabweichung	0,94	
6	i.O., kein Kondenswasser	33,1 30,61 30,59	krümelig, intensiver GS und GR, weich, nicht trocken, aber auch nicht so feucht wie am Anfang	i.O., kein Kondenswasser; Rand dunkler Rand (Fett)	37,06 35,27	intensiver GR und GS (weniger als Banane), krümelig, weich, nicht trocken, aber auch nicht so feucht wie am Anfang
	Mittelwert	31,43		Mittelwert	36,17	
	Standardabweichung	1,18		Standardabweichung	0,90	
9	i.O., Fetttröpfchen am Rand	32,04 32,11	Fest, innen feucht, intensiver GS und GR (Banane), kompakt, nicht krümelig	Tropfen am Rand = Fetttröpfchen, i.O.	33,63 33,98	Fest, innen noch feucht, intensiver GR und GS, nicht trocken, krümelig, kein Unterschied zu Tag 6
	Mittelwert	32,08		Mittelwert	33,81	
	Standardabweichung	0,04		Standardabweichung	0,17	
13	i.O., kein Kondenswasser	31,01 28,37 29,68	fest, krümelig, intensiver GR und GS, leicht trocken	i.O., Fetttröpfchen am Rand,	36,3 32,13	intensiver GR und GS, weicher und feuchter als Banane
	Mittelwert	29,69		Mittelwert	34,22	
	Standardabweichung	1,08		Standardabweichung	2,09	

Tag	Banane			alpro Natur		
	Optik	Feuchte	Sensorik	Optik	Feuchte	Sensorik
16	i.O., kein Kondenswasser (Fetttröpfchen am Rand)	29,37 32,6	intensiver GR, GS; Fest, krümelig, leicht trocken	i.O. Fetttröpfchen am Rand,	33,59 34,34	intensiver GR und GS, weicher als Banane, feuchter als Banane
	Mittelwert	30,99		Mittelwert	33,97	
	Standardabweichung	1,62		Standardabweichung	0,38	
20	kein Kondenswasser, klebrig feuchte Stelle im Inneren, zieht Fäden beim Auseinanderziehen	34,34 33,37	intensiver GR, leichter Fremdgeruch, aufgrund Fadenbildung nicht verkostet, krümelig, klebrige Stelle im Inneren	kein Kondenswasser, leichte Fadenbildung	29,39 34,70 30,26	intensiver GR, leichter Fremdgeruch, krümelig, aufgrund Fadenbildung nicht verkostet
	Mittelwert	33,86		Mittelwert	31,45	
	Standardabweichung	0,49		Standardabweichung	2,33	

### Festigkeit

Am Ende der Lagerung (nach 16 Tagen) wird die Festigkeit der restlichen Kuchen mit Hilfe eines Penetrometers mit einem Standardkonus untersucht. Das Gesamtgewicht von Prüfkörper und Fallstab, mit dem der Kuchen für 5 s belastet wird, beträgt 150 g. Die Ergebnisse sind in **Tabelle 9** dargestellt. Es kann nicht wie geplant der übliche Prüfkörper für Backwaren verwendet werden, da dieser eine zu geringe Masse hat und so aufgrund der Form einer Halbkalotte nicht ausreichend in den Kuchen eindringen kann.

Mit einem Mittelwert von 4,43 mm Eindringtiefe ist der Kuchen mit alpro Natur nach der Lagerung am festesten. Der Kuchen mit Eiern ist minimal weicher und der mit Bananen ist am weichsten. Die Masse der normalerweise verwendeten Prüfkombination war zu gering, sodass der Prüfkörper nicht in die Kuchen eindringen konnte. Bei der Verkostung der Produkte während der Lagerung konnte festgestellt werden, dass die Kuchen fester werden, was vermuten lässt, dass die für Gebäcke normalerweise verwendete Prüfkombination nicht ausreichend ist. Bei der verwendeten Kombination handelt es sich um ein Metallkonus mit Spitze, der sich nicht nur in der Form, sondern auch in der Masse von der normalerweise für Gebäck verwendeten Prüfkombination unterscheidet. Allerdings kann sich die Porung auf die Messung ausgewirkt haben, weil die Spitze des Prüfkörpers dadurch tiefer in das Produkt eindringen kann. So sind auch die hohen Werte innerhalb der Messungen erklärbar. Da die Kuchen mit Banane auch die größte Standardabweichung und Varianz haben, lässt sich vermuten, dass der hohe Mittelwert aufgrund der abweichend



hohen Messungen 2.2 und 3.3 entstanden ist und die Festigkeit ähnlich der Produkte mit Eiern und alpro Natur ist.

**Tabelle 9: Ergebnisse der Penetrometermessung**

Messung	Eindringtiefe		
	Original	Banane	alpro Natur
1.1	3,25	6,22	3,7
1.2	3,52	5,13	3,63
1.3	4,82	3,7	2,7
1.4	6,23	3,08	4,4
1.5	5,11	4,53	7,13
2.1	5,66	4,87	4,08
2.2	4,72	7,65	5,88
2.3	3,01	6,58	3,67
2.4	4,47	3,04	5,66
2.5	6,23	4,81	4,36
3.1	3,52	4,46	5,28
3.2	4,13	4,57	3,04
3.3	4,25	8,25	5,74
3.4	5,16	3,14	4,3
3.5	5,44	5,32	2,83
<b>Mittelwert</b>	4,63	5,02	4,43
<b>Standardabweichung</b>	1,10	1,53	1,23
<b>Varianz</b>	0,24	0,30	0,28

## 4.2.5 Ergebnisse sensorische Untersuchung

### 4.2.5.1 Grundlagen der sensorischen Untersuchung

Die sensorischen Untersuchungen wurden am 17.12.2019 von 12:00-13:30 in einem standardisierten Prüflabor (DIN EN ISO 8589) durchgeführt.

Das Prüfpanel, bestehend aus 15 in den Grundlagen der sensorischen Untersuchung geschulten Teilnehmer\*innen, nahm an beiden Prüfungen hintereinander teil.

Es wurden sechs verschiedene Proben hintereinander verkostet. Dabei handelt es sich um die Originalrezeptur mit Ei, die optimierten Rezepturen der Ei-Alternative Apfelmus und Johannisbrotkernmehl (Versuchsreihe A und B), die optimierte Rezeptur der Kombination aus Apfelmus und Johannisbrotkernmehl (Versuchsreihe C) und die Rezepturen mit den Ei-Alternativen Banane und alpro Natur (Versuchsreihe D). Die Proben wurden hinsichtlich Farbe, Form, Geruch, Geschmack und Textur bzw. Konsistenz mit selbstgewählten Attributen beschrieben und anschließend mit Hilfe einer hedonischen 9-Punkte-Skala bewertet.

Die Temperatur im Labor betrug 20,1 °C bei einer Luftfeuchtigkeit von 60 %. Es wurde bei Tageslicht, welches eingestellt wurde, verkostet. Für die Prüfungen erhielt jede Prüfperson jeweils ein Viertel Stück (ca. 20 g) vom Kuchen, der am Vortag im Glas gebacken wurde.

### 4.2.5.2 Einfach beschreibende Prüfung

Die meisten Beschreibungen wurden für die Farbe und den Geschmack gefunden. Am wenigsten Beschreibungen wurden für den Geruch und die Textur gefunden. Das Produkt, bei dem die meisten Attribute angegeben wurden, ist der Kuchen mit Banane als Ei-Ersatz. Das mit den wenigsten Attributen ist die Originalrezeptur mit Eiern. Die Rohdaten wurden dem **digitalen Anhang Anlage 14-19** angefügt und in **Tabelle 10** zusammengefasst. Die Auswertungen der Häufigkeiten der Attribute zu einer Rubrik können im Anhang eingesehen werden. Alle Rohdaten und Auswertungen sind im **Anlage 4 - Anlage 8** beigefügt.

Tabelle 10: Beschreibungen der verschiedenen Kuchen

	Original	Banane	alpro natur	Apfelmus	JHBKM	JHBKM & Apfelmus
<b>Farbe</b>	helle Bräunung	dunkle Bräunung	helle Bräunung	dunkle Bräunung	helle Bräunung	dunkle Bräunung
	helle Krume	helle Krume	helle Krume	helle Krume	helle Krume	helle Krume
	orange-gelb	orange-gelb	orange-gelb	orange-gelb	orange-gelb	orange-gelb
$\Sigma$ Attribute	30	46	41	36	37	35
<b>Form</b>	gleichmäßig	ungleichmäßig	ungleichmäßig	gleichmäßig	gleichmäßig	gleichmäßig
	stückig (Möhren- und Nussstücke)	stückig (Möhren- und Nussstücke)	stückig (Möhren- und Nussstücke)	stückig (Möhren- und Nussstücke)	stückig (Möhren- und Nussstücke)	stückig (Möhren- und Nussstücke)
	unregelmäßige Porung	unregelmäßige Porung	unregelmäßige Porung	unregelmäßige Porung	gleichmäßige Porung	gleichmäßige Porung
					kompakt	kompakt
$\Sigma$ Attribute	33	32	36	31	34	36
<b>Geruch</b>	süßlich	süßlich	süßlich	süßlich	süßlich	süßlich
	nussig	nussig	nussig	nussig	nussig	nussig
	zimtig	zimtig	zimtig	zimtig	zimtig	zimtig
	teigig	Möhre	Möhre	Möhre	Möhre	teigig
		teigig	teigig	teigig		
		Banane				
$\Sigma$ Attribute	29	46	31	31	32	24
<b>Geschmack</b>	Süß	Süß	Süß	Süß	Süß	Süß
	Nussig	Nussig	Nussig	Nussig	Nussig	Nussig
		Zimt/würzig	Zimt	Zimt/würzig	Zimt	Zimt
		Banane	Möhre	Möhre	Möhre	Möhre
		Möhre		Apfelnote	mild	Apfel
				teigig		weniger süß
$\Sigma$ Attribute	26	42	39	42	33	38
<b>Textur/ Konsistenz</b>	stückig (Nussstücke)	stückig (Nussstücke)	stückig (Nussstücke)	stückig (Nussstücke)	stückig (Nussstücke)	stückig (Nussstücke)
	trocken	saftig	saftig	saftig	saftig	saftig
	weich	weich	weich	weich	weich	fest
		klebrig	klebrig	klebrig	klebrig	klebrig
			ballend		locker	
$\Sigma$ Attribute	30	35	32	31	35	34
$\Sigma$ aller Attribute	148	201	179	171	171	167

### Originalrezeptur

Die Originalrezeptur wurde mit insgesamt 148 Beschreibungen versehen. Mit 17,6 % aller Beschreibungen wurde der Geschmack am wenigsten differenziert. Ursache dabei kann sein, dass sich eine Prüfperson vegan ernährt und diese somit auch das Produkt nicht verkostet hat. Mit 22,3 % wurden die meisten Attribute für die Form gefunden. Insgesamt ist die Anzahl der Attribute jedoch relativ ausgeglichen, was durch die Gerade der spezifischen Verteilungsfunktion in **Anlage 4** verdeutlicht wird. Das zeigt, dass das Produkt durch alle Merkmale beschrieben wird und keins das Produkt genauer beschreibt als die anderen.

Das Produkt wurde am meisten als hellbraun bis braun und orange beschrieben. Außerdem wurden die Farben cremefarben, gräulich und gelblich genannt. Das zeigt, dass die Farbe des Produktes nicht einheitlich ist, was zum einen mit der dunkleren Backfarbe am Rand und zum anderen mit den verschiedenen Komponenten im Teig (Mohrrüben, Nüsse) erklärt werden kann. Durch die Mohrrüben kommt die orangene bzw. gelbliche Farbe in der Krume zu Stande. Diese sind aber nicht immer gleichmäßig im Teig verteilt, weshalb auch gräuliche bzw. beige Farben wahrgenommen werden konnten.

Zur Form wurde bei diesem Produkt auch die Porung der Kuchen hinzugezählt. Diese wurde von den verschiedenen Prüfpersonen unterschiedlich wahrgenommen und teilweise als feinporig, grobporig und auch mittelgrob beschrieben. Außerdem waren Möhrenraspeln und Nussstückchen erkennbar. Die Form der Kuchen wurde oft als gleichmäßig beschrieben.

Eine häufig im Geruch wahrgenommene Note war, wie in allen Produkten, Nuss. Der Geruch wurde aber auch als süß, zimtig und typisch beschrieben. Außerdem wurden auch Attribute wie teigig und frisch genannt.

Die am häufigsten genannten Attribute beim Geschmack sind süß und nussig. Die im Geruch öfter wahrgenommene Zimtnote wurde im Geschmack nur noch von einer Prüfperson wahrgenommen. Außerdem wurde der Geschmack als teigig, frisch und mild beschrieben. Eine Prüfperson hat eine bananenartige Note wahrgenommen. Im Gegensatz zu allen anderen Proben wurde bei der Referenzrezeptur mit Ei weder im Geruch noch im Geschmack eine Möhrennote wahrgenommen.

Das meist genannte Attribut bei der Textur bzw. Konsistenz war trocken. Dieses Attribut wurde vermutlich so häufig gewählt, weil andere Proben feuchter bzw. matschiger waren. Außerdem wurde die stückige Konsistenz durch die gehobelten Haselnüsse, die einen Durchmesser von 5-10 mm hatten, besonders häufig wahrgenommen. Der Kuchen wurde auch als weich, locker und elastisch beschrieben.

### Ei-Ersatz Banane

Die Kuchen, die mit Banane gebacken wurden, wurden mit insgesamt 201 Attributen beschrieben. Davon wurden die meisten Attribute mit je 22,9 % für die Farbe und den Geruch gefunden und die wenigsten mit 15,9 % für die Form. Es wurden häufiger dieselben Attribute von verschiedenen Prüfpersonen genannt als bei der Originalrezeptur. So wurde bei der Farbe besonders häufig festgestellt, dass der Kuchen außen dunkelbraun ist und innen hellbeige bzw. cremefarben, orange, gräulich und gelblich. Die Färbung der „Kruste“ wurde dabei häufig als gleichmäßig beschrieben, während die Farbe der Krume auch durch die enthaltenen Stückchen und Möhrenraspeln eher als inhomogen beschrieben wurde.

Bei der Form der Kuchen wurde die Oberfläche häufig als ungleichmäßig bzw. uneben beschrieben. Die Porung ist gleichmäßig und teilweise großporig. Die Krume ist eher inhomogen, da Nussstückchen und Möhrenraspeln enthalten sind.

Die Attribute nussartig, zimtig und süßlich sind auch hier die meist genannten Beschreibungen im Geruch. Zusätzlich dazu wurde auch eine Möhrennote wahrgenommen. Die Kuchen wurden auch als aromatisch im Geruch bzw. würzig beschrieben. 13 % der Prüfpersonen konnten eine Bananennote wahrnehmen. Außerdem wurde der Geruch als teigig und fruchtig beschrieben. Beim Geschmack überwiegen die süße, nussige, zimtige, Bananen- und die Möhrennote. Der Geschmack wurde als Kombination aus einer süßen, nussigen und zimtigen Note beschrieben. Außerdem wurden Bananen und Möhren wahrgenommen.

Die Textur wurde hauptsächlich als stückig und weich beschrieben. Außerdem als klebrig, feucht und saftig.

### Ei-Ersatz alpro Natur

Der Kuchen mit alpro Natur als Ei-Substitut wurde insgesamt mit 179 Attributen beschrieben. Davon wurden mit 22,9 % die meisten Attribute für die Farbe und mit 17,3 % die wenigstens Attribute für den Geschmack gefunden.

Gerade bei der Farbe wurden viele Attribute von mehreren Prüfpersonen genannt. So wurde der Kuchen als hellbraun am Rand und gelblich-orange und hellbeige bzw. gräulich im Inneren beschrieben. Außerdem waren dunkle Schalenteile zu erkennen.

Wie auch bei den anderen Kuchen wurde bei der Beschreibung der Form häufig das Attribut stückig genannt. Es waren sowohl die Möhrenraspeln als auch die Nussstücke zu erkennen. Die Porung war feinporig mit vereinzelt größeren Poren. Die Kuchen zeigten teilweise eine feuchte Stelle im Inneren. Außerdem wirken die Kuchen eher fest. Die Kruste wurde als eher unregelmäßig beschrieben.

Beim Geruch waren, wie bei den anderen Kuchen auch, die Attribute süßlich und nussartig die am häufigsten genannten Attribute. Außerdem konnten eine Zimtnote und eine Möhrennote wahrgenommen werden. Der Geruch war typisch teigig.

Wie beim Geruch wurden auch beim Geschmack die Attribute süß, nussartig und zimtig am häufigsten genannt. Die Möhrennote konnte teilweise auch wahrgenommen werden. Der Geschmack wurde als intensiv bzw. aromatisch und würzig beschrieben. Eine Versuchsperson hat die eher getreidige Note von Soja herausgeschmeckt.

Die Textur der Kuchen wurde häufig als klebrig beschrieben. Außerdem wurden die Attribute stückig und weich genannt. Beim Kauen ballt der Kuchen etwas im Mund.

#### Ei-Ersatz Apfelmus

Die Kuchen, die mit Apfelmus gebacken wurden, wurden mit 171 Attributen beschrieben. Die meisten Attribute wurden hier mit 24,6 % für den Geschmack gefunden und die wenigsten Attribute mit jeweils 18,1 % für die Form, den Geruch und die Textur.

Die Farbe außen wurde als etwas dunkelbraun beschrieben. Innen waren die Kuchen gelblich-orange. Auch hier waren die Möhren- und Nussstückchen zu erkennen. Die Form der Kuchen wurde als gleichmäßig beschrieben. Auch wenn die Porung, wie bei den anderen Kuchen, als feinporig mit teilweise großen Poren beschrieben wurden, wurden sie häufiger mit dem Attribut kompakt beschrieben.

Beim Geruch war die nussige Note am dominantesten und wurde von der süßen und zimtigen Note unterstützt. Auch das Möhrenaroma wurde wahrgenommen. Der Geruch dieser Kuchen wurde häufig auch als teigig beschrieben.

Dieselben Attribute wie beim Geruch wurden auch beim Geschmack wahrgenommen. Die Kuchen wurden auch als fruchtig und frisch beschrieben und eine Apfelnote konnte teilweise wahrgenommen und identifiziert werden.

Die Textur der Kuchen wurde als saftig, stückig und weich beschrieben. Außerdem wurde sie als leicht klebrig bezeichnet.

#### Ei-Ersatz Johannisbrotkernmehl

Die Kuchen mit Johannisbrotkernmehl als Ei-Alternative wurden mit insgesamt 171 Attributen beschrieben. Hier ist die Verteilung der Attribute auf die verschiedenen Merkmale am ausgeglicheneren, da die empirische Verteilungsfunktion eine Gerade bildet und mit der Trendlinie übereinstimmt. Die meisten Attribute wurden mit 21,6 % für die Farbe gefunden und die wenigsten mit 18,7 % für den Geruch.

Bei der Farbe wurden fast alle gefundenen Attribute mehrfach genannt. Demnach ist der Rand der Kuchen eher hellbraun und Innen überwiegen die Farben Orange und Gelb, aber auch Beige und Grau.

Die Porung der Kuchen war gleichmäßig feinporig und kompakt. Durch die sichtbaren Nussstückchen und Möhrenraspeln wurden die Kuchen mit dem Attribut stückig beschrieben. Das Erscheinungsbild der Kuchen war eher feucht als trocken.

Beim Geruch überwiegen dieselben Noten wie in den anderen Kuchen auch. So wurde der Geruch eher als süßlich, nussartig, zimtartig und möhrenartig beschrieben. Außerdem wurde der Geruch auch als teigig beschrieben.

Beim Geschmack überwiegt die nussige Note, aber auch die zimtige Note, die Süße und die Möhrennote wurde wahrgenommen. Der Geschmack wurde als eher mild und weniger süß als andere Kuchen wahrgenommen.

Bei der Textur sind am meisten die Stückchen aufgefallen. Die Kuchen waren weich, locker und saftig und außerdem leicht klebrig.

#### Ei-Ersatz Johannisbrotkernmehl & Apfelmus

Die Kuchen aus Versuchsreihe C, bei der Johannisbrotkernmehl mit Apfelmus kombiniert wurde, wurden mit insgesamt 167 Attributen beschrieben. Davon wurden meisten Attribute mit 21,6 % für die Form gefunden und die wenigsten Attribute mit 14,4 % für den Geruch.

Die Farbe des Randes wurde zwischen hellbraun und dunkelbraun eingeordnet. Außerdem waren die Kuchen gleichmäßig gebräunt. Im Inneren sind die Kuchen gelblich und orange.

Die Krume der Kuchen ist feinporig und stückig. Die Nussplitter und Möhrenraspeln waren sichtbar. Die Kruste der Kuchen wurde häufig als glatt beschrieben. Die Kuchen wurden außerdem als kompakt beschrieben.

Beim Geruch der Kuchen überwog die Nussnote, gefolgt von der Süße, dem teigigen Geruch und der zimtigen Note. Im Vergleich zu den anderen Proben wurde die Möhrennote nur selten genannt.

Im Gegensatz zum Geruch, wurde die Möhrennote geschmacklich häufiger wahrgenommen. Weiterhin wurden die Attribute nussartig, zimtartig und apfelartig genannt. Auch das Attribut süßlich wurde genannt, allerdings scheint die Süße in diesen Kuchen etwas geringer zu sein als bei den anderen Kuchen.

Die Textur der Kuchen wurde als klebrig, fest, stückig und saftig beschrieben. Allerdings wurden die Kuchen auch mit dem Attribut weich beschrieben.

### Vergleich der Kuchen

Allgemein kann gesagt werden, dass die Kuchen sich in vielen Attributen ähnlich waren. So wurde sowohl beim Geschmack und beim Geruch die süße, nussartige und zimtige Note wahrgenommen, die vom Möhrenaroma unterstützt wurden. Die Farbe der Krume war immer gelblich-orange. Die Farbe der Kruste variierte von hellbraun zu dunkelbraun. Auffällig war, dass die Ei-Alternativen, die den Zuckergehalt natürlich erhöhen (Banane und Apfelmus) als eher dunkel beschrieben wurde. Das lässt vermuten, dass die enthaltene Fructose die Maillard Reaktion bzw. die Karamellisierung beim Backen verstärkt. Bei der Textur wurde immer das Attribut stückig genannt, das hauptsächlich mit den enthaltenen Nusssplintern zu erklären ist. Auffällig war, dass das Originalrezept mit Eiern häufig als trocken beschrieben wurde, während die Kuchen mit den Ei-Alternativen eher feucht waren. Teilweise wurden die Ei-Alternativen als zu feucht beschrieben bzw. waren in der Krume noch feuchte Stellen, die vermuten lassen, dass die Backzeit nicht immer ausreichend war.

Die Verteilung der Attribute auf die verschiedenen Produktmerkmale ist annähernd gleichmäßig, beschrieben werden kann was an der empirischen Verteilungsfunktion erkennbar ist. Daraus lässt sich schließen, dass für die Beschreibung alle Merkmale von Bedeutung sind und die Produkte nicht mit einem Attribut spezifischer.

#### **4.2.5.3 Hedonische Prüfung**

Die Beliebtheit der verschiedenen Proben wurde von denselben Personen bewertet, die auch die Produkte beschrieben haben. Die Bewertung erfolgte auf einer hedonischen 9-Punkte Skala. Betrachtet man die Mittelwerte der Bewertungen (siehe **Tabelle 11**) würde man vermuten, dass die Produkte mit Banane und alpro Natur am beliebtesten sind, dicht gefolgt vom Produkt mit der Kombination aus Johannisbrotkernmehl und Apfelmus. Die Produkte mit Johannisbrotkernmehl und Apfelmus als einzelne Ei-Alternativen scheinen weniger beliebt zu sein. Das Produkt, das mit Eiern gebacken wurde, scheint am unbeliebtesten zu sein.



Tabelle 11: Rohdaten hedonische Prüfung

k=15		Probennummer											
Note	Prädikat	Original 141		Banane 583		alpro Na- tur 854		Apfelmus 328		JHBKM 643		JHBKM & Apfelmus 276	
		absolut	relativ (%)	absolut	relativ (%)	absolut	relativ (%)	absolut	relativ (%)	absolut	relativ (%)	absolut	relativ (%)
9	Gefällt außerordentlich	0	0,0	1	6,7	1	6,7	0	0,0	0	0,0	1	6,7
8	Gefällt sehr	2	14,3	5	33,3	3	20,0	4	26,7	4	26,7	2	13,3
7	Gefällt einigermaßen	4	28,6	4	26,7	6	40,0	4	26,7	5	33,3	7	46,7
6	Gefällt geringfügig	3	21,4	2	13,3	2	13,3	3	20,0	3	20,0	3	20,0
5	Weder gefällt noch missfällt	2	14,3	1	6,7	3	20,0	1	6,7	0	0,0	1	6,7
4	Missfällt geringfügig	2	14,3	2	13,3	0	0,0	1	6,7	1	6,7	1	6,7
3	Missfällt einigermaßen	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	6,7	2	13,3		0,0
2	Missfällt sehr	1	7,1	0	0,0	0	0,0	1	6,7		0,0		0,0
1	Missfällt außerordentlich	0	0,0	0	0,0	0	0,0		0,0		0,0		0,0
	<b>Mittelwert</b>	5,9		6,8		6,8		6,1		6,3		6,7	
	<b>Standardabweichung</b>	1,20		1,50		1,67		1,45		1,81		2,14	
	<b>Varianz</b>	0,20		0,22		0,25		0,24		0,29		0,32	

Gerade, weil die Prüferzahl so gering ist und die Prüfpersonen die Skala individuell benutzen, werden die Rohdaten in die Gruppen „Gefallensbereich“, „Neutraler Bereich“ und „Missfallensbereich“ eingeteilt (**Tabelle 12**) um eine Einschätzung von Gefallen und Missfallen treffen zu können. Dafür werden die relativen Werte in den jeweiligen Bereichen addiert und so verglichen. Das Produkt, bei dem die meisten Bewertungen im Bereich des Gefallens liegen sind die Kuchen aus dem Versuch C, bei dem Johannisbrotkernmehl und Apfelmus kombiniert wurden. Allerdings lagen je 6,7 % im neutralen bzw. Missfallensbereich. Deshalb kann die Beliebtheit des alpro Natur als ähnlich angesehen werden, weil da zwar nur 80 % der Bewertungen im Gefallensbereich liegen, allerdings auch keine Bewertung im Missfallensbereich. Es folgen die Kuchen mit Banane als Ei-Ersatz. Die Kuchen mit Johannisbrotkernmehl liegen mit 20 % im Missfallensbereich dahinter. Die Produkte mit Apfelmus und mit Eiern können eher als unbeliebt eingestuft werden, da weniger als 80 % im Bereich des Gefallens liegen. Allerdings wurde das Produkt mit Apfelmus positiver bewertet als das mit Eiern.

**Tabelle 12: Gruppierungen der hedonischen Prüfung**

		<b>Original 141</b>	<b>Banane 583</b>	<b>alpro Na- tur 854</b>	<b>Apfelmus 328</b>	<b>JHBKM 643</b>	<b>JHBKM &amp; Apfelmus 276</b>
<b>Gefallen</b>	<b>Note 9-6</b>	64,3	80,0	80,0	73,3	80,0	86,7
<b>Neutral</b>	<b>Note 5</b>	14,3	6,7	20,0	6,7	0,0	6,7
<b>Missfallen</b>	<b>Note 4-1</b>	21,4	13,3	0,0	20,0	20,0	6,7

Obwohl es numerische Unterschiede in der Beliebtheit gibt, zeigt die einfaktorielle Anova mit einem Signifikanzniveau von 5 % keine signifikanten Unterschiede der Bewertungen. Die numerischen Unterschiede in der Bewertung können somit als eher zufällig bewertet werden. Es kann also kein Produkt ermittelt werden, dass signifikant beliebter ist als die anderen. Die statistische Aussagekraft der Untersuchung würde steigen, wenn das Prüfpanel größer wird. Bei einem größeren Prüfpanel ist es möglich, dass es signifikante Unterschiede in der Beliebtheit gibt. Es ist auch möglich, dass sich die Produkte stark ähneln und deshalb nicht unterschiedlich eingestuft werden.

Allgemein haben die sensorischen Prüfungen gezeigt, dass die Produkte, die mit Ei-Alternativen gebacken wurden, nicht negativ aufgefallen sind. Eher im Gegenteil wurde das Produkt mit Eiern eher als trocken empfunden und somit auch negativer bewertet als die anderen Produkte. Es konnte kein eindeutiger Favorit bei den Ei-Alternativen ermittelt werden.

### 4.3 Diskussion und Schlussfolgerung

Innerhalb dieser Arbeit wurden neun verschiedene Ei-Alternativen und deren Wirkung auf einen veganen Möhrenkuchen mit verschiedenen Methoden untersucht. Alle getesteten Alternativen liefern auf den ersten Blick ein zufriedenstellendes Ergebnis. Keine Alternative hat ein völlig artfremdes Produkt hervorgebracht, dass sich sowohl im Geschmack als auch in der Textur stark von einem Möhrenkuchen, der mit Eiern gebacken wurde, unterscheidet. Es konnten allerdings Unterschiede in der gemessenen Feuchtigkeit und Dichte zum Referenzprodukt festgestellt werden. Auf Grundlage dieser Messungen können die Ei-Ersatzmöglichkeiten auf vier verschiedene Ei-Alternativen eingegrenzt werden.

Zunächst wurde die Originalrezeptur mit Eiern als Vergleichsprodukt gebacken. Mit den Ergebnissen dieser Untersuchungen wurden die anderen Produkte verglichen. Außerdem wurde auch ein Kuchen gebacken, bei dem weder ein Ei-Ersatz noch Eier selbst verwendet wurden. Dieser Versuch soll die Wirkung der Eier in diesem Rezept zeigen. Es hat sich herausgestellt, dass die Eier in dieser Rezeptur mehr als Feuchtigkeitsspender dienen als zur Lockerung der Produkte beitragen.

#### Ausgeschlossene Ei-Alternativen

Ausgeschlossen werden unter anderem drei Alternativen, die sich sensorisch zu stark von der Originalrezeptur unterscheiden haben. Da in dieser Arbeit ein Produkt entwickelt werden sollte, dass der Originalrezeptur möglichst ähnelt, werden die Ei-Alternativen Chiasamen und Leinsamenmehl ausgeschlossen, weil die Chiasamen in der Textur wahrnehmbar sind und das Leinsamenmehl v.a. die Farbe und den Geschmack beeinflusst hat.

Der getestete handelsübliche Ei-Ersatz bestehend aus Süßlupinenmehl, Johannisbrotkernmehl, Maismehl, Leinprotein, Sonnenblumenprotein hat zwar sensorisch ein ähnliches Produkt hervorgebracht, allerdings ist die Lockerung geringer als bei den Alternativen. Die Inhaltsstoffe des Ei-Ersatzes ersetzen eher die Bindung von Eiern und erhöhen den Proteingehalt der Produkte, allerdings sind keine Lockerungsmittel enthalten. Zwar wird dieses Produkt mit Mineralwasser angerührt, bei dem das eingebrachte CO<sub>2</sub> zur Lockerung beitragen soll, allerdings reicht das nicht zur Lockerung aus.

Getestet wurde außerdem ein Gemisch aus verschiedenen Zutaten, die die verschiedenen Eigenschaften eines Eies ersetzen sollen. Diese Ei-Alternative besteht aus Mehl für die Bindung des Teiges, Wasser als Feuchtigkeitsspender, Öl als Fettlieferant und Backpulver zur Lockerung. Diese Ei-Alternative ist mit der angegebenen Backpulvermenge nicht geeignet für das gebackene Rezept, da hier der Backpulvergeschmack zu dominant war.

Die Ei-Alternative Sojamehl weicht sowohl in der Feuchtigkeit als auch in der Dichte zu stark vom Original ab, weshalb sie nicht weiter untersucht wurde. Diese Ergebnisse ähneln den Ergebnissen der Untersuchungen von Rahmati und Tehrani (2015), die als Ei-Alternative selbst hergestellte Sojamilch aus Sojamehl und Wasser im Verhältnis 1:3 verwendet haben. Werden die Eier

vollständig damit ersetzt nahmen das Volumen und die Dichte der Kuchen stark ab. Die Feuchtigkeit der Kuchen wurde in dieser Studie nicht direkt untersucht, jedoch der Wasserverlust nach dem Backen. Der Wasserverlust war geringer als bei der Rezeptur mit Eiern, weil die Wasserabsorption höher ist und so das Wasser auch besser gehalten werden kann. Laut Chan (2006) würde die Zugabe von Lecithin zu einer Volumenzunahme, einer verbesserten Textur und einem besseren Mundgefühl führen.

#### Ergebnisse der Versuchsreihen A-C → Ei-Alternativen mit Rezepturoptimierung

Bei der Ei-Alternative Apfelmus muss die Feuchtigkeitsmenge der Rezeptur angepasst werden, damit sie ähnlich zur Originalrezeptur ist. Es werden zusätzlich zu den 60 g Apfelmus pro Ei 20 % mehr Sojadrink, bezogen auf die Ausgangsmenge, zum Teig hinzugegeben, um ein ähnliches Produkt zu erhalten. Bei einer Erhöhung um 30 % kann ein noch ähnlicheres Ergebnis erzielt werden, um aber die Kosten zu reduzieren sind die 20 % mehr Sojadrink ausreichend. Ähnlich wie bei der Banane wird die Lockerung auch durch die enthaltenen Polysaccharide, die ein Netzwerk bilden können, gewährleistet. Allerdings enthält Apfelmus weniger Stärke als die Banane, weshalb hauptsächlich ein Gelnetzwerk durch Pektin ausgebildet wird (Roth-Johnson, 2013). Obwohl Apfelmus mehr als doppelt so viel Wasser enthält wie Eier (Elmadfa et.al., 2016/17) ist die Feuchtigkeit im Endprodukt geringer als beim Originalprodukt, was auf eine geringere Wasserbindung schließen lässt. Wie auch die Banane trägt der im Apfelmus enthaltene Zucker zur erhöhten Bräunung der Kuchen bei. Der Apfelmusgeschmack ist wahrnehmbar, allerdings nicht so dominant wie bei der Banane.

Johannisbrotkernmehl ist ein Zusatzstoff, der als Verdickungsmittel eingesetzt werden kann. Als Ei-Ersatz übernimmt es die Bindung von Wasser im Teig. Die vorgeschlagene Menge von 2 g JHBKM und zusätzlich 40 g Wasser pro Ei hat gezeigt, dass die Produkte sowohl zu trocken als auch zu kompakt waren. Deshalb wurde schon zu Beginn der Untersuchungen die Wassermenge auf 60 g erhöht, um die Feuchtigkeitsmenge anzupassen. Zusätzlich dazu wird die Backpulvermenge um 33,3 % erhöht, um die Lockerung der Produkte zu verbessern. Bei diesen Mengen an Backpulver kann das Volumen vergrößert werden, ohne dass die Backpulvernote wahrgenommen werden kann. Der Nachteil von JHBKM als Ei-Ersatz ist, dass er in der Zutatenliste als Zusatzstoff aufgelistet werden muss und somit, im Gegensatz zu den anderen Ei-Alternativen, das Produkt nicht als Clean-Label Produkt gewertet werden kann. Wenn das als Ziel gesehen wird, weil Produkte ohne Zusatzstoffe immer beliebter werden, sollte auf diesen Ei-Ersatz verzichtet werden.

Die Kombination der Ei-Alternativen Apfelmus und JHBKM kombiniert die Wasserbindfähigkeit vom JHBKM mit der Lockerungswirkung und Feuchtigkeit des Apfelmuses. Die Lockerungswirkung des zusätzlichen Backpulvers beim JHBKM kann durch das Apfelmus ersetzt werden. Die Feuchtigkeit, die beim Apfelmus fehlt, kann mit der zugesetzten Wassermenge des JHBKM ausgeglichen werden. Die Kombination von 55 % der JHBKM-Menge und der 1,5-fachen Menge

Wasser und 45 % der ursprünglichen Wassermenge kann ein der Originalrezeptur ähnliches Ergebnis bewirken. Die für Apfelmus nötige Menge an zusätzlicher Flüssigkeit wird durch die Wassermenge des JHBKM geliefert. Die zusätzliche Wasserbindung des JHBKM verstärkt die des Pektinnetzwerkes, sodass das im Teig enthaltene Wasser besser gebunden werden kann und weniger beim Backen abgegeben wird.

#### Ergebnisse der Versuchsreihe D → Ei-Alternativen ohne Rezepturoptimierung

Die Ei-Alternativen, die mit der getesteten Menge ein ähnliches Produkt im Vergleich zur Referenzrezeptur geliefert haben, sind Banane und alpro Natur.

Bananen eignen sich vor allem sehr gut als Ei-Ersatz, weil sie aufgrund der enthaltenen Stärke zur Bindung und zur Netzwerkbildung beitragen und gleichzeitig Feuchtigkeitsspender sind. Bei Bananen ist das typische Aroma allerdings sehr dominant und kann sich somit auch negativ auf die Akzeptanz der Verbraucher\*innen auswirken, weil dieses Aroma nicht in einem Möhrenkuchen erwartet wird. Um dieses Problem zu lösen, könnte der Kuchen Möhren-Bananen-Kuchen genannt werden, da die Verbraucher\*innen dann ein Bananenaroma erwarten. Die Wirkung der Bananen zur Lockerung kann damit erklärt werden, dass neben der Stärke auch andere Polysaccharide enthalten sind, die sich vom Aufbau zwar stark von Proteinen unterscheiden, aber dennoch Netzwerke bilden können, die eingeschlagene Luft bzw. verdampfendes Wasser einschließen können. Die in Bananen enthaltene Stärke bildet ein Stärkenetzwerk aus, während die Pektine ein Gelnetzwerk bilden (Roth-Johnson, 2013). Der enthaltene Zucker in den Bananen verstärkt die Bräunung beim Backen, da sowohl zusätzliche reduzierende Zucker, der für die Maillard-Reaktion nötig ist, vorhanden ist als auch Zucker für die Karamellisierung.

Der Ei-Ersatz alpro Natur liefert bei den gemessenen Werten die ähnlichsten Ergebnisse zum Originalprodukt. Das zeigt, dass alpro Natur als pflanzliche Joghurtalternative sowohl die feuchtigkeitsspendende Wirkung der Eier in dieser Rezeptur ersetzen kann als auch durch die enthaltenen Lecithine des Sojas die emulgierende Wirkung.

#### Ergebnisse der Sensorischen Untersuchungen

Die sensorischen Untersuchungen der verschiedenen Produkte hat gezeigt, dass sich die Beschreibungen alle ähneln. Gerade beim Geruch und beim Geschmack konnten selten große Unterschiede festgestellt werden. Die Ursache dafür kann in der Anzahl der gleichzeitig gereichten Proben liegen. Die Prüfpersonen haben sechs Kuchen verkostet, die sich teilweise sehr ähneln, verkostet, ohne eine Pause dazwischen zu haben. Es ist möglich, dass eine Reizüberflutung bewirkt hat, dass die Produkte nicht so differenziert beschrieben werden konnten, wie sie es bei geringerer Probenzahl hätten können.

Die Komponente Banane wird häufiger identifiziert als die Komponente Apfel, was bestätigt, dass der Bananengeschmack deutlicher wahrgenommen wird als der Apfelgeschmack. Die Alternativen alpro Natur und JHBKM haben keine Fremdaromen hervorgebracht. Lediglich einer der Panelisten konnte eine Ei-Note beim Originalprodukt wahrnehmen. Hierbei handelt es sich

allerdings um die eine Prüfperson, die im Vorfeld aufgrund Ihrer Ernährungsweise über das nicht vegane Produkt informiert wurde. Alle anderen Panelist\*innen haben keine Unterschiede zu den veganen Produkten im Geschmack oder Geruch wahrgenommen.

Allerdings wird das Produkt mit Ei häufig als trocken beschrieben, weshalb es sich in der Textur von den anderen Kuchen unterscheidet, die eher feucht und teilweise zu feucht sind.

Die Farbe der Krume ist bei allen Produkten ähnlich und wurde als gelblich-orange beschrieben. Die enthaltenen Möhren im Kuchen bewirken, dass die Teige und später auch die Kuchen selbst orange gefärbt sind. Wenn ein ähnliches Produkt zu einer Rezeptur mit Eiern entwickelt werden soll, ist die Verwendung von Möhren in der Hinsicht ein großer Vorteil, weil sonst die färbende Eigenschaft des Eigelbes wegfallen würde und die Farbe vermutlich zu blass wäre. Bei anderen Rezepturen ohne Möhren müsste untersucht werden, ob die Färbung der Krume als zu hell und untypisch beschrieben wird. Es konnten Unterschiede in der Krustenfärbung festgestellt werden, die sich mit dem zusätzlichen Zuckergehalt mancher Ei-Alternativen erklären lassen.

Bei der Beliebtheit der Produkte gab es keine signifikanten Unterschiede. Das kann mit verschiedenen Faktoren zusammenhängen. Zum einen ist der Umfang der Prüfpersonen mit 15 Personen zu gering, um statistisch aussagekräftig zu sein, zum anderen ist Geschmack eine subjektive Größe. Kritisch ist außerdem, dass die Prüfpersonen dieselben geschulten Personen waren, wie bei der Einfach beschreibenden Prüfung. Gerade bei einer subjektiven hedonischen Prüfung sind sensorisch geschulte Prüfer\*innen eher ungeeignet, weil sie häufig in ihre Bewertung objektive Produktkriterien einfließen lassen und nicht affektiv entscheiden.

Auch wenn diese Prüfung keine statistisch aussagekräftigen Ergebnisse liefern kann, kann sie trotzdem Tendenzen über die Beliebtheit aufzeigen. So ist überraschend das Produkt mit Eiern am wenigsten beliebt ist, und die Mehrzahl der Prüfpersonen einen Kuchen mit einer Ei-Alternative favorisieren. Teilt man die Ergebnisse in drei verschiedene Gruppen (Gefallen, Neutral und Nichtgefallen) ein befinden sich die meisten positiven Ergebnisse bei der Kombination aus Apfelmus und JHBKM. Allerdings wurden hier auch Bewertungen im Nichtgefallen-Bereich gegeben, während die Ei-Alternative mit alpro Natur lediglich Bewertungen im Gefallens- und Neutralbereich haben. Betrachtet man die gewichteten Mittelwerte, wurden die Ei-Alternativen alpro Natur und Banane am besten bewertet. Somit können die Ei-Alternativen alpro Natur, Banane und JHBKM mit Apfelmus als Favoriten des Prüfpanels gesehen werden.

### Preisvergleich

Da alle näher untersuchten Ei-Alternativen gute und der Originalrezeptur ähnliche Produkte erzeugen, die sich auch in der Beliebtheit nicht signifikant unterscheiden, muss für die Empfehlung der besten Ei-Alternativen ein Preisvergleich (siehe **Anlage 2**) durchgeführt werden. Dafür wurden die Einkaufspreise der verwendeten Zutaten im Einzelhandel verglichen. Bei der großtechnischen Herstellung in einem Betrieb können die Preise aufgrund der höheren Mengen abweichen. Bis auf alpro Natur waren alle Ei-Alternativen pro ersetztes Ei billiger als die Eier selbst. Alpro

Natur ist 2 Cent teurer als Eier aus Freilandhaltung. Das liegt aber vermutlich an der kleineren Verpackungsgröße von 500 g. Bei größeren Verpackungsgrößen würde der Preis sinken. Der billigste Ei-Ersatz ist Apfelmus gefolgt von Banane. Für die Herstellung der Kuchen mit Banane könnten Bananen verwendet werden, die vom Einzelhandel nicht mehr verkauft werden, weil sie zu reif sind. Somit würde der Einzelhandel weniger Obst entsorgen und der Preis würde vermutlich noch sinken. Alpro Natur ist also produkttechnisch der Ei-Ersatz mit dem besten Ergebnis, jedoch sind hinsichtlich der Kosten Bananen oder Apfelmus die besseren Alternativen.

### Haltbarkeit

Im Vergleich zu anderen Kuchen im Glas ist die Haltbarkeit mit 2 Wochen geringer. Die Kuchen werden während der Lagerung fest, krümelig und trocken, allerdings konnte innerhalb der zwei Wochen noch keine optische, geschmackliche oder olfaktorische Veränderung festgestellt werden. Nach 20 Tagen können die Kuchen nicht mehr als haltbar eingestuft werden, weil sie nicht nur Fäden ziehen, sondern auch einen unangenehmen süßlichen Geruch annehmen. Dieses Erscheinungsbild lässt vermuten, dass die Ursache dafür auf *Bacillus subtilis* rückzuführen ist, der für die Weizenbrotkrankheit „Fadenziehen“ verantwortlich ist. Dabei handelt es sich um fakultativ anaerobe, mesophile Bakterien, deren hitzeresistenten Sporen den Backprozess überleben und die Krume während der Lagerung enzymatisch abbauen. Sie bilden dabei schleimige Fäden aus und es kann ein unangenehm süßlich-fruchtiger Geruch wahrgenommen werden. Begünstigt wird ihr Wachstum durch feucht-warme Lagerungsbedingungen vor allem in Produkten mit einem hohen Wassergehalt (Gantenbein-Demarchi, 2006).

Die Entwicklung der Bakterien wird durch die Backmethode im Glas sowohl begünstigt als auch eingeschränkt. Durch das sofortige Verschließen im Glas entsteht Kondenswasser, das zum einen ein feuchtes Milieu bewirkt und zum anderen während der Lagerung in die Kuchen einzieht. Die Feuchtigkeit der Kuchen wird dadurch erhöht und es liegt für Mikroorganismen frei verfügbares Wasser vor.

Andererseits sind die Bedingungen durch den entstehenden Unterdruck eher anaerob, weshalb das Wachstum der überlebten Sporen verzögert wird. Die getesteten Lagerungstemperatur von ca. 21 °C liegt unterhalb der optimalen Vermehrungstemperatur von 30-45 °C (brot+backwaren, 2003), weshalb das Wachstum und somit der enzymatische Abbau langsamer abläuft und erst nach einer verlängerten Lagerung erkennbar wird.

Die verantwortlichen Bakterien gelangen über das Mehl in das Produkt. Die Aktivität, und somit der Verderb, kann gehemmt werden, indem der pH-Wert der Produkte abgesenkt wird. Da das bei Rührkuchen nicht durch die Zugabe von Sauerteig möglich ist, können beispielsweise Säuerungsmittel hinzugegeben werden. Bei Kuchen die keine zusätzlichen feuchtigkeitserhöhenden Zutaten wie die Möhren enthalten, ist die Haltbarkeit vermutlich länger. Soll ein Möhrenkuchen entwickelt werden, sollten getrocknete Möhrenraspeln verwendet werden.

Der Verderb kann auch über die Lagerungsbedingungen gesteuert werden. Bei einer Lagerung bei Kühlschranktemperaturen wäre das Wachstum von *Bacillus subtilis* stark gehemmt. Allerdings ist das auch die optimale Temperatur der Stärkeretrogradation, weshalb die Kuchen dann vermutlich trockener werden.

Die Verwendung einer Rezeptur ohne zusätzliches Obst und Gemüse in Kombination mit zugesetzten Säuerungsmitteln oder Säuren würde vermutlich eine längere Haltbarkeit der Produkte gewährleisten.

Diese Ergebnisse stimmen mit den Erkenntnissen der Firma Kathi Rainer Thiele GmbH überein, die festgestellt haben, dass Kuchen im Glas, die Obst enthalten weniger als 4 Wochen haltbar sind (Paduschek, 2019). Würde ein anderes Rezept gebacken werden, das kein Gemüse oder Obst enthält, könnte die Haltbarkeit eventuell verlängert werden. Möglicherweise sind in der Hinsicht die Ei-Alternativen Banane und Apfelmus ungeeignet, allerdings wird hier das Obst fein zerkleinert und somit homogen im Teig verteilt.

Der Kuchen hat relativ schnell einen trockenen Eindruck gemacht, was an dem Streichfett liegen kann. Bei Massen, die mit Öl hergestellt werden, erscheint die Krume häufig feuchter (Conforti, 2006), allerdings kann Öl nicht zusammen mit Zucker aufgeschlagen werden und so nicht zur Lockerung der Kuchen beitragen. Rezepte mit Öl enthalten meistens viele Eier, die die Lockerungswirkung übernehmen.

#### Abschließende Bewertung der Ei-Alternativen

Die Ei-Alternativen alpro Natur und Banane funktionieren nicht nur in den Mengen wie sie angegeben sind, sondern werden auch als beliebt eingestuft. Die optimierten Rezepturen von Apfelmus und JHBKM sowohl die Kombination beider unterscheiden sich nicht signifikant von den anderen Ei-Alternativen. Die Kombination aus Apfelmus und JHBKM hat nach alpro Natur und Banane das numerisch beste Ergebnis der Beliebtheit geliefert.

Das Bananenaroma ist oft ein unbeliebtes Aroma, weshalb dieser Ei-Ersatz nicht verwendet werden sollte, wenn der Kuchen lediglich als Möhrenkuchen gekennzeichnet ist. Mit der Bezeichnung „Möhren-Bananen-Kuchen“ würden Verbraucher\*innen eindeutig wissen, welches Aroma zu erwarten ist.

Alpro Natur ist dagegen eine neutrale Alternative, die lediglich das erwartete Aroma eines Möhrenkuchens hervorbringt. Problematisch bei dieser Alternative ist allerdings, dass Soja ein Allergen ist. Da Sojamilch eine beliebte Milchalternative ist, die auch in diesem Produkt enthalten ist, können allergische Verbraucher\*innen dieses Produkt mit oder ohne alpro Natur als Ei-Alternative nicht verzehren. Wenn, abgesehen von Weizen, ein allergenfreies Produkt entwickelt werden soll, muss auf eine andere untersuchte Alternative oder eine pflanzliche Joghurtalternative aus einer anderen pflanzlichen Quelle zurückgegriffen werden sowie andere Pflanzendrinks getestet werden. Aufgrund der emulgierenden Eigenschaften und des hohen Eiweißgehaltes von Soja ist alpro Natur jedoch eine gute Alternative.



Sofern ein Clean-Label Produkt hergestellt werden soll, eignen sich die Alternativen, die Johannisbrotkernmehl enthalten, nicht für diesen Kuchen. Wenn jedoch Verdickungsmittel eingesetzt werden können, ist JHBKM allein oder in Kombination mit Apfelmus eine gute Alternative.

Der Ei-Ersatz Apfelmus eignet sich sowohl allein mit mehr Pflanzendrink als auch in Kombination mit JHBKM als Alternative zu Eiern. Die Kombination mit mehr Pflanzendrink ist preislich günstiger als die mit JHBKM, jedoch wurde die Kombination mit JHBKM im Mittelwert beliebter eingestuft.

### Verpackungsdiskussion

Die Wahl von Glas als Verpackungsmittel ist aus verschiedenen Gründen diskussionswürdig. Zum einen ist Glas eine teurere, schwerere Verpackung als die herkömmlichen Plastikfolien. Außerdem ist Glas bruchanfällig, was sowohl in der Produktion kritisch werden kann als auch beim Transport und beim Verkauf einen höheren Aufwand erfordert. Für die Produktion im Glas würden andere Maschinen benötigt werden als für die normale Herstellung von Kuchen, weil die Gläser sofort nach Verlassen des Ofens zugeschraubt und anschließend auf den Kopf gedreht werden müssen. Allerdings werden keine zusätzlichen Formen benötigt, weil die Kuchen direkt in der Form verkauft werden können. Da beim Verschließen der Gläser im heißen Zustand ein Unterdruck entsteht, muss nicht zusätzlich Schutzgas verwendet werden, um den Kuchen haltbar zu machen.

Die Verpackung ist, mit Ausnahme des Dichtungsringes im Deckel, plastikfrei. Dieser Ring ist nötig, damit im Glas ein Unterdruck entstehen kann. Das Reduzieren von Plastik in Verpackungen wird für immer mehr Menschen ein Anliegen. Zum einen gibt es ein Bewusstsein für die Endlichkeit der fossilen Rohstoffe und für den Übergang von Mikroplastik in die Nahrungsmittel, zum anderen wird der Plastikmüll zunehmend zu einem Problem, das immer mehr wahrgenommen wird. Viele Verbraucher\*innen sind bereit, für umweltfreundliche Produkte einen höheren Preis zu zahlen. Das zeigt der steigende Erfolg von Bio- und Unverpacktläden (Henrich, 2019; Waldow, 2019). Die Gläser können problemlos wiederverwendet werden, oder sogar in ein Pfandsystem eingebunden werden.

### Methodik

Für die Beschreibung der Kuchen und den Vergleich der Wirkung der Ei-Alternativen auf die Kuchen wurden verschiedene Methoden angewendet.

Die Feuchtigkeit wurde mittels Schnellfeuchtebestimmer bestimmt. Für die bessere Vergleichbarkeit wurde für jede Messung dasselbe Messgerät verwendet. Mit dieser Methode lässt sich zwar bestimmen, inwieweit die Alternativen die Funktion eines Ei's als Feuchtigkeitsspender erfüllen, allerdings kann dabei weniger bestimmt werden, inwieweit das Wasser gebunden werden kann, und es können nur Vermutungen angestellt werden. Um das genauer beurteilen zu können, muss zusätzlich, der Backverlust bestimmt werden, da bei höherem Backverlust weniger Wasser gebunden wurde und so beim Backen abgegeben werden kann.

Die Volumenbestimmung wurde mit Hilfe eines Referenzglases durchgeführt, in das eine Referenzmenge Mohn gefüllt wurde. Dann wurden diese Samen in das jeweilige Glas gefüllt, in dem die Kuchen sind. Die normalerweise angewendete Methode ist, dass das Gebäck in einen separaten Behälter gegeben wird, sodass immer derselbe Behälter Grundlage für die Volumenbestimmung ist. Es ist möglich, dass das Volumen der Gläser minimal abweicht, weshalb so eine Messungsgenauigkeit möglich ist. Damit diese behoben wird, sollte in weiteren Untersuchungen das Volumen von jedem Glas bestimmt und notiert werden. So kann das Volumen der Kuchen genauer bestimmt werden. Dafür muss allerdings auch die Messgenauigkeit von 5 ml auf 1 ml optimiert werden, damit Unterschiede deutlicher zu erkennen sind.

Für die bessere Beurteilung der Festigkeit der Kuchen während der Lagerung sollte sie an allen Messtagen bestimmt werden, damit beurteilt werden kann, ob die normalerweise verwendete Prüfkombination generell nicht ausreichend ist, oder ob die Kuchen während der Lagerung zu fest werden.

Die sensorischen Untersuchungen wurden mit 15 geschulten Prüfer\*innen am selben Tag durchgeführt. Die geringeren Unterschiede in der Beschreibung können damit erklärt werden, dass es mit den sechs teilweise ähnlichen Produkten schwieriger war, jedes Produkt differenziert zu beschreiben.

Aufgrund der geringen Prüfer\*innenzahl von 15 Personen (bzw. 14 Personen bei der Originalrezeptur mit Ei) können die Ergebnisse der hedonischen Prüfung nur als Näherungswerte angesehen werden, da die Ergebnisse erst ab mindestens 30 Personen statistisch aussagekräftig wären (Busch-Stockfisch, 2008). Kritisch kann auch gesehen werden, dass die Prüfpersonen geschult waren und somit weniger geeignet für diese subjektive Prüfung sind, da in ihre Entscheidung häufig auch objektive Komponenten der Produktbeschreibung einfließen. Somit ist es möglich, dass nicht rein die Beliebtheit der Produkte bewertet wird, sondern auch die Qualität der Produkte. In weiteren Untersuchungen sollten die Produkte an verschiedenen Prüftagen untersucht werden, damit weniger Produkte auf einmal beschrieben werden müssen. Außerdem sollte die Beliebtheit mit einem größeren Panel, das aus sensorisch ungeschulten Prüfpersonen besteht, untersucht werden, um statistisch aussagekräftigere Ergebnisse zu erhalten. Zudem kann so besser die Beliebtheit der Produkte bei den Verbraucher\*innen erfasst werden.

#### 4.4 Nächste Schritte

In weiteren Versuchen kann untersucht werden, welche Auswirkungen die Ei-Alternativen auf Rezepte ohne Möhren haben. Die enthaltenen Möhren haben einen Einfluss auf die Feuchtigkeit der Endprodukte und tragen in gewisser Weise auch zur Lockerung bei. Deshalb ist es interessant zu sehen, ob bei normalen Rührteigen die Ei-Alternativen die Wirkung der Eier genauso gut ersetzen wie im getesteten Rezept. Außerdem kann überprüft werden, ob die Ei-Alternativen die Lockerung auch bei Rezepten mit einem hohen Ei-Anteil und Öl statt aufschlagbarem Streichfett gewährleisten.

Beim aktuellen Rezept und der aktuellen Verarbeitungsmethode kann lediglich eine Haltbarkeit von zwei Wochen garantiert werden. Die Produkte sind zu diesem Zeitpunkt schon sehr trocken und bei längerer Lagerung beginnt der Kuchen Fäden zu ziehen. In Untersuchungen der Firma Kathi Reiner Thiele GmbH zum Thema Kuchen im Glas, hat sich herausgestellt, dass Kuchen mit Obst weniger als vier Wochen haltbar sind. Generell sind Kuchen, die feuchte Zutaten enthalten, schneller verderblich. In weiteren Versuchen kann untersucht werden, inwieweit eine andere Rezeptur eine längere Haltbarkeit hervorbringt. Die hier enthaltenen Möhren könnten die Ursache für die Fadenbildung sein, da so zusätzliche, nicht gebundene Feuchtigkeit v.a. punktuell in den Kuchen eingebracht wird, die somit frei für Mikroorganismen zur Verfügung steht. Auch kann untersucht werden, inwiefern ein Rezept mit Öl die Haltbarkeit beeinflusst, weil Teige, die mit Öl gebacken werden, häufig auch nach Lagerung feuchter erscheinen (Conforti, 2006).

Die Kuchen wurden in den Versuchen bei Raumtemperatur gelagert. Um die Haltbarkeit zu verlängern, die von der Fadenbildung, die v.a. vermutlich durch *Bacillus subtilis* hervorgerufen wurde, bestimmt wird, müssen verschiedene Maßnahmen eingeleitet werden. Diese Fadenbildung ist eine gerade bei Weißbrotten häufiger auftretende Verderbniserscheinung, die durch Säuerung der Produkte und durch kühle, trockene Lagerung eingegrenzt werden kann. Da bei Rührkuchen kein Sauerteig eingesetzt werden kann, müssen andere Methoden gefunden werden, um die Produkte haltbarer zu machen. Dafür sollte der Wassergehalt der Kuchen reduziert werden und die Lagerungstemperaturen auf Kühlschranktemperatur verringert werden. Hier wird es wichtig sein, inwieweit eine Stärkeretrogradation, die bei 0-7 °C am schnellsten abläuft (Schünemann et. al.; 2016), die Haltbarkeit der Kuchen verkürzt bzw. durch zugesetzte Quellmehle verringert werden kann.

Außerdem kann getestet werden, inwieweit Quellmehle, wie z.B. Reisquellmehl, das im Gegensatz zu Johannisbrotkernmehl nicht als Zusatzstoff deklariert werden muss, die gleiche Wirkung erzielen.

Um den ernährungsphysiologischen Wert der Kuchen zu erhöhen und das Produkt somit für eine größere Personengruppe attraktiver zu machen, kann untersucht werden, inwieweit die Zuckermenge reduziert werden kann, ohne dass es Einbußen in der Qualität gibt. Um den Ballaststoff- und Mineralstoffgehalt der Produkte zu steigern kann untersucht werden, inwieweit die Kuchen

mit Vollkornmehl hergestellt werden können und welche Parameter dabei verändert werden müssen.

In der Sensorik wurden die Produkte teilweise als „klitschig“ bzw. „feucht“ beschrieben, was darauf schließen lässt, dass die Produkte nicht immer komplett durchgebacken waren. Da das nicht bei jedem Kuchen einer Versuchsreihe der Fall war und die Backfarbe häufig auch schon relativ dunkel war, müssen die Backparameter nochmals genauer untersucht und angepasst werden. Vor allem müssen die Backparameter auf die unterschiedlichen Feuchtegehalte der verschiedenen Ei-Alternativen angepasst werden.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurden ein vegane, haltbare Möhrenkuchen entwickelt, die im Geschmack und in der Textur, sowie in der Lockerung und in der Feuchtigkeit einer Originalrezeptur mit Eiern ähnelt. Für die Entwicklung der Rezeptur wurden die tierischen Zutaten Butter, Milch und Eier durch pflanzliche Zutaten ersetzt. Als Ersatz für Butter wurde ein 70%iges Streichfett verwendet und anstelle der Milch ein den Eigenschaften von Kuhmilch ähnlicher Sojadrink. Als variable Größe in der Rezeptur wurden verschiedene Ei-Alternativen untersucht.

Von den zu Beginn vorgeschlagenen neun verschiedenen Ei-Alternativen wurden vier ausgewählt, die so wie sie vorgeschlagen wurden ein zufriedenstellendes Produkt liefern, bzw. bei denen lediglich geringe Anpassungen nötig waren.

Die Ei-Alternativen Bananenmus und alpro Natur (jeweils 60 g) konnten in dieser Rezeptur zufriedenstellende, der Originalrezeptur ähnliche Ergebnisse liefern.

Bei der Ei-Alternative Apfelmus muss zusätzlich zu den 60 g Apfelmus die Pflanzendrink- oder Wassermenge im Teig um 20 % erhöht werden, damit die Feuchtigkeit der Produkte der der Originalrezeptur ähnelt.

Bei der Ei-Alternative Johannisbrotkernmehl, die lediglich das Bindungsvermögen der Eier ersetzt, wurde die zugegebene Wassermenge von 40 g auf 60 g pro Ei erhöht. Um die gewünschte Lockerung zu erzielen, muss die Backpulvermenge um 33,3 % erhöht werden. Es werden pro Ei 2 g Johannisbrotkernmehl eingesetzt.

Bei der Beliebtheit der Produkte konnten unter anderem auf Grund des kleinen Prüfpfels keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Das lässt vermuten, dass alle getesteten Alternativen ähnlich beliebt sind. Auch in der Beschreibung der Produkte konnten nur wenige Unterschiede festgestellt werden. Im Geschmack und im Geruch ähneln sich alle Kuchen stark. Die Hauptnoten waren dabei das nussige, zimtige und süße Aroma. Bei der Rezeptur mit Banane wurde außerdem ein Bananenaroma wahrgenommen. Die Kuchen mit Ei-Alternativen wurden häufig feuchter wahrgenommen als die Originalrezeptur mit Eiern. Teilweise wurden die Kuchen als zu weich beschrieben, weshalb in weiteren Versuchen die Backparameter angepasst werden müssen. Um zu ermitteln, inwieweit die enthaltenen Möhrenraspeln zur Lockerung der Teige beitragen und ob die getesteten Ei-Alternativen auch in anderen Kuchenrezepten so funktionieren, müssen weitere Rezepturen getestet werden. Die Möhren haben sich positiv auf die Farbe der Krume ausgewirkt, da die orangene Farbe der enthaltenen Carotinoide die Teige natürlich eingefärbt haben und so die Färbung der Eier imitiert wurde.

Die Backmethode im Glas hat wie erwartet funktioniert. Durch das sofortige Verschließen der Gläser nach dem Backen ist ein Unterdruck entstanden, der bewirkt hat, dass die Kuchen eine gewisse Zeit konserviert wurden. Allerdings konnte die Haltbarkeit nur für zwei Wochen gewährleistet werden und unterscheidet sich somit von auf dem Markt bestehenden Kuchen im Glas, bei denen die Haltbarkeit bis zu 3 Monaten gewährleistet werden kann. Die Produkte wurden nach

20 Tagen als verdorben eingestuft, da sie beim Auseinanderbrechen schleimige Fäden zogen und olfaktorisch ein Fremdaroma wahrnehmbar war. Vermutlich ist die Haltbarkeit bei Produkten ohne Möhren länger. Die veganen Produkte haben jedoch bei den Parametern Feuchtigkeit und Festigkeit nach zweiwöchiger Lagerung bessere Ergebnisse erzielt als das Produkt mit Ei.

Auffällig war, dass in der Sensorik, sowie auch bei der Frischhaltung der Kuchen die veganen Alternativen bessere Ergebnisse liefern als die Rezeptur mit Ei. Das lässt die Vermutung anstellen, dass die Eier gerade bei Möhrenkuchen ohne Probleme ausgetauscht werden können. Dafür sind verschiedene Alternativen möglich, die nach Bedarf individuell ausgewählt werden können. Die der Originalrezeptur ähnlichsten Ergebnisse lieferte eine pflanzliche Joghurtalternative aus fermentierter Soja. Hier konnte außerdem kein Fremdaroma wahrgenommen werden, das Verbraucher\*innen irritieren könnte. Pflanzliche Joghurtalternativen sind allerdings die teuerste der getesteten Alternativen. Mit dem Ei-Ersatz Banane können nicht nur Kosten eingespart, sondern auch Abfälle im Einzelhandel eingespart werden, weil nicht mehr verkaufsfähige überreife Bananen verwendet werden können. Durch Änderung der Produktbezeichnung können Verbraucher\*innen auf das zu erwartende Fremdaroma aufmerksam gemacht werden. Die Alternativen Apfelmus und Johannisbrotkernmehl sind sowohl einzeln als auch in Kombination eine gute Wahl. Wenn allerdings Wert daraufgelegt wird, dass das Produkt ohne Zusatzstoffe hergestellt werden soll, sollte doch eher auf die Alternativen ohne Johannisbrotkernmehl zurückgegriffen werden.

## 6 Literatur

Abhay Kumar, N.; Prasada Rao, U.J.S.; Jeyarani, T.; Indrani, D.: Effect of ingredients on rheological, physico-sensory, and nutritional characteristics of omega-3-fatty acid enriched eggless cake. *Journal of Texture Study* 48. Jahrgang (2017), S. 439-449 (DOI:10.1111/jtxs.12247).

Agrarhar-Murugkar, D.; Zaidi, A.; Kotwaliwale, N.; Gupta, C.: Effect of egg replacer and composite flour on physical properties, colour, texture and rheology, nutritional and sensory profile of cake. *Journal of Food Quality* 39. Jahrgang (2016), S. 425-435 (DOI:10.1111/jfq.12224).

anuga: Anuga Trendthema. Vegan products [online]. [Zugriff am: 05.01.2019] Verfügbar unter: <https://www.anuga.de/die-messe/trendthemen/anuga-trendthema-vegan-products/anuga-trendthema-vegan-products.php>

AOK: Pressemitteilung vom 20.11.2017: Die besten Ei-Alternativen. *Ernährungsumschau* 64. Jahrgang (Dezember 2017) Heftnummer 12, S. M675.

Arozarena, I.; Bertholo, H.; Empis, J.; Bungler, A.; de Sousa, I.: Study of the total replacement of egg by white lupine Protein, emulsifiers and xanthan gum in yellow cakes. *European Food Research and Technology* (2001) Heftnummer: 213, S. 312-316 (DOI:10.1007/d002170100391).

Bahlsen: Bahlsen Comtess [online]. [Zugriff am: 09.11.2019] Verfügbar unter: <https://www.bahlsen.de/de/produkte/bahlsen-comtess-marmor-41>

Bahlsen Verbraucherservice: B.contact (CF-39428): Ihre Anfrage: Bachelorarbeit (E-Mail). [info@bahlsen.com](mailto:info@bahlsen.com), 13.11.2019.

Brot+backwaren: Von Fadenzieher bis Grauschimmel. Brot + backwaren [online] (Juni 2003) [Zugriff am: 14.01.2019] Verfügbar unter: [https://www.brotundbackwaren.de/heftinhalte/article\\_arch\\_8214.html](https://www.brotundbackwaren.de/heftinhalte/article_arch_8214.html)

Busch-Stockfisch, M.: Sensorische Grundlagen. 2008 In: Meier, J. (Hrsg.): *Praxishandbuch Sensorik kompakt in der Produktentwicklung und Qualitätssicherung*. Fortlaufende Loseblattsammlung Hamburg: Behr's Verlag, 2002.

Chan, S.: *Dietetic Bakery Products*. In: Hui, Y.H. (Hrsg.) *Bakery Products*. Science and Technology. 1. Auflage. Iowa: Blackwell Publishing, 2006.

Conforti, F.D.: *Cake Manufacture*. In: Hui, Y.H. (Hrsg.) *Bakery Products*. Science and Technology. 1. Auflage. Iowa: Blackwell Publishing, 2006.

der muu kuchen: Mandel Karotten Kuchen im Glas [online]. [Zugriff am: 09.11.2019] Verfügbar unter: <https://www.muu-kuchen.de/shop/ruebli-kuchen-im-glas-drehdeckel-5er-2/>

Dr.Oetker Shop: Fertiger Marmorkuchen – Produktbeschreibung [online] [Zugriff am: 09.11.2019] Verfügbar unter: <https://www.oetker-shop.de/fertiger-marmorkuchen/>

Elikat: Zitronenkuchen – im Glas, glutenfrei, vegan [online]. [Zugriff am: 09.11.2019] Verfügbar unter: <https://www.elikat-shop.de/produkte/kuchen/18/zitronenkuchen>

Elmadfa, I.; Aign, W.; Muskat, E.; Fritzsche, D.: Die große GU Nährwert Kalorien Tabelle. München: Gräfe und Unzer Verlag, 2016/17.

Foterek, K.: Pflanzliche Milchalternativen. Ernährungsumschau 63. Jahrgang (Juli 2016), Heftnummer 7, M414-M20 (DOI:104455/eu.2016.033).

Fuhrmann, J.; Glogowski, S.: Unverpackt einkaufen. Ernährungsumschau 65. Jahrgang (Mai 2018), Heftnummer 5, S. M266-M269.

Gantenbein-Demarchi, C.: Schutzmaßnahmen zur Verhinderung von Fadenziehen – aktueller Forschungsstand [Online Präsentation]. 2006 [Zugriff am: 14.01.2019] Verfügbar unter: <http://www.agfdt.de/loads/bt06/ganteabb.pdf>

Glogowski, S.: Plastik: Kunststoff für die Ewigkeit? Herstellung, Verbrauch, Abfall und Umweltproblematik. Ernährungsumschau 65. Jahrgang (Mai 2018), Heftnummer 5, S. M258-M262 (DOI:10.4455/eu2018.021).

Großhauser, M.: Ernährungsberatung für Veganer. DGE info (Februar 2018), S. 26-32.

Hedayati, S.; Tehrani, M.M.: Effect of total replacement of egg by soymilk and lecithin on physical properties of batter and cake [online Publikation]. Food Science and Nutrition (Juni 2018), Heftnummer 6 (4), S. 1154-1161 [Zugriff am: 17.11.2019] Verfügbar unter: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6021699/>

Henrich, P.: Umsatz mit Bio-Lebensmitteln in Deutschland bis 2018 [online Statistik]. 23.09.2019 [Zugriff am: 03.01.2020] Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/4109/umfrage/bio-lebensmittel-umsatz-zeitreihe/>

Jarpa-Parra, M.; Wong, L.; Wismer, W.; Temelli, F.; Han, J.; Huang, W.; Eckhart, E.; Tian, Z.; Shi, K.; Sun, T.; Chen, L.: Quality characteristics of angel food cake and muffin using lentil protein as egg/milk replacer. International Journal of Food Science and Technology 52. Jahrgang (2017), S. 1604-1613 (DOI:10.1111/ijfs.13433).

Kathi: Kuchen im Glas Schokokuchen [online]. [Zugriff am: 09.11.2019] Verfügbar unter: <https://www.kathi.de/kuchen-im-glas/schokokuchen/>

Kiosseoglou, V.; Paraskevopoulou, A.: Eggs. In: Hui, Y.H. (Hrsg.) Bakery Products. Science and Technology. 1. Auflage. Iowa: Blackwell Publishing, 2006.

Kuchen im Glas: Brownie. Infos, Zutaten & Nährwerte [online]. [Zugriff am: 09.11.2019] Verfügbar unter: <https://www.kuchen-im-glas.com/brownie.html>

Kuhnert, P.: Lexikon Lebensmittelzusatzstoffe. Zusatzstoffe, Enzyme, technische Hilfsstoffe, Nahrungsergänzungstoffe. 4. Auflage. Hamburg: Behr's Verlag, 2014.



Lai, H.-M.; Lin, T.-C.: Bakery Products: Science and Technology. In: Hui, Y.H. (Hrsg.) Bakery Products. Science and Technology. 1. Auflage. Iowa: Blackwell Publishing, 2006.

Leitsätze für vegane und vegetarische Produkte mit Ähnlichkeit zu Lebensmitteln tierischen Ursprungs. Dezember 2018.

Mustafa, R.; He, Y.; Young Shim, Y.; Reaney, M.J.T.: Aquafaba, wastewater from chickpea canning, functions as an egg replacer in sponge cake. International Journal of Food Science and Technology 53. Jahrgang (2018), S. 2247-2255.

my-bakery.de: Kuchen im Glas Vanille 435 ml [online]. [Zugriff am: 09.11.2019] Verfügbar unter: <https://my-bakery.de/kuchen-im-glas-vanille-435-ml/559>

Norm DIN EN ISO 8589: Sensorische Analyse – Allgemeiner Leitfaden für die Gestaltung von Prüfräumen. 2014.

Norm DIN 10964: Sensorische Prüfverfahren. Einfach beschreibende Prüfung. November 2014.

Norm DIN EN ISO 11136: Sensorische Analyse - Methodologie - Allgemeiner Leitfaden für die Durchführung hedonischer Prüfungen (Verbrauchertests) in einem kontrollierten Umfeld. Oktober 2017.

Özcan, S.: Rezept Möhrenkuchen/ Rüblikuchen mit Vanillefrosting [online Blog]. März 2015 [Zugriff am: 02.10.2019] Verfügbar unter: <https://sallys-blog.de/moehrenkuchen-rueblikuchen-mit-vanillefrosting.html>

Paduschek, J.: Antwort auf schriftliche Anfrage zu Haltbarkeit der Kuchen im Glas (E-Mail). Julia.Paduschek@kathi.de, 11.11.2019.

PeTA: Ei-Ersatz: Die 20 besten Ei-Alternativen zum Kochen und Backen [online]. April 2017 [Zugriff am: 07.10.2019] Verfügbar unter: <https://www.peta.de/ei-alternativen>

Rahmanti, N.F.; Tehrani, M.M.: Influence of different emulsifiers on characteristics of eggless cake containing soy milk: Modeling of physical and sensory properties by mixture experimental design. Journal of Food Science and Technology 51. Jahrgang (September 2014) Heftnummer 9, S. 1697-1710 (DOI: 10.1007/s1397-013-1253-y).

Rahmati, N.F.; Tehrani, M. M.: Replacement of egg in cake: Effect of soy-milk on quality and sensory characteristics. Journal of Food Processing and Preservation 39. Jahrgang (2015), S. 574-582 (DOI: 10.1111/jfpp.12263).

Ratnayake, W.S.; Geera, B.; Rybak, D.A.: Effect of egg and egg replacer on Yellowcake product quality. Journal of Food Processing and Preservation 36. Jahrgang (2012), S. 21-29 (DOI:10.1111/j.1745-4549.2011.00547.x).

Reifenhäuser, S.: Vegane Lebensmittel. Der Nährwertkompass für eine gesunde Ernährung. 1. Auflage. München: Gräfe und Unzer, 2015.

- Richter, M.; Boeing, H.; Grünewald-Funk, D.; Heseker, H.; Kroke, A.; Leschik-Bonnet, E.; Ober-ritter, H.; Strohm, D. Watzl, B.: Vegane Ernährung. Position der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e.V. (DGE). Ernährungsumschau 63. Jahrgang (April 2016), Heftnummer 4, S. 92-102.
- Rittenau, N.: Vegan-Klischee ade!. Wissenschaftliche Antworten auf kritische Fragen zu veganer Ernährung. 5. Auflage. Mainz; Ventil Verlag, 2019.
- Roth-Johnson, L.: Baking without Eggs [online]. April 2013 [Zugriff am: 17.11.2019] Verfügbar unter: <https://scienceandfooducla.wordpress.com/2013/04/30/baking-without-eggs/>
- Ruscigno, M.: Guide to Eating Egg-Free [online Publikation]. Today's Dietitian 18. Jahrgang (Juli 2016), Hefnummer 7, S. 36 [Zugriff am: 17.11.2019] Verfügbar unter: <https://www.todaysdietitian.com/newarchives/0716p36.shtml>
- Salwa, M. A.-E-F: Physical, chemical and sensory characteristics of vegan cake. Arab. Univ. J. Agric. Sci. 17. Jahrgang (2009), Heftnummer 2, S.335-350.
- Schulz, E.; Stolz, W.: Ausrüstungen. In: Sielaff, H. (Hrsg.): Technologie der Konservenherstellung. 1. Auflage. Hamburg: Behr's Verlag, 1996.
- Schünemann, C.; Treu, G.: Technologie der Backwarenherstellung. Fachkundliches Lehrbuch für Bäcker und Bäckerinnen. 11. Auflage. Alfeld: Gildebuchverlag, 2016.
- Shao, Y.-Y.; Lin, K.-H.; Chen, Y.-H.: Batter and Product Quality of eggless Cakes made of different types of Flours and gums. Journal of Food Processing and Preservation 39. Jahrgang (2015), S.2959-2968 (DOI: 10.1111/jfpp12547).
- SKOPOS group: 1,3 Millionen Deutsche leben vegan [online]. 2016 [Zugriff am: 06.11.2019] Verfügbar unter: <https://www.skopos-group.de/news/13-millionen-deutsche-leben-vegan.html>
- Söderberg, J.: Functional properties of legume proteins compared to egg proteins and their potential as egg replacers in vegan food. Master Thesis. Swedish University of Agricultural Science Uppsala, 2013.
- Trnd: Jederzeit genussbereit – die neuen fertigen Kuchen von Dr. Oetker [online Projekt-Blog]. 2011 [Zugriff am: 09.11.2019] Verfügbar unter: <http://dr-oetker-fertigkuchen.trnd.com/informationen/index.html>
- Verordnung (EG) Nr. 2991/94 des Rates vom 5. Dezember 1994 mit Normen für Streichfette. Artikel 1. Dezember 1994.
- Verordnung über Margarine und Mischfetterzeugnisse (Margarine- und Mischfettverordnung – MargMFV). Stand: Juli 2017.
- Wagner, M.; Glogowski, S.: Plastik aus ökotoxikologischer Sicht: Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt. Ernährungsumschau 65. Jahrgang (Mai 2018), Heftnummer 5, S. M263-M266.

Waldow, K.: Verband für Unverpackt-Läden. „Neugründungen steigen rapide an“ [Interview]. 25.07.2019 [Zugriff am: 03.01.2020] Verfügbar unter: <https://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.verband-fuer-unverpackt-laeden-neugruendungen-steigen-rapide-an.9584f4da-7052-4b05-a162-ce19117f5079.html>

Weder, S.; Schaefer, C.; Keller, M.: Die Gießener Lebensmittelpyramide. Ernährungsumschau 63. Jahrgang (August 2018), Heftnummer 8, S.134-143 (DOI:104455/eu.2018.031).

Yang, S.-C.; Baldwin, R. E.: Functional Properties of Eggs in Food. In: Stadelmann, W. J.; Cottrell, O. J. (Hrsg.): Egg Science and Technology. 4. Auflage. New York, London: Food Products Press, 1995.

## 7 Anlagen

### Anlage 1: Codierung der Proben bei der sensorischen Untersuchung

Nummer in der Verkostungsreihenfolge	Codierung	Ei-Alternative	Versuchsreihe
1	583	Banane	D1
2	141	Originalrezeptur mit Ei	-
3	328	Apfelmus	B
4	854	Sojajogurt	D2
5	643	JHBKM	A
6	276	JHBKM & Apfelmus	C

### Anlage 2: Preiskalkulation Ei-Alternativen

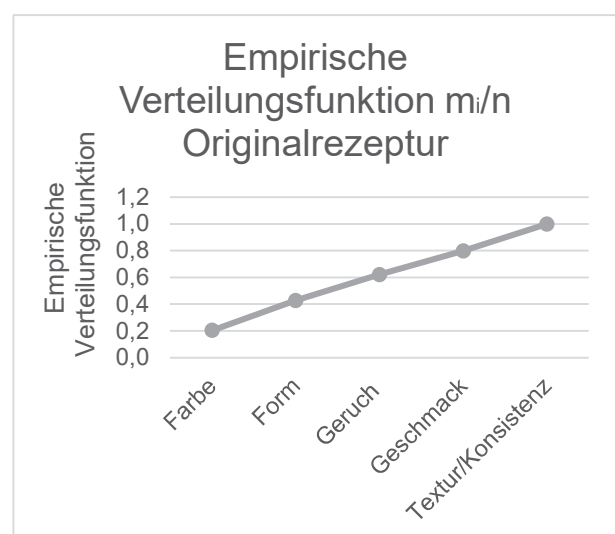
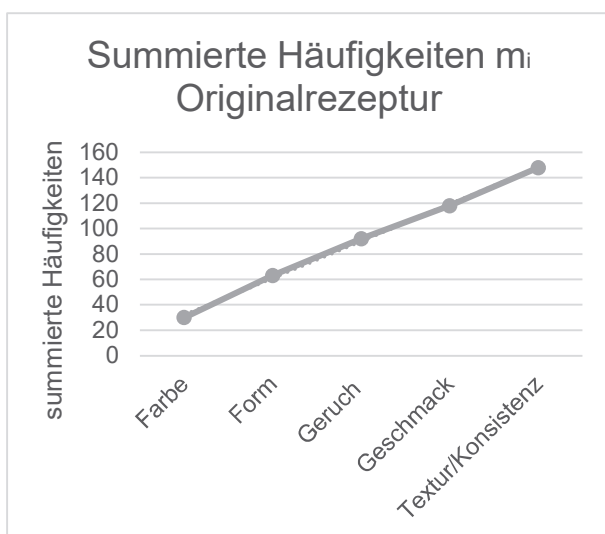
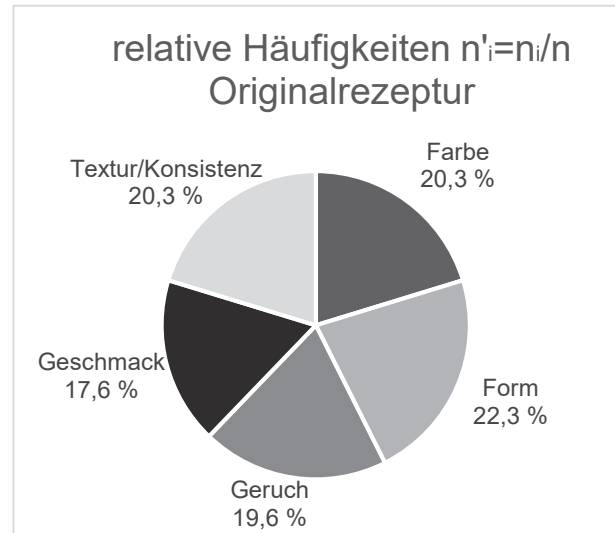
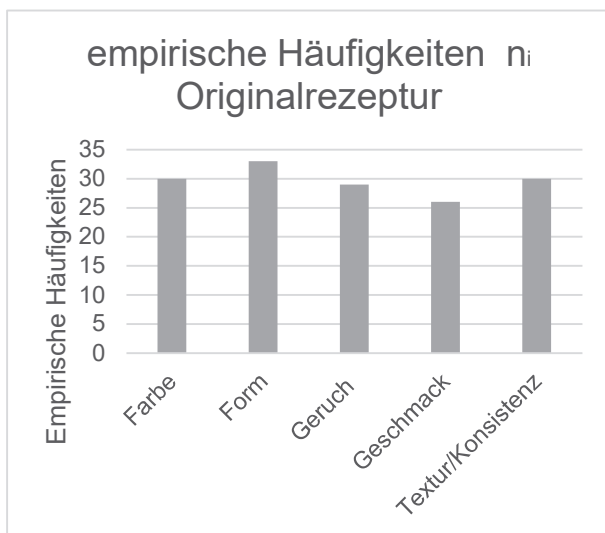
	Preis pro Ei/ Eialternative für 1 Ei (€)
Eier	0,176
Apfelmus <i>Sojadrink</i>	0,046 <u>0,026</u> Σ0,072
Alpro Natur	0,191
JHBKM Backpulver	0,159 <u>0,004</u> Σ0,163
Banane	0,079
Apfelmus & JHBKM	0,021 <u>0,104</u> Σ 0,125

## Anlage 3: Marktvergleich verschiedener Fertigmakuchen

Firma	Kuchen	Verpackung	Haltbarkeit	Besonderheiten	Quelle
Dr. Oetker	„Fertige Kuchen“ Mamorkuchen 350 g (Kastenkuchen)	Folie	8 Wochen	Behandlung der Verpackungsfolie mit Stickstoff; Sorbit im Kuchen als Feuchthaltemittel; Emulgatoren im Kuchen	Dr. Oetker Shop, (2019); Trnd, (2011)
Bahlsen	„Comptess“ Mamorkuchen 350 g (Kastenkuchen)	Folie	Auf E-Mailanfrage keine Angaben	Alkohol und Emulgatoren im Kuchen, keine Angaben über Schutzgas	Bahlsen, 2019; Bahlsen Verbraucherservice, 2019
Kuchen im Glas	Brownie vegan 310 g Kuchen im Weckglas	Glas → „Weckglas“ mit Glasdeckel mit Gummidichtung	6 Monate	Keine Zusatzstoffe; Vegane Rezeptur	Kuchen im Glas, 2019
My Bakery	Vanillekuchen 155 g Kuchen im Glas	Glas → Sturzglas mit Schraubverschluss	2 Monate	Bis auf Citronensäure als Säuerungsmittel keine Zusatzstoffe	My-Bakery.de, 2019
Kathi	Schokokuchen 115 g Kuchen im Weckglas	Glas → „Weckglas“ mit Glasdeckel und Gummidichtung	26 Wochen (Haltbarkeiten anderer Kuchen im Glas der 4 - 26 Wochen)	Keine Zusatzstoffe (in manchen Kuchen Alkohol im Kuchen)	Kathi, 2019; Paduschek, 2019
der muu Kuchen	Mandel Karottenkuchen 90 g Kuchen im Glas	Glas → Sturzglas mit Schraubverschluss	3 Monate	Alkohol (Kirschwasser) im Kuchen	der muu Kuchen, 2019
elikat	Zitronenkuchen vegan, glutenfrei 145 g Kuchen im Glas	Glas → Sturzglas mit Schraubverschluss	3 Monate	Keine Zusatzstoffe, vegane und glutenfreie Rezeptur	elikat, 2019

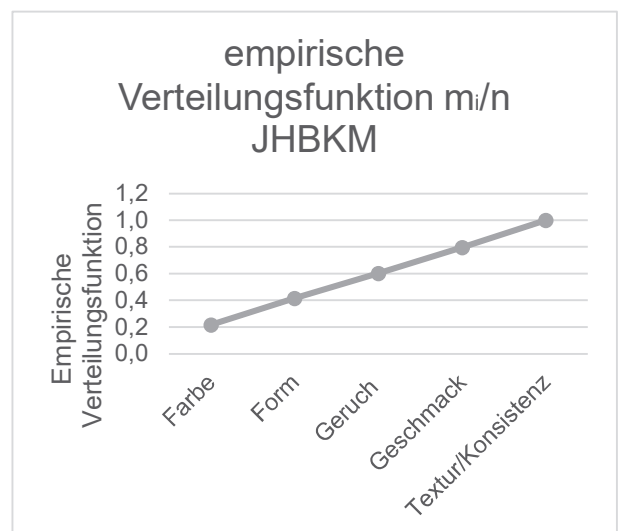
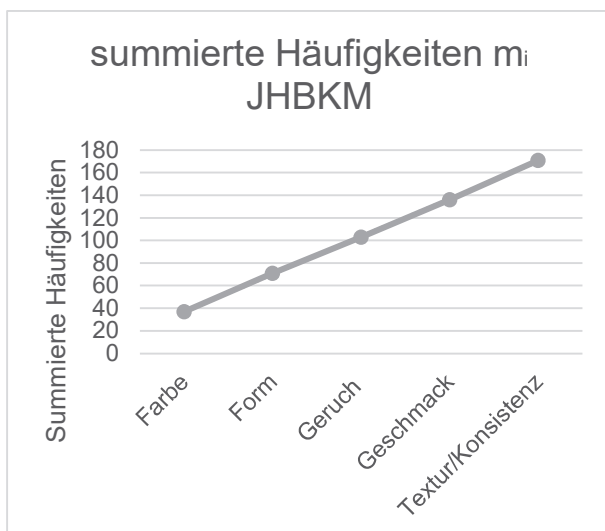
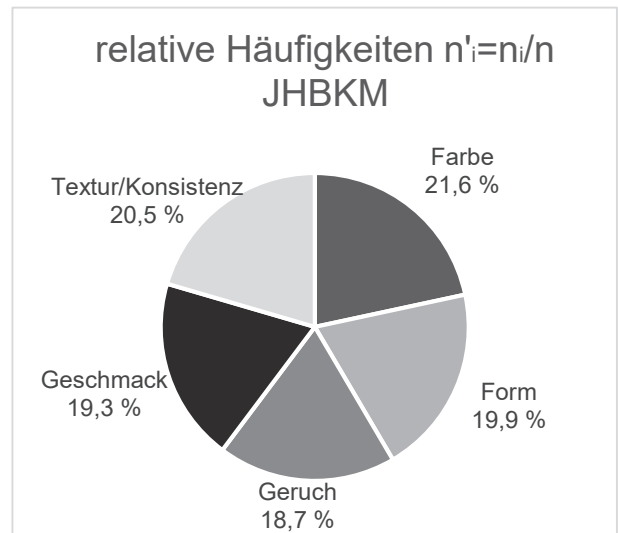
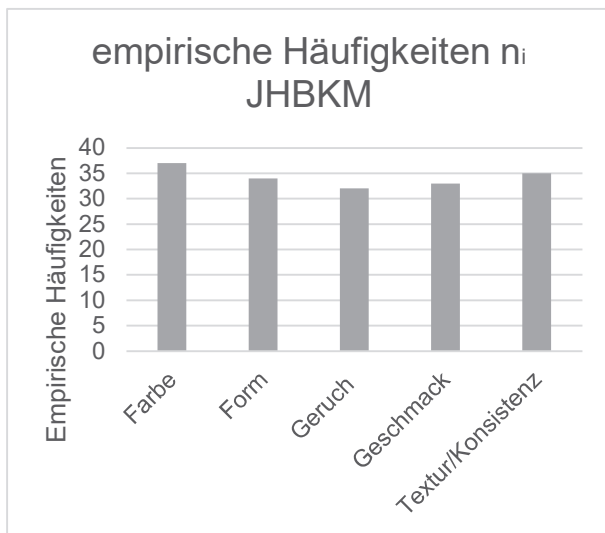
## Anlage 4: Einfach beschreibende Prüfung - Auswertung der Häufigkeiten Originalrezeptur

Originalrezeptur					
Klassennummer $i$	Beschreibung der	empirische Häufigkeiten $n_i$	relative Häufigkeiten $n'_i = n_i/n$	summierte Häufigkeiten $m_i$	empirische Verteilungsfunktion $m/n$
1	Farbe	30	20,3	30	0,203
2	Form	33	22,3	63	0,426
3	Geruch	29	19,6	92	0,622
4	Geschmack	26	17,6	118	0,797
5	Textur/Konsistenz	30	20,3	148	1,000
Summe		$n =$ 148			



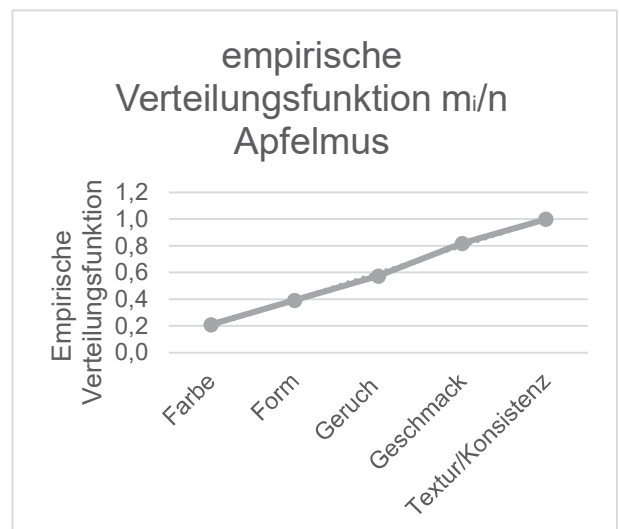
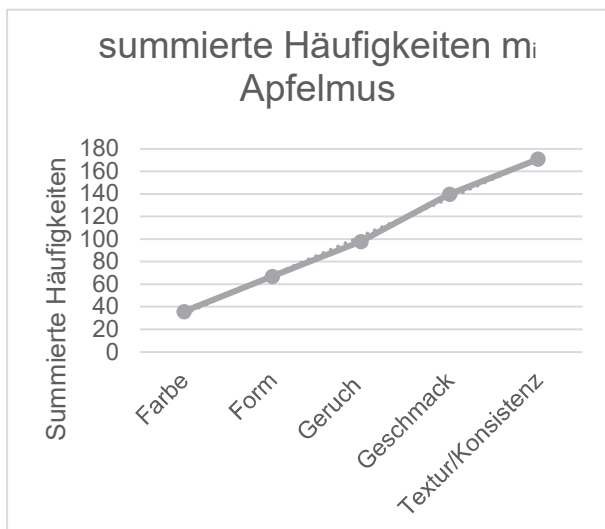
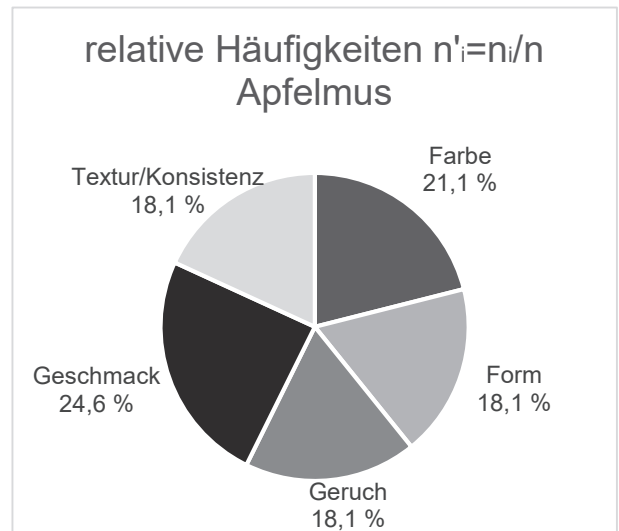
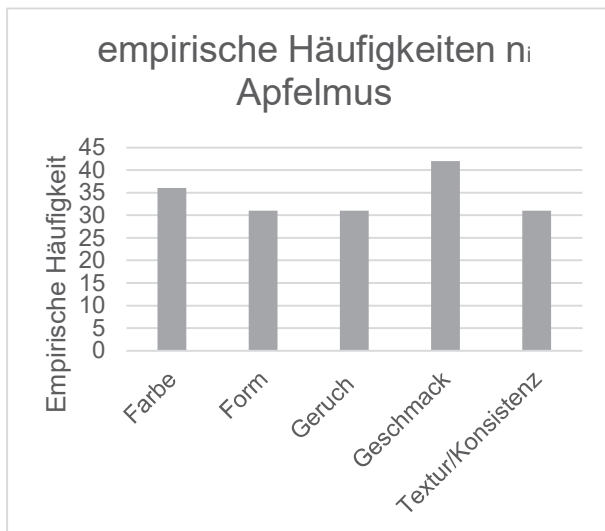
## Anlage 5: Einfach beschreibende Prüfung - Auswertung der Häufigkeiten Johannisbrotkernmehl

Johannisbrotkernmehl					
Klassennummer $i$	Beschreibung	empirische Häufigkeiten $n_i$	relative Häufigkeiten $n'_i = n_i/n$	summierte Häufigkeiten $m_i$	empirische Verteilungsfunktion $m/n$
1	Farbe	37	21,6	37	0,216
2	Form	34	19,9	71	0,415
3	Geruch	32	18,7	103	0,602
4	Geschmack	33	19,3	136	0,795
5	Textur/Konsistenz	35	20,5	171	1,000
Summe	$n =$	171			



## Anlage 6: Einfach beschreibende Prüfung - Auswertung der Häufigkeiten Apfelmus

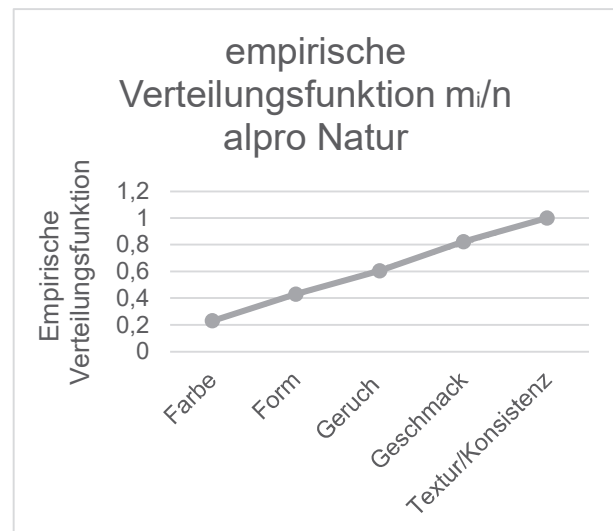
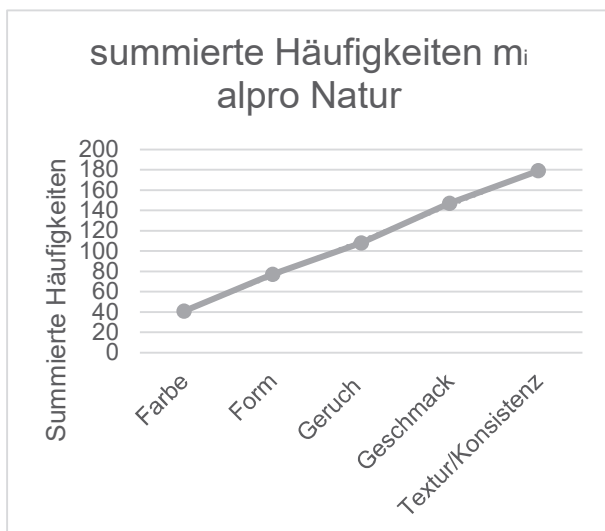
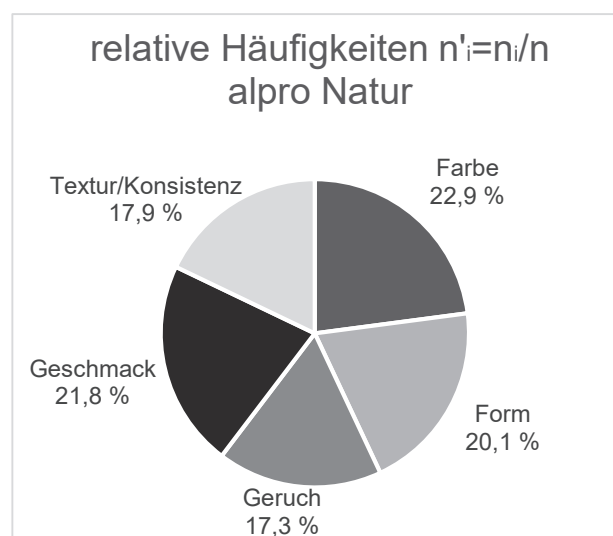
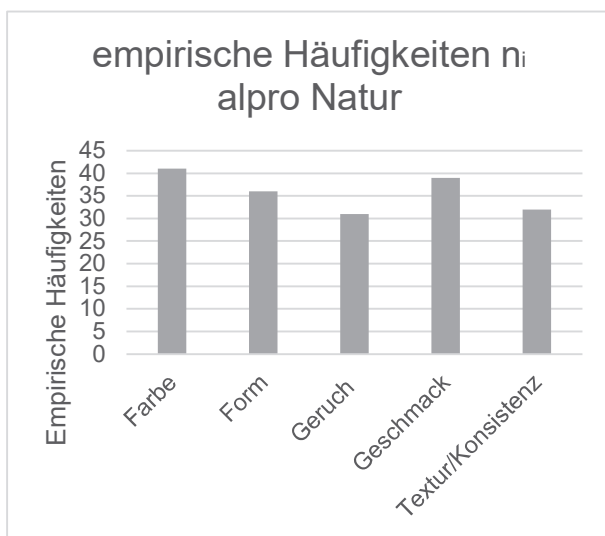
Apfelmus					
Klassennummer $i$	Beschreibung	empirische Häufigkeiten $n_i$	relative Häufigkeiten $n'_i = n_i/n$	summierte Häufigkeiten $m_i$	empirische Verteilungsfunktion $m/n$
1	Farbe	36	21,1	36	0,211
2	Form	31	18,1	67	0,392
3	Geruch	31	18,1	98	0,573
4	Geschmack	42	24,6	140	0,819
5	Textur/Konsistenz	31	18,1	171	1,000
Summe	$n =$	171			





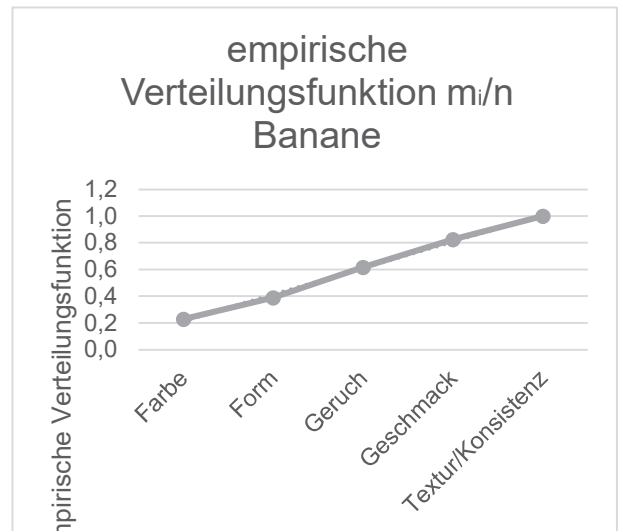
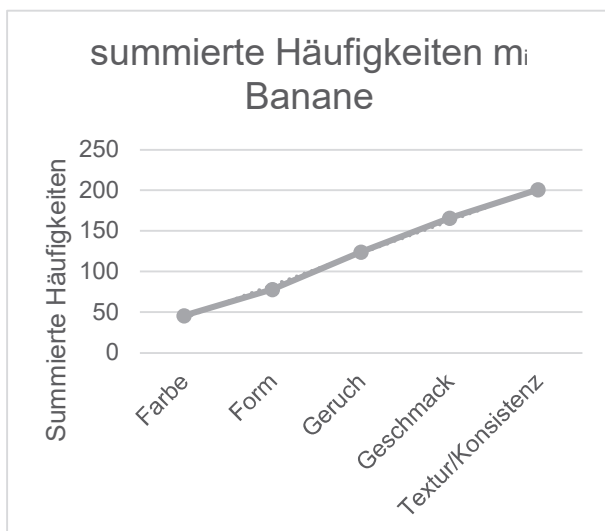
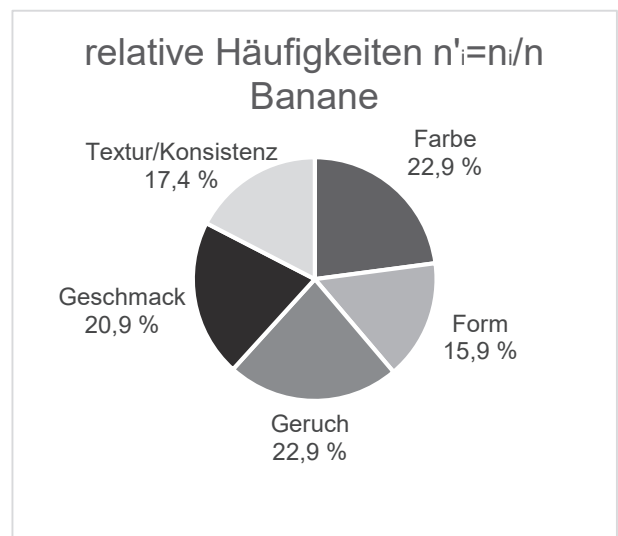
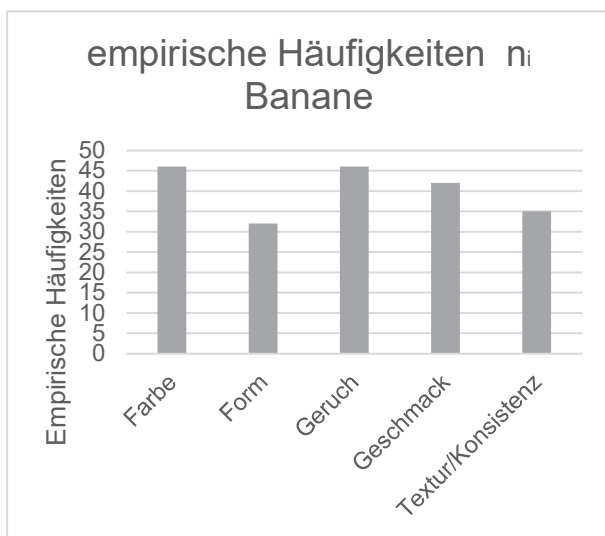
## Anlage 7: Einfach beschreibende Prüfung - Auswertung Häufigkeiten alpro Natur

Alpro Natur					
Klassennummer $i$	Beschreibung	empirische Häufigkeiten $n_i$	relative Häufigkeiten $n'_i = n_i/n$	summierte Häufigkeiten $m_i$	empirische Verteilungsfunktion $m/n$
1	Farbe	41	22,9	41	0,229
2	Form	36	20,1	77	0,430
3	Geruch	31	17,3	108	0,603
4	Geschmack	39	21,8	147	0,821
5	Textur/Konsistenz	32	17,9	179	1,000
Summe	$n =$	179			



## Anlage 8: Einfach beschreibende Prüfung - Auswertung Häufigkeiten Banane

Banane					
Klassennummer $i$	Beschreibung	empirische Häufigkeiten $n_i$	relative Häufigkeiten $n'_i = n_i/n$	summierte Häufigkeiten $m_i$	empirische Verteilungsfunktion $m/n$
1	Farbe	46	22,9	46	0,229
2	Form	32	15,9	78	0,388
3	Geruch	46	22,9	124	0,617
4	Geschmack	42	20,9	166	0,826
5	Textur/Konsistenz	35	17,4	201	1,000
Summe	$n =$	201			



**Erklärung über die selbstständige Anfertigung der Arbeit**

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Arbeit von mir selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt worden ist und ich keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Textstellen, die wörtlich oder annähernd wörtlich aus Veröffentlichungen entnommen wurden, sind durch Zitate als solche gekennzeichnet.

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

Neubrandenburg, 22.01.2020

---

Marie Lankau