Hochschule Neubrandenburg
Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften
Studiengang Lebensmitteltechnologie
SoSe 2022

Entwicklung eines extrudierten Fleischersatzproduktes auf Basis von Linsenmehl und Erbsenproteinisolat

-Bachelorthesis-

vorgelegt zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science (B.Sc.)

vorgelegt von: Marc Milzow

1. Betreuer: Prof. Dr. Peter Meurer
2. Betreuer: Prof. Dr. oec. troph. Jörg Meier

Tag der Einreichung: 17.09.2022

urn:nbn:de:gbv:519-thesis 2022-0346-1

Abstract

The world is changing. People are paying more and more attention to sustainability and therefore they prefer plant-based foods. For this reason, interest in the research and development of nutritious, protein-rich plant-based foods has increased greatly.
Therefore, the aim of this bachelor thesis is to develop an extruded meat substitute product based on lentil flour and pea protein isolate.
The formulation of this product is based on the findings of a previous thesis. The aim is to develop a product with a meat-like texture. The final product has a protein content of about 60%. In the course of this, the effect of changing individual extruder parameters on the product parameters will be investigated. To test the effects on different parameters, different physical tests are carried out. The influence of the individual parameters on the texture is investigated and evaluated by means of sensory testing.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Bachelorarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst gebührt mein Dank Herrn Prof. Dr. Meurer, der mir das Thema dieser Arbeit bereitgestellt hat. Des Weiteren bedanke ich mich für die Betreuung und Begutachtung dieser Bachelorarbeit.
Ein weiterer Dank gebührt Herrn Prof. Dr. Meier, der ebenfalls meine Bachelorarbeit betreut und begutachtet.

Ein besonderer Dank gilt Frau Hoffmann und Frau Sauermilch, die mich bei den physikalischen und sensorischen Untersuchungen unterstützt haben.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Freunden und meiner Familie bedanken. Deren Unterstützung und Hilfsbereitschaft haben maßgeblich dazu beigetragen, dass diese Bachelorarbeit in dieser Form vorliegt.

Marc Milzow

Neubrandenburg, 17.09.2022

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Einheiten

TVP	texturized vegetable protein
LMIV	Lebensmittelinformationsverordnung
EU	Europa
Nr.	Nummer
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
LS	Leitsätze
u.a.	unter anderem
u.v.m.	und viele mehr
Abb.	Abbildung
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
EUFS	Einfach ungesättigte Fettsäuren
MUFS	Mehrfach ungesättigte Fettsäuren
o.J.	ohne Jahr
SME	Spezifische Mechanische Energie
Gl.	Gleichung
LFBG	Lebensmittel,-Bedarfsgegenstände – und Futtermittelgesetzbuch
§	Paragraf
UFP	Ultra Flash Profiling
Pkt.	Punkt
S.	Seite
PL	Pumpleistung
WD	Wasserdosierung
PD	Produktdurchsatz
HV	Hauptversuch
MFA	Multiple Faktorenanalyse

°C	Grad Celsius
%	Prozent
g	Gramm
kg	Kilogramm
kW	Kilowatt
min	Minute
h	Stunde
p_{max}	maximale Motorleistung
n	Schneckendrehzahl
n_{max}	maximale Schneckendrehzahl
M	Drehmoment
$\dot{m}$	Produktdurchsatz
ρ_{sch}	Schüttdichte
m_s	Masser der Schüttung
V_{sch}	Volumen der Schüttung
g/l	Gramm pro Liter
T	Trockensubstanz
W	frei verfügbares Wasser
a_W	Wasseraktivität
p	Wasserdampfpartialdruck
p_0	Sättigungsdampfdruck von reinem Wasser
kJ/kcal	Kilojoule pro Kilokalorie
mm	Millimeter
n_{Messer}	Drehzahl des Schneidmessers
s	Sekunde
kWh	Kilowattstunde

Inhaltsverzeichnis

1.Einleitung 1
1.1 Forschungsfrage 1
1.2 Ziel der Arbeit 1
2.Stand der Wissenschaft und Technik 2
2.1 Alternative Fleischersatzprodukte 2
2.1.1 Texturierung 2
2.1.2 Rechtliche Grundlagen 3
2.2 Extrusion 4
2.2.1 Grundlagen des Extrusionsprozesses 4
2.2.2 Doppelschneckenextruder 5
2.2.3 Schneckenkonfiguration 7
2.2.4 Gestaltung von Lebensmittelstrukturen durch Extrusion 7
2.3 Verwendete Rohwaren 9
2.3.1 Ernährungsphysiologische Bedeutung von Hülsenfrüchten 9
2.3.2 Linsenmehl 10
2.3.3 Erbsenproteinisolat 10
2.4 Theorie zu den angewendeten Analysemethoden 12
2.4.1 Spezifische Mechanische Energie 12
2.4.2 Schüttdichte 13
2.4.3 Trockenmassebestimmung 14
2.4.4 Bestimmung der Wasseraktivität – a_w – Wert 15
2.4.5 Farbanalyse 16
2.5 Sensorische Methoden 16
2.5.1 Napping inklusive Ultra Flash Profiling 16
3.Material und Methoden 18
3.1 Versuchsplanung 18
3.2 Verwendete Geräte 19
3.3 Rohwaren und Rezeptur 20
3.3.1 Verwendete Rohwaren 20
3.3.2 Verwendete Rezeptur 21
3.4 Versuchablauf 21
3.4.1 Allgemeine Schritte 21
3.4.2 Hauptversuchstag 1 22
3.4.3 Hauptversuchstag 2 25
3.5 Kurzbeschreibung zur Durchführung der Analysemethoden 27

3.5.1 Berechnung der Spezifischen Mechanischen Energie ... 27
3.5.2 Trockenmassebestimmung ... 27
3.5.3 Messung der Wasseraktivität ... 27
3.5.4 Bestimmung der Schüttdichte ... 27
3.5.5 Farbemessung ... 28
3.6 Durchführung der Sensorischen Untersuchung ... 28
3.6.1 Auswahl der Proben ... 28
3.6.2 Zubereitungsversuche ... 29
3.6.3 Sensorische Untersuchung – Napping und Ultra Flash Profiling ... 31
4.Versuchsergebnisse ... 32
4.1 Auswertung der verwendeten Prozessparameter ... 32
4.1.1 Schneckendrehzahl ... 32
4,1.2 Einfluss der Wasserdosierung ... 37
4.2 Auswertung der physikalischen Untersuchungen ... 41
4.2.1 Feuchtegehalt und Wasseraktivität ... 41
4.2.2 Farbanalyse ... 42
4.3 Auswertung der sensorischen Untersuchung ... 45
4.3.1 Napping und UFP ... 45
5.Abschlussdiskussion ... 50
6.Zusammenfassung ... 52
7.Literaturverzeichnis ... 53
8.Tabellenverzeichnis ... 57
9.Abbildungsverzeichnis ... 57
10.Anhänge ... 59
10.1 Produktspezifikationen ... 59
10.2 Pumpenkennlinie ... 61

1.Einleitung

1.1 Forschungsfrage

Weltweit achten Verbraucher immer mehr auf das Ernährungs- und Konsumverhalten. Den Verbrauchern wird bewusst, wie wichtig ökologische und ethische Aspekte sind. Darüber hinaus steigt der Anspruch gegenüber tierfreundlicher und umweltbewusster Produktqualität kontinuierlich an. Aus den genannten Gründen nehmen Verbraucher eine fleischreduzierte bzw. fleischlose Ernährungsform an. Durch die Anpassung an die jeweiligen Ernährungsformen hat sich der Markt für vegetarische und vegane Ersatzprodukte, im Vergleich zu 2016 in Deutschland nahezu verdoppelt (Splendid Research, 2020). Diese Veränderungen erfordern Produkte, die dem Fleisch in Konsistenz, Textur und Proteingehalt gleichen. Der Forschungsleitfaden für die vorliegende Arbeit ist die Entwicklung eines extrudierten Fleischersatzproduktes auf Basis von Linsenmehl und Erbsenprotein.

1.2 Ziel der Arbeit

In der folgenden Bachelorarbeit soll ein Fleischersatzprodukt hergestellt werden, welches Fleisch in Konsistenz, Textur und Proteingehalt ähnelt. Dieses Produkt basiert auf Linsen. Das hergestellte Endprodukt soll zudem einen erhöhten Proteingehalt aufweisen. Dies wird ermöglicht, indem Erbsenproteinisolat zugemischt wird. Gleichzeitig wird mit der Erhöhung des Proteingehaltes erzielt, dass die Texturierung des linsenbasierten Fleischersatzproduktes fasriger und somit stabiler wird (Papel; Schiller, 2017). Die gewählte Rezeptur für die Mischung aus Linsenmehl und Erbsenproteinisolat basiert auf den Erkenntnissen von Klatt (2022).

2.Stand der Wissenschaft und Technik

2.1 Alternative Fleischersatzprodukte

2.1.1 Texturierung

Alternative Fleischersatzprodukte sollen den tierischen Erzeugnissen in Optik, Proteingehalt, Struktur und Aroma ähneln. Um diese Eigenschaften erhalten zu können, werden die Fleischersatzprodukte meist auf der Basis von Hülsenfrüchten und durch spezielle Extrusionstechnologie hergestellt (Frauenhofer IVV, 2022).

Bei der Herstellung von Fleischersatzprodukten ist das komplexe Zusammenspiel zwischen Inhaltsstoffen und Prozessparametern zu beachten (Höller, 2020). Inhaltsstoffe wie bspw. Muskel – und Bindegewebseiweiß, die Wasser binden und die Struktur im Fleisch beeinflussen, müssen in dem Fleischersatzprodukt durch pflanzliche Inhaltsstoffe ersetzt werden (Sielaff, 1996). Die fleischähnlichen Strukturen können geschaffen werden, indem texturierte und fibrinöse Proteine erzeugt werden. Diese werden als TVP (texturized vegetable Protein) bezeichnet (Höller, 2020).

Die Texturierung findet statt, indem intramolekulare Wechselwirkungen gelöst werden. Aus diesem Grund erfolgt eine Auffaltung der Peptidketten der globulären Proteinen. Gleichzeitig werden gestreckte Peptidketten, die in ß – Form vorliegen, durch die Ausbildung von intermolekularen Wechselwirkungen, stabilisiert (Belitz et al, 2001). Dieser Strukturänderungsprozess kann nach Belitz et al (2001) durch 2 unterschiedliche Methoden erfolgen. Entweder nach dem Spinnprozess, bei dem das Ausgangsprotein aufgelöst und durch eine Spinndüse in ein Fällbad gepresst wird oder durch ein Extrusionsprozess. Bei dem Extrusionsprozess wird das Protein im feuchten Zustand, bei hohem Druck und hoher Temperatur einer hohen Scherrate ausgesetzt.

Nach Belitz et al (2001) ist der notwendige Proteingehalt des Ausgangsmaterials für die Texturierung abhängig vom Prozess. Die Proteine sollten dennoch ein Molekulargewicht im Bereich von 10.000 – 50.000 aufweisen. Bei Proteinen mit einem Molekulargewicht <10.000 wird eine schwache Faserbildung erwartet und bei einem Molekulargewicht >50.000 ist die hohe Viskosität und die Gelbildung im alkalischen Bereich von Nachteil.

2.1.2 Rechtliche Grundlagen

Die Kennzeichnung der Lebensmittel wird über die Lebensmittelinformations – Verordnung (LMIV) geregelt. Es gelten europaweit einheitliche und klare Vorgaben zur Kennzeichnung. Die LMIV löst die bisherige europäische Etikettierungsrichtline, sowie die deutsche Lebensmittelkennzeichnungs – Verordnung ab (Lebensmittelverband Deutschland, 2022). Dem zugrunde liegt auch die Kennzeichnungspflicht für vegetarische und vegane Lebensmittel nach der Verordnung (EU) Nr. 1169/2011. Hierbei müssen die Lebensmittel so bezeichnet werden, dass Endverbraucher nicht getäuscht werden. Um eine Orientierungshilfe für Unternehmen, Überwachungsbehörden und Gerichte zu schaffen und um Verbraucher vor Irreführung zu schützen, wurden 2018 die Leitsätze für vegetarische und vegane Lebensmittel mit Ähnlichkeit zu Lebensmittel tierischen Ursprungs veröffentlicht (BMEL, 2021).

Um ein Verständnis zu bekommen, was vegane und vegetarische Lebensmittel sind, wird in den Leitsäten eine genaue Definition beschrieben.

Vegane Lebensmittel sind kurzgesagt Lebensmittel, die keine Erzeugnisse tierischen Ursprungs beinhalten, seien es Zutaten inklusive Zusatzstoffe, Enzyme und Aromen, Verarbeitungshilfsstoffe oder Nichtlebensmittelzusatzsoffe. Eine Ausnahme sind Mikroorganismen wie Bakterien, Hefen oder Pilze. Diese sind nicht tierischen Ursprung und können dementsprechend zugesetzt werden (Leitsätze für vegetarische und vegane Lebensmittel mit Ähnlichkeiten zu Lebensmitteln tierischen Ursprung, 2018).

Nach den LS für vegetarische und vegane Lebensmittel mit Ähnlichkeit zu Lebensmittel tierischen Ursprungs (2018) sind vegetarische Lebensmittel, Lebensmittel, die die Anforderungen für vegane Lebensmittel erfüllen. Es können aber bei der Produktion tierische Erzeugnisse wie u.a. Milch, Honig, Eier, deren Bestandteile oder daraus gewonnen Erzeugnisse zugesetzt werden.

Wie die veganen und vegetarischen Lebensmittel zu bezeichnen sind, wird in den Leitsätzen deutlich. Generell ist die Bezeichnung in Anlehnung auf tierische Erzeugnisse üblich, wenn das vegane oder vegetarische Lebensmittel Merkmale wie insbesondere Aussehen, Textur und Mundgefühl aufweist (Leitsätze für vegetarische und vegane Lebensmittel mit Ähnlichkeiten zu Lebensmitteln tierischen Ursprung, 2018).

2.2 Extrusion

2.2.1 Grundlagen des Extrusionsprozesses

Im Allgemeinen ist die Extrusion ein formgebendes Verfahren, bei dem verschiedenste Massen unter hohem Druck und hoher Temperatur durch kleine formgebende Öffnungen gepresst werden. Die Extrusion wird u.a. in der Kunststoffverarbeitenden – oder in der Lebensmittelindustrie angewendet (techpilot.de, 2020).

In der Lebensmittelindustrie ist diese Methode vielseitig und effizient und wird hauptsächlich für die Zubereitung von stärke – und proteinbasierten Futter – und Lebensmittelprodukten verwendet. Bei dem Prozess werden Material oder Gemische durch Öffnungen bzw. Düsen mit einer definierten Form gepresst. Die erforderliche Schubkraft wird mechanisch über den Druck eines beweglichen Kolbens oder mittels Rotation beweglicher Förderschnecken erzeugt. Die dabei entstehenden Produkte werden als Extrudate bezeichnet (Verheyen et al, 2022).

Zu den extrudierten Lebensmitteln gehören u. a Frühstückcerealien, diverse Snacks wie bspw. Erdnussflips, Nudeln u.v.m. (Waldner, 2021).

Um den Prozess der Extrusion durchführen zu können werden in der Lebensmittelindustrie Extruder eingesetzt, am häufigsten jedoch Schneckenextruder. Durch die Rotation der Schnecken wird Energie, in Form von Wärme, in das Produkt eingebracht und dadurch wird dann bei stärke – und proteinhaltigen Lebensmitteln die Stärkeverkleisterung bzw. die Denaturierung der Proteine hervorgerufen und beeinflusst. Je nach Höhe der Temperatur wird die Extrusion in Kalt – und Kochextrusion unterteilt (Verheyen et al, 2022).

<u>Kaltextrusion</u>

Laut Verheyen et al (2022) liegen die Temperaturen bei Kaltextrusion zwischen 40 und 75°C. Dadurch werden durch Wärme hervorgerufene Vorgänge wie die Stärkeverkleisterung, Denaturierung und Bräunungsprozesse minimiert. Die Kaltextrusion findet Anwendung in der Teig – und Süßwarenindustrie.

<u>Koch – bzw. Heißextrusion</u>

Bei diesem Prozess wird mit einer Temperatur im Bereich zwischen 130 – 180°C gearbeitet. Die Kochextrusion, kann auch als kontinuierlicher Hochtemperatur – Kurzzeitprozess bezeichnet werden, bei dem zähflüssige, aushärtbare Materialien durch Formstempel gepresst werden. Mittels Kochextrusion ist eine gezielte Modifikation von Proteinen möglich, so dass Produktstrukturen entstehen die tierischen Muskelfasern ähneln. Der Wassergehalt spielt eine

große Rolle, denn dieser beeinflusst die Viskosität, den Wärmeübergang zwischen Gehäuse und Produkt und ebenfalls Verkleisterungs – und Denaturierungsprozesse. Auf der Basis des Wassergehaltes bzw. der Produktfeuchte wird die Kochextrusion dann noch in die Trockenextrusion (Wassergehalt < 40 %) und Nassextrusion (Wassergehalt > 40 %) untergliedert (Verheyen et al, 2022).

2.2.2 Doppelschneckenextruder

Wie der Name es schon verrät, besitzt der Doppelschneckenextruder 2 parallel verlaufende Schnecken. Im Gegensatz zum Einschneckenextruder wird bei dem Doppelschnecken eine größere Flexibilität bei der Verarbeitung viskoser, klebriger sowie öliger Rohstoffe gewährleistet. Diese würden im Einschneckenextruder keine Reibungs – bzw. Scherkräfte erfahren. Dies gilt auch für Rohstoffmischungen, die eine uneinheitliche Partikelgrößenverteilung aufweisen (Verheyen et al, 2022).

Dementsprechend ist es bei der Kochextrusion üblich mit Doppelschneckenextrudern zu arbeiten.

Die Abbildung 1 zeigt den Aufbau eines Doppelschneckenextruders. In verschiedenen Merkmalen unterscheiden sich Doppelschneckenextruder. Es gibt Doppelschneckenextruder, die entweder gleich oder gegenläufig arbeiten und daraus resultieren dann unterschiedliche Pumpwirkungen bzw. Düsendrücke. Bei gleichläufigen Doppelschneckenextrudern ist die Drehrichtung und Geschwindigkeit identisch und die Schnecken weisen die gleiche Geometrie auf. Sie besitzen, je nach Produktart, einen modularen Aufbau mit Förder-, Knet- und Rücklaufelementen. Dies hat den Vorteil, dass der Produkttransport gleichmäßiger ist, es besteht eine Unabhängigkeit der Verweilzeit von der Schneckenrotationsgeschwindigkeit, zudem gibt es eine enge Verweilzeitverteilung, dann ist die Wärmeübertragung wesentlich effektiver und es besteht ein Selbstreinigungseffekt des Prozessraumes. Gegenläufige Doppelschneckenextrudern arbeiten mit sehr guten Fördereigenschaften aber die Schnecken sind meist aus einem Stück gefertigt, was eine modulare Anpassung an verschiedene Verfahrensziele verhindert. Aus diesem Grund werden gegenläufige Doppelschneckenextruder häufig bei Monoproduktionslinien verwendet (Verheyen et al, 2022).

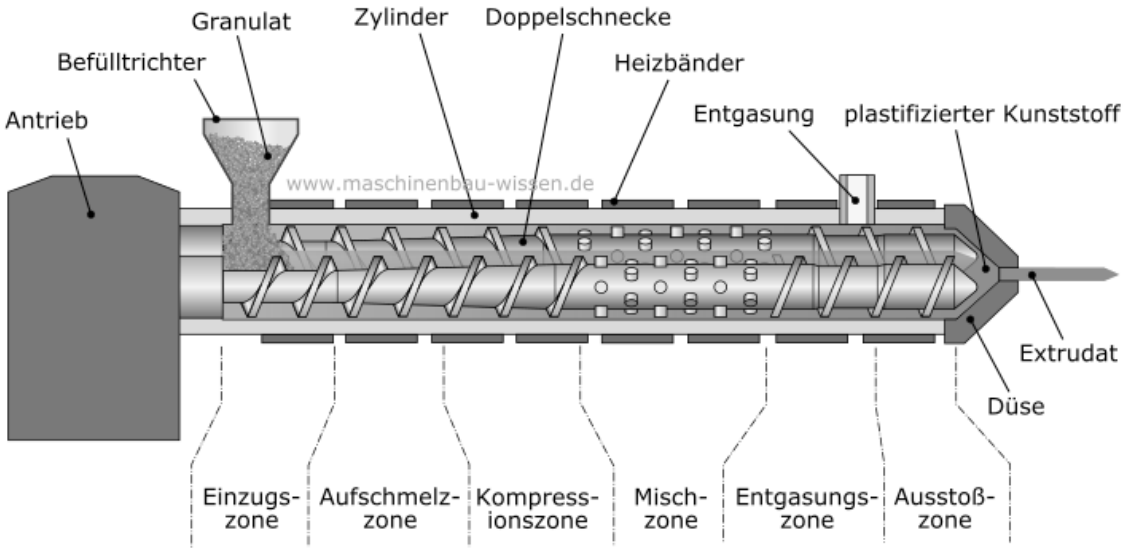

Abb. 1: Doppelschneckenextruder - Schematischer Aufbau

Nach Greif et al (2018), ist ein weiteres Unterscheidungsmerkmal der Abstand der Schnecken zueinander. Die Schnecken befinden sich in einem Zylinder, der eine acht-förmige Bohrung besitzt (Abb.2). Greifen die Schnecken ineinander spricht man von sogenannten kämmenden Schnecken. Darüber hinaus gibt es dann noch die teilweise kämmemden und nicht kämmenden Schnecken. Außerdem gibt es noch längs/quer offen und geschlossene Schnecken.

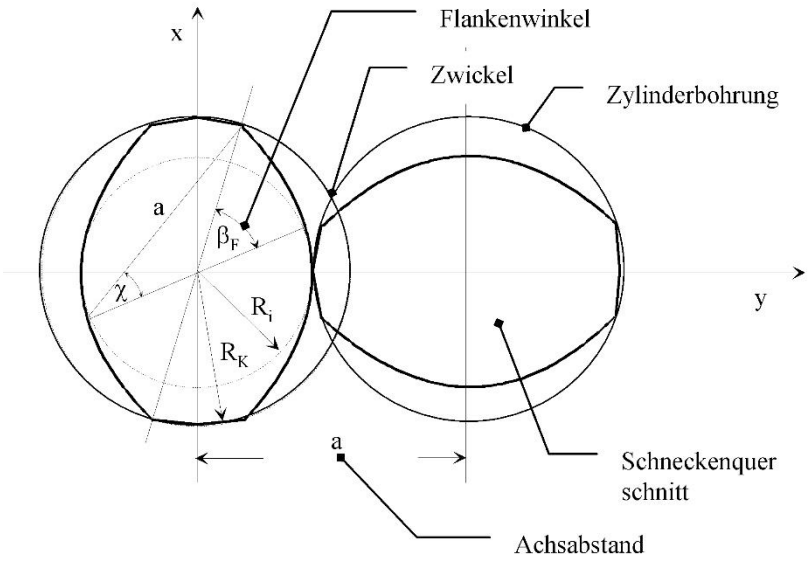

Abb. 2: Querschnitt durch den Zylinder eines Doppelschneckenextruders

2.2.3 Schneckenkonfiguration

Bei der Extrusion spielt die Schneckenkonfiguration eine wichtige Rolle. Sie nimmt u.a. Einfluss auf den Eintrag der Spezifischen Mechanischen Energie in die Extrusionsmasse und auch auf das Mischverhalten der Rohstoffe. In Abbildung 3 ist die Konfiguration dargestellt, die für durchgeführten Versuche verwendet wurde.

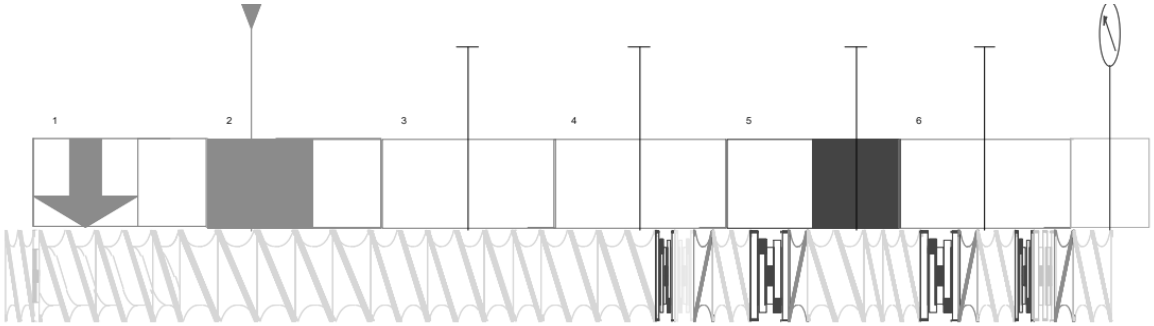

Abb. 3: Schneckenkonfiguration Doppelschneckenextruder

2.2.4 Gestaltung von Lebensmittelstrukturen durch Extrusion

Laut Verheyen et al (2022) sind nicht nur Prozessparamater maßgeblich für bestimmte Produkteigenschaften, denn die Eigenschaften der verwendeten Rohstoffe beeinflussen ebenfalls die produktspezifischen Strukturen der Extrudate.

Es ist möglich aus allen pflanzlichen Proteinen Fleischersatzprodukte herzustellen. Am häufigsten werden aber Soja-, Weizen- und Erbsenproteine verwendet (Verheyen et al, 2022). Sojaprotein ist wegen der günstigen funktionellen Eigenschaften und der guten Aminosäurezusammensetzung sehr gut geeignet für die Herstellung fleischähnlicher Strukturen aber durch die gentechnische Veränderung ist dieses Protein eher wenig beliebt bei Produzenten und Konsumenten. Alternativ wird dann Weizenprotein bzw. Gluten verwendet. Durch die viskoelastischen Eigenschaften, die hohe Reaktionsfreudigkeit und den hohen Cysteinanteil, welcher die Ausbildung von fasrigen Strukturen begünstigt, ist Weizenprotein gut geeignet. Das Erbsenprotein ist wegen seiner hohen Anpassungsfähigkeit ebenfalls eine gute Alternative zu Soja. Ähnlich wie Sojaprotein besitzt Erbsenprotein günstige funktionelle Eigenschaften, ist aber hypoallergen. Durch Erbsenprotein lassen sich ernährungsphysiologische und strukturelle Eigenschaften optimieren (Verheyen et al, 2022).

Fleischähnliche Texturen, Aussehen und Konsistenzen lassen sich durch Hauptbestandteile wie pflanzliche Proteine, pflanzliche Lipide, Polysaccharide und andere Zutaten erzeugen. Dabei übernehmen die Bestandteile unterschiedliche Funktionen. Beispielsweise sind pflanzliche

Proteine für Farbe, Struktur und Textur verantwortlich, Lipide geben Geschmack und Polysaccharide binden Wasser im Produkt (Verheyen et al, 2022).

Bei den stärkehaltigen Produkten haben der Rohstoff selbst und der Wassergehalt einen Einfluss auf die Schmelz – und Verkleisterungstemperatur. Fällt der Wassergehalt, so steigt die Schmelz – und Verkleisterungstemperatur exponentiell. Bei der Stärkeverkleisterung werden Amylosemoleküle aus den Stärkekörnern gelöst. Dadurch wird die Verdaulichkeit der Stärke gefördert, gleichzeitig kommt es zur Bildung eines stabilen Teiggerüsts. Auch durch mechanische Scherbelastung im Extruder und durch Kombination mit Temperaturen >100°C und Drücken von >200 bar, können Stärkemoleküle insbesondere Amylopektinmoleküle abgebaut werden. Das in Abbildung 4 dargestellte Schema beschreibt Vorgänge vor und nach der Expansion (Meuser et al, 2004).

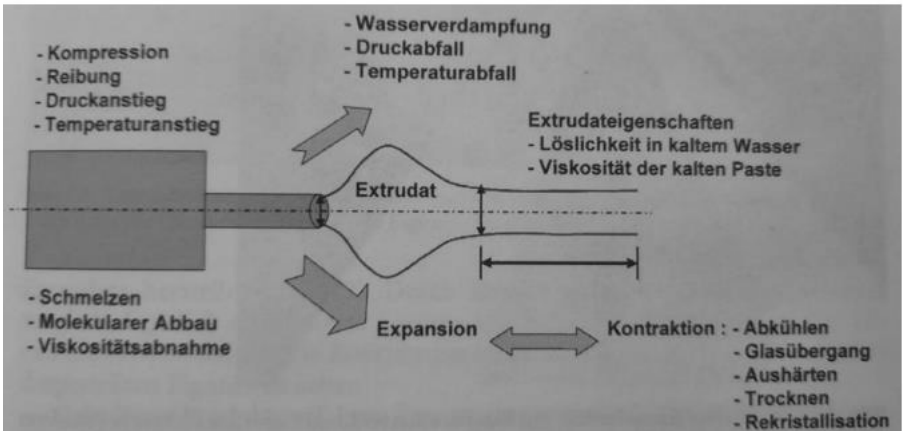

Abb. 4: Vorgänge vor und nach der Expansion

Aufgrund der Wasserverdampfung kommt es nach dem Expansionsprozess zum Absinken der Produkttemperatur und das Extrudat kontrahiert, bis es einen glasähnlichen Zustand annimmt. Nachdem die Glasübergangstemperatur passiert worden ist, härtet das Extrudat aus, verliert weiterhin Wasser und kühlt aus. Darüber hinaus ist die Rekristallisation der Stärkemoleküle während dieser Vorgänge möglich (Meuser et al, 2004).

Im Allgemeinen gibt es 2 Verfahren die den extrusionsgekochten Schmelzen Struktur geben. Zum einen das Direktexpansionsverfahren. Die Schmelze tritt aus der Düse und expandiert. Die Expansion kommt zustande, da der Druck auf den Umgebungsdruck abfällt und dementsprechend kommt es zur Verdampfung des vorhandenen Wassers. Die Ausdehnung der Schmelze, ist je nach Eigenschaft sehr unterschiedlich. Zum anderen gibt es das Verfahren der nachgeschalteten Produktformung. Bei diesem Prozess wird das Produkt durch den Extruder

vorgeformt und dann in nachfolgenden Prozessschritten final geformt (Bouvier; Campanella, 2014).

2.3 Verwendete Rohwaren

2.3.1 Ernährungsphysiologische Bedeutung von Hülsenfrüchten

Hülsenfrüchte liefern hochwertiges pflanzliches Eiweiß und spielen somit eine wichtige Rolle bei der vegetarischen und veganen Ernährungsweise. Nach Nichterlein (1999) weisen Hülsenfrüchte ein Proteingehalt von über 20 % auf, kein weiteres pflanzliches Lebensmittel liefert diese Mengen an Eiweiß. Sie ersetzen in der Ernährungspyramide die tierischen Eiweiße. In der veganen Ernährungspyramide befinden sich die Hülsenfrüchte auf der 4. Ebene und teilen sich dort den Platz mit Nüssen und Samen (Wintermantel, 2020). Proteine sind elementare Bausteine aller lebenden Organismen und übernehmen verschiedenste Aufgaben im Körper. Zum einen sind sie Baustoffe für Gewebe und Zellen und zum anderen können sie Energie bereitstellen. Deshalb ist es wichtig, dass Erwachsene 0,8 g Protein pro kg Körpergewicht pro Tag zu sich nehmen (DGE, 2017). Nach Wintermantel (2020) wird empfohlen, dass Vegetarier und Veganer 3 Portionen Hülsenfrüchte, Produkte aus Soja und pflanzliche Drinks zu sich nehmen sollen, um den täglichen Bedarf an Proteinen zu decken.

Laut Heseker (2014) liegt der Anteil der verwertbaren Kohlenhydrate bei Linsen und Erbsen bei 41 g. Der Anteil an Proteinen wird bei Linsen mit 24 g und bei Erbsen mit 23 g angegeben. Alle Angaben beziehen sich auf 100 g Trockenprodukt. Linsen und Erbsen oder Hülsenfrüchte im Allgemeinen liefern neben pflanzliches Eiweiß auch essenzielle Aminosäuren, die für den menschlichen Körper unabdingbar sind. Beispielsweise liegt der Anteil der Aminosäure Lysin bei Linsen bei 1,7 g und bei Erbsen bei 0,3 g. Des Weiteren liefern Linsen und Erbsen geringe Anteile aller 9 essenziellen Aminosäuren (Kaleta, 2022). Die Versorgung mit einfach – und mehrfach ungesättigten Fettsäuren kann bei Hülsenfrüchten außer Acht gelassen werden, da die Anteile sehr gering sind. Nur bei Nüssen ist der Anteil an EUFS und MUFS erhöht (Heseker, 2014).

Darüber hinaus sind Hülsenfrüchte reich an Ballaststoffen. Nach Müller (2022) liegt der Gehalt an Ballaststoffen bei Erbsen bei etwa 8 g pro 100 g Trockenprodukt. Dies entspricht ca. 33 % des empfohlenen Tagesbedarfs. Linsen hingegen enthalten 11 g Ballaststoffe pro 100 g. Demzufolge erklärt sich auch der niedrige glykämische Index der Linsen, dieser lässt den Blutzuckerspiegel nur langsam ansteigen und das Sättigungsgefühl hält länger an (Rau, 2021). Laut Herzig (2022) ist der Vitamingehalt, der Gehalt an Mineralstoffen und anderen

Vitalstoffen, bei Hülsenfrüchten ebenfalls nicht zu vernachlässigen. Dementsprechend wirken sich Hülsenfrüchte positiv auf die menschliche Gesundheit aus (Herzig, 2022).

2.3.2 Linsenmehl

Die Linse (*lens culinaris*) zählt zu den ältesten Kulturpflanzen weltweit. Funde belegen eine Nutzung vor über 10.000 Jahren. Die Pflanze stammt aus Vorderasien aber auch im östlichen Mittelmeerraum sind Überreste der Pflanze gefunden worden (transgen.de, 2022). Laut dem Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz (2018), sind die heutigen Anbaugebiete in Kanada und Indien zu finden. Die Linsenpflanze ist einjährig und krautig. Sie bevorzugt trockene und warme klimatische Bedingungen und wächst auf kargen Bögen, die bspw. aus Geröll oder Sandkalk bestehen (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2014). Die abgeflachten runden Samen befinden sich in einer Hülse. Je nach Art unterscheiden sie sich in Größe und Farbe (transgen.de, 2022). In den Extrusionsversuchen wird ein Mehl aus Roten Linsen verwendet, welche vor allem aus Nordamerika und Europa stammen (Müllers Mühle, 2020).

Um den Verwendungszweck von Hülsenfrüchten zu erweitern, ist die Verarbeitung zu Mehlen sinnvoll. Vor dem Vermahlen werden die Linsen gereinigt, um jegliche Verunreinigungen und Fremdkörper zu entfernen. Danach erfolgt das Schälen der Linsen, mit anschließender optischer Sortierung. Nach diesem Prozessschritt werden die Linsen dann in Hammermühlen zu Mehl vermahlen und das fertige Mehl wird abgepackt (Bühler, o.J.).

2.3.3 Erbsenproteinisolat

Sowie die Linsenpflanze gilt auch die Erbse (*psium sativum*) zu den ältesten Kulturpflanzen. Vor ca. 8.000 Jahren wurde die Pflanze in Vorderasien und im östlichen Griechenland angebaut (transgen.de, 2022). Nach Mirwald (2020) sind die heutigen Hauptanbaugebiete in China, Indien und den USA. Die einjährige, krautige Pflanze bevorzugt ein mäßig feuchtes, nicht allzu warmes Klima und wächst auf leicht durchlässigen Böden (Spory, 2022). Die runden Samen befinden sich ebenfalls in Hülsen. Je nach Art unterscheiden sich die Pflanze und die Samen in Größe, Form und Farbe (transgen.de, 2022). Das in den Extrusionsversuchen verwendete Erbsenproteinisolat wurde aus Erbsen hergestellt, die aus Kanada stammen (OPW Ingredients, 2020).

Da die tierischen Proteine, im Gegensatz zu den pflanzlichen Proteinen eine höhere Nährstoffqualität aufweisen, werden den vegetarischen bzw. veganen Produkten Proteinisolate zugefügt. Dies begünstigt zum einen eine Nährwerterhöhung und zum anderen eine Verbesserung der Texturgebung im Endprodukt (Höller. 2020; Gläser et al, 2020). Laut Höller (2020) weisen Proteinisolate einen Proteingehalt von bis zu 90 % auf. Es handelt sich dabei um aufgereinigte, angereicherte und wasserfreie Formen der Proteine (Höller, 2020). Im Gegensatz zu tierischen Proteinquellen ist die Herstellung von Erbsenproteinisolaten wesentlich kostengünstiger (Gläser et al, 2020).

Bei den Erbsen sind es vor allem die Globuline, die funktionelle Eigenschaften besitzen. Durch Trocken – und/oder Nassfraktionierung lassen sich Konzentrate aus Proteinen gewinnen. Bei der Trockenfraktionierung wird der Rohstoff mittels Stiftmühlen zerkleinert und durch Windsichtung in stärke – und proteinreiche Fraktionen getrennt. Bei der Nassfraktionierung wird der Rohstoff ebenfalls zerkleinert, dann aber in Wasser dispergiert. Der entstandenen Mischung wird Alkalilauge zugemischt, da die Löslichkeit der Proteine pH-Wert abhängig ist. Alle unlöslichen Bestandteile werden entweder durch Filtration oder durch Zentrifugation entfernt. Bevor der pH-Wert der Mischung erneut eingestellt wird, werden die löslichen Inhaltsstoffe extrahiert. Der pH-Wert des Extraktes wird auf den isoelektrischen Punkt der Proteine eingestellt, um deren Ausfällung zu bewirken. Die ausgefällten Proteine werden dann durch Zentrifugation aus der Lösung entfernt. Abschließend wird die gewonnene Proteinfraktion gewaschen, neutralisiert und zu Pulver getrocknet (Osen, 2017).

2.4 Theorie zu den angewendeten Analysemethoden

2.4.1 Spezifische Mechanische Energie

Um Produkte optimieren zu können, ist es zunächst nötig Grundlagen für die Vorgehensweise zu schaffen. Die Spezifische Mechanische Energie bildet in diesem Fall eine Grundlage. Bei der Extrusion wird die SME als Kenngröße verwendet. Laut Brümmer (1999), beschreibt sie die Leistung, die pro Masseelement durch die Schnecken in die Extrusionsmasse abgegeben wird. Grundlegend ist hierbei die abgegebene SME zu messen. Bei Bedarf können Parameter geändert werden, um so die Spezifische Mechanische Energie anzupassen. Die eingebrachte Energie wird hauptsächlich in Wärme umgewandelt. Die Prozesse werden durch die in Wärme umgewandelte Energie beeinflusst. Zum einen verursacht sie beispielsweise die Verkleisterung der oder auch die Denaturierung der vorhandenen Proteine. Zum anderen geht auch ein Teil der eingebrachten Energie über die Zylinderwand verloren (FoodExtrusion.org, o.J.). Grundlage zur Berechnung der Spezifischen Mechanischen Energie, sind Parameter wie die gemessene Schneckendrehzahl, die maximale Leistung, die maximale Schneckendrehzahl, das Drehmoment und der Produktdurchsatz. Anhand folgender Formel wird die SME berechnet:

$$SME = \frac{pmax * n * M}{nmax * 100 * \dot{m}} \text{ [kW/kg]} \qquad \text{(Gl. 1)}$$

p_{max}	maximale Motorleistung [kW]
n	Schneckendrehzahl [min^{-1}]
M	Drehmoment [%]
n_{max}	maximale Schneckendrehzahl [min^{-1}]
$\dot{m}$	Produktdurchsatz [kg/h]

Die Produktcharakteristik wird durch die abgegebene SME beeinflusst. Ist der Energieeintrag hoch wird das Endprodukt wärmer und es dehnt sich aus. Des Weiteren wird auch die Optik des Fleischersatzproduktes beeinflusst, wenn der Energieeintrag zu hoch ist. Bei einem zu geringen Energieeintrag erfolgt keine Expansion und es entsteht ein Produkt mit einer minderwertigen Textur (Coperion, 2022).

2.4.2 Schüttdichte

Die Dichte, also die Masse pro Volumen eines Gemisches aus körnigem Feststoffes und eines kontinuierlichen Fluids (in diesem Fall Luft), wird als Schüttdichte ρ_{sch} bezeichnet. Wichtig ist es, dass sich die einzelnen Komponenten nicht ineinander lösen (Stieß, 2009).

Laut Stieß (2009), resultiert die Schüttdichte aus einer bestimmten Masse einer Schüttung m, die dabei das Schüttvolumen v_{sch} einnimmt und ist mit folgender Gleichung definiert:

$$\rho sch = \frac{ms}{vsch} \quad [g/l] \qquad \text{(Gl. 2)}$$

ρ_{sch}	Schüttdichte [g/l]
m_s	Masse der Schüttung [g]
V_{sch}	Volumen der Schüttung [l]

Je kleiner die Hohlräume zwischen den Partikeln sind, desto höher ist dann die Schüttdichte.

2.4.3 Trockenmassebestimmung

Die Trockenmasse oder Trockensubstanz ist die Summe aller nicht flüchtigen Bestandteile und besteht hauptsächlich aus Kohlenhydraten, Lipiden, Proteinen und Mineralstoffen (Brockhaus, 2004). Um bestimmte Lebensmittelgruppen untersuchen zu können, schreibt das Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände – und Futtermittelgesetzbuch kurz LFGB im § 64 bestimmte Analysemethoden vor (Bundesministerium der Justiz, o.J.).

Die direkte Trocknung erfolgt, indem 1 – 10 g der Probe in Wägegläschen eingewogen werden und diese werden dann 3 h bei 105°C im Trockenschrank getrocknet (Matissek;Fischer, 2021).

Nach Matissek; Fischer (2021) resultiert daraus folgende Formel zur Berechnung der Trockenmasse:

$$T[\%] = \left(\frac{m3-m2}{m2-m1}\right) * 100 \qquad \text{(Gl.3)}$$

m1	Leergewicht Wägegläschen [g]
m2	Masse des Wägegläschen und der Probe vor der Trocknung [g]
m3	Masse des Wägegläschen und der Probe nach der Trocknung [g]

Dementsprechend lässt sich nach Matissek; Fischer (2021) dann auch der Anteil des freiverfügbaren Wassers durch folgende Gleichung berechnen:

$$W\,[\%] = 100\,[\%] - T\,[\%] \qquad \text{(Gl.4)}$$

W	frei verfügbare Wasser [%]
T	Trockensubstanz [%]

2.4.4 Bestimmung der Wasseraktivität – a_w – Wert

In Lebensmitteln liegen Wassermoleküle in freier oder gebundener Form vor. Die Wasseraktivität dient deshalb als Maß für die Verfügbarkeit des freien Wassers in Lebensmitteln. Nach Labworld.at (o.J.), wird die Wasseraktivität mit dem a_w – Wert angegeben und ist nicht zu verwechseln mit dem Wassergehalt.

Der a_W – Wert bewegt sich zwischen 0 und 1. Der Wert 0 steht hierbei für absolute Trockenheit und der Wert 1 steht für kondensierende Feuchte (Labworld.at, o.J.). Des Weiteren beschreibt der a_W - Wert das Verhältnis des Wasserdampfdrucks über der Probe zum Wasserdampfdruck von reinem Wasser bei konstanter Temperatur (Spektrum.de, 2022). Nach Matissek; Fischer (2021), beschreibt folgende Gleichung die Wasseraktivität:

$$aw = \frac{p}{p0} \qquad \text{(Gl.5)}$$

P	Wasserdampfpartialdruck über der Probe
P_o	Sättigungsdampfdruck von reinem Wasser

Die meisten frischen Lebensmittel haben einen a_W – Wert zwischen 0,98 und 0,99 und sind demzufolge leichter und schneller verderblich. Getrocknete Lebensmittel hingegen haben einen a_W – Wert zwischen 0,1 und 0,6. Diese haben dementsprechend eine längere Haltbarkeit. Mit einer abnehmenden Wasseraktivität wird das Wachstum von Mikroorganismen, enzymatische Reaktionen und die nicht enzymatische Bräunung eingeschränkt (Lebensmittellexikon.de, 2015). Die Messung der Wasseraktivität erfolgt, indem eine Probe des zu untersuchenden Lebensmittels in einen hermetisch verschlossenen Behälter gegeben wird und mit Hilfe eines Hygrometers wird anschließend die Luftfeuchtigkeit, die sich im Behälter einstellt, gemessen (Ternes, 2008). Nach Matissek und Fischer (2021), erfolgt ein Ausgleich der Feuchte zwischen dem Lebensmittel und der Behälteratmossphäre. Dieser Zustand wird auch als Gleichgewichtsfeuchte beschrieben.

2.4.5 Farbanalyse

Es gibt verschiedene Farbsysteme, um Farben exakt zu definieren und quantitativ bechreiben zu können. Beim L* a* b* - Farbsystem werden die Farben als Vektoren im Farbraum angegeben. Sie besitzen als die Koordinaten L*, a* und b*. Die Messungen erfolgen im sichtbaren Wellenbereich von 400 nm – 700 nm. Dementsprechend erfolgt die Darstellung der Koordinaten mit der CIE-Lab-Skala. Der L* - Wert beschreibt den Bereich von Hell – Dunkel (L*= 100 – weiß / L*= 0 – schwarz). Auf der einen Seite beschrieben die a* - Werte Farben im Rot/Grün – Bereich, wobei positive a* - Werte Farben im roten Bereich angeben und bei negativen a* - Werten werden Farben im grünen Bereich angezeigt. Auf der anderen Seite kennzeichnen b* - Werte Farben im Gelb/Blau – Bereich. Positive b* - Werte nehmen Farben im gelben Bereich wahr und negative b* - Werte hingegen beschreiben Farben im blauen Bereich (ColorFlex EZ; Kuranleitung, o.J.).

2.5 Sensorische Methoden

2.5.1 Napping inklusive Ultra Flash Profiling

Bestandteile von Produkten werden aus unterschiedlichsten Gründen geändert. Beispielsweise wird aus Kostengründen ein Rohstoff in der Rezeptur gewechselt, es folgt eine Änderung der Form oder im Herstellungsprozess werden Parameter angepasst. Dennoch erwarten die Verbraucher qualitativ hochwertige Produkte. Um dies gewährleisten zu können, ist die sensorische Beurteilung wichtig. Mittels verschiedener wissenschaftlicher Methoden werden Aussehen, Geruch, Geschmack und Textur von den Produkten geprüft und beurteilt (Tentamus, 2022).

Zunächst werden im Vorfeld der eigentlichen sensorischen Prüfung Zubereitungsversuche durchgeführt. Dadurch werden die Anzahl der zu untersuchenden Proben und die optimale Zubereitungsmethode der unterschiedlichen Varianten festgelegt. Proben, die entweder eine fleischähnliche, angenehme oder unangenehm matschige Textur aufweisen, werden für die weiteren Untersuchungen ausgewählt. Durch die Auswahl soll aufgezeigt werden, wie sich die unterschiedlichen Prozessparameter auf das Endprodukt auswirken.

Für die Beurteilung der ausgewählten Proben, wird die Methode Napping inklusive Ultra Flash Profiling genutzt. Das Erfassen von Daten erfolgt durch das dreimalige Wiederholen dieser Methode. Ziel des Nappings ist der sensorische Vergleich der Proben. In kurzer Zeit werden allgemeine Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen den zu untersuchenden Proben identifiziert (Heinloth et al, (Jahr einfügen)). Die Probanden des Panels positionieren die Proben meist auf Papierbögen im A3 oder A4 – Format. Die Proben werden so positioniert, dass

ähnliche Proben nahe beieinander und unterschiedliche Proben weiter entfernt voneinander liegen (Derndorfer, 2016). Durch das Hinzufügen des Ultra Flash Profilings zum Napping wird ermöglicht ergänzende Produkteigenschaften zu erhalten. Die Prüfer können aufschreiben, die für sie am besten zu den sensorischen Eigenschaften jeder Probe passen. Dabei können die Beschreibungen frei und kreativ sein (Heinloth et al, 2002). Laut Heinloth et al (2002), ist das Napping mit UFP leicht durchführbar mit naiven Konsumenten. Es gibt hierbei keinerlei Beschränkungen des verwendeten Vokabulars, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Proben zu beschreiben. Dennoch ist es laut Heinloth et al (2002) wichtig, dass sich die Prüfer auf die wichtigsten Eigenschaften konzentrieren und die Anzahl der verwendeten Attribute auf maximal 5 pro Produkt beschränken. Demzufolge wird dann ein Rauschen in den Datensätzen verringert und zugleich vereinfacht es die Ergebnisinterpretation. Abschließend wird die Multiple Faktorenanalyse angewendet, um die Datensätze auszuwerten (Derndorfer, 2016).

3.Material und Methoden

3.1 Versuchsplanung

In der Tabelle 1 ist die Versuchsplanung dargestellt. Ziel dieser Versuchsplanung ist es, einen groben Überblick über die einzelnen Versuchstage zu geben. Im Großen und Ganzen sind die einzelnen Versuchstage, wie beschrieben, abgelaufen. Eine detaillierte Zusammenfassung der Versuchstage wird in Pkt. 3.4.2 und 3.4.3 näher erläutert.

Tabelle 1: Versuchsplanung

Datum	**Aufgaben**
Vorbereitungstag *02.06.2022*	- Vorbereitung de Mischung nach Rezeptur 1 - Bereitstellung der benötigten Gefäße, Geräte u.s.w.
Versuchstag 1 *-Produktherstellung Rezeptur 1-* *07.06.2022*	- Vorbereitung des Extruders - Anfahren des Extruders - Mischung (Rezeptur 1) in Extruder füllen - Extrudat in Behälter auffangen - Trocknen des Extrudats im Ofen (bei 80°C, für 20min)
Versuchstag 2 *-physikalische Untersuchungen-* *08.06.2022 / 09.06.2022*	- Trockenmassebestimmung von den ungetrockneten Extrudaten - Farbmessung des getrockneten Extrudats - Bestimmung der Wasseraktivität des getrockneten Extrudats - Ermittlung des Schüttgewichts von dem getrockneten Extrudat
Versuchstag 3 *-Vorversuche Sensorik-* *27.06.2022*	- Zubereitungsversuche - Auswahl der Proben für weitere sensorische Untersuchungen - Planung der sensorischen Untersuchungen
Vorbereitungstag *06.07.2022*	- Vorbereitung der Mischung nach Rezeptur 1 - Bereitstellung der benötigten Gefäße, Geräte u.s.w.
Versuchstag 4 *-Produktherstellung-* *07.07.2022*	- Vorgespräch am 06.07 - Ablauf wie Versuchstag 1 - Änderung der Wassergehalte - Änderung des Drucks
Versuchstag 5 *-Vorversuche Sensorik-* *11.07.2022*	- Zubereitungsversuche der Proben vom Versuchstag 4 - Auswahl der Proben für weitere sensorische Untersuchungen - Planung der sensorischen Untersuchungen
Versuchstag 6	- Ablauf wie Versuchstag 2

-Physikalische Untersuchungen- 12.07.2022	
Versuchstag 7 *-Sensorik-* *13.07.2022 / 18.07.2022 / 19.07.2022*	- Sensorische Prüfung der Produkte vom V1 und V4 - Anwendung von Napping inklusive Ultra Flash Profiling - Dreimalige Wiederholung - Datenauswertung

3.2 Verwendete Geräte

Die Tabelle 2 gibt einen Überblick über alle verwendeten Geräte, die für die Produktherstellung und physikalischen Untersuchungen benötigt wurden.

Tabelle 2: Verwendete Geräte

Bezeichnung des Gerätes	**Hersteller**
Doppelschneckenextruder ZSK 27 MC	Coperion GmbH Theodorstraße 10 D-70469 Stuttgart
Peristaltikpumpe 323 u Drive	Watson-Marlow Limited Bickland Water Rd UK-TR11 4RU Flamouth
Heißluftbackofen B4/B8 TS 300	Wiesheu GmbH Schleifwiesenstraße 27 D-71723 Großbottwar
LAB-Farbmessgerät ColorFlex EZ	FMS Jansen GmbH & Co. KG HunterLAb Dr-Auguste-Einsele-Ring 15 D-82418 Murnau am Staffelsee
AquaLab CX-2	Decagon Devices, Inc. 2365 NE Hopkins Ct. USA-99163 Pullmann, Washington
Schnellfeuchtemessgerät MA-40	Sartorius AG Otto-Brenner.Str. 20 D-37079 Göttingen
Tischwaage	OHAUS Europe GmbH Heuwinkelstr. 3

	CH-8606 Nänikon
Multi Cut Compact Duo 400 W	Beko Grundig Deutschland GmbH Thomas-Edison-Platz 3 D-63263 Neu-Isenburg
Montagepaste Pro 632 LM	Coperion GmbH Theodorstraße 10 D-70469 Stuttgart

3.3 Rohwaren und Rezeptur

3.3.1 Verwendete Rohwaren

Die, für die Produktherstellung verwendeten Rohwaren sind in der Tabelle 3 dargestellt. Sie gibt auch einen Überblick über die Nährwerte.

Tabelle 3: Produktinformationen

Art der Rohware	**Rotes Linsenmehl HS 33**	**Erbsenproteinisolat 80 %**
Hersteller	Müllers Mühle GmbH Am Stadthafen 42-50 D-45881 Gelsenkirchen	OPW Ingredients GmbH Sohlweg 74 D-41372 Niederkrüchten
Artikelnummer	824146	2001190
Charge	-	OPW006425
Energie (kJ/kcal)	1383/327	1688/400
Kohlenhydrate **davon Zucker**	49,0 g 1,2 g	< 0,5 g < 0,5 g
Ballaststoffe	7,0 g	3,1 g
Fett **davon gesättigte Fettsäuren**	1,4 g 0,3 g	9,0 g 2,1 g
Eiwei0	26,0 g	< 80,0 g
Salz	< 0,01 g	< 2,7 g

Die dargestellten Daten stammen entweder von der Verpackung der jeweiligen Rohware oder aus der entsprechenden Produktspezifikation. Diese befinden sich im Anhang (Pkt. 10.1) dieser Arbeit.

3.3.2 Verwendete Rezeptur

Die Rezeptur, die für die Herstellung der Extrudate befindet sich in der untenstehenden Tabelle 4. Diese Rezeptur wurde von Klatt (2020) entwickelt und wird für die Herstellung übernommen.

Tabelle 4: verwendete Rezeptur

Menge [%]	**Rohstoff**	**Fett [%]**	**Kohlenhydrate [%]**	**Zuckeranteil [%]**	**Ballaststoffe [%]**	**Proteine [%]**	**Salz [%]**
35	Linsenmehl	1,40	49,00	1,20	7,00	26,00	0,01
65	Erbsenproteinisolat	9,00	0,50	0,00	3,10	80,00	2,70
100	Extrudat	6,34	17,48	0,42	4,47	61,10	1,76

3.4 Versuchablauf

3.4.1 Allgemeine Schritte

Bevor die Hauptversuche durchgeführt werden, sind einige Änderungen vorzutreffen. Nach Absprache mit Coperion wird die Schneckenkonfiguration geändert. Die Konfiguration ist in Pkt. 2.2.3 abgebildet. Diese Änderung wird vorgenommen, um zum einen den Energieeintrag zu erhöhen und zum anderen wird so die Durchmischung der feinen Pulver verbessert. Für die Vorbereitung der jeweiligen Hauptversuchstage wird ein Vorgespräch abgehalten, um Prozessparameter festzulegen. Zu diesen Parametern gehören u.a. Wassergehalte, Schneckendrehzahlen, Düsenöffnungen, Produktdurchsatz und die Menge der verwendeten Mischung. Bevor der Hauptversuchstag stattfindet, soll im Vorhinein alles vorbereitet sein. Das bedeutet, dass die Mischung aus Linsenmehl und Erbsenproteinisolat fertigstellt wird und das alle benötigten Utensilien (Probenbehälter, Schüsseln, Trocknungsbleche, Schutzbrillen, Behälter für das überschüssige Endprodukt usw.) bereitgestellt werden.

3.4.2 Hauptversuchstag 1

Insgesamt wird für den 1. Hauptversuchstag eine Mischung von 16 kg verwendet. In der nachfolgenden Tabelle 5 sind die Bestandteile dargestellt.

Tabelle 5: Mischung Hauptversuchstag 1

Prozentualer Anteil [%]	**Rohstoff**	**Anteil [kg]**
35	Linsenmehl	5,6
65	Erbsenproteinisolat	10,4

Ablauf und Besonderheiten

Am Anfang des Versuchstages ist es notwendig die Extruderteile zu montieren und die Aggregate in Betrieb zu nehmen. Die Schnecken werden in den Extruderzylinder eingesetzt. Dabei ist aufgefallen, dass die neukonfigurierten Schnecken nicht passen. Die Schnecken werden auseinandergebaut. Nach einem Telefonat mit Coperion wird die Schnecke neuzusammengesetzt und die Konfiguration geringfügig geändert. Nach dem Einsetzen der Schnecken werden diese mit Madenschrauben befestigt. Dabei muss auf die Position der Schraubenlöcher und auf einen bündigen Abschluss geachtet werden, sonst kann es zu Abreibungen kommen. Das Kühlaggregat und die Zylinderheizung werden in Betrieb genommen und während des Aufheizprozessen werden die Rundplatte, Verteilerplatte und Düsenplatte am Zylinderausgang montiert und mit den dazugehörigen Schrauben befestigt. Nach der Montage der Düsenteile werden die Schläuche an die Peristaltikpumpe angeschlossen. Daraufhin erfolgt eine Kalibrierung der Dosierungspumpe. Die Kalibrierung ist notwendig um den eingestellten Wert der Wasserzufuhr am Extruder, mit dem gemessenen Wert zu vergleichen. Die erstellte Pumpenkennlinie befindet sich im Anhang (Pkt.10.2) dieser Bachelorarbeit dargestellt. Anschließen wird die Einspritzdüse am Versorgungsschlauch montiert und so die Injektion von Wasser in den Extruderzylinder gewährleistet. Über das Bedienpanel wird die Pumpe beim Extruderprozess in Betrieb genommen. Die maximale Schenckendrehzahl und die maximale Motorleistung sind abhängig vom verwendeten Extruder und änderbare Parameter werden über das Bedienfeld angepasst.

Die vorbereitete Rohstoffmischung wird in den Trichtergefüllt um anschließend die Dosiereinheit im Servicemodus des Extruders zu kalibrieren. Um die Rohstoffmischung in den Extruderzylinder zu überführen, wird ein Dosierrohr angebracht. Das später austretende Produkt wird durch Rotiermesser geschnitten. Dabei muss beachtet werden, dass der Abstand zur Düse möglichst gering ist aber der Verschleiß des Messers durch die Reibung am Metall vermieden wird.

Beim Anfahren werden die Prozessparameter wie Drehzahl, Wasserdosierung etc. eingestellt und während des laufenden Prozesses an die Varianten angepasst. Die austretenden Stänge der Mischphase müssen gleichzeitig abgerissen und das Schneidemesser vor die Düse angebracht werden. Bei diesem Vorgang ist aufgefallen, dass eine der Düsen verstopft ist. So wird erst einmal mit einer Düse gearbeitet. Die Probenahme erfolgt jeweils 60 Sekunden nach dem Einstellen der Parameter. Im weiteren Prozess ist das eine Düsenloch dann wieder freigeworden und die ersten Varianten wurden am Ende wiederholt. Anschließend werden die Extrudate bei 80°C, für 20 Minuten getrocknet. Die physikalischen Untersuchungen werden jeweils einen Tag nach dem Hauptversuch durchgeführt. Am ersten Versuchstag werden insgesamt 13 unterschiedliche Varianten hergestellt.

Die nachfolgende Tabelle 6 gibt einen Überblick der Varianten mit den dazugehörigen Parametern.

Tabelle 6: Übersicht der hergestellten Varianten mit den dazugehörigen Parametern

Variante	**N [min^{-1}]**	**PL [%]**	**WD [kg/h]**	**FD [kg/h]**	**PD [kg/h]**	**Düsen-durchmesser [mm]**	**n_{Messer} [min^{-1}]**
1	600	34	6,90	20	26,90	3	2000
2	600	28	5,68	20	25,68	3	2000
3	600	22	4,45	20	24,45	3	2000
4	800	22	4,45	20	24,45	3	2000
5	800	28	5,68	20	25,68	3	2000
6	800	22	4,45	20	24,45	3	2000
7	800	34	6,90	20	26,90	3	2000
8	1000	34	6,90	20	26,90	3	2000
9	1000	28	5,68	20	25,68	3	2000
10	1000	22	4,45	20	24,45	3	2000
11	600	22	4,45	20	24,45	3	2000
12	600	28	5,68	20	25,68	3	2000
13	600	34	6,90	20	26,90	3	2000

3.4.3 Hauptversuchstag 2

Im Vorgespräch des 2. Versuchstages wird der 1. Versuchstag ausgewertet und eventuelle Änderungen besprochen. Nach der Auswertung wird festgelegt, dass die Rezeptur nicht geändert wird. Geändert wird zum einen die Anzahl der Düsen, die Menge der verwendeten Mischung und die Wassergehalte werden geändert. Es wird von Anfang an nur mit einer Düse gearbeitet und die Menge der Mischung beträgt 14 kg. Die Tabelle 7 gibt einen Überblick der Bestandteile. Aus dem 1.Versuchstag ist ein Rest der Mischung, mit einer Masse von 2,8 kg, übriggeblieben. Dieser wird wiederverwendet. Die Wassergehalte sind wesentlich niedriger als bei dem 1. Hauptversuchstag.

Tabelle 7: Mischung für Hauptversuch 2

Prozentualer Anteil [%]	**Rohstoff**	**Anteilige Mischung aus 1.Versuch (kg)**	**Anteil abzüglich Mischung aus 1.Versuch [kg]**
35	Linsenmehl	0,98	3,92
65	Erbsenproteinisolat	1,82	7,28

<u>Ablauf und Besonderheiten</u>

Der Ablauf des 2. Hauptversuchstages ist gleich dem des ersten. Im weiterenn Verlauf des Prozesses sind keine Besonderheiten aufgetreten. Während des Versuches werden insgesamt 16 verschiedene Extrudate hergestellt. Die Tabelle 8 stellt die Varianten mit den dazugehörigen Parametern dar.

Tabelle 8: Übersicht der Varianten aus dem Hauptversuch 2

Variante	**n [min^{-1}]**	**PL [%]**	**WD [kg/h]**	**FD [kg/h]**	**PD [kg/h]**	**Düsen-durchmesser [mm]**	**n_{Messer} [min^{-1}]**
1	600	26	5,27	20	25,27	3	2000
2	600	22	4,45	20	24,45	3	2000
3	600	18	3,64	20	23,64	3	2000
4	600	14	2,82	20	22,82	3	2000
5	800	14	2,82	20	22,82	3	2000
6	800	18	3,64	20	23,64	3	2000
7	800	22	4,45	20	24,45	3	2000
8	800	26	5,27	20	25,27	3	2000
9	1000	26	5,27	20	25,27	3	2000
10	1000	22	4,45	20	24,45	3	2000
11	1000	18	3,64	20	23,64	3	2000
12	1000	14	2,82	20	22,82	3	2000
13	800	26,5	5,37	25	30,37	3	2000
14	800	22,5	4,55	25	29,55	3	2000
15	800	27	5,47	30	35,47	3	2000
16	800	33	6,70	30	36,70	3	2000

3.5 Kurzbeschreibung zur Durchführung der Analysemethoden

3.5.1 Berechnung der Spezifischen Mechanischen Energie

Die Berechnung der SME (Gl. 1, S.19) erfolgt mit den verwendeten flexiblen Parametern jedes Versuches, sowie mit den von der Maschine festgelegten Paramtern. Die flexiblen Parameter sind Schneckendrezahl, Drehmoment und Produktdurchsatz und zu den festgelegten Parametern gehören die maximale Motorleistung und die maximale Schneckendrehzahl. Die Berechnung erfolgt in einem Fahrdatenblatt und wird von EXCEL durchgeführt. Die Fahrdatenblätter sind im Anhang der Bachelorarbeit zu finden.

3.5.2 Trockenmassebestimmung

Es wird die Trockenmasse von den ungetrockneten und getrockneten Extrudaten bestimmt. Die Messung soll aufzeigen, welchen Einfluss der Trocknungsvorgang auf den Wassergehalt hat. Die Proben werden vor der Messung zerkleinert, um die Oberfläche zu vergrößern und den Vorgang zu beschleunigen. Etwa 1,0 g der zerkleinerten Probe werden auf eine Aluminiumschale gebracht und dann mittels Infrarotstrahlung getrocknet. Die Bestimmung der Trockenmasse von beiden Hauptversuchen erfolgt jeweils einen Tag nachdem jeweiligen Hauptversuch. Die Trockenmasse wird in einer Einfachbestimmung ermittelt.

3.5.3 Messung der Wasseraktivität

Die Messung des a_W-Wertes erfogt vom getrockneten Extrudat. Durch diese Messung kann der Trocknungsprozess kontrolliert werden. Das vorher zerkleinerte Extrudat wird in die für das Gerät vorgesehenen Probeschalen eingefüllt und in das Gerät eingebracht. Eine definierte Menge ist nicht vorgeschrieben aber um Aussagekräftige Ergebnisse zu bekommen werden je 5 g in die Probeschalen gefüllt. Bei der Messung wird eine Doppelbestimmung durchgeführt und anschließen wird das arithmetische Mittel bestimmt.

3.5.4 Bestimmung der Schüttdichte

Die Schüttdichte wird ermittelt, indem das getrocknete Extrudat, in einen, auf einer elektronischen Waage stehenden 1 l Messzylinder geschüttet wird. Danach wird die Masse abgelesen. Beim Schütten ist darauf zu achten, dass alles in einer gleichen Geschwindigkeit und einem relativ gleichen Winkel geschüttet wird. Auch hier wird eine Doppelbestimmung durchgeführt und das arithmetische Mittel bestimmt.

3.5.5 Farbemessung

Zur Farbmessung wird das Zweistrahl – Spektrophotometer ColorFlex EZ der Firma Hunterlab verwendet. Gemessen wird im Spektralbereich von 400 nm – 700 nm. Die Messung erfolgt, indem das unzerkleinerte Extrudat in eine Glasküvette gefüllt wird, diese wird dann auf den Messbereicvh des Gerätes gestellt und mit einer lichtundurchlässigen Abdeckung vor Störstrahlung geschützt. Es erfolgt eine automatische Dreifachbestimmung und anschließend berechnet das Gerät das arithmetische Mittel.

3.6 Durchführung der Sensorischen Untersuchung

3.6.1 Auswahl der Proben

Nachdem die Hauptversuche abgeschlossen sind, müssen Proben ausgewählt werden, die dann bei der sensorischen Untersuchung verkostet werden. Die Auswahl dient dazu, dass der Probenumfang reduziert wird. Insgesamt sind 29 verschiedene Extrudate hergestellt worden. Der hohe Probenumfang würde das Panel überfordern und zu schlechten Ergebnissen führen. Die Auswahl der Proben erfolgt so, dass Zusammenhänge erschlossen werden. Das heißt, dass so der Einfluss der verwendeten Extruderparameter ersichtlich wird. Beachtet werden sollte auch, dass nicht nur die besten Extrudate ausgewählt werden, sondern auch die minderwertigen Produkte. Von den insgesamt 29 hergestellten Varianten, werden 9 Varianten für die sensorische Untersuchung ausgewählt. Nach den folgenden Kriterien werden die Proben ausgewählt:

- Spezifische Mechanische Energie
- Schneckendrehzahl
- Qualität
- Visuell größte Expansion

Die Tabelle 9 spiegelt die ausgewählten Proben wider.

Tabelle 9: Probenübersicht

Kriterium	**Variante**	**Verschlüsselung**
Niedrigste SME	13/HV 1	486
Mittlere SME	6/HV 1	740
Höchste SME	12/HV2	677
Schneckendrehzahl 800	6/HV 2	198
Schneckendrehzahl 800	7/HV 2	916
Schneckendrehzahl 8ßß	8/HV 2	370
Qualität	1/HV 1	362
Expansionsindex	11/ HV 2	187
Expansionsindex	10/HV 1	473

3.6.2 Zubereitungsversuche

Im Vorhinein der eigentlichen sensorischen Untersuchung, werden Zubereitungsversuche der ausgewählten Proben durchgeführt. Zweck ist es, die optimale Zubereitungsmethode zu finden. Die Proben werden mit einer standardisierten Brühe aufgegossen und für eine bestimmte Zeit eingeweicht. Auf der einen Seite hat der Faktor Zeit einen Einfluss auf die Konsistenz. Je länger das Extrudat einweicht, desto weicher wird es. Wenn die Einweichzeit zu gering ist, dann ist das Produkt zu fest und wenn das Produkt zu lange einweicht, bekommt es eine matschige Konsistenz. Auf der anderen Seite beeinflusst die Wassermenge ebenfalls die Konsistenz. Wird zu wenig Wasser aufgegossen, kann das Produkt nicht genug Wasser aufnehmen und es bleibt fest. Zu viel Wasser hingegen bewirkt eine zu hohe Aufnahme an Wasser und es wird matschig.

Bei den Zubereitungsversuchen ist aufgefallen, dass verschiedenste Texturen vorhanden sind - von angenehm fleischig, bis unangenehm matschig. Des Weiteren ist festgestellt worden, dass die Probemenge immer mit der 4 – fachen Menge an Brühe aufgegossen werden muss. Die optimalen Einweichzeiten der Extrudate ist in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 10: Übersicht der EInweichzeiten

Probennummer	**Einweichzeit [sec.]**
486	20
740	25
677	35
198	35
916	30
370	40
362	15
187	35
473	30

Da die Planung der Verkostung mit unterschiedlichen Einweichzeiten schwierig ist, wird aus allen Werten das arithmetische Mittel gebildet. Die durchschnittliche Einweichzeit beträgt dann 29,4 sec, d.h. die Teilnehmer können die Proben dann nach rund 30 sec verkosten.

3.6.3 Sensorische Untersuchung – Napping und Ultra Flash Profiling

Die sensorischen Untersuchungen finden im Sensoriklabor der Hochschule Neubrandenburg statt. Um aussagekräftige Daten erheben zu können, wird diese Methode 3-mal wiederholt. An der ersten Untersuchung nehmen 7 Panelisten teil. Die Vorbereitungen werden im Vorbereitungsraum der Sensorik durchgeführt. Am Anfang werden 5 g jeder Probe in beschriftete Probenbecher gefüllt, dann werden 2 Liter einer standardisierten Brühe aufgekocht und bis 85°C warmgehalten. Beim Eintreffen der Panelisten werden die Probenbecher mi Brühe aufgegossen und den Teilnehmern serviert. Die Panelisten müssen 30 Sekunden warten, bis die Proben verkostet werden dürfen. Sie werden gebeten, die Ergebnisse auf die Napping-Bögen zu notieren. Die Panelisten werden ebenfalls gebeten den Proben Attribute für die Textur zuzuordnen und zu notieren. Es muss darauf geachtet werden, dass die Panelisten sich nicht zu viel Zeit mit einer Probe nehmen da sonst die Einweichzeit der anderen Proben zu lang ist und Ergebnisse verfälscht werden. Sie werden gebeten die Ergebnisse auf Napping-Bögen zu notieren. Der Ablauf der 2. und 3. Wiederholung ist genau wie bei der 1. Wiederholung. Es nehmen aber nur 5 Teilnehmer je Wiederholung statt. Die Auswertung dieser Methode findet mit XLstat statt. Dafür müssen die Napping-Bögen ausgewertet werden, in dem man jeder Probe eine X-Koordinate und Y-Koordinate zuweist und dann die Position ausmisst. Die genannten Attribute werden ebenfalls in Tabellen übertragen, dann wird die jeweilige Anzahl bestimmt und am Ende werden alle gesammelten Daten mit einer MFA ausgewertet.

4.Versuchsergebnisse

4.1 Auswertung der verwendeten Prozessparameter

4.1.1 Schneckendrehzahl

Die nachfolgenden Abbildungen 5 und 6 stellen den Einfluss der Schneckendrehzahl auf die SME und das Drehmoment dar. Um den Einfluss auszuwerten, werden alle verwendeten Drehzahlen, bei denen ein theoretischer Produktdurchsatz von 26,90 kg/h besteht, miteinbezogen – bezogen auf den 1.Hauptversuch. Für die Auswertung des 2.Hauptversuches beziehen sich die Drehzahlen auf einen Produktdurchsatz von 24,45 kg/h.

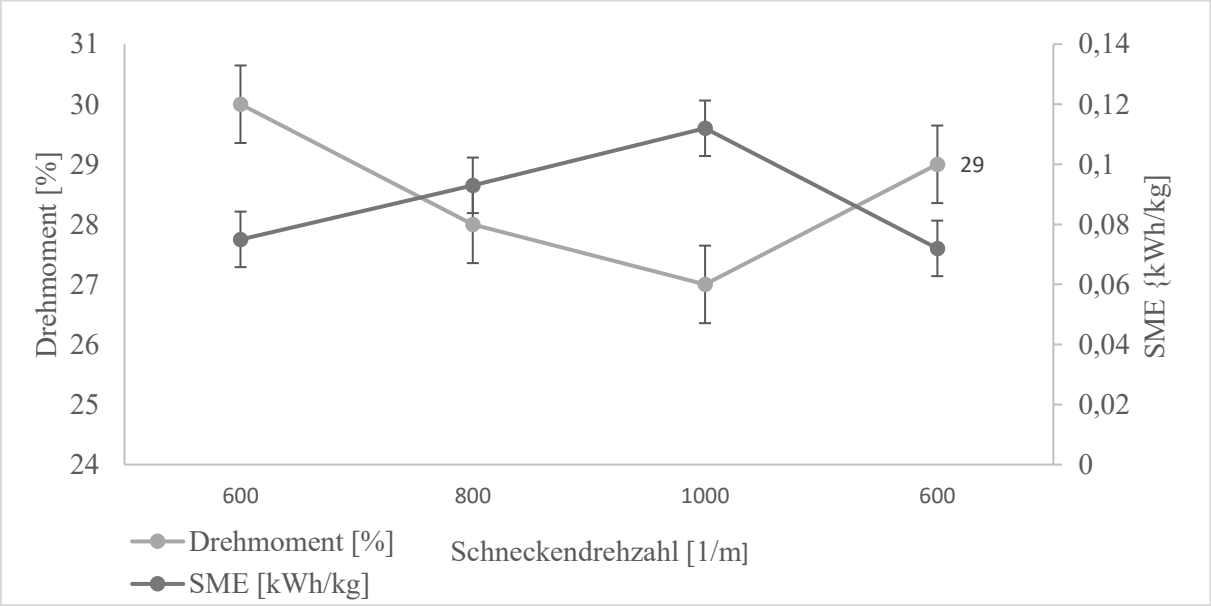

Abb. 5: Einfluss der Schneckendrehzahl auf SME und Drehmoment des 1.Hauptversuches bei den Varianten 1,7,8 und 13

Aus diesem Diagramm ist ersichtlich, dass bei einem Anstieg der Schneckendrehzahl die Spezifische Mechanische Energie steigt. Das Drehmoment hingegen sinkt bei einer höheren Drehzahl. Der Anstieg der SME lässt sich mit dem erhöhtem Energieeintrag erklären. Das Drehmoment nimmt mit steigender Schneckendrehzahl ab, weil die Stromstärke aufgrund steigender Induktionsspannungen abnimmt. Bei der Auswertung ist zu beachten, dass am Anfang 1 der beiden Düsen verstopft gewesen ist und die Varianten am Ende wiederholt worden sind. Aus diesem Grund ist am Ende ein Anstieg des Drehmoments und ein Absinken der SME zu erkennen. Die Standardabweichung der SME beträgt 0,018 und die des Drehmoments 1,291.

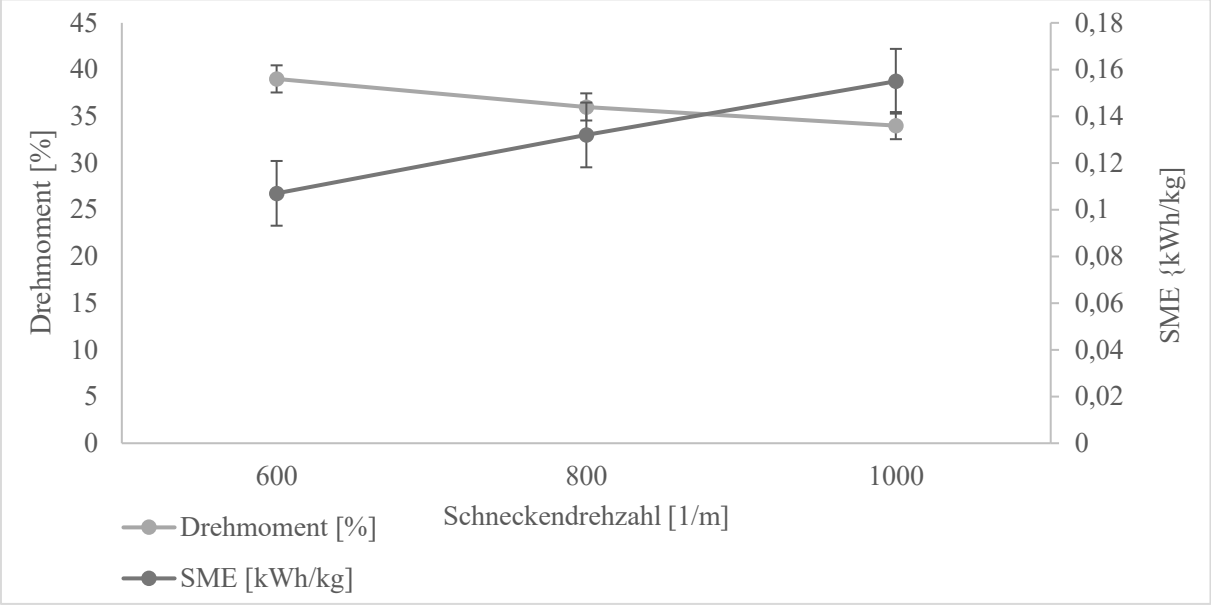

Abb. 6: Einfluss der Schneckendrehzahl auf SME und Drehmoment des 2.Hauptversuches bei den Varianten 2,7 und 10

Aus der Abbildung 6 lässt sich ein linearer Zusammenhang zwischen der Schneckendrehzahl, der SME und vom Drehmoment erkennen. Bei dem 2.Hauptversuch sind die Werte der SME und des Drehmoments anfangs schon höher als beim 1.Hauptversuch, da hier von Anfang an nur mit einer Düse gearbeitet wird. Die Standardabweichung der SME beträgt hier 0,024 und die des Drehmoments 2,517.

Die Beeinflussung der Produkttemperatur und des Druckes wird in den Abbildungen 7 und 8 dargestellt.

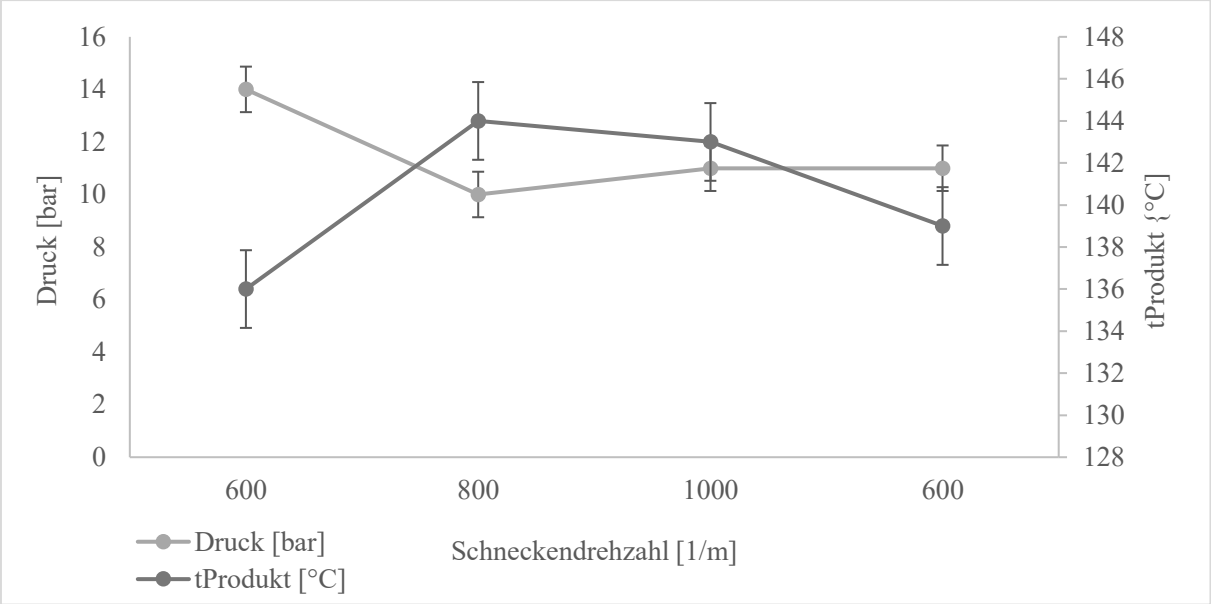

Abb. 7: Einfluss der Schneckendrehzahl auf Temperatur und Druck - HV 1 Varianten 1,7, 8 und 13

Die Schneckendrehzahl hat keinen ersichtlichen Einfluss auf die Temperatur und den Druck. Die Temperatur steigt erst mit zunehmender Schneckendrehzahl, fällt dann aber konstant ab. Bei dem Druck ist es genau umgekehrt. Der Druck sinkt erst mit zunehmender Drehzahl, steigt dann aber wieder an. Die Standardabweichung der Produkttemperatur beträgt 3,697 und die des Druckes wiederum 1,732.

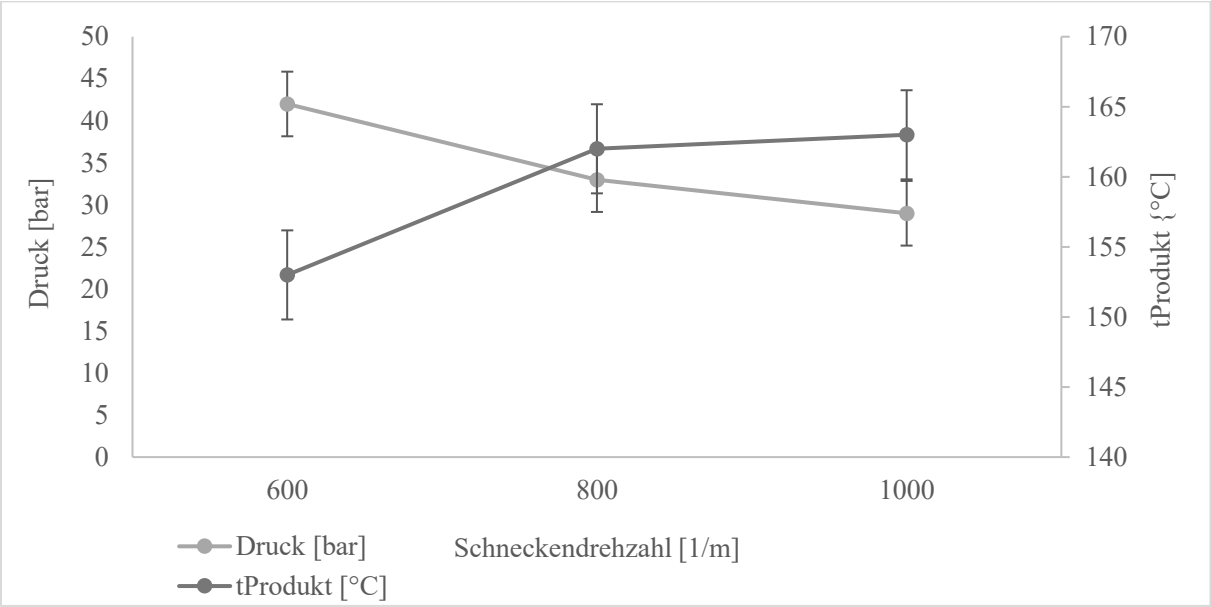

Abb. 8: Einfluss der Schneckendrehzahl auf Temperatur und Druck - HV 2 Varianten 2,7 und 10

Im 2. Hauptversuch ist zu erkennen, dass die Produkttemperatur mit steigender Schneckendrehzahl ansteigt und der Druck fällt ab. Der Temperaturanstieg wird wahrscheinlich durch Reibungsenergie verursacht, die von den Schnecken abgegeben wird. Die Werte der Standardabweichungen betragen für die Produkttemperatur 5,508 und für den Druck 6,658.

Der Einfluss der Drehzahl auf das Schüttgewicht wird in den Abbildungen 9 und 10 ersichtlich.

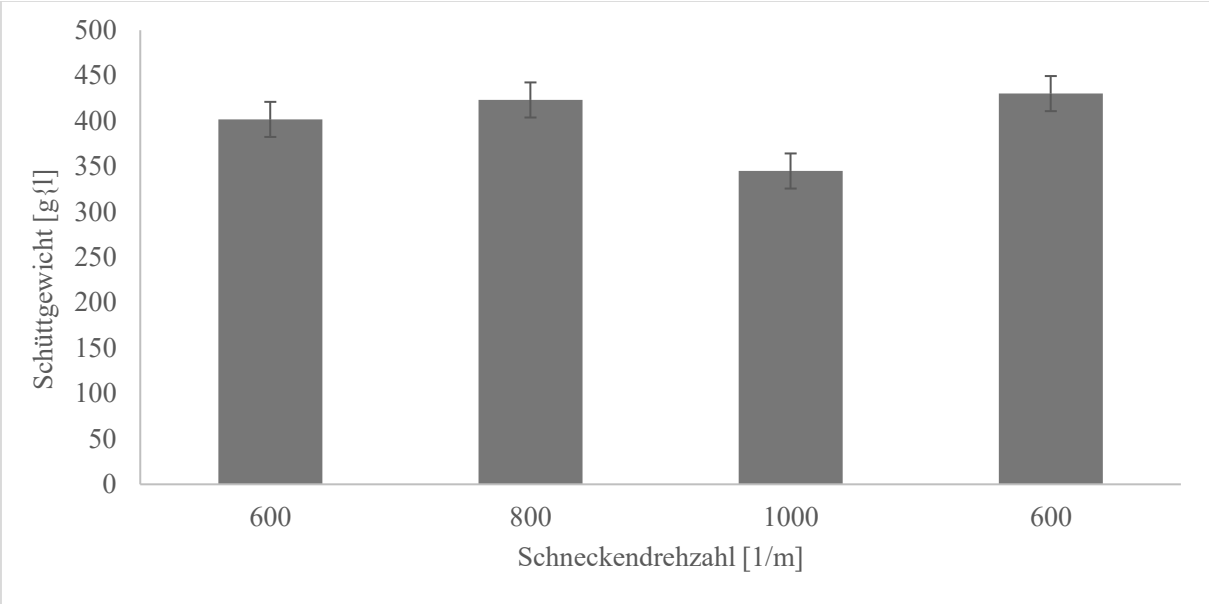

Abb. 9: Einfluss der Schneckendrehzahl auf das Schüttgewicht - HV 1 Varianten 1,7,8 und 13

Es ist kein Zusammenhang zwischen Schneckendrehzahl und Schüttgewicht erkennbar. Nachdem ersten Anstieg der Drehzahl steigt auch das Schüttgewicht aber dann wiederrum fällt es, wenn die Schneckendrehzahl nochmals erhöht wird.

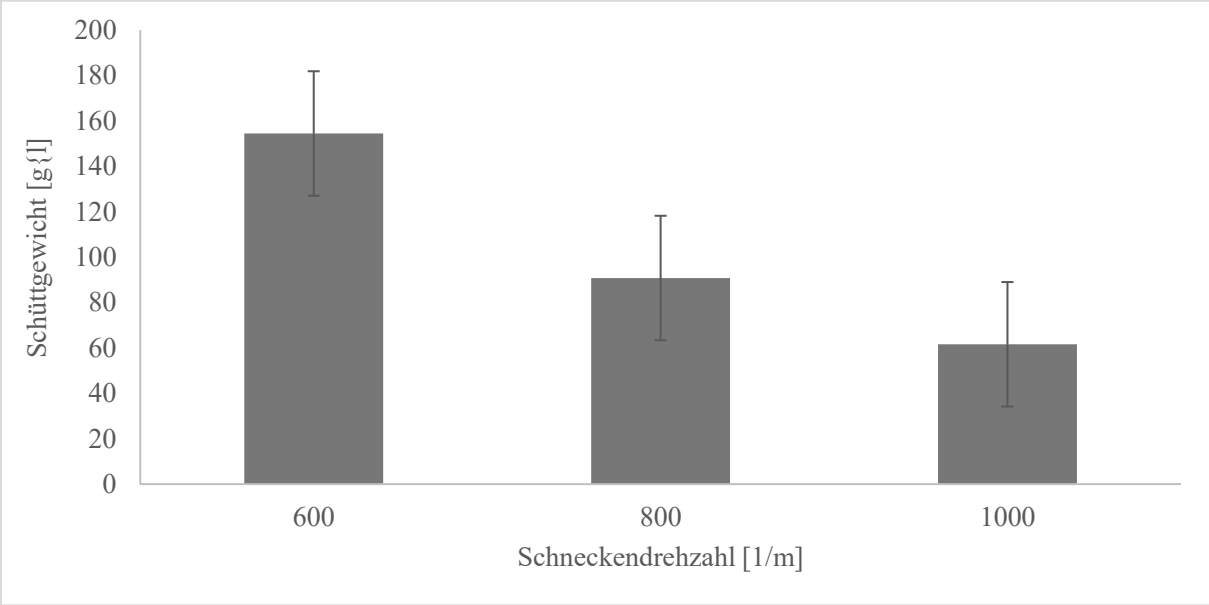

Abb. 10: Einfluss der Schneckendrehzahl auf das Schüttgewicht - HV 2 Varianten 2, 7 und 10

Aus der Abbildung 10 ist ersichtlich, dass das Schüttgewicht mit zunehmender Schneckendrehzahl fällt. Je geringer das Schüttgewicht ist, desto mehr sind die Extrudate

expandiert. Nach visueller Begutachtung weisen die Extrudate, die mit einer höheren Schneckendrehzahl gefahren wurden, eine größere Expansion auf.

4,1.2 Einfluss der Wasserdosierung

Die Produkt – und Prozessparameter werden von der Wasserdosierung beeinflusst. Die Darstellung erfolgt, in dem die Versuche mit einer Drehzahl von 1000 min^{-1} ausgewertet werden. Der Einfluss auf die SME und das Drehmoment sind in den Abbildungen 11 und 12 dargestellt.

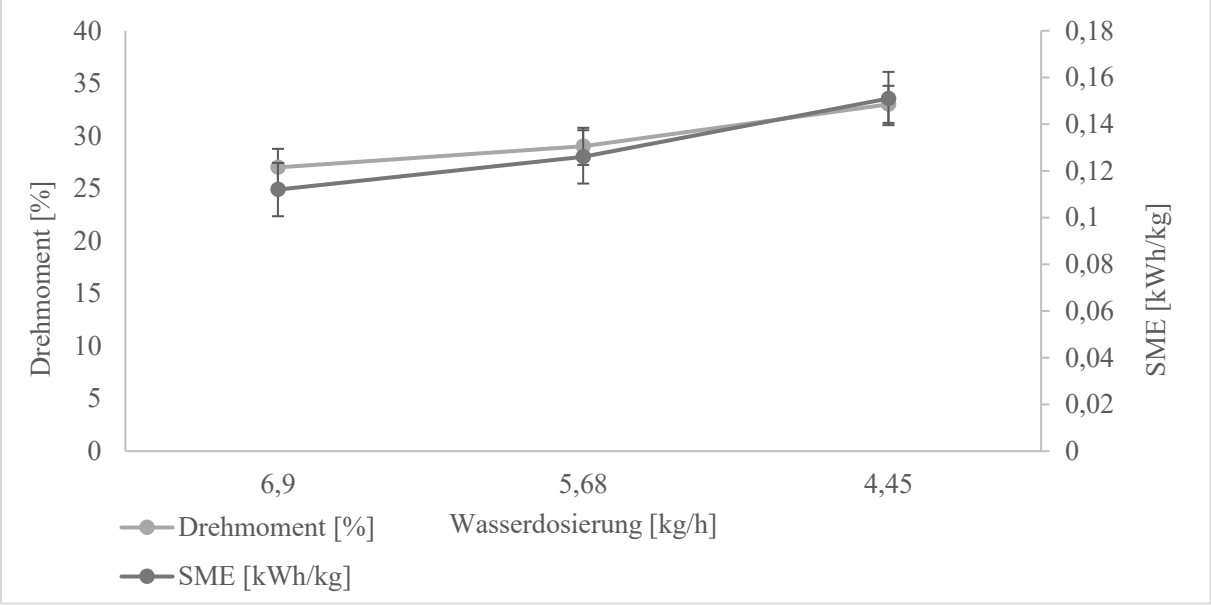

Abb. 11: Einfluss der Wasserdosierung auf die SME und das Drehmoment - HV 1 Varianten 8,9 und 10 bei n= 1.000 min^{-1}

Mit sinkender Wasserdosierung steigen die Werte für die SME und das Drehmoment kontinuierlich an. Die Standardabweichung beträgt bei der SME 0,020 und für das Drehmoment 3,055.

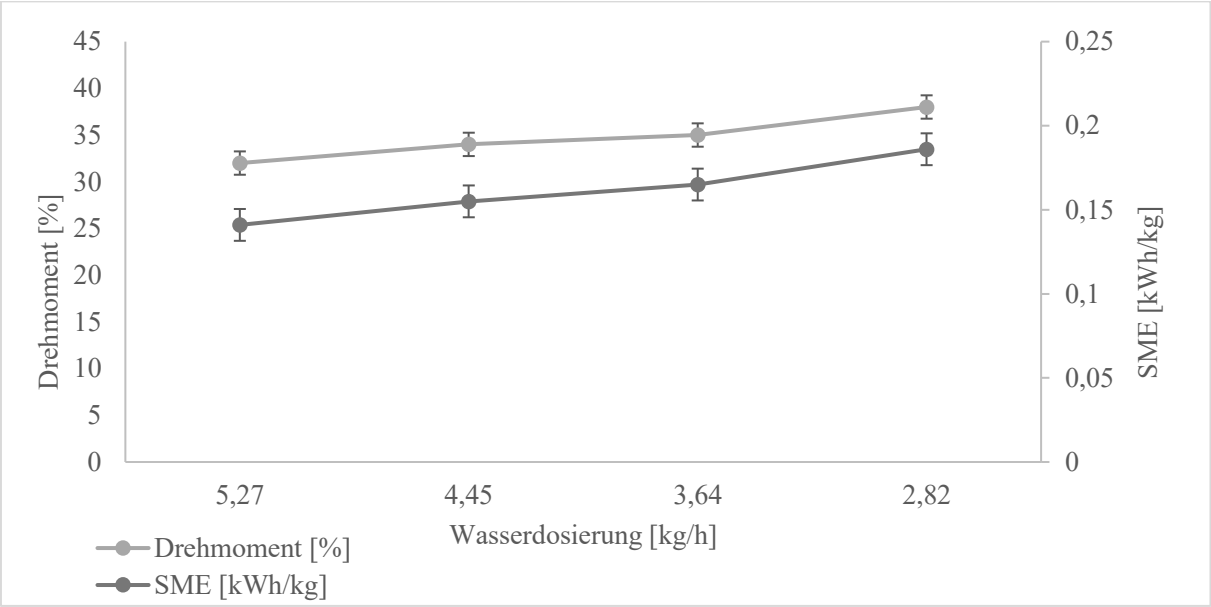

Abb. 12: Einfluss der Wasserdosierung auf die SME und das Drehmoment – HV 2 Varianten 9,10,11 und 12 bei n= 1.000 min^{-1}

Auch in der Abbildung 12 ist der Einfluss der Wasserdosierung auf die Prozessparameter deutlich erkennbar. Mit sinkender Wasserdosierung ist fast ein parallelverlaufender Anstieg der SME und des Drehmoments zu erkennen. Beide Parameter steigen kontinuierlich an. Die Standardabweichung der SME beträgt 0,019 und die des Drehmoments 2,5.

In den Abbildungen 13 und 14 ist der Einfluss der Wasserdosierung auf die Produkttemperatur und den Druck dargestellt. In beiden Diagrammen ist ein Ansteigen der Produkttemperatur, bei sinkender Wasserdosierung, erkennbar. Bei beiden Hauptversuchen unterscheiden sich die Temperaturen nur minimal voneinander. Des Weiteren ist in beiden Fällen ein Anstieg des Drucks ersichtlich, wenn die Wasserdosierung reduziert wird. Die Werte der Drücke unterscheiden sich deutlich, denn beim 2.Hauptversuch wird von Anfang an mit einem höhren Druck gefahren.

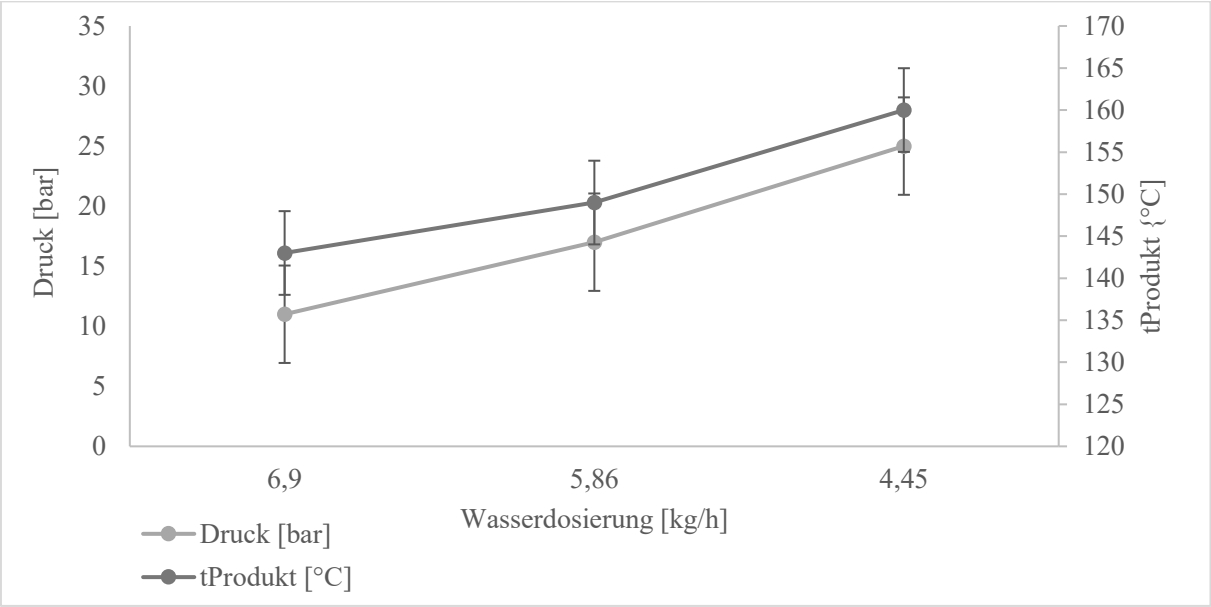

Abb. 13: Einfluss der Wasserdosierung auf Produkttemperatur und Druck - HV 1 Varianten 8,9 und 10 bei n= 1.000 min^{-1}

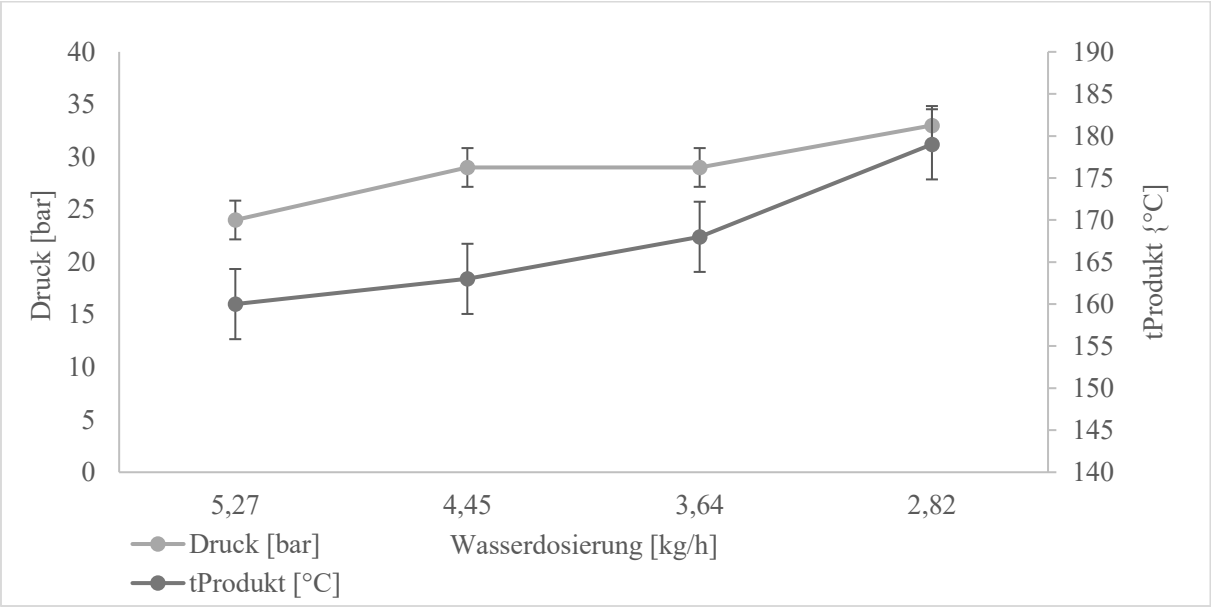

Abb. 14: EInfluss der Wasserdosierung auf Produkttemperatur und Druck - HV 2 Varianten 9,10,11 und 12 bei n= 1.000 min^{-1}

Die Abbildungen 15 und 16 stellen den Einfluss der Wasserdosierung auf das Schüttgewicht der Extrudate da. Als erstes kann festgestellt werden, dass bei beiden Hauptversuchen das Schüttgewicht, mit sinkender Wasserdosierung, abnimmt. Zwischen den beiden Hauptversuchen sind deutliche Unterschiede zwischen den Schüttgewichten zu erkennen. Die Schüttgewichte sind im 2.Hauptverusch niedriger, da hier die Extrudate eine optische größere Expansion aufweisen.

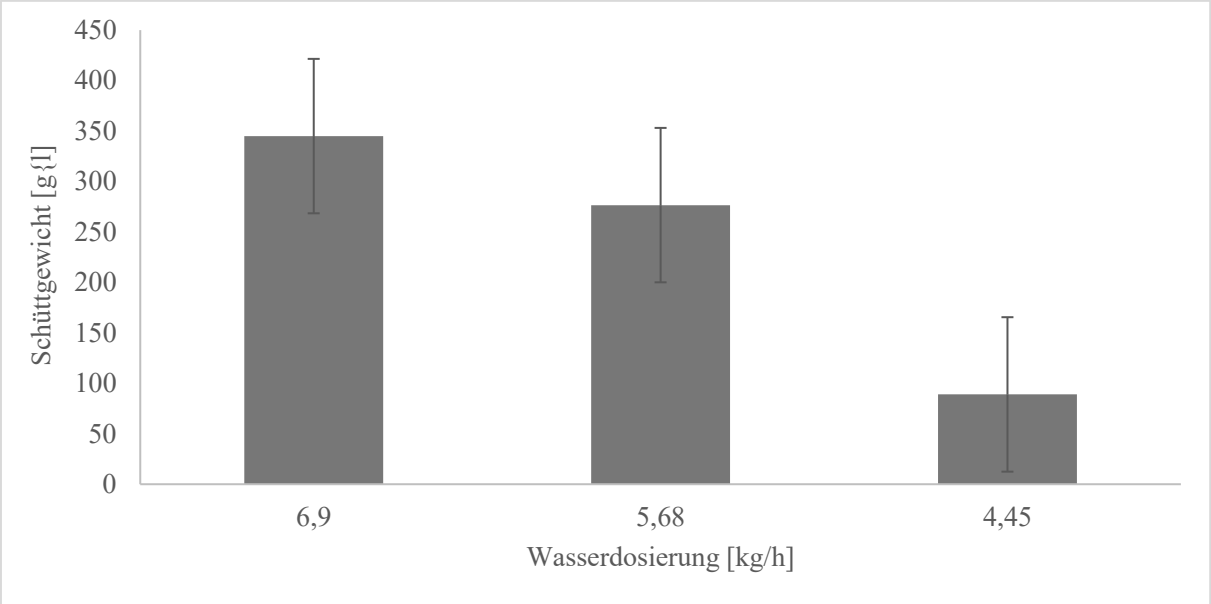

Abb. 15: Einfluss der Wasserdosierung auf das Schüttgewicht - HV 1 Varianten 8,9 und 10 bei n= 1.000 min^{-1}

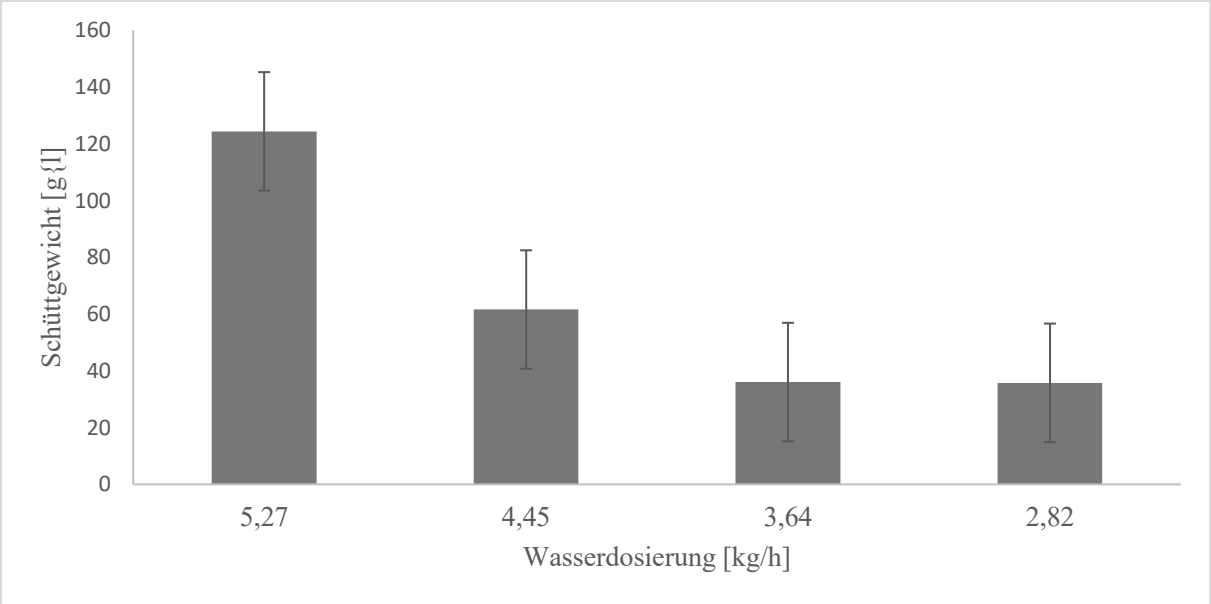

Abb. 16: Einfluss der Wasserdosierung auf das Schüttgewicht - HV 2 Varianten 9,10,11 und 12 bei n= 1.000 min^{-1}

4.2 Auswertung der physikalischen Untersuchungen

4.2.1 Feuchtegehalt und Wasseraktivität

In den Abbildungen 17 und 18 werden die Feuchtegehalte aller Extrudate dargestellt. Aufgezeigt werden jeweils die Werte vor und nach der Trocknung. So wird ersichtlich, ob der Trocknungsprozess ausreichend ist. Des Weiteren werden die aW-Werte der getrockneten Produkte dargestellt.

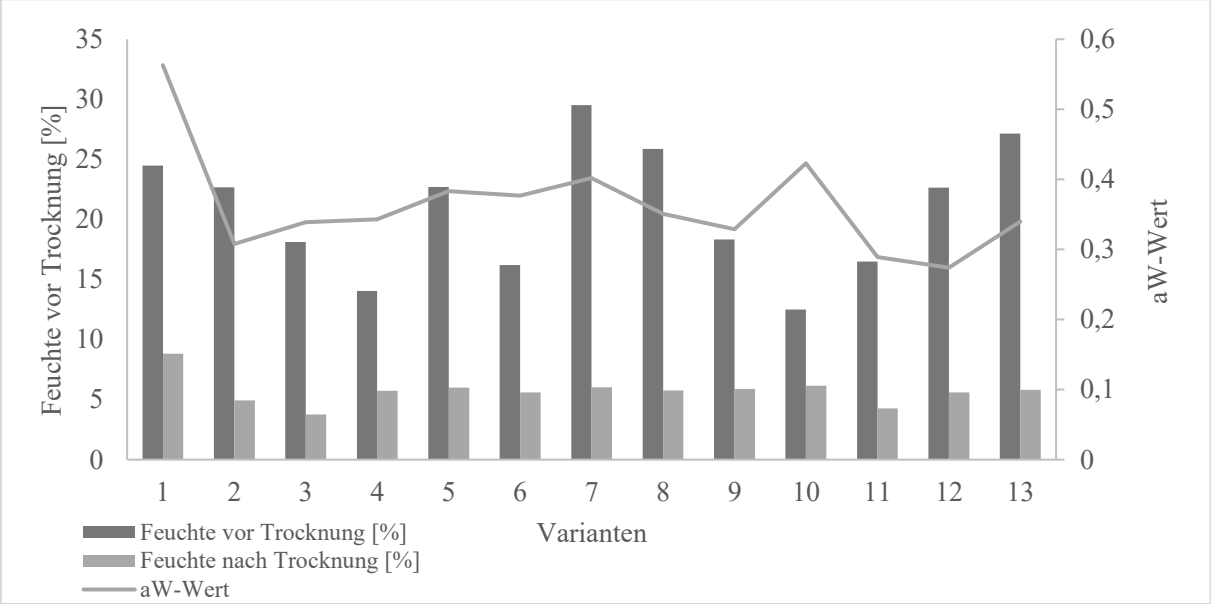

Abb. 17: Feuchtegehalte vor und nach der Trocknung und dazugehörige a_W-Werte nach der Trocknung - HV 1

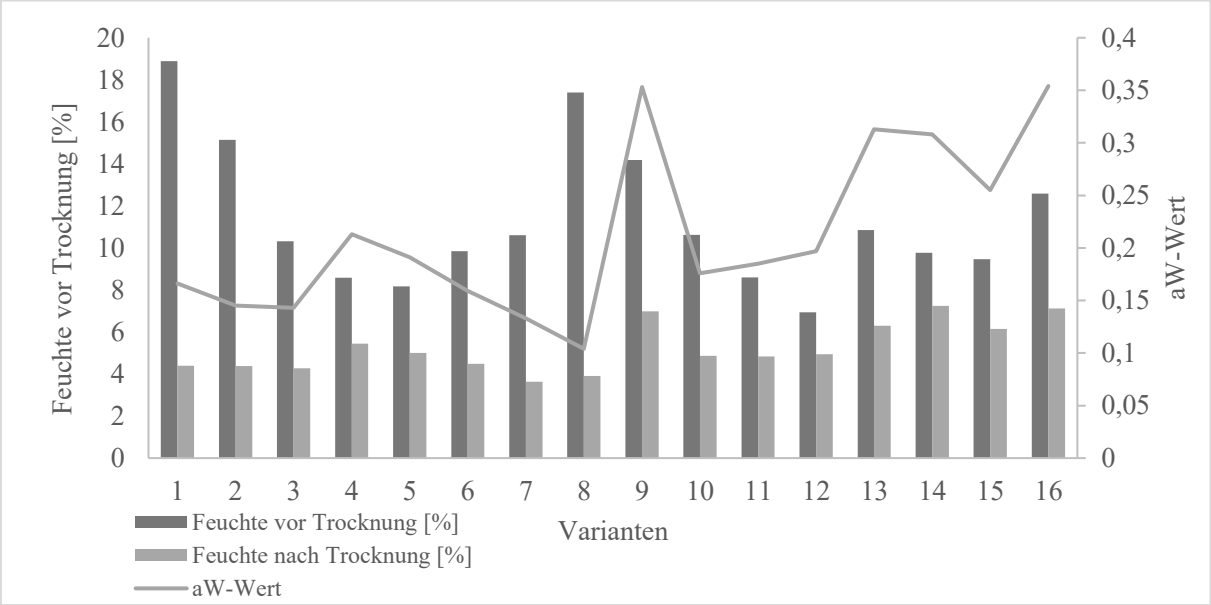

Abb. 18: Feuchtgehalte vor und nach der Trocknung und dazugehörige a_W-Werte nach der Trocknung - HV 2

Aus der Abbildung 17 wird ersichtlich, dass die Varianten aus dem 1.Hauptversuch vor der Trocknung eine hohe Restfeuchte aufweisen. Die Werte liegen zwischen 12,49 % und 29,53 %. Die hohe Restfeuchte resultiert aus der zugeführten Wassermenge bei der Herstellung. Die bei der Herstellung zugeführten Wassermengen liegen zwischen 22 % und 34 %. Nach der Trocknung ist eine deutliche Abnahme der Restfeuchte zu erkennen. Die Werte liegen in einem Bereich von 3,75 % bis 8,81 %. Die gemessenen a_W-Werte liegen alle unter 1.

Die Abbildung 18 stellt die Feuchtegehalte aus dem 2.Hauptversuch dar. Die Werte der Restfeuchte vor der Trocknung liegen von Anfang an in einem niedrigen Bereich zwischen 6,93 % und 18,89 %. Die Werte aus dem 1.Hauptversuch sind fast doppelt so hoch. Bei dem 2.Hauptversuch wird mit weniger Wasser gefahren. Die zugeführten Wassermengen liegen zwischen 14 % und 33 %. Nach der Trocknung liegt die Restfeuchte zwischen 3,63 % und 7,24 %. Auch die a_W-Werte liegen alle unter 1.

In beiden Fällen ist zu erkennen, dass der Trocknungsvorgang, der bei einer Temperatur von 80°C und für 20 min stattfindet, ausreichend ist. Da alle gemessenen a_W-Werte unter 1 liegen, sind keine mikrobiologischen Veränderungen zu erwarten.

4.2.2 Farbanalyse

In den Abbildungen 19, 20 und 21 sind die Analyseergebnisse der Farbmessungen alle Varianten dargestellt. Die Einzelnen Werte-Gruppen (L*, a*, b*) werden miteinander verglichen. Betrachtet wird der Durchschnittswert aus 3 Messungen.

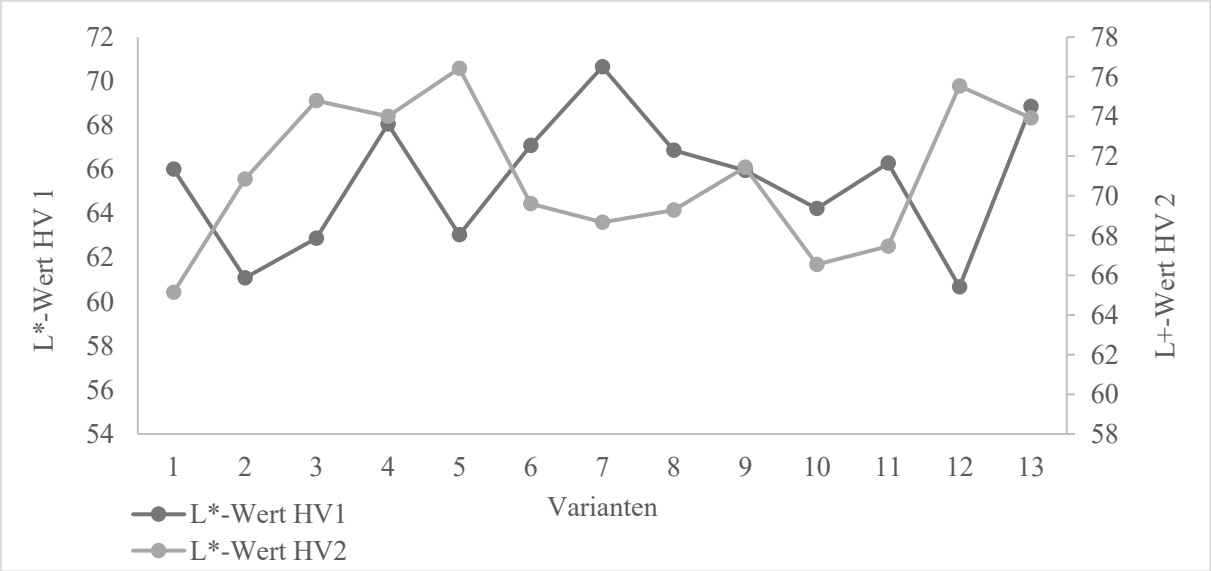

Abb. 19: Vergleich der L*-Werte von HV 1 und HV 2

Die L*-Werte beider Hauptversuche liegen annähernd im gleichen Bereich. Höhere Werte sind auf eine geringere Wasserdosierung zurückzuführen. Beispielsweise wird der Variante 12 im HV 1 4,45 kg/h Wasser zugeführt und beim HV 2 nur 2,82 kg/h. Das Produkt aus dem HV 2 ist heller als das Produkt aus dem HV 1.

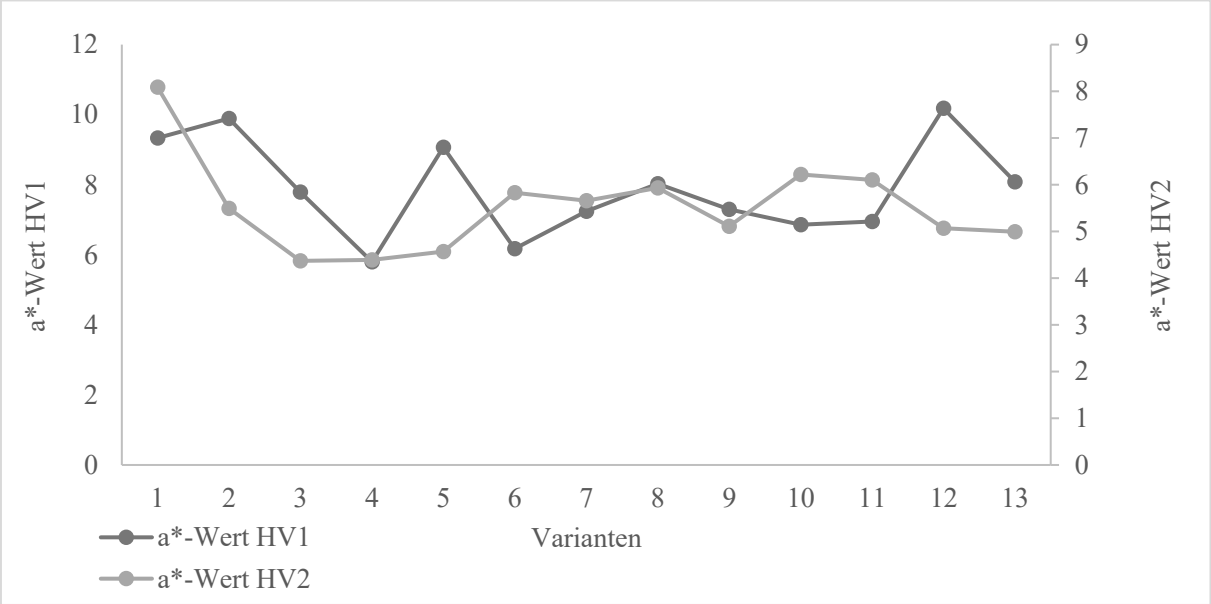

Abb. 20: Vergleich der a*-Werte von HV 1 und HV 2

Bei beiden Hauptversuchen liegen die gemessenen a*-Werte im gleichen Bereich. Die höheren Werte vom HV 1 sind auf eine höhere Wasserdosierung zurückzuführen. Als Beispiel dient die Variante 5 beider Hauptversuche. Hier liegt die Wasserdosierung bei 5,68 kg/h und der Variante 5 HV 2 werden nur 2,82 kg/h Wasser zugeführt. Höhere a*-Werte lassen das Produkt mehr ins rötliche Übergehen.

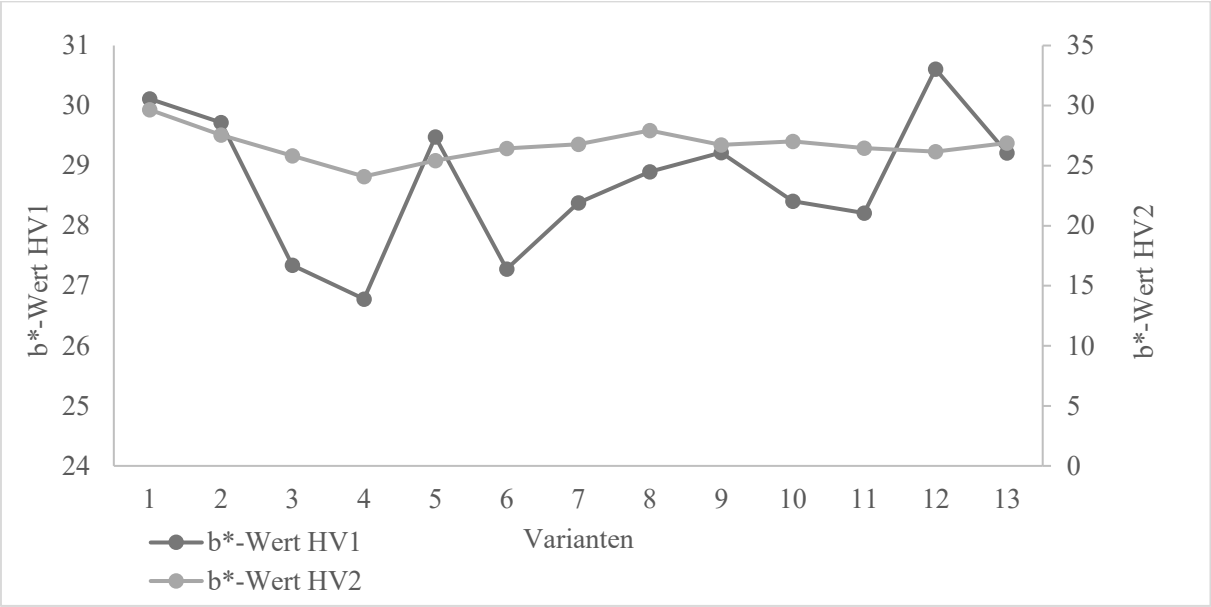

Abb. 21: Vergleich der b*-Werte von HV 1 und HV 2

In der Abbildung 21 ist zu erkennen, dass die Werte vom HV 2 stetig im gleichen Bereich liegen und keine Ausreißer vorhanden sind. Beim HV 1 hingegen gibt es große Sprünge bei den Werten. Bei den großen Sprüngen spielt die Wasserdosierung wieder eine wichtige Rolle und beeinflusst die b*-Werte. Eine höhere Wasserzufuhr lässt die b*-Werte ansteigen.

4.3 Auswertung der sensorischen Untersuchung

4.3.1 Napping und UFP

Die Nappingbögen werden, wie in Pkt. 3.6.3 beschrieben, ausgewertet. In der nachfolgenden Tabelle 11 befindet sich eine Aufschlüsselung der verwendeten Proben.

Tabelle 11: Aufschlüsselung der Proben

Probe	**Verschlüsselung**	**Variante**
P1	677	12/HV1
P2	916	7/HV2
P3	362	1/HV1
P4	473	10/HV1
P5	740	6/HV1
P6	198	6/HV2
P7	187	11/HV2
P8	370	8/HV2
P9	486	13/HV1

Im Zuge der sensorischen Untersuchung sind verschiedene Attribute für die Textur genannt worden. Nachfolgend ein Überblick der am häufigsten genannten Attribute:

- weich
- bissfest
- mehlig
- faserig
- stückig
- sandig
- breiig
- rühreiähnlich
- fleischähnlich
- hart

Nachfolgend zeigen die Abbildungen 22, 23 und 24 die Variablen im zweidimensionalen Raum.

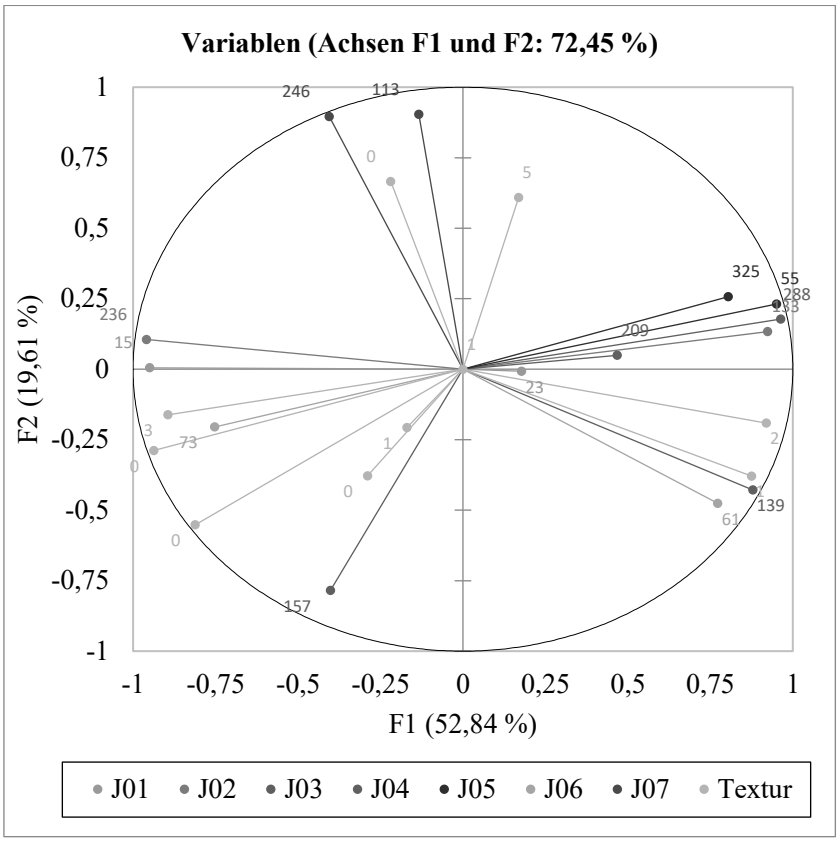

Abb. 22: Variablenverteilung 1.Wiederholung

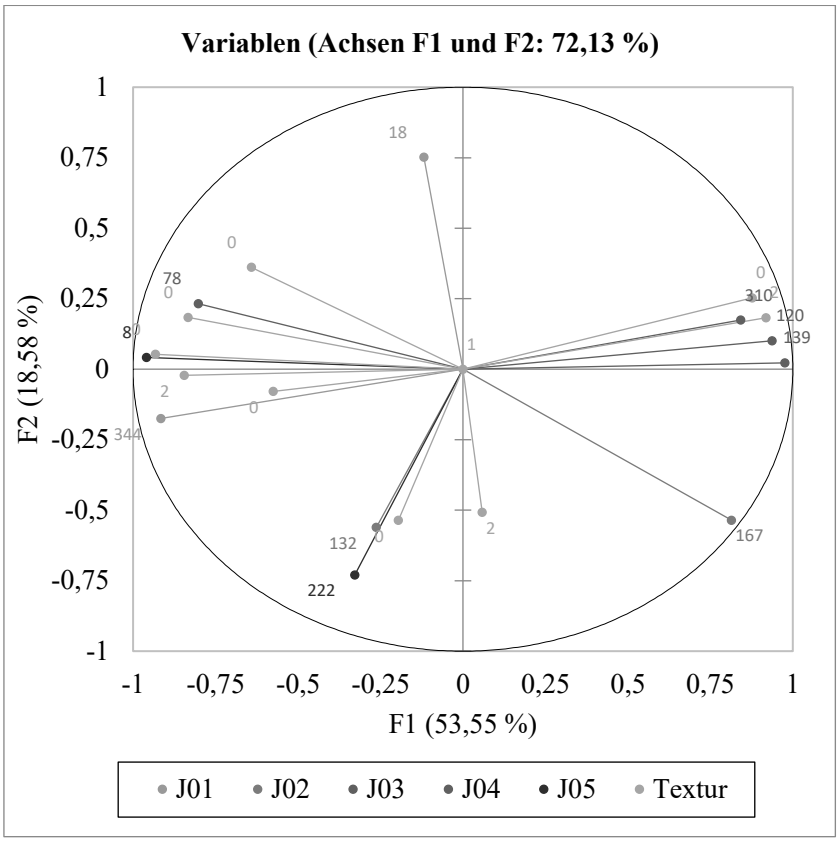

Abb. 23: Variablenverteilung 2. Wiederholung

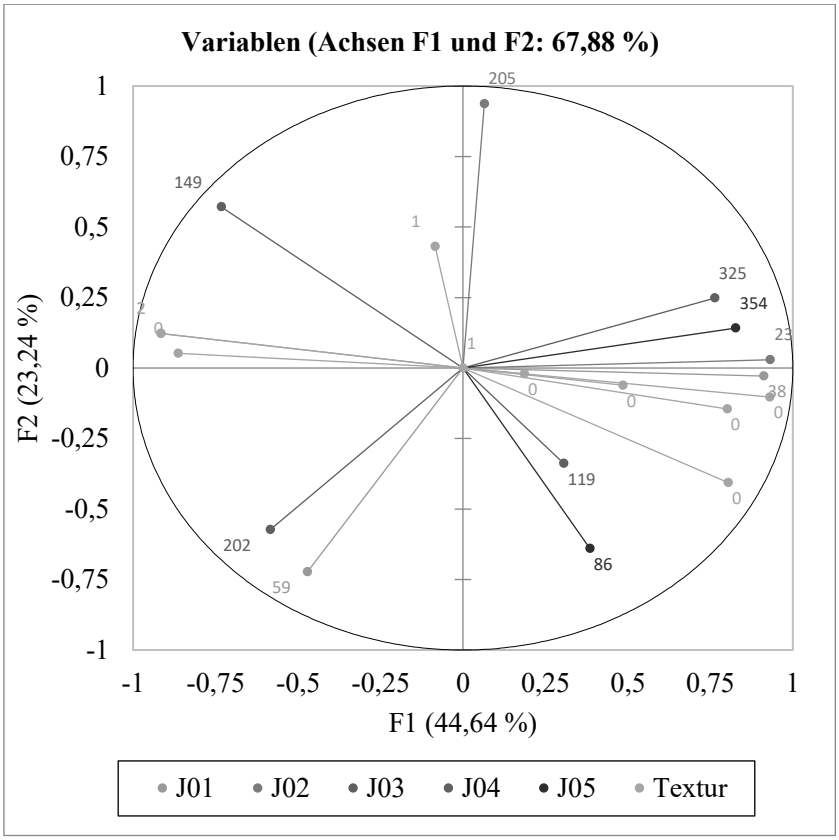

Abb. 24: Variablenverteilung 3. Wiederholung

Zunächst muss angemerkt werden, dass bei dieser Auswertung ein Fehler unterlaufen ist. Bei der Auswertung mittels der MFA wurde fälschlicherweise nur die erste Datenreihe mit in die Auswertung genommen. Theoretisch sollten in diesen Diagrammen die Produkte und die dazugehörigen Attribute abgebildet sein. Abgebildet sind jetzt nur die X und Y – Koordinaten der ersten Probe und die Anzahl der 10 Attribute. Aus diesem Grund ist eine Auswertung dieser Diagramme nicht möglich.

Als nächstes werden die Beobachtungen der Proben betrachtet. Hier werden die Proben im zweidimensionalen Raum angeordnet. Dadurch sind die Ähnlichkeiten der Proben zueinander ersichtlich. In der Abbildung 25 sind die Beobachtungen aus der 1.Wiederholung des Napping abgebildet.

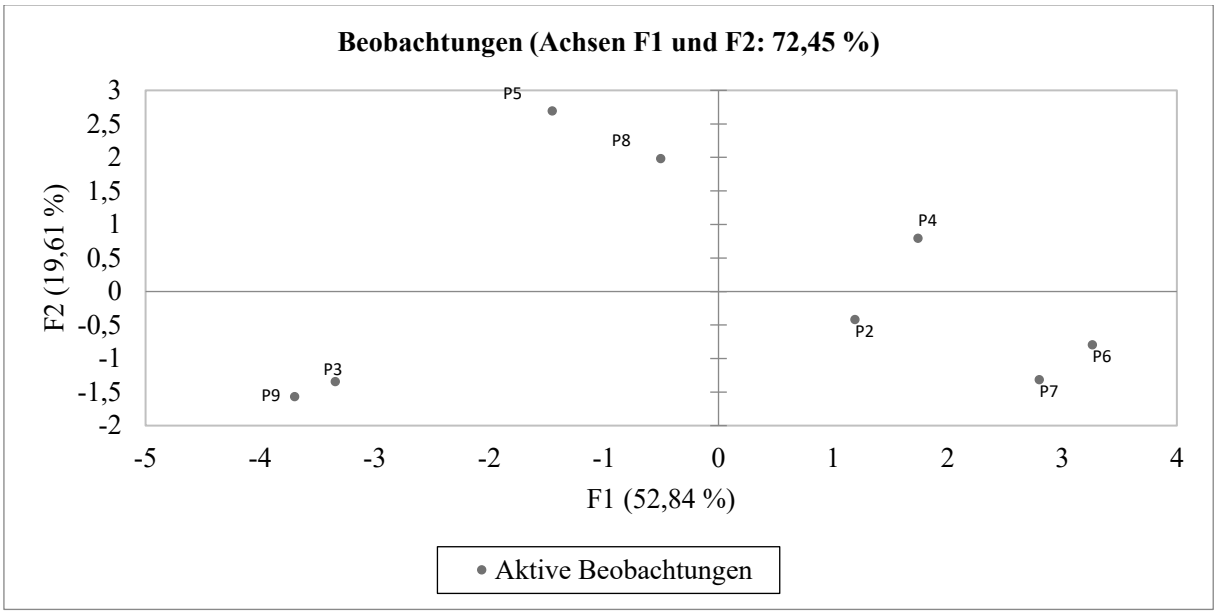

Abb. 25: Beobachtung der Proben

In der 1.Wiederholung liegen die Proben 3 und 9 nah beieinander und werden somit vom Panel als ähnlich beschrieben. Die verwendeten Attribute bekräftigen die Ähnlichkeit. Die Textur der beiden Proben wird als weich, sandig, breiig und mehlig beschrieben. Die Attribute sind eher als negative Beschreibungen zu werten und deshalb liegen die beiden Proben auch im negativen Bereich des Diagramms. Ein weiterer Zusammenhang ist bei den Proben 2, 6 und 7 zu erkennen. Diese Proben liegen ebenfalls nah beieinander. Bei den Proben wird die Textur als weich, bissfest, und fleischähnlich beschreiben.

Die Abbildung 26 stellt die Ergebnisse aus der 2.Wiederholung da.

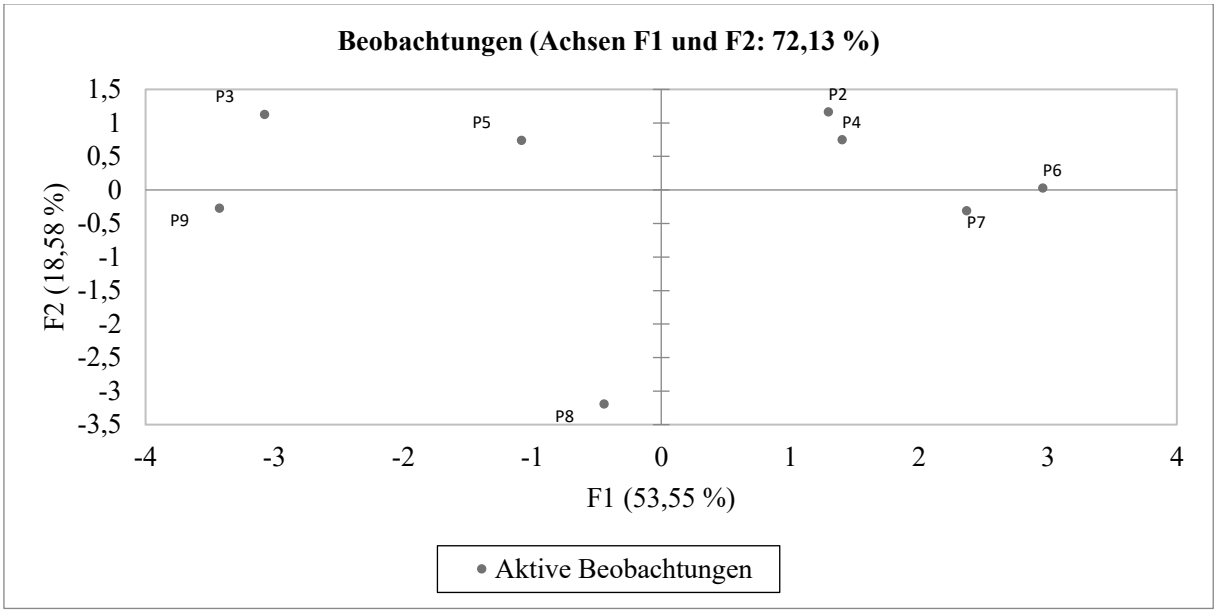

Abb. 26: Beobachtungen 2.Wiederholung

In diesem Fall werden die Proben 2 und 4 als ähnlich beschrieben. Die Proben 3, 5, 8 und 9 liegen weit auseinander und weisen somit eine geringe bis gar keine Ähnlichkeit auf. Die Proben 6 und 7 werden vom Panel wiederum als ähnlich beschrieben. Beide Proben weisen eine fleischähnliche Textur auf.

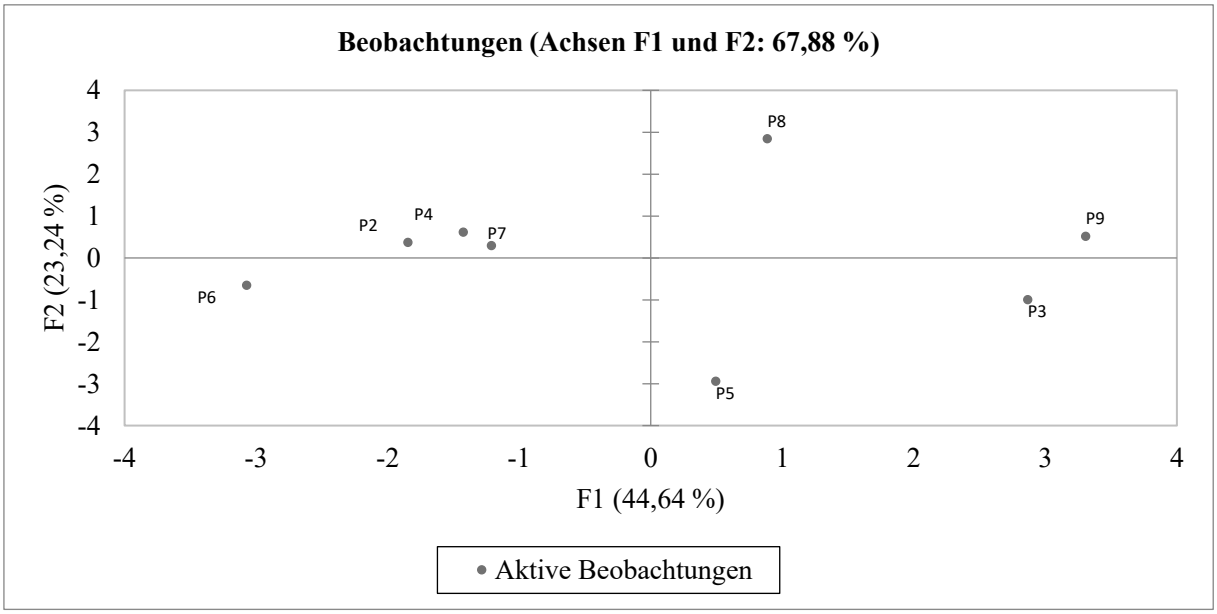

Abb. 27: Beobachtungen 3.Wiederholung

Bei der 3.Wiederholung des Nappings ist zu erkennen, dass das Panel immer wieder dieselben Proben als ähnlich beschreibt. Somit erkennt das Panel die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Proben.

5.Abschlussdiskussion

Die Prozess- und Rohstoffparameter beeinflussen sich gegenseitig bei der Extrusion und das muss bei der Auswertung der Versuchsergebnisse beachtet werden (Höller,2020).

Die Vergleichbarkeit ist in diesem Fall schwierig, da an beiden Hauptversuchstagen mit unterschiedlichen Prozessparametern gearbeitet wurde. Ein Einfluss auf einzelne Parameter ist dennoch zu erkennen.

Die Ergebnisse können ebenfalls durch potenzielle Fehlerquellen beeinflusst werden. Zum einen erfolgte die Messung der Trockenmasse des ungetrockneten Extrudats einen Tag später. Aus diesem Grund sind die Werte ungenau und entsprechen nicht dem tatsächlichen Wert direkt nach der Herstellung. Zum anderen ist die Messung der Trockenmasse des getrockneten Extrudats auch ungenau, da die Proben lange Verweilzeiten an der Umgebungsluft hatten. Vielleicht ist es Sinnvoll eine andere Methode der Trockenmassebestimmung auszuwählen, damit diese Messfehler ausgeschlossen werden können.

Nachfolgend werden die veränderbaren Prozessparameter im Einzelnen betrachtet.

<u>Drehzahl</u>

Die Steigerung der Drehzahl erhöht die SME (Abbildung 5 und 6). Der Einfluss auf die Produkttemperatur und den Druck ist nur im 2.Hauptversuch erkennbar (Abbildung 8). In dem Versuch wurde mit einer geringeren Wasserdosierung gearbeitet und dadurch konnte mehr Reibungsenergie von den Schnecken in das Produkt abgegeben werden. Die Drehzahl beeinflusst auch das Schüttgewicht. Je höher die Drehzahl, desto geringer das Schüttgewicht. Dieser Zusammenhang ist im 2.Hauptversuch erkennbar (Abbildung 10). Da nach Pichmony et all (2021) mit zunehmender Drehzahl der Expansionsindex steigt, werden größere Hohlräume zwischen den Extrudaten gebildet. Der Expansionsindex wurde jedoch nicht ermittelt aber nach visueller Betrachtung der Extrudate wird es ersichtlich.

<u>Wasserdosierung</u>

Im 1. Hauptversuch war die Wasserdosierung ähnlich wie bei Klatt (2022). Hier wurde mit einer Wasserdosierung zwischen 22 % und 34 % gearbeitet. Im 2.Hauptversuch war die Wasserdosierung jedoch viel geringer und lag zwischen 14 % und 26 %. Die sinkende Wasserdosierung lässt die SME und das Drehmoment ansteigen (Abbildung 11 und 12). Auch die Produkttemperatur und der Druck werden von der Wasserdosierung beeinflusst. Temperatur und Druck steigen mit sinkender Wasserdosierung (Abbildung 13 und 14). Je weniger Wasser zum Kühlen im Zylinder vorhanden ist, desto höher kann die Temperatur ansteigen. Das

Schüttgewicht wird ebenfalls von der Wasserdosierung beeinflusst. Dies ist in beiden Hauptversuchen ersichtlich. Bei dem 2.Hauptversuch sind die Schüttgewicht wesentlich geringer als beim 1.Hauptversuch (Abbildung 15 und 16). Die Extrudate aus dem 2.Hauptverusch weisen eine größere Expansion auf und dadurch sind die Schüttgewichte viel geringer.

Wassergehalt und a_W-Wert

Der pulverförmigen Mischung wurden je nach Hauptversuch Wassermengen zwischen 22 % und 34 % oder zwischen 14 % und 26 % zudosiert. Die Messung der Produktfeuchte nach der Extrusion zeigt Werte zwischen 12,49 % und 29,53 % oder zwischen 6,93 % und 18,89 %. Die Werte der Feuchte nach der Extrusion lässt sich darauf zurückzuführen, dass ein Teil des Wassers beim Prozess verdampft. Die Produktfeuchte nach dem Trocknungsprozess liegt in einem Bereich zwischen 3,75 % und 8,81 % oder zwischen 3,63 % und 7,24 %. Da die Werte nach der Trocknung wesentlich geringer sind als davor, ist davon auszugehen, dass der Trocknungsprozess optimal verlaufen ist. Dies bestätigen auch die geringen a_W-Werte, die in einem Bereich zwischen 0,274 und 0,563 oder zwischen 0,104 und 0,353 liegen. Bei den geringen a_W-Werten ist somit eine mikrobiologische Veränderung des Produktes nicht zu erwarten.

Farbanalyse

Farbveränderungen treten durch den Extrusionsvorgang auf. Durch die Farbanalyse hat sich gezeigt, dass die L*-, a*- und b*-Werte von der Wasserdosierung abhängig sind (Abbildung 19, 20 und 21). Zudem können beim Trocknungsvorgang auch temperaturbedingte Farbänderungen, die durch die Maillard-Reaktion hervorgerufen werden, auftreten. Durch die Erhöhung der Wasserdosierung steigen auch die L*-, a*- und b*-Werte und so erscheinen die Produkte heller, rötlicher und gelber. In der Praxis sind keine deutlichen Farbunterschiede erkennbar gewesen.

Sensorik

Aufgrund einer fehlerhaften Analyse der sensorischen Daten, ist die korrekte Auswertung nicht möglich. Die Interpretation der Daten erfolgte auf die einfache Weise. Im Großen und Ganzen ergab die sensorische Untersuchung, dass die Proben 2,4,6 und 7 sich sehr ähnlich sind. Hier wurde die Textur als weich, bissfest, faserig und fleischähnlich beschrieben.

Versuchsausblick

In der Planung der zukünftigen Versuche sollte der Einfluss weiterer Prozessparameter miteinbezogen werden. Bspw. könnte der Düsendurchmesser verändert werden oder zwei unterschiedliche Schneckenkonfigurationen werden miteinander verglichen. Zudem sollte die Wasserdosierung so gering wie möglich gehalten werden. Es hat sich nämlich gezeigt, dass die Extrudate mit einem geringeren Wassergehalt mehr expandierten und dadurch ist die fleischähnliche Textur zustande gekommen. Die sensorische Methode des Napping inklusive UFP eignet sich gut, wenn mehrere Proben gleichzeitig untersucht werden sollen. Des Weiteren sollte überlegt werden, dem Endprodukt eine geschmacksgebende Gewürzmischung zuzufügen, um somit den stark getreideartigen Geschmack fleischähnlicher zu machen.

6.Zusammenfassung

Ziel dieser Bachelorarbeit war die Entwicklung eines extrudierten Fleischersatzproduktes auf Basis von Linsenmehl und Erbsenproteinisolat. Die verwendete Rezeptur basiert auf den Erkenntnissen von Klatt (2022) und wurde für beide Hauptversuche verwendet.

Die Extrudate wurden im ungetrockneten Zustand nur auf ihren Wassergehalt untersucht. Bei den getrockneten Extrudaten wurde ebenfalls der Wassergehalt untersucht, um den Trocknungsprozess zu prüfen. Zusätzlich dazu wurden die a_W-Werte bestimmt. Darüber hinaus wurde die Schüttdichte, die Farbe und die SME bestimmt. Die sensorische Untersuchung zeige Ähnlichkeiten zwischen den Proben auf.

Die analytischen und sensorischen Untersuchungen haben aufgezeigt, dass ein geringer Wassergehalt und eine hohe Schneckendrehzahl für eine fleischähnliche Textur verantwortlich sind. Ist die Wasserdosierung jedoch zu hoch und die Schneckendrehzahl zu gering, sind minderwertige Produkte, die eine matschige und breiige Textur aufweisen zu erwarten.

Eine Prozesskonfiguration mit einem Wassergehalt von 18 % und einer Schneckendrehzahl zwischen 800 und 1000 min^{-1}, ist am geeignetsten für die Herstellung eines Fleischersatzproduktes.

7.Literaturverzeichnis

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: Linse: Anbau und Verwertung. [online], 1. Auflage, 2014. [Zugriff am 24.08.2022, um 15:03Uhr], als PDF verfügbar unter: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/059744_linsen.pdf

Belitz, H-D; Grosch, W.; Schieberle, P.: Lehrbuch der Lebensmittelchemie. 5.Auflage. Berlin/Heidelberg: Springer, 2001.

BMEL: Kennzeichnung veganer und vegetarischer Lebensmittel. [online], 2021. [Zugriff am 15.08.2022, um 17:25Uhr], verfügbar unter: https://www.bmel.de/DE/themen/ernaehrung/lebensmittel-kennzeichnung/freiwillige-angaben-und-label/vegane-vegetarische-lebensmittel.html

BMEL: Leitsätze für vegane und vegetarische Lebensmittel mit Ähnlichkeit zu Lebensmitteln tierischen Ursprungs. [online], 2018. [Zugriff am 15.08.2022, um 17:53Uhr], als PDF verfügbar unter: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ernaehrung/Lebensmittel-Kennzeichnung/LeitsaetzevegetrarischeveganeLebensmittel.pdf?__blob=publicationFile&v=5

Bouvier, J.-M.; Campanella, O. H.: Extrusion Processing Technology- Food and Non-Food Biomaterials. Hoboken (USA): Wiley Blackwell, 2014

Brümmer, T.: Charakterisierung molekularer Strukturparameter kochextrudierter Maisstärken und Ermittlung von Struktur – Eigenschaften. TU Berlin, 19.11.1999. [Zugriff am 01.08.2022, um 15:41Uhr], verfügbar unter: http://webdoc.sub.gwdg.de/ebook/diss/2003/tuberlin/diss/1999/bruemmer_thomas

Bühler AG.: Linsen – das Protein der Zukunft verarbeiten. [online], o.J. [Zugriff am 24.08.2022, um 16:25Uhr], verfügbar unter: https://www.buhlergroup.com/content/buhlergroup/global/de/industries/Pulses/Lentils.html

Derndorfer, E.: Lebensmittelsensorik. 5. Auflage. Wien: Facultas, 2016.

Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V.: Wie viel Protein brauchen wir? [online], 2017. [Zugriff am: 15.08.2022, um 19:20Uhr), verfügbar unter: https://www.dge.de/presse/pm/wie-viel-protein-brauchen-wir/#:~:text=Die%20empfohlene%20Proteinzufuhr%20von%200,67%20g%20Protein%20pro%20Tag.

Einflüsse auf die Produktqualität bei der Herstellung von TVP und HMMA. [online]. Coperion, 2022. [Zugriff am 02.08.2022, um 16:22Uhr], verfügbar als PDF unter: Coperion-2022-Einflüsse auf die Produktqualität bei der Herstellung von TVP und HMMA.pdf

FoodExtrusion.org: Specific Mechanical Energy. kein Datum [Zugriff am: 01.08.2022, 14:22Uhr], verfügbar unter: http://www.foodextrusion.org/sme.html

Fraunhofer IVV: Pflanzliche Fleischalternativen. Forschung und Entwicklung. [online], 2022. [Zugriff am 02.08.2022, um 11:37Uhr], verfügbar unter: https://www.ivv.fraunhofer.de/de/lebensmittel/fleischalternativen.html

Gläser, P. et al.: Molekulare Charakterisierung von Fehlgeschmacksstoffen in Erbsenproteinisolaten. TU München. 10.03.2020 [Zugriff am 10.08.2021, 16:20Uhr], verfügbar unter: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/lemi.

Greif, H.; Limper, A.; Fattmann, G.: Technologie der Extrusion. 2. Auflage. München: Carl Hanser Verlag, 2018.

Herzig, K.: Hülsenfrüchte sind nährstoffreich, preiswert und gesund. [online], 2022. [Zugriff am 19.08.2022, um 22:33Uhr], verfügbar unter: https://www.zentrum-der-gesundheit.de/ernaehrung/lebensmittel/huelsenfruechte/huelsenfruechte

Heseker, H.; Heseker, B.: Die Nährwerttabelle: über 40.000 Nährstoffangaben – einfache Handhabung: Übersichtstabellen zu Laktose, Fruktose, Purin, Jod und trans – Fettsäuren. 3.Auflage. Neustadt an der Weinstraße: Umschau, 2014.

Höller, N.: Lebensmittel – vegan/vegetarisch. 1. Auflage. München: meyer, 2020

HunterLab: ColorFlex EZ. Kurzanleitung. [online]. Version 1.1, o.J. [Zugriff am 16.08.2022, um 21:45Uhr], verfügbar unter: ColorFlex EZ Kurzanleitung - PDF Free Download (docplayer.org)

Klatt, S.: Entwicklung eines Fleischersatzproduktes aus Linsenmehl. 2.Studienarbeit. Hochschule Neubrandenburg, 17.01.2022. [Zugriff am 03.08.2022, um 13:43Uhr], verfügbar als PDF unter: Klatt-2022-Entwicklung eines Fleischersatzproduktes aus Linsenmehl.pdf

Labworld: Wasseraktivität (aW) von Trockenprodukten. [online], o.J. [Zugriff am 16.08.2022, um 17:56Uhr], verfügbar unter: https://www.labworld.at/wp-content/uploads/2014/10/Pulver.pdf

Lebensmittelverband Deutschland: Lebensmittelinformations-Verordnung. [online], 2022. [Zugriff am 15.08.2022, um 19:10Uhr], verfügbar unter: https://www.lebensmittelverband.de/de/lebensmittel/kennzeichnung/lebensmittelinformationsverordnung

Matissek, R.; Fischer, M.: Lebensmittelanalytik. 7. Auflage. Berlin: Springer, 2021.

Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden - Württemberg: Linsen – Info: Anbauregionen. [online], 2018. [Zugriff am 24.08.2022, um 15:36Uhr], verfügbar unter: https://linsen.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Anbau+und+Verarbeitung/Anbauregionen

Mirwald, M.: Erbsen. [online], 2020. [Zugriff am 23.08.2022, um 20:27Uhr], verfügbar unter: https://www.2000m2.eu/de/erbsen/#:~:text=Die%20Hauptanbaul%C3%A4nder%20sind%20bei%20gr%C3%BCnen,C%20und%2020%C2%B0C.

Müller, S.: Erbsen: Reich an Eiweiß und Ballaststoffen. [online], 2022. [Zugriff am 09.08.2022, um 18:33Uhr], verfügbar unter: https://www.zentrum-der-gesundheit.de/ernaehrung/lebensmittel/huelsenfruechte/erbsen

Müller's Mühle: Produktspezifikation: Rote Linsen Mehl. [online], 2020. [Zugriff am 24.08.2022, um 16:00Uhr], als PDF verfügbar unter: Spez_RoteLinsenMehl_FS-PS-BB_Ag012_120320.pdf

Nichterlein, K.: Hülsenfrüchte. 11. Auflage. Bonn: AID, 1999.

OPW Ingredients: Produktspezifikation: Erbsenprotein 80 %. [online], 2020. [Zugriff am 23.08.2022, um 23:45Uhr], als PDF verfügbar unter: file:///E:/Marc%20Studium/8.Semester/Bachelorarbeit/Literatur/Spezifikation%20Erbsenproteinisolat%20OPW.pdf

Osen, R.: Texturization of Pea Protein Isolates Using High Moisture Extrusion Cooking. Weihenstephan. 2017 [Zugriff am: 12.08.2022, 09:11], verfügbar unter: https://mediatum.ub.tum.de/doc/1356359/1356359.pdf

Pabel, B.; Schiller, S.: Basiswissen zu veganen Lebensmitteln in Theorie und Praxis. DLG-Expertenwissen. [online].; 05.2017. [Zugriff am 03.08.2022, um 23.31Uhr], verfügbar unter: https://www.dlg.org/de/lebensmittel/themen/publikationen/expertenwissen-lebensmitteltechnologie/vegane-lebensmittel

Rau, L.: Rote Linsen: Nährwerte und Kalorien der Hülsenfrüchte. [online], 2021. [Zugriff am 09.08.2022, um 20:17Uhr], verfügbar unter: https://utopia.de/ratgeber/rote-linsen-naehrwerte-und-kalorien-der-huelsenfruechte/#:~:text=Rote%20Linsen%20als%20gesunde%20Sattmacher&text=Auch%20der%20Ballaststoffgehalt%20kann%20sich,niedrigen%20glyk%C3%A4mischen%20Index%20der%20H%C3%BClsenfrucht.

Sensorische Prüfung. [online]. Tentamus, 2022. [Zugriff am 03.08.2022, um 19:32Uhr], verfügbar unter: https://www.tentamus.de/laboranalysen/sensorische-pruefung/#:~:text=Die%20sensorische%20Pr%C3%BCfung%20dient%20der,mit%20wissenschaftlichen%20Methoden%20getestet%20wurde

Sielaff, H.: Fleischtechnologie. 1.Auflage. Hamburg: Behr's, 1996.

Spory, K.: Standortanforderungen: Ansprüche von Erbsen an Klima und Boden. [online], 2022. [Zugriff am 23.08.2022, um 23:33Uhr], verfügbar unter: https://www.demoneterbo.agrarpraxisforschung.de/index.php?id=86

Stieß, M.: Mechanische Verfahrenstechnik – Partikeltechnologie 1. 3. Auflage. Berlin: Springer, 2009.

Techpilot: Extrusion. [online], 2020. [Zugriff am 17.08.2022, um 11:57Uhr], verfügbar unter: https://www.techpilot.de/lexikon/extrusion/#:~:text=Bei%20der%20Extrusion%20handelt%20es,durch%20eine%20formgebende%20%C3%96ffnung%20gepresst.

Transgen.de: Erbse. [online], 2022. [Zugriff am 23.08.2022, um 19:29Uhr], verfügbar unter: https://www.transgen.de/lexikon-nutzpflanzen/1869.erbse.html

Transgen.de: Linse. [online], 2022. [Zugriff am 24.08.2022, um 14:39Uhr], verfügbar unter: https://www.transgen.de/lexikon-nutzpflanzen/1907.linse.html#:~:text=Herkunft%3A%20Die%20Heimat%20der%20Linse,Flusst%C3%A4lern%20von%20Euphrat%20und%20Tigris.

Vegetarismus und Flexitarismus Monitor - Studie 2020. [online]. Splendid Research, 2020. [Zugriff am 10.08.2022, um 14:23Uhr], verfügbar unter: https://www.splendid-research.com/de/studie-vegetarier-flexitarier

Verheyen, C.; Jorkowski, J.; Martin, A.: Extrusion – Traditionelles Strukturierungs – und Texturierungsverfahren für die Lebensmittelproduktion der Zukunft. DLG Expertenwissen. [online], 2022. [Zugriff am 17.08.2022, um 22:17Uhr], verfügbar unter:

https://www.dlg.org/de/lebensmittel/themen/publikationen/expertenwissen-lebensmitteltechnologie/extrusion

Waldner, R.: Extrudate: So entstehen die knusprigen Erzeugnisse. [online], 2021. [Zugriff am 21.08.2022, um 23:19Uhr], verfügbar unter: https://utopia.de/ratgeber/extrudate-so-entstehen-die-knusprigen-erzeugnisse/

8.Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Versuchsplanung 18
Tabelle 2: Verwendete Geräte 19
Tabelle 3: Produktinformationen 20
Tabelle 4: verwendete Rezeptur 21
Tabelle 5: Mischung Hauptversuchstag 1 22
Tabelle 6: Übersicht der hergestellten Varianten mit den dazugehörigen Parametern 24
Tabelle 7: Mischung für Hauptversuch 2 25
Tabelle 8: Übersicht der Varianten aus dem Hauptversuch 2 26
Tabelle 9: Probenübersicht 29
Tabelle 10: Übersicht der EInweichzeiten 30
Tabelle 11: Aufschlüsselung der Proben 52

9.Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Doppelschneckenextruder - Schematischer Aufbau 6
Abb. 2: Querschnitt durch den Zylinder eines Doppelschneckenextruders 6
Abb. 3: Schneckenkonfiguration Doppelschneckenextruder 7
Abb. 4: Vorgänge vor und nach der Expansion 8
Abb. 5: Einfluss der Schneckendrehzahl auf SME und Drehmoment des 1.Hauptversuches bei den Varianten 1,7,8 und 13 32
Abb. 6: Einfluss der Schneckendrehzahl auf SME und Drehmoment des 2.Hauptversuches bei den Varianten 2,7 und 10 33
Abb. 7: Einfluss der Schneckendrehzahl auf Temperatur und Druck - HV 1 Varianten 1,7, 8 und 13 34
Abb. 8: Einfluss der Schneckendrehzahl auf Temperatur und Druck - HV 2 Varianten 2,7 und 10 35
Abb. 9: Einfluss der Schneckendrehzahl auf das Schüttgewicht - HV 1 Varianten 1,7,8 und 13 36
Abb. 10: Einfluss der Schneckendrehzahl auf das Schüttgewicht - HV 2 Varianten 2, 7 und 10 36
Abb. 11: Einfluss der Wasserdosierung auf die SME und das Drehmoment - HV 1 Varianten 8,9 und 10 bei n= 1.000 min^{-1} 37
Abb. 12: Einfluss der Wasserdosierung auf die SME und das Drehmoment – HV 2 Varianten 9,10,11 und 12 bei n= 1.000 min^{-1} 38
Abb. 13: Einfluss der Wasserdosierung auf Produkttemperatur und Druck - HV 1 Varianten 8,9 und 10 bei n= 1.000 min^{-1} 39
Abb. 14: EInfluss der Wasserdosierung auf Produkttemperatur und Druck - HV 2 Varianten 9,10,11 und 12 bei n= 1.000 min^{-1} 39

Abb. 15: Einfluss der Wasserdosierung auf das Schüttgewicht - HV 1 Varianten 8,9 und 10 bei n= 1.000 min^{-1} 40
Abb. 16: Einfluss der Wasserdosierung auf das Schüttgewicht - HV 2 Varianten 9,10,11 und 12 bei n= 1.000 min^{-1} 40
Abb. 17: Feuchtegehalte vor und nach der Trocknung und dazugehörige a_W-Werte nach der Trocknung - HV 1 41
Abb. 18: Feuchtgehalte vor und nach der Trocknung und dazugehörige a_W-Werte nach der Trocknung - HV 2 41
Abb. 19: Vergleich der L*-Werte von HV 1 und HV 2 42
Abb. 20: Vergleich der a*-Werte von HV 1 und HV 2 43
Abb. 21: Vergleich der b*-Werte von HV 1 und HV 2 44
Abb. 22: Variablenverteilung 1.Wiederholung 46
Abb. 23: Variablenverteilung 2. Wiederholung 47
Abb. 24: Variablenverteilung 3. Wiederholung 47
Abb. 25: Beobachtung der Proben 48
Abb. 26: Beobachtungen 2.Wiederholung 49
Abb. 27: Beobachtungen 3.Wiederholung 49
Abb. 28: Produktspezifikation Linsenmehl 59
Abb. 29: Produktspezifikation Erbsenproteinisolat 60
Abb. 30: Pumpenkennlinie HV 1 und HV 2 61

10.Anhänge

10.1 Produktspezifikationen

Müller's Mühle **PRODUKT SPEZIFIKATION**

Rote Linsen Mehl gültig ab: 12. Mrz 20 Version: 012

1. Verkehrsbezeichnung:	Rote Linsenmehl, Linsenmehl
2. Beschreibung:	Dieses Linsenmehl wird aus intensiv gereinigten und geschälten roten Linsen durch Vermahlung gewonnen. Die Hauptursprünge der Roten Linsen liegen in Nordamerika, Europa, Australien, Türkei. Es ist unter hygienisch einwandfreien Bedingungen in einer den Erfordernissen entsprechenden Produktion hergestellt worden. Das Produkt wird aus nicht bestrahlten oder gentechnisch veränderten Rohstoffen hergestellt, enthält keine weiteren Zutaten oder Zusatzstoffe, ist frei von Schädlingsbefall und ist von Natur aus gluten- und laktosefrei. Das Produkt ist nativ.

3. Qualitätsdaten:

3.1 Physikalische Daten:

Aussehen / Beschaffenheit:			orange-rot farbenes feines, frei fleißendes Pulver
Geruch / Geschmack:			neutral, arttypisch nach Linsen, nicht muffig, schimmelig oder chemisch
Feuchtigkeit (Gew.-%):		max.	16,0
Fremdbesatz (FB) (Gew.-%):		max.	0,01
Mineralischer FB (Gew.-%):		max.	0,001
Partikelgröße:	> 250 µm	max.	5,0 %
	< 250 µm	mind.	95,0 %

3.2 Chemische Daten:

Pestizide, Schwermetalle
Schimmelpilzgifte: Gemäß EG Verordnungen zur Festsetzung der Höchstwerte von Schadstoffen und für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln.

Nährwerte:	Angaben für 100g Trockenprodukt
Energie (kJ) / (kcal):	1383 kJ / 327 kcal
Fett (g):	1,4
davon gesättigte Fettsäuren (g):	0,3
Kohlenhydrate (g):	49
davon Zucker (g):	1,2
Ballaststoffe (g):	7,0
Eiweiß (g):	26
Salz (g):	< 0,01

Die Nährwerte unterliegen den natürlichen Schwankungen eines Naturproduktes

3.3 Mikrobiologische Daten: Angaben in Keim bestimmende Einheiten KBE / g

aerobe Gesamtkeime:	<	1.000.000
Enterobacteriaceen:	<	10.000
Escherichia coli:	<	10
Hefen:	<	1.000
Schimmelpilze:	<	10.000
Bacillus cereus:	<	1.000
Salmonellen:		negativ in 25 g Produkt

3.4 GVO Thematik: Das Produkt ist gemäß den geltenden europäischen und nationalen Rechtsvorschriften über gentechnisch veränderte Organismen nicht kennzeichnungspflichtig.

4. Lagerbedingungen: vor Wärme und Schädlingen geschützt, dunkel und trocken lagern

5. Mindesthaltbarkeit & Verpackung:
400g Faltschachtel: 12 Monate MHD, 8 Monate RLZ
5 + 22 kg Papiersack: 14 Monate MHD, 6 Monate RLZ
700 kg Big Bag: 6 Monate MHD, 4 Monate RLZ
bei oben genannten Lagerbedingungen

Seite 1 von 1 Müller´s Mühle GmbH

Abb. 28: Produktspezifikation Linsenmehl

TÜVRheinland® zertifiziert - ID 9108518847 - Management System ISO 9001:2015 und IFS Food

Version: 02/2020

Produktspezifikation / Product specification

Erbsenprotein 80 % / Pea Protein 80 %

Herkunft Rohware: Canada
Herkunft der Ware: China
Geschmack: Arteigen
Anwendung: Nahrungsergänzung - Backmischungen - Smoothie - Müsli

Typische Nährwerte / Typical nutritional values	Einheit / Unit	Methode / Method	Spezifikation / Specification
Energiegehalt / energy value	kcal	berechnet	--
Proteingehalt (i.Tr.) / protein value (dry matter)	g / 100 g	§ 64 LFGB L 17.00-15² TM	min. 80
Kohlenhydrate / carbohydrates	g / 100 g	berechnet	--
davon Zucker / therefom sugar	g / 100 g	§ 64 LFGB L 00.00-143	--
Fettgehalt / fat value	g / 100 g	§ 64 LFGB L 17.00-4	--
gesättigte Fettsäuren / saturated fatty acids	g / 100 g	§ 64 LFGB L 13.00-27/2²	--
Ballaststoffe / fibers	g / 100 g	§ 64 LFGB L 00.00-18²	--
Salzgehalt aus Natrium / salt value	g / 100 g	berechnet	--
Feuchtigkeit / humidity	g / 100 g	§ 64 LFGB L 17.00-1²	max. 10
Aschegehalt / ash content	g / 100 g	§ 64 LFGB L 17.00-3²	max. 8.0
Mikrobiologie / Microbiology			
Gesamtkeimzahl / total bacterial count	KBE / g	DIN EN ISO 4833-1²	max. 30.000
Schimmel / Moulds	KBE / g	§ 64 LFGB L 01.00-37²	max. 50
Hefen / Yeast	KBE / g	§ 64 LFGB L 01.00-37	max. 50
Enterobakterien / enterobacteria	KBE / g	DIN EN ISO 21528-2²	max. 10
Salmonellen / salmonella	/25 g	§ 64 LFGB L 00.00-20²	negativ
E.coli / escherichia coli	KBE / g	DIN EN ISO 16649-2²	max. 10
Staphylococcus aureus	KBE / g	DIN EN ISO 6888-1	max. 10
Bacillus cereus	KBE / g	DIN EN ISO 7932	max. 100
Aflatoxin B1 / Aflatoxine B1+ B2+G1+G2	µg / kg	§ 64 LFGB L 23.05-2	max. 2.0 / max. 4.0
Schwermetalle / Heavy Metals: Arsen / Arsenic	mg/kg	DIN EN 15763	max. 0.2
Cadmium / Cadmium	mg/kg	DIN EN 15763	max. 0.2
Quecksilber / Mercury	mg/kg	DIN EN 15763	max. 0.05
Blei / Lead	mg/kg	DIN EN 15763	max. 0.2

MHD: 24 Monate nach Produktionsdatum
Shelf Life: 24 month after production date

Erstellt:	LP	Geprüft:	TR	Freigegeben:	SSC
Datum:	21.07.2020	Datum:	21.07.2020	Datum:	21.07.2020

OPW Ingredients GmbH
Sohlweg 74
41372 Niederkrüchten (Deutschland)

www.opw-ingredients.com • info@opw-ingredients.com
T +49 (0)2163 / 95 14 – 500 • F +49 (0)2163 / 95 14 – 599
USt-IdNr. DE327346361 • DE-ÖKO-007

Abb. 29: Produktspezifikation Erbsenproteinisolat

10.2 Pumpenkennlinie

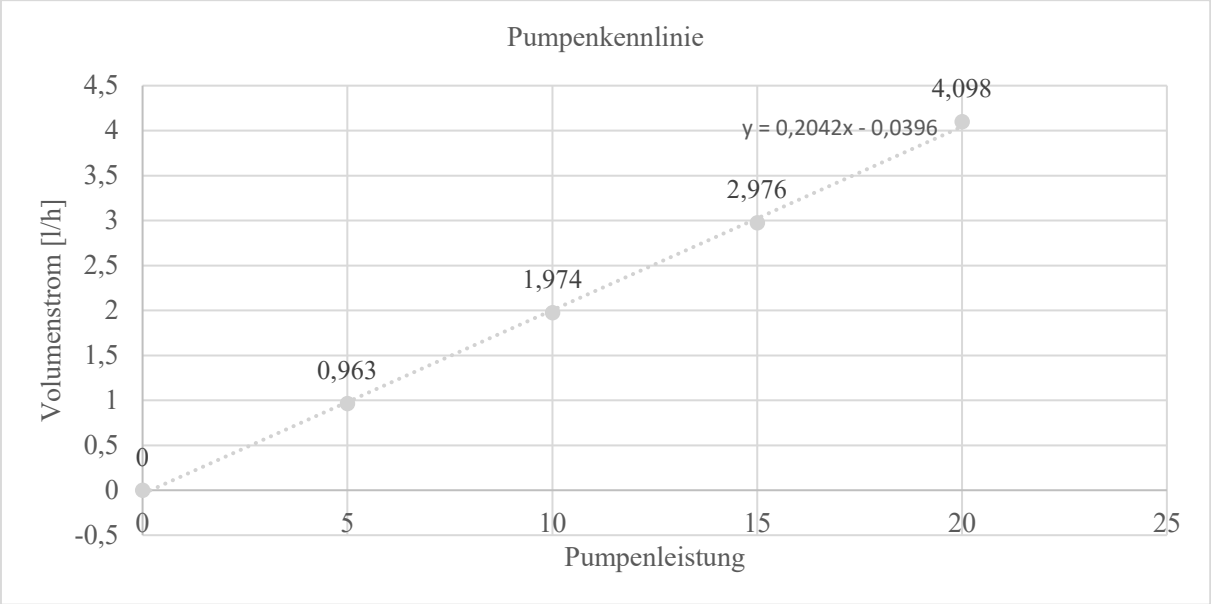

Abb. 30: Pumpenkennlinie HV 1 und HV 2

Eidesstattliche Erklärung

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.

_____ _____

Ort, Datum Unterschrift