



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Hochschule Neubrandenburg

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Studiengang Lebensmitteltechnologie dual

Bachelorarbeit zum Thema

**Entwicklung eines extrudierten
Fleischersatzproduktes auf Hanfbasis**

Vorgelegt von: Henrike Margarethe Liesen

Betreuer: Prof. Dr. Peter Meurer
Prof. Dr.-Ing. Thomas John

URN: urn:nbn:de:gbv:519-thesis2023-0008-6

Neubrandenburg, 03.02.2023

Abstract

Environmental and health problems caused by the production and consumption of animal-based foods are increasing worldwide. The need of innovative plant-based solutions is crucial for the environment. Therefore, the extrusion process could be an effective method to produce plant-based meat analogues. The aim of this study is to develop a meat alternative through extrusion based on hemp flour. As a result, four recipes with three different protein concentrations (43-65 %) and three different amounts of hemp flour (30-42,9 %) were tested. The change of extrusion parameters such as water dosage and screw speed led to different product parameters like bulk density, expansion index and different structural properties. A sensory evaluation showed that the produced extrudates based on hemp flour have potential for the meat substitute market.

Inhaltsverzeichnis

Abstract

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Symbole	5
1. Einleitung.....	6
2. Stand der Wissenschaft und Technik.....	8
2.1. Extrusion.....	8
2.1.1. Extrusion cooking	9
2.1.2. Doppelschneckenextruder	9
2.2. Fleischersatzprodukte	11
2.2.1. Anwendung von Extrusion bei der Fleischersatzproduktion	12
2.3. Rohwaren.....	13
2.3.1. Hanfmehl.....	13
2.3.2. Hülsenfrüchte	13
2.3.2.1. Erbsenproteinisolat	14
2.3.2.2. Ackerbohnenmehl.....	15
2.4. Analysemethoden	15
2.4.1. Schüttdichte.....	15
2.4.2. Expansionsindex.....	16
2.4.3. Feuchtebestimmung	16
2.4.4. Wasseraktivität	16
2.4.5. SME (Spezifische Mechanische Energie).....	17
2.4.6. Farbmessung.....	17
3. Material und Methoden.....	18
3.1. Versuchsplanung	18
3.2. Geräte.....	20
3.3. Rohwaren und Rezepturen.....	21
3.4. Versuchsreihen	23
3.5. Versuchsablauf der Extrusion.....	25
3.6.1. Schüttdichte.....	26
3.6.2. Expansionsindex.....	27
3.6.3. Feuchtebestimmung	27
3.6.4. Wasseraktivität	27

3.6.5.	Spezifische mechanische Energie	27
3.6.6.	Farbmessung.....	27
3.7.1.	Zubereitung der Sensorikproben	28
3.7.2.	Einfach beschreibende Prüfung.....	28
4.	Auswertung der Ergebnisse	29
4.1.	Prozessparameter	29
4.1.1.	Einfluss der Drehzahl.....	29
4.1.2.	Einfluss der Wasserdosierung	34
4.2.	Produktparameter.....	39
4.2.1.	Einfluss des Proteingehalts.....	39
4.3.	Sensorik Analyse	45
4.3.1.	Vorversuche	45
4.3.2.	Einfach beschreibende Prüfung.....	45
4.3.3.	Rangordnungsprüfung	46
5.	Diskussion.....	47
6.	Zusammenfassung.....	49
	Abbildungsverzeichnis	51
	Literatur- und Quellenverzeichnis.....	53
	Anhang	58
	- Produktspezifikationen.....	58
	- Prozess- und Produktparameter.....	61
	- Sensorik.....	68
	Erklärung über die selbstständige Anfertigung der Arbeit.....	75

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Symbole

Kürzel	Bedeutung	Einheit
a _w	activity of water	-
BfE	Bundeszentrum für Ernährung	-
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung	-
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft	-
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung	-
DIN	Deutsches Institut für Normung	-
DLG	Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft	-
DLMBK	Deutsche Lebensmittelbuch Kommission	-
DM	Drehmoment	[%]
DZ (n)	Drehzahl	[min ⁻¹]
EI	Expansionsindex	-
FD	Feststoffdosierung	[kg/h]
FEP	Fleischersatzprodukt	-
HMMA	High Moisture Meat Analogue	-
HTST	High Temperature Short Time	-
SD	Schüttdichte	-
SME	Spezifische mechanische Energie	-
TVP	Texturized vegetable protein	-
PD	Produktdosierung	[kg/h]
PG	Proteingehalt	[%]
PL	Pumpenleistung	[%]
VxPx	Versuch x Probe x	-
WD	Wasserdosierung	[kg/h]

1. Einleitung

Eine vegetarische oder sogar vegane Ernährungsform ist ein stetig wachsender Trend, welcher aus unterschiedlichen Gründen an Bedeutung gewinnt. Verbraucher*Innen verzichten vor allem aus moralischen und ökologischen Gründen auf Fleisch und Fleischprodukte, weshalb Fleischalternativen eine immer größer werdende Rolle spielen. Der Fleischkonsum der deutschsprachigen Bevölkerung sinkt stetig und liegt mittlerweile unterhalb von 60 kg Fleisch pro Person und Jahr. Vor allem der Konsum von Schweinefleisch ist stark rückläufig. 2019 war die Nachfrage nach Schweinefleisch um fast 10 % geringer als zum Vorjahr. Durch die steigende Nachfrage an pflanzlichen Alternativen für Fleisch und Fleischerzeugnisse sind viele Verbraucher*Innen auf der Suche nach Ersatzprodukten, welche auf der einen Seite einen geringeren CO₂-Ausstoß besitzen und demnach ökologisch sind, und auf der anderen Seite den traditionellen Fleischprodukten ähneln (Henrich, 2020).

Bekannte Fleischalternativen bestehen vermehrt aus Soja oder Weizen wie bspw. Tofu und Seitan. Bei einer Umfrage über den Verzehr von Fleischersatzprodukten gaben 41% der 2.034 Befragten an, bereits Tofu probiert zu haben. Sojafleisch probierten bereits 25 % der Befragten. Fleischersatzprodukte aus Hülsenfrüchten wie schwarzen Bohnen bzw. Lupinen testeten 15 bzw. 9% der Umfrageteilnehmer*Innen (Ahrens, 2022).

Neue Produktinnovationen, bestehend aus Erbsenprotein, Insekten oder auch heimischen Feldfrüchten gewinnen immer mehr an Bedeutung. Erbsen, Linsen und Kichererbsen waren bei einer Umfrage von 2.005 Befragten beliebter als Soja, wenn es um den Rohstoff für Fleischersatzprodukte geht, da Deutschland auf den Import von Soja im Gegensatz zu heimischen Hülsenfrüchten angewiesen ist und Soja zudem ein Allergen darstellt (Ahrens, 2022).

Die Wiederentdeckung der heimischen Kulturpflanze Hanf kann in Zukunft eine entscheidende Rolle bei der Produktion von Fleischersatzprodukten spielen. Die Hanfpflanze hat den Vorteil, dass diese zum einen für die Produktion von Hanföl und Hanfmehl verwendet werden kann und zum anderen als Rohstoff für Textilien und Baustoffe.

Die Herausforderung bei der Herstellung von Fleischersatzprodukten ist die Produktion von einem fleischähnlichen Produkt und der dazugehörigen Textur, welche durch Extrusion hergestellt werden kann.

Ziel dieser Bachelorarbeit ist die Entwicklung eines extrudierten Fleischersatzproduktes auf Hanfbasis. Hierbei werden die Rohstoffe Hanf, Erbsenproteinisolat und Ackerbohnenmehl in ihren Mengenteilen so verändert, dass unterschiedliche Proteingehalte entstehen und sich dadurch unterschiedlich faserige, fleischähnliche Texturen entwickeln, die nach ihren Produkteigenschaften bewertet werden. Die Anwendung von verschiedenen Prozessparametern soll zur Entwicklung einer optimalen Textur und Fleischähnlichkeit beitragen.

2. Stand der Wissenschaft und Technik

2.1. Extrusion

Das Wort „Extrusion“ stammt von dem lateinischen Wort *extrudere* ab und beschreibt den Prozess des Hinausdrückens bzw. -stoßens (Greif et al., 2018). Das Verfahren der Extrusion wird vor allem bei der Verarbeitung von Kunststoffen, Metallen und Lebensmitteln sowie Futtermitteln angewendet.

Mitte des 19. Jahrhunderts wurde der erste Extruder patentiert, woraufhin die ersten extrudierten Produkte in den 30er Jahren auf den Markt kamen. Damals wurden erstmals vorgekochte Nudeln oder vorgekochter Zerealienteig mittels Extruder hergestellt. Heutzutage werden Extruder in der Lebensmittelindustrie immer noch für die Produktion von Zerealien und Nudeln aber auch zur Herstellung von Instantpulvern, Snacks, Futtermitteln sowie Fleischersatzprodukten auf Basis pflanzlicher Proteine genutzt (Schuchmann, 2005).

Extrusionsanlagen sind kontinuierlich arbeitende Maschinen, die prinzipiell aus einem Motor, dem Getriebe, evtl. einem Vorbefeuchter, dem Heizgehäuse mit Schnecken und der anschließenden Düse bestehen. Hierbei kann das Heizgehäuse aus verschiedenen Teilen bestehen (siehe Abbildung 1), welche unterschiedlich beheizt oder gekühlt werden können. In den meisten Fällen weist das Gehäuse einen konstanten Innendurchmesser auf, es gibt allerdings auch Bauformen, in denen der Durchmesser konstant abnimmt oder wo sich der Durchmesser erst im hinteren Gehäuseteil kegelförmig verkleinert (Schuchmann, 2005). Durch die von den Schnecken ausgelöste Zwangsbewegung wird das Produkt im Extruder Richtung Düse bzw. Matrize gefördert (Gaikwad, 2019). Die hinzugegebenen Komponenten können im Extruder außerdem vermischt, entgast, homogenisiert, erhitzt, Scherkräften ausgesetzt und durch die Düse gepresst werden. Bei diesem Prozess sind die verschiedenen Komponenten Veränderungen wie Denaturierung, Verkleisterung, Dehydrierung oder Expansion ausgesetzt (Guy, 2001). Diese Veränderungen hängen allerdings u.a. von der Art der Extrusion ab, denn man unterscheidet zwischen Heiß- und Kaltextrusion (Gaikwad, 2019).

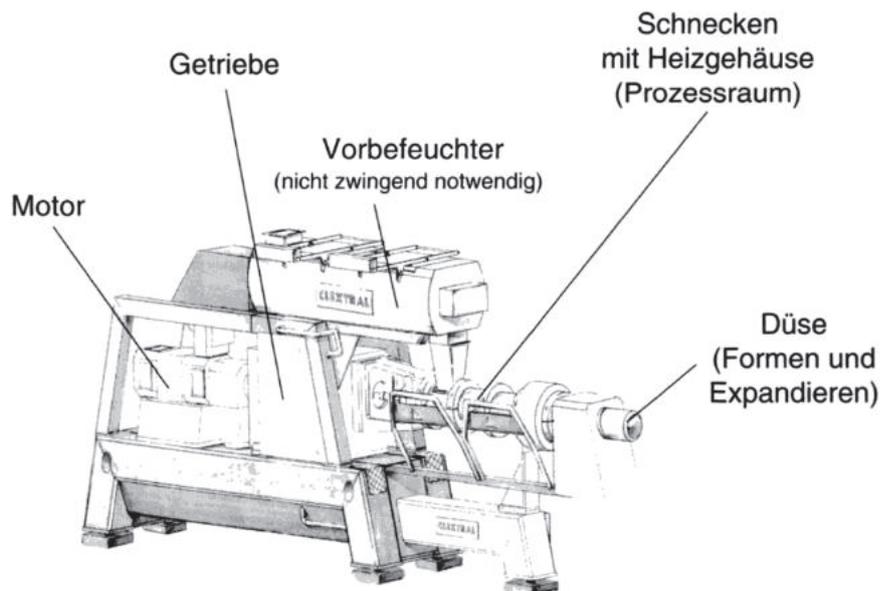


Abbildung 1: Allgemeiner Aufbau eines Extruders (Schuchmann, 2005)

2.1.1. Extrusion cooking

Bei der Kaltextrusion, welche häufig bei der Herstellung von Pasta angewendet wird, ist die Temperatur konstant und bleibt unterhalb von 100°C. Die Haltbarmachung der Produkte erfolgt dann nicht über die Extrusion selbst, sondern durch Folgeprozesse wie bspw. Trocknen. Die Heißextrusion (engl.: extrusion cooking) übersteigt die 100°C, welche durch die im Extruder entstehende Reibungswärme und durch andere Heizquellen erreicht wird (Gaikwad, 2019). Da das zu verarbeitende Produkt bei der Heißextrusion bei hohen Temperaturen nur für eine kurze Zeit im Extruder verweilt, wird das Extrusionskochen auch als „High Temperature Short Time“ (Hochtemperatur-Kurzzeitverfahren) bezeichnet, bei dem wichtige Inhaltsstoffe in ihrer Zusammensetzung weniger belastet werden (Moscicki, 2011; Schuchmann, 2005).

2.1.2. Doppelschneckenextruder

Alam et al. (2015) unterscheidet Extruder nach ihrer Bauart in Walzen-, Kolben- und Schneckenextruder, wobei die Schneckenextruder, die am häufigsten genutzten Extruder in der Lebensmittelindustrie sind (Schuchmann, 2005). Die Schneckenextruder werden unterteilt in Ein-, Doppel- oder Mehrfachsneckenextruder. Im Gehäuse eines Doppelschneckenextruders liegen zwei Schnecken, welche in den Bohrungen, in Form einer acht, untergebracht

sind (siehe Abbildung 2). Diese Bohrungen können entweder einen konstanten, einen konstant-abnehmenden Durchmesser oder einen gleichmäßigen Durchmesser besitzen, der im letzten Teil kegelförmig abnimmt. Die Innenwand der Bohrungen ist in den meisten Fällen von glatter Beschaffenheit, kann aber auch längs- oder wendelförmige Riefen besitzen. Die Systeme von Doppelschneckenextrudern unterscheiden sich in der Drehrichtung der einzelnen Schnecken, welche sich gleichsinnig oder auch gegensinnig bewegen können. Ein weiterer Unterschied besteht im Abstand zwischen den Schnecken. Wenn diese ineinandergreifen, spricht man von sogenannten „Kämmen“ (Schuchmann, 2005; Greif et al., 2018).

Weiterhin sind die Schnecken in verschiedene Zonen aufgeteilt, welche unterschiedliche Aufgaben übernehmen. Das Produkt gelangt über den Trichter in die Einzugszone der Schnecke und von dort in die Kompressionszone oder auch Knetzone, in der das Produkt weiterhin verdichtet wird und der Druck ansteigt. In dieser Zone entsteht allmählich eine teigähnliche Masse. In der letzten Zone, der Ausstoßzone, wird das Produkt weiter homogenisiert, sodass eine visko-elastische Masse entsteht und das Produkt gekocht wird, bis es anschließend über die Düse ausgestoßen wird. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal sind die einzelnen Module der Zonen. Diese können rückfördern, mischen, kneten, mit oder ohne Förderwirkung sein (Agerer, 2009; Schuchmann, 2005).

Doppelschneckenextruder haben den Vorteil, dass sie einen kontinuierlicheren und nicht pulsierenden Produktfluss sowie eine bessere Vermischung und Konvektion generieren (Schuchmann, 2005).



Abbildung 2: Gehäuse Doppelschneckenextruder (Berk, 2013)

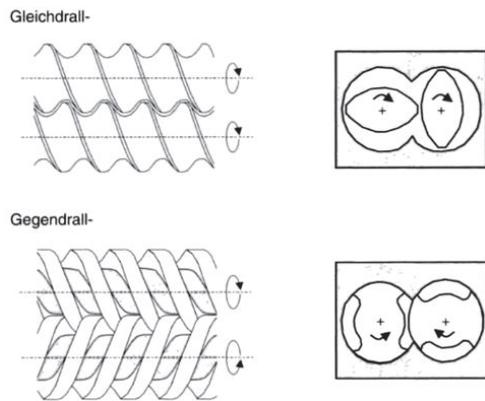


Abbildung 3: Drehrichtung von Doppelschneckenextrudern (Schuchmann, 2005)

2.2. Fleischersatzprodukte

Begriffe wie Fleischersatzprodukt und Fleischalternative sind keine rechtlich definierten Begriffe, weshalb es bei Verbrauchern und Lebensmittelproduzenten zu Unklarheiten kam. Im Dezember 2018 veröffentlichte die Deutsche Lebensmittelbuchkommission deshalb die „Leitsätze für vegane und vegetarische Lebensmittel mit Ähnlichkeit zu Lebensmitteln tierischen Ursprungs“ (BfE, 2020). Vegane Lebensmittel sind nach der DLMBK (2018) Lebensmittel, die keine Erzeugnisse tierischen Ursprungs sind und auch nicht auf allen Produktions- und Verarbeitungsstufen mit solchen versetzt oder verarbeitet wurden. Vegetarische Lebensmittel hingegen sind Lebensmittel, die den Anforderungen von veganen Lebensmitteln entsprechen und zusätzlich Milch, Honig, Geflügeleier (etc.) enthalten können oder mit diesen Produkten verarbeitet wurden.

Das Ziel bei der Herstellung veganer und vegetarischer Fleischersatzprodukte ist die Ähnlichkeit mit Lebensmitteln tierischen Ursprungs zu schaffen. Dies geschieht vor allem durch den Zusatz pflanzlicher Proteine wie beispielsweise Sojaprotein oder Erbsenprotein (bei vegetarischen Lebensmitteln auch durch Lebensmittel tierischen Ursprungs wie bspw. Milcheiweiß) (BfE, 2020). Sogenanntes In-Vitro-Fleisch kann ebenfalls als Fleischersatzprodukt bezeichnet werden, besteht allerdings, im Gegensatz zu den anderen bereits genannten Fleischersatzprodukten, aus im Labor gezüchtetem Fleisch (Plattform Ernährungswandel, kein Datum).

Der Konsum und der Absatz von Fleischersatzprodukten haben sich in den vergangenen Jahren in Deutschland deutlich vermehrt. 2018 gaben 80.000 Menschen an täglich Fleischersatzprodukte zu konsumieren. 2021 waren es bereits 420.000 Menschen. Bezogen

auf den einmaligen Konsum pro Monat waren es im Jahr 2018 1,8 Millionen Menschen und 2021 bereits 2,52 Millionen Menschen in Deutschland (Pawlik, 2022). Auch der Pro-Kopf-Absatz von Fleischersatzprodukten hat sich von 2015 bis 2021 mehr als verfünffacht (Ahrens, 2022). Ein weiterer Beleg für die starke Nachfrage nach Fleischersatzprodukten ist das Familienunternehmen Rügenwalder Mühle, welches zu den bekanntesten Fleischereibetrieben Deutschlands zählt. Dieses konnte im Jahr 2021 mehr Umsatz mit dem Verkauf von vegetarischen und veganen Fleischalternativen generieren als mit klassischen Fleisch- und Wurstwaren (Rügenwalder Mühle, 2022). Der hohe Umsatz hängt allerdings auch mit dem höheren Preis der Fleischersatzprodukte zusammen. Verglichen mit konventionellem Schweine- und Geflügelfleisch, ist der Preis für Fleischersatzprodukte ungefähr doppelt so hoch. Rindfleisch und meist auch Biofleisch liegen beim Preisvergleich oberhalb der Fleischersatzprodukte (Ahrens, 2022).

2.2.1. Anwendung von Extrusion bei der Fleischersatzproduktion

Zur Entwicklung von Fleischersatzprodukten bedarf es einer Texturierung der Pflanzenproteine, welche durch das Verfahren der Kochextrusion zu Stande kommt. Die gewünschte Textur kann hierbei durch den Wassergehalt, die spezifische mechanische und thermische Energie und die Verweilzeit im Extruder beeinflusst werden. Die Textur von fleischähnlichen Produkten kann durch zwei Verfahren erreicht werden. Man unterscheidet hierbei zwischen Nass- und Trockenextrudaten, auch bekannt als Texturized Vegetable Protein (TVP) und High Moisture Meat Analogue (HMMA). Nassextrudate werden mit einem hohen Wassergehalt von 60-70 % und bei Temperaturen zwischen 140° und 170°C für einen längeren Zeitraum im Extruder verarbeitet. An der Austrittsdüse muss das Produkt heruntergekühlt werden und für die Abgabe an die Konsument*Innen entweder in der Verpackung gekühlt gelagert werden oder alternativ pasteurisiert werden. Das Produkt hat durch die beschriebenen Prozessparameter eine fleischähnliche, faserige Struktur und kann direkt durch die Verbraucher*Innen verarbeitet werden. Anders als bei den Nassextrudaten werden die Trockenextrudate mit einem Wassergehalt von ca. 30% und einer Extruder Temperatur von ca. 160°C produziert. Die Verweilzeit ist hierbei kürzer und es erfolgt keine sofortige Kühlung an der Austrittsdüse, sondern eine anschließende Trocknung auf einen Feuchtegehalt unter 10 %. Das Endprodukt hat eine schwammartige Konsistenz, kann trocken gelagert werden und muss vor der Zubereitung eingeweicht werden, um eine hackfleischähnliche Konsistenz zu generieren (Eugster et al., 2018).

2.3. Rohwaren

2.3.1. Hanfmehl

Die Hanfpflanze (lat.: *Cannabis sativa* L.) ist eine alte Kulturpflanze aus den gemäßigten Breiten Zentralasiens bis Nordwestindien, welche früher eine wichtige Rohstoffquelle für Seile, Segeltücher, Bekleidungstextilien, Papier- sowie Ölprodukte darstellte (Lachenmeier, 2004; Müller, 1997). Nachdem am 01.01.1982 der Anbau von Faserhanf durch die Änderung des Betäubungsmittelgesetzes komplett untersagt wurde, geriet die Hanfpflanze und die daraus hergestellten Produkte in Vergessenheit und wurden durch andere Rohstoffe wie z.B. Baumwolle ersetzt. Im Jahre 1996 wurde das Anbauverbot von Faserhanf in Deutschland wieder aufgehoben, sodass Deutschland im Jahre 2021 nach Frankreich (F: 18.280 ha) die größte Anbaufläche von Hanf in Europa bewirtschaftete (DE: 4600 ha) (Müller, 1997; Statista, 2022).

Der sogenannte Faserhanf, welcher einen geringen Gehalt des psychoaktiven Inhaltsstoffes Tetrahydrocannabinol enthält, wird heute wieder viel genutzt und kann zu allen Teilen verwertet werden. Das Stroh wird weiterhin in der Textil- und Papierindustrie verwendet, die Hanfblätter und -blüten für Tee und berauschende Produkte genutzt und die Hanfsamen werden zu verschiedenen Lebensmitteln und Futtermitteln verarbeitet wie beispielsweise Speiseöl und Mehl (Lachenmeier, 2004). Der bei der Hanföl-Produktion anfallende Pressrückstand wird häufig als Tierfutter verwendet, kann aber auch zu Hanfmehl vermahlen werden und in der Lebensmittelproduktion eingesetzt werden.

2.3.2. Hülsenfrüchte

Zu den Hülsenfrüchten zählen beispielsweise Bohnen, Erbsen, Linsen aber auch Lupinen und Erdnüsse. Sie sind Samen einer Pflanze, welche, wie der Name verrät, in einer Hülse heranwachsen. Entweder werden sie im überreifen Zustand geerntet und getrocknet oder im frischen Zustand als grüne Erbsen, Stangen- oder Zuckerschoten geerntet. Hülsenfrüchte zählen zu den wichtigsten Eiweißquellen in der pflanzlichen Ernährung und sind somit essenziell für die vegetarische und vegane Ernährungsweise. Weitere wichtige Inhaltsstoffe sind die Vitamine B1, B6, Folat und Mineralstoffe wie Eisen, Magnesium und Zink. Außerdem sind sie eine wichtige Quelle für sekundäre Pflanzenstoffe und Ballaststoffe (DGE, 2021). Ein weiterer positiver Aspekt der Hülsenfrüchte ist dessen Einfluss auf die Umwelt.

Denn durch den Anbau von Hülsenfrüchten wird der Stickstoff, den die Pflanzen benötigen, aus der Luft gebunden, wodurch weniger gedüngt werden muss. Außerdem haben Sie positiven Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit und die Bildung von Humus im Boden, weshalb sie gerne als Zwischenfrucht in der Fruchtfolge angebaut werden (DGE, 2016)

2.3.2.1. Erbsenproteinisolat

Die Erbse (lat.: *Pisum sativum*) stammt vermutlich aus dem Nahen Osten und gilt als älteste Hülsenfrucht. Weltweit gibt es ca. 250 Sorten von Erbsen, die sich in Form, Farbe etc. unterscheiden. Die Erbsen für die Herstellung von Erbsenproteinisolat werden meist außerhalb der EU, vor allem in China und Kanada angebaut. In einer Hülse befinden sich meist 4-10 Samen. Die Qualität und die technologischen Verarbeitungsmöglichkeiten hängen hierbei von dem Stärkegehalt der Erbsen ab, welcher in den getrockneten Samen deutlich höher ist. Der Proteingehalt der Erbsen liegt bei ca. 22,9% (Erbersdobler, Nagursky, Rimbach, 2015).

Der Anbau von Erbsen und weiteren Hülsenfrüchten hat durch verschiedene Maßnahmen und Reformen der Agrarpolitik in den 2010er Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Die Anbaufläche von Erbsen hat sich von 2014 bis 2019 in Deutschland verdoppelt (BMEL, 2020).

Das für die Versuche verwendete Erbsenproteinisolat hat einen Proteingehalt von 80% und einen Feuchtegehalt von max. 10% (Produktspezifikation, Abbildung 36). Um den Proteingehalt der Erbsen zu erhöhen bzw. das Protein zu isolieren, bedarf es dem Verfahren der Fraktionierung. Hierbei unterscheidet man zwischen Trocken- und Nassfraktionierung, wobei bei der Nassfraktionierung ein höherer Proteingehalt erreicht werden kann (50:85 %). Der Ausgangsstoff für beide Verfahren sind die von der Hülle befreiten getrockneten Samen. Diese werden bei der Trockenfraktionierung mittels Stiftmühle zu Mehl vermahlen und daraufhin durch Dichteunterschiede mit einem Windsichter in eine erste Stärke Fraktion und eine Protein Fraktion. Um reinere Ergebnisse zu erreichen wird dieser Prozess mehrmals wiederholt (Osen, 2017).

Die Nassfraktionierung beruht auf dem Prinzip der Denaturierung der Eiweiße. Dafür werden die Samen ebenfalls vermahlen und mit Wasser vermischt. Der pH-Wert der Lösung wird mittels Alkalilauge angehoben und die nicht löslichen Bestandteile des Gemischs abgetrennt.

Dies erfolgt meist mittels Zentrifuge oder Filtereinrichtungen. Daraufhin wird der pH-Wert erneut eingestellt, sodass der isoelektrische Punkt erreicht wird und somit die Ausfällung der Proteine erfolgt. Das Gemisch wird im Folgenden erneut zentrifugiert, um die Proteinfraction zu erhalten. Die letzten Verfahrensschritte sind dann das Entfernen der Mutterlauge durch Waschen, Neutralisieren und anschließendem Trocknen des Proteinisolats. Am Ende des Prozesses erhält man also ein stärkefreies Isolat mit ca. 85% Protein und einem Restfettgehalt von maximal 3% (Osen, 2017; Flottweg Separation Technology, 2015).

2.3.2.2. Ackerbohnenmehl

Die Ackerbohne (lat.: *Vicia faba*), auch bekannt als Saubohne oder Favabohne, wird zu einem großen Anteil als Tierfutter verwendet und hauptsächlich in China, Äthiopien, Ägypten, Frankreich und Australien angebaut (Erbersdobler, Nagursky, Rimbach, 2015). In Deutschland hat sich der Anbau von Ackerbohnen, ähnlich wie bei Erbsen, von 2014 bis 2019 verdoppelt (BMEL, 2020). Die Hülse der Ackerbohne enthält je nach Sorte drei bis sieben Samen, die eine rundlich-ovale und platte Form besitzen (Erbersdobler, Nagursky, Rimbach, 2015). Um Ackerbohnen für den menschlichen Verzehr vorzubereiten, bedarf es hohen Anforderungen an die Qualität der Bohnen. Nach der Ernte werden die Bohnen mit verschiedenen Reinigungseinrichtungen wie Windsichter, Trieur oder Farbsortierern von Verunreinigungen und Fremdbestandteilen getrennt, bevor sie dann zu verschiedenen Produkten weiterverarbeitet werden können (BLE, 2021). Für die Extrusionsversuche wurden die Ackerbohnen intensiv gereinigt, geschält und vermahlen, sodass ein creme-weiß farbendes feines Pulver entstand. Der Proteingehalt des Mehls liegt bei 29% und hat einen Feuchtegehalt von maximal 16% (Produktspezifikation, Abbildung 37).

2.4. Analysemethoden

2.4.1. Schüttdichte

Die Schüttdichte bezeichnet den Quotienten aus der Masse des Gutes, welches in einem Messzylinder eingewogen wurde und dem bekannten Füllvolumen des Messzylinders (Böhm, 2006). Laut Stieß (2009) lässt sich die Schüttgutdichte bei porösen Partikeln und Agglomeraten mit folgender Formel berechnen:

$$\rho_{Sch} = \frac{m_S}{V_{Sch}} \text{ [g/l]}$$

(Gl. 1)

ρ_{Sch}	Schüttdichte [g/l]
m_S	Masse der Schüttung [g]
V_{Sch}	Volumen der Schüttung [l]

Je größer die Oberfläche der einzelnen Agglomerate, desto geringer die Schüttdichte. Generell spielt die Schüttdichte bei der Größenauswahl der Verpackung eine Rolle (Stiess, 2009)

2.4.2. Expansionsindex

Der Expansionsindex ist ein Parameter für die Größe der Extrudate. Er beschreibt das Verhältnis aus dem Durchmesser der Extrudate und dem Durchmesser der verwendeten Düse und wird in Prozent angegeben (Amft, 2019).

$$\varepsilon = \frac{d_p}{d_D} \text{ [%]}$$

(Gl. 2)

ε	Expansionsindex [%]
d_p	Produktdurchmesser [mm]
d_D	Düsendurchmesser [mm]

2.4.3. Feuchtebestimmung

Die thermogravimetrische Methode mit einem Trocknungsofen wird als Standardverfahren zur Bestimmung des Feuchtegehalts verwendet. Eine zulässige Alternative bildet hierbei die Feuchtebestimmung durch den Trocknungsverlust mit Hilfe eines Moisture Analyzer bzw. Schnellfeuchtebestimmers. Der Vorteil ist die kürzere Verweilzeit und die einfache Handhabung des Verfahrens.

2.4.4. Wasseraktivität

Die Wasseraktivität oder auch a_w -Wert (activity of water) genannt, ist ein Maß für das frei verfügbare Wasser in einem Lebensmittel, welches beispielsweise für die Stoffwechselaktivitäten von Mikroorganismen genutzt wird. Freies Wasser kann aber auch durch verschiedene Inhaltsstoffe wie Salz, Zucker und Proteine gebunden werden, sodass es

für die Mikroorganismen nicht mehr zugänglich ist. Die Definition lautet: „Der a_w -Wert ist das Verhältnis des Wasserdampfdrucks über dem Lebensmittel zum Wasserdampfdruck des reinen Wassers bei gleicher Temperatur“ und wird in folgender Formel ausgedrückt (Krämer et al., 2017):

$$a_w = \frac{p}{p_0}$$

(Gl. 3)

p Wasserdampfdruck über dem Lebensmittel
 p_0 Wasserdampfdruck des reinen Wassers

Der a_w -Wert des reinen Wassers ($p=p_0$) beträgt somit 1,0. Bei Zugabe von wasserbindenden Inhaltsstoffen oder durch Wasserentzug mittels Trocknungsverfahren sinkt der a_w -Wert unter 1,0 (Krämer et al., 2017).

2.4.5. SME (Spezifische Mechanische Energie)

Die spezifische mechanische Energie (SME) beschreibt Brümmer (1999) als „[...] pro Masselement durch die Schnecken übertragene Leistung in die zu extrudierende Masse“. Sie ist abhängig von der Drehzahl, der Feststoffdosierung und dem Düsendruck. Durch die eingebrachte Energie in den Extruder entsteht vor allem Reibung, die innerhalb des Extruders zur Stärkeverkleisterung und Denaturierung der Proteine führen kann. Um die Spezifische mechanische Energie zu messen wird folgende Formel angewandt:

$$SME = P_{max} * \frac{n}{n_{max}} * \frac{M}{100} * \frac{1}{\dot{m}} \text{ [kW/kg]}$$

(Gl. 4)

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

2.4.6. Farbmessung

Um die farblichen Unterschiede zwischen den einzelnen Rezepturen der Fleischersatzprodukte zu messen, kann man verschiedene Farbmesssysteme anwenden. Die Farbmessung wird mit Hilfe des $L^*a^*b^*$ -Farbsystems analysiert. In diesem $L^*a^*b^*$ -Farbraum sind alle sichtbaren Farben auf drei Achsen wiedergegeben. Die senkrechte Achse wird auch als Grau- bzw. Unbuntachse bezeichnet. Die horizontalen Achsen sind die Rot-/ Grünachse

und die Gelb-/ Blauachse. L^* bezeichnet hierbei die Helligkeit, wobei $L^*=0$ Schwarz bedeutet und $L^*=100$ bedeutet weiß. Auf der horizontalen sind die Achsen a^* und b^* , wobei $-a^*$ rot ist, a^* bedeutet grün und $-b^*$ ist gleich blau sowie b^* ist gleich gelb. Die Spektral- und Purpurfarben befinden sich somit, wie auch in der folgenden Abbildung 4 zu sehen, auf der Außenlinie der mittleren Ebene ($L^*=50$) (Bühler et al., 2018).

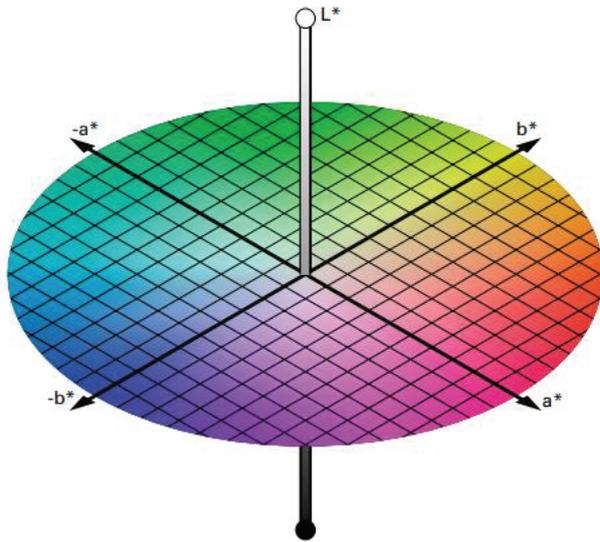


Abbildung 4: $L^*a^*b^*$ -Farbraum (Bühler et al., 2018)

3. Material und Methoden

3.1. Versuchsplanung

Im Technikum der Hochschule Neubrandenburg wird die Herstellung der Fleischersatzprodukte auf Hanfbasis an zwei Versuchstagen durchgeführt. Als Vorversuche dienen hierbei die Erfahrungswerte aus Versuchsreihen anderer Studierenden (Klatt 2022; Gunawan, 2021). Die Herstellung der Fleischersatzprodukte erfolgt mit dem Doppelschneckenextruder ZSK 27 MC der Firma Coperion GmbH. Im Gehäuse des Extruders herrschen unterschiedliche Temperaturen, die bei allen Versuchen gleichermaßen eingestellt wurden (Gehäuse 2: 50°C , Gehäuse 3: 80°C , Gehäuse 4+5: 160°C , Gehäuse 6: 130°C). Die Schneckenkonfiguration des Extruders nach Hüttner (2022) wird in der folgenden Abbildung 5 und Tabelle 1 dargestellt. Hierbei beschreibt die erste Zahl, nach welcher Länge in Millimeter sich das Element um 360° gedreht hat, und die zweite Zahl gibt die tatsächliche Länge des Elements an. Knetelemente werden hierbei mit KB und linksdrehende Elemente mit LI bezeichnet. Alle Elemente werden addiert, wobei das Anfangsstück von 16 mm nicht mit einberechnet wird. Die Gesamtlänge der Welle soll $625\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ betragen.

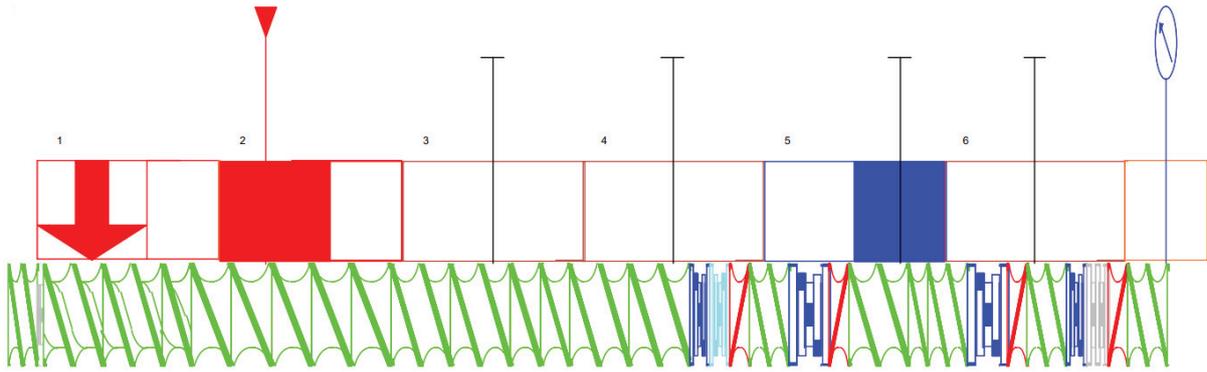


Abbildung 5: Schneckenkonfiguration der in den Versuchen verwendeten Schnecken (Hüttner, 2022)

Tabelle 1: Angewandte Schneckenkonfiguration für eine Welle

Element	Anzahl	Länge Element [mm]	Gesamtlänge Elemente [mm]	Zwischensumme Schneckenlänge [mm]
Profilscheibe 90/1	3	1	3	3
33/33 SK	2	33	66	69
33/16,5 SK	1	16,5	16,5	85,5
44/22	5	22	110	195,5
33/33	2	33	66	261,5
33/16,5	2	16,5	33	294,5
33/33	2	33	66	360,5
KB 45/5/11 LI	1	11	11	371,5
22/11 LI	1	11	11	382,5
22/22	1	22	22	404,5
KB 45/5/22	1	22	22	426,5
22/11 LI	1	11	11	437,5
33/33	1	33	33	470,5
22/11	1	11	11	481,5
22/22	1	22	22	503,5
KB 45/5/22	1	22	22	525,5
22/11 LI	1	11	11	536,5
22/22	1	22	22	558,5
KB 45/5/11	1	11	11	569,5
KB 90/5/11	1	11	11	580,5
22/11 LI	2	11	22	602,5
22/22	1	22	22	624,5

An jedem der zwei Versuchstage werden jeweils zwei Rezepturen extrudiert und die jeweiligen Untersuchungen der getrockneten Proben folgen am nächsten bzw. übernächsten Tag. Die Rezepturen der einzelnen Versuche werden in Tabelle 4, 5, 6 und 7 dargestellt.

Die ersten beiden Versuche gleichen sich im Proteingehalt, wobei die erste Rezeptur, im Gegensatz zur zweiten Rezeptur, kein Ackerbohnenmehl enthält. Versuch 3 und Versuch 4 haben den gleichen Anteil an Hanf (40 %). Die Rezepturen wurden mit Hilfe der Produktspezifikationen berechnet (siehe Tabelle 3).

3.2. Geräte

Die während der Versuche und Untersuchungen verwendeten Geräte sind in der folgenden Tabelle 2 aufgeführt. Zusätzlich wurden sowohl für die Herstellung als auch für die Untersuchungen Gerätschaften wie Eimer, Schüsseln, Schaufeln, Becher, Zylinder etc. verwendet.

Tabelle 2: In Versuchen und Untersuchungen verwendete Geräte

Bezeichnung	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 u. Konvektionstrockner (B4/B8 TS 300)	Wiesheu GmbH Schleifwiesenstraße 27 D-71723 Großbottwar
Tischwaage	OHAUS Europe GmbH Heuwinkelstraße 3 CH-8606 Nänikon
Farbmessgerät ColorFlex EZ	FMS Jansen GmbH & Co. KG Hunter Lab Dr.-Auguste-Einsele-Ring 15 D-82418 Murnau am Staffelsee
Analysenwaage Entris II	Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG Otto-Brenner-Straße 20 D-37079 Göttingen
Schnellfeuchtemessgerät Moisture Analyzer MA 40	Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG Otto-Brenner-Straße 20 D-37079 Göttingen

Waage Kern EW6000-1M	Kern&Sohn GmbH Ziegelei 1 D-72336 Balingen
Mixer Livingston MagiCut Retail	Media Shop GmbH Schneiderstraße 1, Top A-2620 Neunkirchen
Taschenmessschieber 0 – 150 mm	Einkaufsbüro Dt. Eisenhändler GmbH EDE-Platz 1 D-42389 Wuppertal

3.3. Rohwaren und Rezepturen

Für die Versuche wird Hanfmehl, Erbsenproteinisolat und Ackerbohnenmehl verwendet, deren Nährwerte in Tabelle 3 zu finden sind. Die zugehörigen Produktspezifikationen sind dem Anhang zu entnehmen (Abbildung 35 ff.)

Tabelle 3: Nährwerte der verwendeten Rohstoffe (bezogen auf 100 g)

Bezeichnung	Hanfmehl	Erbsenproteinisolat	Faba-Bohnenmehl
Hersteller	Hanf Industries GmbH Am Schloßberg 1 99947 Bad Langensalza	OPWIngredients GmbH Sohlweg 74 41372 Niederkrüchten	Müller's Mühle GmbH Am Stadthafen 42-50 45881 Gelsenkirchen
Energie (kJ/kcal)	1527 / 365	1688 / 400	1443 / 341
Kohlenhydrate	3,3 g	<0,5 g	49 g
davon Zucker	3,3 g	<0,5 g	2 g
Ballaststoffe	17,8 g	3,1 g	6,4 g
Fett	18,4 g	9,0 g	2,1 g
(gesättigte FS)	1,9 g	2,1 g	0,5 g
Protein	46,5 g	< 80,0 g	29,0 g
Salz	<0,03 g	< 2,7 g	0,03 g

Für die Versuche am ersten Versuchstag sind folgende Zusammensetzungen zu Stande gekommen. Die ersten beiden Versuche besitzen einen Proteingehalt von 65 %. Für den ersten Versuch werden dabei zehn Kilogramm ohne Faba-Bohnenmehl bzw. Ackerbohnenmehl und für den zweiten Versuch acht Kilogramm mit Faba-Bohnenmehl angemischt (s. Tabelle 4, Tabelle 5).

Tabelle 4: Rezeptur-Kalkulation Versuch 1: 65% Protein, 42,9 % Hanf

	Anteil in %	Masse in kg	Proteinmenge in kg	Proteingehalt in %
Hanf	42,90%	4,29	1,93	45%
Erbse	57,10%	5,71	4,57	80%
Ackerbohne	0%	0	0	29%
gesamt	100%	10	6,50	65%

Tabelle 5: Rezeptur-Kalkulation: Versuch 2: 65% Protein, 30 % Hanf (mit Ackerbohnenmehl)

	Anteil in %	Masse in kg	Proteinmenge in kg	Proteingehalt in %
Hanf	30%	2,40	1,08	45%
Erbse	61%	4,88	3,90	80%
Ackerbohne	9%	0,72	0,21	29%
gesamt	100%	8,00	5,19	65%

Am zweiten Versuchstag wird der Hanfanteil beider Versuche (3 und 4) auf 40 % reduziert bzw. angehoben. Diesmal wird bei beiden Versuchen Ackerbohnenmehl eingesetzt und die Masse der Versuche beläuft sich wieder auf zehn und acht Kilogramm. Die genaue Zusammensetzung der Versuche 3 und 4 ist in den folgenden Tabellen (Tabelle 6, Tabelle 7) dargestellt.

Tabelle 6: Rezeptur-Kalkulation: Versuch 3: 50,7 % Protein, 40 % Hanf

	Anteil in %	Masse in kg	Proteinmenge in kg	Proteingehalt in %
Hanf	40,0%	4,00	1,80	45%
Erbse	30,0%	3,00	2,40	80%
Ackerbohne	30,0%	3,00	0,87	29%
gesamt	100%	10,00	5,07	50,70%

Tabelle 7: Rezeptur-Kalkulation: Versuch 4: 43 % Protein, 40 % Hanf

	Anteil in %	Masse in kg	Proteinmenge in kg	Proteingehalt in %
Hanf	40,0%	3,20	1,44	45%
Erbse	15,0%	1,20	0,96	80%
Ackerbohne	45,0%	3,60	1,04	29%
gesamt	100%	8,00	3,44	43%

3.4. Versuchsreihen

Für jeden der oben beschriebenen Versuche werden unterschiedliche Drehzahlen und Wasserdosierungen angewendet, wodurch sich auch der Produktdurchsatz ändert. Der Düsendurchmesser ist konstant auf 3 mm eingestellt und die Feststoffdosierung auf 20 kg/h. Bei Verwendung des Messers wird dieses auf 800 Umdrehungen pro Minute eingestellt. In der folgenden Tabelle 8 sind die Parameter Drehzahl, Pumpenleistung, Feststoff-, Wasser- und Produktdosierung der Versuche 1 und 2 dargestellt. Insgesamt werden am ersten Versuchstag 25 Proben hergestellt.

Tabelle 8: Parameter Übersicht der Versuche 1 und 2

Probe	n [min⁻¹]	PL [%]	FD [kg/h]	WD [kg/h]	PD [kg/h]
Versuch 1 – 65 % Protein, 42,9 % Hanf					
1	600	23,99	20	5,04	25,04
2	600	20,01	20	4,19	24,19
3	600	15,99	20	3,33	23,33
4	600	12,01	20	2,48	22,48
5	800	23,99	20	5,04	25,04
6	800	20,01	20	4,19	24,19
7	800	15,99	20	3,33	23,33
8	800	12,01	20	2,48	22,48
9	800	28,02	20	5,90	25,90
10	800	31,99	20	6,75	26,75
11	1000	31,99	20	6,75	26,75
12	1000	28,02	20	5,90	25,90
13	1000	23,99	20	5,04	25,04
14	1000	20,01	20	4,19	24,19
15	600	28,02	20	5,90	25,90
Versuch 2 – 65 % Protein, 30 % Hanf					
1	600	31,99	20	6,75	26,75
2	600	28,02	20	5,9	25,90

3	600	23,99	20	5,04	25,04
4	600	20,01	20	4,19	24,19
5	600	15,99	20	3,33	23,33
6	800	31,99	20	6,75	26,75
7	800	28,02	20	5,9	25,90
8	800	23,99	20	5,04	25,04
9	800	20,01	20	4,19	24,19
10	800	15,99	20	3,33	23,33

Der zweite Versuchstag beinhaltet die Probenahme von 18 unterschiedlichen Proben. In der folgenden Tabelle 9 sind deshalb die verschiedenen Parameter Drehzahl, Pumpenleistung, Feststoff-, Wasser- und Produktdosierung der Versuche 3 und 4 aufgelistet.

Tabelle 9: Parameter Übersicht der Versuche 3 und 4

Probe	n [min⁻¹]	PL [%]	FD [kg/h]	WD [kg/h]	PD [kg/h]
Versuch 3 – 50,7 % Protein, 40 % Hanf					
1	600	23,99	20	5,04	25,04
2	600	20,01	20	4,19	24,19
3	600	15,99	20	3,33	23,33
4	600	12,01	20	2,48	22,48
5	800	10	20	2,05	22,05
6	800	20,01	20	4,19	24,19
7	800	15,99	20	3,33	23,33
8	800	12,01	20	2,48	22,48
9	800	10	20	2,05	22,05
10	800	20,01	20	4,19	24,19
11	1000	15,99	20	3,33	23,33
12	1000	12,01	20	2,48	22,48

Versuch 4 – 43 % Protein, 40 % Hanf					
1	600	20,01	20	4,19	24,19
2	600	15,99	20	3,33	23,33
3	600	12,01	20	2,48	22,48
4	600	20,01	20	4,19	24,19
5	600	15,99	20	3,33	23,33
6	800	12,01	20	2,48	22,48

3.5. Versuchsablauf der Extrusion

Vor Beginn des Versuches werden die einzelnen Komponenten der verschiedenen Rezepturen in Eimern eingewogen und vermischt sowie die notwendigen Materialien bereitgestellt. Um eine bessere Vermischung der Komponenten zu generieren, werden die Rezepturen mit zehn Kilogramm auf jeweils zwei Eimer aufgeteilt.

Für den Start des Extruders werden vorher die Nebenaggregate und Wasser für die Pumpe bereitgestellt. Die Schutzbleche des Extruders werden entfernt, sodass die Doppelschnecke, welche vier Knetzonen aufweist, in den Extruder eingeführt werden kann. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Madenschrauben richtig befestigt sind und die Schnecken in die notwendige Richtung zeigen. In der Zeit, wo weitere Teile eingesetzt werden, werden das Kühlaggregat und die Zylinderheizung eingeschaltet und auf die für die Versuche notwendige Temperatur eingestellt. Daraufhin werden die Rund-, Verteiler- und Düsenplatte (3mm) vor die Schnecken eingesetzt. Wichtig hierbei ist das Einpinseln der nicht produktberührenden Flächen mit Anti-Festbrennpaste, um ein Auslösen nach den Versuchen zu vereinfachen.

Weiterhin wird die Wasserpumpe und dessen Schlauch mit Wasser befüllt und über eine Einlaufdüse an den Extruder angeschlossen. Die für die Kalibrierung notwendige Kalibrationskurve für die Peristaltikpumpe wird aus Vorversuchen anderer Studierenden übernommen und wird in Abbildung 38 im Anhang dargestellt. Für die Zufuhr des Feststoffes wird der Trichter montiert, mit Feststoff befüllt und zunächst eine Kalibrierung im Servicemodus durchgeführt. Der dabei anfallende Feststoff kann nach Ablauf der Kalibrierung dem Trichter wieder zugeführt werden und der Trichter mit dem Extruder durch das Einlaufrohr verbunden werden.

Das Rotationsmesser, das sich vor der Düse befindet, wird so eingestellt, dass der Spalt nur so dünn wie ein Blatt Papier ist. Dadurch kann das Messer das Produkt schneiden, ohne dabei durch Metallabrieb zu verschleifen.

Vor Beginn der Versuche werden nochmals alle Schrauben auf Festigkeit überprüft, die Wasserkühlung für den Motor und das Getriebe eingeschaltet, das Rotationsmesser zunächst von der Düse entfernt und das dafür vorgesehene Schutzblech angehängt.

Über den Bedienungsbildschirm werden die Parameter des beginnenden Versuches eingestellt und dann im Laufe des Versuches verändert. Die maximale Motorleistung des in den Versuchen verwendeten Extruders beläuft sich auf 20 kW und die maximale Drehzahl auf 1800 min^{-1} . Das Rotationsmesser wird auf 800 min^{-1} eingestellt.

Beim Anfahren des ersten Versuches werden zunächst die Schnecken befüllt, bis Produkt aus der Düse tritt. Wenn die gewünschten Parameter eingestellt sind und Produkt ankommt, kann das Schutzblech vor der Düse entfernt werden und das Rotationsmesser davor festgesetzt werden. Die Probeentnahme erfolgt 60 Sekunden nach Einstellen aller Parameter. Die Proben werden mit Schüsseln entnommen und in beschriftete Behälter gefüllt. Nach Ablauf der Versuche werden alle Proben einzeln auf Bleche verteilt und diese für 15 Minuten bei 80°C im Heißluftbackofen getrocknet.

Die Bestimmung der physikalischen Parameter erfolgt am gleichen Tag oder am Folgetag.

3.6. Durchführung der Analysen

3.6.1. Schüttdichte

Die Schüttdichte (Gl. 1) wird mit einem Messzylinder von 500 ml Fassungsvermögen durchgeführt. Hierzu wird der Messzylinder auf der Waage tariert und das Produkt mit Hilfe eines Einfülltrichters bis zur 500 ml – Markierung eingewogen. Der Trichter wird entfernt und das Gewicht notiert. Dieser Vorgang wird nochmals wiederholt und das arithmetische Mittel aus beiden Messungen ermittelt. Die Ergebnisse der Schüttdichte sind im Anhang in Tabelle 11, 14, 17 und 20 dargestellt.

3.6.2. Expansionsindex

Der Expansionsindex wird aus dem Düsendurchmesser von 3 mm und dem Produktdurchmesser berechnet. Pro Probe wird der Durchmesser vier Extrudate mittels Messschieber gemessen und auch hier das arithmetische Mittel gebildet. Die Ergebnisse sind im Anhang (Tabelle 11, 14, 17, 20) aufgelistet.

3.6.3. Feuchtebestimmung

Die im Technikum bereits getrockneten Proben werden mittels Schnellfeuchtebestimmer MA 40 der Firma Sartorius im Physiklabor untersucht. Dazu wird zunächst ein Messbecher ($V=50\text{ml}$) mit Probe befüllt und diese mit einem Mixer für 15 Sekunden zerkleinert. $1,0\text{ g} \pm 0,1\text{g}$ der zerkleinerten Probe werden im Schnellfeuchtebestimmer auf eine Aluminiumschale gegeben und durch Infrarotstrahlung getrocknet. Die Massendifferenz der Probe vor und nach dem Trocknungsvorgang ergibt dann die Restfeuchte der Probe, welche das Gerät berechnet und in Prozent angibt. Die Feuchtegehalte werden dreifach bestimmt und aus den Werten das arithmetische Mittel gebildet, welche im Anhang (Tabelle 11, 14, 17, 20) zu finden sind.

3.6.4. Wasseraktivität

Um die Wasseraktivität der einzelnen Versuche zu bestimmen, wird als Referenzprobe von jedem Versuch eine Probe untersucht. Hierzu wurde zerkleinerte Probe in eine Probenschale gegeben und in das a_w -Wert Messgerät AquaLab ex-2 der Firma Degacon eingesetzt. Die Ergebnisse der vier Versuche lagen zwischen 0,401 und 0,381 bei einer Temperatur von 20°C und somit im optimalen Bereich.

3.6.5. Spezifische mechanische Energie

Um die SME (Gl. 4) zu berechnen, werden die variablen Parameter wie Schneckendrehzahl, Drehmoment und Produktdurchsatz, sowie die festen Parameter wie die Motorleistung (20 kW) und die maximale Schneckendrehzahl (1800 min^{-1}) benötigt. Die festen Parameter beziehen sich hierbei speziell auf den Extruder ZSK 27 MC aus dem Technikum der Hochschule Neubrandenburg. Die variablen Parameter sind in Tabelle 8 und Tabelle 9 für die jeweilige Probe dargestellt.

3.6.6. Farbmessung

Die Analyse der Produktfarbe wird mit dem Farbmessgerät ColorFlex EZ der Firma Hunter Lab durchgeführt. Die Funktionsweise des Farbmessgeräts wird durch eine 45° Rundum-

beleuchtung und 0°-Messung bestimmt. Das bedeutet, dass die Probe unter 45° beleuchtet wird und der Empfänger das Licht bei 0° sammelt. Diese DIN-genormte Messung entspricht am ehesten der menschlichen Farbwahrnehmung und soll den farblichen Gesamteindruck der Probe widerspiegeln (Hunter Lab, 2021). Zur Einstellung des Geräts erfolgt zu Beginn eine Kalibrierung mit weißem und schwarzem Farbstandard. Daraufhin wird zerkleinerte Probe, welche bereits für die Feuchtebestimmung mittels Mixer hergestellt wurde, in eine Rundküvette mit Einsatzring gegeben und diese mit einer schwarzen Kappe bedeckt, sodass kein Licht von außen in den Probenraum eindringen kann. Mit Hilfe des Bedienfeldes kann daraufhin die Probe gestartet werden. Es erfolgt eine Dreifachbestimmung der Probe und eine anschließende Berechnung des arithmetischen Mittels, welche im Anhang (Tabelle 12, 15, 18, 21) abzulesen sind.

3.7. Sensorik

3.7.1. Zubereitung der Sensorikproben

Für die sensorische Untersuchung der einzelnen Versuche stehen 43 Proben zur Verfügung. Um das Angebot für die Prüfer zu minimieren, werden Vorversuche der Proben durchgeführt. Hierbei ist die Textur der Proben von großer Bedeutung. Das Ziel der Vorversuche liegt darin, möglichst unterschiedliche Proben auszuwählen, um diese nach ihrer Beliebtheit zu bewerten.

3.7.2. Einfach beschreibende Prüfung

Die „Einfach beschreibende Prüfung“ nach DIN 10964 gilt als Basis für alle Profilprüfungen. Bei den beschreibenden Prüfungen geht es darum, die einzelnen Merkmale und Eigenschaften von Lebensmitteln in ihren Einzelheiten zu beschreiben. Dabei werden die einzelnen Merkmale in fünf verschiedene Bereiche unterteilt, nämlich Form, Farbe, Geruch, Geschmack und Textur bzw. Mundgefühl. Eine Beschreibung von Lebensmitteln nach ihren unterschiedlichen Eigenschaften erfolgt dabei rein objektiv ohne hedonische also bewertende Begriffe (Buchecker, 2008).

Die Prüfpersonen führen also eine Produktbeschreibung der einzelnen Proben durch, die im Prüfformular (Abbildung 43: Prüfformular für die Einfach beschreibende Prüfung nach DIN 10964) eingetragen und im Anschluss in einem Gruppenprotokoll zusammengefasst werden. Dopplungen und ähnliche Begriffe werden zusammengefasst und somit die Häufigkeit notiert.

3.7.3. Rangordnungsprüfung

Bei so genannten Rangordnungsprüfungen (nach DIN 10963) können mehrere Proben miteinander verglichen werden um diese nach der Intensität ihrer Eigenschaften wie bspw. süß oder salzig, aber auch nach ihrer Beliebtheit in Reihenfolge zu bringen. Hierbei werden vor dem Prüfer zwei oder mehrere Proben nach dem Zufallsprinzip nebeneinander aufgestellt, der diese daraufhin in eine bestimmte Reihenfolge bringen soll (Abbildung 44: Prüfformular für die Rangordnungsprüfung nach DIN 10963). Die Auswertung der Rangordnungsprüfung erfolgt in der Regel nach dem Friedman-Test. Dazu werden den Proben Rangplätze vergeben, die im Anschluss in einem Gruppenprotokoll zusammengefasst werden. Die Rangsummen werden errechnet und nach Größe dem Rangplatz zugeordnet (DLG Ausschuss Sensorik, 2010).

Eine Rangordnungsprüfung eignet sich besonders gut für eine Untersuchung von Ersatzprodukten und Imitaten um die Ähnlichkeit zu dem Originalprodukt, in diesem Falle Fleisch, herauszufinden. Die Aufgabenstellung für die Rangordnungsprüfung in diesem Versuch lautet also die Proben innerhalb einer Rezeptur nach dem Kriterium Fleischähnlichkeit in Reihenfolge zu bringen.

4. Auswertung der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungen dargelegt. Um einen späteren Bezug zu der Sensorik Auswertung zu bilden, wurden die in der Sensorik am besten bewerteten Proben in den Diagrammen zu Prozess- und Produktparametern durch rote Kästen gekennzeichnet.

4.1. Prozessparameter

4.1.1. Einfluss der Drehzahl

Der entscheidende Parameter, der bei den Versuchen häufig geändert wird, ist die Drehzahl. Um möglichst einheitliche Ergebnisse zu generieren, wurde das Produkt bei 450, 600, 800 und 1000 Umdrehungen pro Minute extrudiert, wobei die maximale Drehzahl 1800 min^{-1} beträgt.

Der Feststoffdurchsatz, welcher bei allen Versuchen und den darin getesteten Drehzahlen verwendet wurde, betrug $20,0 \text{ kg/h}$. In den folgenden Abbildungen (Abbildung 6 ff.) ist der

Einfluss der Drehzahl auf das Drehmoment und die SME in allen vier Versuchen bei einem Produktdurchsatz von 24,19 kg/h dargestellt. Hier ist zu erkennen, dass das Drehmoment mit steigender Drehzahl in den meisten Fällen abnimmt. Jedoch steigt das Drehmoment in Versuch 2 von 600 auf 800 min^{-1} an und bei 1000 min^{-1} fällt das Drehmoment wieder (Abbildung 8). Im letzten Versuch, in dem der Proteingehalt der Rezeptur aus allen Versuchen am niedrigsten war, steigt das Drehmoment mit steigender Drehzahl (Abbildung 9). Auch das arithmetische Mittel der Drehmomente bei Versuch 4 ist bei 600 Umdrehungen leicht höher als bei 450 Umdrehungen pro Minute (38,3: 37,3 %).

Die spezifische mechanische Energie nimmt in allen Versuchen mit steigender Drehzahl ebenfalls zu (Abbildung 6 ff.).

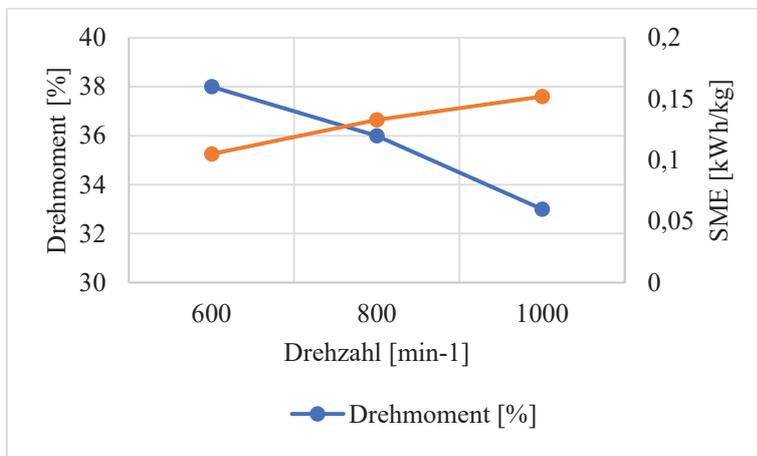


Abbildung 6: Einfluss der Drehzahl auf Drehmoment und SME - Versuch 1, Probe 2, 6, 14 bei PD 24,19 kg/h

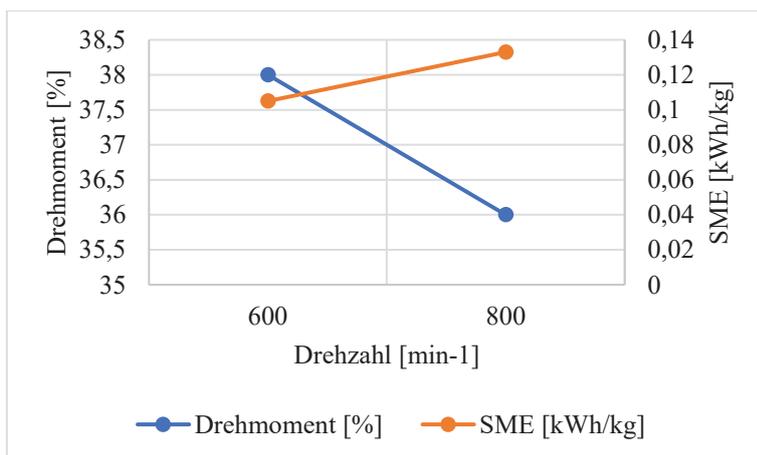


Abbildung 7: Einfluss der Drehzahl auf Drehmoment und SME - Versuch 2, Probe 4 und 9 bei PD 24,19 kg/h

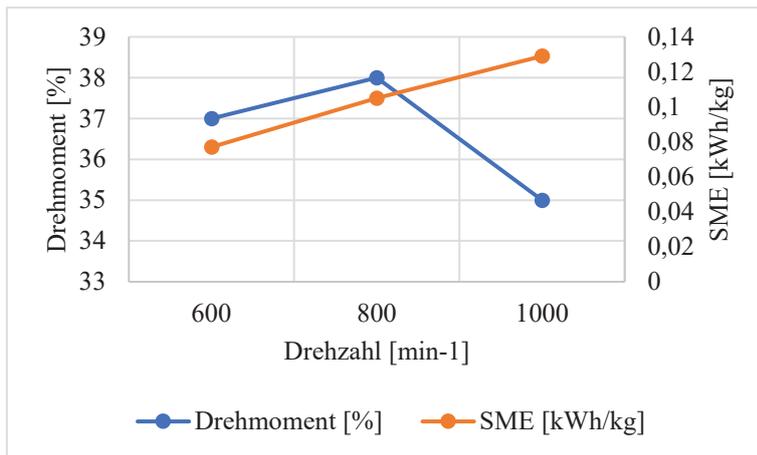


Abbildung 8: Einfluss der Drehzahl auf Drehmoment und SME – Versuch 3, Probe 6, 2 und 10 bei PD 24,19 kg/h

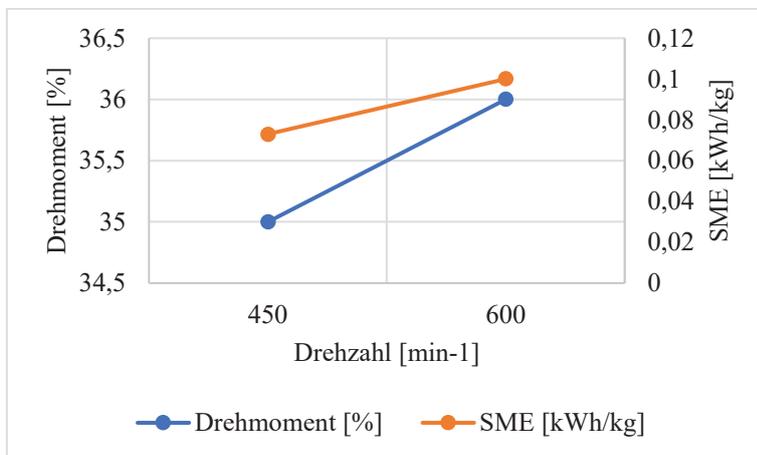


Abbildung 9: Einfluss der Drehzahl auf Drehmoment und SME – Versuch 4, Probe 4 und 1 bei PD 24,19 kg/h

Weitere Parameter, die mit der Drehzahl schwanken sind die Produkttemperatur und der -druck, die in den folgenden Abbildungen aufgezeigt sind. Allgemein lässt sich sagen, dass die Produkttemperatur mit steigender Drehzahl ebenfalls ansteigt. Eine gleichmäßige Veränderung der Produktdrücke ist nicht zu erkennen. In den ersten beiden Versuchen fällt der Druck, im dritten schwankt er und im vierten Versuch ist er gleichbleibend. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen Produkttemperatur bzw. -druck und dem Proteingehalt der Proben ist nicht erkennbar.

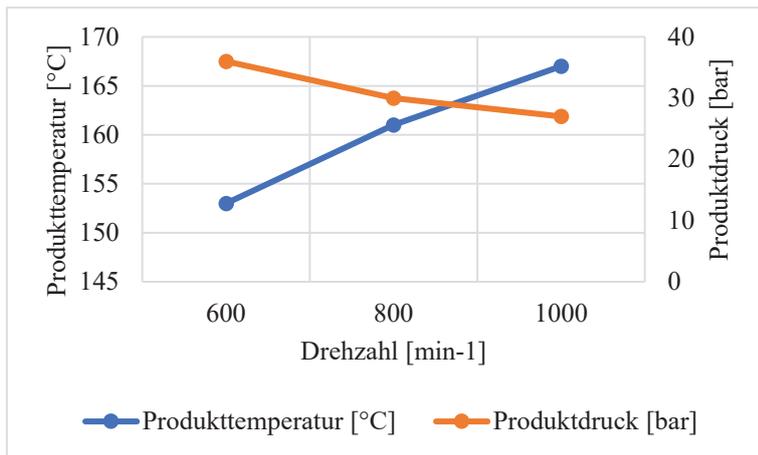


Abbildung 10: Einfluss der Drehzahl auf Produkttemperatur und -druck - Versuch 1, Probe 2, 6 und 14 bei PD 24,19 kg/h

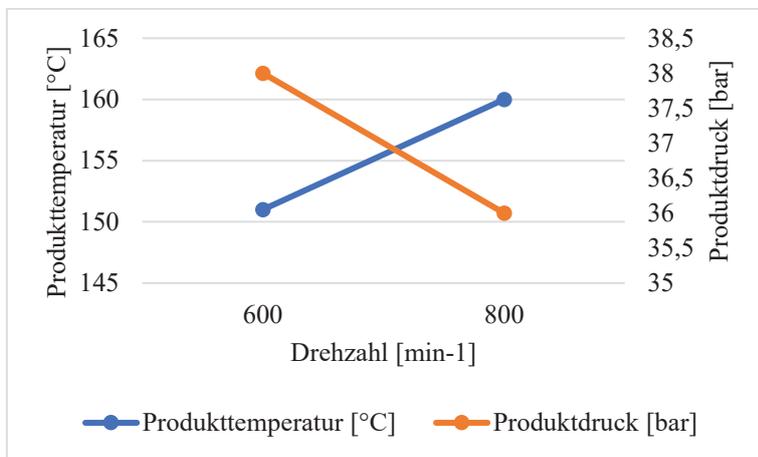


Abbildung 11: Einfluss der Drehzahl auf Produkttemperatur und -druck - Versuch 2, Probe 4 und 9 bei PD 24,19 kg/h

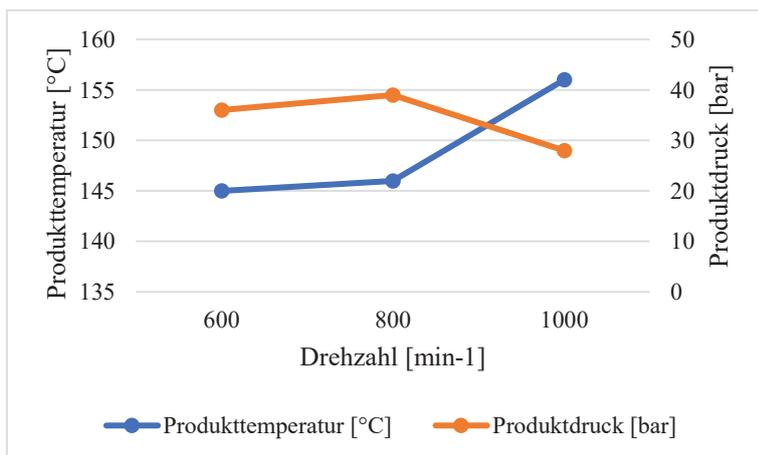


Abbildung 12: Einfluss der Drehzahl auf Produkttemperatur und -druck – Versuch 3, Probe 6, 2 und 10 bei PD 24,19 kg/h

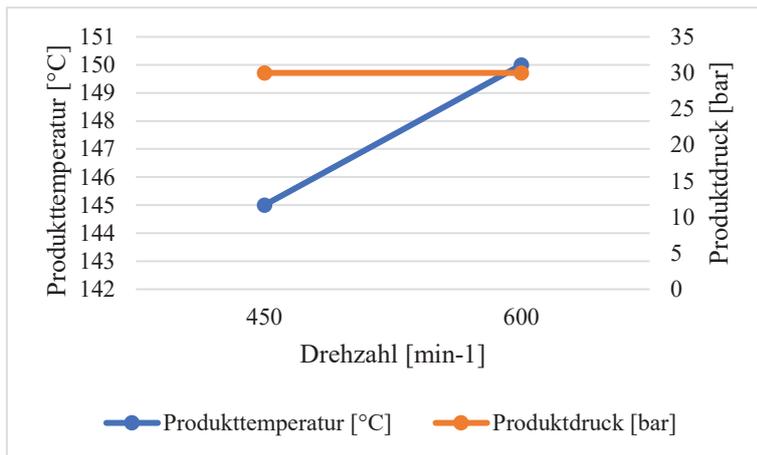


Abbildung 13: Einfluss der Drehzahl auf Produkttemperatur und -druck – Versuch 4, Probe 4 und 1 bei PD 24,19 kg/h

Die Drehzahl kann nicht nur Einfluss auf die Produkttemperatur und den -druck haben, sondern auch auf die Schüttdichte und den Expansionsindex. Diese werden in den folgenden Abbildungen mittels Kastengrafik dargestellt. Die Kästen zeigen den Mittelwert sowie das obere und untere Quartil an. Die vertikalen Linien dienen der Abbildung von sogenannten „Whiskern“, also die Streuung außerhalb der Quartile. Alle Werte, die darüber hinaus liegen werden als Ausreißer bezeichnet. In Abbildung 14 sind die Mittelwerte aller ermittelten Schüttdichten in Abhängigkeit von der Drehzahl dargestellt. Hierbei ist zu erkennen, dass die Schüttdichte mit steigender Drehzahl sinkt. Die Ausnahme bildet die Drehzahl 1000 min⁻¹, denn diese steigt leicht im Vergleich zu 800 min⁻¹. Bei der Betrachtung der Werteanalyse ist allerdings zu berücksichtigen, dass deutlich mehr Proben mit 600 und 800 min⁻¹ hergestellt wurden als 450 und 1000 min⁻¹.

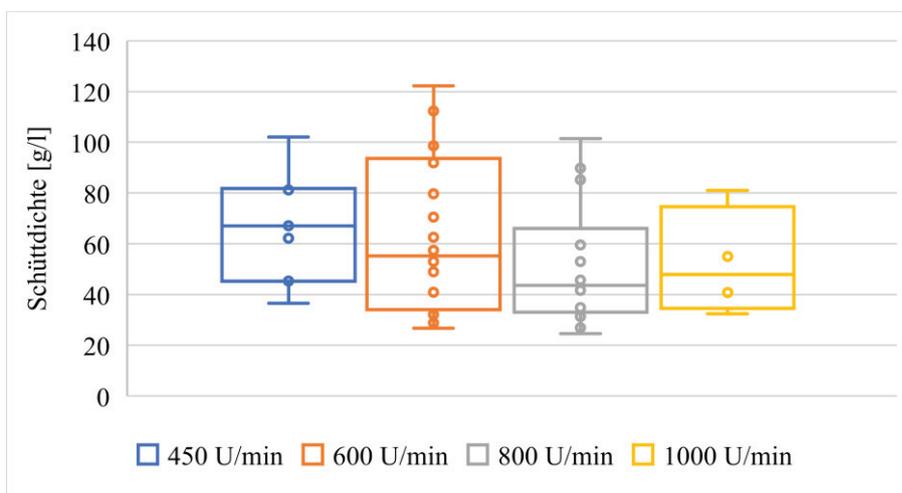


Abbildung 14: Verteilung der Schüttdichte in Abhängigkeit von der Drehzahl

In Abbildung 15 sind die Expansionsindizes ähnlich wie in Abbildung 13 in Abhängigkeit von der Drehzahl abgebildet. Hierbei ist der Anstieg der Indizes mit steigender Drehzahl deutlicher zu erkennen.

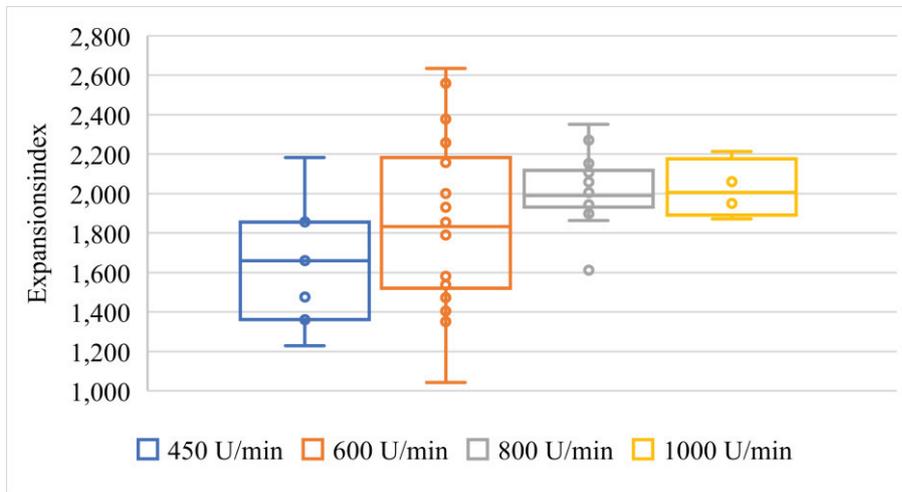


Abbildung 15: Verteilung der Expansionsindizes in Abhängigkeit von der Drehzahl

4.1.2. Einfluss der Wasserdosierung

Der Einfluss der Wasserdosierung wurde bei einer Drehzahl von 600 min^{-1} ausgewertet, da diese Drehzahl bei allen vier Versuchen angewandt wurde. Wie in den folgenden Abbildungen (Abbildung 16 ff.) zu erkennen sinkt sowohl die spezifische mechanische Energie als auch das Drehmoment mit steigender Wasserdosierung stetig. Einzige Ausnahme bildet die Probe 4 des dritten Versuches.

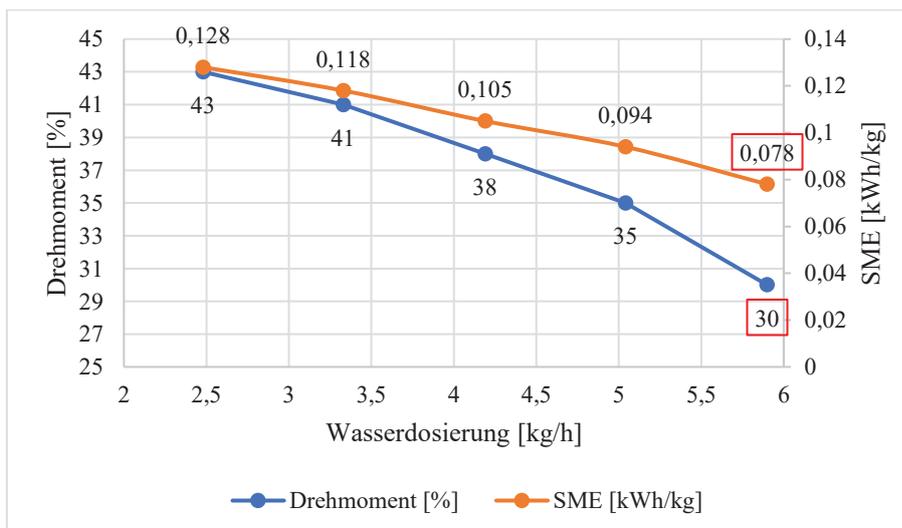


Abbildung 16: Einfluss der Wasserdosierung auf Drehmoment und SME - Versuch 1, Probe 4-1, 15 bei Drehzahl 600 min^{-1}

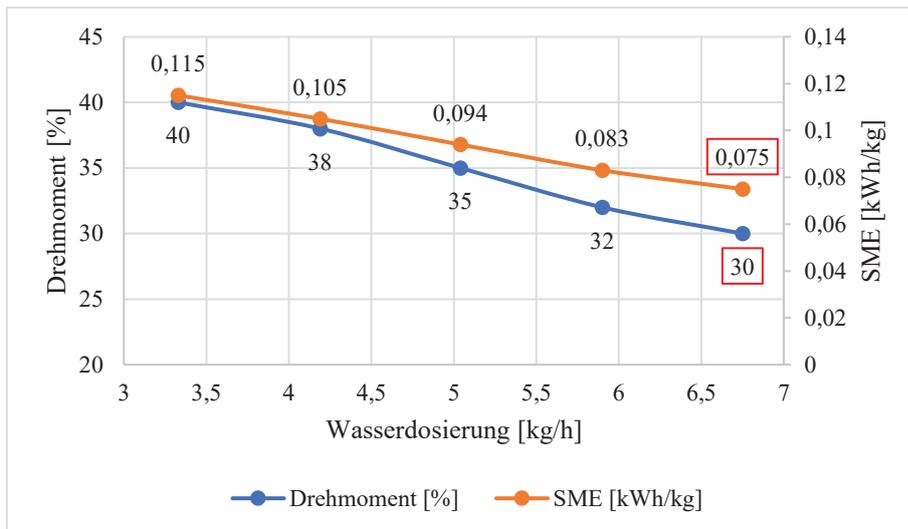


Abbildung 17: Einfluss der Wasserdosierung auf Drehmoment und SME - Versuch 2, Probe 5-1 bei Drehzahl 600 min⁻¹

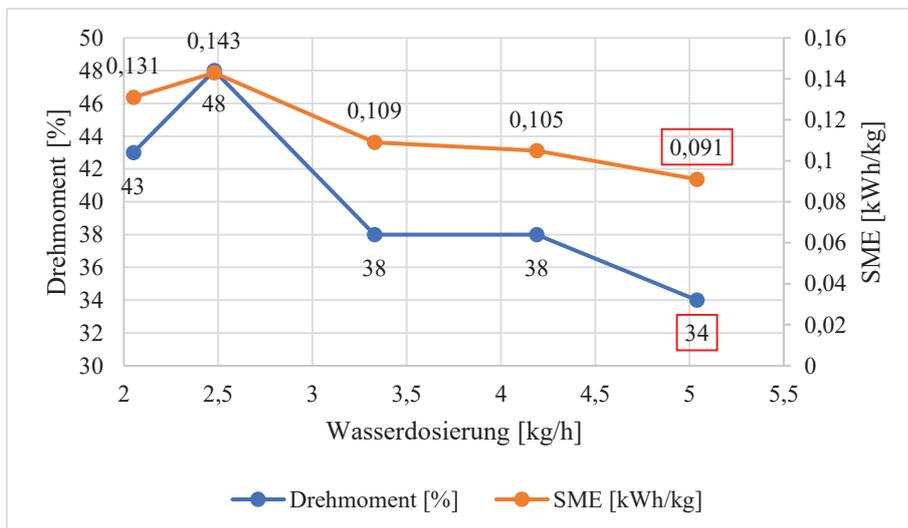


Abbildung 18: Einfluss der Wasserdosierung auf Drehmoment und SME – Versuch 3, Probe 5-1 bei Drehzahl 600 min⁻¹

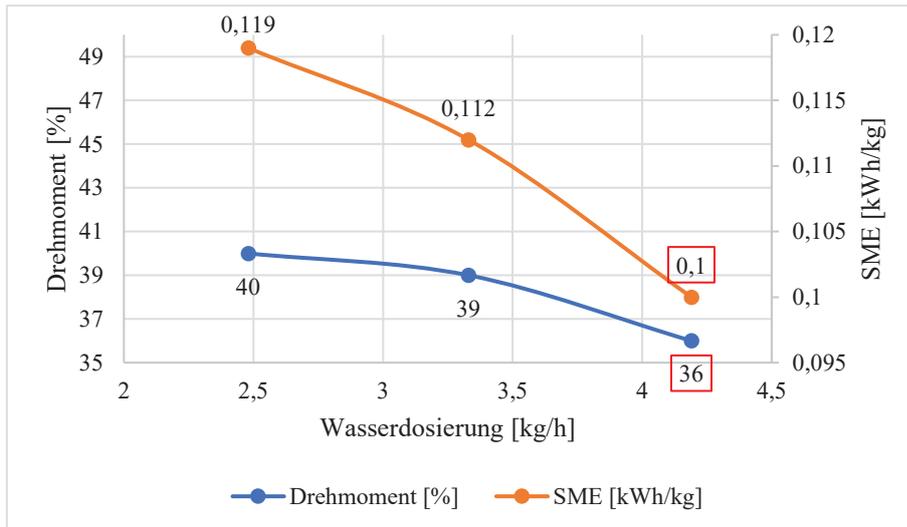


Abbildung 19: Einfluss der Wasserdosierung auf Drehmoment und SME – Versuch 4, Probe 3-1 bei Drehzahl 600 min⁻¹

Wie auch schon bei der Drehzahl wird in den nächsten Abbildungen der Zusammenhang zwischen der Wasserdosierung und den Produktparametern Schüttdichte und Expansionsindex deutlich. Um vergleichbare Ergebnisse zu generieren, wurden die Ergebnisse bei einer Drehzahl von 600 min⁻¹ ausgewertet. Mit Ausnahme der letzten Abbildung, stieg die Schüttdichte aller Proben mit zunehmender Wasserdosierung ebenfalls an. Die höchste Schüttdichte (115,30 g/l) wurde bei einer Wasserdosierung von 6,75 kg/h im zweiten Versuch erreicht. Die niedrigste ebenfalls im zweiten Versuch bei 3,33 kg Wasser pro Stunde (26,72g/l).

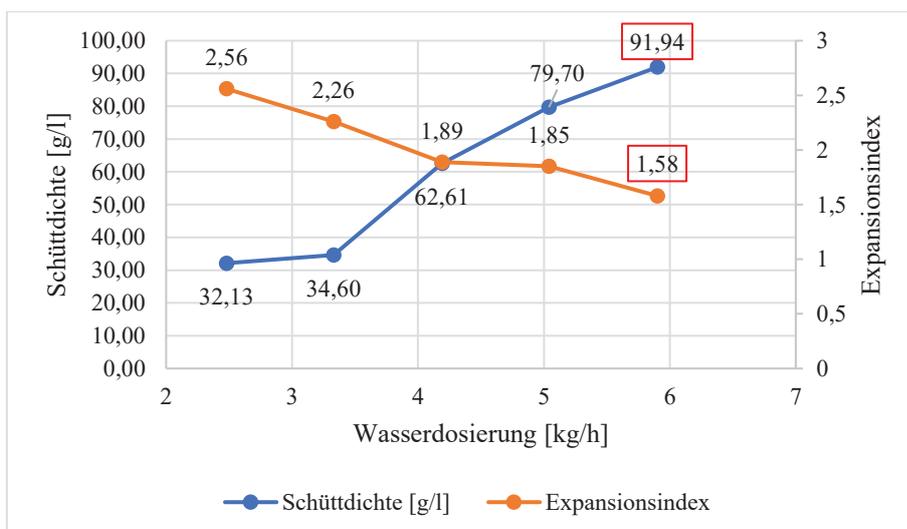


Abbildung 20: Einfluss der Wasserdosierung auf Schüttdichte und Expansionsindex - Versuch 1, Probe 4-1, 15 bei Drehzahl 600 min⁻¹

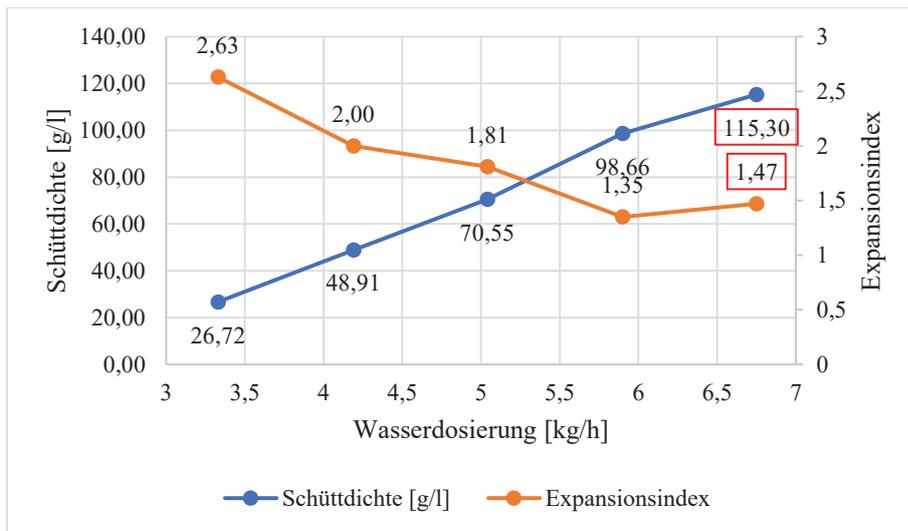


Abbildung 21: Einfluss der Wasserdosierung auf Schüttdichte und Expansionsindex - Versuch 2, Probe 5-1 bei Drehzahl 600 min⁻¹

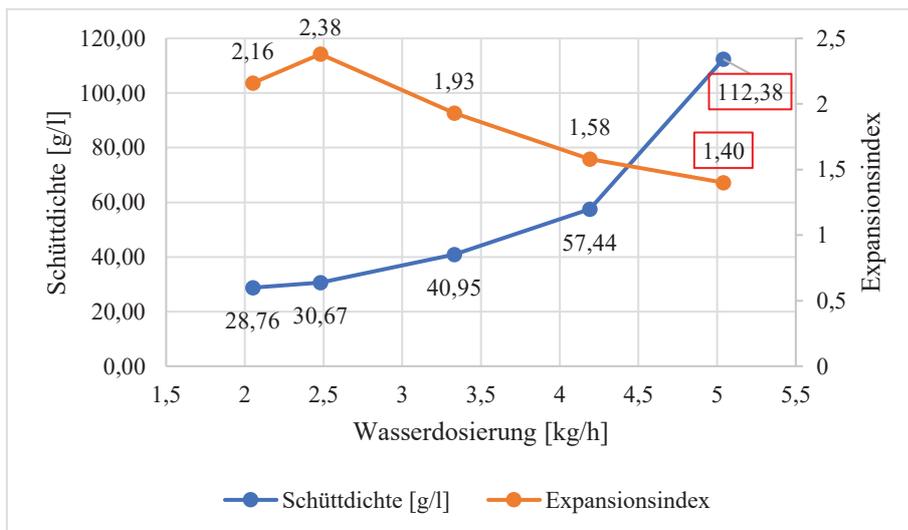


Abbildung 22: Einfluss der Wasserdosierung auf Schüttdichte und Expansionsindex – Versuch 3, Probe 5-1 bei Drehzahl 600 min⁻¹

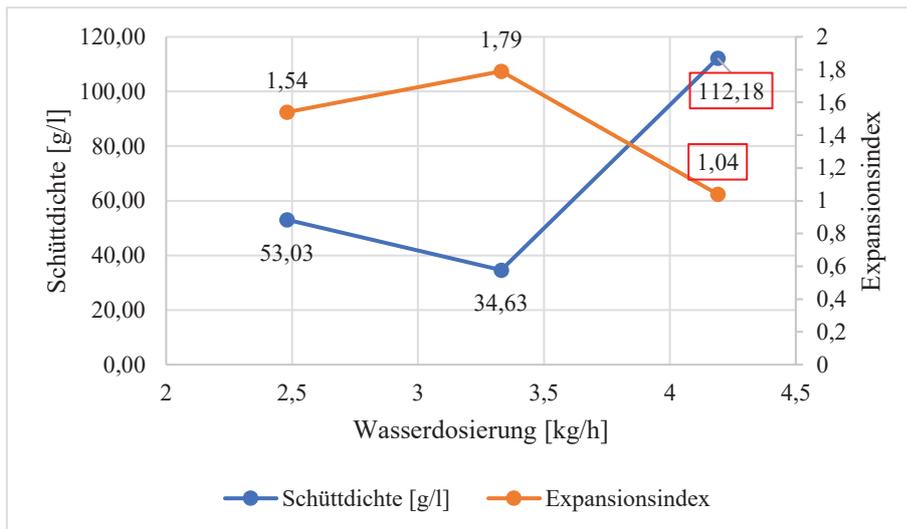


Abbildung 23: Einfluss der Wasserdosierung auf Schüttdichte und Expansionsindex – Versuch 4, Probe 3-1 bei Drehzahl 600 min⁻¹

Da der Feuchtegehalt der Produkte in direkter Relation zur Wasserdosierung steht, wird diese in den nächsten Abbildungen aufgezeigt. Bei Betrachtung des Diagramms fällt allerdings auf, dass kein Zusammenhang zwischen der Wasserdosierung und dem Feuchtegehalt erkennbar ist, da es sich hierbei um die Feuchte nach dem Trocknungsprozess handelt und nicht unmittelbar nach dem Extrusionsprozess. Lediglich ist ersichtlich, dass der Mittelwert der Feuchtegehalte mit jedem Versuch abnimmt. Das arithmetische Mittel der Feuchtegehalte des ersten Versuchs beträgt 4,97 % und das des letzten Versuches nur noch 3,68 %.

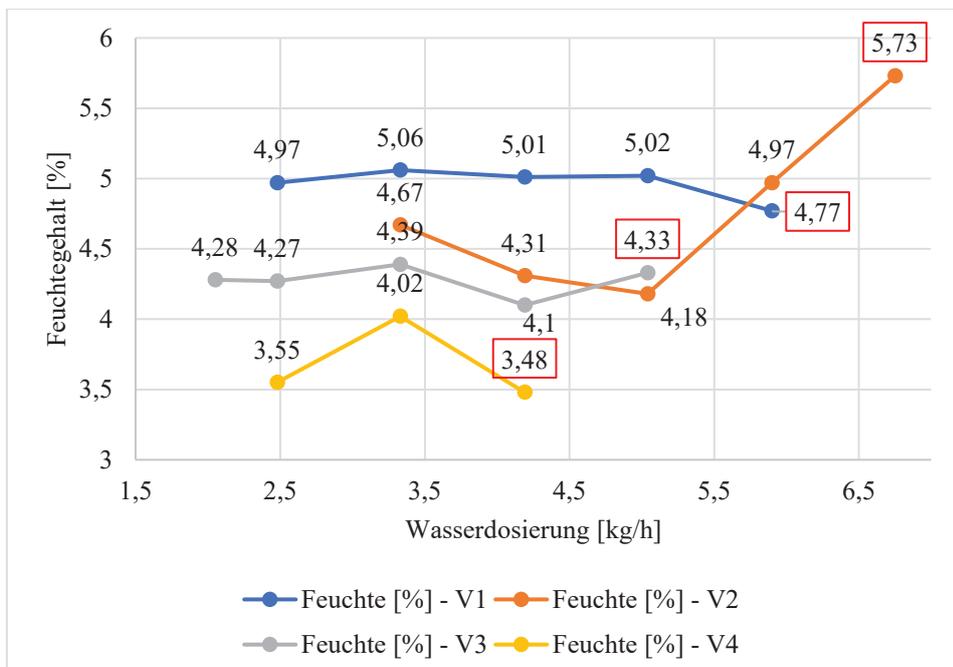


Abbildung 24: Feuchtegehalt in Abhängigkeit von der Wasserdosierung der Versuche 1-4 bei 600 min⁻¹

4.2. Produktparameter

4.2.1. Einfluss des Proteingehalts

Wie in den folgenden Abbildungen zu erkennen, hatte der Proteingehalt der Versuche keinen deutlich erkennbaren Einfluss auf das Drehmoment und die spezifische mechanische Energie, da der Mittelwert der ermittelten Parameter im ersten und letzten Versuch (hoher und niedriger Proteingehalt) ähnlich ist.

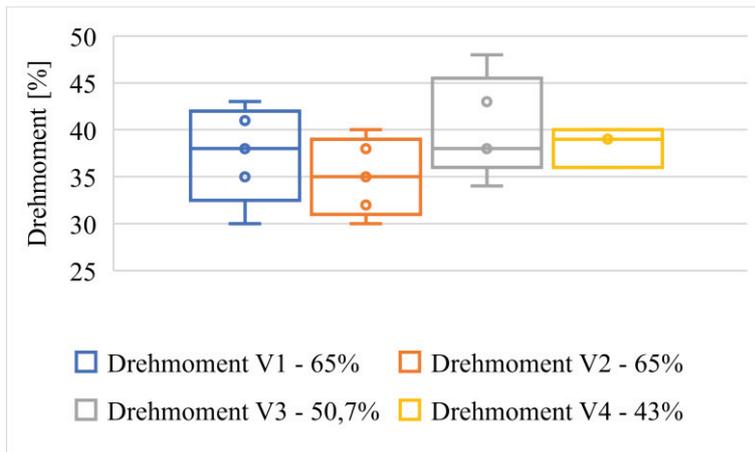


Abbildung 25: Einfluss des Proteingehalts auf das Drehmoment in den Versuchen 1-4 bei 600 min^{-1}

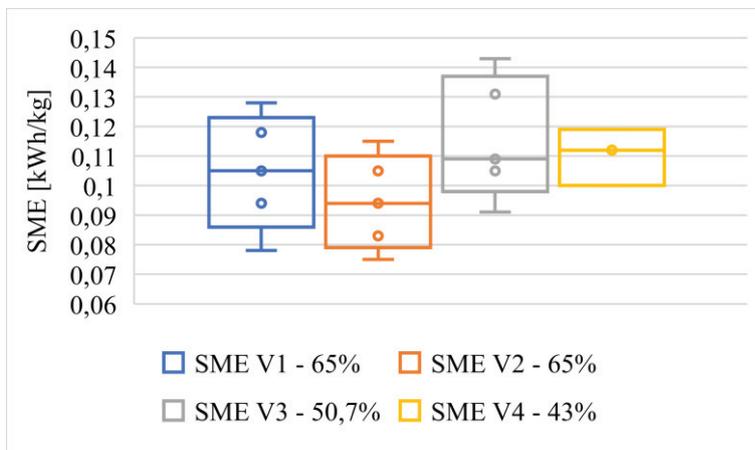


Abbildung 26: Einfluss des Proteingehalts auf die SME in den Versuchen 1-4 bei 600 min^{-1}

4.2.2. Rezeptur Auswertung

In der folgenden Abbildung 27: Schüttdichte in Abhängigkeit von der Rezeptur bei 600 und 800 min^{-1} , $PD=24,19 \text{ kg/h}$ wird die Schüttdichte in Abhängigkeit von der Rezeptur bei 600 und 800 min^{-1} und bei einer Produktdosierung von $24,19 \text{ kg/h}$ dargestellt. Hierbei fällt auf, dass sich die Schüttdichten der einzelnen Rezepturen, in diesem Falle 1-3, bei unterschiedlichen

Drehzahlen ähnlich verhalten. Außerdem erkennt man, dass die Schüttdichte mit steigender Drehzahl abnimmt.

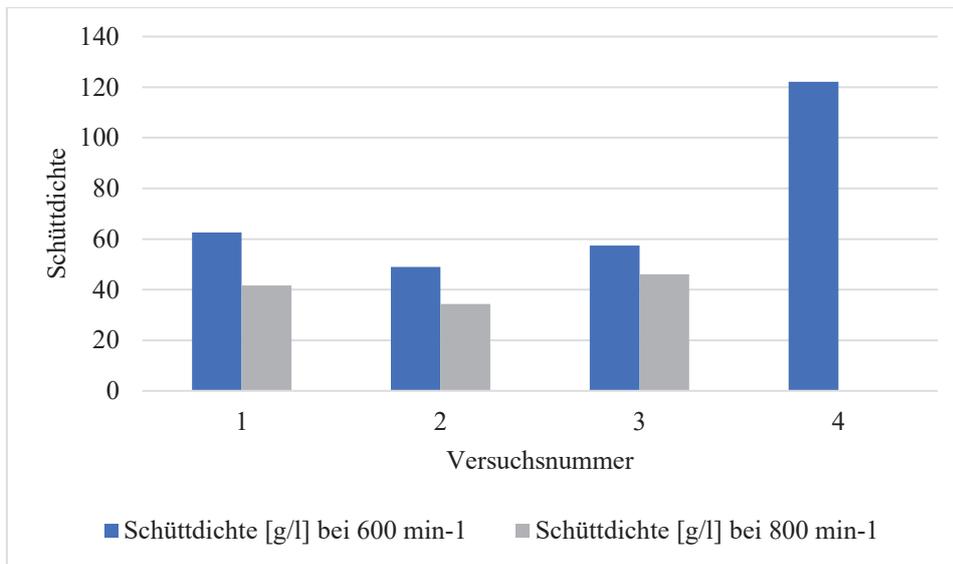


Abbildung 27: Schüttdichte in Abhängigkeit von der Rezeptur bei 600 und 800min⁻¹, PD=24,19kg/h

4.2.3. Einfluss auf den Farbwert

In den Abbildung 28, 29 und 30 werden die Farbwerte L*, a* und b* in Abhängigkeit von der Wasserdosierung in den vier verschiedenen Versuchen bei 600 min⁻¹ dargestellt. In den ersten beiden Versuchen ist ein kontinuierlicher Abfall des L*-Wertes erkennbar. Bei den Versuchen vom zweiten Versuchstag sinkt der L*-Wert ebenfalls, wenn man den gesamten Verlauf betrachtet. Lediglich der zweite Messwert des dritten und vierten Versuches ist im Gegensatz zum ersten Messwert erhöht. Diese erhöhten Messwerte sind zudem auch die höchsten gemessenen L*-Werte und liegen bei ca. 65 und einer Wasserdosierung von 2,48 bzw. 3,33 kg/h. Die niedrigsten Messwerte wurden bei Versuch 1 und 2 festgestellt. Bei einem L*-Wert von ca. 43 wurden im ersten Versuch 5,9 kg Wasser pro Stunde gefördert und bei dem zweiten Versuch 6,75 kg/h (s. Abbildung 28).

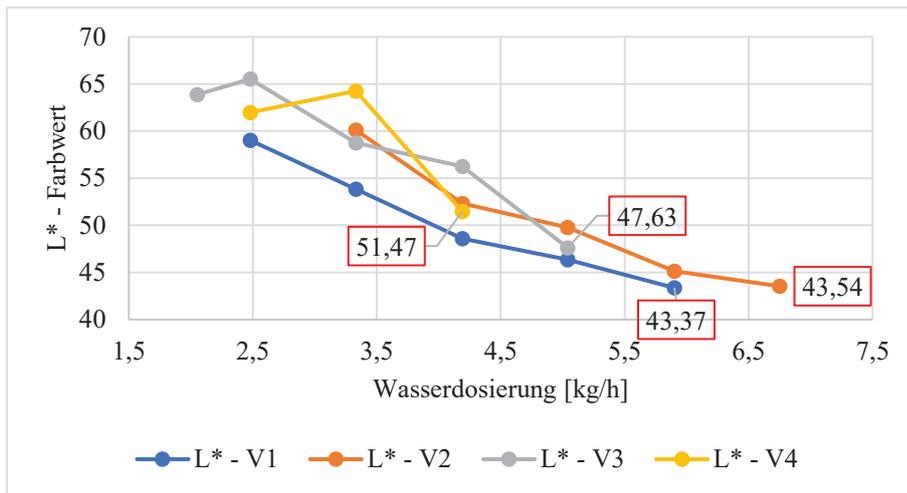


Abbildung 28: Einfluss der Wasserdosierung auf den Farbwert L* bei 600 min⁻¹, V1-4

Der Farbwert a* verändert sich durch die Änderung der Wasserdosierung kaum. Im ersten Versuch liegen alle Messwerte bei einer Wasserdosierung von 2,48 bis 5,9 kg/h zwischen 5,05 und 5,36. Die Messwerte des zweiten Versuches sind ähnlich. Die Wasserdosierung schwankt zwischen 3,33 und 6,75 kg/h und die dazugehörigen Messwerte zwischen 4,75 und 5,25. Der Farbwert a* des dritten und vierten Versuches liegt durchschnittlich unterhalb der ersten beiden Versuche. Bei einer Wasserdosierung zwischen 2,05 und 5,04 kg/h schwankt der Farbwert zwischen 3,91 und 4,71. Der Farbwert a* des vierten Versuches steigt bei einer Wasserdosierung von 2,48 kg/h von 3,74 auf 4,06 bei 4,19 kg Wasser pro Stunde. Allgemein gesagt geht der Trend des Farbverts a* mit steigender Wasserdosierung nach oben (s. Abbildung 29).

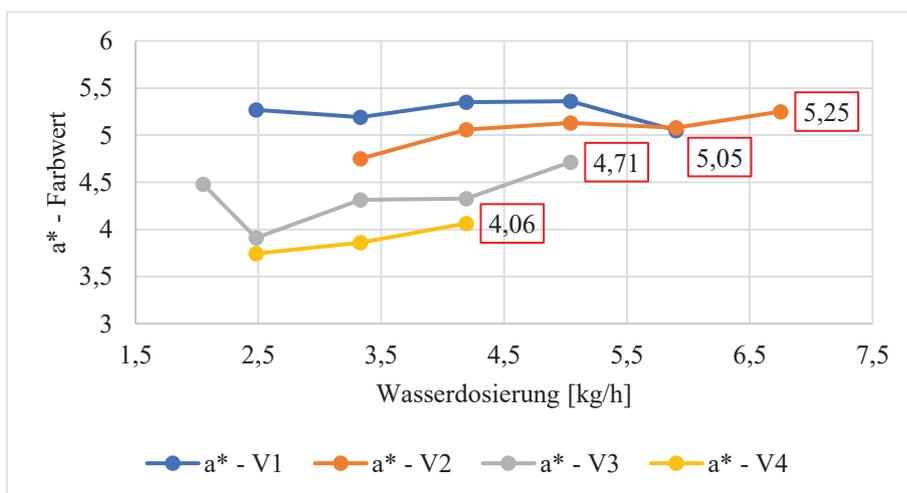


Abbildung 29: Einfluss der Wasserdosierung auf den Farbwert a* bei 600 min⁻¹, V1-4

Der Farbwert b^* zeigt ähnlich wie Farbwert L^* einen stetigen Abfall bei steigender Wasserdosierung. Zudem fällt auf, dass die Differenz des Farbwerts b^* zwischen den einzelnen Versuchen nicht sehr hoch ausfällt. Beispielsweise liegt der Farbwert der Versuche 1, 3 und 4 bei einer Wasserdosierung von 2,48 kg/h zwischen 25,42 und 26,09. Ähnlich ist das bei einer Wasserdosierung von 5,04 kg/h. Hierbei unterscheiden sich die Farbwerte der Versuche 1 bis 3 nur minimal um 0,19. Der höchste gemessene b^* -Wert liegt im zweiten Versuch bei 26,13 und einer Dosierung von 3,33 kg Wasser pro Stunde und der niedrigste b^* -Wert liegt ebenfalls innerhalb des zweiten Versuches bei 21,44 und einer Wasserdosierung von 6,75 kg/h (s. Abbildung 30).

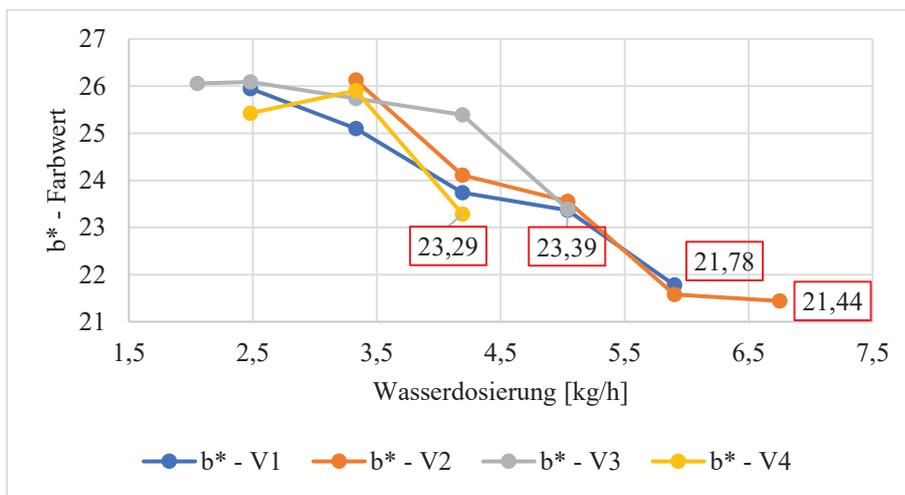


Abbildung 30: Einfluss der Wasserdosierung auf den Farbwert b^* bei 600 min⁻¹, V1-4

In den folgenden Abbildungen 31 a-c sind die Farbwerte L^* , a^* und b^* in Abhängigkeit von der Drehzahl dargestellt. Bei den Farbwerten L^* und b^* ist der Trend (abgesehen von Versuch 4) mit Zunahme der Drehzahl steigend. Bei Versuch 4 sinkt der Farbwert bei einer Drehzahl von 450 auf 600 min⁻¹. Bei Farbwert a^* ist kein einheitliches Muster zu erkennen, welches in Zusammenhang mit der Drehzahl steht.

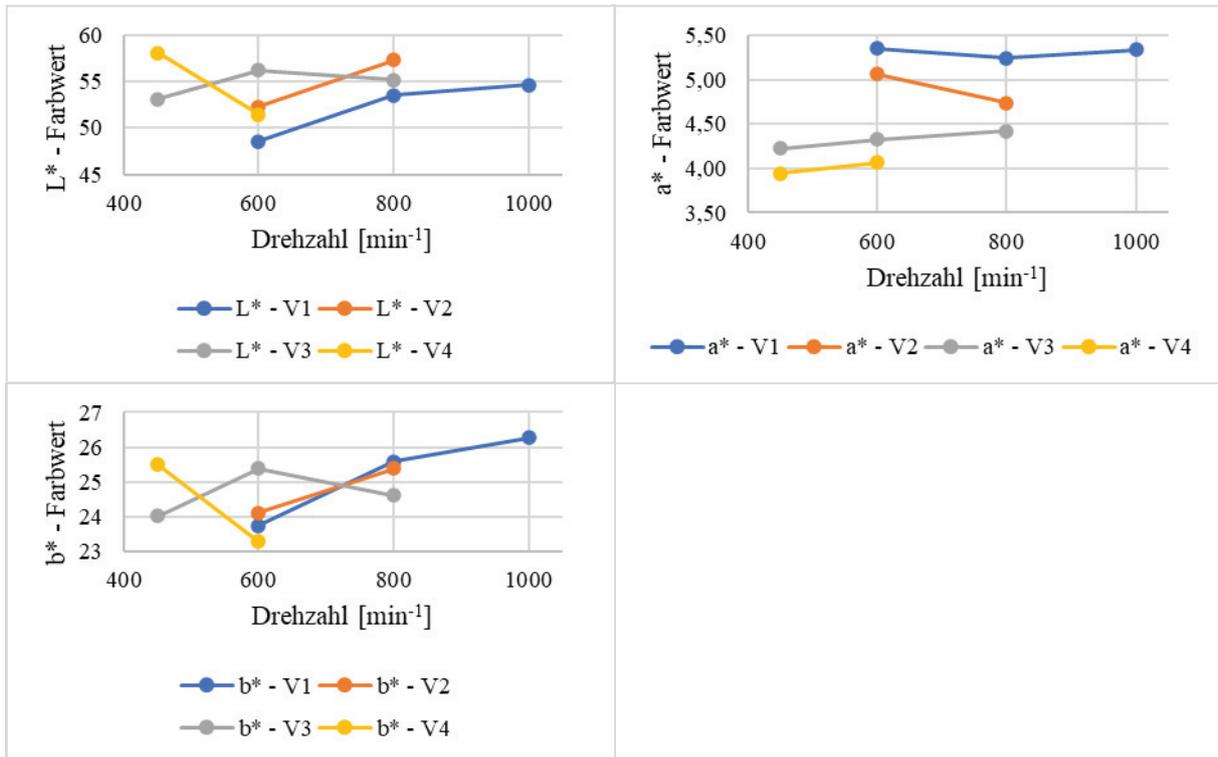


Abbildung 31: Einfluss der Drehzahl auf die Farbwerte L* (a), a* (b) und b* (c) bei WD = 4,19 kg/h, V1-4

Ein weiterer Faktor, welcher Einfluss auf den Farbwert der extrudierten Produkte hat, ist die Temperatur. In den folgenden Abbildungen (Abbildung 32 ff.) werden alle gemessenen Farbwerte der vier Versuche in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt. In die Abbildungen spielen alle gemessenen Proben ein, sodass viele Abweichungen innerhalb eines Versuches durch unterschiedliche Wasserdosierungen und Drehzahlen entstehen. Allgemein lässt sich feststellen, dass sowohl bei den L* als auch bei den b* Farbwerten ein deutlicher Anstieg mit steigender Temperatur zu erkennen ist. Die Farbwerte a* unterscheiden sich in Ihrem Verlauf abhängig von den Versuchen. Versuch 1 und 3 verzeichnen einen Anstieg der Farbwerte a* und Versuch 2 und 4 einen Abfall.

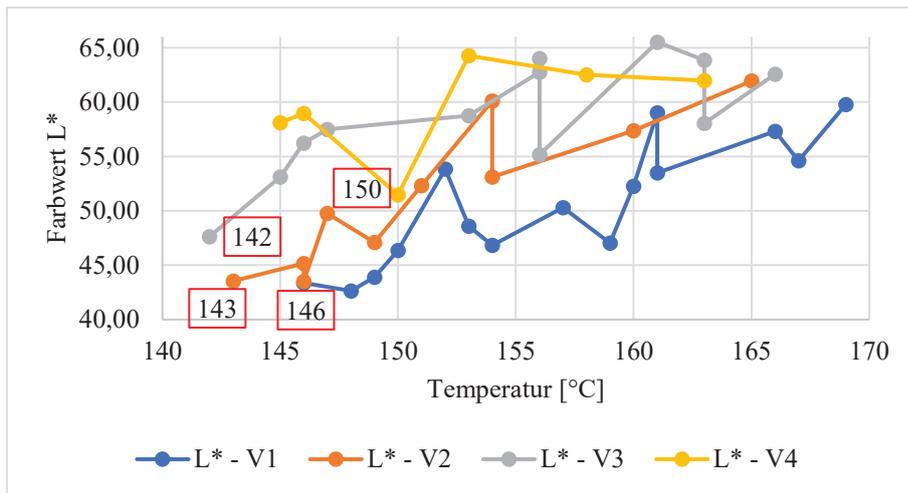


Abbildung 32: Einfluss der Temperatur auf den Farbwert L*, V1-V4

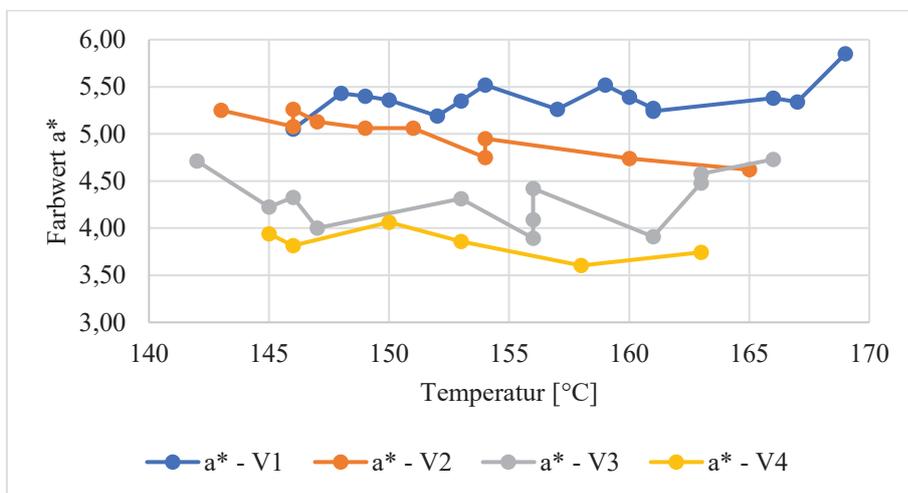


Abbildung 33: Einfluss der Temperatur auf den Farbwert a*, V1-V4

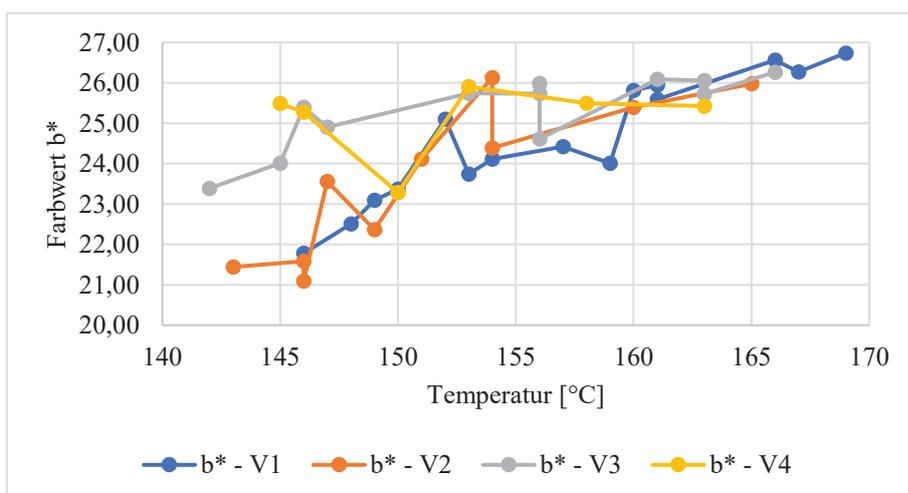


Abbildung 34: Einfluss der Temperatur auf den Farbwert b*, V1-V4

4.3. Sensorik Analyse

4.3.1. Vorversuche

Bei den Vorversuchen wurden 10 g von jeder Probe in ein Behältnis eingewogen und diese mit kochendem Wasser übergossen. Zuvor wurde die Einweichzeit verschiedener Proben getestet. Hierbei stellte sich heraus, dass durch eine zu kurze Einweichzeit von ca. 30 Sekunden die feste und trockene Struktur der Extrudate erhalten blieb, weswegen die Einweichzeit auf 150 Sekunden für die folgenden Versuche festgelegt wurde. Nach Ablauf der Einweichzeit wurde das überschüssige Wasser abgegossen und die Proben zurückgewogen. Die Wasseraufnahme der Proben unterschied sich in Abhängigkeit von der Schüttdichte. Mit steigender Schüttdichte sank die Wasseraufnahme der Proben. Generell nahmen die Proben das Zwei- bis Vierfache ihrer Masse an Wasser auf.

Aus den 43 hergestellten Proben wurden 13 Proben für die weitere sensorische Untersuchung ausgewählt. Im ersten Versuch wurden aus 15 Proben fünf ausgewählt, welche sich in erster Linie in Ihrer Konsistenz unterschieden. Aus dem zweiten und dritten Versuch wurden jeweils drei Proben ausgewählt und im letzten Versuch 2. Bei der Auswahl der Proben wurde darauf geachtet, dass sich die Proben in ihrer Textur, in ihrem Aussehen und den Prozessparametern unterscheiden. In der Tabelle 10 bis Tabelle 21: Ermittelte Produktparameter (Farbe) des 4. Versuches – 43 % Protein, 40 % Hanf sind die ausgewählten Proben in rot markiert.

4.3.2. Einfach beschreibende Prüfung

Die in den Vorversuchen ausgewählten Proben wurden von sechs Prüfern sensorisch untersucht und mit Hilfe des Prüfformulars (Abbildung 43) dokumentiert. Die genannten Attribute werden in den Tabelle 22 bis 24 aufgelistet. Bei der Analyse der Proben fiel auf, dass teilweise nur wenige Unterschiede zwischen den einzelnen Proben zu verzeichnen sind. Die Farbe der Proben wurde als braun, grau oder auch dunkel bezeichnet. Der unterschiedliche Farbwert der sich bei den Untersuchungen zeigte, war im gekochten Zustand kaum wahrnehmbar. Die äußere Form der Proben beschrieben die Prüfer meist als texturiert, länglich, zerrissen oder schwammig. Die Beschreibungen für Geruch und Geschmack glichen sich sehr. Hier waren Attribute wie grasig, holzig, muffig und neutral oft vertreten. Die meisten Differenzen zwischen den einzelnen Proben konnte bei der Textur bzw. dem Mundgefühl festgestellt werden. Die Konsistenz der Proben unterschied sich allgemein in

fest, zäh sowie schwammig und gummiartig, wobei die Proben mit einer Drehzahl von 600 min^{-1} und einer hohen Wasserdosierung eher zäh, fest und somit fleischähnlich waren und die Proben mit höherer und niedrigerer Drehzahl dazu tendierten eine schwammige und gummiartige Textur zu besitzen.

4.3.3. Rangordnungsprüfung

Die Rangordnungsprüfung (Abbildung 44) wurde innerhalb eines Versuches durchgeführt, sodass jeweils die Proben mit gleicher Zusammensetzung miteinander verglichen wurden. Die Auswertung ergab deutliche Ergebnisse in Bezug auf die Fleischähnlichkeit der Proben, welche in Abbildung 45 im Anhang dargestellt werden. Im ersten Versuch, wo fünf Proben miteinander verglichen wurden, war die letzte Probe (V1P15) bei den Prüfern am beliebtesten. In den Versuchen 2 bis 4 war jeweils die erste Probe der Favorit der Probanden. Die übrigen Proben zeichneten sich vorwiegend durch eine schwammartige, wässrige und gummiartige Textur aus, welche bei den Prüfern nicht an Fleisch erinnerte.

5. Diskussion

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde die Möglichkeit der Entwicklung eines Fleischersatzproduktes auf Hanfbasis bewiesen. Bei Betrachtung der Versuchsergebnisse ist es wichtig die Einflüsse der unterschiedlichen Parameter beim Extrusionsprozess zu beachten, denn nicht alle sich ändernden Prozessparameter stehen in direkter Korrelation zu den entstandenen Extrudaten.

Weiterhin ist der Einfluss von Fehlerquellen zu berücksichtigen. Da während der Herstellung der Proben keine Aussetzer des Extruders zu vermerken waren, kann davon ausgegangen werden, dass die hergestellten Extrudate eine verlässliche Vergleichbarkeit aufweisen. Weitere Fehlerquellen bestehen allerdings in den angewandten Messmethoden. Beispielsweise ist der Expansionsindex der Extrudate nur von geringer Bedeutung für die Auswertung der Versuchsergebnisse, da dieser innerhalb eines Versuches sehr stark schwankte. Die Unregelmäßigkeiten der Extrudate sind zu hoch, um den Expansionsindex eines Versuches mit einem anderen Versuch vergleichen zu können. Ein weiterer Mangel besteht in der Feuchtebestimmung der Proben. Diese wurde im Anschluss an die Trocknung durchgeführt, sodass diese nicht mit dem Extrusionsprozess in Verbindung gebracht werden kann. Bei einer Probe kam es zudem zu einem erhöhten Feuchtegehalt. Dieser lag zwar noch in dem gewünschten Bereich von maximal 6 %, allerdings wäre hier eine längere Trocknung von Nöten gewesen, um Verderb generell auszuschließen.

- Drehzahl

Durch die steigende Drehzahl wurde auch mehr spezifische mechanische Energie aufgebracht, was auf die Tatsache zurückzuführen ist, dass die SME mit Hilfe der Drehzahl berechnet wird. Zudem steigt die Temperatur gleichermaßen durch den erhöhten Energieeintrag und die dadurch einhergehenden Scher- und Reibungskräfte. Mit steigender Drehzahl sinkt zum einen die Schüttdichte der Extrudate und trotz Unregelmäßigkeiten ist zum anderen ein Anstieg der Expansionsindizes zu vermerken, was in Übereinstimmung mit Erkenntnissen aus der Literatur steht (Seker, 2005). Bei der sensorischen Bewertung der Proben schnitten die Proben mit einer Drehzahl von 600 min^{-1} am besten ab. In der Literatur finden sich vermehrt Aussagen darüber, dass Lebensmittelextrusion häufig bei Drehzahlen unterhalb von 450 min^{-1} angewendet wird. In den durchgeführten Versuchen fällt allerdings auf, dass bei einer Drehzahl von 600 min^{-1} eine höhere Akzeptanz der Produkte besteht als bei 450 min^{-1} (Gu et al., 2019; Li et al, 2022).

- Wasserdosierung

Nicht nur die Drehzahl von 600 min^{-1} spielte bei der sensorischen Bewertung eine Rolle, sondern auch die hohe Wasserdosierung. Durch den höheren Wassergehalt kam es zur Absenkung der Expansionsindizes und zur Steigerung der Schüttdichte, was wiederum eine weniger schwammartige Textur zur Folge hatte. Alam et al. (2015) bestätigt diese Erkenntnis, dass sich durch Erhöhung der Wasserdosierung das rheologische Verhalten des Produkts verändert und dass der Expansionsindex bei niedrigem Wassergehalt steigt.

- Versuchsausblick

Für folgende Versuche empfiehlt sich einerseits eine weitere Versuchsreihe im Bereich von 600 min^{-1} und hoher Wasserdosierung, da diese Parameter die besten sensorischen Ergebnisse erzielten. Andererseits ist eine Versuchsreihe bei niedrigeren Drehzahlen denkbar, bspw. unterhalb von 400 min^{-1} , da diese häufig in der Literatur für die Herstellung von Fleischersatzprodukten erwähnt werden.

Ein weiterer Aspekt ist die Messung des Feuchtegehalts. Dieser sollte nach Möglichkeit direkt nach der Herstellung und nicht nach dem Trocknungsvorgang erfolgen. Zudem sind längere Trocknungszeiten ratsam, um Verderb auszuschließen.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, das Hanfproteinpulver mit 70% Protein der Hanf Industries GmbH in eine neue Versuchsreihe zu integrieren. Jedoch sollten allgemein weniger Rezepturen gewählt werden. Die Festlegung auf einen bestimmten Proteingehalt und den für die Industrie wirtschaftlich sinnvoll einsetzbaren Hanfanteil ist für weitere Versuche essenziell.

- Hanf als Bestandteil von Fleischersatzprodukten

Die alte Kulturpflanze Hanf für die Herstellung von Fleischersatzprodukten zu nutzen, kann in Zukunft eine bedeutende Rolle spielen, vor allem weil der verwendete Rohstoff ein Nebenprodukt der Ölproduktion ist und somit ein nachhaltiger Umgang mit Lebensmitteln geschaffen wird. Zudem ist die Hanfpflanze heimisch und könnte somit das in vielen Ersatzprodukten enthaltene Soja ersetzen. Da das verwendete Erbsenproteinisolat bisher hauptsächlich außerhalb der EU angebaut wird, wäre ein Fleischersatzprodukt aus Hanf und Ackerbohnenmehl die nachhaltigere Variante. Hier würde sich auch das höher konzentrierte Hanfprotein anbieten, um den Proteingehalt zu erhöhen.

6. Zusammenfassung

Das Ziel dieser Bachelorarbeit bestand darin ein extrudiertes Fleischersatzprodukt auf Hanfbasis zu entwickeln, welches mit Hilfe von vier verschiedenen Rezepturen erreicht wurde. Die Rezepturen bestanden aus Hanfmehl mit 45 % Protein, Erbsenproteinisolat mit 80 % Protein und in drei Versuchen zusätzlich aus Ackerbohnenmehl mit 29 % Proteinanteil. Der Hanfanteil wurde innerhalb der vier Versuche zwischen 30 und 42,9 % gewählt. Alle Rezepturen stellten sich als für die Extrusion mittels Doppelschneckenextruder geeignete Rezepturen heraus.

Nach der Herstellung der Extrudate mit Drehzahlen von 450, 600, 800 und 1000 min^{-1} , sowie unterschiedlichen Wasserdosierungen von 2,05 bis 6,75 kg/h wurden diese getrocknet und auf deren Produktparameter wie Feuchte, Farbe, Schüttdichte und Expansionsindex untersucht. Zusätzlich wurde die SME ermittelt und eine sensorische Untersuchung mit Hilfe der Einfach beschreibenden Prüfung und der Rangordnungsprüfung durchgeführt.

Die sensorische Untersuchung ergab, dass bei hohen Drehzahlen und niedrigen Wasserdosierungen gummiartige und schwammähnliche Texturen entstanden, die bei den Prüfpersonen weniger gut ankamen als Extrudate, welche bei einer Drehzahl von 600 min^{-1} und hohen Wasserdosierungen produziert wurden.

Ein erheblicher Zusammenhang zwischen den einzelnen Rezepturen und der Beliebtheit konnte in den sensorischen Untersuchungen nicht festgestellt werden.

Zusammenfassend eignet sich die Kombination zwischen einer hohen Wasserdosierung und einer Drehzahl von 600 min^{-1} zur Herstellung eines extrudierten Fleischersatzproduktes auf Hanfbasis.

Um das Produkt weiterhin zu optimieren, ist der erhöhte Einsatz von heimischen Nutzpflanzen, also Hanfprotein und Ackerbohnenmehl, zu empfehlen um das Produkt hinsichtlich des ökologischen Aspekts voranzubringen. Generell ist die weitere Erforschung und Entwicklung von nachhaltigen, pflanzenbasierten Lebensmittelalternativen unter Berücksichtigung der wachsenden Weltbevölkerung von hoher Relevanz.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Angewandte Schneckenkonfiguration für eine Welle	19
Tabelle 2: In Versuchen und Untersuchungen verwendete Geräte	20
Tabelle 3: Nährwerte der verwendeten Rohstoffe (bezogen auf 100 g).....	21
Tabelle 4: Rezeptur-Kalkulation Versuch 1: 65% Protein, 42,9 % Hanf.....	22
Tabelle 5: Rezeptur-Kalkulation: Versuch 2: 65% Protein, 30 % Hanf (mit Ackerbohnenmehl)	22
Tabelle 6: Rezeptur-Kalkulation: Versuch 3: 50,7 % Protein, 40 % Hanf.....	22
Tabelle 7: Rezeptur-Kalkulation: Versuch 4: 43 % Protein, 40 % Hanf.....	22
Tabelle 8: Parameter Übersicht der Versuche 1 und 2	23
Tabelle 9: Parameter Übersicht der Versuche 3 und 4	24
Tabelle 10: Ermittelte Prozessparameter des 1. Versuches - 65% Protein, 42,9 % Hanf.....	61
Tabelle 11: Ermittelte Produktparameter des 1. Versuches – 65 % Protein, 42,9 % Hanf	62
Tabelle 12: Ermittelte Produktparameter (Farbe) des 1. Versuches - 65 % Protein, 42,9 % Hanf	62
Tabelle 13: Ermittelte Prozessparameter des 2. Versuches - 65% Protein, 30 % Hanf.....	63
Tabelle 14: Ermittelte Produktparameter des 2. Versuches – 65 % Protein, 30 % Hanf	64
Tabelle 15: Ermittelte Produktparameter (Farbe) des 2. Versuches – 65 % Protein, 30 % Hanf.....	64
Tabelle 16: Ermittelte Prozessparameter des 3. Versuches – 50,7 % Protein, 40 % Hanf.....	65
Tabelle 17: Ermittelte Produktparameter des 3. Versuches – 50,7 % Protein, 40 % Hanf	65
Tabelle 18: Ermittelte Produktparameter (Farbe) des 3. Versuches – 50,7 % Protein, 40 % Hanf.....	66
Tabelle 19: Ermittelte Prozessparameter des 4. Versuches – 43 % Protein, 40 % Hanf.....	66
Tabelle 20: Ermittelte Produktparameter des 4. Versuches – 43 % Protein, 40 % Hanf	67
Tabelle 21: Ermittelte Produktparameter (Farbe) des 4. Versuches – 43 % Protein, 40 % Hanf.....	67
Tabelle 22: Merkmalsbeschreibungen der Einfach beschreibenden Prüfung Versuch 1	72
Tabelle 23: Merkmalsbeschreibungen der Einfach beschreibenden Prüfung Versuch 2	72
Tabelle 24: Merkmalsbeschreibungen der Einfach beschreibenden Prüfung Versuch 3	73
Tabelle 25: Merkmalsbeschreibungen der Einfach beschreibenden Prüfung Versuch 4	74

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Allgemeiner Aufbau eines Extruders (Schuchmann, 2005).....	9
Abbildung 2: Gehäuse Doppelschneckenextruder (Berk, 2013).....	10
Abbildung 3: Drehrichtung von Doppelschneckenextrudern (Schuchmann, 2005)	11
Abbildung 4: L*a*b*-Farbraum (Bühler et al., 2018)	18
Abbildung 5: Einfluss der Drehzahl auf Drehmoment und SME - Versuch 1, Probe 2, 6, 14 bei PD 24,19 kg/h.....	30
Abbildung 6: Einfluss der Drehzahl auf Drehmoment und SME - Versuch 2, Probe 4 und 9 bei PD 24,19 kg/h.....	30
Abbildung 7: Einfluss der Drehzahl auf Drehmoment und SME – Versuch 3, Probe 6, 2 und 10 bei PD 24,19 kg/h.....	31
Abbildung 8: Einfluss der Drehzahl auf Drehmoment und SME – Versuch 4, Probe 4 und 1 bei PD 24,19 kg/h.....	31
Abbildung 9: Einfluss der Drehzahl auf Produkttemperatur und -druck - Versuch 1, Probe 2, 6 und 14 bei PD 24,19 kg/h.....	32
Abbildung 10: Einfluss der Drehzahl auf Produkttemperatur und -druck - Versuch 2, Probe 4 und 9 bei PD 24,19 kg/h.....	32
Abbildung 11: Einfluss der Drehzahl auf Produkttemperatur und -druck – Versuch 3, Probe 6, 2 und 10 bei PD 24,19 kg/h.....	32
Abbildung 12: Einfluss der Drehzahl auf Produkttemperatur und -druck – Versuch 4, Probe 4 und 1 bei PD 24,19 kg/h.....	33
Abbildung 13: Verteilung der Schüttdichte in Abhängigkeit von der Drehzahl.....	33
Abbildung 14: Verteilung der Expansionsindizes in Abhängigkeit von der Drehzahl	34
Abbildung 15: Einfluss der Wasserdosierung auf Drehmoment und SME - Versuch 1, Probe 4-1, 15 bei Drehzahl 600 min ⁻¹	34
Abbildung 16: Einfluss der Wasserdosierung auf Drehmoment und SME - Versuch 2, Probe 5-1 bei Drehzahl 600 min ⁻¹	35
Abbildung 17: Einfluss der Wasserdosierung auf Drehmoment und SME – Versuch 3, Probe 5-1 bei Drehzahl 600 min ⁻¹	35
Abbildung 18: Einfluss der Wasserdosierung auf Drehmoment und SME – Versuch 4, Probe 3-1 bei Drehzahl 600 min ⁻¹	36
Abbildung 19: Einfluss der Wasserdosierung auf Schüttdichte und Expansionsindex - Versuch 1, Probe 4-1, 15 bei Drehzahl 600 min ⁻¹	36

Abbildung 20: Einfluss der Wasserdosierung auf Schüttdichte und Expansionsindex - Versuch 2, Probe 5-1 bei Drehzahl 600 min ⁻¹	37
Abbildung 21: Einfluss der Wasserdosierung auf Schüttdichte und Expansionsindex – Versuch 3, Probe 5-1 bei Drehzahl 600 min ⁻¹	37
Abbildung 22: Einfluss der Wasserdosierung auf Schüttdichte und Expansionsindex – Versuch 4, Probe 3-1 bei Drehzahl 600 min ⁻¹	38
Abbildung 23: Feuchtegehalt in Abhängigkeit von der Wasserdosierung der Versuche 1-4 bei 600 min ⁻¹	38
Abbildung 24: Einfluss des Proteingehalts auf das Drehmoment in den Versuchen 1-4 bei 600 min ⁻¹	39
Abbildung 25: Einfluss des Proteingehalts auf die SME in den Versuchen 1-4 bei 600 min ⁻¹	39
Abbildung 26: Einfluss der Wasserdosierung auf den Farbwert L* bei 600 min ⁻¹ , V1-4.....	41
Abbildung 27: Einfluss der Wasserdosierung auf den Farbwert a* bei 600 min ⁻¹ , V1-4	41
Abbildung 28: Einfluss der Wasserdosierung auf den Farbwert b* bei 600 min ⁻¹ , V1-4.....	42
Abbildung 29: Einfluss der Drehzahl auf die Farbwerte L* (a), a* (b) und b* (c) bei WD = 4,19 kg/h, V1-4.....	43
Abbildung 30: Einfluss der Temperatur auf den Farbwert L*, V1-V4	44
Abbildung 31: Einfluss der Temperatur auf den Farbwert a*, V1-V4.....	44
Abbildung 32: Einfluss der Temperatur auf den Farbwert b*, V1-V4	44
Abbildung 33: Produktspezifikation Hanfmehl (Hainich Hanf Industries, 2022)	58
Abbildung 34: Produktspezifikation Erbsenproteinisolat (OPW Ingredients GmbH, 2020)...	59
Abbildung 35: Produktspezifikation Faba-Bohnen-Mehl (Müller's Mühle, 2020).....	60
Abbildung 36: Kalibrationskurve für Peristaltikpumpe (nach Wolmann, 2022)	61
Abbildung 37: Extrudate Versuch 1, Probe 1-15	68
Abbildung 38: Extrudate Versuch 2, Probe 1-10	68
Abbildung 39: Extrudate Versuch 3, Probe 1-12	69
Abbildung 40: Extrudate Versuch 4, Probe 1-6	69
Abbildung 41: Prüfformular für die Einfach beschreibende Prüfung nach DIN 10964	70
Abbildung 42: Prüfformular für die Hedonische Prüfung. Fehler! Textmarke nicht definiert.	

Literatur- und Quellenverzeichnis

Agerer, M. S.: Doppelschneckenextruder – Aufbau & Funktionsweise. Maschinenbau-wissen.de. 2009 [Zugriff am: 14.12.2022, 18:52], verfügbar unter:

<https://www.maschinenbau-wissen.de/skript3/werkstofftechnik/kunststoffe/393-extruder>

Ahrens, S.: Durchschnittliche Preise von Fleisch- und Fleischersatzprodukten in Deutschland in den Jahren 2020/21 und 2021/22. Statista. 09.12.2022 [Zugriff am 05.01.2023, 08:42], verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1351226/umfrage/preisvergleich-fleisch-fleischersatz/>

Ahrens, S.: Pro-Kopf-Absatz von Fleischersatzprodukten in Deutschland in den Jahren 2014 bis 2021 und einer Prognose bis 2027. Statista. 09.12.2022 [Zugriff am 05.01.2023, 09:03], verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1351033/umfrage/pro-kopf-absatz-fleischersatzprodukte/>

Ahrens, S.: Umfrage zu den beliebtesten Fleischalternativen in Deutschland 2021. Statista. 14.03.2022 [Zugriff am 20.01.23, 07:15], verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1244062/umfrage/umfrage-zu-den-beliebtesten-fleischalternativen/>

Ahrens, S.: Umfrage zu den bevorzugten Eiweißpflanzen bei Fleischersatzprodukten 2022. Statista. 20.04.2022 [Zugriff am 20.01. 2023, 08:40], verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1302898/umfrage/umfrage-zu-bevorzugten-eiweisspflanzen-fleischersatzprodukte/>

Alam, M. S.; Gupta, K.; Kaur, J.; Khaira, H.: Extrusion and Extruded Products: Changes in Quality Attributes as Affected by Extrusion Process Parameters. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 09.01.2015 [Zugriff am: 20.11.2022, 19:20], verfügbar unter: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2013.779568>

Amft, J.: Physico-chemical properties of extrudates and their relation to lipid incorporation and lipid oxidation [online], 2019. [Zugriff am 06.01.2023, 13:25], verfügbar unter: https://macau.uni-kiel.de/servlets/MCRFileNodeServlet/macau_derivate_00001622/Dissertation_Jonas_Amft_2020-07-20.pdf

Bocsa, I.: Der Hanfanbau: Botanik, Sorten, Anbau und Ernte. 1.Aufl. Heidelberg: Müller, 1997.

Böhm, T.: Verfahren zur Bestimmung physikalischer Qualitätsmerkmale und des Wassergehaltes biogener Festbrennstoffe. 10.06.2006. [Zugriff am 06.01.2023, 11:15], verfügbar unter: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/603730/603730.pdf>

Brümmer, T.: Charakterisierung molekularer Strukturparameter koextrudierter Maisstärken und Ermittlung von Struktur – Eigenschaftsbeziehungen. TU Berlin, 19.11.1999 [Zugriff am: 07.01.2023, 17:30], verfügbar unter: http://webdoc.sub.gwdg.de/ebook/diss/2003/tuberlin/diss/1999/bruemmer_thomas.p

Buchecker, K.: Sensorik- Fragen & Antworten. Hamburg: Behr's Verlag, 2008.

Bühler, P.; Schlaich, P.; Sinner, D.: Digitale Farbe – Farbgestaltung, Colormangement, Farbverarbeitung. Berlin: Springer, 2018.

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hrsg.): Erbsen und Ackerbohnen anbauen und verwerten. 09.2021. [Zugriff am 22.12.2022, 09:21], verfügbar unter: https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Projektfoerderung/Eiweisspflanzenstrategie/Erbsen-Ackerbohnen-Anbau.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.): Ackerbohne, Erbse & Co. 01.2020. [Zugriff am 22.12.2022, 08:27], verfügbar unter: https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Projektfoerderung/Eiweisspflanzenstrategie/EPS-Broschuere.pdf?__blob=publicationFile&v=3

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.): Eiweißpflanzenstrategie des BMEL. 09.02.2022. [Zugriff am 22.12. 2022, 08:42], verfügbar unter: <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/ackerbau/eiweisspflanzenstrategie.html#doc10544bodyText2>

Bundeszentrum für Ernährung (Hrsg.): Pflanzliche Alternativen zu Fleisch. 22.07.2020. [Zugriff am 29.10.2022, 11:13], verfügbar unter: <https://www.bzfe.de/nachhaltiger-konsum/orientierung-beim-einkauf/fleischersatzprodukte/>

Chen, F; Ojokoh, A.; Wie, Y.; Zhang, B.: System parameters and product properties response of soybean protein extruded at wide moisture range [online]. Science Direct, 2009 [Zugriff am

30.01.2023, 07:15], verfügbar unter:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877409003653>

Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V. (Hrsg.): Ein Hoch auf Hülsenfrüchte. 21.06.2016. [Zugriff am 22.12. 2022, 09:02], verfügbar unter: <https://www.dge.de/uploads/media/DGE-Pressemeldung-aktuell-07-2016-huelsenfruechte.pdf>

Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V. (Hrsg.): Hülsenfrüchte – versteckte Vielfalt entdecken. 2021. [Zugriff am 22.12.2022, 08:53], verfügbar unter: https://www.dge-ernaehrungskreis.de/fileadmin/public/doc/fs/ekreis/Huelsenfruechte_-_versteckte_Vielfalt_entdecken.pdf

Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. Ausschuss Sensorik: Sensorische Analyse: Methodenüberblick und Einsatzbereiche. DLG-Expertenwissen 3 (2010), Nr. 2, S. 1-4.

Ebersdobler, H.F.; Nagursky, J.; Rimbach, G.: Lebensmittel-Warenkunde für Einsteiger. 2. Aufl. Berlin: Springer, 2015.

Eugster, E.; Heine, D.; Kopf-Bolanz, K.; Müller, S.; Ramseier, H.; Rauch, M.; Schmid, A.: Pflanzliche Proteine als Fleischersatz: eine Betrachtung für die Schweiz. Agrarforschung Schweiz 9 (2018), Nr. 1, S. 4-11.

Flottweg Separation Technology: Flottweg Dekanter zur Extraktion von Sojaprotein-Isolat. Kein Datum. [Zugriff am 22.12.2022, 09:12], verfügbar unter: https://www.flottweg.com/fileadmin/user_upload/data/pdf-downloads/Soja-Protein.pdf

Gaikwad, S.; Shelar, G.: Extrusion in food processing – An overview. The Pharma Innovation Journal 8 (2019), Nr. 2, S.562-568.

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

Gunawan, H.: Entwicklung eines Fleischersatzproduktes aus gemahlenden Hülsenfrüchten. Neubrandenburg, 2021.

Gu, B; Ryu, G; Samard, S.: Effects of extrusion types, screw speed and addition of wheat gluten on physicochemical characteristics and cooking stability of meat analogues [online]. Wiley Online Library, 2019. [Zugriff am 29.01.2023, 18:59], verfügbar unter: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/jsfa.9722?saml_referrer

Guy, R.: Extrusion cooking - Technologies and applications [online]. Woodhead Publishing, 2001 [Zugriff am 20.11.2022, 17:31], verfügbar unter:
https://books.google.de/books?id=e1OkAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=de&source=gs_bse_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=true

Henrich, P.: Fleischersatzprodukte – Statista Dossierplus zu vegetarischen und veganen Fleischalternativen. Statista. 2020 [Zugriff am 20.01.2023, 09:12], verfügbar unter:
file:///C:/Users/henri/Downloads/study_id72568_fleischersatzprodukte.pdf

Hunter Lab: Color Flex EZ [online]. 2021 [Zugriff am 01.02.2023, 08:57], verfügbar unter:
https://cdn.website-editor.net/s/ae556a3308104a89961078b961e20b51/files/uploaded/ColorFlex-EZ-Broschuere-DE.pdf?Expires=1677759944&Signature=etRvgNHOjy463t7LDFXpfQgj97zaXFv1k0rCKYByvKphGlMA6DokE9-fzwrcLkWu80EGfxEK2G6DnRFAiQssIbN9NxtZ6tnbPBecO86hWkpyg9YEhlYMZvhft1n88S1L1FV5y1WfBHIEXsSuZQs0r41Uss4IAOapoAxSBurXTXRPMsUnPMx1fv3mBqfXMxUwWiwJlxpU3oHqhJolQobvzU8iT~xrRCqfPwc4~5lqRsKdurs35SvO5vOWNGK2iFZZFcu3Bg9zTEfntEq5vq9B-1AIyEtOcsDBfVZAqQqoxG2jr690biduE2JsWDr8NbH5X~0fRZkEFhZbLi6Hfo9Q__&Key-Pair-Id=K2NXBXLf010TJW

Klatt, S.: Entwicklung eines Fleischersatzproduktes aus Linsenmehl. Neubrandenburg, 2022.

Krämer, J.; Prange, A.: Lebensmittel-Mikrobiologie. 7. Auflage. Hohenheim: Eugen Ulmer KG, 2017.

Lachenmeier, D.: Hanfhaltige Lebensmittel ein Problem?. Deutsche Lebensmittel-Rundschau (2004), Nr. 12, S. 481-490.

Li, Y.; Sun, D.; Wang, B.; Wu, M.; Yu, H.; Zhou, C.: Integrated numerical simulation and quality attributes of soybean protein isolate extrusion under different screw speeds and combinations [online]. Science Direct, 2022. [Zugriff am 29.01.2023, 18:47], verfügbar unter:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856422001382>

Moscicki, L.: Extrusion-Cooking Techniques [online]. Weinheim: Wiley-VCH, 2011 [Zugriff am 20.11.2022, 18:15], verfügbar unter: <file:///D:/Lebensmitteltechnologie%202018-2023/Bachelorarbeit/Literatur/Extrusion-Cooking%20Techniques%20-%202011%20-%20Moscicki.pdf>

Pawlik, V.: Bevölkerung in Deutschland nach Häufigkeit des Konsums von Fleischersatzprodukten (z.B. Tofu) von 2018 bis 2021. Statista. 07.12.2022 [Zugriff am 05.01.2021, 08:52], verfügbar unter:

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/172354/umfrage/haeufigkeit-konsum-von-fleischersatzprodukten/>

Plattform Ernährungswandel: Fleischersatzprodukte. [Zugriff am 29.10.2022, 12:22], verfügbar unter: <https://www.ernaehrungswandel.org/vernetzen/nischeninnovationen-in-europa/fleischersatzprodukte>

Rügenwalder Mühle: Presseinformation – Weiter dynamischer Wachstumskurs trotz Herausforderungen. 02.05.2022 [Zugriff am 05.01.2023, 09:25], verfügbar unter: <https://www.ruegenwalder.de/medien-und-social-media/2022/ruegenwalder-muehle-legt-starke-zahlen-vor-und-baut-marktfuehrerschaft-aus>

Schuchmann, H.-P.: Extrusion zur Gestaltung von Lebensmittelstrukturen [online]. Chemie Ingenieur Technik (2008), Nr. 8, S.1097-1106.

Schuchmann, H.-P.; Schuchmann, H.: Lebensmittelverfahrenstechnik. Weinheim: WILEY-VCH, 2005.

Seker, M.: Selected properties of native or modified maize starch/soy protein mixtures extruded at varying screw speed [online]. Wiley Online Library, 2005 [Zugriff am 01.02.2023, 09:25], verfügbar unter:

https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jsfa.2086?saml_referrer

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

Anhang

- Produktspezifikationen



**SYNLAB Analytics & Services
Germany GmbH**
Standort Jena
Orlaweg 2
07743 Jena
Deutschland

Prüfbericht zum Auftrag Nr. F 20688 - 20L1

Dokumenten-Nr. F2020-020688L1 - 0

Seite 1 von 3

Auftraggeber: Hanf Industries GmbH
Am Schloßberg 1, 99947 Bad Langensalza

Probenumfang: 1 Probe

Labor-Nr.: L1

Produkt: Lebensmittel

Probenbezeichnung: Hanf Protein 45%[†]

Probenahme: Auftraggeber[†]

Probentransport: Kurier

Probenzustand: einwandfrei

Eingangsdatum: 01.10.2020

Prüfzeitraum: 01.10.2020 - 14.10.2020

Chemisch-physikalische Untersuchung

Parameter	Methode	Ergebnis	Einheit
Gesamtfett	In Anl. an ASU L 16.00-5:2017-10	18,4	g/100 g
gesättigte Fettsäuren	ASU L 13.00-27/3:2018-06, DIN EN ISO 12966-3:2016-11 (TMSH-Methode); ASU L 13.00-45/46:2018-06, DIN EN ISO 12966-1/4:2015-11 (GC-FID)	1,9	g/100 g Produkt
		10,1	% der ident. FAME
Glucose	FOOD-PA 631-632:2020-09, enzymatisch	0,1	g/100 g
Fructose	FOOD-PA 631-632:2020-09, enzymatisch	0,2	g/100 g
Saccharose	FOOD-PA 631-632:2020-09, enzymatisch	3,0	g/100 g
Maltose	FOOD-PA 631-632:2020-09, enzymatisch	< 0,1	g/100 g
Stärke	FOOD-PA 917:2020-02, enzymatisch	< 0,1	g/100 g
Summe Kohlenhydrate	berechnet	3,3	g/100 g
davon Zucker	berechnet	3,3	g/100 g
Gesamteiweiß (Nx6,25)	ASU L 15.00-3:2019-07, DIN EN ISO 20483:2014-03	46,5	g/100 g
Natrium	DIN EN ISO 17294-2:2017-01, Probenvorbereitung mittels trockener Veraschung in Anl. an ASU L 07.00-56:2000-07	< 0,01	g/100 g
Natriumchlorid (Salz)	berechnet aus Natrium (Na * 2,5)	< 0,03	g/100 g
Brennwert (aus den o.g. Inhaltsstoffen)	berechnet gemäß Art. 31 Abs. 1 Verordnung (EU) Nr. 1169/2011	1.527	kJ/100 g
		365	kcal/100 g

Hinweis:

Die vorliegende Reihenfolge der Parameter im Prüfbericht entspricht nicht den rechtlichen Vorgaben gemäß Art. 34 Abs. 1 der Verordnung (EU) Nr. 1169/2011 (Lebensmittelinformations-Verordnung, LMIV). Die Angabe der Analysenwerte entspricht nicht den Rundungsleitlinien des Leitfadens der EU vom Dezember 2012 (Bezug auf die Festlegung von Toleranzen für auf dem Etikett angegebene Nährwerte). Der Brennwert wurde ohne Ballaststoffe, organische Säuren, Salatrims, Erythritol, Ethylalkohol oder mehrwertige Alkohole berechnet.

Abbildung 35: Produktspezifikation Hanfmehl (Hainich Hanf Industries, 2022)

Produktspezifikation / Product specification

Erbsenprotein 80 % / Pea Protein 80 %

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



Typische Nährwerte / Typical nutritional values	Einheit / Unit	Methode / Method	Spezifikation / Specification
Energiegehalt / energy value	kcal	berechnet	--
Proteingehalt (l.Tr.) / protein value (dry matter)	g / 100 g	§ 64 LFGB L 17.00-15 ² TM	min. 80
Kohlenhydrate / carbohydrates	g / 100 g	berechnet	--
davon Zucker / thereform 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 13.00-27/2 ²	--
Ballaststoffe / fibers	g / 100 g	§ 64 LFGB L 00.00-18 ²	--
Salzgehalt aus Natrium / salt value	g / 100 g	berechnet	--
Feuchtigkeit / humidity	g / 100 g	§ 64 LFGB L 17.00-1 ²	max. 10
Aschegehalt / ash content	g / 100 g	§ 64 LFGB L 17.00-3 ²	max. 8.0
Mikrobiologie / Microbiology			
Gesamtkeimzahl / total bacterial count	KBE / g	DIN EN ISO 4833-1 ²	max. 30.000
Schimmel / Moulds	KBE / g	§ 64 LFGB L 01.00-37 ²	max. 50
Hefen / Yeast	KBE / g	§ 64 LFGB L 01.00-37	max. 50
Enterobakterien / enterobacteria	KBE / g	DIN EN ISO 21528-2 ²	max. 10
Salmonellen / salmonella	/25 g	§ 64 LFGB L 00.00-20 ²	negativ
E.coli / escherichia coli	KBE / g	DIN EN ISO 16649-2 ²	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
Arsen / Arsenic	mg/kg	DIN EN 15763	max. 0.2
Schwermetalle / Cadmium / Cadmium	mg/kg	DIN EN 15763	max. 0.2
Heavy Metals: 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

Abbildung 36: Produktspezifikation Erbsenproteinisolat (OPW Ingredients GmbH, 2020)

Faba-Bohnen-Mehl

gültig ab: 21. Apr 20
Version: 007

1. <u>Verkehrsbezeichnung:</u>	Bohnenmehl
2. <u>Beschreibung:</u>	Faba Bohnen Mehl wird aus intensiv gereinigten und geschälten so genannten Ackerbohnen (<i>Vicia faba</i>) durch Vermahlung gewonnen. Es ist unter hygienisch einwandfreien Bedingungen in einer den Erfordernissen entsprechenden Produktion hergestellt worden. Das Produkt enthält keine weiteren Zutaten oder Zusatzstoffe, ist frei von Schädlingsbefall und ist von Natur aus gluten- und laktosefrei. Das Produkt ist nativ.
3. <u>Qualitätsdaten:</u>	
3.1 <u>Physikalische Daten:</u>	
<u>Aussehen / Beschaffenheit:</u>	creme - weiß farbenes feines Pulver.
<u>Geruch / Geschmack:</u>	neutral, atypisch nach Bohnen, nicht muffig, schimmelig oder chemisch
<u>Feuchtigkeit (Gew.-%):</u>	max. 16,0
<u>Fremdbesatz (FB) (Gew.-%):</u>	max. 0,01
<u>Mineralischer FB (Gew.-%):</u>	max. 0,001
<u>Partikelgröße:</u>	> 250 µm max. 5 % < 250 µm min. 95 %
3.2 <u>Chemische Daten:</u>	
<u>Pestizide, Schwermetalle</u>	
<u>Schimmelpilzgifte:</u>	Gemäß EG Verordnungen zur Festsetzung der Höchstwerte von Schadstoffen und für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln.
<u>Nährwerte:</u>	Angaben für 100g Trockenprodukt
<u>Brennwert (kJ) / (kcal):</u>	1443 / 341
<u>Fett (g):</u>	2,1
<u>davon gesättigte Fettsäuren (g):</u>	0,5
<u>Kohlenhydrate (g):</u>	49
<u>davon Zucker (g):</u>	2,0
<u>Ballaststoffe (g):</u>	6,4
<u>Eiweiß (g):</u>	29
<u>Salz (g):</u>	0,03
	Die Nährwerte unterliegen den natürlichen Schwankungen eines Naturproduktes
3.3 <u>Mikrobiologische Daten:</u>	Angaben in Keim bestimmende Einheiten KBE / g
<u>aerobe Gesamtkeime:</u>	< 1.000.000
<u>Enterobacteriaceen:</u>	< 10.000
<u>Escherichia coli:</u>	< 10
<u>Hefen:</u>	< 1.000
<u>Schimmelpilze:</u>	< 10.000
<u>Bacillus cereus:</u>	< 1.000
<u>Salmonellen:</u>	negativ in 25 g Produkt
3.4 <u>GVQ Thematik:</u>	Das Produkt ist gemäß den geltenden europäischen und nationalen Rechtsvorschriften über gentechnisch veränderte Organismen nicht kennzeichnungspflichtig.
4. <u>Lagerbedingungen:</u>	vor Wärme und Schädlingen geschützt, trocken und dunkel lagern.
5. <u>Mindesthaltbarkeit & Verpackung</u>	20 kg Papiersack: 14 Monate MHD, 6 Monate RLZ 700 kg Big Bag: 6 Monate MHD, 4 Monate RLZ bei oben genannten Lagerbedingungen

Abbildung 37: Produktspezifikation Faba-Bohnen-Mehl (Müller's Mühle, 2020)

- Prozess- und Produktparameter

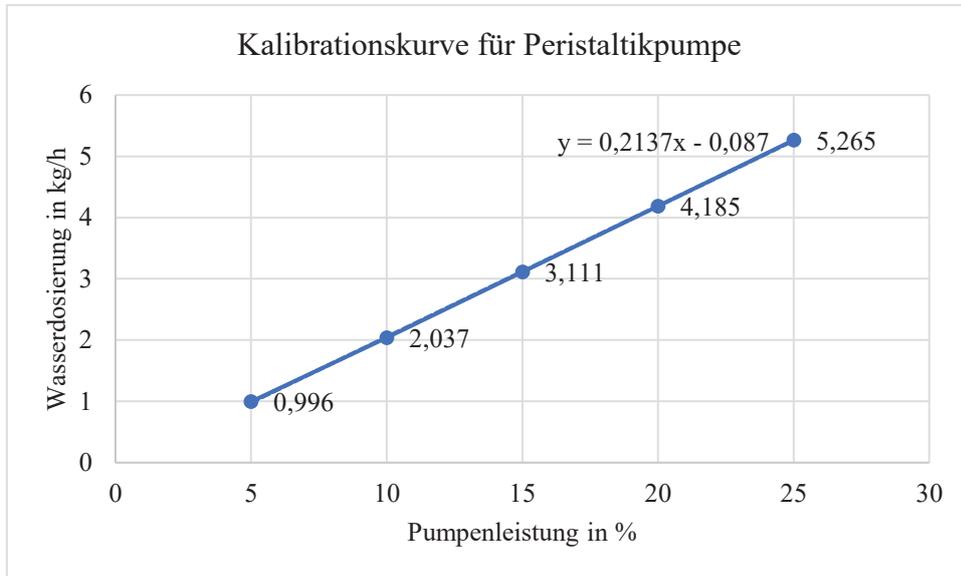


Abbildung 38: Kalibrationskurve für Peristaltikpumpe (nach Wolmann, 2022)

Tabelle 10: Ermittelte Prozessparameter des 1. Versuches - 65% Protein, 42,9 % Hanf

Probe	n [min ⁻¹]	T _E [°C]	p [bar]	SME [kWh/kg]	DM [%]
1	600	150	26	0,094	35
2	600	153	36	0,105	38
3	600	152	43	0,118	41
4	600	161	37	0,128	43
5	800	157	26	0,121	34
6	800	161	30	0,133	36
7	800	166	36	0,149	39
8	800	169	41	0,163	41
9	800	159	21	0,103	30
10	800	148	15	0,097	29
11	1000	149	15	0,121	29
12	1000	154	20	0,129	30
13	1000	160	25	0,143	32

14	1000	167	27	0,152	33
15	600	146	18	0,078	30

Tabelle 11: Ermittelte Produktparameter des 1. Versuches – 65 % Protein, 42,9 % Hanf

Probe	n [min ⁻¹]	PD [kg/h]	SD [g/l]	d _E [mm]	EI	Feuchte [%]
1	600	25,04	79,70	5,56	1,85	5,02
2	600	24,19	62,61	5,66	1,89	5,01
3	600	23,33	34,60	6,77	2,26	5,06
4	600	22,48	32,13	7,68	2,56	4,97
5	800	25,04	53,05	6,02	2,01	4,62
6	800	24,19	41,62	6,26	2,09	4,39
7	800	23,33	31,32	5,92	1,97	4,88
8	800	22,48	33,57	7,05	2,35	4,53
9	800	25,90	59,56	5,83	1,94	5,18
10	800	26,75	89,83	5,59	1,86	4,84
11	1000	26,75	81,08	5,62	1,87	4,71
12	1000	25,90	54,99	6,64	2,21	4,89
13	1000	25,04	40,75	6,18	2,06	5,11
14	1000	24,19	32,40	5,85	1,95	4,82
15	600	25,90	91,94	4,73	1,58	4,77

Tabelle 12: Ermittelte Produktparameter (Farbe) des 1. Versuches - 65 % Protein, 42,9 % Hanf

Probe	n [min ⁻¹]	PD [kg/h]	Farbmessung		
			L*	a*	b*
1	600	25,04	46,37	5,36	23,37
2	600	24,19	48,59	5,35	23,74
3	600	23,33	53,84	5,19	25,1
4	600	22,48	59,02	5,27	25,95

5	800	25,04	50,31	5,26	24,42
6	800	24,19	53,5	5,24	25,59
7	800	23,33	57,32	5,38	26,56
8	800	22,48	59,77	5,85	26,74
9	800	25,90	47,04	5,52	24,01
10	800	26,75	42,64	5,43	22,51
11	1000	26,75	43,89	5,4	23,09
12	1000	25,90	46,84	5,52	24,11
13	1000	25,04	52,27	5,39	25,81
14	1000	24,19	54,61	5,34	26,27
15	600	25,90	43,37	5,05	21,78

Tabelle 13: Ermittelte Prozessparameter des 2. Versuches - 65% Protein, 30 % Hanf

Probe	n [min ⁻¹]	T _E [°C]	p [bar]	SME [kWh/kg]	DM [%]
1	600	143	24	0,075	30
2	600	146	20	0,083	32
3	600	147	26	0,094	35
4	600	151	38	0,105	38
5	600	154	46	0,115	40
6	800	146	13	0,097	29
7	800	149	18	0,103	30
8	800	154	26	0,118	33
9	800	160	36	0,133	36
10	800	165	38	0,145	38

Tabelle 14: Ermittelte Produktparameter des 2. Versuches – 65 % Protein, 30 % Hanf

Probe	n [min ⁻¹]	PD [kg/h]	SD [g/l]	d _E [mm]	EI	Feuchte [%]
1	600	26,75	115,30	4,42	1,47	5,73
2	600	25,90	98,66	4,05	1,35	4,97
3	600	25,04	70,55	5,43	1,81	4,18
4	600	24,19	48,91	6,00	2,00	4,31
5	600	23,33	26,72	7,90	2,63	4,67
6	800	26,75	101,39	4,84	1,61	5,18
7	800	25,90	85,22	6,32	2,11	4,49
8	800	25,04	45,68	6,46	2,15	4,16
9	800	24,19	34,37	5,70	1,90	5,21
10	800	23,33	24,57	6,18	2,06	5,38

Tabelle 15: Ermittelte Produktparameter (Farbe) des 2. Versuches – 65 % Protein, 30 % Hanf

Probe	n [min ⁻¹]	PD [kg/h]	Farbmessung		
			L*	a*	b*
1	600	26,75	43,54	5,25	21,44
2	600	25,90	45,15	5,08	21,58
3	600	25,04	49,78	5,13	23,56
4	600	24,19	52,32	5,06	24,11
5	600	23,33	60,11	4,75	26,13
6	800	26,75	43,52	5,26	21,09
7	800	25,90	47,1	5,06	22,37
8	800	25,04	53,11	4,95	24,39
9	800	24,19	57,36	4,74	25,39
10	800	23,33	61,94	4,62	25,98

Tabelle 16: Ermittelte Prozessparameter des 3. Versuches – 50,7 % Protein, 40 % Hanf

Probe	n [min⁻¹]	T_E [°C]	p [bar]	SME [kWh/kg]	DM [%]
1	600	142	21	0,091	34
2	600	146	39	0,105	38
3	600	153	40	0,109	38
4	600	161	50	0,143	48
5	800	163	45	0,131	43
6	800	145	36	0,077	37
7	800	147	49	0,088	41
8	800	156	43	0,096	43
9	800	156	49	0,105	46
10	800	156	28	0,129	35
11	1000	163	32	0,142	37
12	1000	166	32	0,151	38

Tabelle 17: Ermittelte Produktparameter des 3. Versuches – 50,7 % Protein, 40 % Hanf

Probe	n [min⁻¹]	PD [kg/h]	SD [g/l]	d_E [mm]	EI	Feuchte [%]
1	600	25,04	112,38	4,21	1,40	4,33
2	600	24,19	57,44	4,74	1,58	4,10
3	600	23,33	40,95	5,79	1,93	4,39
4	600	22,48	30,67	7,14	2,38	4,27
5	800	22,05	28,76	6,47	2,16	4,28
6	800	24,19	102,11	3,69	1,23	3,81
7	800	23,33	67,08	4,98	1,66	3,75
8	800	22,48	45,30	5,00	1,67	3,75
9	800	22,05	36,51	6,55	2,18	4,35
10	800	24,19	46,07	5,84	1,95	4,04
11	1000	23,33	34,89	5,83	1,94	3,60
12	1000	22,48	26,85	6,82	2,27	4,31

Tabelle 18: Ermittelte Produktparameter (Farbe) des 3. Versuches – 50,7 % Protein, 40 % Hanf

Probe	n [min ⁻¹]	PD [kg/h]	Farbmessung		
			L*	a*	b*
1	600	25,04	47,63	4,71	23,39
2	600	24,19	56,24	4,33	25,39
3	600	23,33	58,74	4,31	25,74
4	600	22,48	65,52	3,91	26,09
5	800	22,05	63,87	4,48	26,06
6	800	24,19	53,12	4,22	24,01
7	800	23,33	57,50	4,00	24,90
8	800	22,48	62,75	3,89	25,73
9	800	22,05	64,02	4,09	25,99
10	800	24,19	55,17	4,42	24,61
11	1000	23,33	58,06	4,58	25,72
12	1000	22,48	62,58	4,73	26,27

Tabelle 19: Ermittelte Prozessparameter des 4. Versuches – 43 % Protein, 40 % Hanf

Probe	n [min ⁻¹]	T _E [°C]	p [bar]	SME [kWh/kg]	DM [%]
1	600	150	30	0,100	36
2	600	153	37	0,112	39
3	600	163	45	0,119	40
4	600	145	30	0,073	35
5	600	146	42	0,082	38
6	800	158	42	0,087	39

Tabelle 20: Ermittelte Produktparameter des 4. Versuches – 43 % Protein, 40 % Hanf

Probe	n [min⁻¹]	PD [kg/h]	SD [g/l]	d_E [mm]	EI	Feuchte [%]
1	600	24,19	122,18	3,12	1,04	3,48
2	600	23,33	34,63	5,37	1,79	4,02
3	600	22,48	53,03	4,61	1,54	3,55
4	600	24,19	81,21	4,43	1,48	4,25
5	600	23,33	81,79	4,08	1,36	3,76
6	800	22,48	62,18	5,57	1,86	3,37

Tabelle 21: Ermittelte Produktparameter (Farbe) des 4. Versuches – 43 % Protein, 40 % Hanf

Probe	n [min⁻¹]	PD [kg/h]	Farbmessung		
			L*	a*	b*
1	600	24,19	51,47	4,06	23,29
2	600	23,33	64,26	3,86	25,91
3	600	22,48	61,99	3,74	25,42
4	600	24,19	58,12	3,94	25,49
5	600	23,33	58,94	3,81	25,27
6	800	22,48	62,51	3,60	25,49

- Sensorik



Abbildung 39: Extrudate Versuch 1, Probe 1-15



Abbildung 40: Extrudate Versuch 2, Probe 1-10



Abbildung 41: Extrudate Versuch 3, Probe 1-12



Abbildung 42: Extrudate Versuch 4, Probe 1-6

Prüfverfahren:

Einfach beschreibende Prüfung

Einzelprotokoll

Name:

Prüfer-Nr.:

Prüfgut:

Datum:

Prüfanleitung:

Beschreiben Sie bei dem Ihnen vorliegenden Prüfgut die vorgegebenen Merkmale.

Merkmale	Beschreibungen
Aussehen/ Farbe	
Aussehen/ Form	
Geruch	
Geschmack	
Textur/ Konsistenz	
Summe der Beschreibungen	

Abbildung 43: Prüfformular für die Einfach beschreibende Prüfung nach DIN 10964

Prüfverfahren:
Rangordnungsprüfung

Einzelprotokoll
Name:
Prüfer-Nr.:
Prüfgut:
Datum:

Prüfanleitung:
Bringen Sie die Ihnen vorliegenden Proben in folgende Reihenfolge.

Probennr.: _____

fleischähnlich  fleischunähnlich

Abbildung 44: Prüfformular für die Rangordnungsprüfung nach DIN 10963

Tabelle 22: Merkmalsbeschreibungen der Einfach beschreibenden Prüfung Versuch 1

Probe/ Merkmale	V1P2 (148)	V1P7 (359)	V1P9 (954)	V1P13 (648)	V1P15 (835)
Aussehen/ Farbe	braun (6) grau (6)	braun (6) grau (6)	braun (6) grau (6)	braun (6) grau (6)	braun (6) grau (6) dunkel (2)
Aussehen/ Form	länglich (5) texturiert (4) schwammig (2) zylinderförmig (1)	länglich (5) texturiert (4) schwammig (2) zylinderförmig (1)	länglich (5) texturiert (4) schwammig (2) zylinderförmig (1)	länglich (5) texturiert (4) schwammig (2) zylinderförmig (1)	texturiert (3) fest (2) strukturiert (1) faserig (2) zerrissen (1) länglich (2)
Geruch	grasig (3) holzig (1) muffig (2) umami (1) pflanzlich (1) neutral (3)				
Geschmack	grasig (4) muffig (2) pflanzlich (2) wässrig (2)	grasig (4) muffig (2) pflanzlich (2) wässrig (2)	grasig (4) muffig (2) pflanzlich (2)	grasig (4) muffig (2) pflanzlich (2)	grasig (4) muffig (2) pflanzlich (2) mehlig (1) fleischig (1)
Textur/ Konsistenz	schwammig (2) gummiartig (5) wässrig (4) zäh (3)	schwammig (4) gummiartig (5) wässrig (4)	schwammig (3) gummiartig (5) wässrig (3)	schwammig (3) gummiartig (5) wässrig (3)	gummiartig (2) fest (2) zäh (3) körnig (3) kratzig (1)
Summe der Begriffe	59	58	54	54	57

Tabelle 23: Merkmalsbeschreibungen der Einfach beschreibenden Prüfung Versuch 2

Probe/ Merkmale	V2P1 (315)	V2P5 (531)	V2P9 (428)
Aussehen/ Farbe	braun (6) grau (6) dunkel (2)	braun (6) grau (6)	braun (6) grau (6)
Aussehen/ Form	texturiert (4) fest (3) faserig (2) zerrissen (1) länglich (3)	länglich (4) luftig (1) texturiert (4) schwammig (3) zylinderförmig (2)	länglich (4) luftig (1) texturiert (4) schwammig (2) zylinderförmig (2)

Geruch	grasig (4) holzig (1) muffig (2) pflanzlich (3) neutral (3)	grasig (4) holzig (1) muffig (2) pflanzlich (3) neutral (3)	grasig (4) holzig (1) muffig (2) pflanzlich (3) neutral (3)
Geschmack	grasig (3) holzig (1) muffig (3) pflanzlich (4)	grasig (4) muffig (3) pflanzlich (4)	grasig (4) muffig (3) pflanzlich (4)
Textur/ Konsistenz	fest (2) zäh (3) körnig (2) gummiartig (3)	schwammig (5) gummiartig (5) wässrig (3)	schwammig (4) gummiartig (5) wässrig (3)
Summe der Begriffe	61	63	61

Tabelle 24: Merkmalsbeschreibungen der Einfach beschreibenden Prüfung Versuch 3

Probe/ Merkmale	V3P1 (620)	V3P7 (876)	V3P11 (496)
Aussehen/ Farbe	braun (6) grau (6) dunkel (2)	braun (6) grau (6)	braun (6) grau (6)
Aussehen/ Form	texturiert (4) fest (2) strukturiert (2) faserig (4) zerrissen (1) länglich (4)	länglich (5) luftig (1) texturiert (5) strukturiert (1) schwammig (1)	länglich (5) luftig (1) texturiert (5) strukturiert (1) schwammig (1)
Geruch	grasig (4) holzig (1) muffig (3) pflanzlich (3) neutral (2)	grasig (4) holzig (1) muffig (3) pflanzlich (2) neutral (3)	grasig (4) holzig (1) muffig (3) pflanzlich (2) neutral (3)
Geschmack	grasig (4) muffig (2) pflanzlich (3) neutral (3)	grasig (4) muffig (2) pflanzlich (3) neutral (3)	grasig (4) muffig (2) pflanzlich (3) neutral (3)
Textur/ Konsistenz	gummiartig (1) fest (2) zäh (3) körnig (2) weich (1) kratzig (1)	schwammig (5) gummiartig (4) wässrig (3)	schwammig (5) gummiartig (5) wässrig (4)
Summe der Begriffe	66	62	64

Tabelle 25: Merkmalsbeschreibungen der Einfach beschreibenden Prüfung Versuch 4

Probe/ Merkmale	V4P1 (580)	V4P6 (971)
Aussehen/ Farbe	braun (6) grau (6) dunkel (2)	braun (6) grau (6)
Aussehen/ Form	texturiert (4) fest (2) strukturiert (2) faserig (2) zerrissen (1) länglich (3)	länglich (5) luftig (1) texturiert (5) schwammig (1)
Geruch	grasig (3) holzig (1) muffig (3) umami (1) pflanzlich (1) neutral (3)	grasig (3) holzig (1) muffig (3) umami (1) pflanzlich (1) neutral (3)
Geschmack	grasig (4) holzig (2) muffig (3) pflanzlich (4)	grasig (4) holzig (2) muffig (3) pflanzlich (4)
Textur/ Konsistenz	fest (3) zäh (3) körnig (2) gummiartig (1)	schwammig (4) gummiartig (5) wässrig (3)
Summe der Begriffe	62	61

Probennr.:	V1 P2	V1 P7	V1 P9	V1 P13	V1 P15	V2 P1	V2 P5	V2 P9	V3 P1	V3 P7	V3 P11	V4 P1	V4 P6
Rangplatz- Bewertung der Prüfer	2	2	3	4	1	1	1	2	1	2	2	1	2
	2	3	4	4	1	1	2	2	1	2	2	1	2
	2	3	4	5	1	1	2	3	1	2	3	1	2
	2	3	4	5	1	1	2	3	1	2	3	1	2
	2	3	5	5	1	1	3	3	1	3	3	1	2
	3	4	5	5	1	2	3	3	1	3	3	1	2
Summe	13	18	25	28	6	7	13	16	6	14	16	6	12
Rangplatz	2	3	4	5	1	1	2	3	1	2	3	1	2

Abbildung 45: Ergebnisse der Rangordnungsprüfung V1-V4

Erklärung über die selbstständige Anfertigung der Arbeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Ich erkläre weiterhin, dass die abgegebenen elektronischen Fassungen mit der eingereichten Arbeit übereinstimmen.

Neubrandenburg, 03.02.2023

Ort, Datum

Unterschrift