



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Hochschule Neubrandenburg
Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften
Studiengang M. Sc. Lebensmittel- und Bioprodukttechnologie
WS 2020/2021 - SS 2021

Masterarbeit

Entwicklung eines Fleischersatzproduktes aus gemahlene n Hülse nfrüchten

Verfasserin: Hardini Gunawan

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

URN: urn:nbn:de:gbv:519-thesis2020-0164-7

Abstract

The development of a meat substitute made from ground legumes. In this work the pea flour or lentil flour with the addition of pea protein isolate was examined by extrusion process under twin screw extruder, whether sensory can be accepted. Different proportions of pea protein isolate were used for the experiments. The recipe with the best sensory assessment of the popularity of the cooked extrudate was optimized with the independent extruder parameters such as the screw speed, the addition of water and the solids dosage in order to achieve the best sensory assessment of the popularity of the cooked extrudate. The results show that the pea flour or lentil flour with the addition of pea protein isolate can lead to sensory acceptable products. The higher the pea protein content, the better the sensory assessment of the popularity of the cooked extrudate such as firm texture when boiled in boiled water. With increasing water content, increasing screw speed and increasing solid dosage, the sensory assessment of the popularity of the cooked extrudate increases. The sensory assessment of the popularity of the cooked extrudate pea flour is better than lentil flour especially in maintaining the texture of the extrudate.

Danksagung

Ich bedanke mich an Herr Professor Meurer und Herr Professor John, dass sie mir ermöglicht haben so ein interessantes und bedeutsames Thema zu bearbeiten und für ihre Hilfe. Vielen Dank an das Team der Hochschule Neubrandenburg besonders die Wissenschaftlichen Mitarbeitern und Dominique für ihre Hilfe.

Besondere Dank für meiner Familie und Freunden, dass sie Rücksicht auf mich genommen und mir geholfen haben.

Inhaltsverzeichnis

Deckblatt

Abstract

Danksagung

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen, Symbole und Abkürzungen

1.	Einleitung	1
2.	Stand der Wissenschaft und Technik	2
2.1	Hülsenfruchten	2
2.2	Fleischersatzprodukt durch Extrusion-Verfahren	2
3.	Material und Methoden	3
3.1	Versuchsplan I	3
3.2	Versuchsplan II	4
3.3	Versuchsplan III	5
3.4	Versuchstag IV	6
3.5	Versuchstag V	8
3.6	Versuchstag VI	8
3.7	Versuchstag VII	9
3.8	Material des Versuches	11
3.9	Durchführung und Methoden	11
4.	Ergebnisse	15
4.1	Versuchstag I	15
4.2	Versuchstag II	19
4.3	Versuchstag III	23
4.4	Versuchstag IV	26
4.5	Versuchstag V	30
4.6	Versuchstag VI	34
4.7	Versuchstag VII	38
5.	Abschlussdiskussion	43
6.	Zusammenfassung	47
7.	Literatur	48
8.	Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	50
9.	Verzeichnis der Anlage	54

Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen, Symbole und Abkürzungen

Symbol	Bezeichnung	Einheit
SME	Spezifische mechanische Energie	kWh/kg
n	Schneckendrehzahl	min^{-1}
n_{\max}	Maximale Schneckendrehzahl	min^{-1}
P	Motorleistung	kW
M	Drehmoment	%
\dot{m}	Produkt-Durchsatz	kg/h
t	Temperatur	$^{\circ}\text{C}$
n_{ZGF}	Messerdrehzahl	min^{-1}
$d_E; d_D$	Extrudat-Durchmesser, Duse-Durchmesser	mm
E	Expansionindex	
\bar{x}	Mittelwert	
σ	Standardabweichung	

Abkürzungen

EM	Erbsenmehl
LM	Linsenmehl
EPI	Erbsenproteinisolat
PN	Probennummer
PL	Pumpenleistung
WD	Wasserdosierung
FD	Feststoffdosierung
PD	Produkt-Durchsatz
WZ	Wasserzugabe
DM	Drehmoment
SD	Schüttdichte
rpm	revolutions per minute (Umdrehungen pro Minute)

1. Einleitung

Um ein Fleischersatzprodukt mit faseriger Textur herzustellen, wird ein Proteingehalt zwischen 50 % und 70 % benötigt. Der Extrusionsprozess wandelt Lebensmittelmaterialien wie das Protein, die Stärke, das Salz und die Ballaststoffe in charakteristische Produkte wie die Textur, die Struktur und die Expansion um. Die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Endproduktes werden während der Extrusion durch verschiedene Parameter beeinflusst, nämlich der Protein- und der Stärkegehalt im Rohmaterial, die Wasserzugabe, die Schneckendrehzahl und die Zylindertemperatur. Die Steuerung des texturiertes Pflanzenprotein-Extrusionsprozesses bleibt eine große Herausforderung. Der Extrusionskochprozess erhöht auch die Verdaulichkeit des Endprodukts und reduziert die enthaltenen Anti-Ernährungsfaktoren im Rohstoff (Zhang et al, 2007; Beck, 2017; Zhang et al., 2018).

Die Erbsen und die Linsen sind die Hülsenfrüchte, die reich an Nährstoffen sind, nämlich Eiweiß und Ballaststoffe (Cabrejas, 2019). Die Erbsenprotein hat eine geringe Allergenität, ist nahrhaft, ist ein nicht genetisch veränderter Organismus (GVO) und kann in einem gemäßigteren Klima wachsen als Sojabohnen. Die Erbsenprotein wird zunehmend als Alternative zu Sojaprotein verwendet. (Lam et al., 2016).

Das Ziel dieser Masterarbeit war die Entwicklung eines Fleischersatzprodukts aus gemahlene Hülsenfrüchten. In dieser Arbeit wurde die Erbsenmehl oder Linsenmehl mit Zusatz von Erbsenproteinisolat durch Extrusion-Verfahren unter Doppelschneckenextruder, ob sensorisch akzeptiert werden kann. Der verschiedene Anteil von Erbsenproteinisolat wurde für die Versuche eingesetzt. Die Rezeptur mit bester sensorischer Beurteilung der Beliebtheit des gekochten Extrudats wurde mit dem unabhängigen Extruderparameter wie die Schneckendrehzahl, die Wasserzugabe und die Feststoffdosierung optimiert, um die beste sensorische Beurteilung der Beliebtheit des gekochten Extrudats zu erreichen. Die Prozessparameter während Extrusion wie die Temperatur und die SME wurde genommen und zur Produkteigenschaften wie die Schüttdichte, die L^{*}-, a^{*}-, b^{*}-Werte, die Texturanalyse wurde gemessen sowie eine sensorische Beurteilung der Beliebtheit des gekochten Extrudats wurde durchgeführt.

2. Stand der Wissenschaft und Technik

2.1 Hülsenfruchten

Linsen (*Lens culinaris*) enthalten ca. 24,3 % bis 30,2 % Eiweiß, Stärke, Ballaststoffe und Mikronährstoffe (Cabrejas, 2019). Linsen hat unterschiedliche Farbe wie rote Linsen und grüne Linsen oder die auftretende Größe der Samenkörner. (Erbersdobler et al, 2015).

Erbsen (*Pisum sativum*) enthalten ca. 18 % bis 30 % Eiweiß, Ballaststoffe, Vitamine und Mineralstoffe (Cabrejas, 2019). Erbsenmehl enthält Eiweiß, Aminosäuren und viele Ballaststoffe, so dass es ein Lebensmittelbestandteil sein kann, der nicht nur vom Menschen, sondern auch als Tierfutter verzehrt wird. Diese Pflanze ist am längsten bekannt. haben 250 Arten mit unterschiedlichen Größen und Farben wie grün bis gelb (Jahreis et al, 2015; Erbersdoble et al, 2015; Diepenbrock et al, 2016).

Erbsenproteinisolat ist ein wasserlösliches Protein, das aus Erbsen gereinigt wird. Die Isolierung des Proteins erfolgte durch Auflösen von Erbsenmehl in Wasser mit einem minimal alkalischen pH-Wert mit Natronlauge. Die unlöslichen Bestandteile der Erbsenlösung wurden mit einem Dekanter abgetrennt. Dabei werden die löslichen Bestandteile durch Zentrifugation abgetrennt. Eine Ultrafiltration wurde durchgeführt, um die Proteinlösung zu konzentrieren. Das Trocknen des konzentrierten Substrats wird getrocknet, um das Proteinisolatpulver zu erhalten, so dass es als Rohmaterial für die Herstellung von Fleischersatzprodukten verwendet werden kann (Fredrikson et al, 2001).

Durch alkalische Extraktion hergestelltes Erbsenproteinisolat ergab einen Proteingehalt von 89,6%, 1,6% Fett, einen Aschegehalt von 2,6% und einen Feuchtigkeitsgehalt von 5,3% (Tömösközi et al., 2001).

2.2 Fleischersatzprodukt durch Extrusion-Verfahren

Fleischersatzprodukte oder analoges Fleisch werden üblicherweise durch Extrusion-Verfahren aus pflanzlichem Eiweiß und Stärke als Rohstoffe hergestellt. Analoges Fleisch mit geringer Feuchtigkeitsextrusion (<35%) muss vor dem Verzehr rehydriert werden und hat eine schwammige Textur (Guy, 2001).

In der Forschung von Beck et al. (2017) stellten Extrusion mit niedriger Feuchtigkeit mit Erbsenproteinisolat als Rohmaterial unter Verwendung von Doppelschneckenextruder mit verschiedenen Schneckendrehzahlen von 400 rpm bis 700 rpm, verschiedenem Feuchtigkeitsgehalt von 26 % bis 35 % und der Zylindertemperaturen von 130 °C bis 170 °C her. Die wichtige Extrudateigenschaften sind den Expansionindex, die Schüttdichte und die Produkttemperatur im Zylinder.

Die gute Qualität des Fleischersatzprodukt ist die Stabilität der Textur des Extrudats während dem Kochen im gekochten Wasser. Darüber hinaus sind physikalisch-chemische Eigenschaften wie Kraft und Steigung wichtig sind, um die Qualität von analogem Fleisch zu bestimmen (Samard et al, 2019).

Die Extrusion ist ein Kochprozess, der auf dem Mischen des Rohmaterials und dem Komprimieren basiert und durch die Schnecke und durch die Ausstoßdüse herausgeführt wird, was zu einem expandierenden Produkt führt. Der Produktionsprozess unter Verwendung von Extrusion ist bei Verbrauchern beliebt, da er eine kurze Hochtemperaturzeit aufweist, die es ermöglicht, den Produktionsprozess effektiver zu gestalten (Riaz, 2000).

3. Material und Methoden

3.1 Versuchsplan I

Der erste Versuchstag wurde am 13.11.2020 durchgeführt. Das Ziel von ersten Versuchstag ist es zu sehen, wie das Extrudat mit 51 % Proteingehalt des Rohstoffes mit verschiedenen Parametern aussieht. Die verwendete Rezeptur (siehe Tab. 1) war ein Verhältnis aus 50 % Erbsenmehl (EM) und 50 % Erbsenproteinisolat (EPI). Die Berechnung des Proteingehaltes des Extrudates steht im Anhang 1.

Tab. 1: Rezeptur des Extrudates am Versuchstag I

Menge [%]	Rohstoff	Fett [%]	Kohlenhydrate [%]	Zucker [%]	Ballaststoffe [%]	Eiweiß [%]	Salz [%]
50	EM	1,6	50,0	1,7	12,0	21,0	0,0
50	EPI	9,0	0,7	0,0	1,4	81,7	5,0
Summe	Produkt						
100	Extrudat	5,3	25,4	0,9	6,7	51,4	2,5



Abb. 1: Erste Schneckenkonfiguration (Cîrstea, 2020)

Die festgelegten Extruderparameter am ersten Versuchstag waren eine Gehäusetemperatur (Gehäuse 2: 50 °C; Gehäuse 3: 80 °C; Gehäuse 4 - 6: 130 °C), 4 Düsen mit 3 mm Durchmesser, erste Schneckenkonfiguration (siehe Abb. 1). Im Versuchstag I wurden 15 verschiedene Varianten des Extruders produziert (siehe Tab. 2). Die verwendeten Parameter wurden mit drei verschiedenen Schnecken-Drehzahlen (n), vier verschiedenen Pumpenleistungen für die Wasserdosierung und zwei Feststoffdosierungen durchgeführt. Die Umrechnung von der Pumpenleistung zur Wasserdosierung und Wasserzugabe befinden sich im Anhang 2.

Tab. 2: Ablauf des Versuches am Versuchstag I

PN	n [min⁻¹]	PL [%]	WD [kg/h]	FD [kg/h]	PD [kg/h]	WZ [%]
1	400	30	7,1	15	22,1	32
2	400	25	5,9	15	20,9	28
3	400	20	4,7	15	19,7	24
4	400	15	3,5	15	18,5	19
5	600	15	3,5	15	18,5	19
6	600	20	4,7	15	19,7	24
7	600	25	5,9	15	20,9	28
8	600	30	7,1	15	22,1	32
9	800	30	7,1	15	22,1	32
10	800	25	5,9	15	20,9	28
11	800	20	4,7	15	19,7	24
12	800	15	3,5	15	18,5	19
13	800	25	5,9	20	25,9	23
14	800	20	4,7	20	24,7	19
15	800	30	7,1	20	27,1	26

3.2 Versuchsplan II

Der zweite Versuchstag wurde am 19.11.2020 durchgeführt. Das Ziel von zweiten Versuchstag ist es zu sehen, wie sich die Extrudateigenschaften mit 45 % Erbsenmehl und 55 % Erbsenproteinisolat verhalten (siehe Tab. 3)

Tab. 3: Rezeptur des Extrudates am Versuchstag II

Menge [%]	Rohstoff	Fett [%]	Kohlenhydrate [%]	Zucker [%]	Ballaststoffe [%]	Eiweiß [%]	Salz [%]
45	EM	1,6	50,0	1,7	12,0	21,0	0,0
55	EPI	9,0	0,7	0,0	1,4	81,7	5,0
Summe	Produkt						
100	Extrudat	5,7	22,9	0,8	6,2	54,4	2,8

Die festgelegten Extruderparameter am ersten Versuchstag waren eine Gehäusetemperatur (Gehäuse 2: 50 °C; Gehäuse 3: 80 °C; Gehäuse 4 - 6: 130 °C), 4 Düsen mit 3 mm Durchmesser, erste Schneckenkonfiguration und die Messer-Drehzahl 800 min⁻¹. Die verwendeten Parameter wurden mit drei verschiedenen Schnecken-Drehzahlen, vier verschiedenen Pumpenleistungen, und zwei Feststoffdosierungen durchgeführt. Im diesem Versuch wurden 9 verschiedene Extrudat-Varianten produziert (siehe Tab. 4).

Tab. 4: Ablauf des Versuches am Versuchstag II

PN	n [min ⁻¹]	PL [%]	WD [kg/h]	FD [kg/h]	PD [kg/h]	WZ [%]
1	400	30	7,1	15	22,1	32
2	400	25	5,9	15	20,9	28
3	400	20	4,7	15	19,7	24
4	600	20	4,7	15	19,7	24
5	600	25	5,9	15	20,9	28
6	600	30	7,1	15	22,1	32
7	800	30	7,1	15	22,1	32
8	800	25	5,9	15	20,9	28
9	800	20	4,7	15	19,7	24

3.3 Versuchsplan III

Der dritte Versuchstag wurde am 03.12.2020 durchgeführt. Am dritten Versuchstag ist es das Ziel, wie sich die Produkteigenschaften mit 35 % Erbsenmehl und 65 % Erbsenproteinisolat verhalten (siehe Tab. 5).

Tab. 5: Rezeptur des Extrudates am Versuchstag III

Menge [%]	Rohstoff	Fett [%]	Kohlenhydrate [%]	Zucker [%]	Ballaststoffe [%]	Eiweiß [%]	Salz [%]
35	EM	1,6	50,0	1,7	12,0	21,0	0,0
65	EPI	9,0	0,7	0,0	1,4	81,7	5,0
Summe	Produkt						
100	Extrudat	6,4	18,0	0,6	5,1	60,5	3,3



Abb. 2: Zweite Schneckenkonfiguration (Cîrstea, 2020)

Die festgelegten Extruderparameter am dritten Versuchstag waren eine Gehäusetemperatur (Gehäuse 2: 50 °C; Gehäuse 3: 80 °C; Gehäuse 4 - 6: 150 °C), 4 Düsen mit 3 mm Durchmesser, zweite Schneckenkonfiguration (siehe Abb. 2), und die Messer-Drehzahl 800 min⁻¹. Im dritten Versuchstag wurden vier Variationen von Drehzahl, zwei Variationen der Wasserdosierung und drei Variationen der Feststoffdosierung durchgeführt. Im diesem Versuch wurden 18 verschiedene Proben des Extruders extrudiert (siehe Tab. 6). Das Endprodukt wurde im Heißluftbackofen (60 °C, 30 min) getrocknet.

Tab. 6: Ablauf des Versuches am Versuchstag III

PN	n [min ⁻¹]	PL [%]	WD [kg/h]	FD [kg/h]	PD [kg/h]	WZ [%]
1	600	25	5,9	15	20,9	28
2	600	20	4,7	15	19,7	24
3	800	20	4,7	15	19,7	24
4	800	25	5,9	15	20,9	28
5	1000	25	5,9	15	20,9	28
6	1000	20	4,7	15	19,7	24
7	1000	13,3	3,1	10	13,1	24
8	1000	16,7	3,9	10	13,9	28
9	800	16,7	3,9	10	13,9	28
10	800	13,3	3,1	10	13,1	24
11	600	13,3	3,1	10	13,1	24
12	600	16,7	3,9	10	13,9	28
13	400	16,7	3,9	10	13,9	28
14	400	13,3	3,1	10	13,1	24
15	400	20	4,7	15	19,7	24
16	400	25	5,9	15	20,9	28
17	600	33,4	7,9	20	27,9	28
18	600	26,6	6,3	20	26,3	24

3.4 Versuchstag IV

Der vierte Versuchstag wurde am 26.01.2021 durchgeführt. Der vierte Versuchstag zielte darauf ab, die Produkteigenschaften mit Linsenmehl (LM) und Erbsenproteinisolat (EPI) mit der zweiten Schnecken-Konfiguration zu untersuchen.

In diesem Versuch wurden zwei verschiedene Rezepturen verwendet. Die erste Rezeptur verwendet eine Zusammensetzung aus 45 % Linsenmehl und 55 % Erbsenproteinisolat mit einem Proteingehalt von 56 % (siehe Tab. 7). Die erste Rezeptur wurde für die Probennummern von 1 bis 10 verwendet (siehe Tab. 9).

Tab. 7: Erste Rezeptur des Extrudates am Versuchstag IV

Menge [%]	Rohstoff	Fett [%]	Kohlenhydrate [%]	Zucker [%]	Ballaststoffe [%]	Eiweiß [%]	Salz [%]
45	LM	1,4	49,0	1,2	7,0	26,0	0,0
55	EPI	9,0	0,7	0,0	1,4	81,7	5,0
Summe	Produkt						
100	Extrudat	5,6	22,4	0,5	3,9	56,6	2,8

Die zweite Rezeptur enthält 35 % Linsenmehl und 65 % Erbsenproteinisolat mit einem Proteingehalt von 62 % (siehe Tab. 8). Die zweite Rezeptur wurde für die Probennummern von 11 bis 20 verwendet (siehe Tab. 9).

Tab. 8: Zweite Rezeptur des Extrudates am Versuchstag IV

Menge [%]	Rohstoff	Fett [%]	Kohlenhydrate [%]	Zucker [%]	Ballaststoffe [%]	Eiweiß [%]	Salz [%]
35	LM	1,4	49,0	1,2	7,0	26,0	0,0
65	EPI	9,0	0,7	0,0	1,4	81,7	5,0
Summe	Produkt						
100	Extrudat	6,3	17,6	0,4	3,4	62,2	3,3

Die verwendeten Extruderparameter waren eine Gehäusetemperatur (Gehäuse 2: 50 °C; Gehäuse 3: 80 °C; Gehäuse 4 - 6: 150 °C), 4 Düsen mit 3 mm Durchmesser, zweite Schneckenkonfiguration und die Messer-Drehzahl 800 min⁻¹. An diesem Versuchstag wurden drei verschiedene Drehzahlen, drei unterschiedliche Wasserdosierungen und eine Feststoffdosierung von 10 kg/h durchgeführt. Dieser Versuch ergab 20 Proben mit zwei verschiedenen Rezepturen. Das Endprodukt wurde im Heißluftbackofen (60 °C, 30 min) getrocknet.

Tab. 9: Ablauf des Versuches am Versuchstag IV

PN	n [min ⁻¹]	PL [%]	WD [kg/h]	FD [kg/h]	PD [kg/h]	WZ [%]
Verwendete Rezeptur aus aus 45 % Linsenmehl und 55 % Erbsenproteinisolat						
1	600	16,7	3,9	10	13,9	28
2	600	13,3	3,1	10	13,1	24
3	600	10	2,3	10	12,3	19
4	800	10	2,3	10	12,3	19
5	800	13,3	3,1	10	13,1	24
6	800	16,7	3,9	10	13,9	28
7	1000	16,7	3,9	10	13,9	28
8	1000	13,3	3,1	10	13,1	24
9	1000	10	2,3	10	12,3	19
10	800	20	4,7	10	14,7	32
Verwendete Rezeptur aus aus 35 % Linsenmehl und 65 % Erbsenproteinisolat						
11	600	16,7	3,9	10	13,9	28
12	600	13,3	3,1	10	13,1	24
13	600	10	2,3	10	12,3	19
14	800	10	2,3	10	12,3	19
15	800	13,3	3,1	10	13,1	24
16	800	16,7	3,9	10	13,9	28
17	1000	16,7	3,9	10	13,9	28
18	1000	13,3	3,1	10	13,1	24
19	1000	10	2,3	10	12,3	19
20	800	20	4,7	10	14,7	32

3.5 Versuchstag V

Der fünfte Versuchstag wurde am 09.02.2021 durchgeführt. Der fünfte Versuchstag zielte darauf ab, die Eigenschaften des Extrudats mit einer zweiten Schnecken-Konfiguration und einer verwendeten Rezeptur von 35 % Erbsenmehl und 65 % Erbsenproteinisolat (siehe Tab. 10) zu untersuchen.

Tab. 10: Rezeptur des Extrudates am Versuchstag V

Menge [%]	Rohstoff	Fett [%]	Kohlenhydrate [%]	Zucker [%]	Ballaststoffe [%]	Eiweiß [%]	Salz [%]
35	EM	1,6	50,0	1,7	12,0	21,0	0,0
65	EPI	9,0	0,7	0,0	1,4	81,7	5,0
Summe	Produkt						
100	Extrudat	6,4	18,0	0,6	5,1	60,5	3,3

Die Extruderparameter waren eine Gehäusetemperatur (Gehäuse 2: 50 °C; Gehäuse 3: 80 °C; Gehäuse 4 - 6: 150 °C), 4 Düsen mit 3 mm Durchmesser, zweite Schneckenkonfiguration und eine Messer-Drehzahl 800 min⁻¹.

Die geänderten Extruderparameter waren die Drehzahl, die Pumpenleistung und die Feststoffdosierung. Am fünften Versuchstag wurden 13 Proben hergestellt (siehe Tab. 11). Das Endprodukt wurde im Heißluftbackofen (80 °C, 15 min) getrocknet.

Tab. 11: Ablauf des Versuches am Versuchstag V

PN	n [min ⁻¹]	PL [%]	WD [kg/h]	FD [kg/h]	PD [kg/h]	WZ [%]
1	800	20	4,7	10	14,7	32
2	800	18	4,2	10	14,2	30
3	800	16	3,7	10	13,7	27
4	800	14	3,3	10	13,3	25
5	800	12	2,8	10	12,8	22
6	800	10	2,3	10	12,3	19
7	800	8	1,8	10	11,8	15
8	800	14,4	3,3	12	15,3	22
9	800	16,8	3,9	12	15,9	25
10	800	19,2	4,5	12	16,5	27
11	800	21,6	5,1	12	17,1	30
12	800	24,0	5,6	12	17,6	32
13	600	14	3,3	10	13,3	25

3.6 Versuchstag VI

Der sechste Versuchstag wurde am 16.02.2021 durchgeführt. Ziel des Versuchs am sechsten Tag war es, die Produkteigenschaften mit der zweiten Schnecken-Konfiguration und die Rohstoffe für Erbsenmehl und Erbsenproteinisolat zu bestimmen. An diesem Versuchstag wurde eine Rezeptur von 40 % Erbsenmehl und 60 % Erbsenproteinisolat verwendet (siehe Tab. 12).

Tab. 12: Rezeptur des Extrudates am Versuchstag VI

Menge [%]	Rohstoff	Fett [%]	Kohlenhydrate [%]	Zucker [%]	Ballaststoffe [%]	Eiweiß [%]	Salz [%]
40	EM	1,6	50,0	1,7	12,0	21,0	0,0
60	EPI	9,0	0,7	0,0	1,4	81,7	5,0
Summe	Produkt						
100	Extrudat	6,0	20,4	0,7	5,6	57,4	3,0

Die festen Extruderparameter waren eine Gehäusetemperatur (Gehäuse 2: 50 °C; Gehäuse 3: 80 °C; Gehäuse 4 - 6: 150 °C), 4 Düsen mit 3 mm Durchmesser, zweite Schneckenkonfiguration, eine Messer-Drehzahl 800 min⁻¹. Die unterschiedlichen Extruderparameter waren zwei Drehzahlen, drei Pumpenleistungen und zwei unterschiedliche Feststoffdosierungen. Insgesamt wurden am sechsten Tag 15 Varianten hergestellt (siehe Tab. 13). Das Endprodukt wurde im Heißluftbackofen (80 °C, 15 min) getrocknet.

Tab. 13: Ablauf des Versuches am Versuchstag VI

PN	n [min ⁻¹]	PL [%]	WD [kg/h]	FD [kg/h]	PD [kg/h]	WZ [%]
1	800	16	3,7	10	13,7	27
2	800	14	3,3	10	13,3	25
3	800	12	2,8	10	12,8	22
4	800	14,4	3,3	12	15,3	22
5	800	16,8	3,9	12	15,9	25
6	800	19,2	4,5	12	16,5	27
7	1000	19,2	4,5	12	16,5	27
8	1000	16,8	3,9	12	15,9	25
9	1000	14,4	3,3	12	15,3	22
10	1000	12	2,8	10	12,8	22
11	1000	14	3,3	10	13,3	25
12	1000	16	3,7	10	13,7	27
13	800	12	2,8	10	12,8	22
14	800	10	2,3	10	12,3	19
15	800	12	2,8	12	14,8	19

3.7 Versuchstag VII

Der siebte Versuchstag wurde am 02.03.2021 durchgeführt. Das Ziel des siebten Versuchs war es, die Präzisionsdaten des Extrusionsprozesses mit zwei Wiederholungen zu sehen und die Eigenschaften des Produkts mit einer größeren Düse zu sehen. In diesem Versuch wurde die Rezeptur verwendet, die die beste Produkttextur mit einer Zusammensetzung von 35 % Erbsenmehl und 65 % Erbenisolatprotein erzeugt (siehe Tab. 14).

Tab. 14: Rezeptur des Extrudates am Versuchstag VII

Menge [%]	Rohstoff	Fett [%]	Kohlenhydrate [%]	Zucker [%]	Ballaststoffe [%]	Eiweiß [%]	Salz [%]
35	EM	1,6	50,0	1,7	12,0	21,0	0,0
65	EPI	9,0	0,7	0,0	1,4	81,7	5,0
Summe	Produkt						
100	Extrudat	6,4	18,0	0,6	5,1	60,5	3,3

Am diesem Versuchstag waren eine Gehäusetemperatur (Gehäuse 2: 50 °C; Gehäuse 3: 80 °C; Gehäuse 4 - 6: 150 °C), zweite Schneckenkonfiguration und eine Messer-Drehzahl von 800 min⁻¹.

Für die Probennummern von 1 bis 6 wurde eine Düsenplatte mit 4 Düsen zu je 3 mm Durchmesser verwendet. Um die Wiederholbarkeit der Prozessdaten zu messen, wurde der Extrusionsprozess mit einer Doppelbestimmung mit derselben Drehzahl, drei verschiedenen Pumpenleistungen und eine Feststoffdosierung (siehe Tab. 15) durchgeführt. Für die Probennummern von 7 bis 12 wurde eine Düsenplatte mit 2 Düsen zu je 5 mm Durchmesser verwendet, um die Eigenschaften eines Produkts mit einem größeren Düsendurchmesser zu sehen. Dieser Versuch wurde mit der gleichen Drehzahl, drei verschiedenen Pumpenleistungen durchgeführt. Die Größe und die Form von Düsen führte die Temperatur und den Druck im Extrusionsprozess (Ek, Ganjyal, 2020).

Da 4 Düsen mit 3 mm Durchmesser haben eine Gesamtfläche von 28 mm², 2 Düsen mit 5 mm eine Fläche von 39 mm²; $39/28 = 1,393$; daher wurde die Feststoffdosierung anteilig auf 14 kg/h statt 10 kg/h erhöht. Die Querschnittsfläche der 2 x 5 mm-Düsen ist um den Faktor 1,4 größer als die der 4 x 3 mm-Düsen. Die Düsen ausgeglichen wurden, um zu sehen, wie sich die Prozessparameter und Produkteigenschaften mit Ausgleichsfaktoren und ohne Ausgleichsfaktoren. Das Endprodukt wurde im Heißluftbackofen (80 °C, 15 min) getrocknet.

Tab. 15: Ablauf des Versuches am Versuchstag VII

PN	n [min ⁻¹]	PL [%]	WD [kg/h]	FD [kg/h]	PD [kg/h]	WZ [%]
Eine Düsenplatte mit 4 Düsen zu je 3 mm Durchmesser						
1	800	14	3,3	10	13,3	25
2	800	13	3,0	10	13	23
3	800	12	2,8	10	12,8	22
4	800	14	3,3	10	13,3	25
5	800	13	3,0	10	13	23
6	800	12	2,8	10	12,8	22
Eine Düsenplatte mit 2 Düsen zu je 5 mm Durchmesser						
7	800	19,6	4,6	14	18,6	25
8	800	18,2	4,3	14	18,3	23
9	800	16,8	3,9	14	17,9	22
10	800	14	3,3	10	13,3	25
11	800	13	3,0	10	13	23
12	800	12	2,8	10	12,8	22

3.8 Material des Versuches

Die Rohstoffe und die Geräte, die während der Extrusion im Technikum und die Untersuchung im Labor verwendet wurden, sind in der Tab. 16 aufgeführt.

Tab. 16: Material des Versuches

Rohstoff	Typ	Firma	Stadt, Land
Erbseproteinisolat*	Pistane™ M9*	Cosucra Groupe Warcoing S.A.	Provital, Belgien
Gelbes Schälerbsenmehl	HG 12	Müller's Mühle GmbH	Gelsenkirchen, DE
Rotes Linsenmehl	HS 33	Müller's Mühle GmbH	Gelsenkirchen, DE
Trinkwasser, destilliertes Wasser			
Gerät			
Doppelschneckenextruder	ZSK 27 MC	Coperion GmbH	Stuttgart, DE
Schlauchpumpe	323U	Watson-Marlow Bredel Pumps	Cornwall, UK
Heißluftbackofen	B4/B8 TS 300	Wiesheu GmbH	Affalterbach, DE
Multi Cut Compact Duo	400 W	Grundig Intermedia GmbH	Nürnberg, DE
Taschenmessschieber	0 – 150 mm	Format professional quality	Wuppertal, DE
Waage	BP8100	Sartorius AG	Göttingen, DE
Schnellfeuchtemesser	MA40	Sartorius AG	Göttingen, DE
Wasseraktivitätsmesser	CX-2	AQUALAB GmbH & Co. KG	Höhr-Grenzhausen, DE
Spektrophotometer	Color Flex EZ	FMS Jansen GmbH & Co. KG HunterLab	Murnau, DE
Texture Analyser	TA-XT2i	Stable Micro Systems	Surrey, UK
Kübeln, Messzylinder, Stoppuhr			

*Die Spezifikationen stehen im Anhang 3

3.9 Durchführung und Methoden



Abb. 3: Doppelschneckenextruder (Gunawan, 2021)

Vor Beginn der Extrusion wurde eine Kalibrierkurve der Wasserdosierpumpe (siehe Anhang 2) erstellt, die die Beziehung zwischen Massenstrom [kg/h] und Pumpenleistung [%] beschreibt, um die tatsächlich zugeführte Wassermenge ermitteln zu können.

Während des Extrusions- und Probenahmeprozesses bei jedem Versuch wurden die Temperatur, das Drehmoment, die Schneckendrehzahl und der Druck notiert sowie aus diesen Daten die Spezifische mechanische Energie (SME) berechnet. Die Extruderparameter wurden gemäß dem Versuchstagplan auf dem Bedienfeld eingestellt (siehe Abb. 5).

Vor der Extrusion wurden die Rohstoffe 10 Minuten lang in einem geschlossenen Eimer gemischt, indem der Eimer hin und her gedreht wurde, bis das Mehl gleichmäßig gemischt war. Das gemischte Mehl wurde in den Dosiertrichter gegeben. Darüber hinaus wurde die Extrusion mit Extruderparametern gemäß jedem Versuchsplan durchgeführt. Rohstoff kam aus dem Dosiertrichter durch das Eisenrohr in den Lauf am ersten Gehäuse. Das von der Schlauchpumpe geförderte Wasser tritt in Gehäuse 2 ein. Im Gehäuse 2 wurde das Wasser durch die Doppelschnecken mit dem Feststoff gemischt. Im weiteren Verlauf wurde das Produkt durch die Gehäuse 3 - 6 und durch intensive Scherung erhitzt und anschließend durch die Düsen gepresst. An den Düsen wurde das Extrudat in der Granuliereinheit mit einem rotierenden Messer geschnitten; an der unteren Öffnung der Granuliereinheit wurden die Proben entnommen.

Die Endprodukteigenschaften wurden nach der Untersuchungsmethoden von der Hochschule Neubrandenburg und Bachelorarbeit von Beisler (2017) durchgeführt.

Alle Bestimmungsergebnisse aus mehr als einer Einfachbestimmung wurden als Mittelwerte dargestellt.

- Spezifische mechanische Energie (SME)-Bestimmung:

Die Messung zielt darauf ab herauszufinden, wie viel mechanische Energie in das Extrudat gesteckt wird. Die Parameter zur Messung von SME werden aus den Daten während des Extrusionsprozesses abgeleitet. Der SME ergibt sich aus der folgenden Formel:

$$SME = P_{\max} \times \frac{n}{n_{\max}} \times \frac{M}{100} \times \frac{1}{\dot{m}}$$

SME = Spezifische mechanische Energie [kWh/kg]

P_{\max} = maximale Motorleistung [kW] (20 kW)

n = Schneckendrehzahl [min^{-1}]

n_{\max} = maximale Schneckendrehzahl [min^{-1}] (1800 min^{-1})

M = das Drehmoment [%]

\dot{m} = Produkt-Durchsatz [kg/h] (Summe von Wasser + Feststoff)

- Durchmesser-Bestimmung:

Der Taschenmessschieber wurden verwendet, um vom Extrudat den Durchmesser zu messen. Jede Probe wurde fünfmal gemessen.

- Expansionsindex (E)-Bestimmung:

Der Mittelwert von dem Durchmesser des Extrudat und der Durchmesser der Düsen vom Extruder wurden zur Messung des Expansionsindex benötigt. Der Wert der Extrudat-Expansion wurde durch die folgende Formel erhalten:

$$E = d_E / d_D$$

d_E = den Durchmesser des Extrudates [mm]

d_D = den Durchmesser der Düse von Extruder [mm]

- Schüttdichte-Bestimmung:

Zur Schüttdichtebestimmung wurde das Extrudat in einen 500 mL Messzylinder bis zur Markierung gefüllt, der erhaltenen Masse und die Schüttdichte ermittelt. Die Schüttdichtebestimmung wurde in einer Einfachbestimmung durchgeführt.

- Feuchte-Bestimmung:

Die Messungen der Feuchte des Extrudats wurden unter Verwendung des Schnellfeuchtebestimmers MA 40 durchgeführt. 1 g Probe wurde auf die Platte gegeben und bei 105°C getrocknet. In einer Dreifachbestimmung wurde die Feuchtebestimmung ermittelt.

- Wasseraktivität (a_w -Wert)-Bestimmung:

Wasseraktivitätsbestimmung wurden mit dem Wasseraktivitätsmesser CX-2 durchgeführt. 1 g der Probe wurden mit einer Dreifachbestimmung gemessen.

- Farbe-Bestimmung:

Die Messung des Farbwerts zielt darauf ab, die L^* -, a^* - und b^* -Werte im Extrudat zu bestimmen. Farbmessungen wurden unter Verwendung eines Spektrophotometers mit einer 34 mm Lochplatte durchgeführt. Die Probe wurde in eine runde Glasküvette mit einem den Durchmesser von 34 mm eingeführt, in die ein Messöffnungseinsatz (schwarzer Ring) gestellt und dann mit einem Abstandhalter mit weißer Referenz und einem lichtundurchsichtigen Becher abgedeckt wurde. Die Farbmessung wurde in einer Dreifachbestimmung durchgeführt.

- Textur-Bestimmung:

Die Texturmessung zielt darauf ab zu bestimmen, wie hoch die Maximalkraft und die Steigung der Kraft-Weg-Kurve des Extrudates von jeder Variante ist. 5 g Extrudat, das im Heißluftbackofen getrocknet wurde, wurde in den MINI KRAMER-OTTAWA CELL Behälter gegeben und dann anhand der Einstellungen für die Texturanalyse und der folgenden Produktparameter festgelegt (siehe Tab. 17). Die Messung wurde in einer Fünffachbestimmung durchgeführt. Der Mittelwert und Standardabweichung wurden ermittelt.

Tab. 17: Einstellung der Texturbestimmung

Parameter	Einstellung
Test Art	Druck
Vor Geschwindigkeit	5,00 mm/Sek.
Test Geschwindigkeit	2,00 mm/Sek.
Rück Geschwindigkeit	10,00 mm/Sek.
Weg	5,000 mm
Auslösekraft	20,0 g
Messpunkte/s	250
Werkzeug	HDP/MK05; MINI KRAMER-OTTAWA CELL

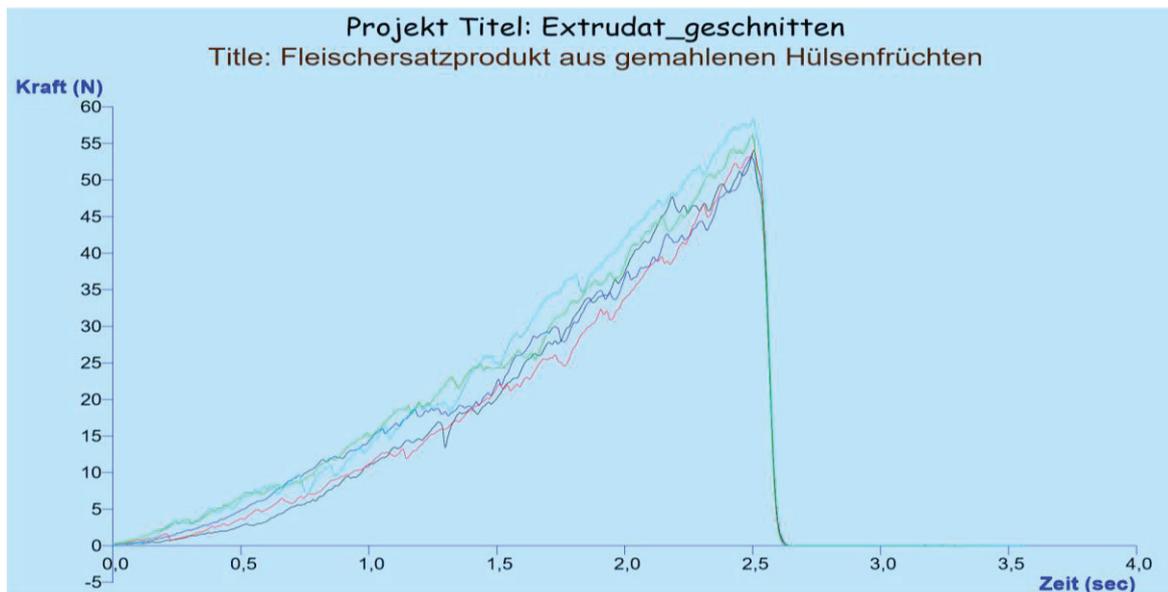


Abb. 4: Textur-Bestimmung von Probennummer 2 am Versuchstag VII

- Sensorikprüfung:

Die Beliebtheitsprüfung wurde von jeder Probe der Versuchstage II und VII durchgeführt. Das Produkt wurde 3 Minuten bei 100 °C gekocht, abgelassen und getestet. Der Test wurde ungeschulten Prüfern bewertet, die jedem Produkt eine Bewertung mit Hedonische Skala von 1 bis 9 wie folgt gaben:

Skala 1 - 4: Missfallen-Bereich

Skala 5: Weder gefällt noch missfällt

Skala 6 - 9: Gefallen-Bereich

4. Ergebnisse

4.1 Versuchstag I

Die Ergebnisse der Prozessparameter und der Produkteigenschaften am ersten Versuchstag mit einer Rezeptur von 50 % Erbsenmehl plus 50 % Erbsenproteinisolat mit dem Proteingehalt von 51 %, ersten Schneckenkonfiguration, einem Gehäusetemperatur von 130 °C sind in der Tab. 18 und Tab. 19 dargestellt.

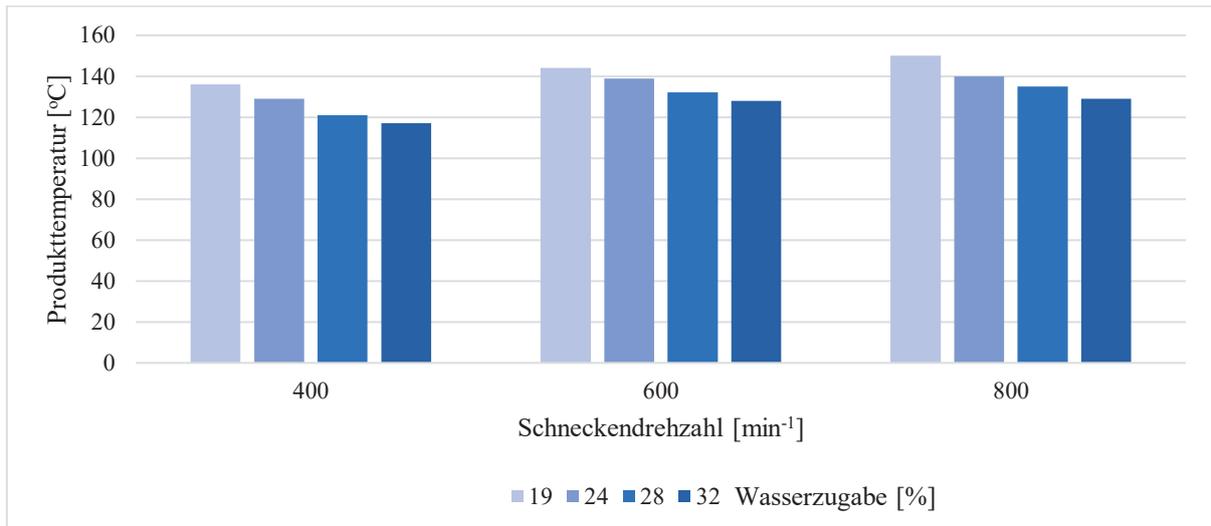


Abb. 5: Abhängigkeit der Produkttemperatur von der Schneckendrehzahl und der Wasserzugabe am Versuchstag I (Feststoffdosierung 15 kg/h)

In der Abb. 5 ist zu erkennen, dass die Produkttemperatur mit zunehmender Schneckendrehzahl und mit abnehmenden Wasserzugabe ansteigt. Die niedrigste Produkttemperatur ergab die Probenummer 1 mit der Schneckendrehzahl von 400 min⁻¹, der Wasserzugabe von 32 % und die Feststoffdosierung von 15 kg/h. Die höchste Produkttemperatur wurde die Probenummer 12 mit der Drehzahl von 800 min⁻¹, der Wasserzugabe von 32 % und der Feststoffdosierung von 15 kg/h erhalten (siehe Tab. 18).

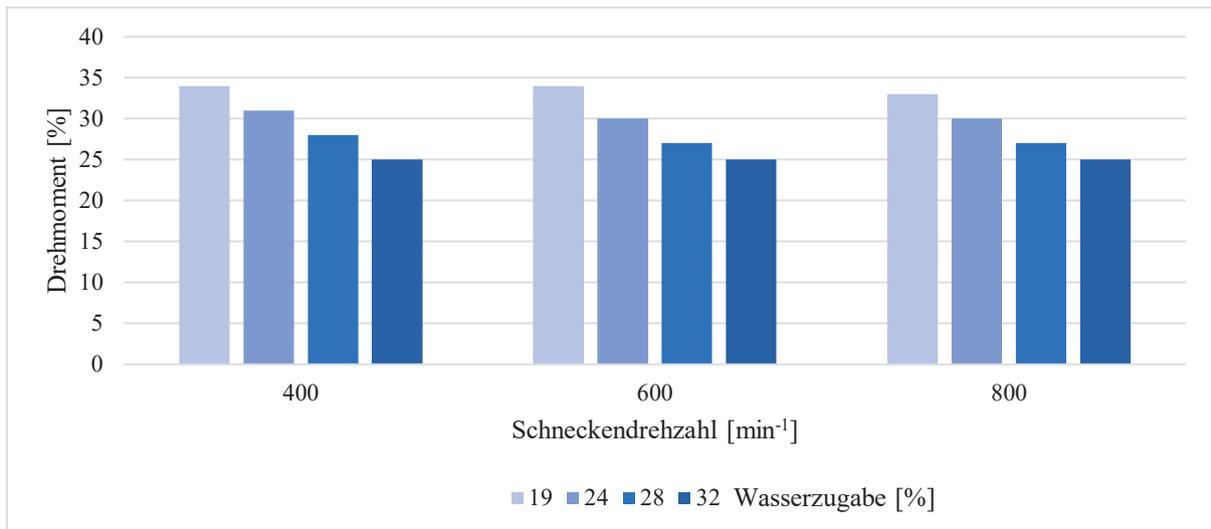


Abb. 6: Abhängigkeit des Drehmoments von der Schneckendrehzahl und der Wasserzugabe am Versuchstag I (Feststoffdosierung 15 kg/h)

Das niedrigste Drehmoment wurde von Probenummer 1, 8 und 9 erhalten. Dieser konstante Wert zeigte zwischen den drei Proben mit der Drehzahl von 400 min⁻¹, 600 min⁻¹, 800 min⁻¹ und mit einer gleichen Wasserzugabe von 32 %. Das höchste Drehmoment wurde am Probenummer 14 mit der Drehzahl von 800 min⁻¹, der Wasserzugabe von 32 % und der Feststoffdosierung von 20 kg/h gefunden (siehe Tab 18). In Abb. 6 ist deutlich zu sehen, dass je höher der Anteil der Wasserzugabe ist, desto geringer die Prozent des Drehmoments ist. Im Gegensatz zur steigenden Schneckendrehzahl ergibt sich ein ähnliches Drehmoment.

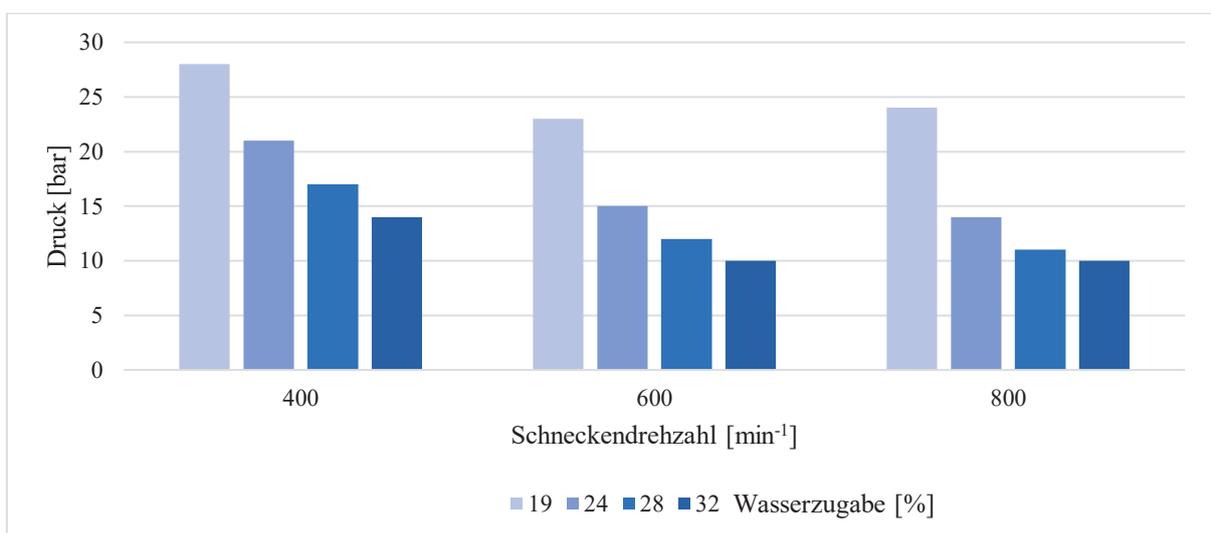


Abb. 7: Abhängigkeit des Drucks von der Schneckendrehzahl und der Wasserzugabe am Versuchstag I (Feststoffdosierung 15 kg/h)

Die Probenummer 8 und 9 erzeugten den niedrigsten Druck mit der gleichen Wasserzugabe (32 %) und unterschiedlichen Schneckendrehzahlen (600 min⁻¹ und 800 min⁻¹). Die Probenummer 4 erzielte mit der Drehzahl von 400 min⁻¹, der Wasserzugabe von 19 % und der Feststoffdosierung von 15 kg/h, den höchsten Druck (siehe Tab. 18). In Abb. 7 ist zu erkennen,

dass je größer die Geschwindigkeit der Schneckendrehzahl, und weniger die Wasserzugabe sind, desto geringer der Druck ist.

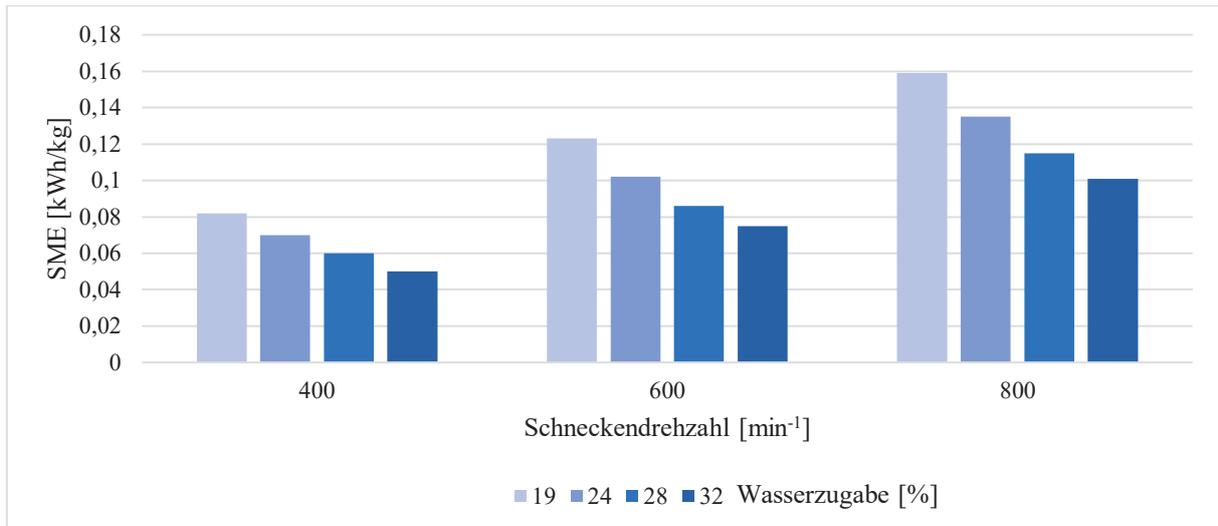


Abb. 8: Abhängigkeit der SME von der Schneckendrehzahl und der Wasserzugabe am Versuchstag I (Feststoffdosierung 15 kg/h)

Aus den Ergebnissen der Prozessparameter war der niedrigste SME von der Probennummer 1 mit der Schneckendrehzahl von 400 min⁻¹, der Wasserzugabe von 32 % und der Feststoffdosierung von 15 kg/h. Im Gegensatz dazu, der höhere SME von der Probennummer 12 mit der Schneckendrehzahl von 800 min⁻¹, der Wasserzugabe von 19 % und der Feststoffdosierung von 15 kg/h (siehe Tab. 18). Eine Zunahme der Schneckendrehzahl und eine Abnahme der Wasserzugabe führen zu einer Zunahme der SME (siehe Abb. 8).

Tab. 18: Ergebnisse der Prozessparameter am Versuchstag I

PN	n [min ⁻¹]	WZ [%]	FD [kg/h]	nZGF [min ⁻¹]	t [°C]	DM [%]	Druck [bar]	SME [kWh/kg]
1	400	32	15	-	117	25	14	0,050
2	400	28	15	1000	121	28	17	0,060
3	400	24	15	800	129	31	21	0,070
4	400	19	15	1000	136	34	28	0,082
5	600	19	15	-	144	34	23	0,123
6	600	24	15	-	139	30	15	0,102
7	600	28	15	600	132	27	12	0,086
8	600	32	15	600	128	25	10	0,075
9	800	32	15	-	129	25	10	0,101
10	800	28	15	-	135	27	11	0,115
11	800	24	15	-	140	30	14	0,135
12	800	19	15	600	150	33	24	0,159
13	800	23	20	600	150	33	18	0,113
14	800	19	20	600	152	35	25	0,126
15	800	26	20	-	145	30	14	0,098

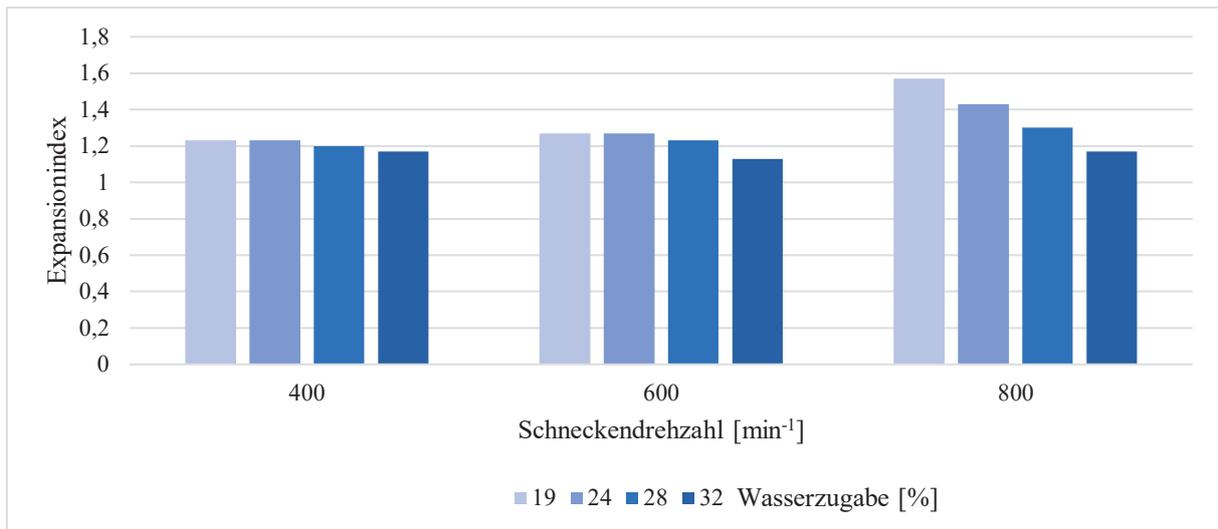


Abb. 9: Abhängigkeit des Expansionindex von der Schneckendrehzahl und der Wasserzugabe am Versuchstag I (Feststoffdosierung 15 kg/h)

Die höhere Wasserzugabe führt zu einem kleineren Extrudat-Durchmesser (siehe Tab. 19). Dies ist direkt proportional zum Expansionindex des Produkts. Die höhere Wasserzugabe beeinflusst den geringen Expansionindex des Extrudates. Je höher die Schneckendrehzahl ist, desto höher ist die Expansion des Extrudates (siehe Abb. 9).

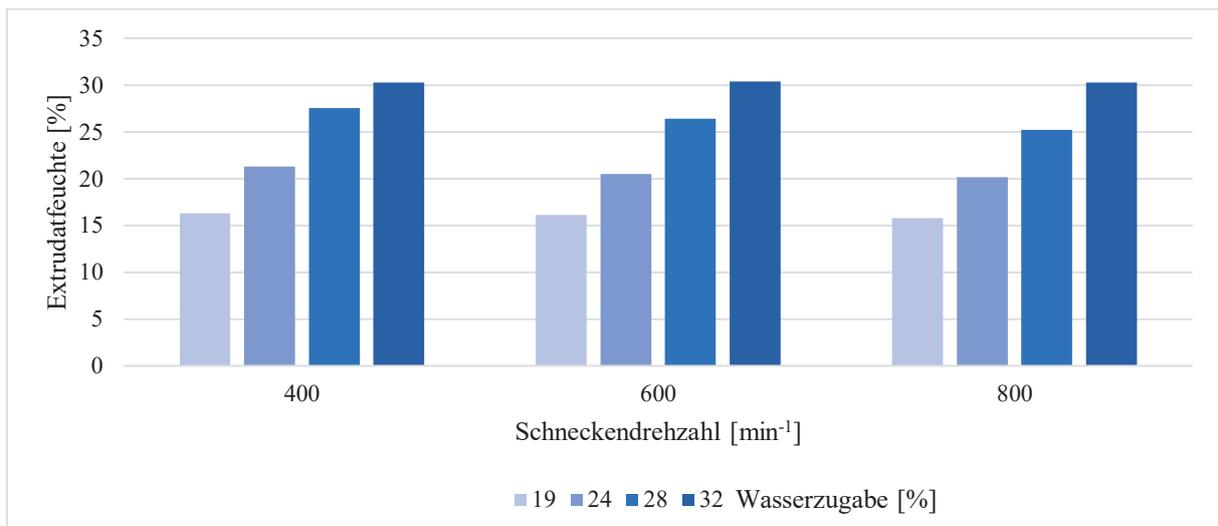


Abb. 10: Abhängigkeit der Extrudatfeuchte von der Schneckendrehzahl und der Wasserzugabe am Versuchstag I (Feststoffdosierung 15 kg/h)

Die unterschiedlichen Schneckendrehzahlen führten zu ähnlichen Extrudatfeuchten. Dies steht im Gegensatz zu der Wirkung der Wasserzugabe auf die Extrudatfeuchte. Die Extrudatfeuchte steigt an, wenn dem Produkt während des Extrusionsprozesses mehr Wasser zugesetzt wird. Dieses Ergebnis ist direkt proportional zum Wert der Wasseraktivität im Produkt. Je höher die Wasserzugabe während des Extrusionsprozesses ist, desto höher ist der a_w -Wert des Produkts. Bei einem hohen a_w -Wert ist das Extrudat sehr anfällig für mikrobiellen Verderb. Daher wurde das Produkt am zweiten Versuchstag bei einer Temperatur von 60 °C getrocknet, um einen a_w -

Wert von weniger als 0,6 zu erreichen. Dies soll die Haltbarkeit verlängern und die Textur des Produkts beim Kochen verbessern.

Tab. 19: Ergebnisse der Produkteigenschaften am Versuchstag I

PN	n [min ⁻¹]	WZ [%]	FD [kg/h]	d _E [mm]	E	SD [g/L]	Feuchte [g/100g]	a _w N
1	400	32	15	3,5	1,17	-	30,29	0,905
2	400	28	15	3,6	1,20	492	27,52	0,874
3	400	24	15	3,7	1,23	514	21,29	0,826
4	400	19	15	3,7	1,23	656	16,32	0,765
5	600	19	15	3,8	1,27	584	16,12	0,757
6	600	24	15	3,8	1,27	584	20,48	0,792
7	600	28	15	3,7	1,23	-	26,42	0,852
8	600	32	15	3,4	1,13	-	30,38	0,901
9	800	32	15	3,5	1,17	-	30,25	0,872
10	800	28	15	3,9	1,30	-	25,23	0,843
11	800	24	15	4,3	1,43	-	20,13	0,775
12	800	19	15	4,7	1,57	387	15,79	0,715
13	800	23	20	5,2	1,73	317	25,14	0,760
14	800	19	20	5,6	1,87	-	20,33	0,696
15	800	26	20	4,9	1,63	332	30,48	0,802

4.2 Versuchstag II

Die Ergebnisse der Prozessparameter am zweiten Versuchstag mit einer Rezeptur von 45 % Erbsenmehl plus 55 % Erbsenproteinisolat mit dem Proteingehalt von 54 %, der ersten Schneckenkonfiguration, der Gehäusetemperatur von 130 °C, den Schneckendrehzahlen von 400 min⁻¹, 600 min⁻¹, 800 min⁻¹, den Wasserzugaben von 24 %, 28 %, 32 %, der Feststoffdosierung von 15 kg/h sind in der Tab. 20 dargestellt.

Tab. 20: Ergebnisse der Prozessparameter am Versuchstag II

PN	n [min ⁻¹]	WZ [%]	FD [kg/h]	t [°C]	DM [%]	Druck [bar]	SME [kWh/kg]
1	400	32	15	119	22	13	0,044
2	400	28	15	122	26	18	0,055
3	400	24	15	128	28	23	0,063
4	600	24	15	136	29	18	0,098
5	600	28	15	132	26	12	0,083
6	600	32	15	127	24	11	0,072
7	800	32	15	128	24	10	0,097
8	800	28	15	132	26	12	0,111
9	800	24	15	138	28	15	0,126

Die niedrigste Produkttemperatur wurde bei der Probennummer 1 mit einer Schneckendrehzahl von 400 min⁻¹ und der Wasserzugabe von 32 % erzeugt. Die höchste Produkttemperatur hatte die Probennummer 9 mit einer Schneckendrehzahl von 800 min⁻¹ und der Wasserzugabe von 24 %.

Das höchste Drehmoment wurde bei Probenummer 4 mit einer Schneckendrehzahl von 600 min^{-1} und der Wasserzugabe von 24 % gemessen. Im Gegensatz dazu hatte die Probenummer 1 mit einer Schneckendrehzahl von 400 min^{-1} und der Wasserzugabe von 32 % das niedrigste Drehmoment.

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Probenummer 3 mit einer Schneckendrehzahl von 400 min^{-1} und der Wasserzugabe von 24 % den höchsten Druck hatte. Während die Probenummer 7 hatte den niedrigsten Druck mit einer mit einer Schneckendrehzahl von 800 min^{-1} und der Wasserzugabe von 32 %.

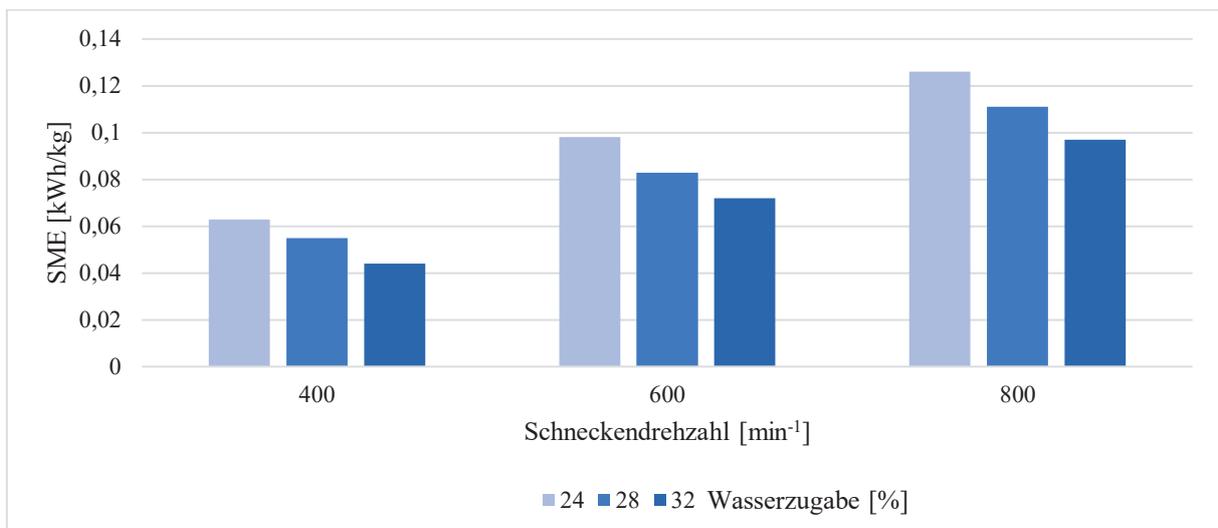


Abb. 11: Abhängigkeit der SME von der Schneckendrehzahl und der Wasserzugabe am Versuchstag II

Der niedrigste SME ist in Probenummer 1 zu finden, und die Probe mit dem höchsten SME-Wert gehört zu Probenummer 9 mit 0,044 kWh / kg bzw. 0,127 kWh / kg.

Die Veränderung der Rezeptur am zweiten Versuchstag von 45% Erbsenmehl und 55% Erbsenproteinisolat führten zu niedrigerer Temperatur, des Drehmoments und der SME im Vergleich zu den Ergebnissen der Parameterprozesse am ersten Versuchstag.

Tab. 21: Ergebnisse der Produkteigenschaften am Versuchstag II

PN	n [min ⁻¹]	WZ [%]	FD [kg/h]	d _E [mm]	E	SD [g/L]	Feuchte [g/100g]	a _{w T}	Farbe			S
									L*	a*	b*	
1	400	32	15	3,5	1,17	476	30,41	0,494	51,46	11,97	32,74	3
2	400	28	15	3,6	1,20	585	27,11	0,482	49,34	12,34	31,07	5
3	400	24	15	3,7	1,23	626	21,70	0,496	42,57	11,95	27,34	5
4	600	24	15	3,8	1,27	573	20,64	0,456	42,97	12,22	28,60	4
5	600	28	15	3,6	1,20	441	26,38	0,473	50,82	12,41	33,69	3
6	600	32	15	3,3	1,10	465	30,38	0,453	58,09	10,73	34,13	5
7	800	32	15	3,4	1,13	474	30,24	0,427	57,75	10,29	32,67	5
8	800	28	15	3,7	1,23	424	25,60	0,456	50,75	12,33	34,04	3
9	800	24	15	3,9	1,30	480	20,87	0,467	49,95	12,18	34,28	2

Die Ergebnisse der Produkteigenschaften am zweiten Versuchstag sind in Tab. 21 dargestellt. Die Probennummer 6 hatte die niedrigsten Durchmesser und den niedrigsten Expansionsindex, während der höchsten Durchmesser von der Probennummer 9 gefunden wurde.

Die Probennummer 1 hatte die höchste Produktfeuchte und die Probennummer 4 hatte die niedrigste Produktfeuchte.

Bei der Farbbestimmung wurde der höchste L*-Wert von 58,09 in der Probennummer 6 ermittelt. Während der niedrigste L*-Wert durch die Probennummer 3 erzeugt wurde 42,57. a*-Wert lag zwischen 10,29 und 12,41. Inzwischen lag der b*-Wert zwischen 27,34 und 34,28. Je höher die Wasserzugabe und die Schneckendrehzahl sind, desto höher die L*-Wert, desto geringer die a*-Wert, desto höhere die b*-Wert sind.

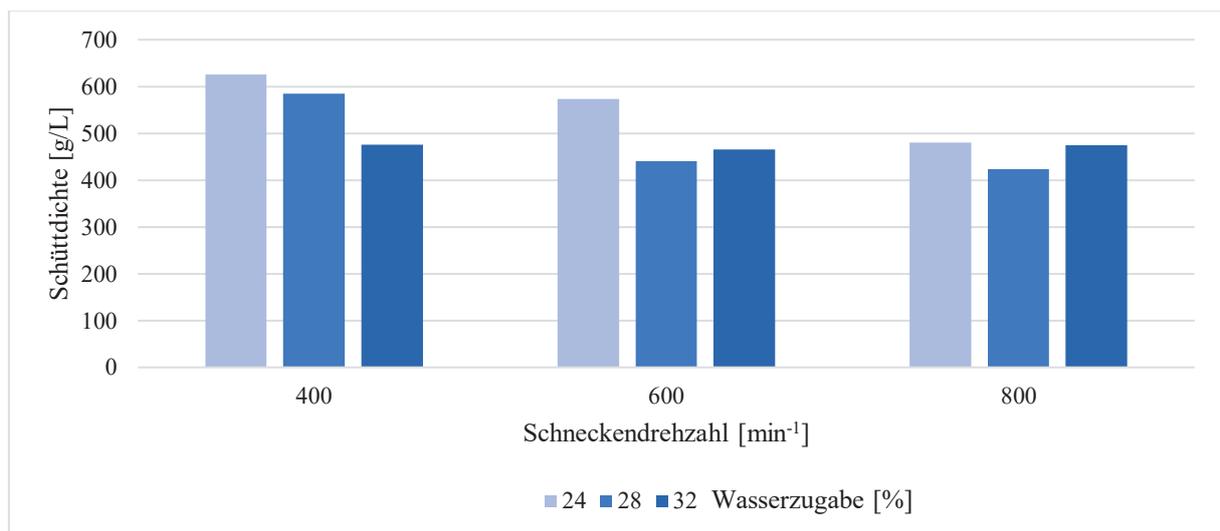


Abb. 12: Schüttdichte des Extrudats in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl und der Wasserzugabe am Versuchstag II

Die niedrigste Schüttdichte und die höhere Schüttdichte wurden jeweils von den Probennummern 8 und 3 erhalten (siehe Tab. 21). Eine Zunahme der Schneckendrehzahl führte

zu einer verringerten Schüttdichte. Die Zunahme des Wassergehalts führte zu einer Abnahme der Schüttdichte (siehe Abb. 12).

In diesem Versuch wurden die Messungen der Eigenschaften des Produkts auch nach dem Trocknen durchgeführt. Die Ergebnisse der Produkteigenschaften, nämlich das Extrudatdurchmesser, der Expansionindex, die L^* -, a^* - und b^* -Werte verringerten sich geringfügig. Andernfalls nahm der a_w -Wert des trockenen Produkts im Vergleich zum Produkt vor dem Trocknen deutlich ab.

Der a_w -Wert wurden in diesem Versuch erreicht, daher wurde am nächsten Versuchstag das Endprodukt getrocknet.

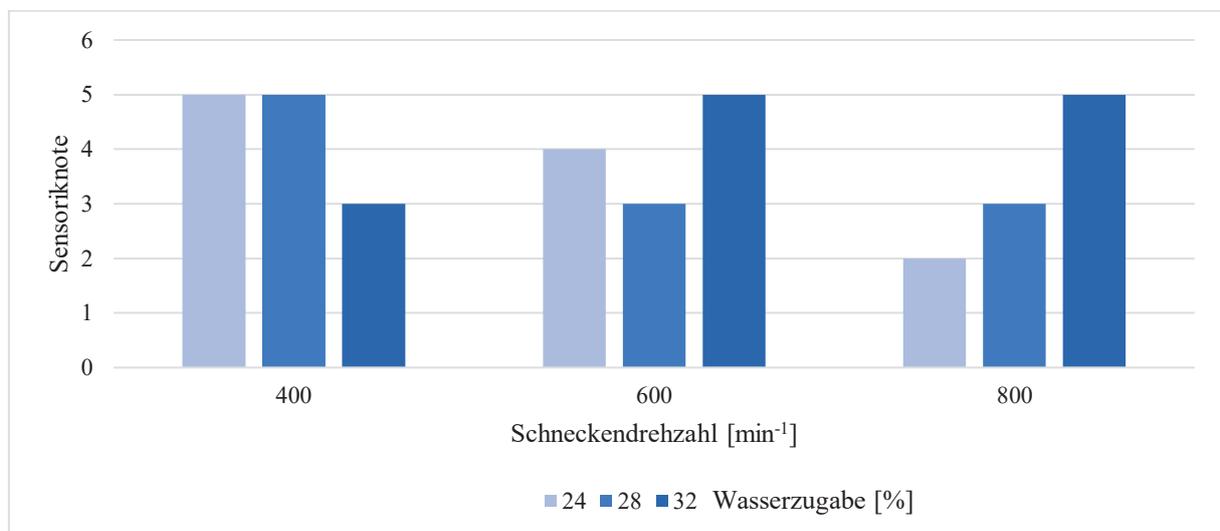


Abb. 13: Sensorische Beurteilung der Beliebtheit des gekochten Extrudats in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl, der Wasserzugabe und des Anteils an Erbsenproteinisolat am Versuchstag II

In diesem Versuch wurden auch ein Hydratations-Versuch des Produkts und das Kochen im Wasser durchgeführt. Das Produkt wurde mit dem Wasser 30 Minuten bei Raumtemperatur rehydriert. Die Koch-Versuch wurde bei 100 °C in 3 Minuten mit einem Wasser- und Produktverhältnis 1: 10 (Gew./Vol.) gekocht und dann das Wasser abfiltriert. Diese Methode wurde durchgeführt, um die Beständigkeit der Produkttextur gegenüber heißer Temperatur während des Kochens zu ermitteln.

In diesem Versuch waren die Sensoriknoten zwischen missfallen und weder gefällt noch missfällt, da alle Proben einen grobkörnigen Geschmack aufwiesen. Das Produkt war jedoch sehr weich und hatte nicht die erwartete Textur wie ein Fleisch. Das Produkt hatte einen herzhaften Geschmack, da das Erbsenproteinisolat und das Erbsenmehl Salz und Zucker enthält.

Im nächsten Versuchstag wurde erwartet, dass eine Erhöhung des Erbsenproteinisolat Anteils im Rezept, eine Verringerung der Wasserzugabe und der Feststoffdosierung sowie eine

Erhöhung der Gehäusetemperatur ein besser strukturiertes pflanzliches Proteinprodukt ergeben würde.

4.3 Versuchstag III

Die Ergebnisse der Prozessparameter am dritten Versuchstag mit einer Rezeptur von 35 % Erbsenmehl plus 65 % Erbsenproteinisolat mit einem Proteingehalt von 61 %, der zweiten Schneckenkonfiguration, einer Gehäusetemperatur von 150 °C sind in der Tab. 22 dargestellt.

Tab. 22: Ergebnisse der Prozessparameter am Versuchstag III

PN	n [min⁻¹]	WZ [%]	FD [kg/h]	t [°C]	DM [%]	Druck [bar]	SME [kWh/kg]
1	600	28	15	138	25	12	0,080
2	600	24	15	146	29	18	0,098
3	800	24	15	154	28	21	0,126
4	800	28	15	151	25	14	0,106
5	1000	28	15	148	25	13	0,133
6	1000	24	15	157	28	24	0,158
7	1000	24	10	158	24	20	0,204
8	1000	28	10	155	22	15	0,176
9	800	28	10	152	22	16	0,141
10	800	24	10	155	25	21	0,170
11	600	24	10	154	24	21	0,122
12	600	28	10	153	21	16	0,101
13	400	28	10	145	20	12	0,064
14	400	24	10	146	23	17	0,078
15	400	24	15	145	26	19	0,059
16	400	28	15	139	24	13	0,051
17	600	28	20	139	27	13	0,065
18	600	24	20	142	31	18	0,079

Ein Anstieg der Gehäusetemperatur, die in diesem Versuch 150 °C betrug, hatte einen signifikanten Einfluss auf den Anstieg der Produkttemperatur im Vergleich zur Gehäusetemperatur von 130 °C am ersten und zweiten Versuchstag.

Die Prozessparameter am dritten Versuchstag von der Feststoffdosierung 15 kg/h führten zu einer Produkttemperatur von 138 °C bis 157 °C, einem Drehmoment von 24 % bis 29 %, einem Druck von 12 bar bis 24 bar und einer SME von 0,051 kWh/kg bis 0,158 kWh/kg.

Die Produkttemperatur von der Feststoffdosierung 10 kg/h führten zu einer Produkttemperatur von 145 °C bis 158 °C, einem Drehmoment von 20 % bis 25 % und einem Druck von 12 bar bis 21 bar. (siehe Tab. 22).

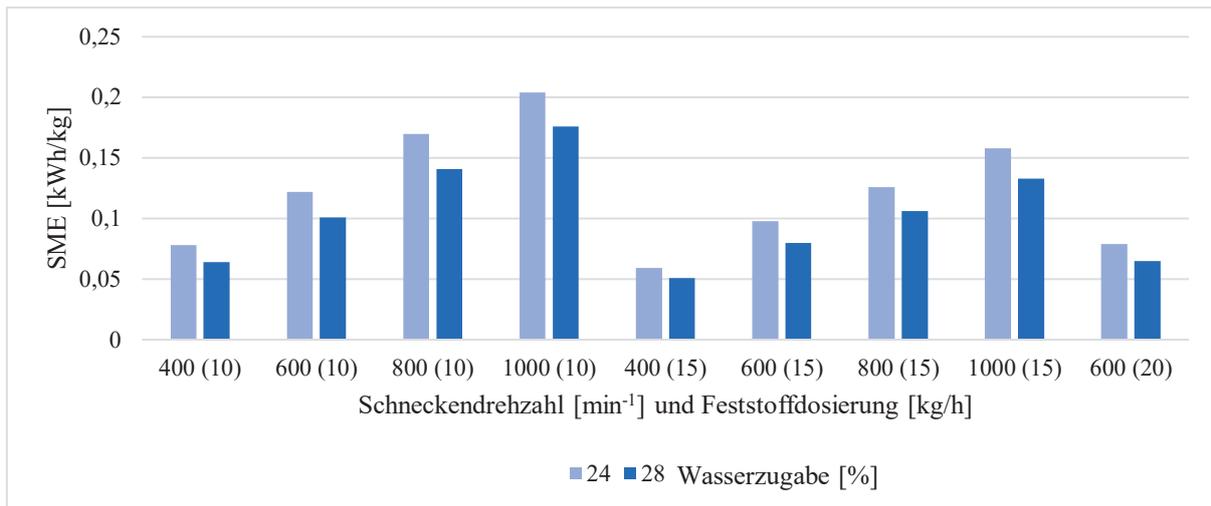


Abb. 14: Abhängigkeit der SME von der Schneckendrehzahl, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag III

In der Abb. 14 ist deutlich zu erkennen, dass eine Zunahme des Wassergehalts, eine Zunahme der Feststoffdosierung und eine Abnahme der Schneckendrehzahl zu einer Abnahme der SME führen. Die SME mit der Feststoffdosierung von 10 kg/h führten zu einer SME von 0,064 kWh/kg bis 0,204 kWh/kg. Die SME mit der Feststoffdosierung von 15 kg/h führten zu einer SME von 0,051 kWh/kg bis 0,158 kWh/kg. (siehe Tab. 22).

Tab. 23: Ergebnisse der Produkteigenschaften am Versuchstag III

PN	n [min ⁻¹]	WZ [%]	FD [kg/h]	d _E [mm]	E	SD [g/L]	Feuchte [g/100g]	Farbe			S
								L*	a*	b*	
1	600	28	15	3,6	1,20	561	27,42	49,00	13,14	32,47	4
2	600	24	15	3,9	1,30	515	19,28	47,38	12,91	32,55	4
3	800	24	15	4,3	1,43	335	18,43	46,33	12,04	30,57	3
4	800	28	15	4,0	1,33	372	25,38	50,44	12,51	34,16	3
5	1000	28	15	4,1	1,37	350	23,79	51,89	12,17	34,04	2
6	1000	24	15	4,6	1,53	264	15,97	41,80	11,71	26,37	2
7	1000	24	10	4,5	1,50	363	14,91	37,40	11,86	23,64	6
8	1000	28	10	4,2	1,40	455	21,75	40,40	12,81	26,88	7
9	800	28	10	4,0	1,33	489	23,64	42,16	12,61	27,99	7
10	800	24	10	4,3	1,43	460	16,89	38,28	12,62	24,96	8
11	600	24	10	4,1	1,37	480	16,26	41,01	12,49	27,23	6
12	600	28	10	3,8	1,27	473	23,58	46,80	12,67	32,31	5
13	400	28	10	3,5	1,17	608	25,26	49,81	12,55	32,53	5
14	400	24	10	3,5	1,17	645	21,73	46,31	13,40	31,90	5
15	400	24	15	3,4	1,13	665	22,62	49,02	12,60	31,20	3
16	400	28	15	3,7	1,23	567	26,09	51,35	11,77	30,90	3
17	600	28	20	3,8	1,27	442	26,20	51,85	12,09	32,18	3
18	600	24	20	3,7	1,23	577	21,87	50,20	12,24	31,62	3

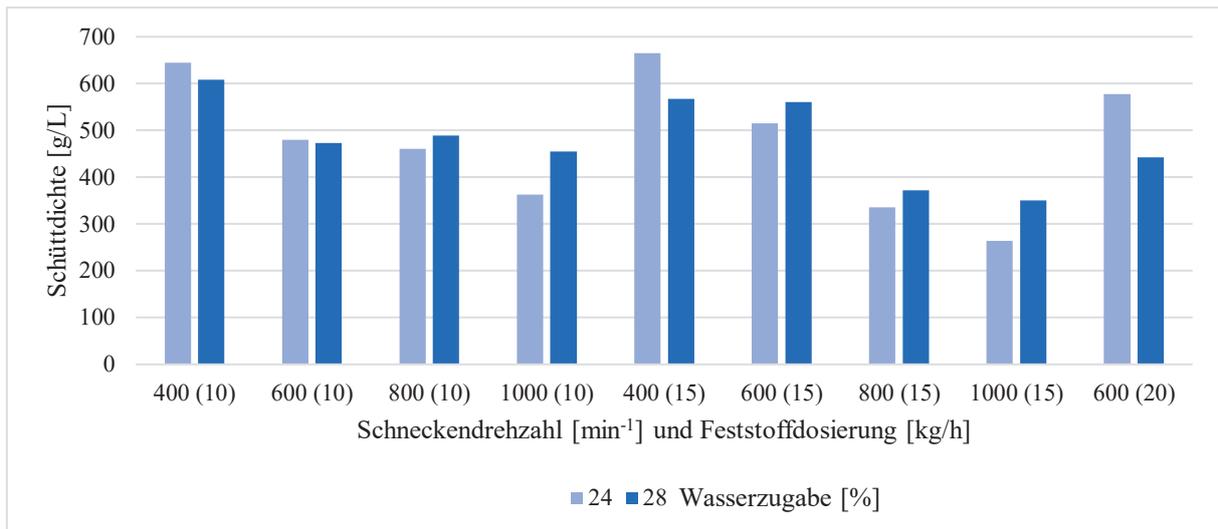


Abb. 15: Schüttdichte des Extrudats in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag III

Eine Zunahme der Schneckendrehzahl führte zu einer Abnahme der Schüttdichte. Das höhere Wasserzugabe führte zur höheren Schüttdichte. In einigen Proben ist jedoch eine Abnahme der Schüttdichte mit höherer Wasserzugabe zu verzeichnen. Dies wurde durch einen größeren Extrudatdurchmesser verursacht, so dass die Schüttdichte nahmen ab. Die Zunahme der Feststoffdosierung führte zum Niedergang der Schüttdichte (siehe Abb. 15).

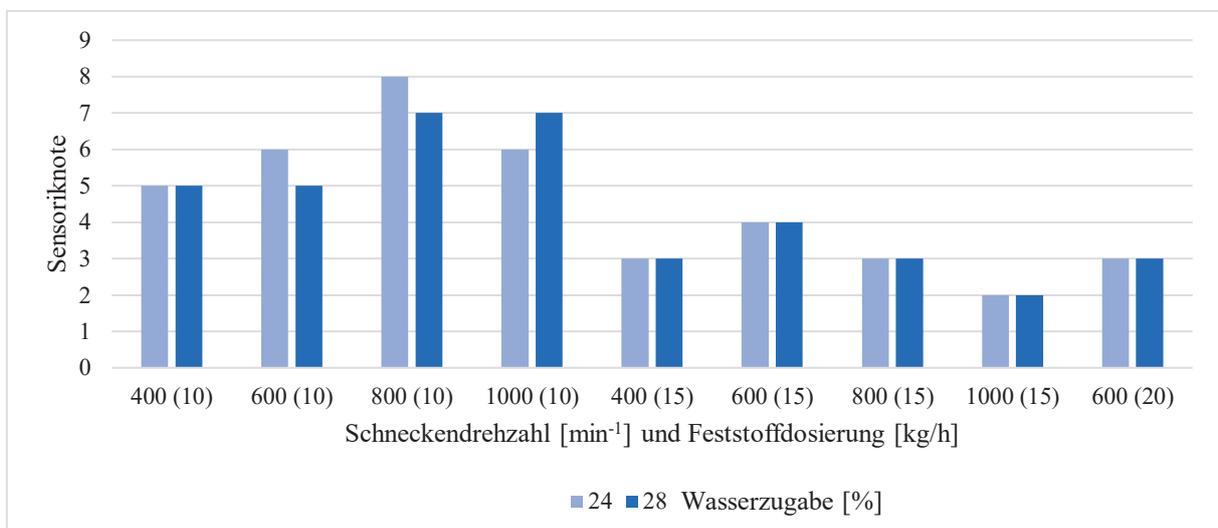


Abb. 16: Sensorische Beurteilung der Beliebtheit des gekochten Extrudats in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag III

Der höchste Sensoriknote war 8, wurde die Produktnummer 10 mit einer Schneckendrehzahl von 800 min⁻¹, einer Wassergabe von 24 %, einer Feststoffdosierung von 10 kg/h, einer Produkttemperatur 155 °C und der SME von 0,170 kWh/kg (siehe Tab. 22; Abb 16.). Die Produkte mit geringerer Feuchte, niedrigem Feststoffdosierung, höherer Schneckendrehzahl und höherer SME ergaben die erwartete Textur.

Die erwartete Produktform war jedoch immer noch nicht geeignet, da das Aussehen des Produkts eine homogene Rund-Form war. Daher wurde eine Änderung in der Schnecken-Konfiguration vorgenommen, von der erwartet wird, dass sie die gewünschte Produktform erzeugt.

4.4 Versuchstag IV

Die Ergebnisse der Prozessparameter am vierten Versuchstag mit einer Rezeptur von 45 % Linsenmehl plus 55 % Erbsenproteinisolat mit dem Proteingehalt von 57 % von Probenummer 1 bis 10 und anderer Rezeptur von 35 % Linsenmehl plus 65 % Erbsenproteinisolat mit dem Proteingehalt von 62 % von Probenummer 11 bis 20, zweiten Schneckenkonfiguration, der Gehäusetemperatur von 150 °C, der Feststoffdosierung von 10 kg/h sind in der Tab. 24 dargestellt.

Tab. 24: Ergebnisse der Prozessparameter am Versuchstag IV

PN	n [min ⁻¹]	WZ [%]	FD [kg/h]	t [°C]	DM [%]	Druck [bar]	SME [kWh/kg]
Verwendete Rezeptur aus aus 45 % Linsenmehl und 55 % Erbsenproteinisolat							
1	600	28	10	142	23	12	0,110
2	600	24	10	149	26	18	0,132
3	600	19	10	157	28	24	0,152
4	800	19	10	160	27	22	0,195
5	800	24	10	156	25	17	0,170
6	800	28	10	153	23	14	0,147
7	1000	28	10	153	23	14	0,184
8	1000	24	10	157	25	16	0,212
9	1000	19	10	161	26	19	0,235
10	800	32	10	148	21	11	0,127
Verwendete Rezeptur aus aus 35 % Linsenmehl und 65 % Erbsenproteinisolat							
11	600	28	10	148	22	13	0,106
12	600	24	10	153	24	20	0,122
13	600	19	10	159	26	27	0,141
14	800	19	10	162	26	24	0,188
15	800	24	10	158	24	19	0,163
16	800	28	10	152	23	15	0,147
17	1000	28	10	153	23	17	0,184
18	1000	24	10	157	24	20	0,204
19	1000	19	10	163	26	22	0,235
20	800	32	10	152	20	12	0,121

Die Prozessparameter am vierten Versuchstag mit einem Rezept von 45 % Linsenmehl plus 55 % Erbsenproteinisolat mit dem Proteingehalt von 57 % von Probenummer 1 bis 10 führten zu einer Produkttemperatur von 142 °C bis 161 °C. Die niedrigste Temperatur wurde die Probenummer 1 mit der Drehzahl von 600 min⁻¹ und der Wasserzugabe von 28 %. Die höchste Temperatur war die Probenummer 9 mit der Drehzahl von 1000 min⁻¹ und der Wasserzugabe von 19 %.

Das Rezept von 35 % Linsenmehl plus 65 % Erbsenproteinisolat mit dem Proteingehalt von 62 % von Probenummer 11 bis 20 ergaben eine Produkttemperatur zwischen 148 °C und 163 °C. Die niedrigste Temperatur wurde die Probenummer 11 mit der Drehzahl von 600 min⁻¹ und der Wasserzugabe von 28 %. Die höchste Temperatur war die Probenummer 19 mit der Drehzahl von 1000 min⁻¹ und der Wasserzugabe von 19 %.

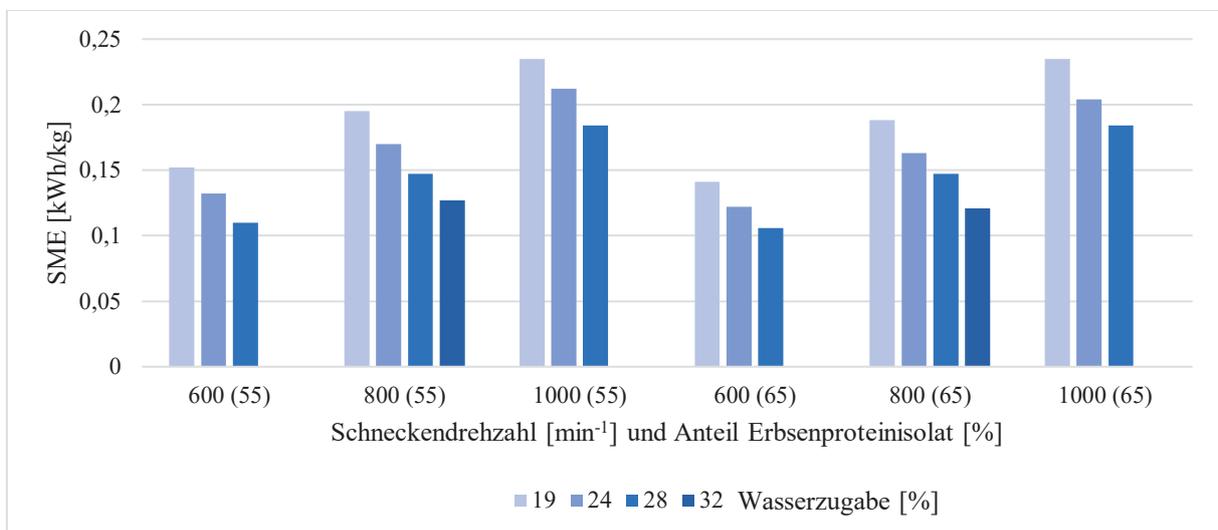


Abb. 17: Abhängigkeit der SME von der Schneckendrehzahl, dem Anteil an Erbsenproteinisolat und der Wasserzugabe am Versuchstag IV

In der Abb. 17 ist zu sehen, dass eine Erhöhung der Wasserzugabe, eine Erhöhung des Anteils von Erbsenproteinisolat und eine Senkung der Schneckendrehzahl zu einer Senkung der SME führen. Die SME mit einer Rezeptur aus 35 % Linsenmehl plus 65 % Erbsenproteinisolat mit einer Schneckendrehzahl von 600 min⁻¹ war geringer als die SME mit einer Rezeptur aus 45 % Linsenmehl plus 55 % Erbsenproteinisolat mit gleicher Schneckendrehzahl und gleicher Wasserzugabe.

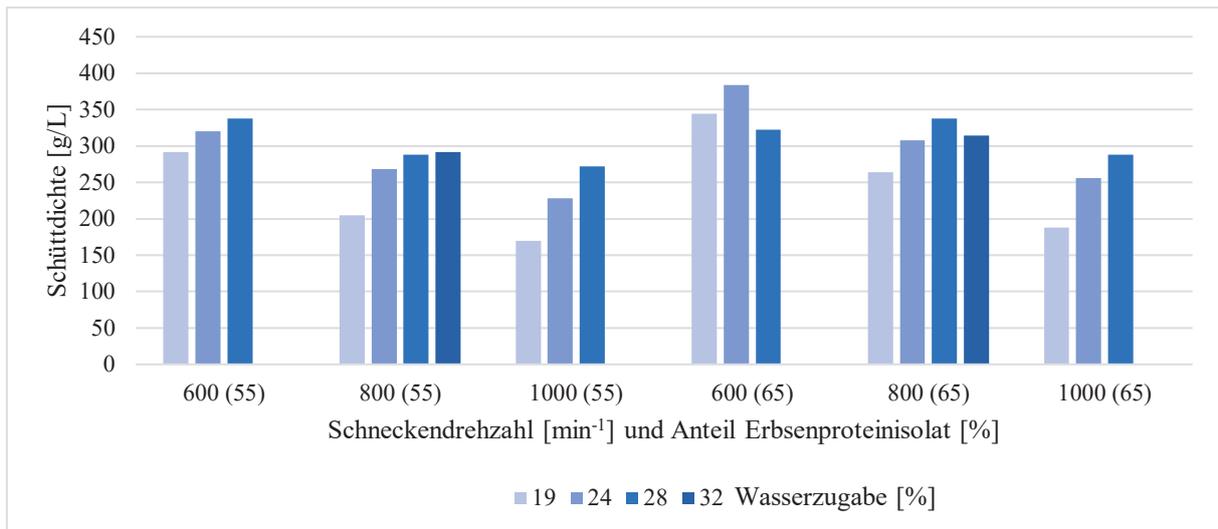


Abb. 18: Schüttdichte des Extrudats in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl, des Anteils an Erbsenproteinisolat und der Wasserzugabe am Versuchstag IV

Eine Erhöhung des Anteils von Erbsenproteinisolat, die Erhöhung der Wasserzugabe und die Senkung der Schneckendrehzahl führten zu einer Erhöhung der Schüttdichte.

Das Extrudat aus 35 % Linsenmehl plus 65 % Erbsenproteinisolat hatte eine höhere Schüttdichte als das Produkt aus 45 % Linsenmehl plus 55 % Erbsenproteinisolat mit gleicher Schneckendrehzahl und gleicher Wasserzugabe (siehe Abb. 18).

Tab. 25: Ergebnisse der Produkteigenschaften am Versuchstag IV

PN	n [min ⁻¹]	WZ [%]	FD [kg/h]	d _E [mm]	E	SD [g/L]	Feuchte [g/100g]	Farbe			S
								L*	a*	b*	
Verwendete Rezeptur aus aus 45 % Linsenmehl und 55 % Erbsenproteinisolat											
1	600	28	10	3,8	1,27	338	21,75	49,31	11,86	33,89	2
2	600	24	10	4,0	1,33	320	16,70	50,50	10,26	32,75	3
3	600	19	10	4,4	1,47	292	11,50	48,36	10,07	30,26	4
4	800	19	10	4,3	1,43	205	10,89	48,90	10,04	29,18	2
5	800	24	10	4,2	1,40	268	16,59	43,75	9,98	28,20	3
6	800	28	10	3,9	1,30	288	20,68	45,30	11,20	31,09	3
7	1000	28	10	4,1	1,37	272	19,61	43,99	10,52	29,50	3
8	1000	24	10	4,6	1,53	228	16,10	45,81	9,80	28,81	3
9	1000	19	10	5,1	1,70	170	12,30	45,42	10,04	26,52	2
10	800	32	10	3,7	1,23	292	25,34	48,52	11,85	33,22	2
Verwendete Rezeptur aus aus 35 % Linsenmehl und 65 % Erbsenproteinisolat											
11	600	28	10	3,9	1,23	322	21,67	47,37	12,39	32,80	4
12	600	24	10	4,2	1,30	384	16,73	44,28	11,52	29,27	6
13	600	19	10	4,3	1,40	344	11,30	42,79	11,33	26,89	5
14	800	19	10	4,1	1,43	264	10,88	45,04	9,99	26,07	5
15	800	24	10	3,9	1,37	308	15,35	40,93	11,01	26,17	4
16	800	28	10	4,0	1,30	338	21,85	45,05	11,45	30,34	5
17	1000	28	10	4,3	1,33	288	17,73	43,55	10,77	28,76	4
18	1000	24	10	4,7	1,43	256	13,57	42,50	10,39	26,79	4
19	1000	19	10	3,7	1,57	188	9,86	44,38	10,36	25,36	5
20	800	32	10	3,8	1,23	314	22,91	47,44	11,95	32,36	2

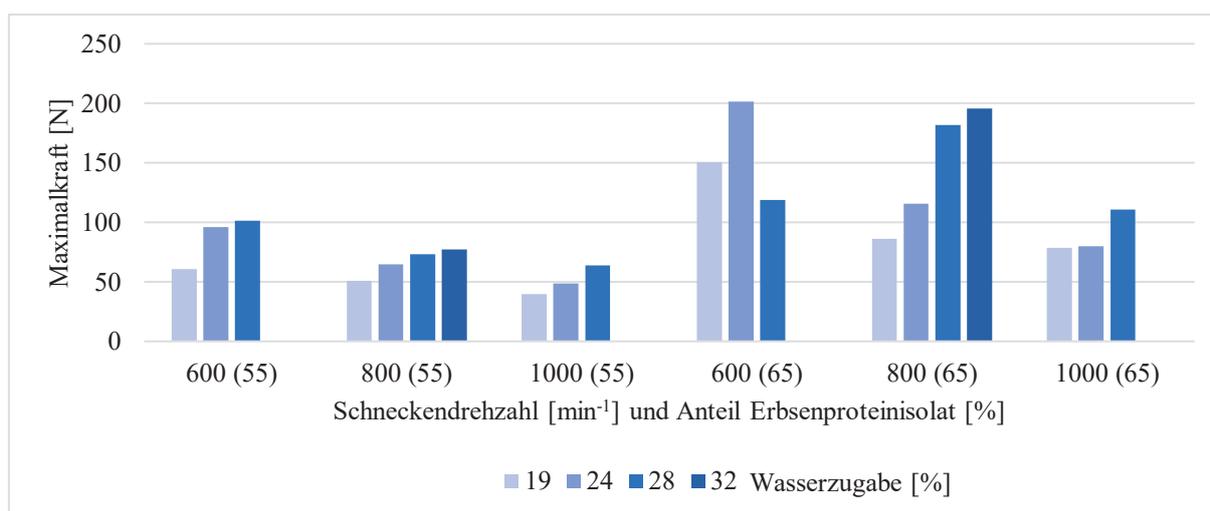


Abb. 19: Maximalkraft des Extrudats in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl, des Anteils an Erbsenproteinisolat und der Wasserzugabe am Versuchstag IV

Die Ergebnisse der Textur-Bestimmung, nämlich die Kraft und die Steigung werden in Tab. 26 dargestellt. Das Extrudat aus 35 % Linsemehl plus 65 % Erbsenproteinisolat hatte höhere Maximalkraft im Vergleich zum Extrudat aus 45 % Linsemehl plus 55 % Erbsenproteinisolat mit gleicher Schneckendrehzahl und gleicher Wasserzugabe. Eine Erhöhung des Anteils von Erbsenproteinisolat, die Erhöhung der Wasserzugabe und die Senkung der Schneckendrehzahl führten zu einer Erhöhung der Maximalkraft (siehe Abb. 19).

Tab. 26: Ergebnisse der Textur-Bestimmung am Versuchstag IV

PN	n [min ⁻¹]	WZ [%]	FD [kg/h]	Kraft [N]		Steigung [N/Sek.]	
				\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Verwendete Rezeptur aus aus 45 % Linsemehl und 55 % Erbsenproteinisolat							
1	600	28	10	101,28	17,02	53,20	8,93
2	600	24	10	95,95	20,33	52,45	11,53
3	600	19	10	60,71	12,54	29,44	6,29
4	800	19	10	50,71	19,44	25,98	8,88
5	800	24	10	64,57	7,64	31,0	4,63
6	800	28	10	73,27	10,88	35,93	6,25
7	1000	28	10	63,76	7,37	29,59	3,13
8	1000	24	10	48,76	8,44	23,73	4,11
9	1000	19	10	39,48	7,04	19,13	3,59
10	800	32	10	77,41	11,49	39,78	6,20
Verwendete Rezeptur aus aus 35 % Linsemehl und 65 % Erbsenproteinisolat							
11	600	28	10	118,75	22,55	68,49	5,04
12	600	24	10	201,38	41,51	125,76	23,20
13	600	19	10	150,43	15,25	99,12	13,34
14	800	19	10	86,32	10,66	40,621	2,96
15	800	24	10	115,43	11,04	63,13	5,86
16	800	28	10	181,74	29,28	98,79	13,46
17	1000	28	10	110,91	8,59	57,08	4,11
18	1000	24	10	79,82	14,98	38,73	5,07
19	1000	19	10	78,74	6,24	34,74	3,91
20	800	32	10	195,74	26,92	108,48	14,93

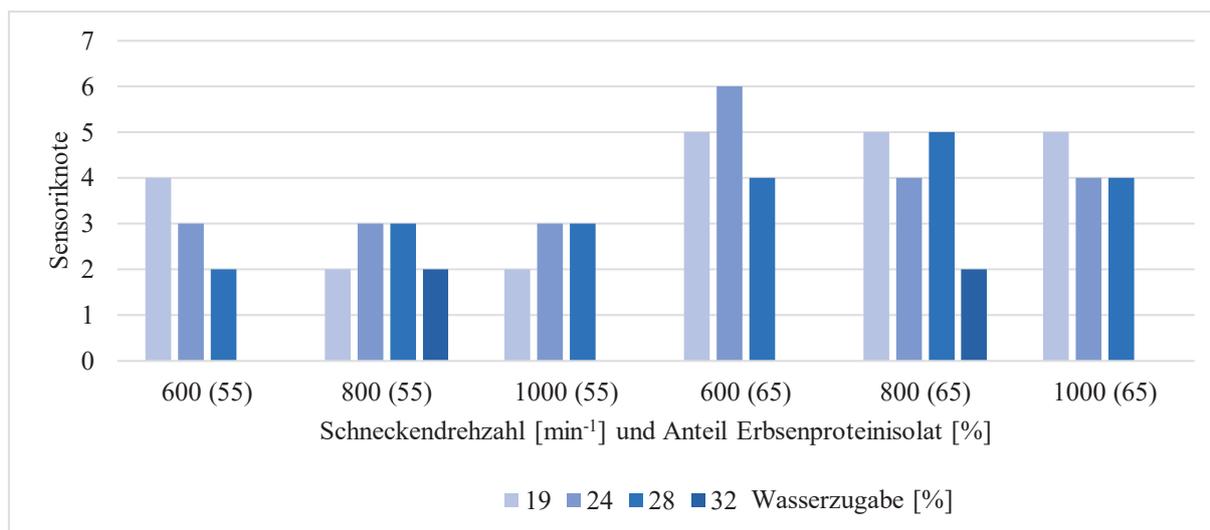


Abb. 20: Sensorische Beurteilung der Beliebtheit des gekochten Extrudats in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl, des Anteils an Erbsenproteinisolat und der Wasserzugabe am Versuchstag IV

In Tab. 25 und Abb. 20 sind zu erkennen, dass die Produktnummer 12 mit einem Rezept von 35 % Linsenmehl plus 65 % Erbsenproteinisolat, einer Schneckendrehzahl von 600 min⁻¹, einer Wassergabe von 24 %, einer Feststoffdosierung von 10 kg/h, einer Produkttemperatur 153 °C, der SME von 0,122 kWh/kg, der Maximalkraft von 201,38 N die höchste Sensoriknote hatte. Ein höherer Anteil an Erbsenproteinisolat steigert die Sensoriknote.

Die Sensorik-Note mit dem Rezept Linsenmehl plus Erbsenproteinisolat hatte jedoch zu einer niedrigeren Sensorik-Note und eine weicheren Textur nach dem Kochen im Vergleich zum Rezept Erbsenmehl plus Erbsenproteinisolat mit gleichem Verhältnis vom Anteil Erbsenproteinisolat geführt. Daher wurde am nächsten Versuchstag eine Optimierung der Herstellung von Fleischersatzprodukten nach dem Rezept Erbsenmehl plus Erbsenproteinisolat durchgeführt.

In diesem Versuchstag war die erwartete Produktform geeignet, da das Aussehen des Produkts unregelmäßige Rund-Form war. Daher wurde zweite Schnecken-Konfiguration für alle nächste Versuchstagen vorgenommen.

4.5 Versuchstag V

Die Ergebnisse der Prozessparameter am fünften Versuchstag mit einer Rezeptur von 35 % Erbsenmehl plus 65 % Erbsenproteinisolat mit dem Proteingehalt von 61 %, zweiten Schneckenkonfiguration, der Gehäusetemperatur von 150 °C sind in der Tab. 27 dargestellt.

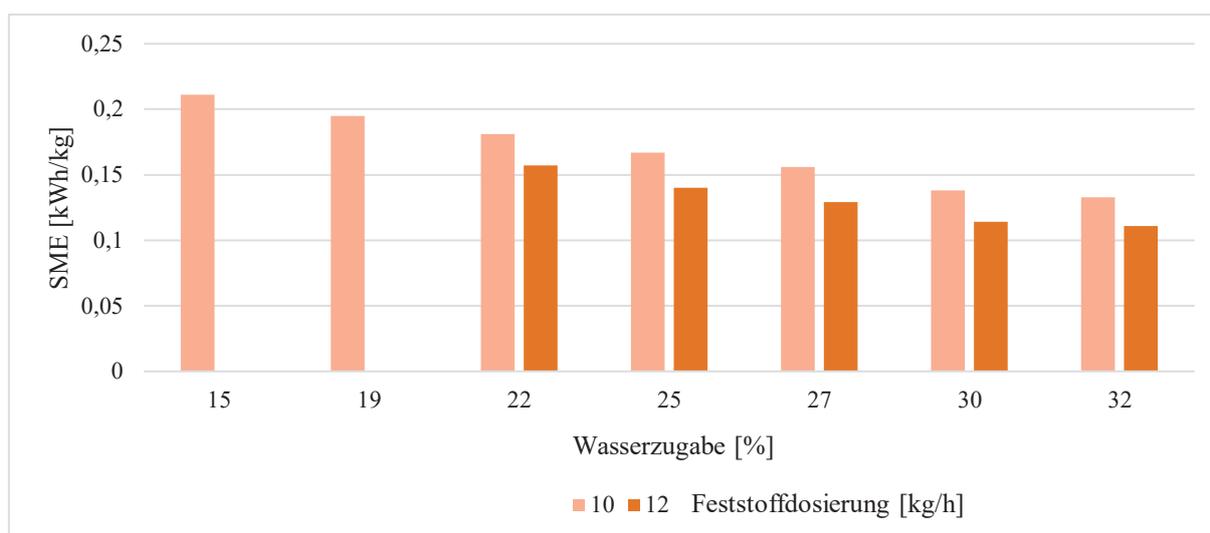


Abb. 21: Abhängigkeit der SME von der Wasserzugabe und Feststoffdosierung am Versuchstag V

In der Abb. 21 ist deutlich zu erkennen, dass eine Erhöhung der Wasserzugabe und eine Erhöhung der Feststoffdosierung zu einer Senkung der SME führen. Die SME mit einer Feststoffdosierung von 12 kg/h war geringer als die SME mit einer Feststoffdosierung von 10 kg/h mit gleicher Wasserzugabe. Die höchste SME von 0,211 kWh/kg hatte die Produktnummer 7, die geringste SME von 0,111 kWh/kg die Produktnummer 12.

Die Prozessparameter am fünften Versuchstag führten zu einer Produkttemperatur von 138 °C bis 164 °C. Die niedrigste Temperatur wurde die Probenummer 1 mit einer Drehzahl von 800 min⁻¹ und der Wasserzugabe von 32 %. Die höchste Temperatur war die Probenummer 7 mit einer Drehzahl von 800 min⁻¹ und einer Wasserzugabe von 15 % (siehe Tab. 27).

Tab. 27: Ergebnisse der Prozessparameter am Versuchstag V

PN	n [min ⁻¹]	WZ [%]	FD [kg/h]	t [°C]	DM [%]	Druck [bar]	SME [kWh/kg]
1	800	32	10	138	22	11	0,133
2	800	30	10	142	22	11	0,138
3	800	27	10	148	24	17	0,156
4	800	25	10	153	25	21	0,167
5	800	22	10	158	26	22	0,181
6	800	19	10	161	27	24	0,195
7	800	15	10	164	28	29	0,211
8	800	22	12	159	27	21	0,157
9	800	25	12	155	25	20	0,140
10	800	27	12	153	24	15	0,129
11	800	30	12	148	22	12	0,114
12	800	32	12	144	22	12	0,111
13	600	25	10	148	24	19	0,120

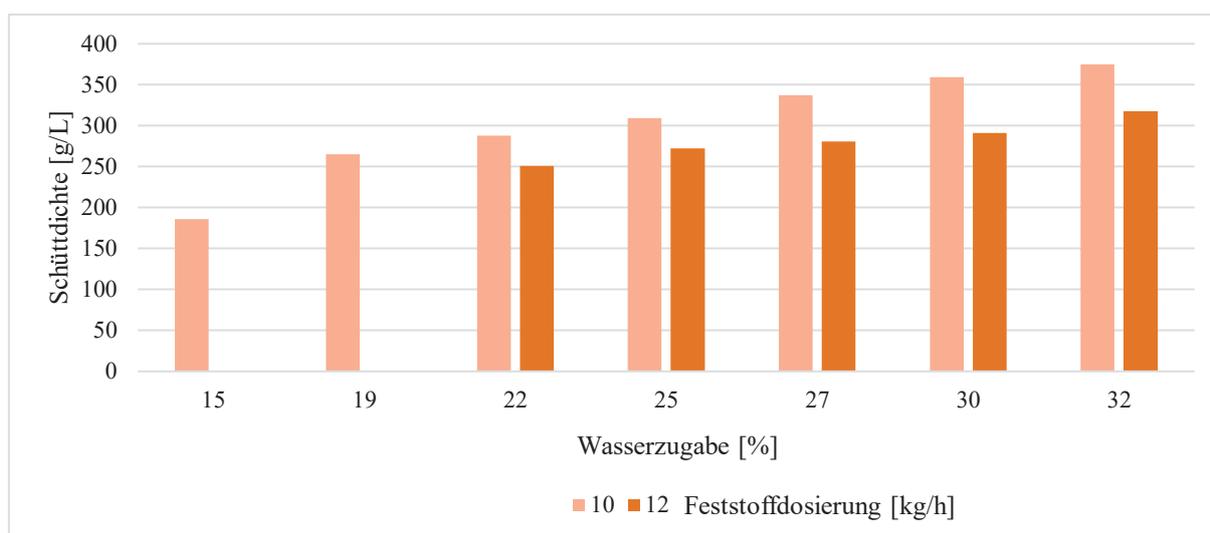


Abb. 22: Schüttdichte des Extrudats in Abhängigkeit von der Wasserzugabe und Feststoffdosierung am Versuchstag V

In Abb. 22 und Tab. 28 ist zu erkennen, dass die Probennummer 1 hatte am größten Schüttdichte von 375 g/L aufwies, im Gegensatz dazu hatte das Produkt mit der Probennummer 7 mit 186 g/L die niedrigste Schüttdichte. Mit höherer Feststoffdosierung nimmt die Schüttdichte ab.

Tab. 28: Ergebnisse der Produkteigenschaften am Versuchstag V

PN	n [min ⁻¹]	WZ [%]	FD [kg/h]	d _E [mm]	E	SD [g/L]	Feuchte [g/100g]	Farbe			S
								L*	a*	b*	
1	800	32	10	3,8	1,27	375	28,73	48,55	12,96	34,15	2
2	800	30	10	3,9	1,30	359	24,51	49,55	12,26	33,83	3
3	800	27	10	4,1	1,37	337	21,49	47,62	11,99	32,18	5
4	800	25	10	4,2	1,40	309	20,07	45,81	11,24	30,09	6
5	800	22	10	4,4	1,47	288	14,29	45,44	10,86	28,80	7
6	800	19	10	4,8	1,60	265	10,89	47,22	10,24	27,45	6
7	800	15	10	5,2	1,73	186	9,04	46,86	10,49	25,72	4
8	800	22	12	4,4	1,60	251	14,79	46,79	10,89	29,07	7
9	800	25	12	4,8	1,53	272	20,82	49,11	10,42	30,12	6
10	800	27	12	4,4	1,47	281	22,10	51,86	11,31	33,45	5
11	800	30	12	4,2	1,40	291	25,27	52,15	11,84	33,98	3
12	800	32	12	3,9	1,30	318	29,02	50,65	12,03	33,48	2
13	600	25	10	4,2	1,40	303	20,32	52,60	10,87	32,52	4

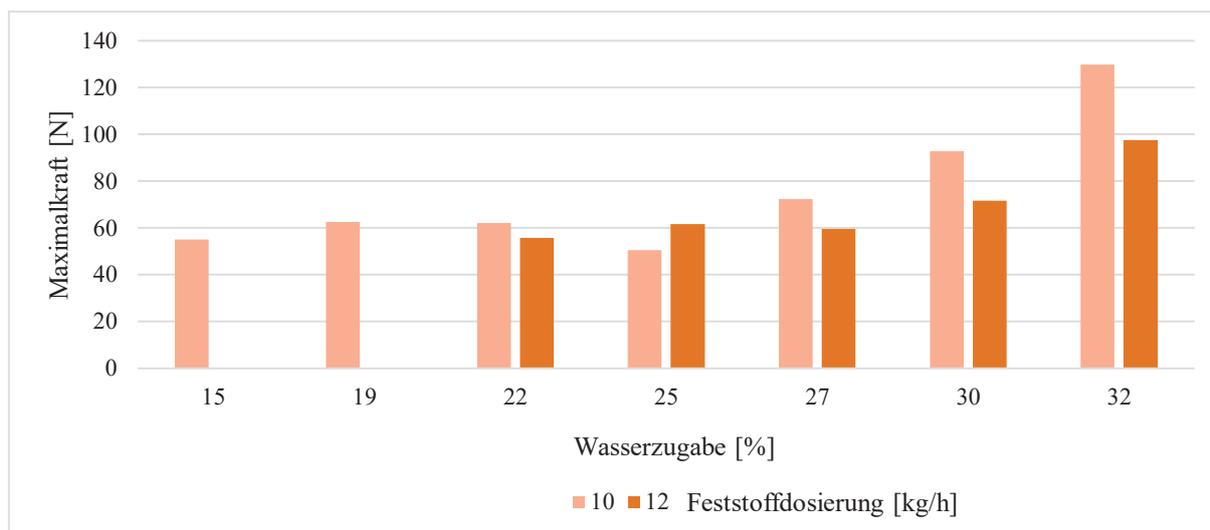


Abb. 23: Maximalkraft des Extrudats in Abhängigkeit von der Wasserzugabe und Feststoffdosierung am Versuchstag V

Die Kraft und die Steigung des Extrudates werden in Tab. 29 dargestellt. Die Maximalkraft mit einem Rezept von 35 % Erbsenmehl plus 65 % Erbsenproteinisolat mit einer Feststoffdosierung von 10 kg/h war höher Maximalkraft als die der Produkte mit einer Feststoffdosierung von 12 kg/h und gleicher Wasserzugabe. Eine Senkung der Feststoffdosierung, die Erhöhung der Wasserzugabe führten zu einer Erhöhung der Maximalkraft (siehe Abb. 23).

Tab. 29: Ergebnisse der Textur-Bestimmung am Versuchstag V

PN	n [min ⁻¹]	WZ [%]	FD [kg/h]	Kraft [N]		Steigung [N/Sek.]	
				\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
1	800	32	10	129,75	10,44	74,95	10,30
2	800	30	10	92,83	16,40	48,99	8,10
3	800	27	10	72,38	5,01	39,11	3,00
4	800	25	10	50,52	6,49	25,45	3,47
5	800	22	10	62,17	6,15	28,93	3,32
6	800	19	10	62,66	2,26	31,88	2,60
7	800	15	10	55,13	2,03	26,27	2,44
8	800	22	12	55,64	10,54	27,32	4,79
9	800	25	12	61,58	7,54	30,95	5,12
10	800	27	12	59,51	5,19	30,97	5,34
11	800	30	12	71,57	3,11	38,35	3,65
12	800	32	12	97,62	4,76	49,13	2,26
13	600	25	10	70,05	5,04	35,11	1,87

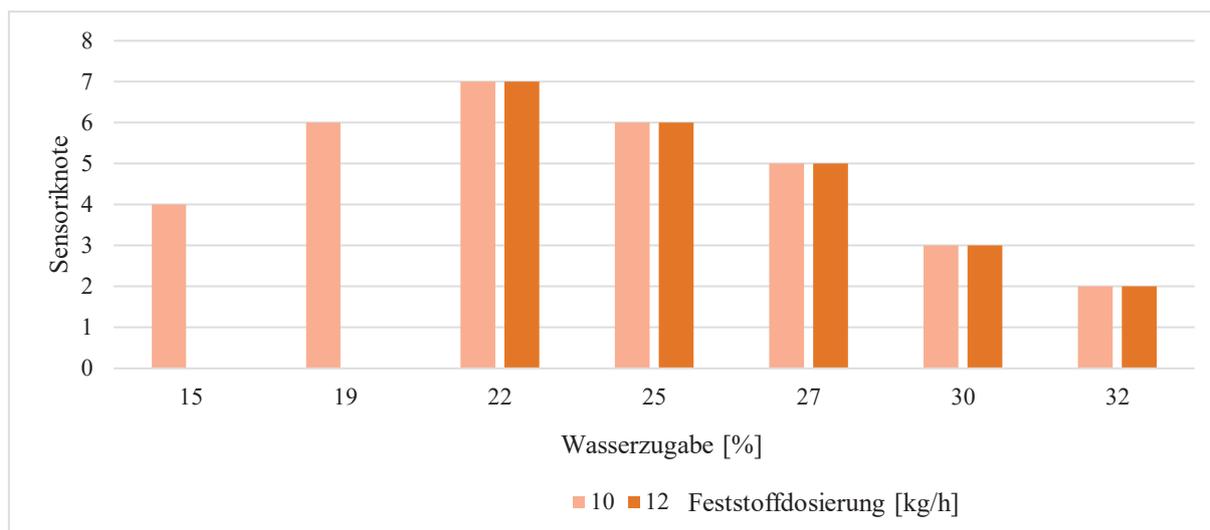


Abb. 24: Sensorische Beurteilung der Beliebtheit des gekochten Extrudats in Abhängigkeit von der Wasserzugabe und Feststoffdosierung am Versuchstag V

In Tab. 28 und Abb. 24 sind zu sehen, dass die Extrudate der Produktnummern 5 und 8 mit unterschiedlichen Feststoffdosierungen von 10 kg/h und 12 kg/h, einer gleichen Schneckendrehzahl von 800 min^{-1} , einer gleichen Wasserzugabe von 22 % die höchsten Sensoriknoten von 7 hatten. Die Produkte mit der höchsten Wasserzugabe von 32 % und die mit der geringsten Wasserzugabe von 15 % hatten geringere Sensoriknoten. Die Steigungen der Kraft-Weg-Kurve von Feststoffdosierungen zwischen 10 kg/h und 12 kg/h hatte ähnliche Sensoriknoten.

In diesem Versuch gab es keine Sensoriknote, die gleich oder höher als die Sensoriknote von 8 am dritten Versuchstag war, mit demselben Rezept, nämlich 35% Erbsenmehl plus 65% Erbsenproteinisolat. Die Produkte mit der höchsten Sensoriknote in diesem Versuchstag von 7 hatten jedoch eine weichere Textur nach dem Kochen im Vergleich zur Produktnummer 10 am dritten Versuchstag (siehe Tab. 23).

Deswegen wurde am nächsten Versuchstag eine Veränderung des Rezepts von 40 % Erbsenmehl und 60 % Erbsenproteinisolat mit gleicher Schneckendrehzahl von diesem Versuchstag von 800 min^{-1} und höherer Schneckendrehzahl von 1000 min^{-1} , um die gewünschte Sensoriknote von 8 zu erhalten, durchgeführt.

4.6 Versuchstag VI

Die Ergebnisse der Prozessparameter am sechsten Versuchstag mit einer Rezeptur von 40 % Erbsenmehl plus 60 % Erbsenproteinisolat mit dem Proteingehalt von 57 %, zweiten Schneckenkonfiguration, der Gehäusetemperatur von 150 °C sind in der Tab. 30 dargestellt.

Tab. 30: Ergebnisse der Prozessparameter am Versuchstag VI

PN	n [min ⁻¹]	WZ [%]	FD [kg/h]	t [°C]	DM [%]	Druck [bar]	SME [kWh/kg]
1	800	27	10	149	24	17	0,156
2	800	25	10	155	25	21	0,167
3	800	22	10	158	27	21	0,188
4	800	22	12	159	27	22	0,157
5	800	25	12	157	26	19	0,145
6	800	27	12	154	24	16	0,129
7	1000	27	12	156	24	17	0,162
8	1000	25	12	158	25	19	0,175
9	1000	22	12	160	27	20	0,196
10	1000	22	10	160	25	18	0,217
11	1000	25	10	157	24	18	0,201
12	1000	27	10	154	23	16	0,187
13	800	22	10	158	25	22	0,174
14	800	19	10	162	26	24	0,188
15	800	19	12	162	28	26	0,168

Die Prozessparameter am sechsten Versuchstag führten zu einer Produkttemperatur von 149 °C bis 162 °C. Die niedrigste Temperatur wurde die Probenummer 1 mit der Drehzahl von 800 min⁻¹, der Wasserzugabe von 27 % und der Feststoffdosierung von 10 kg/h. Die höchste Temperatur war die Probenummer 14 und Probenummer 15 mit einer Drehzahl von 800 min⁻¹, einer Wasserzugabe von 19 %, der Feststoffdosierung mit jeweils von 10 kg/h und 12 kg/h.

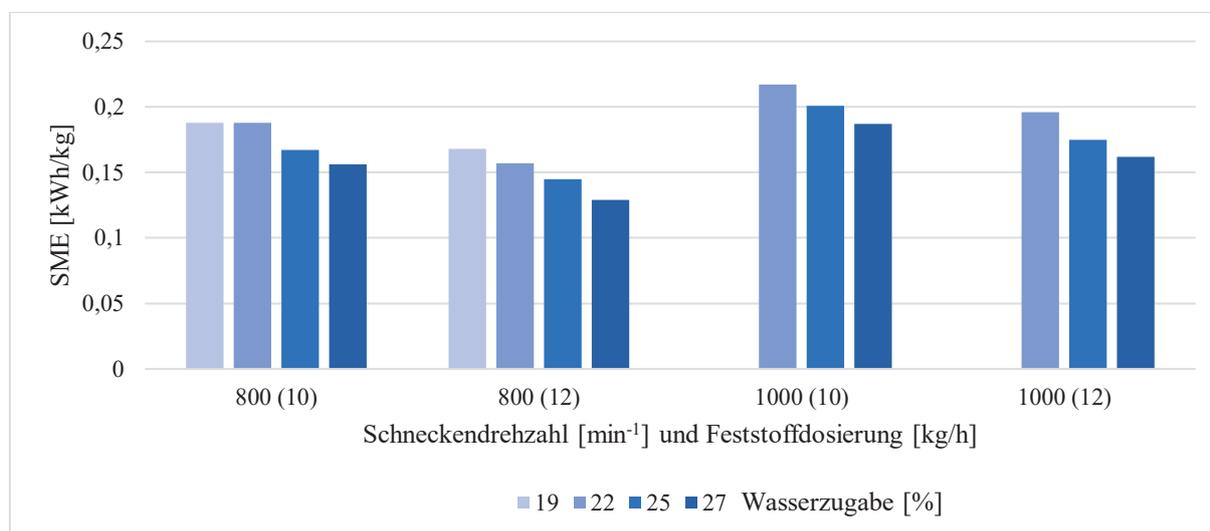


Abb. 25: Abhängigkeit der SME von der Schneckendrehzahl, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag VI

Die Erhöhung der Wasserzugabe, eine Senkung der Schneckendrehzahl und einer Steigerung der Feststoffdosierung führen zu einer Senkung der SME (siehe Abb. 25). Die höchste SME von 0,217 kWh/kg hatte die Produktnummer 10 mit einer Wasserzugabe von 19 % und einer Schneckendrehzahl von 1000 min⁻¹. Im Gegensatz dazu hatte das Extrudat der Produktnummer

6 mit einer Schneckendrehzahl von 800 min^{-1} und einer Wasserzugabe von 27 % die geringste SME von $0,129 \text{ kWh/kg}$ (siehe Tab. 30).

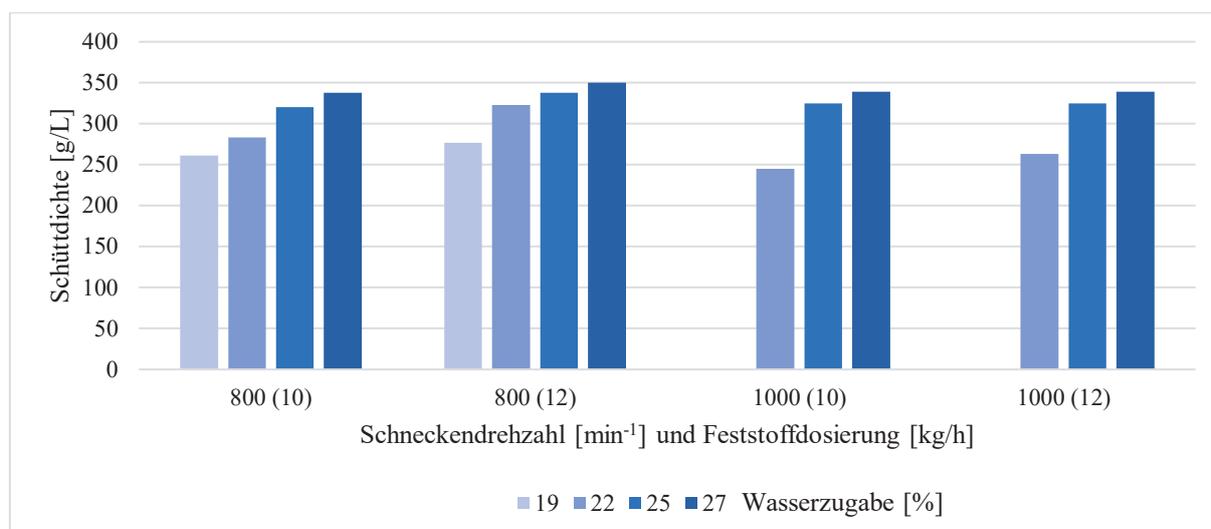


Abb. 26: Schüttdichte des Extrudats in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag VI

Die Abb. 26 zeigt, dass die Erhöhung der Wasserzugabe zu einer Erhöhung der Schüttdichte führt. Die Erhöhung der Schneckendrehzahl verursacht die Senkung der Schüttdichte. In diesem Versuch steigt die Schüttdichte mit höherer Feststoffdosierung.

Tab. 31: Ergebnisse der Produkteigenschaften am Versuchstag VI

PN	n [min ⁻¹]	WZ [%]	FD [kg/h]	d _E [mm]	E	SD [g/L]	Feuchte [g/100g]	Farbe			S
								L*	a*	b*	
1	800	27	10	4,1	1,40	338	23,49	48,60	11,53	32,23	4
2	800	25	10	4,4	1,43	320	20,40	45,58	10,83	29,44	5
3	800	22	10	4,4	1,50	283	16,07	46,08	10,55	28,71	5
4	800	22	12	4,0	1,60	323	18,46	46,30	10,90	29,55	5
5	800	25	12	4,1	1,53	338	20,41	45,43	11,67	29,83	4
6	800	27	12	4,6	1,47	350	23,11	48,99	11,66	32,38	3
7	1000	27	12	4,5	1,53	339	21,59	47,53	11,56	31,23	3
8	1000	25	12	4,2	1,60	325	18,79	47,16	10,79	30,27	4
9	1000	22	12	4,0	1,70	245	16,00	44,74	10,67	28,01	3
10	1000	22	10	4,3	1,67	263	15,12	43,51	11,14	26,99	4
11	1000	25	10	4,1	1,60	325	18,45	43,34	11,20	28,92	5
12	1000	27	10	3,8	1,50	325	21,14	45,44	11,30	30,57	4
13	800	22	10	3,5	1,53	305	14,37	44,63	10,77	28,09	6
14	800	19	10	3,5	1,60	261	13,53	45,73	10,36	27,00	5
15	800	19	12	3,4	1,57	277	12,79	47,07	10,55	28,15	4

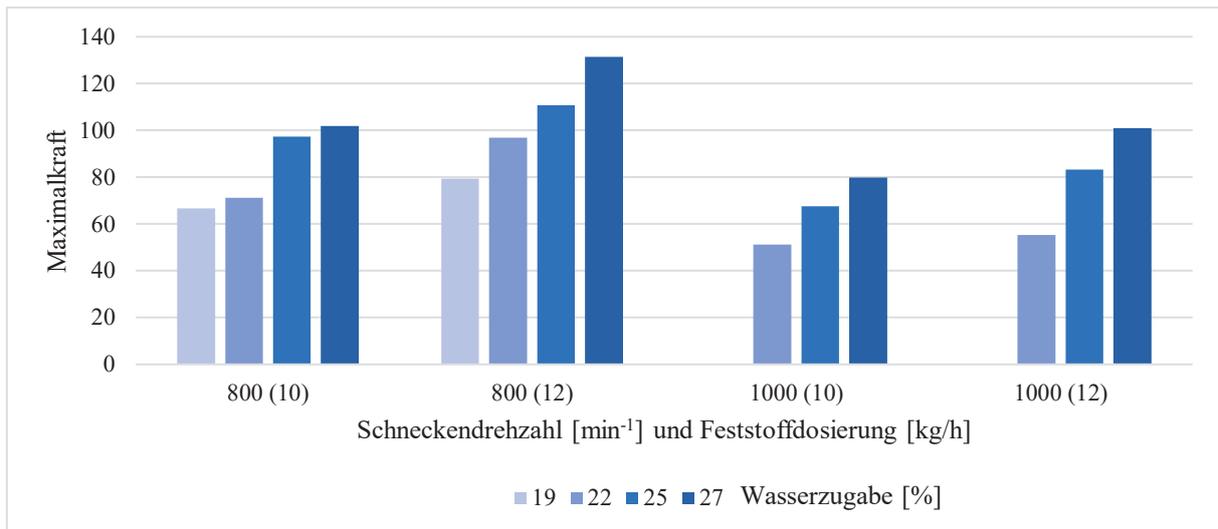


Abb. 27: Maximalkraft des Extrudats in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag VI

In Abb. 27 ist es deutlich zu erkennen, dass die Erhöhung der Schneckendrehzahl, die Senkung der Feststoffdosierung und die Senkung der Wasserzugabe die Maximalkraft des Extrudats senken an. Die größte Maximalkraft hatte die Probennummer 6 mit einer Schneckendrehzahl von 800 min⁻¹, einer Feststoffdosierung von 12 kg/h und einer Wasserzugabe von 27 %. Die Probennummer 10 hatte kleinste Maximalkraft mit einer Schneckendrehzahl von 1000 min⁻¹, einer Feststoffdosierung von 10 kg/h und einer Wasserzugabe von 22 % (siehe Tab. 32).

Tab. 32: Ergebnisse von Textur-Bestimmung am Versuchstag VI

PN	n [min ⁻¹]	WZ [%]	FD [kg/h]	Kraft [N]		Steigung [N/Sek.]	
				\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
1	800	27	10	101,95	7,61	48,85	3,92
2	800	25	10	97,25	10,12	48,59	5,58
3	800	22	10	71,25	3,38	39,49	2,97
4	800	22	12	96,90	8,38	48,26	1,69
5	800	25	12	110,85	8,83	62,56	4,21
6	800	27	12	131,31	10,01	68,33	4,25
7	1000	27	12	101,05	12,83	59,77	5,86
8	1000	25	12	83,34	5,70	40,06	3,67
9	1000	22	12	55,29	2,40	23,50	4,81
10	1000	22	10	51,30	3,78	23,08	2,41
11	1000	25	10	67,53	10,79	32,36	3,90
12	1000	27	10	79,90	6,78	42,68	2,87
13	800	22	10	68,55	7,83	31,77	3,93
14	800	19	10	66,77	6,93	33,76	4,66
15	800	19	12	79,37	9,07	41,05	6,12

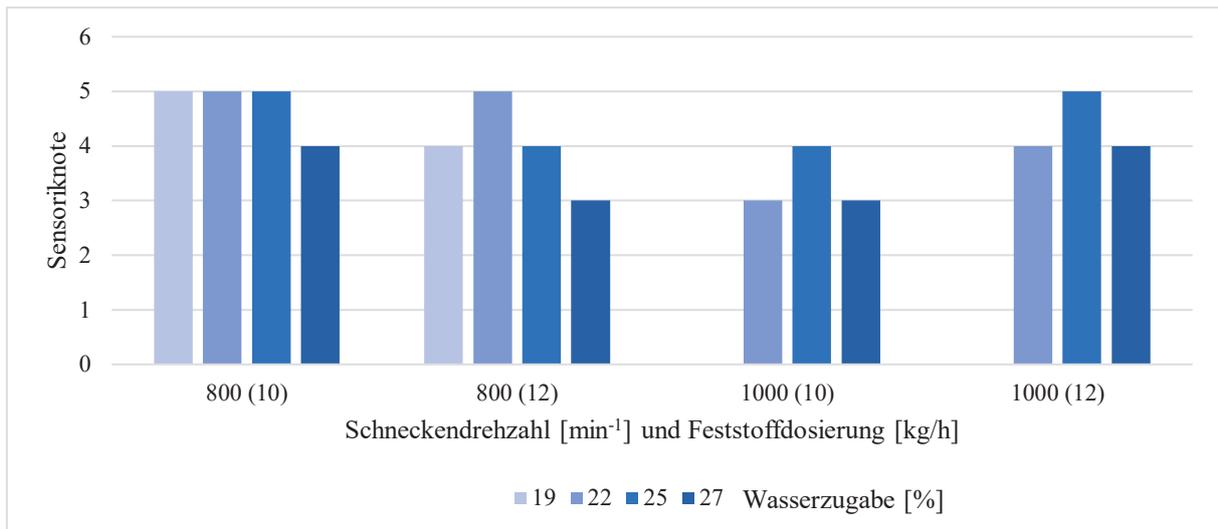


Abb. 28: Sensorische Beurteilung der Beliebtheit des gekochten Extrudats in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag VI

In Tab. 32 und Abb. 28 ist zu erkennen, dass die Produktnummern 2, 3, 4 und 11 Sensoriknoten von 5 hatten, das bedeutet, dass sie weder gefallen noch missfallen. Die Produkte waren weicher als die Produkte, die am fünften Versuchstag mit einem 5 % höheren Anteil vom Erbsenproteinisolat (65 %) hergestellt wurden.

Im nächsten Versuchstag wurde erwartet, dass eine Erhöhung des Erbsenproteinisolat Anteils im Rezept, eine Verringerung der Wasserzugabe und der Feststoffdosierung sowie eine Erhöhung der Gehäusetemperatur ein besser strukturiertes pflanzliches Proteinprodukt ergeben wurde. Daher wurde die Verwendung eines Rezepts mit 35% Erbsenmehl plus 65% Erbsenproteinisolat am siebten Versuchstag festgelegt.

4.7 Versuchstag VII

Die Ergebnisse der Prozessparameter am siebten Versuchstag mit einer Rezeptur von 35 % Erbsenmehl plus 65 % Erbsenproteinisolat, zweiten Schneckenkonfiguration, der Gehäusetemperatur von 150 °C, einer Drehzahl von 800 min⁻¹, eine Düsenplatte mit 4 Düsen zu je 3 mm Durchmesser (4 3-mm-Düsen) und eine Düsenplatte mit 2 Düsen zu je 5 mm Durchmesser (2 5-mm-Düsen) sind in der Tab. 33 dargestellt.

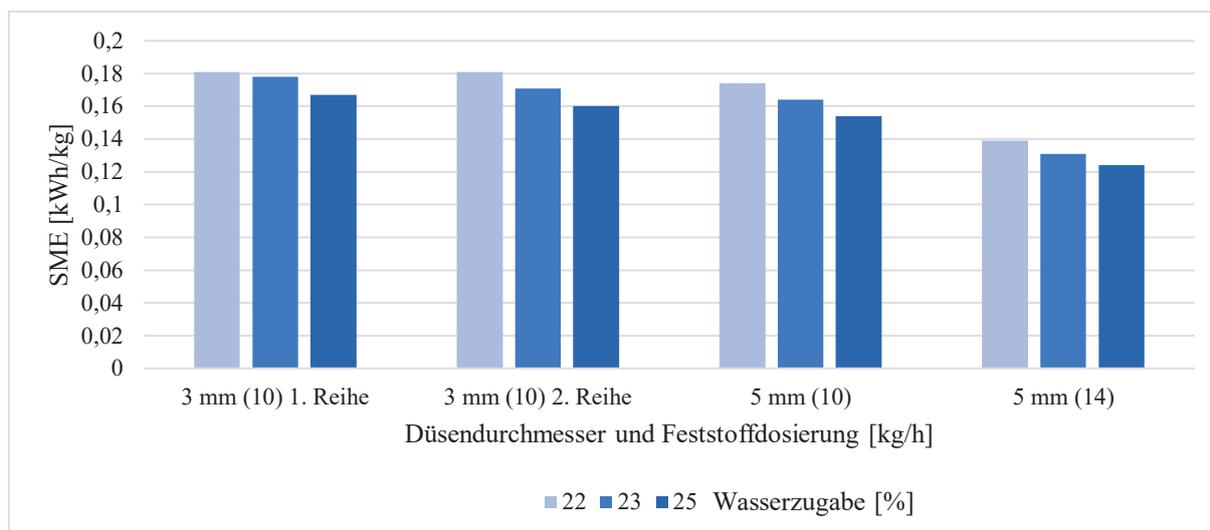


Abb. 29: Abhängigkeit der SME von dem Düsendurchmesser, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag VII

Die SME der Probennummern 1 bis 6 mit hatte zwischen der 1. Reihe und 2. Reihe nur geringe Unterschiede. Im Gegensatz dazu war die SME der Probennummern 7 bis 9 mit 2 5-mm-Düsen mit einer Feststoffdosierung von 14 kg/h größer als die SME der Probennummern 10 bis 12 mit einer Feststoffdosierung von 10 kg/h. Die Erhöhung Gesamt-Düsenquerschnittsfläche führt zu einer Senkung der SME (siehe Abb 29; Tab.33).

Tab. 33: Ergebnisse von Prozessparameter am Versuchstag VII

PN	n [min ⁻¹]	WZ [%]	FD [kg/h]	t [°C]	DM [%]	Druck [bar]	SME [kWh/kg]
Eine Düsenplatte mit 4 Düsen zu je 3 mm Durchmesser							
1	800	25	10	153	25	20	0,167
2	800	23	10	156	26	22	0,178
3	800	22	10	159	26	22	0,181
4	800	25	10	155	24	19	0,160
5	800	23	10	157	25	21	0,171
6	800	22	10	159	26	23	0,181
Eine Düsenplatte mit 2 Düsen zu je 5 mm Durchmesser							
7	800	25	14	149	26	13	0,124
8	800	23	14	152	27	15	0,131
9	800	22	14	155	28	18	0,139
10	800	25	10	152	23	13	0,154
11	800	23	10	154	24	16	0,164
12	800	22	10	156	25	17	0,174

Die Prozessparameter am siebten Versuchstag mit 4 Düsen mit Durchmesser von 3 mm von Probennummer 1 bis 6 führten zu einer Produkttemperatur von 153 °C bis 159 °C. Die niedrigste Temperatur wurde bei der Probennummer 1 mit der Wasserzugabe von 25 % gemessen, die höchste Temperatur bei der Probennummer 3 und 6 mit der Wasserzugabe von 22 %. Die Produkttemperaturen mit 2 5-mm-Düsen führten von Probennummer 7 bis 12 von 149 °C bis 156 °C. Die niedrigste Temperatur ergab die Probennummer 7 mit der Wasserzugabe von 25 %

und der Feststoffdosierung von 14 kg/h. Die höchste Temperatur war die Probenummer 12 mit der Wasserzugabe von 22 % und der Feststoffdosierung von 10 kg/h.

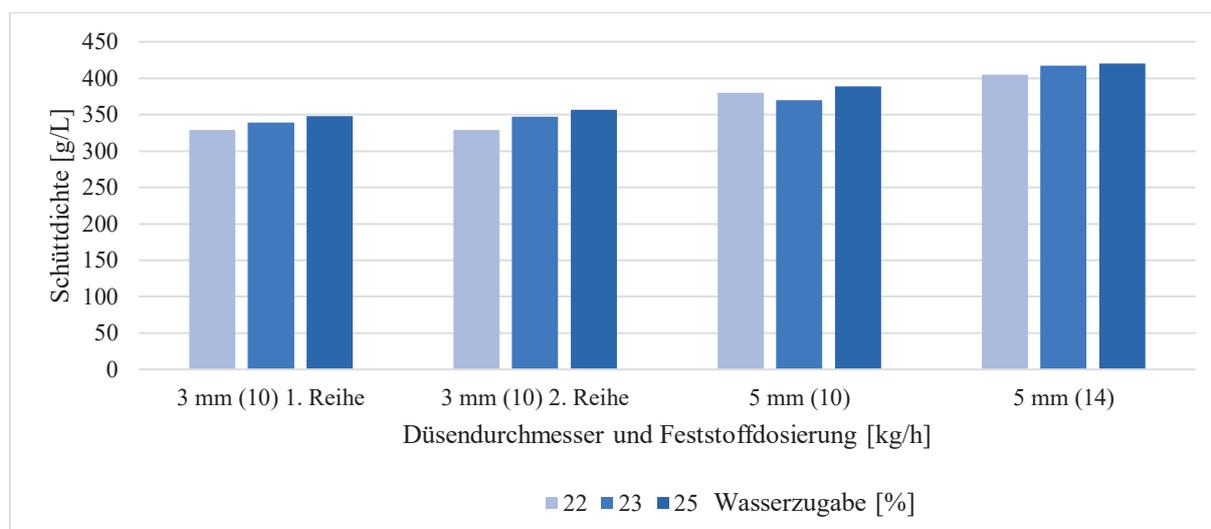


Abb. 30: Schüttdichte des Extrudats in Abhängigkeit vom Düsendurchmesser, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag VII

Die Erhöhung der Düsen-Gesamtfläche führte zu einer Steigerung der Schüttdichte. Die Schüttdichte zwischen den beiden Reihen (Probenummer von 1 bis 6) mit 4 3-mm-Düsen war fast gleich. Wegen der Erhöhung der Rohstoffdosierung auf 14 kg/h waren die Schüttdichte der Extrudate der Probenummern von 7 bis 9 mit 2 5-mm-Düsen größer als die der Probenummern 10 bis 12 mit einer Feststoffdosierung von 10 kg/h (siehe Abb 30; Tab.34).

Tab. 34: Ergebnisse von Produkteigenschaften am Versuchstag VII

PN	n [min ⁻¹]	WZ [%]	FD [kg/h]	d _E [mm]	E	SD [g/L]	Feuchte [g/100g]	Farbe			S
								L*	a*	b*	
Eine Düsenplatte mit 4 Düsen zu je 3 mm Durchmesser											
1	800	25	10	4,0	1,33	348	18,58	46,39	11,40	31,04	6
2	800	23	10	4,1	1,37	339	17,31	43,19	11,15	28,69	7
3	800	22	10	4,2	1,40	329	15,28	43,62	11,31	28,12	8
4	800	25	10	4,0	1,33	357	17,72	44,19	11,73	29,53	6
5	800	23	10	4,1	1,37	347	16,51	43,18	11,57	28,37	7
6	800	22	10	4,2	1,40	329	14,67	42,55	11,66	27,96	8
Eine Düsenplatte mit 2 Düsen zu je 5 mm Durchmesser											
7	800	25	14	6,2	1,24	389	19,07	47,63	12,92	33,12	3
8	800	23	14	6,3	1,26	370	17,98	46,54	12,32	31,35	4
9	800	22	14	6,4	1,28	380	15,44	41,90	13,08	28,81	5
10	800	25	10	6,0	1,20	420	17,39	40,55	12,68	27,94	6
11	800	23	10	6,1	1,22	417	15,31	41,60	12,39	29,29	7
12	800	22	10	6,3	1,26	405	13,75	40,54	12,08	26,48	8

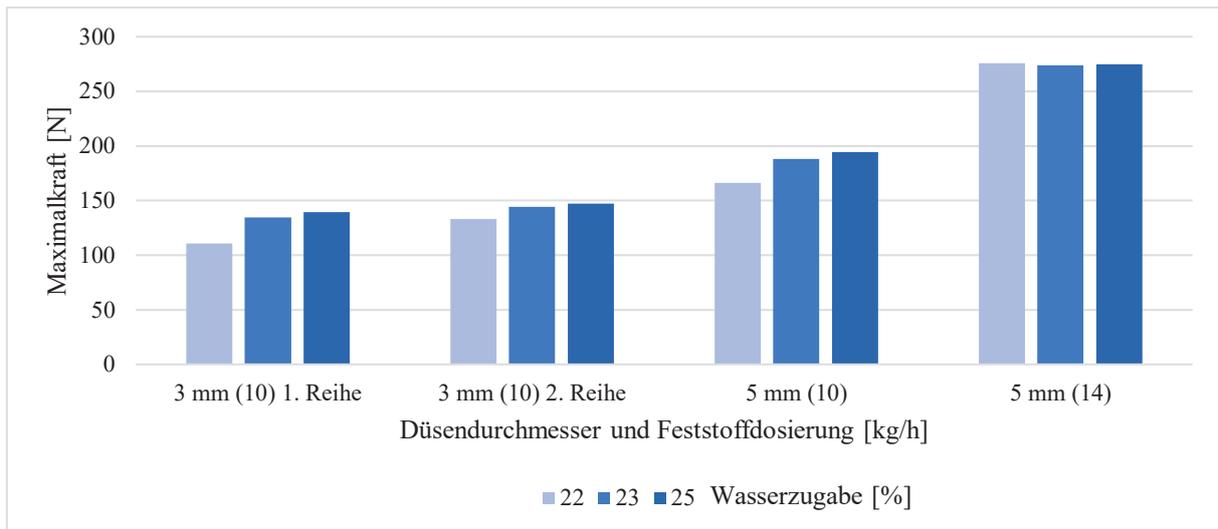


Abb. 31: Maximalkraft des Extrudats in Abhängigkeit von dem Düsendurchmesser, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag VII

In der Abb. 31 ist deutlich zu erkennen, dass die Erhöhung der Gesamtfläche der Düsen zu einer Erhöhung der Maximalkraft führte. Die Maximalkraft der Proben aus der 1. Reihe mit 4 3-mm-Düsen war geringer als Maximalkraft der Proben aus der 2. Reihe.

Die Probennummern 7 bis 9 mit 2 5-mm-Düsen mit einer Feststoffdosierung von 14 kg/h hatten eine größere Maximalkraft als die Probennummer 10 bis 12 mit einer Feststoffdosierung von 10 kg/h (siehe Tab. 35).

Tab. 35: Ergebnisse von Textur-Bestimmung am Versuchstag VII

PN	n [min ⁻¹]	WZ [%]	FD [kg/h]	Kraft [N]		Steigung [N/Sek.]	
				\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Eine Düsenplatte mit 4 Düsen zu je 3 mm Durchmesser							
1	800	25	10	139,22	8,53	75,20	8,07
2	800	23	10	134,79	4,76	70,06	4,53
3	800	22	10	110,86	9,43	61,76	4,32
4	800	25	10	147,19	11,88	79,31	8,50
5	800	23	10	144,54	11,79	72,05	5,26
6	800	22	10	133,30	6,49	75,50	8,18
Eine Düsenplatte mit 2 Düsen zu je 5 mm Durchmesser							
7	800	25	14	274,69	16,70	169,95	14,51
8	800	23	14	273,98	18,99	152,04	8,34
9	800	22	14	275,90	20,71	156,10	15,53
10	800	25	10	194,22	12,86	102,58	7,20
11	800	23	10	187,94	5,51	104,50	9,18
12	800	22	10	166,18	11,56	91,00	10,96

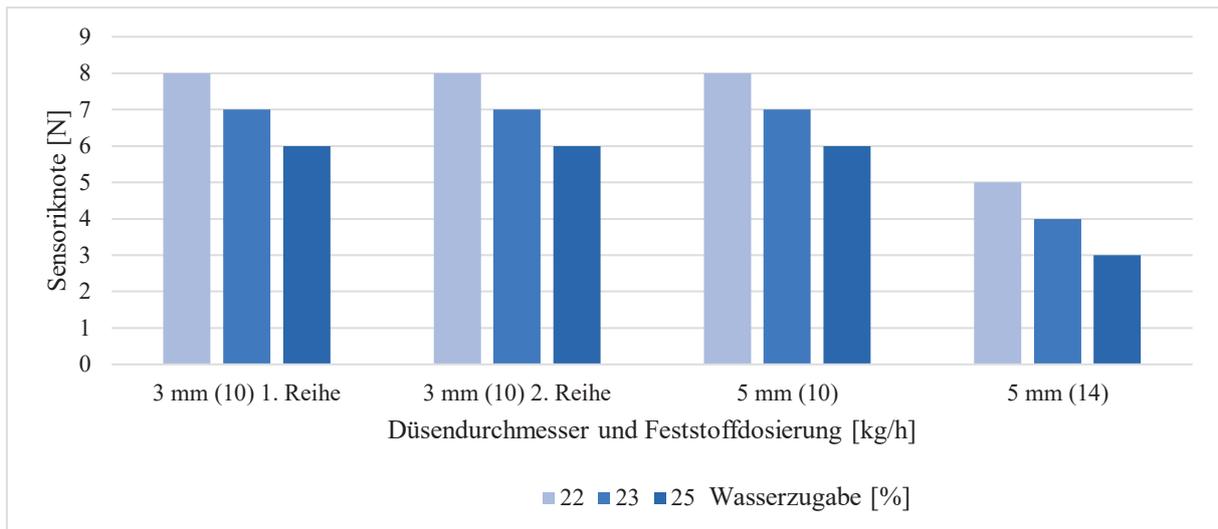


Abb. 32: Sensorische Beurteilung der Beliebtheit des gekochten Extrudats in Abhängigkeit von dem Düsendurchmesser, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag VII

In Abb. 34 ist zu bemerken, dass die Erhöhung der Gesamtfläche der Düsen mit einer Feststoffdosierung von 10 kg/h gleiche Sensoriknote des gekochten Extrudats. Die große Sensoriknote von 8 hatten die Extrudate mit einer Feststoffdosierung von 10 kg/h, einer Wasserzugabe von 22 % mit 2 5-mm-Düsen und 4 3-mm-Düsen von 1. Reihe und 2. Reihe.

In Abb. 35. stehen die Produkte oder Extrudaten mit 4 3-mm-Düsen auf linke Seite kleinere Form und hellere Farbe als Extrudaten mit 2 5-mm-Düsen auf rechte Seite.

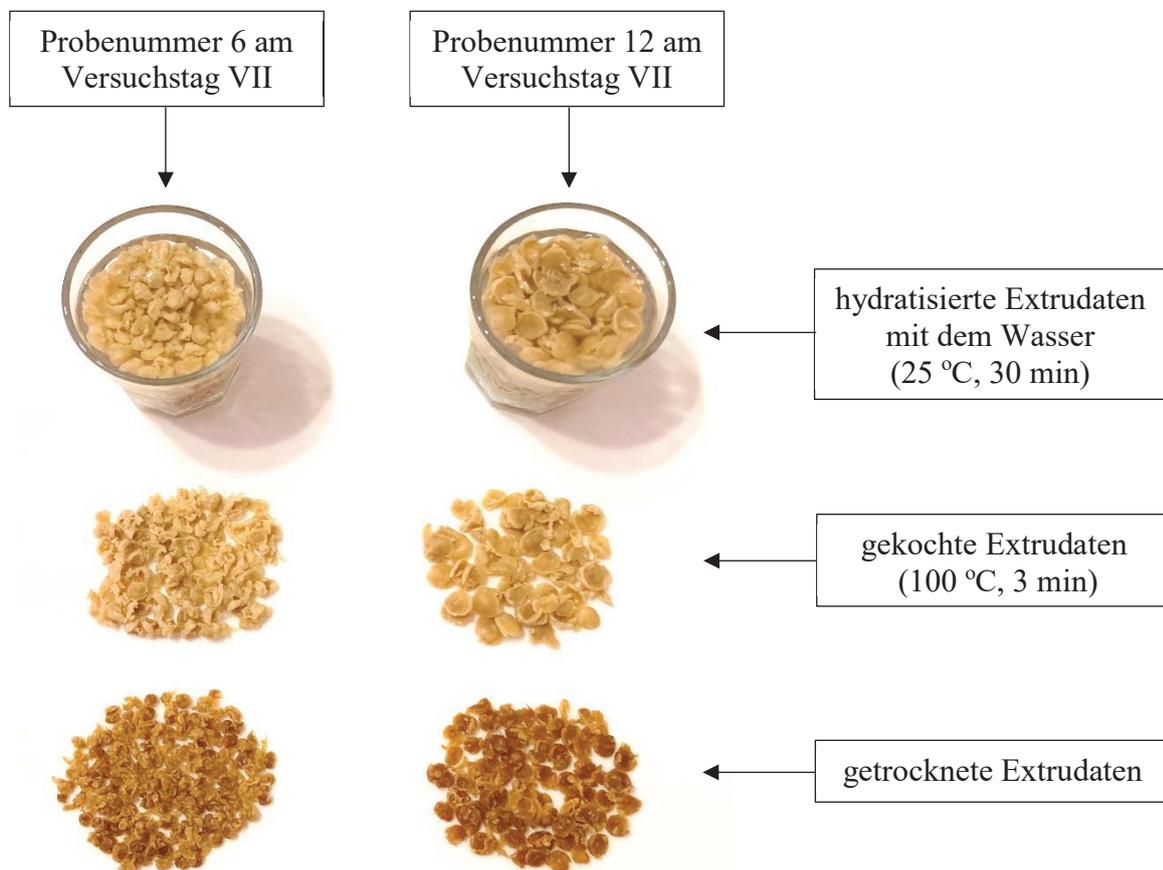


Abb. 33: Fleischersatzprodukte aus gemahlene Hülsenfrüchten (Gunawan, 2021)

5. Abschlussdiskussion

Aus den Ergebnissen aller Versuche ergab sich ein Einfluss zwischen die Rezeptur, die Wasserzugabe, die Schnecken-Drehzahl, die Feststoffdosierung, die Zylindertemperatur und die Schneckenkonfiguration auf die Extruderprozessparameter und die Produkteigenschaften des hergestellten Produkts. Alle diese Einflüsse werden in diesem Abschnitt erläutert.

Rezeptur

Der Zusammensetzungsgehalt der Mischung von Erbsenmehl plus Erbsenproteinisolat (siehe Probennummer 1 und 6 am Versuchstag V) mit der Linsenmehl plus Erbsenproteinisolat-Rezeptur (siehe Probennummer 20 und 14 von Versuchstag IV) hat die Prozessparameter während der Extrusion beeinflusst. Die Erbsenmehl plus Erbsenproteinisolat-Rezeptur hat zu niedrigeren Temperaturen, höherem Drehmoment, stabilem oder niedrigerem Druck und höheren SME geführt als das Linsenmehl plus Erbsenproteinisolat-Rezeptur. Dieser Unterschied ist jedoch nicht deutlich. Dieser Unterschied kann auch in der Proteinzusammensetzung liegen, die im Rohstoff der Linsenmehl plus Erbsenproteinisolat-Rezeptur im Vergleich zu Produkten mit der Erbsenmehl plus Erbsenproteinisolat-Rezeptur stärker enthalten ist. Je höher der Proteingehalt des Rohmaterials, desto höher die Temperatur, desto niedriger das Drehmoment, desto höher der Druck und desto niedriger das SME.

In Bezug auf die Produkteigenschaften hat das Erbsenmehl plus Erbsenproteinisolat-Rezept ein Produkt mit einem größeren Durchmesser und einem größeren Expansionindex als das Linsenmehl plus Erbsenproteinisolat-Rezeptur hervorgebracht. Die Schüttdichte mit einer Rezeptur aus Erbsenmehl plus Erbsenproteinisolat war größer als die Schüttdichte mit einer Linsenmehl plus Erbsenproteinisolat-Rezeptur. Der Trockenmasse von den Produkten mit Erbsenmehl plus Erbsenproteinisolat-Rezeptur waren gleich oder höhere als bei Linsenmehl-Produkt.

Die Produkte mit einer Rezeptur aus Erbsenmehl plus Erbsenproteinisolat-Rezeptur ergaben in der Texturanalyse niedrigere Kraft- und Steigungswerte als das Produkt mit dem Linsenmehl plus Erbsenproteinisolat-Rezeptur Dies ist auf den höheren Proteingehalt an Linsenmehl plus Erbsenproteinisolat-Rezeptur im Vergleich zum zurückzuführen, so dass die Kraft in der Linsenmehl plus Erbsenproteinisolat-Produkten höher ist als der von Erbsenmehl plus Erbsenproteinisolat-Produkten.

Bei der sensorischen Beurteilung von den Produkten mit der Erbsenmehl plus Erbsenproteinisolat-Rezeptur erzeugen sie eine stärkere Textur und faseriger als Fleisch im Vergleich zu Produkten mit der Linsenmehl plus Erbsenproteinisolat-Rezeptur. Die Produkte mit der Linsenmehl plus Erbsenproteinisolat-Rezeptur erzeugen eine weichere, weniger zähe

und weniger faserige Textur. Dies ist auf den höheren Erbsenmehl-Fasergehalt im Vergleich zu Linsenmehl zurückzuführen.

Gehäusetemperatur

Die Temperaturänderung von 130 °C auf 150 °C im Gehäuse 4 - 6 hat einen deutlichen Einfluss auf die Temperatur des im Extrusionsprozess hergestellten Produkts. Dieser Temperaturanstieg bewirkt, dass die Denaturierung des Proteins mit einer guten Kombination anderer Extuderparameter, nämlich die Drehzahl und die Feststoffdosierung und die Wasserzugabe, erreicht wird, um Produkte mit der erwarteten Fleischstruktur herzustellen.

Schneckenkonfiguration

Die Schnecken-Konfiguration in dieser Studie hatte keinen signifikanten Einfluss auf der Temperatur, das Drehmoment, den Druck und der SME (siehe Probennummer 10 am Versuchstag III und Probennummer 2 und 5 am Versuchstag VII). Das Erscheinungsbild des Produkts mit der zweiten Schneckenkonfiguration hat zu einer unregelmäßigeren Form des Produkts wie Rinderhackfleisch geführt als das Produkt mit dem zweiten Schneckenkonfiguration, das homogen rund wie eine Erbse ist.

Wasserzugabe

Je höher die Wasserzugabe ist, desto niedriger ist die Produkttemperatur. Dies liegt daran, dass sich mehr Flüssigkeit im Zylinder befindet, so dass die Temperatur im Zylinder abnimmt. Durch Erhöhen der Wasserzugabe wird das Produkt im Zylinder feuchter, was das Mischen des Produkts erleichtert, so dass nimmt das Drehmoment ab, nimmt den Druck ab und nimmt die SME ab.

Die Zunahme der Wasserzugabe führt dazu, dass der Durchmesser und der Expansionindex des Produkts abnehmen. Dies führte zu einer Erhöhung der Schüttdichte des Produkts. Die Farbe des Produkts wird durch Zugabe von mehr Wasser heller. Die Textur und Steigung des Produkts beim Texturanalyse nahmen mit zunehmendem Wassergehalt zu. Der sensorische Wert nimmt ab, je höhere die Wasserdosierung ist.

Schneckendrehzahl

Ein Anstieg der Schneckendrehzahl führte zu einem Anstieg der Produkttemperatur und einem Anstieg der SME. Dies ist in Übereinstimmung mit den Angaben in der Literatur (Beck, 2017). Dies liegt daran, dass die von den Schnecken erzeugte mechanische Energie größer ist, so dass

die Temperatur im Zylinder steigt, das resultierende Drehmoment und die SME ebenfalls zunehmen. Mit zunehmender Schneckendrehzahl steigt der Druck.

Die Zunahme der Drehzahl führt zu einer Zunahme des Extrudat-Durchmessers und einer Zunahme des Expansionsindex. Die Produkthelligkeit (L*-Wert) nimmt aufgrund der steigenden Temperatur im Zylinder mit zunehmender Schneckendrehzahl ebenfalls ab. Die Zunahme der Schneckendrehzahl führte zu einer Abnahme des Wertes von der Kraft und der Steigung im Produkt. Der sensorische Wert des Produktes steigt mit zunehmender Schneckendrehzahl.

Feststoffdosierung

Durch Erhöhen der Feststoffdosierung sinkt die Produkttemperatur. Dies liegt vermutlich daran, dass pro Zeiteinheit mehr Produkt durch die Schecke gefördert wird und sich dieses beim Extrudieren weniger stark erwärmt. Diese Situation ist direkt proportional zum Anstieg des Wassergehalts. Je höher der Feststoff, desto höher ist das Drehmoment, das zum Mischen der Rohstoffe im Fass benötigt wird. Die Zunahme der Feststoffdosierung führte zu einem Rückgang von dem Druck und einem Rückgang der SME.

Die zunehmender Feststoffdosierung führte die Zunahme des Durchmessers und die Zunahme des Expansionsindex. Die Farbe des Extrudats nimmt auch dort zu, wo die Farbe des Produkts heller ist. Die Maximalkraft und Steigung aus der Textur-Analyse nahm mit zunehmender Feststoffdosierung zu. Der sensorische Wert nimmt mit zunehmender Feststoffdosierung ab.

Düsendurchmesser

Je größer die Gesamtfläche der Düsen ist, desto niedriger ist die Produkttemperatur, den Druck und das Drehmoment und die SME. Dies wird durch eine breitere Gesamtfläche der Düsen verursacht, so dass mehr Produkte durch die Düsen austreten, was zu einer Abnahme des Expansionsindex und einer Abnahme der Helligkeit der Produktfarbe führt. Je größer die verwendete Düsendurchmesser ist, desto höher ist die Maximalkraft und die Steigung des Extrudats.

Einfluss von Prozessparametern auf Produkteigenschaften

Die Temperatur, das Drehmoment, der Druck und die SME während des Extrusionsprozesses spielen eine wichtige Rolle für die Eigenschaften des Endprodukts. Bei Produkttemperatur von ca. 155 °C, wobei bei dieser Temperatur die erwartete Produkttextur gebildet wird. Ein Drehmoment von ca. 26%, einen Druck von ca. 21 bar mit den 4 3-mm-Düsen oder einen Druck von ca. 17 bar mit den 2 5-mm-Düsen ergab eine SME von 0,170 kg/h bis 0,180 kg/h das Produkt mit dem besten Sensotiknote. Produkte mit einer Rezeptur aus 35% Erbsenmehl plus

65% Erbsenproteinisolat mit einer Drehzahl von 800 min^{-1} , einer Feststoffdosierung von 10 kg/h und einer Wasserzugabe von 22 % sind die besten Extruderparameter zur Herstellung von faserigen Fleischprodukten.

6. Zusammenfassung

Das Ziel dieser Masterarbeit war die Entwicklung eines sensorisch akzeptablen Fleischersatzprodukts aus gemahlenem Erbsenmehl oder Linsenmehl unter Zusatz von Erbsenproteinisolat mit Hilfe eines Doppelschneckenextruders. Für die Versuche wurden unterschiedliche Anteile an Erbsenproteinisolat eingesetzt. Die Rezeptur mit der besten sensorischen Beurteilung der Beliebtheit des gekochten Extrudats wurde mit den unabhängigen Extruderparametern wie die Schneckendrehzahl, die Wasserzugabe und die Feststoffdosierung optimiert, um die beste sensorische Beurteilung der Beliebtheit des gekochten Extrudats zu erreichen. Die Prozessparameter während der Extrusion wie die Temperatur und die SME wurden aufgezeichnet und Produkteigenschaften wie die Schüttdichte, die L*-, a*-, b*-Werte, die Texturanalyse wurden gemessen sowie eine sensorische Beurteilung der Beliebtheit des gekochten Extrudats wurde durchgeführt.

Die Herstellung eines Fleischersatzprodukts aus gemahlene Hülsenfrüchten, nämlich Erbsenmehl oder Linsenmehl mit Zusatz von Erbsenproteinisolat durch einen Zweiwellenextruders kann zu sensorisch akzeptierten Produkten führen. Je höher der Erbsenproteinanteil, desto besser die sensorische Beurteilung der Beliebtheit des gekochten Extrudats wie feste Textur beim Kochen im gekochten Wasser. Mit zunehmendem Wasseranteil, steigender Schneckendrehzahl und zunehmender Feststoffdosierung steigt die sensorische Beurteilung der Beliebtheit des gekochten Extrudats. Die sensorische Beurteilung der Beliebtheit des gekochten Extrudats Erbsenmehl ist besser als Linsenmehl besonders bei der Erhaltung die Textur des Extrudats.

7. Literatur

Beck, S. M.; Knoerzer, K.; Arcot, J.: Effect of Low Moisture Extrusion on a Pea Protein Isolate's Expansion, Solubility, Molecular Weight Distribution and Secondary Structure as Determined by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). *Journal of Food Engineering* [online]. Elsevier. 2017, Band 214 (3), 166-174. [Zugriff am 08.11.2020]. Verfügbar unter: doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.06.037

Beisler, N.: Entwicklung extrudierter Snackprodukte aus Maisgrieß und Wildfrüchten unterschiedlicher Verarbeitungsvarianten. Bachelorarbeit, Hochschule Neubrandenburg, Neubrandenburg, 2018

Cabrejas, M. A. M.: Legumes Nutritional Quality, Processing and Potential Health Benefits. The Royal Society of Chemistry, 2019

Diepenbrock, W.; Ellmer F.; Léon J.; Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. 4 Aufl. Stuttgart: 2016

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

Fredrikson, M.; Biot, P.; Alminger, M. L.; Carlsson, N. G.; Sandberg, A. S.: Production Process for High-Quality Pea-Protein Isolate with Low Content of Oligosaccharides and Phytate *J. Agric. Food Chem.* [online]. American Chemical Society. 2001, Band 49, 1208-1212 [Zugriff am 07.03.2021]. Verfügbar unter: doi: 10.1021/jf000708x

Guy, R.; Extrusion Cooking: Technologies and Applications. Boca Raton: CRC Press, 2001

Jahreis G.; Brese, M.; Leiterer, M.; Schäfer, U.; Böhm, V.; Jena: Legume flours: Nutritionally important sources of protein and dietary fiber. *Science & Research* [online]. 2015, Band 63 (2), 36-42 [Zugriff am 17.01.2020], Verfügbar unter: 10.4455/eu.2016.007

Lam, A. C. Y.; Can Karaca, A.; Tyler, R. T.; Nickerson, M. T.: Pea protein isolates: structure, extraction, and functionality. *Food Reviews International* [online]. 2016, Band 34 (2), 126-147. [Zugriff am 08.11.2020]. Verfügbar unter: doi: 10.1080/87559129.2016.1242135

Riaz, M. N.: *Extruders in Food Applications*. 1. Aufl. Lancaster (USA): Technomic Publishing Company, 2000

Samard, S.; Gu, B. Y.; Ryu, G. H.: Effects of extrusion types, screw speed and addition of wheat gluten on physicochemical characteristics and cooking stability of meat analogues. *Journal of the Science of Food and Agriculture* [online]. Wiley. 2019, Band 99 (11), 4922-4931 [Zugriff am 17.01.2020]. Verfügbar unter: doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9722>

Tömösközi, S.; Lásztity, R.; Haraszi, R.; Baticz, O.: Isolation and study of the functional properties of pea proteins. *Food/Nahrung* [online]. 2001, Band 45 (66), 399-401. [Zugriff am 08.11.2020]. Verfügbar unter: [10.1002/1521-3803\(20011001\)45:6<399::AID-FOOD399>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/1521-3803(20011001)45:6<399::AID-FOOD399>3.0.CO;2-0)

8. Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abb. 1: Erste Schneckenkonfiguration (Cîrstea, 2020)	3
Abb. 2: Zweite Schneckenkonfiguration (Cîrstea, 2020)	5
Abb. 3: Doppelschneckenextruder (Gunawan, 2021)	11
Abb. 4: Textur-Bestimmung von Probennummer 2 am Versuchstag VII	14
Abb. 5: Abhängigkeit der Produkttemperatur von der Schneckendrehzahl und der Wasserzugabe am Versuchstag I (Feststoffdosierung 15 kg/h)	15
Abb. 6: Abhängigkeit des Drehmoments von der Schneckendrehzahl und der Wasserzugabe am Versuchstag I (Feststoffdosierung 15 kg/h)	16
Abb. 7: Abhängigkeit des Drucks von der Schneckendrehzahl und der Wasserzugabe am Versuchstag I (Feststoffdosierung 15 kg/h)	16
Abb. 8: Abhängigkeit der SME von der Schneckendrehzahl und der Wasserzugabe am Versuchstag I (Feststoffdosierung 15 kg/h)	17
Abb. 9: Abhängigkeit des Expansionindex von der Schneckendrehzahl und der Wasserzugabe am Versuchstag I (Feststoffdosierung 15 kg/h)	18
Abb. 10: Abhängigkeit der Extrudatfeuchte von der Schneckendrehzahl und der Wasserzugabe am Versuchstag I (Feststoffdosierung 15 kg/h)	18
Abb. 11: Abhängigkeit der SME von der Schneckendrehzahl und der Wasserzugabe am Versuchstag II	20
Abb. 12: Schüttdichte des Extrudats in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl und der Wasserzugabe am Versuchstag II	21
Abb. 13: Sensorische Beurteilung der Beliebtheit des gekochten Extrudats in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl, der Wasserzugabe und des Anteils an Erbsenproteinisolat am Versuchstag II	22
Abb. 14: Abhängigkeit der SME von der Schneckendrehzahl, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag III	24
Abb. 15: Schüttdichte des Extrudats in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag III	25
Abb. 16: Sensorische Beurteilung der Beliebtheit des gekochten Extrudats in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag III	25
Abb. 17: Abhängigkeit der SME von der Schneckendrehzahl, dem Anteil an Erbsenproteinisolat und der Wasserzugabe am Versuchstag IV	27
Abb. 18: Schüttdichte des Extrudats in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl, des Anteils an Erbsenproteinisolat und der Wasserzugabe am Versuchstag IV	28

Abb. 19: Maximalkraft des Extrudats in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl, des Anteils an Erbsenproteinisolat und der Wasserzugabe am Versuchstag IV	29
Abb. 20: Sensorische Beurteilung der Beliebtheit des gekochten Extrudats in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl, des Anteils an Erbsenproteinisolat und der Wasserzugabe am Versuchstag IV	30
Abb. 21: Abhängigkeit der SME von der Wasserzugabe und Feststoffdosierung am Versuchstag V	31
Abb. 22: Schüttdichte des Extrudats in Abhängigkeit von der Wasserzugabe und Feststoffdosierung am Versuchstag V	32
Abb. 23: Maximalkraft des Extrudats in Abhängigkeit von der Wasserzugabe und Feststoffdosierung am Versuchstag V	33
Abb. 24: Sensorische Beurteilung der Beliebtheit des gekochten Extrudats in Abhängigkeit von der Wasserzugabe und Feststoffdosierung am Versuchstag V	34
Abb. 25: Abhängigkeit der SME von der Schneckendrehzahl, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag VI	35
Abb. 26: Schüttdichte des Extrudats in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag VI	36
Abb. 27: Maximalkraft des Extrudats in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag VI	37
Abb. 28: Sensorische Beurteilung der Beliebtheit des gekochten Extrudats in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag VI	38
Abb. 29: Abhängigkeit der SME von dem Düsendurchmesser, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag VII	39
Abb. 30: Schüttdichte des Extrudats in Abhängigkeit vom Düsendurchmesser, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag VII	40
Abb. 31: Maximalkraft des Extrudats in Abhängigkeit von dem Düsendurchmesser, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag VII	41
Abb. 32: Sensorische Beurteilung der Beliebtheit des gekochten Extrudats in Abhängigkeit von dem Düsendurchmesser, der Feststoffdosierung und der Wasserzugabe am Versuchstag VII	42
Abb. 33: Fleischersatzprodukte aus gemahlene Hülsenfrüchten (Gunawan, 2021)	42
Abb. 34: Pumpenkennlinie der Schlauchpumpe	56
Abb. 35: Spezifikationen von Erbsenproteinisolat	58

Tab. 1: Rezeptur des Extrudates am Versuchstag I	3
Tab. 2: Ablauf des Versuches am Versuchstag I	4
Tab. 3: Rezeptur des Extrudates am Versuchstag II	4
Tab. 4: Ablauf des Versuches am Versuchstag II	5
Tab. 5: Rezeptur des Extrudates am Versuchstag III	5
Tab. 6: Ablauf des Versuches am Versuchstag III	6
Tab. 7: Erste Rezeptur des Extrudates am Versuchstag IV	6
Tab. 8: Zweite Rezeptur des Extrudates am Versuchstag IV	7
Tab. 9: Ablauf des Versuches am Versuchstag IV	7
Tab. 10: Rezeptur des Extrudates am Versuchstag V	8
Tab. 11: Ablauf des Versuches am Versuchstag V	8
Tab. 12: Rezeptur des Extrudates am Versuchstag VI	9
Tab. 13: Ablauf des Versuches am Versuchstag VI	9
Tab. 14: Rezeptur des Extrudates am Versuchstag VII	10
Tab. 15: Ablauf des Versuches am Versuchstag VII	10
Tab. 16: Material des Versuches	11
Tab. 17: Einstellung der Texturbestimmung	14
Tab. 18: Ergebnisse der Prozessparameter am Versuchstag I	17
Tab. 19: Ergebnisse der Produkteigenschaften am Versuchstag I	19
Tab. 20: Ergebnisse der Prozessparameter am Versuchstag II	19
Tab. 21: Ergebnisse der Produkteigenschaften am Versuchstag II	21
Tab. 22: Ergebnisse der Prozessparameter am Versuchstag III	23
Tab. 23: Ergebnisse der Produkteigenschaften am Versuchstag III	24
Tab. 24: Ergebnisse der Prozessparameter am Versuchstag IV	26
Tab. 25: Ergebnisse der Produkteigenschaften am Versuchstag IV	28
Tab. 26: Ergebnisse der Textur-Bestimmung am Versuchstag IV	29
Tab. 27: Ergebnisse der Prozessparameter am Versuchstag V	31
Tab. 28: Ergebnisse der Produkteigenschaften am Versuchstag V	32
Tab. 29: Ergebnisse der Textur-Bestimmung am Versuchstag V	33
Tab. 30: Ergebnisse der Prozessparameter am Versuchstag VI	35
Tab. 31: Ergebnisse der Produkteigenschaften am Versuchstag VI	36
Tab. 32: Ergebnisse von Textur-Bestimmung am Versuchstag VI	37
Tab. 33: Ergebnisse von Prozessparameter am Versuchstag VII	39
Tab. 34: Ergebnisse von Produkteigenschaften am Versuchstag VII	40
Tab. 35: Ergebnisse von Textur-Bestimmung am Versuchstag VII	41

Tab. 36: Rezeptur des Extrudates am Versuchstag I	55
Tab. 37: Ablauf des Versuches am Versuchstag I	56

9. Verzeichnis der Anlage

Anlage 1: Berechnung des Proteingehaltes des Extrudates	55
Anlage 2: Umrechnung von der Pumpenleistung zur Wasserdosierung und Wasserzugabe	56
Anlage 3: Spezifikation von Erbsenproteinisolat	58
Anlage 4: Erklärung zur selbständigen Anfertigung der Arbeit	59

Anlage 1**Berechnung des Proteingehaltes des Extrudates**

Tab. 36: Rezeptur des Extrudates am Versuchstag I

Menge [%]	Rohstoff	Fett [%]	Kohlenhydrate [%]	Zucker [%]	Ballaststoffe [%]	Eiweiß [%]	Salz [%]
50	EM	1,6	50,0	1,7	12,0	21,0	0,0
50	EPI	9,0	0,7	0,0	1,4	81,7	5,0
Summe	Produkt						
100	Extrudat	5,3	25,4	0,9	6,7	51,4	2,5

Rechnen Beispiel vom Eiweiß des Extrudates:

$$\% \text{ Eiweiß} = \left(\frac{\text{Menge EM [\%]} * \text{Eiweiß EM[\%]}}{100 \%} \right) + \left(\frac{\text{Menge EPI [\%]} * \text{Eiweiß EPI[\%]}}{100 \%} \right)$$

$$\% \text{ Eiweiß} = \left(\frac{50 \% * 21,0 \%}{100 \%} \right) + \left(\frac{50 \% * 81,7 \%}{100 \%} \right) = 51,4 \%$$

Anlage 2

Umrechnung von der Pumpenleistung zur Wasserdosierung und Wasserzugabe

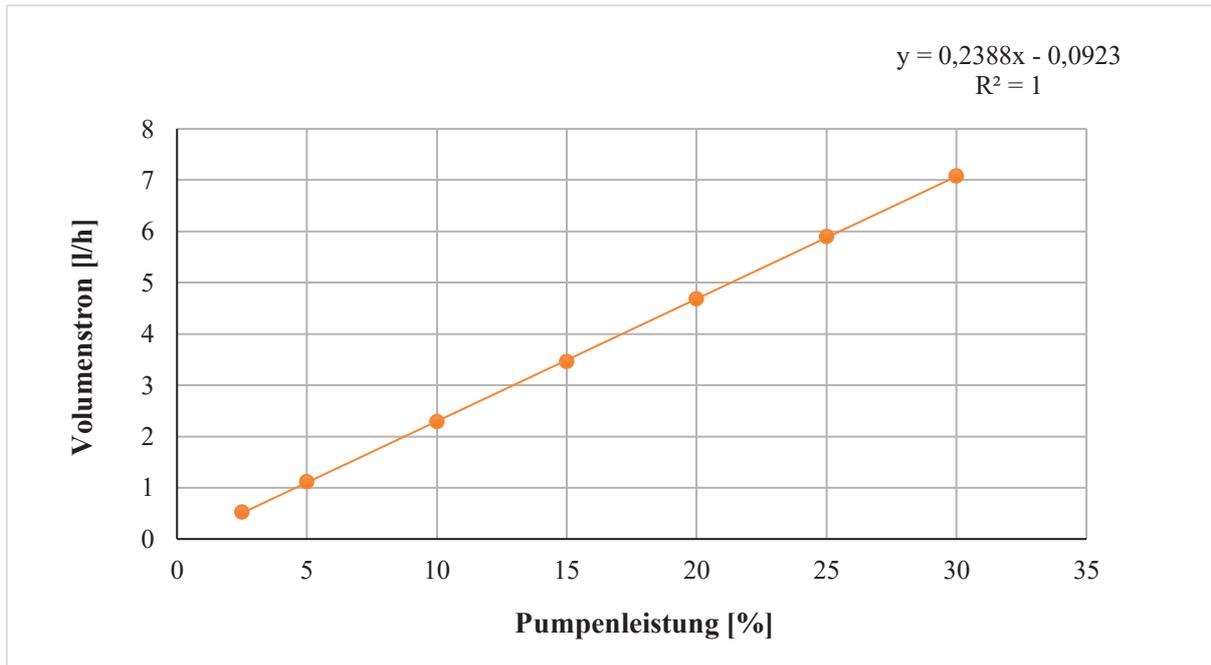


Abb. 34: Pumpenkennlinie der Schlauchpumpe

Tab. 37: Ablauf des Versuches am Versuchstag I

PN	n [min ⁻¹]	PL [%]	WD [kg/h]	FD [kg/h]	PD [kg/h]	WZ [%]
1	400	30	7,1	15	22,1	32
2	400	25	5,9	15	20,9	28
3	400	20	4,7	15	19,7	24
4	400	15	3,5	15	18,5	19
5	600	15	3,5	15	18,5	19
6	600	20	4,7	15	19,7	24
7	600	25	5,9	15	20,9	28
8	600	30	7,1	15	22,1	32
9	800	30	7,1	15	22,1	32
10	800	25	5,9	15	20,9	28
11	800	20	4,7	15	19,7	24
12	800	15	3,5	15	18,5	19
13	800	25	5,9	20	25,9	23
14	800	20	4,7	20	24,7	19
15	800	30	7,1	20	27,1	26

Die Umrechnung Beispiele von der Pumpenleistung zur Wasserdosierung von Probenummer 1 am ersten Versuchstag (siehe Abb. 34; Tab. 37).

Gegeben: Pumpenleistung [%] = 30

Fragen: Wasserdosierung [kg/h] = ?

Berechnen: $y = 0,2388x - 0,0923$

$$y = 0,2388 * 30 - 0,0923$$

$$y = 7,1 \rightarrow \text{Wasserdosierung [kg/h]}$$

Die Umrechnung Beispiele von der Wasserdosierung zur Wasserzugabe von Probenummer 1 am ersten Versuchstag (siehe Tab. 37).

Gegeben: Wasserdosierung [kg/h] = 7,1

Feststoffdosierung [kg/h] = 15

Fragen: Wasserzugabe [%] = ?

Berechnen:

Produkt-Durchsatz [kg/h] = Wasserdosierung [kg/h] + Feststoffdosierung [kg/h]

$$= 7,1 + 15$$

$$= 22,1 \rightarrow \text{Produkt-Durchsatz [kg/h]}$$

Wasserzugabe [%] = Wasserdosierung [kg/h] * 100 / Produkt-Durchsatz [kg/h]

$$= 7,1 * 100 / 22,1$$

$$= 32,126 \rightarrow \text{Wasserzugabe [%]}$$

Anlage 3

Spezifikation von Erbsenproteinisolat

Produkt-Datenblatt **Pisane™ M9**

Pisane™ ist ein durch einen natürlichen Prozess aus glutenfreien gelben Erbsen gewonnenes Erbsenproteinisolat. Die Type Pisane™ M9 eignet sich besonders für Fleisch-, Geflügel-, Fisch und vegetarische Produkte, Saucen und Proteintexturate. Pisane™ M9 verbessert die Textur des Endprodukts nach einer Hitzebehandlung.



Verkaufsbüro in
Deutschland:
Georg Breuer GmbH
Am Lichtetal 1
D-61462 Königstein
Tel.: 06174 - 2093.0
Fax: 06174 - 2093.22
office@foodingredients.de
www.foodingredients.de

Spezifikation (garantierte Werte) (Analysemethode auf Anfrage erhältlich)

Trockensubstanz (T.S.)	mind. 93 %
Zusammensetzung (basierend auf TS)	
Proteingehalt (N x 6,25)	86 ± 2 %
Aschegehalt	max. 6,0 %
Mikrobiologie	
Escherichia coli	nicht vorh. in 1 g
Listeria monocytogenes	nicht vorh. in 25 g
Salmonellen	nicht vorh. in 375 g
Enterobacteriaceae	max. 10 /g
Gesamtkeimzahl (mesophile Bakterien)	max. 20.000 KBE/g
Hefen	max. 25 KBE/g
Schimmel	max. 25 KBE/g
Charakteristische Werte	
Glutengehalt	max. 20 ppm
Schwermetalle (Pb/ Cd/ Hg/ As)	max. 0,2/ 0,1/ 0,1/ 0,1 ppm

Typische Werte**Allgemeine Angaben**

Farbe	Cremerfarben	Ochratoxin A	~ 3 ppb
Dichte (nach Abpacken)	~ 0,40 kg/l	pH (10 % in Wasser)	~ 7,8
Korngröße	~90% < 200 µm	Geschmack	neutral

Aminosäuren (Durchschnittlicher Aminosäuregehalt (g /100 g Protein))

Glycin	4,1	Phenylalanin	5,5
Alanin	4,3	Tryptophan	1,0
Valin	5,0	Prolin	4,5
Leucin	8,4	Methionin	1,1
Isoleucin	4,5	Cystin	1,0
Serin	5,3	Lysin	7,2
Threonin	3,9	Histidin	2,5
Tyrosin	3,8	Arginin	8,7
Asparaginsäure	11,5	Glutaminsäure	16,8

Deklarations-empfehlung Erbsenproteinisolat, Erbsenprotein, Pflanzenprotein**Nährwertangaben** (Werte pro 100 g Produkt)

Brennwert	413 kcal, 1730 kJ	Fettgehalt	9,0 g
Kohlenhydrate	0,7 g	davon gesättigte Fettsäuren	2,1 g
davon Zucker	0 g	Protein	81,7 g
Ballaststoffgehalt	1,4 g	Salz	5,0 g

Zertifizierung KOSHER- und HALAL- (auf Anfrage) zertifizierter Rohstoff. Frei von gentechnisch modifizierten Organismen (GMO) oder aus GMO abgeleiteten Komponenten. Ohne GMO-Technologie hergestellt (unterliegt nicht den EU-Richtlinien 1829/2003 und 1830/2003).

Allergene Nicht deklarationspflichtig gemäß den gesetzlichen Bestimmungen über die Deklaration von Allergenen (EU) Nr. 1169/2011, entspricht den Anforderungen der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 828/2014 zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 41/2009 zur Zusammensetzung und Kennzeichnung von Lebensmitteln für Personen mit Glutenunverträglichkeit.

Lebensmittelsicherheit Für Lebensmittel und die menschliche Ernährung geeignet. Frei von schädlichen/ giftigen Substanzen. Das Produkt wird in einem FSSC22000-zertifizierten Betrieb hergestellt. *Zertifikate sind von der Global Food Safety Initiative (GFSI) anerkannt.*

Haltbarkeit 2 Jahre bei trockener Lagerung (max. 30 °C, max. 60 % relative Luftfeuchtigkeit) im original verschlossenen Sack

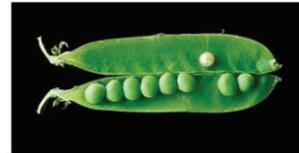
Verpackung 42 mehrlagige Papiersäcke (mit blauem PE-Innensack) zu 15 kg netto, auf Europaletten von 630 kg geschrumpft (120 x 85 x 220 cm, Länge x Breite x Höhe)

Hersteller Cosucra Groupe Warcoing S.A., Belgien. Werk: Provital, Belgien

Diese Informationen basieren auf unserem derzeitigen Kenntnisstand und sind nach unserem besten Wissen zutreffend. Für die Richtigkeit und die Folgen der Verwendung dieser Informationen gewähren wir – weder ausdrücklich noch konkludent – eine Garantie. Der Erwerber bzw. Anwender trägt die alleinige Verantwortung für die Verwendung dieser Informationen sowie die Verwendung, Lagerung und Veräußerung des Produkts. Diese Verantwortung umfasst sowohl die Einhaltung lebensmittelrechtlicher sowie sonstiger Vorschriften wie auch die Haftung für Personen- und Sachschäden.

Rohstoff-Eigenschaften

Natürlich



- Clean Label („Erbsenprotein“)
- GMO-frei*
- Frei von gängigen Allergenen
- Kaum antinutritive Bestandteile
- Hohe Akzeptanz

(* Die Erbse ist im EU Register für GMO nicht enthalten.)

Ernährung & Gesundheit

- Gut ausgewogenes Aminosäureprofil
- Wird im Körper nicht als Fett eingelagert
- Sorgt für Sättigungsgefühl
- Reich an wertvollen Aminosäuren zur Gewichtskontrolle, für Sportler und medizinische Nahrung

Technologische Aspekte

- Gute Emulgierereigenschaften
- Geringer Einfluss auf die Textur
- Cremige Farbe

Anwendungsbereiche

- Glutenfreie Nahrungsmittel
- Fleisch-, Geflügelprodukte
- Fisch- und vegetarische Produkte
- Saucen

Produkte

Pisane™ C9, B9, F9, M9:
Erbsenproteinisolat

PM01E21-EU 09/2018

Abb. 35: Spezifikationen von Erbsenproteinisolat

Erklärung zur selbständigen Anfertigung der Arbeit

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

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

Neubrandenburg

Hardini Gunawan