



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften
Studiengang Master Lebensmittel-und Bioprodukttechnologie
WS 2018/2019

Masterthesis

Entwicklung von Sanddornsnackprodukten unter Verwendung eines Doppelschneckenextruders

Verfasser: Markus Stein

Betreuer: Prof. Dr. Peter Meurer
Prof. Dr. Gerhard Flick

URN: urn:nbn:de:gbv:519-thesis 2018-0025-2

Datum: 16.10.2018

Abstract

In the food industry, berries are conventionally processed into juices, jams and purées. However seabuckthorn offers with a high concentration of vitamin c and phenolic compounds a large benefit to the human health. Pomace is a byproduct of seabuckthorn juice production, which provides a certain amount of these substances.

The aim of the study is to develop seabuckthorn chips on a twin-screw extruder with the background to improve the economy of a company in relation to the extension of field of application.

The study includes investigations of effects between extrusion parameters, like expansion index and specific mechanical energy and recipe compounds, such as moisture and starch content. Screw speed, flow rate and nozzle adjustments are besides the ingredients the most important factors to develop marketable snack products.

For this purpose, the work contains physical, chemical and sensory analysis to find out which properties are the best and most popular, in relation to the taste, texture and degradation of health-promoting substances.

Danksagung

Für die Hilfsbereitschaft und Unterstützung während der Erstellung meiner Arbeit, möchte ich mich bei folgenden Personen bedanken:

An erster Stelle bedanke ich mich bei Prof. Dr. Peter Meurer und Prof. Dr. Gerhard Flick für die Möglichkeit, meine Masterarbeit im Rahmen des Wildfrüchteprojekts an der Hochschule Neubrandenburg schreiben zu können.

Besonderer Dank geht an Dagmar Schultze und Benny Ahlborn, die sich für mich immer Zeit genommen und mir bei schwierigen Fragestellungen, im Bereich der chemischen Analytik, geholfen haben.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Ronny Büssow, der mir bei allen praktischen Versuchen tatkräftig zur Seite stand, um einen möglichst reibungslosen Ablauf zu gewährleisten.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Stand der Wissenschaft und Technik	3
2.1 Sanddorn (<i>Hippophae rhamnoides</i>).....	3
2.2 Extrusion.....	4
2.2.1 Definition	4
2.2.2 HTST-Extrusion.....	4
2.3 Doppelschneckenextruder	7
3. Material und Methoden	10
3.1 Geräte.....	10
3.2 Rohstoffe	11
3.3 Chemikalien/Lösungen	11
3.4 Versuchsplanung	13
3.4.1 Vorversuche	14
3.4.2 Hauptversuche.....	17
3.5 Trocknungsversuche	20
3.6 Tresteraufbereitung.....	20
3.7 Aufkonzentration	21
3.8 Physikalische Analytik	21
3.8.1 Texturanalyse	21
3.8.2 Farbmessung	21
3.8.3 Schnellfeuchtemessung.....	22
3.9 Sensorische Methodik.....	22
3.10 Chemische Analytik	22
3.10.1 Enzymatische Zuckerbestimmung	22
3.10.2 Säuretitration.....	23
3.10.3 Vitamin C-Bestimmung	23

3.10.4 Gesamtphenolbestimmung.....	23
3.10.5 Antioxidative Kapazität (FRAP Test).....	24
4.Ergebnisse und Bewertung.....	25
4.1 Trocknungsversuche.....	25
4.2 Tresteraufbereitung.....	26
4.3 Vorversuch I.....	28
4.3.1 Herstellung und Besonderheiten.....	28
4.3.2 Texturanalyse.....	29
4.4 Vorversuch II.....	31
4.4.1 Herstellung und Besonderheiten.....	31
4.4.2 Texturanalyse.....	33
4.4.3 Farbmessung.....	35
4.5 Vorversuch III.....	37
4.5.1 Herstellung und Besonderheiten.....	37
4.5.2 Sensorik.....	38
4.5.3 Texturanalyse.....	43
4.5.4 Zitronensäure-und Zuckerbestimmung.....	44
4.6 Hauptversuch I.....	46
4.7 Aufkonzentration.....	47
4.8 Hauptversuch II.....	47
4.9 Hauptversuch III.....	49
4.9.1 Herstellung und Besonderheiten.....	49
4.9.2 Texturanalyse.....	50
4.9.3 Farbmessung.....	51
4.9.4 Chemische Analytik.....	54
5.Abschlussdiskussion.....	56
6.Zusammenfassung.....	66

7.Literaturverzeichnis.....	67
8.Tabellenverzeichnis.....	69
9.Abbildungsverzeichnis	70
Anhang	71
Erklärung über die selbstständige Anfertigung der Arbeit.....	94

Verzeichnis der verwendeten Symbole und Abkürzungen

EI	Expansionsindex
HTST	„High Temperature Short Time“
ORAC	„Oxygen Radical Absorption Capacity“
OS	Originalsubstanz
Pmax	maximale Motorleistung
SME	Spezifische mechanische Energie
T.	Trester
TM	Trockenmasse
Z.	Zucker

1. Einleitung

Sanddorn (*Hippophae rhamnoides*) ist eine Wildfrucht, die aufgrund ihrer gesundheitlichen Aspekte im europäischen und asiatischen Raum kommerziell angebaut wird.

Durch die hohe Bioverfügbarkeit an sekundären Pflanzenstoffen und Vitamin C besteht ein Interesse, Sanddorn mit in die Entwicklung von neuen Snackprodukten einfließen zu lassen. Hintergrund hierbei ist, dass Säfte, Mark oder der bei der Fruchtsaftherstellung gewonnene Trester weiterverarbeitet werden. Durch die Kombination mit dem „High-Temperature-Short-Time“ (HTST) Extrusionsverfahren können neue Lebensmittel hergestellt werden, die bei den Verbrauchern beliebt sind und einen gesundheitlichen Aspekt mit einbringen.

Die Extrusion basiert auf der Kompression und Vermischung von Rohstoffen, die über eine Schnecke gefördert und zu expandierenden Erzeugnissen am Düsenausgang des Extruders geformt werden. Das HTST-Extrusionsverfahren ist in Kombination mit einer ineinandergreifenden Doppelschnecke Gegenstand dieser Arbeit. Aufgrund der kurzen Herstellungszeit und Verringerung des Abbaus von Nährstoffen stellt dieses Verfahren eine erfolgsversprechende Möglichkeit dar (Riaz, 2000).

Unter der Verwendung von Maisgrieß, Zucker und verschiedenen Verarbeitungsformen des Sanddorns soll eine optimale Prozessführung und Rezeptur im Technikumsmaßstab entwickelt werden.

So werden im Wesentlichen die Temperatur, Drehzahl, der Feuchtegehalt und der Anteil an Sanddorn und Süßungsmitteln variiert.

Im Zusammenhang mit der Produktoptimierung ist eine schonende Prozessführung sowie eine mögliche Adaption auf unterschiedliche Sanddornarten ebenfalls Bestandteil dieser Arbeit. Dafür sind eine enzymatische Zuckerbestimmung und eine Säuretitration zur Definierung der Intensität des Geschmacks notwendig.

Anhand physikalischer, chemischer und sensorischer Analysemethoden werden in Vor- und Hauptversuchen die relevanten Parameter in verschiedenen Prozessschritten untersucht und ausgewertet. Zu diesen zählen Farb-, Textur- und Trockensubstanzmessung sowie eine Beliebtheitsprüfung mit Just-About-Right-Fragen.

Weitere chemische Analysen der Proben (Vitamin C-Gehalt, Gesamtphenolgehalt und antioxidative Kapazität) werden erst mit den Hauptversuchen relevant, da in erster Linie der Geschmack und die Textur untersucht werden.

Über die spezielle Produktentwicklung hinaus sind die Ergebnisse geeignet, die Auswirkung unterschiedlicher Frucht- und Zuckergehalte auf die einzelnen Extrusionsparameter, insbesondere auf den Expansionsindex und die SME (Spezifische Mechanische Energie), zu beschreiben.

2. Stand der Wissenschaft und Technik

2.1 Sanddorn (*Hippophae rhamnoides*)

Sanddorn ist eine Wildfruchtart, die zur Familie der Ölweidengewächse gehört. Sein Verbreitungsschwerpunkt liegt in Ost- und Westasien sowie in ganz Europa.

In Deutschland sind die größten Anbaugebiete in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg zu finden.

Im Durchschnitt bestehen frische Beeren aus:

- 78-82% Wasser
- 5-8,5% Fett
- 5-7% Kohlenhydrate
- 3% Ballaststoffe
- 2-3% Eiweiß (Löser, 2013).

Der Kohlenhydratanteil setzt sich aus 2/3 Glucose und 1/3 Fructose zusammen.

Mit seinem hohen Gehalt an Vitamin C und phenolischen Verbindungen, wie z.B. Carotinoide und Flavonoide, hat Sanddorn einen hohen Nährwert.

Durch sein antioxidatives Potenzial trägt es zur allgemeinen Gesundheit bei.

Je nach Sorte können die Inhaltsstoffe stark schwanken. So gibt es Sorten, die Vitamin C-Konzentrationen in Bereichen von 100mg bis 1000mg pro 100g Frischmasse besitzen. Gerade das Vitamin C ist das Aushängeschild des Sanddorns, das im Vergleich zu einer Zitrone mit 50mg/100g um ein Vielfaches höher ist.

Neben Vitaminen ist der Bereich der Polyphenole bedeutsam, da ein Teil dieser Verbindungen eine antioxidative Wirkung wie das Vitamin C haben. Neben der positiven Wirkung auf den Organismus tragen sie zur Färbung und zu den sensorischen Eigenschaften von Früchten bei (Alasalvar et al., 2001).

Polyphenole sind sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe die aus einem oder mehreren aromatischen Ringen bestehen und als methylierte Moleküle vorliegen können. Allgemein ist an dem Molekül immer mindestens eine Hydroxylgruppe substituiert.

Sie wirken antimutagen und haben antibakterielle Eigenschaften. Die meisten positiven Effekte sind dabei auf ihre antioxidative Wirkung zurückzuführen (www.centrosan.com, 2018).

Isorhamnetin und Quercetin sind die bekanntesten Vertreter und kommen als Glykoside in der Fruchtschale der Sanddornbeere vor.

Quercetin wird eine besondere krebsvorbeugende und zytoprotektive Wirkung nachgesagt (Ghosh et. al., 2015).

Die phenolischen Moleküle gehen dabei eine Verbindung mit verschiedensten Sacchariden ein. So ist zum Beispiel das Flavonoid Rutin eine Verbindung aus Quercetin und Rutinose. Rutinose ist ein Disaccharid, das wiederum aus jeweils einem Molekül Rhamnose und Glucose besteht.

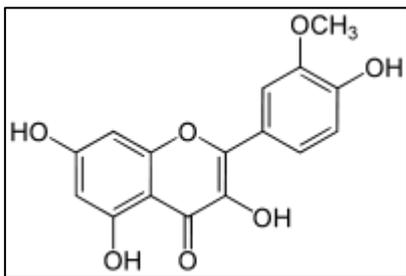


Abbildung 1: Isorhamnetin

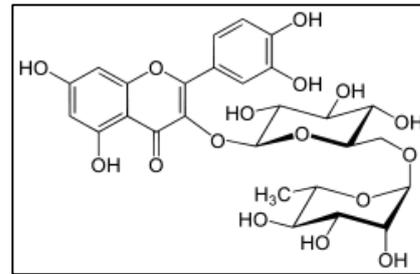


Abbildung 2: Rutin

2.2 Extrusion

2.2.1 Definition

Bei der Verwendung eines Extruders werden feste bis dickflüssige Stoffe kontinuierlich durch eine Schnecke gefördert, erhitzt und durch eine Düse am Ende in Form gebracht. Dieses Verfahren findet in allen Bereichen der Industrie Anwendung. Ob Kunststoff-, Futtermittel- oder Lebensmittelherstellung, für jede Aufgabe gibt es ein zugeschnittenes Verfahren.

2.2.2 HTST-Extrusion

Die „**H**igh **T**emperature **S**hort **T**ime“-Extrusion basiert auf der Erhitzung des Rohstoffes über 100°C. Das enthaltene Wasser liegt im Produkt aufgrund des hohen Drucks im Extruder flüssig vor. Am Düsenausgang verdampft das Wasser durch den schlagartigen Druckabfall nach außen und entweicht durch die Struktur der Extrudate. Dabei findet eine Expansion der geschmolzenen Masse statt, wodurch extrudierte Produkte ihre typische Textur erhalten (Bouvier, 2014).

Je nach Lebensmittel liegt die Verarbeitungszeit zwischen 10 bis 60 Sekunden.

Das HTST-Verfahren eignet sich für die Herstellung von Extrudaten mit hitzelabilen Inhaltsstoffen besonders gut, da die Verarbeitungszeit kurz gehalten werden kann und empfindliche Stoffe weniger belastet werden (Riaz, 2000). Damit ein optimaler Prozess entwickelt werden kann, gibt es eine Vielzahl an weiteren Parametern.

Neben der Retentionszeit sind die wichtigsten Geräteparameter:

- Schneckendrehzahl
- Düsendurchmesser/-anzahl
- Feststoffdurchsatz
- Schneckenkonfiguration

Die Schwierigkeit besteht darin, dass die Parameter teilweise gegeneinander arbeiten und die Prozessführung immer auf das verwendete Material bezogen werden muss.

Die Wechselwirkungen verkomplizieren die Aussagefähigkeit, welcher dieser Geräteparameter den größten Einfluss hat. Prozessparameter, die in direktem Zusammenhang mit den Geräteparametern stehen, sind:

- Expansionsindex
- Temperatur
- Spezifische mechanische Energie (SME)
- Druck
- Drehmoment

Der Expansionsindex ist eine elementare Kenngröße die das Verhältnis aus dem Durchmesser der Düse und den des Extrudates angibt und die Ergebnisinterpretation aufgrund der Vielzahl an verschiedenen Einflussfaktoren schwer macht.

Neben diesen Faktoren muss dem Produkt und damit den Rezepturbestandteilen eine noch größere Wichtigkeit eingeräumt werden.

So sind der Gesamtwassergehalt, die Partikelgröße, der Stärkeanteil und die Zugabe von Süßungsmitteln entscheidend.

Eine gute Wasseraufnahme durch die Stärke ist vor allem für die temperaturempfindlichen Stoffe wichtig, da nach Hirth (2015) bei einem Gesamtwassergehalt von 15-22% der Verlust an Polyphenolen am niedrigsten ist.

Phenolische Verbindungen sind im Vergleich zum Vitamin C hitzeresistenter, sollten aber ähnlich behandelt werden.

Für die Zugabe an Wasser gibt es allerdings Grenzen, denn je höher der Gesamtwassergehalt ist, desto weniger fallen die Geräteparameter für die Form- und Texturgebung ins Gewicht. Neben der Verringerung des EI steigt die Festigkeit des Extrudates stark an.

Grund dafür ist die herabgesetzte Reibung und Aufnahme der Energie in Form von Wärme durch das Wasser.

Diese Wirkung tritt ebenfalls bei steigender Zugabe von Zucker auf. Hier findet ein Karamellisieren statt, das die Rohstoffe und im Speziellen die Stärke umhüllt und so eine Verkleisterung unterbindet bzw. verschlechtert (Beisler, 2018).

Für eine optimale Expansion der Stärke, mit einem Doppelschneckenextruder, ist eine Temperatur von 170 bis 200°C notwendig (Mercier et. al., 1975).

Nach Owusu-Ansah (1984) liegt eine optimale Temperatur für eine maximale Expansion bei 128°C. Diese Widersprüche kommen zustande, weil die Verkleisterung von Stärke in Abhängigkeit zur Temperatur, Scherrate und zum Gesamtwassergehalt steht und bei allen durchgeführten Versuchen möglicherweise unterschiedliche Einstellungen verwendet wurden.

Wird die Zylindertemperatur deutlich erhöht, kann eine Verringerung der Expansion die Folge sein (Davidson et. al., 1984). Aufgrund der Sanddorninhaltsstoffe sollte eine möglichst niedrige Temperatur, unter der Gewährleistung einer akzeptablen Expansion, eingestellt werden.

Extrudate mit anteiligem Sanddorn bürden ein weiteres mögliches Problem.

Mit einem Anteil von 2% bis 7% Fett bringt der Sanddorn eine negative Auswirkung mit. Fett setzt, ähnlich wie Wasser oder karamellisierter Zucker, die Scherkräfte und folglich den Druck herab, was die Expansion verringert.

Daher sollte in der Bilanzierung der Rezeptur darauf geachtet werden, dass der Anteil nicht über 5% hinausgeht. Der Fettanteil im Mais von maximal 1% ist dabei zu vernachlässigen. Die Fruchtschalen bestehen wie bei den meisten Früchten aus Zellulose die nur bei einer erhöhten Dosierung einen Einfluss auf die Extrusion haben kann.

Proteine sind wie die Stärke für den Matrixaufbau der Extrudate essentiell. Durch die Denaturierung werden Peptide sowie Grundbausteine (Aminosäuren) in die Grundstruktur eingebaut. Zusätzlich treten bei Temperaturen über 100°C Maillard-Reaktionen auf, die bei Vorhandensein von Aminosäuren und reduzierten Zuckern gewisse Aromen und Farbveränderungen einbringen.

Wie beim Fett gibt es auch für die Proteine eine Grenze, da sich mit steigendem Anteil der EI und Textur verschlechtern können (Riaz, 2012).

Neben dem EI als direkter Produktparameter nimmt die SME (“specific mechanical energy“) eine wichtige Schlüsselrolle in der Herstellung ein. Zum einen wird der Extrusionszustand durch die Schneckenkonfiguration, Drehzahl, das Drehmoment und den Durchsatz gelenkt und zum anderen beeinflusst die SME das finale Produkt in Dichte, Härte, Farbe und Größe.

Nach der Formel:
$$SME \left[\frac{kWh}{kg} \right] = \frac{\frac{Drehzahl_{IST}}{Drehzahl_{Max}} * P_{Max} * \frac{Drehmoment_{IST}}{100}}{Durchsatz}$$

erhöht sich die SME mit steigender Drehzahl und Viskosität. Eine Senkung ist bei einem geringeren Durchsatz zu erwarten (Bouvier, 2014).

2.3 Doppelschneckenextruder

Doppelschnecken-oder Doppelwellenextruder werden heutzutage in der Industrie vorrangig genutzt, da sie einige Vorteile gegenüber den Monoschneckenextrudern besitzen.

Sie bieten im Vergleich eine höhere physikalische und chemische Bearbeitung. Durch stärkere bzw. intensivere Knet- und Scherprozesse können so neue Bereiche der Formgebung und Textur erzielt werden.

Mit ansteigenden Anforderungen an das Produkt steigt auch der notwendige Bereich der Funktionalität für die Extruder an.

Die Doppelschnecken können je nach Anforderung ineinandergreifend, nicht ineinandergreifend und gleichlaufend oder gegenläufig verwendet werden. Eine Übersicht über weitere Konfigurationen ist in Abbildung 3 dargestellt.

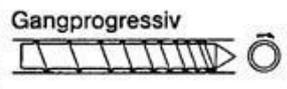
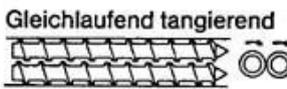
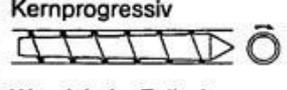
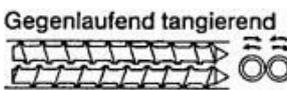
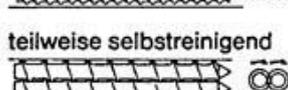
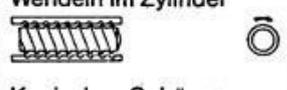
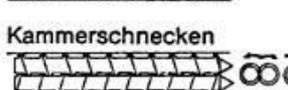
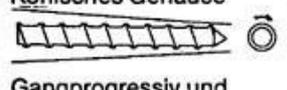
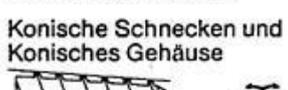
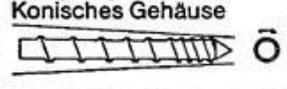
Einwellenschnecken	Doppelschnecken (nicht ineinandergreifend)	Doppelschnecken (ineinandergreifend)
Gangprogressiv 	Gleichlaufend tangierend 	gleichlaufend und selbstreinigend 
Kernprogressiv 	Gegenläufig tangierend 	teilweise selbstreinigend 
Wendeln im Zylinder 		Kammerschnecken 
Konisches Gehäuse 		Konische Schnecken und Konisches Gehäuse 
Gangprogressiv und Konisches Gehäuse 		

Abbildung 3: Schneckenkombinationen

Für die Herstellung von Extrudaten wird in der Regel eine ineinander gleichlaufende Doppelschnecke verwendet, die gegenüber der gegenläufigen Variante deutlich höhere Drehzahlen fahren kann und damit eine intensivere physikalische Bearbeitung und höhere Produktdurchsätze möglich sind.

In Abbildung 4 ist der allgemeine Aufbau eines Doppelschneckenextruders dargestellt.

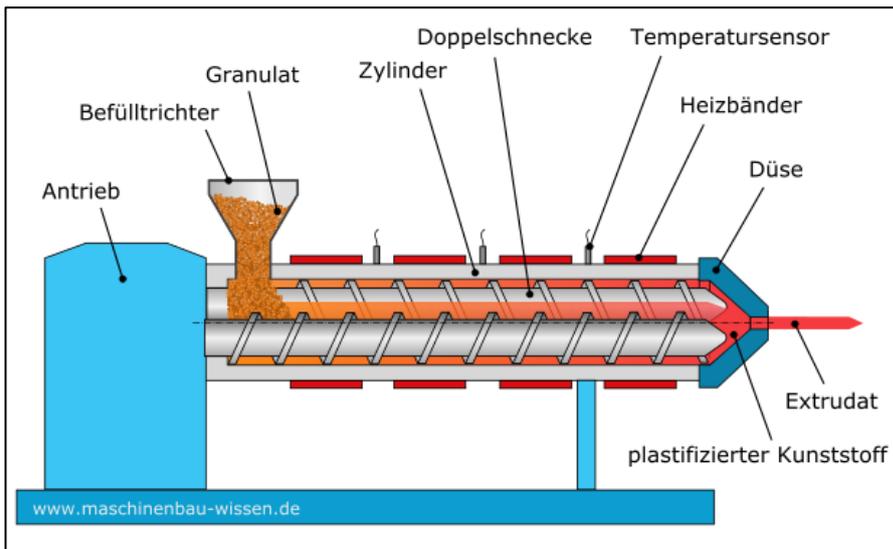


Abbildung 4: Doppelschneckenextruder

Die wichtigsten Komponenten sind die Schnecke, der Zylinder, der Einfülltrichter, die Antriebseinheit und das Temperiersystem (Greif et. al. 2004).

Über den Trichter werden trockene schüttfähige Güter in den Zylinder gefördert. Dies erfolgt je nach Beschaffenheit des Materials gravimetrisch oder volumetrisch.

Neben dem Fülltrichter ist der Zylinder mit eingebauten Schnecken das wichtigste Anlagenteil am Extruder.

Unterteilt wird der Zylinder in 3 Zonen:

- Einzugszone
- Kompressionszone
- Ausstoßzone.

Einzugszone:

Im Anfangsbereich des Zylinders wird das Rohmaterial, auch Prämix genannt, eingeführt. Durch rechtsdrehende Elemente mit einer hohen Gangsteigung wird das Material konstant weitergefördert und in der ersten Temperaturzone auf 60°C bis 90°C erhitzt (Frame, 1994).

Je nach Produkt kann in diesem Bereich eine Zudosierung eines Fluids erfolgen.

Kompressionszone (Knetbereich):

Im zweiten Abschnitt wird das Material kontinuierlich weiter erhitzt. Neben den rein fördernden Elementen sind Knet-oder Schneidelemente verbaut.

Diese sorgen dafür, dass eine intensive Vermischung der Rezepturbestandteile mit einem optionalen Fluid gewährleistet ist. Die rechtsdrehenden Fördererelemente verlieren in dieser Zone an Gangsteigung, weshalb die Fördergeschwindigkeit abnimmt und Scherkräfte zunehmen und der Druck steigt. Zusätzlich werden anteilig linksdrehende Elemente eingebaut, die die Vermischung verstärken sollen.

Ausstoßzone:

Im letzten Bereich erfolgt die Förderung zum Düsenausgang. In dieser Zeit wird die finale Produkttemperatur erreicht. Das hat zur Folge, dass letzte chemische Prozesse, wie zum Beispiel Verkleisterung von Stärke und Denaturierung von Proteinen erfolgt.

Neben der Temperatur herrschen in dieser Zone die höchsten Drücke und Scherkräfte, da die Gangsteigung im Vergleich zum Kompressionsbereich noch geringer ist.

Der Düsenausgang ist bei allgemeinen Extrudaten durch kreisförmige Öffnungen definiert. Über eine Verteilerplatte wird das Produkt am Ende der Schnecken zusammengeführt und dann gleichmäßig auf alle Düsenöffnungen weitergefördert.

Je nach Anwendung können Öffnungen verschlossen oder Düsenformen ausgetauscht werden, um Prozessparameter und die damit verbundene Produktcharakteristik zu verändern. Am Ausgang kann durch eine rotierende Messereinheit der Extrudatstrang definiert werden. Durch die Veränderung der Drehzahl kann die Länge und teilweise die Form direkt gesteuert werden.

3. Material und Methoden

3.1 Geräte

-Doppelschneckenextruder (ZSK 27 MC)	Coperion GmbH, 70469 Stuttgart, DE
-Peristaltikpumpe (323)	Watson-Marlow Limited, Flamouth TR11 4RU, UK
-Heißluftbackofen (B4/B8 TS 300)	Wiesheu GmbH, 71563 Affalterbach, DE
-Universalmaschine (HU 1010)	Feuma Gastromaschinen GmbH, 04639 Gößnitz, DE
-Wirbelschicht-Laborgerät (STREA-1)	Aeromatic-Fielder AG, 4416 Bubendorf, CH
-Windsichter (Eigenbau)	Hochschule Neubrandenburg, 17033 Neubrandenburg, DE
- Thermomixgerät	A. Stephan u. Söhne GmbH & Co, 31789 Hameln, DE
-Texture Analyser (TA-XT2i)	Stable Micro Systems Ltd, Surrey GU7 1YL, UK
-Ultra-Zentrifugalmühle (ZM 200)	Retsch GmbH, 42781 Haan, DE
-Farbmessgerät (ColorFlex EZ)	FMS Jansen GmbH & Co. KG HunterLab, 82418 Murnau, DE
-Handrefraktometer (0,0-32,0%Brix)	Kübler-Alfermi GmbH, 76133 Karlsruhe, DE
-Analytikwaage (Voyager)	OHAUS Europe GmbH, 8606 Greifensee, CH
-Schnellfeuchtemessgerät (MA40)	Sartorius AG, 37079 Göttingen, DE
-Photometer (Libra S50)	Biochrom Limited, Cambridge CB40FJ, UK
-Titrator (906 Titrand+801 Stirrer)	Metrohm AG, 9100 Herisau, CH

- Laborzentrifuge (3-16 PK) Sigma Laborzentrifugen GmbH, 37520 Osterode am Harz, DE
- Ultraschallbad (Sonorex Super RK 106) BANDELIN electronic GmbH & Co. KG, 12207 Berlin, DE
- Überkopfschüttler (Intelli Mixer RM-2L) LTF Labortechnik GmbH & Co. KG, 88142 Wasserburg (Bodensee), DE
- Vortexmischer (Genie 2) Scientific Industries, Inc., New York 11716, US

3.2 Rohstoffe

- Maisgrieß (C2, fein) Schapfen Mühle GmbH & Co. KG, 89081 Ulm, DE
- Sanddornmark Bayernwald Früchteverwertung KG, 94491 Hengersberg, DE
- Sanddornsaft Sanddorn GbR, 04916 Herzberg (Elster), DE
- Sanddornrestler Sanddorn GbR, 04916 Herzberg (Elster), DE
- Sanddornrestler Satower Mosterei – Peters OHG, 18239 Satow, DE
- Haushaltszucker
- Trinkwasser, destilliertes Wasser

3.3 Chemikalien/Lösungen

- Acetat Puffer pH 3,6 MORPHISTO GmbH, 60314 Frankfurt a.M., DE
(CAS-Nr. nicht bekannt)
- 2,6-Dichloroindophenol (DCIP) 1266615-56-8
- Eisen(III)-Chlorid Hexahydrat Carl Roth GmbH + Co. KG, 76231 Karlsruhe, DE
(CAS-Nr. 10025-77-1)
- Essigsäure Sigma-Aldrich Co., St. Louis 63103, US
(CAS-Nr. 64-19-7)

- Folin-Ciocalteu's Phenol Reagenz Merck KGaA, 64271 Darmstadt, DE
(CAS-Nr. nicht bekannt)
- Methanol BDH Prolabo, 64295 Darmstadt, DE
(CAS-Nr. 67-56-1)
- Natriumcarbonat Sigma-Aldrich Co., St. Louis 63103, US
(CAS-Nr. 497-19-8)
- Oxalsäure Sigma-Aldrich Co., St. Louis 63103, US
(CAS-Nr. 144-62-7)
- TPTZ Sigma-Aldrich Co., St. Louis 63103, US
(CAS-Nr. 3682-35-7)
- Trolox Cayman Chemical, Michigan 48108, US
(CAS-Nr. 53188-07-1)

- Folin-Ciocalteu-Reagenz

- Folin-Ciocalteu's Phenol Reagenz 10% (v/v)

- FRAP Reagenz:

- TPTZ Lösung (10mM in 40mM HCl) 1 Vol.
- Acetat Puffer (300mM; pH 3,6) 10 Vol.
- FeCl₃ 6H₂O (20mM) 1 Vol.

- Extraktionslösung:

- 80% Methanol
- 1% Essigsäure
- 19% dest. Wasser

- Na₂CO₃-Lösung

- Na₂CO₃ 60g/l

Alle Lösungen wurden mit Reinstwasser hergestellt.

3.4 Versuchsplanung

Alle Versuche wurden in einem Intervall von circa drei Wochen an dem Doppelschneckenextruder der Hochschule Neubrandenburg durchgeführt. Der Extruder ist ein ZSK 27 MC Extruder der Firma Coperion GmbH, ansässig in Stuttgart.

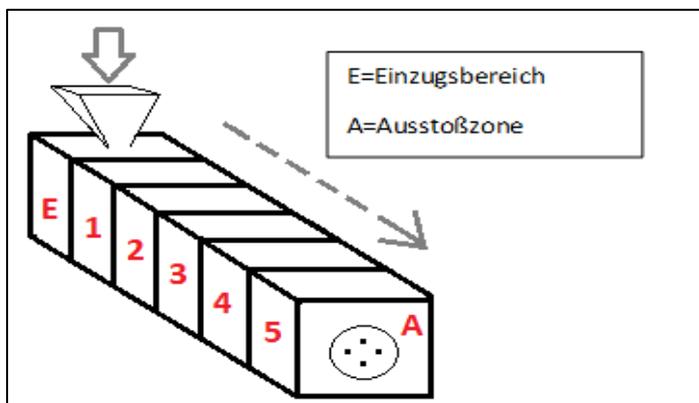


Abbildung 5: Doppelschneckenextruder

Zu Beginn werden 3 Vorversuche durchgeführt, die zur allgemeinen Erfahrungssammlung, Geschmacks- und Texturfindung dienen.

Auf Basis sensorischer Ergebnisse werden danach 3 Hauptversuche ausgeführt, wobei nur der Hauptversuch I, mit dem Trestermaterial aus den Vorversuchen, realisiert werden konnte. Aufgrund von unglücklichen Umständen konnte die Versorgung der Satower Mosterei mit Sanddornrester konstanter Qualität nicht mehr gewährleistet werden, weswegen Trester eines anderen Unternehmens bezogen werden musste. Die darauffolgenden Hauptversuche sollen die Umsetzbarkeit dieser Veränderungen aufklären.

Alle Versuche wurden mit einer einheitlichen Temperaturführung und Schneckenkonfiguration gefahren, die auf den Ergebnissen von Asarenko (2017) basieren.



Manteltemperaturen:

Zone 1	80°C
Zone 2	120°C
Zone 3	120°C
Zone 4	120°C
Zone 5	120°C

Abbildung 6: Zusammensetzung der Zonen am Extruder

3.4.1 Vorversuche

Vorversuch I

Der erste Versuch an dem Doppelschneckenextruder diente zum einen der Erfahrungssammlung und zum anderen der Definition, bei welchen Wassergehalten und Drehzahlen reiner Maisgrieß eine akzeptable Extrusion und Textur erzielt.

In insgesamt 18 Versuchen werden die Schneckendrehzahlen: 400, 600 und 800 1/min untersucht, die auf den Erfahrungsberichten von Asarenko (2017) beruhen. Dabei wird für jede Drehzahl der Wassergehalt des Prämix von 12,5% bis 25%, in 2,5% Schritten variiert.

Weitere Parameter sind:

- Feststoffdurchsatz: 20kg/h
- Düsendurchmesser/-anzahl: 3mm/ 2x

Die Berechnungen für die Wasserdosierung sind dem Datenblatt im Anhang auf Seite 73 zu entnehmen.

Tabelle 1: Ablauf Vorversuch I

400 1/min	Gesamtwassergehalt [%]	Wasserdosierung [kg/h]	Pumpenleistung [%]
1	12,5	0,66	3,1
2	15,0	1,25	5,5
3	17,5	1,90	8,2
4	20,0	2,60	11,0
5	22,5	3,30	13,9
6	25,0	4,10	17,1

600 1/min			
7	12,5	0,66	3,1
8	15,0	1,25	5,5
9	17,5	1,90	8,2
10	20,0	2,60	11,0
11	22,5	3,30	13,9
12	25,0	4,10	17,1

800 1/min			
13	12,5	0,66	3,1
14	15,0	1,25	5,5
15	17,5	1,90	8,2
16	20,0	2,60	11,0
17	22,5	3,30	13,9
18	25,0	4,10	17,1

Vorversuch II

Der zweite Vorversuch dient zur Analyse der Wechselwirkungen zwischen Mais, Sanddornrestern und Zucker. Die Sanddornmenge erfolgt in zwei verschiedenen Partikelgrößen.

Sanddornpulver wird über eine Zentrifugalmühle der Firma Retsch GmbH mit 1,0mm Siebeinsatz vorbereitet. Die unbehandelte Form hat eine Partikelgröße von <3mm und beruht auf dem verwendeten Reibeinsatz mit der Passiermaschine HU 1010.

Die Herstellung des Tresters wird in Punkt 3.5 und 3.6 genauer beschrieben.

Über 12 Versuche werden 20% und 40% Sanddorn Varianten mit einem Verhältnis von 4:1 und 1:0 zu Zucker untersucht. Die restliche Menge wird mit Maisgrieß aufgemischt.

Basierend auf den Erkenntnissen des ersten Vorversuchs, wird in den folgenden die Schneckendrehzahl bei 600 1/min konstant gehalten.

Der Gesamtwassergehalt liegt bei 15%...17,5%...20%.

Während der Herstellung wurde adaptiv für jede Rezeptur ein Versuch mit einer noch geringeren Feuchte getestet. Genauere Information dazu unter Punkt 4.4.1.

Bei diesem Versuch werden wieder 2 Düsen mit 3mm Durchmesser und ein Feststoffdurchsatz von 20kg/h eingestellt.

Tabelle 2 zeigt die Rezepturveränderungen für jeden Versuch auf.

Tabelle 2: Ablauf Vorversuch II

Versuch	Sanddornpulver [%]	Zucker [%]	Maisgrieß [%]
1	20	5	75
2	20	5	75
3	20	5	75
4	40	10	50
5	40	10	50
6	40	10	50
7	20	0	80
8	20	0	80
9	20	0	80
	Sanddornrestern		
10	20	0	80
11	20	0	80
12	20	0	80

Vorversuch III

Der letzte Vorversuch wird für sensorische Zwecke durchgeführt und beinhaltet 8 Proben mit jeweils 10% oder 20% Sanddorn bei einem Gesamtwassergehalt von 15%. Wie im zweiten Vorversuch wird Zucker in einem bestimmten Verhältnis zum Sanddornrester zugegeben. Es werden Verhältnisse von 1:1, 4:3 und 2:1, sowie jeweils eine Variante ohne Zucker untersucht.

Tabelle 3: Ablauf Vorversuch III

Versuch	Sanddornrester [%]	Zucker [%]	Maisgrieß [%]
1	20	20	60
2	20	15	65
3	20	10	70
4	20	0	80
5	10	10	80
6	10	7,5	82,5
7	10	5	85
8	10	0	90

3.4.2 Hauptversuche

Hauptversuch I

Auf Basis der Sensorik-Ergebnisse (4.4.2) wird eine optimierte Rezeptur entwickelt, die aus 17,5% Sanddornrestreter, 15,0% Zucker und 67,5% Maisgrieß besteht.

Neben dem Feststoffdurchsatz von 20kg/h, zwei offenen Düsen (3mm) und zwei Gesamtfeuchten von 15,0% und 12,5% soll ein Drehzahlband von 600 bis 1800 1/min getestet werden.

Während der ersten Versuche zeigte sich, dass die Extrusion und Textur nicht zufriedenstellend ist. Der Feststoffdurchsatz, die Drehzahl und der Gesamtwassergehalt mussten angepasst werden. In der nachfolgenden Tabelle ist die überarbeitete Versuchsplanung zu sehen, das Original befindet sich im Anhang auf Seite 78-80.

Tabelle 4: Ablauf Hauptversuch I

Versuch	Drehzahl [1/min]	Feuchte [%]	Durchsatz [kg/h]
1	600	15,0	20
10	600	11,0	20
11	600	9,0	20
12	600	15,0	30
2	800	15,0	20
3	1000	15,0	20
8	1000	15,0	30
9	1000	9,0	30
4	1200	15,0	20
5	1200	15,0	30
6	1200	15,0	40
7	1600	15,0	20

Hauptversuch II

Durch komplizierte Umstände kam es im zweiten Hauptversuch zu einem Wechsel des Sanddornmaterials.

Die Satower Mosterei konnte nicht mehr mit dem Trester derselben Qualität liefern, die er zu Beginn hatte. Aus diesem Grund wurde Sanddornrestreter von dem Unternehmen Sanddorn GbR bezogen. Durch eine Verkostung auf dem Firmengelände der Sanddorn GbR ist

aufgefallen, dass der Trester einen deutlich nüchterneren Geschmack hat als das zuvor verwendete Material.

Um einen Geschmacksausgleich zu schaffen, wurde Sanddornsaft zusätzlich mit in die Versuchsaufstellung gebracht. Dieser musste, wie in Punkt 3.7, Seite 21 beschrieben, vorher eingedampft werden, damit das Säure/Süße-Verhältnis unter Berücksichtigung der Gesamtfeuchte gewahrt bleibt.

Mit dem neuen Trester und aufkonzentriertem Saft wurden 8 Versuche mit folgender Rezeptur und Parametern aufgestellt.

- | | | | |
|------------------|-------|-----------------------|-------------------|
| - Sanddortrester | 12,5% | - Feststoffdurchsatz: | 20kg/h und 30kg/h |
| - Zucker | 10,0% | - Gesamtwassergehalt: | 15% |
| - Maisgrieß | 77,5% | | |

Zusätzlich wurde über die Peristaltikpumpe 104g/kg Sanddornsaft in die Schnecken gefördert.

Für jeden Feststoffdurchsatz wurden 4 Proben mit einer Drehzahl von 600 bis 1200 1/min untersucht (siehe Tabelle 5).

Das Besondere an dieser Versuchsreihe ist, dass nur ein Düsenausgang mit einem Durchmesser von 3mm verwendet wird. Diese Veränderung soll einen höheren Druck und damit einen größeren EI hervorrufen.

Tabelle 5: Ablauf Hauptversuch II

Versuch	Drehzahl [1/min]	Feuchte [%]	Durchsatz [kg/h]
1	600	15,0	20
2	800	15,0	20
3	1000	15,0	20
4	1200	15,0	20
5	600	15,0	30
6	800	15,0	30
7	1000	15,0	30
8	1200	15,0	30

Hauptversuch III

Nach dem Misserfolg des zweiten Hauptversuchs (Abschnitt 4.7) wird anstatt des aufkonzentrierten Sanddornsafte Sanddornmark der Firma Bayernwald Fruchteverwertung KG verwendet. Da das Verhältnis von Säure zu Süße selbst mit dem Sanddornmark unter Berücksichtigung der Gesamtfeuchte nicht eingehalten werden kann, wird zum Vergleich die Rezeptur mit 10% Zucker auf 8% Zucker reduziert.

Die verlorene Masse wird mit Maisgrieß aufgefüllt.

Neben einer zuckerreduzierten Variante wird nochmals Sanddornrestreter als Pulver (1mm) extrudiert. Im zweiten Vorversuch trat der Effekt auf, dass der EI bei 15,0% Gesamtwassergehalt größer ist als bei der Pulvervariante. Dieser Effekt soll nochmals untersucht werden.

Auf Basis des zweiten Hauptversuches werden über 9 Proben die Schneckendrehzahl in einem kleineren Bereich untersucht. Der Gesamtwassergehalt mit 15,0% sowie der Feststoffdurchsatz (20kg/h) bleiben bei allen Proben konstant.

Zum Prämix werden 104g Sanddornmark je Kilogramm über die Peristaltikpumpe zugegeben.

Versuch 1-3 umfasst die zuckerreduzierte Rezeptur, 4-6 die normale Rezeptur mit 10% Zucker und 7-9 beinhaltet den Restreter im vermahlenden Zustand als Pulver.

Tabelle 6: Ablauf Hauptversuch III

Versuch	Drehzahl [1/min]	Feuchte [%]	Durchsatz [kg/h]
1	700	15,0	20
2	800	15,0	20
3	900	15,0	20
4	700	15,0	20
5	800	15,0	20
6	900	15,0	20
7	700	15,0	20
8	800	15,0	20
9	900	15,0	20

Zusätzlich wird ein Versuch zur Überprüfung der Einsatzmöglichkeiten mit dem gefriergetrockneten Sanddornpulver durchgeführt. Grundlage ist hierbei dasselbe Sanddornmark der Firma Bayernwald Fruchteverwertung KG, das durch die Untersuchungen von Büssow, 2018 bereitgestellt wurde.

Mit einem Sanddornpulver- und Zuckeranteil von jeweils 10% basiert das Verhältnis auf die bisher gewonnenen Erfahrungen. Als Stärkebasis wurde ebenfalls Maisgrieß verwendet.

3.5 Trocknungsversuche

Für die Versuchsreihen war es notwendig, den Trester in einen verarbeitbaren Zustand zu bringen, der über die Trocknung erreicht werden konnte.

Ziel der Trocknung ist es, den frisch abgepressten Sanddorntrester auf unter 10% Restfeuchte zu bringen. Dafür wird ein Heißluftbackofen der Firma Wiesheu GmbH mit Lochblechen und zum optionalen Nachtrocknen ein Wirbelschichttrockner verwendet. Über einen Verlauf von bis zu 180 Minuten, bei 70°C, soll der Gesamtwassergehalt des Tresters auf den gewünschten Wert sinken. Während des Trocknungsprozesses wird der Trester alle 30 Minuten vermengt, um eine gleichmäßige Trocknung zu garantieren.

In den Versuchen wurden Temperaturen von 60°C bis 70°C, Trocknungszeiten bis zu 180 Minuten und die Umluftintensität des Heißluftbackofens untersucht. Ziel war es, den Trester so zeiteffizient wie möglich zu verarbeiten, da innerhalb eines Arbeitstages nur geringe Mengen produziert werden können.

3.6 Tresteraufbereitung

Nach der Trocknung ist der Trester noch nicht für die Herstellung von Extrudaten geeignet. Aufgrund des hohen Anteils an Kernen, die zusätzliches Fett ins Produkt bringen würden, müssen diese abgetrennt werden. Zur Separation mittels Luftstrom ist es notwendig, die teilweise zusammengetrockneten Tresterstücke zu zerkleinern.

Mit der Universalmaschine (Passiereinheit) HU 1010 der Firma Feuma Gastromaschinen GmbH und einem Reibring mit 3mm Lochung kann die Partikelgröße auf ein adäquates Maß verringert werden.

Damit dieser Prozess reibungslos abläuft, ist aus dem Abschnitt zuvor die genannte Restfeuchte einzuhalten. Bei Nichterfüllung würde keine Zerkleinerung stattfinden und das Material sich durch Reibung unnötig erhitzen.

Im darauffolgenden Schritt findet die Abtrennung der Kerne von den Fruchtschalen statt.

Es wurden zwei Geräte separat und teilweise nacheinander verwendet.

Zum einen der selbstgebaute Windsichter der Hochschule Neubrandenburg, der aber in keiner Weise einen funktionellen Nachteil hat und zum anderen ein Wirbelschichttrockner der Firma Aeromatic-Fielder AG. Beim Wirbelschichttrockner lässt sich der Luftstrom temperieren, allerdings kann das Gerät nur im Batch-Verfahren mit kleinen Chargenmengen gefahren werden.

Nach Abtrennung der Kerne ist der Sanddorntrester bereit für die Verwendung zum extrudieren.

3.7 Aufkonzentration

Während des Versuchszeitraums wurde es notwendig, Trester eines anderen Unternehmens zu beziehen. Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften des neuen Tresters war es notwendig, Sanddornsaft mit in den Prämix einzuarbeiten. Da der Saft eine zu geringe Konzentration an Zitronensäure, basierend auf den Wassergehalt hat, musste der Saft aufkonzentriert werden. Nähere Information dazu unter Punkt 4.7, Seite 47.

Über ein Thermomixgerät der Firma A. Stephan u. Söhne GmbH & Co wird mit einem negativen Überdruck von 0,7 bar bei 65°C 20 Liter Sanddornsaft eingedampft.

3.8 Physikalische Analytik

3.8.1 Texturanalyse

Neben dem Geschmack spielt die Textur von Extrudaten eine entscheidende Rolle. Bei der Messung der notwendigen Kraft, die aufgebracht werden muss, um die Struktur zu zerbrechen, gibt es zwei wesentliche Faktoren:

- Maximalkraft (Härte)
- Matrixaufbau (Knusprigkeit).

Mit dem Texture Analyser (TA-XT2i) der Firma Stable Micro Systems Ltd. und einer Guillotine als Verformungsobjekt wird in einem Diagramm der zurückgelegte Weg über die aufgebrachte Kraft dargestellt. Zusätzlich wird der Durchmesser der Proben mit einbezogen. Durch die Betrachtung des Verlaufs kann Aufschluss über die eben genannten Faktoren gegeben werden.

3.8.2 Farbmessung

Die Farbmessungen werden im L*a*b System durchgeführt. Gemessen wurden die Trester, Prämix und Extrudate mit dem Farbmessgerät ColorFlex EZ der Firma FMS Jansen GmbH & Co. KG. Verwendet wird eine 34mm Blende mit passender Rundglasküvette. Für jede Probe wird eine Dreifachbestimmung durchgeführt.

Die Farbmessungen sollen Auskunft über Ursache und Wirkung der Temperatur, des Zucker- und Wassergehaltes während der Extrusion geben. Damit ein Vergleich machbar ist, wird zur Darstellung die L*a*b-Werte in RGB-Werte (Rot-Grün-Blau) umgewandelt und mit einem Bildbearbeitungsprogramm realisiert. Für die Umwandlung wird der Farbkonverter von Nix Sensor Ltd. (<https://www.nixsensor.com>, 2018) verwendet.

3.8.3 Schnellfeuchtemessung

Messungen von Wassergehalten sind elementarer Bestandteil der Arbeit, da diese als Basis für die Berechnungen an Wasserdosierung während der Extruderversuche dienen. Mit dem Schnellfeuchtemessgerät MA 40 der Firma Satorius AG werden Fünffachbestimmungen durchgeführt, um repräsentative Ergebnisse zu schaffen. Zum Vergleich wurden verschiedene Proben (Trester, Extrudate) analytisch mit einer Präzisionswaage und einem Vakuumtrockner untersucht. Die Ergebnisse wichen nur geringfügig ab, weshalb die Schnellfeuchtemessmethode in der gesamten Arbeit weiter verwendet wird.

3.9 Sensorische Methodik

Um aussagekräftige Begründungen über die Rezeptentwicklung zu schaffen, wird mit ausgewählten Proben des dritten Vorversuchs eine allgemeine Beliebtheitsprüfung mit zusätzlichen JAR-Fragen (**J**ust **A**bout **R**ight) durchgeführt.

Dabei wird eine Gesamtb Liebtheit, Liebtheit vom Geschmack und Liebtheit von der Textur für jede Probe erfragt. Die JAR-Fragen werden jeweils zum Geschmack und zu der Textur in verschiedene Eigenschaften unterteilt. Zur genauen Betrachtung kann der Fragebogen im Anhang auf Seite 85 überprüft werden.

Um die Behauptung signifikanter Unterschiede zwischen den einzelnen Proben zu bestätigen, wird eine einfaktorielle Varianzanalyse durchgeführt.

Die JAR-Fragen werden mittels einer Penalty Analyse mit dem Programm XLSTAT (Versionsnummer 218.4) ausgewertet.

3.10 Chemische Analytik

3.10.1 Enzymatische Zuckerbestimmung

Glucose, Fructose und Saccharose werden in den Sanddornproben enzymatisch mit dem Test-Kit der Firma Boehringer Mannheim untersucht. Prinzip ist hier die Umsetzung von den $\text{NAD}^+/\text{NADP}^+$ in die reduzierte Form NADH/NADPH , das im UV-Spektrum bei 340nm photometrisch gemessen werden kann. Die Umsetzung des Coenzym ist äquivalent zur umgesetzten Substratmenge, die eine Quantifizierung erlaubt. Es spielt hierbei keine Rolle, ob die reduzierte Form entsteht oder abgebaut wird.

3.10.2 Säuretitration

Die Säuretitration mit anschließender Berechnung für Zitronensäure wird mit einer 0,33 molaren Natriumhydroxidlösung durchgeführt.

Das verbrauchte Volumina wird dann mit der molaren Masse der Zitronensäure und Probenmenge verrechnet und die Konzentration in g/100g Originalsubstanz angegeben.

Die Messungen der Sanddornrohstoffe dienen der Übertragung von fundierten Ergebnissen auf Rezepturen mit unterschiedlichem Sanddornrestermaterial.

3.10.3 Vitamin C-Bestimmung

Die Vitamin C-Bestimmung beruht auf der Oxidation der L-Ascorbinsäure durch DCPIP (Dichlorphenolindophenol). Durch Reduzierungsreaktionen wird ein Farbumschlag hervorgerufen. Für die Messungen wird ein Titrator (906 Titrand+801 Stirrer) der Firma Metrohm AG verwendet. DCPIP wird kontinuierlich der Probe zugegeben. Zuvor muss die Probe mit 2%iger Oxalsäure versetzt werden, um ein saures Milieu zu schaffen.

Durch Messung der elektrischen Leitfähigkeit kann über die passende Software ein Äquivalenzpunkt (Wendepunkt) erfasst werden, der die Vitamin C-Konzentration in mg/l angibt. Eine Umrechnung auf mg/100g Originalsubstanz erfolgt mit Excel (Microsoft Office 2013).

3.10.4 Gesamtphenolbestimmung

Das Prinzip beruht auf dem Elektronentransfer im alkalischen Milieu. Durch Zugabe reduzierender Stoffe wird Molybdän, ein blauer Komplexfarbstoff, gebildet, der bei Wellenlängen zwischen 750 bis 765nm spektralphotometrisch gemessen wird. (Magalhães et al., 2008).

Mit der Folin-Ciocalteu's Methode werden 100µl Probe zu 750µl Folin Reagenz hinzugegeben und für 5 Minuten homogenisiert. Im Anschluss werden 750 µl Na₂CO₃-Lösung zugegeben und für 90 Minuten, unter Ausschluss von Licht, inkubiert. Bei einer Wellenlänge von 750nm werden die Extinktionen gemessen. Zum Vergleich werden Standards mit Chlorogensäure, bekannt als Trolox-Reagenz, ebenfalls gemessen. Über die Berechnung wird die Konzentration an Phenolen in mg/100g Originalsubstanz angegeben (siehe Anhang-CD).

3.10.5 Antioxidative Kapazität (FRAP Test)

Der „Ferric Ion Reducing Antioxidant Power“ (FRAP)-Test misst die Fähigkeit von Antioxidantien, bei niedrigem pH-Wert einen Eisen-Tripyridyltriazin-Komplex (Fe^{3+} -TPTZ) in den Eisen-Komplex (Fe^{2+} -TPTZ) zu reduzieren. Dabei findet ein Farbumschlag ähnlich bei der Gesamtphenolbestimmung statt. Die entstandene Blaufärbung kann spektralphotometrisch bei 593nm gemessen werden. Zwischen der Farbzunahme und der damit einhergehenden Extinktion, besteht zur Höhe des antioxidativen Potenzials ein linearer Zusammenhang (Frankel und Meyer, 2000).

Die Antioxidative Kapazität wird in ORAC „Oxygen Radical Absorption Capacity“ angegeben.

Eine ORAC-Einheit wird in $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$ angegeben. Gesprochen: Mikro Mol Trolox Äquivalent.

Für die Messung werden zusätzlich Standards gemessen, die zwischen 0,25-2 mmol Trolox enthalten.

Für die Durchführung werden 40 μl Probe 160 μl entionisiertes Wasser und 1800 μl FRAP-Reagenz homogenisiert und für drei Stunden lichtgeschützt inkubiert. Das FRAP-Reagenz setzt sich aus 1 Teil TPTZ, 1 Teil FeCl_3 und 10 Teilen Acetatpuffer zusammen.

4. Ergebnisse und Bewertung

4.1 Trocknungsversuche

Die Ausgangsfeuchten des frischen Sanddornresters (ohne Kerne gemessen) lagen zwischen durchschnittlich 70%-75%. Der Rester wurde über 3 Vorversuche mit jeweils 60°C oder 70°C und 150 bis 180 Minuten im Heißluftofen getrocknet.

Aus 6kg frischem Restermaterial konnten zwischen 2,4 bis 2,6kg (40-45%) getrockneter Rester mit Kernen gewonnen werden. Die Schwankungen beruhen auf der Tatsache, dass bei der Trocknung Kerne beim Vermengen der Masse durch die Lochbleche gefallen sind. Die Lochbleche waren notwendig, um die Luftumwälzung zu gewährleisten.

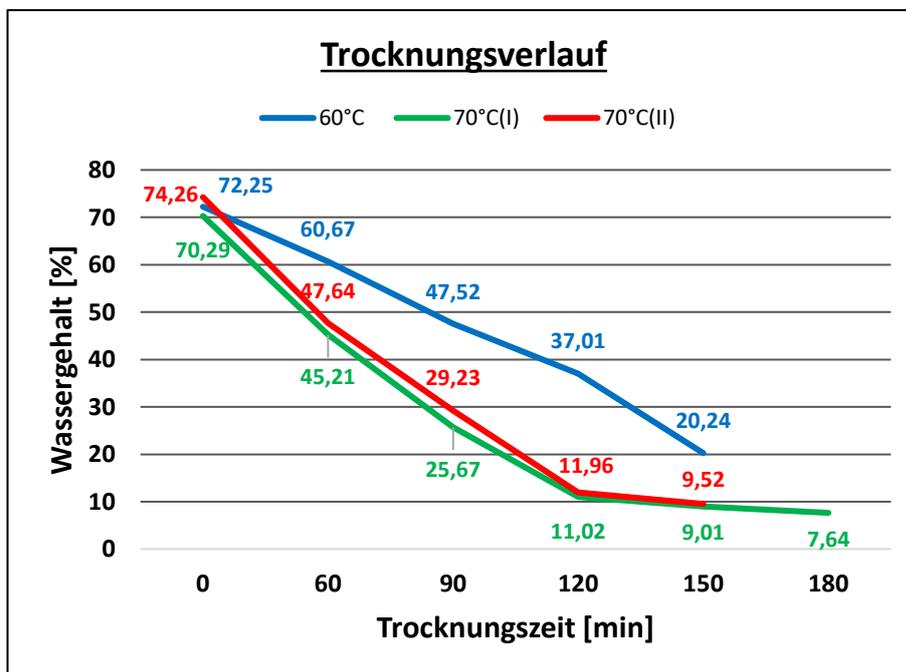


Abbildung 7: Trocknungsverlauf Sanddornresters

Im Diagramm ist die Trocknungszeit zum Wassergehalt dargestellt. Durch den ersten Versuch konnte festgestellt werden, dass eine Restfeuchte von 20,24% zu hoch ist, um den Rester zu zerkleinern. Deshalb wurde im Anschluss das Material für 45 Minuten bei 50°C nachgetrocknet und auf einen Endwert von 9,13% gebracht. Diese Restfeuchte bewerkstelligte eine problemlose Zerkleinerung.

Die nachfolgenden Versuche wurden mit 70°C und einer erhöhten Luftumwälzung gefahren. Das Material des zweiten Versuchs wurde 180 Minuten und das des dritten Versuchs 150 Minuten getrocknet.

Grund dafür ist die Verkürzung der Trocknungszeit von 180 auf 150 Minuten. So ist eine weitergehende Trocknung unter 10% nicht notwendig.

Zudem hat der Maisgrieß eine ähnliche Feuchte von 9,2% bis 9,5% und würde somit keine negativen Auswirkungen auf die Extrusion haben.

Neben der Restfeuchte ist beim Vergleich der Trester die unterschiedliche Farbgebung aufgefallen. Zwischen dem ersten Trocknungsversuch und den beiden anderen waren deutliche Unterschiede in der Intensität zu verzeichnen, was auf die schonendere Trocknung beim ersten Versuch zurückzuführen ist. Die hergestellten Extrudate würden so im Vergleich zu farbschwächeren Treestern ansprechender aussehen.

Da aber alle Trester für die folgenden Extruderversuche zusammengemengt wurden, ist dies nur eine Anmerkung und wurde nicht weiter betrachtet.

Der durch die Trocknung verursachte Vitamin C-Verlust liegt bei 37,45%. Die Berechnung kann dem Anhang auf der Seite 88 entnommen werden.

4.2 Tresteraufbereitung

Nachdem der Trester getrocknet wurden war, musste für die spätere Dosierung am Extruder das Material noch zerkleinert werden. Dafür wurde die Passiermaschine (HU 1010) mit einem 3mm Reibeinsatz eingesetzt. Aus einer Charge (2,5kg) Trester konnten 95% weiterverarbeitet werden. Die restlichen nicht zerkleinerten 5% Material befanden sich noch in der Maschine und wurden der nächsten Charge beigemengt.

Ergebnis war ein Material, bei dem zu 99% die Fruchtschalen von den Kernen abgetrennt wurden. Eine Abtrennung der Kerne vom eigentlichen Trester wurde vorab mit Langlochsieben getestet. Das Ergebnis war suboptimal, da immer ein Teil der Kerne für die Siebböden, aufgrund der Größe, nicht geeignet waren.

Aus diesem Grund wurde in den ersten Versuchen der Wirbelschichttrockner mit angebautem Abzugsrohr und Auffangbehälter verwendet. Bei einem Luftdurchsatz von 110-120m³/h konnte ein Großteil der Fruchtschalen abgetrennt werden (siehe Abbildung 8).



Abbildung 8: Abgetrennte Fruchtschalen (Trester, rechts)

Die schwereren Kerne sind im Gerät verblieben und mussten nach jedem Durchgang entfernt werden, um den Luftstrom nicht zu verringern.

Aus 100g Material konnte 1/3 reiner Trester gewonnen werden. Die restlichen 66% bestanden aus einem geringen Anteil an Fruchtschalen und Kernen, die zum Teil miteinander verbunden waren.

Aufgrund der geringen Masse beträgt der Fruchtschalenanteil nur insgesamt 35%, weswegen das übrige Material über den eigens konstruierten Windsichter erfolgreich abgetrennt wurde. Aus insgesamt 18kg frischem Trester konnten 2,7kg reiner Trester, ohne Kerne, gewonnen werden, was eine Ausbeute von 15% ergibt. Für die weiteren Extruderversuche wurde dieser Verarbeitungsprozess übernommen.

Ein Nachteil bei der Verwendung des Wirbelschichttrockners ist das Problem mit dem Abluftrohr. Durch die Zerkleinerung gibt es Partikel im Trester, die deutlich kleiner als 1mm sind und so in der Riffelung des Rohres haften bleiben. Selbst nach grober Entleerung bleibt ein beachtlicher Teil im Rohr zurück. Für die Zukunft sollte nur dann auf den Wirbelschichttrockner zurückgegriffen werden, wenn ein Abluftrohr verwendet wird, das eine glatte Innenseite hat, um die Anhaftung von Material so gering wie möglich zu halten. Der Windsichter erwies sich als äußerst effizient, in Hinsicht auf den Abtrennungsgrad.



Abbildung 9: Windsichteranlage

Aufgrund der geringen Befüllungsmenge und schlechten Förderungen besteht allerdings Optimierungsbedarf (siehe Abbildung 9).

Auch die Einstellung des Luftsoges sollte systematischer gestaltet werden. Grund hierfür ist das Problem mit den Gewichtsunterschieden zwischen Fruchtschalen und Kernen.

Der Sog ließ sich nicht stark genug runterregulieren. Eine improvisierte Lösung musste Abhilfe schaffen, um eine optimale Trennung zu gewährleisten. Trotz dieses Problems ist das Verfahren deutlich effizienter, als die Verwendung von Sieben.

4.3 Vorversuch I

4.3.1 Herstellung und Besonderheiten

Vom ersten Vorversuch wurden von den insgesamt 18 Varianten nur 15 Extrudate hergestellt, da bei einer Feuchte von 15% der Druck und das Drehmoment teilweise in kritische Bereiche kamen, was die bei weiterem Anstieg zu einer automatischen Notausschaltung des Extruders geführt hätte. Theoretisch kann der Druck bis 80bar steigen, allerdings sind die Drucksprünge viel größer und sind deshalb zu unterbinden. Aus diesem Grund wurden die Versuche mit 12,5% Wassergehalt nicht durchgeführt.

In Tabelle 7 sind die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst. Da es bei diesem Versuch nur um das Verhalten von Mais geht, sind dementsprechend die Extrudate stark expandiert. Der EI von 5,18 aus dem zweiten Versuch entspricht einem Durchmesser von 15,54mm und ist im Vergleich zu den meistens extrudierten Snackprodukten deutlich größer.

Tabelle 7: Ergebnisse Vorversuch I

Versuch	Drehzahl 1/min	Feuchte [%]	EI [mm]	SME [kWh/kg]	Temp. [°C]	Druck [bar]	Drehm. [%]
1	400	12,5	/	/	/	/	/
2	400	15,0	5,18	0,119	155	73	57
3	400	17,5	4,59	0,099	147	64	49
4	400	20,0	3,73	0,083	140	51	42
5	400	22,5	2,98	0,071	134	43	37
6	400	25,0	2,55	0,061	129	38	33
7	600	12,5	/	/	/	/	/
8	600	15,0	4,49	0,151	161	51	48
9	600	17,5	4,60	0,128	154	45	42
10	600	20,0	3,77	0,112	149	40	38
11	600	22,5	2,90	0,100	145	33	35
12	600	25,0	2,06	0,086	141	27	31
13	800	12,5	/	/	/	/	/
14	800	15,0	4,07	0,176	167	37	42
15	800	17,5	4,05	0,158	160	35	39
16	800	20,0	3,61	0,138	154	31	35
17	800	22,5	3,12	0,130	151	27	34
18	800	25,0	1,85	0,114	148	23	31

Die SME steht im unmittelbaren Zusammenhang mit dem EI. Aus einer erhöhten Drehzahl und oder niedrigerem Wassergehalt steigt die SME an, was ebenfalls eine stärkere Extrusion hervorruft.

Da bei den Versuchen mit 400 /min Druck und Drehmoment bei 15% Wassergehalt sehr hoch waren, wird diese Drehzahl für folgende Versuchsreihen nicht mehr berücksichtigt.

Ähnlich ist es mit den Versuchen mit 800 1/min. Da die resultierenden Prozessparameter zu gering ausgefallen sind, wird eine mittlere Drehzahl von 600 1/min als Standardwert verwendet. Diese Werte dienen nur als Orientierung, da es noch keinen Einsatz von Sanddornresten gegeben hat.

4.3.2 Texturanalyse

Die Messung der Knusprigkeit und Festigkeit mit dem Texture Analyser waren wie die Prozesseinstellungen eine erste Orientierung.

Eine erhöhte Wasserzugabe hat das Resultat, dass die Extrudate kleiner werden, aber auch deutlich härter sind. Grund hierfür ist die begrenzte Wasseraufnahmefähigkeit der Maisstärke. Wasser das im Zylinder nicht gebunden ist, setzt wie karamellierter Zucker die Reibung herab, wodurch eine geringere Scherung und ein weniger intensives Verkneten stattfindet. Daraus resultiert am Düsenausgang eine geringere Expansion der Extrudate mit einer dichteren Struktur(siehe Abbildung 10).

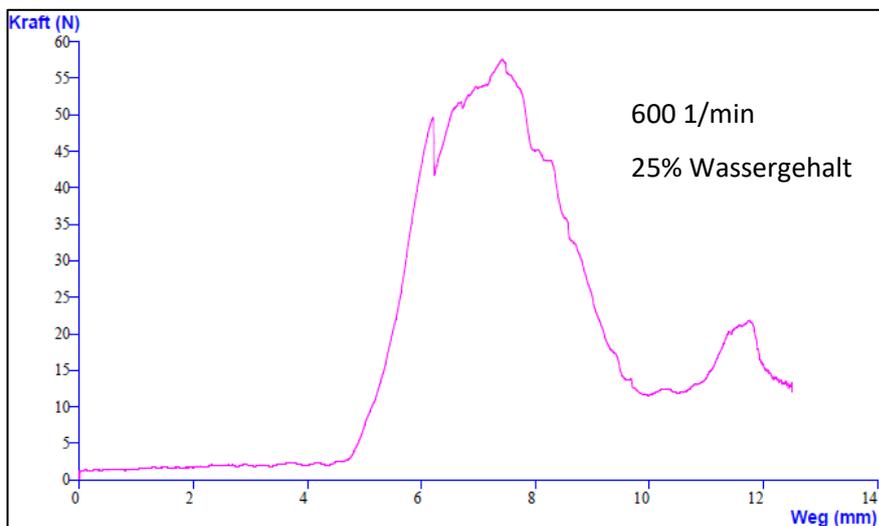


Abbildung 10: Texturmessung Vorversuch I Probe 12

So ist ein schneller Kraftanstieg bis auf 60N über einen kurz zurückgelegten Weg zu erkennen, der dafür steht, dass die Textur dicht ist und keine Hohlräume aufweist.

Werden Extrudate mit unterschiedlichen Drehzahlen bei gleicher Feuchte verglichen, so sinkt die maximal aufgebrauchte Kraft bei steigender Drehzahl stark ab.

Die Abbildungen 11 und 12 zeigen die Unterschiede in der Drehzahl auf. Bei 400 1/min wurde eine Maximalkraft von 21N gemessen, die im Vergleich zu dem 800 1/min Extrudat doppelt so hoch ist.

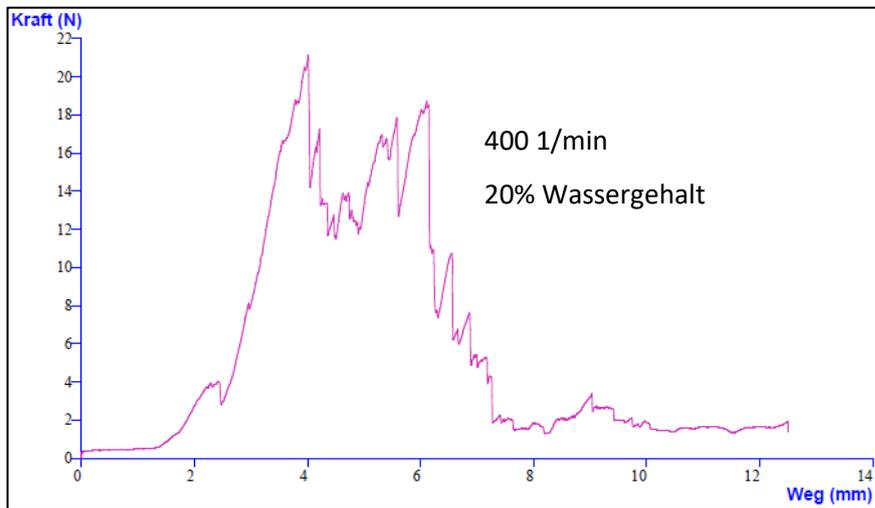


Abbildung 11: Texturmessung Vorversuch I Probe 4

Besonders in der Struktur unterscheiden sich beide Probe. Je mehr gleichstarke, bzw. leichtabnehmende Peaks zu verzeichnen sind, desto eher weist die Struktur Hohlräume auf, die für die Knusprigkeit verantwortlich sind. Wird ein Hohlraum von der Guillotine getroffen, sinkt die aufgebrauchte Kraft für einen kurzen Moment bis zur nächsten Schicht ab.

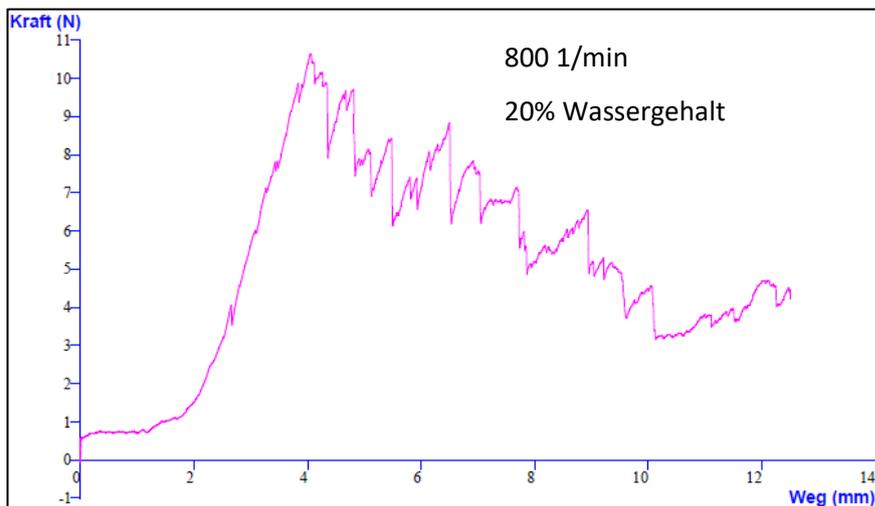


Abbildung 12: Texturmessung Vorversuch I Probe 16

4.4 Vorversuch II

4.4.1 Herstellung und Besonderheiten

In diesem Versuch wurde das erste Mal Sanddorntrester verwendet, wie er in Abschnitt 4.1 und 4.2 hergestellt wurde. Die Versuchsreihe wurde konstant mit 600 1/min und 20kg/h Feststoffdurchsatz durchgeführt. Neben den Wassergehalten von 15% bis 20% gab es für jede Rezeptur einen zusätzlichen Versuch mit einer geringeren Feuchte. 12,4% und 13,4% Wassergehalt sind für diese Versuche entstanden, weil eine Adaption ohne Berechnung während der Herstellung nicht zu realisieren war. Die logisch folgende Feuchte von 12,5% konnte nicht erzielt werden, da in der kurzen Zeit nur die Pumpenleistung verändert und erst im Nachhinein der Gesamtwassergehalt ermittelt wurde. Für Versuch 3* gibt es keine Werte, da erst zu einem späteren Zeitpunkt die Adaption erfolgte.

Allgemein kann man sagen, dass Abweichungen vom Herstellungsplan nur begrenzt möglich sind. Mit geringen Trestermengen sollten alle Eventualitäten durchdacht sein. Es gibt einen großen zeitlichen Druck, wenn verschiedene Rezepturen an einem Versuchstag ausprobiert werden, da es immer Mischphasen gibt und der Zeitraum der eigentlichen Probennahme, samt Dokumentation, mit mehr Versuchen kleiner wird.

Tabelle 8: Ergebnisse Vorversuch II

Versuch	Trester [%]	Zucker [%]	Feuchte [%]	EI	SME [kWh/kg]	Temp. [°C]	Druck [bar]	Drehm [%]
1	20	5	15,0	2,27	0,109	148	28	35
2	20	5	17,5	1,83	0,097	139	27	32
3	20	5	20,0	1,83	0,085	133	25	29
3*	20	5						
4	40	10	15,0	1,23	0,081	134	25	26
5	40	10	17,5	1,27	0,072	129	22	24
6	40	10	20,0	1,27	0,064	128	18	22
6*	40	10	12,4	1,20	0,093	142	29	29
7	20	0	15,0	2,80	0,113	154	30	36
8	20	0	17,5	2,17	0,097	148	26	32
9	20	0	20,0	1,87	0,083	142	25	28
9*	20	0	13,4	3,47	0,128	157	32	40
10	20	0	15,0	3,67	0,119	154	33	38
11	20	0	17,5	2,67	0,109	147	33	36
12	20	0	20,0	1,83	0,086	139	29	29
12*	20	0	13,4	3,17	0,121	158	31	38

Im Vergleich zum ersten Vorversuch sind die Extrudate deutlich kleiner. Das liegt am verwendeten Trester und Zucker.

In beiden ist keine Stärke enthalten, die das Wasser binden könnte.

Deswegen sinkt die Wasseraufnahmefähigkeit mit steigendem Anteil an Trester und Zucker, sodass die Extrudate weniger stark expandieren.

Innerhalb der Teilversuche sieht man einen deutlichen Unterschied zwischen der 40% und 20% Tresterrezeptur.

Den Zucker oder Sanddornrester nur einzeln zu bewerten, ist nicht sinnvoll, da bei der 40%-Variante doppelt so viel Zucker enthalten ist wie in der 20%-Variante. Versuch 4 hat mit einem EI von 1,23 einen Durchmesser von 3,69mm.

Im Grunde fand keine nennenswerte Expansion statt und ist als Snack, der im Vergleich zu extrudierten Erdnussflips steht, nicht geeignet.

Vom geschmacklichen Aspekt waren diese jedoch sehr intensiv. Hierfür wurde allerdings keine Sensorik durchgeführt.

Versuch 6* wurde mit einem noch geringeren Wassergehalt hergestellt. Normalerweise müsste der Expansionsindex ansteigen. Aufgrund des zu hohen Gehaltes an Trester gab es keine Größenveränderungen. Der EI ist sogar mit absinkendem Wassergehalt kleiner geworden. Diese Veränderungen sind allerdings nur minimal aufgetreten. Der Zucker hat ebenfalls mit 10% einen negativen Einfluss und muss mitberücksichtigt werden.

Die Proben 7 bis 12 expandierten am stärksten.

Der Unterschied zwischen den beiden Rezepturen ist die Form des Tresters gewesen. Hier sollte untersucht werden, ob es Abweichungen gibt.

In Abbildung 13 (die beiden Reihen rechts), ist ein interessantes Verhalten zwischen Feuchte und Partikelgröße des Tresters zu erkennen.



Abbildung 13: Extrudate Vorversuch II

Während die pulverförmige Variante (1mm), bei 15% Wassergehalt einen EI von 2,80 aufweist, ist die unverarbeitete Form (Trestervariante), mit einem EI von 3,67 deutlich stärker expandiert.

Mit sinkendem Wassergehalt ist allerdings die Pulvervariante größer expandiert, da eine Verkleinerung bei der 3mm Trestervariante entstand.

Dass die Trestervariante bei 15% stärker extrudiert ist, liegt wahrscheinlich an der Vermischung. Mit einer Partikelgröße von $\leq 3\text{mm}$ könnte der Mais während der Bearbeitung im Zylinder nicht beeinträchtigt worden sein und so sein gesamtes Quellvermögen behalten haben. Je kleiner die Partikelgröße des Tresters ist, desto eher vermischen sich beide Komponenten und die im Mais enthaltene Stärke könnte durch den Trester weniger reagiert haben. Diese Anomalie ist bei den Versuchen mit 17,5% Wassergehalt auch zu beobachten. Für alle weiteren Extruderversuche wurde deshalb Trester mit einer Partikelgröße 3mm verwendet.

Warum der EI der Trestervarianten mit sinkender Feuchte nun kleiner wird, ist bislang ungeklärt. Aus ökonomischer Sicht ist es dann natürlich sinnvoll solche Extrudate mit 15% Gesamtwassergehalt herzustellen, da mehr Masse hergestellt werden kann. Die durchschnittliche Größe von 9-10mm ist im Vergleich zu Produkten auf dem Markt dann vollkommen ausreichend.

4.4.2 Texturanalyse

Die Proben mit einem Trestergehalt von 40% weisen keine Knusprigkeit auf. Im Vergleich zu anderen Proben fehlt eine Härte komplett, da keine brüchige Struktur vorhanden ist. Die Textur ist zäh und ähnelt Gummizuckerwaren (siehe Abbildung 14).

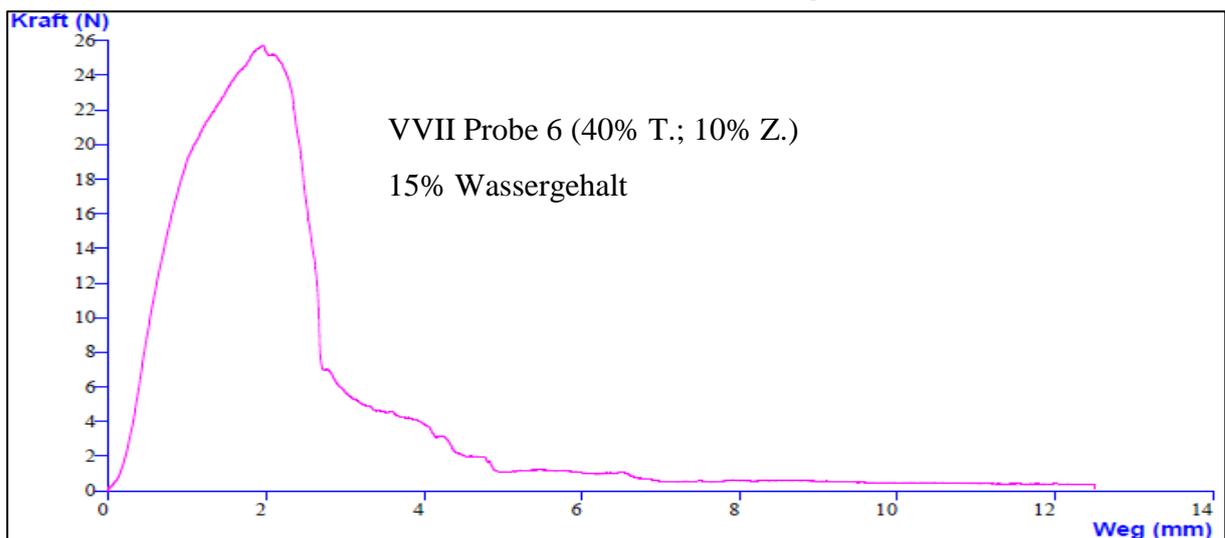
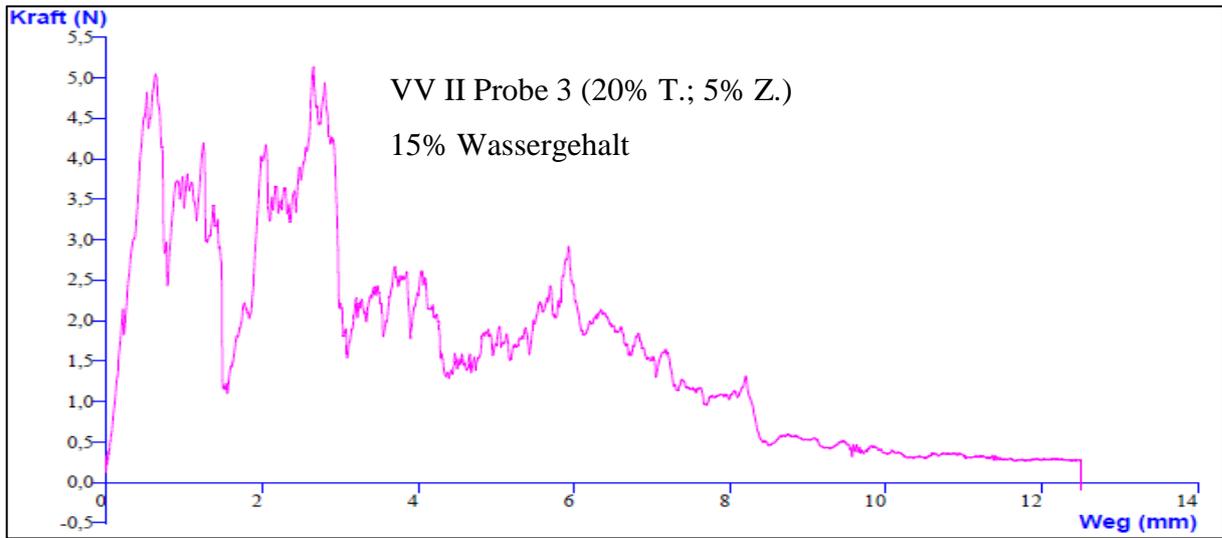


Abbildung 14: Texturmessung Vorversuch II Probe 6

Mit sinkendem Gesamtwassergehalt steigt die Härte bei Probe 6* mit einer Maximalkraft von 29N allmählich an. Grund hierfür ist, dass immer weniger freies Wasser im Produkt ist und die Wirkung der Stärke verhältnismäßig zunimmt.

Ebenfalls ist ein Unterschied zwischen Proben mit einer Zuckerdosierung zu erkennen. Die Probe 3 (siehe Abbildung 15) mit 5% Zucker weist eine höhere Festigkeit im Vergleich zur Probe 9 (siehe Abbildung 16) mit keiner Zuckerdosierung auf. Je höher die Zuckerkonzentration ansteigt, desto stärker wird der Unterschied in Festigkeit, bzw.



Maximalkraft zu erkennen sein.

Abbildung 15: Texturmessung Vorversuch II Probe 3

Die Differenzen in der Knusprigkeit sind allerdings zu vernachlässigen. Wie schon unter Punkt 4.4.1 beschrieben, entsteht eine lockere Struktur bei geringerer Wassermenge, wobei eine Zuckerdosierung von 5% noch keine signifikante Auswirkung zur Folge hat.

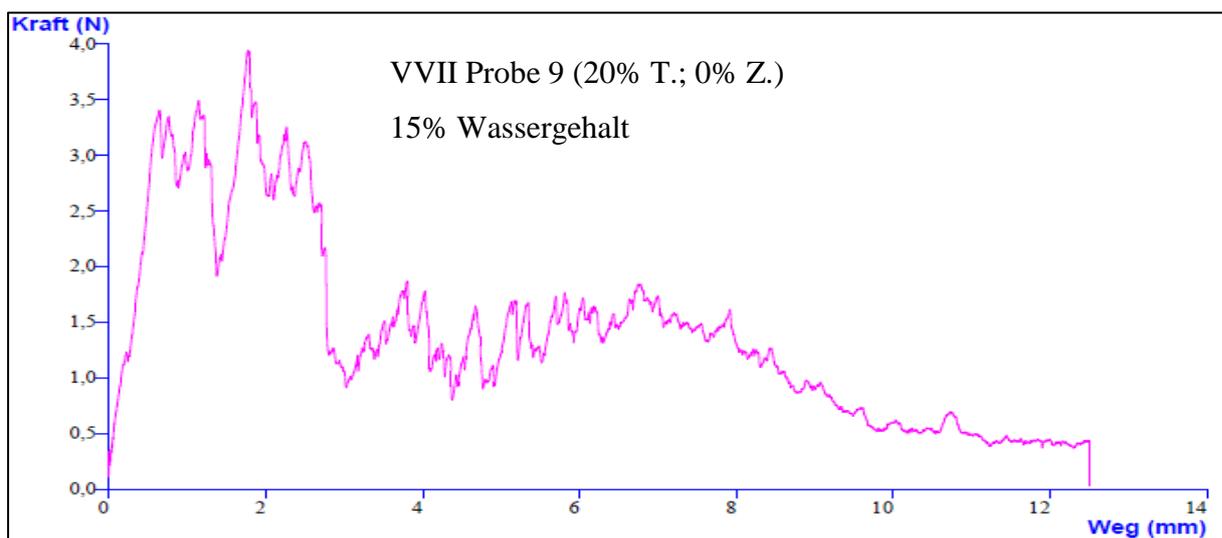


Abbildung 16: Texturmessung Vorversuch II Probe 9

4.4.3 Farbmessung

Für die Veränderungen der Farbe vom Prämix zum Extrudat hin gibt es mehrere Ursachen:

- Temperatur
- Wassergehalt
- Zuckeranteil.

Je höher die Temperatur ansteigt, desto höher ist der L-Wert. Durch die Hitzeeinwirkung werden Farbstoffe zerstört, das hat zur Folge, dass die Extrudate heller werden und der L-Wert ansteigt.

Tabelle 9 zeigt die Mittelwerte aller Extrudate auf. Ein Vergleich zum Prämix wurde zu diesem Zeitpunkt noch nicht vorgenommen. Erst im dritten Hauptversuch, unter Abschnitt 4.9.3, werden die Prämixe mit den Extrudaten in ihren Farbwerten verglichen.

Tabelle 9: Farbwerte Vorversuch II

Versuch	Trester [%]	Zucker [%]	Feuchte [%]	Temp. [°C]	L	a	b
1	20	5	15,0	148	55,37	18,81	52,93
2	20	5	17,5	139	56,31	18,36	52,60
3	20	5	20,0	133	55,68	17,61	49,25
3*	20	5					
4	40	10	15,0	134	48,79	20,36	48,84
5	40	10	17,5	129	49,23	20,50	50,52
6	40	10	20,0	128	50,69	20,47	52,76
6*	40	10	12,4	142	51,51	20,17	53,01
7	20	0	15,0	154	55,20	18,78	52,95
8	20	0	17,5	148	56,66	17,35	49,24
9	20	0	20,0	142	57,74	15,85	45,26
9*	20	0	13,4	157	55,81	16,15	42,34
10	20	0	15,0	154	54,99	18,02	48,94
11	20	0	17,5	147	59,40	15,75	49,64
12	20	0	20,0	139	61,27	14,15	44,38
12*	20	0	13,4	158	57,18	15,57	42,06

Durch Vorhandensein von Aminosäuren und reduzierten Zuckern sollte eine Intensivierung der a- und b-Werte erfolgt sein. Der Wassergehalt verändert die Maximaltemperatur, die einen direkten Einfluss auf den Abbau von Farbstoffen hervorruft.

Abbildung 17 zeigt die farblichen Unterschiede zwischen den ersten 3 Extrudaten auf.

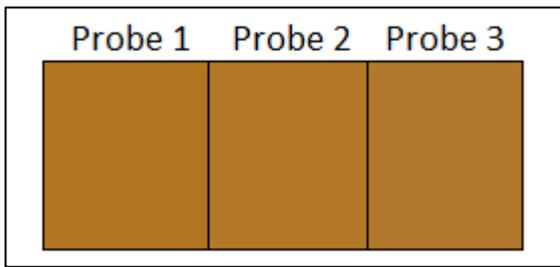


Abbildung 17: Farbunterschiede Vorversuch II Extrudate 1-3

Die Behauptung, dass bei steigender Temperatur die Extrudate heller werden, kann nicht eindeutig bestätigt werden. Probe 3 weist mit einer maximal verarbeiteten Temperatur von 133°C im Vergleich zu den anderen beiden nur geringe Unterschiede in den Farbwerten auf. Allgemein sind nur geringe Unterschiede durch den Herstellungsprozess aufgetreten. Grund hierfür ist die kurze Retentionszeit im Zylinder, wodurch die Hitzeeinwirkung und chemische Prozesse herabgesetzt sind.

Abbildung 18 zeigt die Versuche mit 40% Trester und 10% Zucker auf. Auch hier sind im Vergleich zu den vorangegangenen Proben keine signifikanten Unterschiede zu erkennen. Von links nach rechts im Bild steigt der Gesamtwassergehalt an. Im Gegenzug sinkt die Temperatur, die aber wie in den anderen Versuchen keine Auswirkung zeigt.

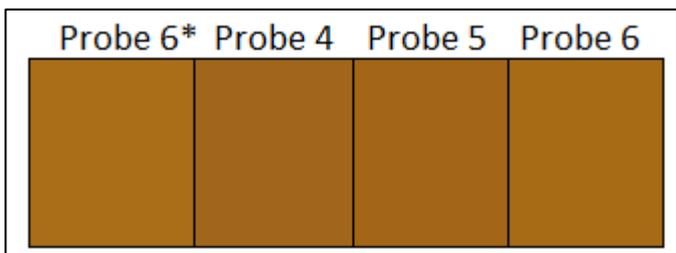


Abbildung 18: Farbunterschiede Vorversuch II Extrudate 4-6*

Die weiteren Proben zeigten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede auf, weswegen diese nicht mehr aufgeführt werden. Allgemein ist die Veränderung der Farbwerte nur sekundär zu betrachten, da im Gesamtbild der Geschmack und die Textur entscheidend sind und eine gezielte Veränderung auf bestimmte Werte nicht realisierbar sind.

4.5 Vorversuch III

4.5.1 Herstellung und Besonderheiten

Der dritte Vorversuch wurde unter Berücksichtigung einer folgenden sensorischen Untersuchung aufgestellt. Da ein Anteil von 40% Trester keine positiven Ergebnisse hervorbrachte, wird die 20% und eine neue 10% Variante untersucht. In Tabelle 9 sind die wichtigsten Ergebnisse aufgelistet.

Tabelle 10: Ergebnisse Vorversuch III

Versuch	Trester [%]	Zucker [%]	EI	SME [kWh/kg]	Temp. [°C]	Druck [bar]	Drehm. [%]
1	20	20	1,07	0,080	120	24	26
2	20	15	1,70	0,074	125	26	24
3	20	10	2,00	0,093	139	27	30
4	20	0	2,40	0,109	148	30	35
5	10	10	2,13	0,102	148	27	33
6	10	7,5	2,47	0,105	152	27	34
7	10	5	3,33	0,115	153	30	37
8	10	0	4,23	0,125	156	34	40

Für den Extruderversuch wurde wieder eine Drehzahl von 600 1/min, 20kg/h Feststoffdurchsatz und ein Wassergehalt von 15% eingestellt.

Die Versuche 4 und 8, sowie die 7 weisen die höchsten Expansionsindexe auf. Grund hierfür liegt in dem geringen oder nicht vorhandenen Zuckeranteil. Durch Verringerung des Zuckeranteils von 10% auf 5%, bei 10% Tresteranteil, ist der EI um 56% größer. Durch herabsetzen der Zuckermenge findet eine stärkere mechanische Bearbeitung statt, die auch mit der steigenden SME belegt werden kann.

Die Versuche mit 20% Trester weisen einen geringeren EI und SME auf. Druck und Drehmoment sind bei den einzelnen Versuchen nur minimal unterschiedlich (+/- 5bar).

Hier wird demonstriert, dass Inhaltsstoffe ab einem gewissen Anteil, die nicht aus Stärke bestehen, Prozessparameter wie Druck und Drehmoment, eine geringere Wirkung zuteilen. Nur über einen starken Anstieg der Drehzahl, des Stoffdurchsatzes und des Düsendurchmesser/-anzahl können messbare Produktänderungen vorgenommen werden.

Eine weitere Besonderheit ist durch den Vergleich der Probe 10 (Vorversuch II) und der Probe 4 aus dieser Versuchsreihe aufgekommen. Aus Tabelle 10 zu entnehmen, wurde bei der Probe 10 eine SME von 0,119 kWh/kg errechnet, währenddessen die Probe 4 nur eine SME von 0,109kWh/kg aufweist. Begründung liegt in der Verschleppung von Zucker aus vorangegangenen Versuchen.

Im Vorversuch II wurden Extrudate mit sinkendem Wassergehalt produziert, weswegen die Probe 10 am Ende einer Rezeptur hergestellt wurde und die Gefahr einer Vermischung ausgeschlossen ist.

Durch Untersuchung von 8 verschiedenen Rezepturen, die auf einer limitierten Menge an Trester basieren, ist die Wahrscheinlichkeit einer Vermischung deutlich höher. Unter sensorischer Sicht wird eine Abweichung des Zuckeranteils von 1 oder 2 % zu Beginn jedes Teilversuchs keinen großen Unterschied machen, aber auf die Extrusion und SME umso mehr. Deswegen ist die SME der Proben so unterschiedlich.

4.5.2 Sensorik

Für die Sensorik-Prüfung haben insgesamt 13 Probanden an der Untersuchung teilgenommen. Mit einer einfaktorielle Varianzanalyse sollen signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Proben aufgezeigt werden.

Berechnet wurde die Varianzanalyse separat für die Gesamtbeliebtheit, beliebt für den Geschmack und Beliebtheit für die Textur. Die Hypothese, dass alle Proben signifikante Unterschiede aufweisen, ($F > f$) wurde bestätigt. Die Prüfgröße (F) ist in jedem Szenario deutlich größer zum kritischen F-Wert und zeigt den Grad der Unterschiedlichkeit auf. Mittelwerte und Standardabweichungen sind der Datei „Sensorische Auswertung“ auf der Daten-CD zu entnehmen.

Tabelle 11: Einfaktorielle Anova Ergebnisse

Kriterium	Prüfgröße (F)	Kritischer F-Wert (f)
Gesamtbeliebtheit	5,646	2,3418
Bliebtheit Geschmack	7,473	
Bliebtheit Textur	7,298	

Die Bewertung der einzelnen Beliebtheiten und JAR-Fragen zu den Proben wird in den folgenden Tabellen und Abbildungen erläutert.

Die Probe 2 mit 20% Trester und 15% Zucker wurde aufgrund der weichen Textur für die sensorische Untersuchung bei 150°C für 2 Minuten geröstet.

Insgesamt schnitt diese Probe in der Gesamtbeliebtheit mit einer 5,85 am besten ab. Geschmacklich wurde das Extrudat mit 6,69 bewertet und erhielt ebenfalls die höchste Bewertung für den Geschmack.

Tabelle 12: Beliebtheiten-und JAR-Bewertung Probe 2 (20%T,|15%Z.)

Hedonische Skala 1...9		JAR-Bewertung		
Gesamtbeliebtheit 5,85	Beliebtheit Geschmack 6,69	Süße 2,85	Säure 3,62	20% Trester 15% Zucker
	Beliebtheit Textur 4,54	Härte 4,38	Knusprigkeit 4,08	

Ein Trester-Zucker-Verhältnis von 4:3 erscheint daher optimal. Aufgrund der negativen Einflüsse von zu großen Mengen an Trester und Zucker auf die Extrusion, fällt die Bewertung für die Textur schlechter aus. Mit einer 4,54 liegt diese Probe im Mittelfeld. Berücksichtigen sollte man die nachgegangene Röstung, da alle weiteren Extrudate ohne Nachbearbeitung verkostet wurden.

Die Penalty Analyse gibt Auskunft über die Frage, ob im Mittel zu viel oder zu wenig von einem Kriterium vorhanden ist und ein Optimum von 3 vorliegt.

So ist trotz einer 6,69 ein etwas zu saurer Geschmack zu verzeichnen. Im Gegenzug ist die Süße nicht ausreichend. Durch einfache Zugabe von Zucker oder Verringerung der Trestermenge kann dieses Problem gelöst werden. Wiederrum wird sich die Rezepturveränderung bei zusätzlichem Zucker negativ auf die Extrusion auswirken. Mit einer Bewertung der Härte von 4,38 und Knusprigkeit von 4,08 ist die Textur deutlich zu fest. Durch Drehzahlerhöhung könnte bis zu einem gewissen Maß eine Verbesserung hervorgerufen werden. Die Größe (Durchmesser) wurde mit einer 1,54 beurteilt und ist damit deutlich zu klein bewertet worden.

Eine genaue Verteilung der Bewertungen kann der Daten-CD entnommen werden.

Die Probe 3, mit 20% Trester und 10% Zucker, fiel insgesamt am schlechtesten aus (Tabelle 13).

Tabelle 13: Beliebtheiten-und JAR-Bewertung Probe 3 (20%T.|10%Z.)

Hedonische Skala 1...9		JAR-Bewertung		
Gesamtbeliebtheit 3,00	Beliebtheit Geschmack 3,62	Süße 1,85	Säure 4,08	20% Trester 10% Zucker
	Beliebtheit Textur 2,69	Härte 3,77	Knusprigkeit 3,62	

Mit einer Gesamtbeliebtheit von 3,00, einer 3,62 im Geschmack und einer 2,69 in der Textur sind in allen Kriterien starke Defizite vorhanden. Das Extrudat ist deutlich zu sauer, was mit dem fehlenden Zucker zu begründen ist. Trotz der besseren Bewertung für Härte und Knusprigkeit wird die Probe in der Gesamtheit der Textur schlechter als die Probe 20%T. und 15%Z. bewertet.

Obwohl für diese Untersuchung Unterschiede zwischen Textur, Geschmack und dem Gesamtbild aufgezeigt werden sollen, kann die subjektive Wahrnehmung nie ganz alleine auf ein Parameter bezogen werden. Unlogische Bewertungen sind daher zu berücksichtigen.

Wie die Probe 3 wurde auch die 4 ähnlich schlecht bewertet (Tabelle 14). Mit einer Gesamtbeliebtheit von 3,85 gehört diese mit zum unteren Drittel.

Tabelle 14: Beliebtheiten-und JAR-Bewertung Probe 4 (20%T.|0%Z.)

Hedonische Skala 1...9		JAR-Bewertung		
Gesamtbeliebtheit 3,85	Beliebtheit Geschmack 3,62	Süße 1,69	Säure 4,54	20% Trester 0% Zucker
	Beliebtheit Textur 5,38	Härte 1,85	Knusprigkeit 1,85	

Geschmacklich wurde diese Probe mit einem ähnlich sauren Geschmack bewertet. Der Unterschied in der Gesamtbeliebtheit liegt jedoch in der Textur. Aufgrund des Durchmessers von 11,0mm wird die Größe annähernd optimal empfunden. So schneidet trotz der zu geringeren Härte und Knusprigkeit die Probe 4 besser ab, ist jedoch für zukünftige Versuche keine Option, da der Geschmack deutlich in extreme Bereiche abdriftet.

Die Probe 5, mit einem Trester-Zucker-Verhältnis von 1:1, ist die in der Gesamtheit am zweitbesten bewertete Probe (Tabelle 15).

Tabelle 15: Beliebtheiten-und JAR-Bewertung Probe 5 (10%T.|10%Z.)

Hedonische Skala 1...9		JAR-Bewertung		
Gesamtbeliebtheit 5,77	Beliebtheit Geschmack 5,85	Süße 3,15	Säure 2,77	10% Trester 10% Zucker
	Beliebtheit Textur 4,77	Härte 3,85	Knusprigkeit 3,38	

Mit einer Gesamtbeliebtheit von 5,77, einer 5,85 im Geschmack und einer 4,77 in der Textur ist diese Probe das Gegenteil zur 2 im Geschmack. Die Probanden empfanden einen geringfügig zu süßen Geschmack.

Durch Zugabe von Trester oder Verringerung von Zucker kann die Bewertung wieder optimiert werden. Somit wird deutlich, dass ein Verhältnis zwischen 1:1 und 4:3 von Trester zu Zucker ein Optimum darstellen wird.

Die Bewertung der Textur ist im Mittelfeld anzusiedeln. Mit einer Beurteilung von 2,00 fällt der Durchmesser (6,4mm) zu klein aus. Die Tendenz geht ebenfalls zu einer Größe von 8,5 bis 9,5mm hin.

Die Probe 6, mit einem T.-Z.-Verhältnis von 4:3 weist einen optimalen sauren Geschmack auf.

Mit einer Süße von 2,85 fehlen wenige Prozente an Zucker, was wiederum eine Tendenz für das angesprochene Verhältnis ist. Einfluss auf die geringe Süße können die Mengen an Trester und Zucker an sich haben, dass eine Zugabe von 10% Trester und 7,5% ein Minimum darstellen und unter Berücksichtigung der Extrusionsparameter eine Erhöhung vorgenommen werden kann.

Tabelle 16: Beliebtheiten-und JAR-Bewertung Probe 6 (10%T.|7,5%Z.)

Hedonische Skala 1...9		JAR-Bewertung		
Gesamtbeliebtheit 5,54	Beliebtheit Geschmack 5,69	Süße 2,85	Säure 3,00	10% Trester 7,5% Zucker
	Beliebtheit Textur 6,31	Härte 2,85	Knusprigkeit 3,00	

Grund hierfür ist der Eigengeschmack vom Mais, der mit steigendem Anteil intensiver wird. Die Beliebtheit der Textur mit 6,31 wurde nur am zweitbesten bewertet, da der Durchmesser mit 7,4mm noch nicht optimal ist. Geschmack und Gesamtb Liebtheit sind wieder im mittleren Bereich einzuordnen.

Der Tabelle 17 zu entnehmen, hat die Probe 7 mit 10%T. und 5%Z. die beste Texturbewertung mit 6,77 erhalten. Mit einer Bewertung von 3,08 in der Größe zeigt ein Durchmesser von 10,0mm eine beinahe optimale Expansion auf.

Tabelle 17: Beliebtheiten-und JAR-Bewertung Probe 7 (10%T.5%Z.)

Hedonische Skala 1...9		JAR-Bewertung		
Gesamtb Liebtheit 5,54	Beliebtheit Geschmack 5,38	Süße 2,23	Säure 2,69	10% Trester 0% Zucker
	Beliebtheit Textur 6,77	Härte 2,46	Knusprigkeit 2,46	

Härte und Knusprigkeit könnten nach Bewertung der Probanden wiederum etwas härter sein. In Hinsicht auf den Geschmack könnte wie bereits erwähnt eine höhere Trester-und Zuckerzugabe erfolgen, wodurch die Größe sich minimal verringern und im Optimum liegen würde.

Selbst ohne Zuckeranteil ist die Bewertung der Säure noch zu gering, was wieder eine Begründung dafür ist, dass ein Tresteranteil von 10% nicht ausreicht, um einen intensiven Geschmack ins Produkt zu bringen. Ein Verhältnis von 1:0 ist daher nicht sinnvoll und wird nicht weiter verfolgt.

Da eindeutig Hinweise auf das Verhältnis von Trester zu Zucker, Durchmesser, sowie Textur entstanden sind, kann die sensorische Beurteilung der Extrudate insgesamt als erfolgreich angesehen werden. Tresteranteile von 10% zeigten auf, dass dies die unterste Grenze darstellen und weitere Verringerungen sich nur negativ auf die Gesamtb Liebtheit auswirken würden. Hingegen 20% Sanddornanteile für einen intensiven Geschmack sorgen werden aber die Expansion und Textur negativ beeinflussen. Für den Geschmack muss die Sanddornsorte immer berücksichtigt werden und durch chemische Analysen definiert werden.

Mit einer Gesamtb Liebtheit von maximal 5,85 der Probe 2 ist die Beurteilung jedoch nur mäßig ausgefallen.

Da diese Untersuchung der Orientierung galt, sind besonders die separaten Bewertungen der Textur und Geschmack mit JAR-Fragen aufschlussreich.

Schlussfolgernd werden für die kommenden Hauptversuche die folgenden zwei Rezepturen untersucht.

- Rezeptur I - 17,5% Trester
- 15,0% Zucker
- 67,5% Mais
- Rezeptur II - 12,5% Trester
- 10,0% Zucker
- 77,5% Mais

4.5.3 Texturanalyse

Basierend auf den sensorischen Ergebnissen, erzielte Probe 6 mit 10% Trester und 0% Zucker die beste Beliebtheit in der Textur (siehe Tabelle 17, Seite 48). Abbildung 19 zeigt den Verlauf der aufgebrauchten Kraft über den Weg auf.

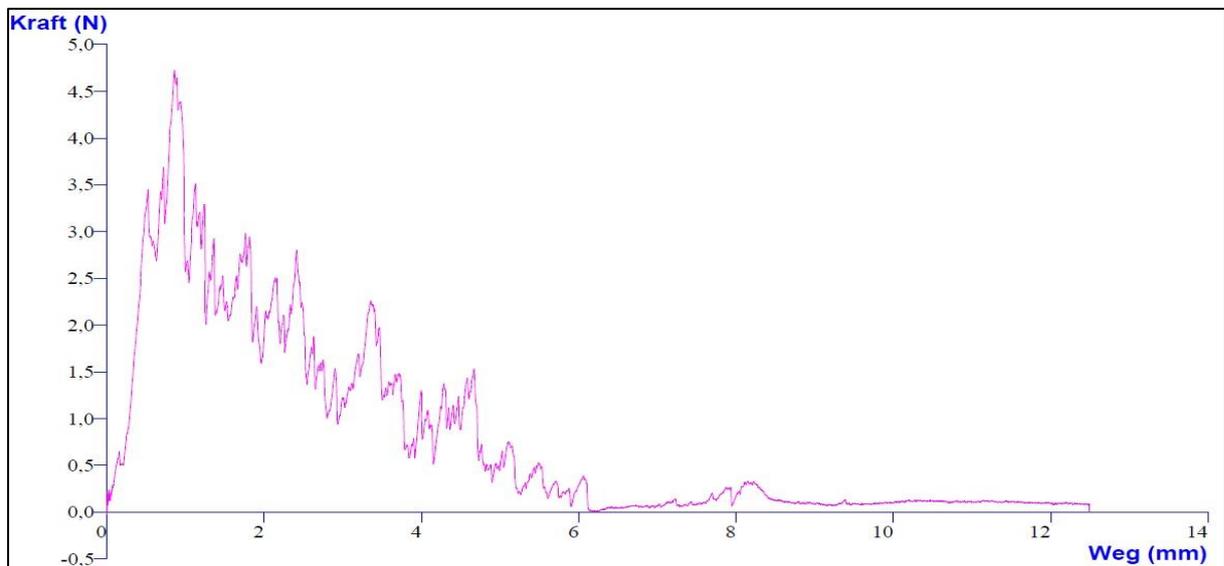


Abbildung 19: Texturmessung Vorversuch III Probe 6

Mit einer maximalen Kraft von 4,7 N ist eine konstante Abnahme der Kraft über einen Weg von 6mm zu beobachten.

Dieser Peakverlauf stellt für die Probanden die beliebteste Struktur dar und kann für weitere Versuchsreihen als Optimum angesehen werden.

Sofern die Rezeptur geschmacklich abgestimmt ist und die Extrusion optimiert wird, kann im Zusammenhang mit der Textur ein für den Markt realistisches Produkt entwickelt werden.

4.5.4 Zitronensäure- und Zuckerbestimmung

Um die Möglichkeit zu bieten, die Rezeptur von verwendeten Materialien auf neue Rohstoffe zu adaptieren, ist eine chemische Analyse des Zitronensäuregehaltes und der Zuckerzusammensetzung notwendig. Aus diesen Ergebnissen können Schlüsse über Konzentrationen zur Intensität des Geschmacks gezogen werden.

Untersucht wurden:

- Sanddorntrester (Satower Mosterei)
- Sanddorntrester und Saft (Sanddorn GbR)
- Sanddornmark (Bayernwald Fruchtverwertung KG)

Der verwendete Maisgrieß enthält keine Mono- und Disaccharide sowie Zitronensäure und wurde daher nicht untersucht.

Angegeben ist die Konzentrationen in g/100g Originalsubstanz. Ein Masse/Masse Verhältnis wurde wegen der einfacheren Umsetzung für die Herstellung gewählt.

Im selbstgetrockneten Trester aus Satow liegt eine Konzentration von 24,34g Zitronensäure/100g Originalsubstanz vor. Für die Rezeptur I bedeutet, das in 1kg Prämix mit 17,5% Trester, 42,60g Zitronensäure enthalten sind.

Der Zuckergehalt wird als interpretierbare Größe für die Süßkraft angegeben. Über die verschiedenen Multiplikatoren ergibt sich für den Trester eine Süßkraft von 3,72/100g OS (siehe Tabelle 18).

Tabelle 18: Zuckerzusammensetzung Sanddorntrester (Satower Mosterei)

Saccharide	Gehalt[g/100g]	Multiplikator	Süßkraft
Saccharose	0,245	1	0,25
Glucose	3,9	0,7	2,73
Fructose	0,59	1,25	0,74
			3,72

Mit 17,5% Trester pro Kilogramm Prämix ergibt das eine Süßkraft von 6,51.

Die 15% Zucker, die zu 100% aus Saccharose bestehen, werden mit dem Multiplikator 1 zum Trester addiert. Dadurch ergibt sich eine Gesamtsüßkraft von 156,51 pro Kilogramm Prämix. Mit diesen Konzentrationen von 42,6g Zitronensäure und einer Süßkraft von 156,51 wird ein standardisiertes Verhältnis erstellt.

Der Sanddornsaft und Trester der Firma Sanddorn GbR wurde im zweiten Hauptversuch verwendet. Die Süßkraft des Tresters ist der Tabelle 19 zu entnehmen und bezieht sich auf 100g OS.

Tabelle 19: Zuckerzusammensetzung Sanddornrester „Leikora“ (Sanddorn GbR)

Saccharide	Gehalt[g/100g]	Multiplikator	Süßkraft
Saccharose	0,00	1	0,00
Glucose	0,22	0,7	0,15
Fructose	0,12	1,25	0,15
			0,3

Der Säuregehalt liegt im Vergleich zu dem selbstgetrockneten Trester bei 12,76g/100g OS. Auf die Rezepturen bezogen, müsste eine deutlich höhere Menge an Trester zugegeben werden, damit der säuerliche Geschmack in einer ähnlichen Intensität vorliegt.

Damit die Rezeptur nicht stark verändert werden muss, wird Sanddornsaft anstelle des Wassers zu dosiert. Dieser hat eine Zitronensäurekonzentration von 41,89g /100g OS und ist im Geschmack sehr sauer. Die Dichte des Saftes liegt bei 1,005g/cm³ und wird daher vernachlässigt. Die Zuckerzusammensetzung ähnelt dem Tresters sehr (siehe Tabelle 20).

Tabelle 20: Zuckerzusammensetzung Sanddornsaft (Sanddorn GbR)

Saccharide	Gehalt[g/100g]	Multiplikator	Süßkraft
Saccharose	0,00	1	0,00
Glucose	0,17	0,7	0,12
Fructose	0,06	1,25	0,08
			0,20

Für den letzten Hauptversuch wurde an Stelle des Sanddornsaftes Sanddornmark in Kombination mit dem Trester der Sanddorn GbR verwendet. Für diesen wurden in Tabelle 21 folgende Zuckerwerte gemessen.

Tabelle 21: Zuckerzusammensetzung Sanddornmark (Bayernwald Fruchteverwertung KG)

Saccharide	Gehalt[g/100g]	Multiplikator	Süßkraft
Saccharose	0,00	1	0,00
Glucose	0,35	0,7	0,25
Fructose	0,17	1,25	0,21
			0,46

Mit einer Zitronensäurekonzentration von 7,42g/100g OS ist der Wert deutlich geringer im Vergleich zum Sanddornsaft. Grund hierfür kann der Sortenunterschied sein.

Für die Anwendung auf den Hauptversuch III ist im Anhang auf Seite 83 und 84 eine Berechnung dargestellt.

4.6 Hauptversuch I

Der erste Hauptversuch, mit optimaler Rezeptur nach Geschmack, wurde mit 12 Versuchen durchgeführt. Ursprünglich sollten insgesamt 14 Proben hergestellt werden. 7 mit einer Gesamtfeuchte von 15% und einem Drehzahlbereich von 600 bis 1800 1/min (200er Intervalle) und die anderen 7 Versuche mit 12,5% Gesamtwassergehalt. Zudem sollte für die gesamte Versuchsreihe ein Feststoffdurchsatz von 20kg/h eingestellt werden.

Zum Anfang der Herstellung kristallisierte sich die Tendenz einer EI-Verringerung mit steigender Drehzahl ab, weswegen ab einer Drehzahl von 1200 1/min die Intervalle größer wurden und die 1400 1/min Variante ausgelassen wurde. Neben der Drehzahl wurde für einige Versuche die Pumpenleistung ebenfalls stark reduziert und ein höherer Feststoffdurchsatz eingestellt.

In Tabelle 22 sind die Ergebnisse dargestellt. Mit einem maximalen Expansionsindex von 1,57, was einem Durchmesser von 4,71mm entspricht, ist die Probe 12 am stärksten extrudiert, gefolgt von der 5 und 11 mit einem EI von 1,53. Deutlich wird in dieser Versuchsreihe die Abhängigkeit des Wassergehaltes und des Durchsatzes zum Zuckergehalt. Zucker in ungelöster Form wird zum Großteil bei 150°C im Zylinder schmelzen und das frei verfügbare Wasser nicht aufnehmen. Durch die starke negative Auswirkung der Karamellisation hat auch ein geringer Wassergehalt keinen großen Einfluss auf den EI mehr. Nur durch die Druckerhöhung mit dem Feststoffdurchsatz kann der EI bedingt verbessert werden. Es tritt eine intensivere mechanische Beanspruchung auf. Die spezifische mechanische Energie (SME) steigt dabei deutlich an.

Tabelle 22: Ergebnisse Hauptversuch I

Versuch	Drehzahl [1/min]	Feuchte [%]	Durchsatz [kg/h]	EI	SME [kWh/kg]	Temp. [°C]	Druck [bar]	Drehm. [%]
1	600	15,0	20	1,33	0,092	137	23	30
10	600	11,0	20	1,3	0,103	155	23	32
11	600	9,0	20	1,53	0,119	160	25	36
12	600	15,0	30	1,57	0,074	148	37	35
2	800	15,0	20	1,37	0,119	144	19	29
3	1000	15,0	20	1,17	0,144	150	15	28
8	1000	15,0	30	1,2	0,105	154	24	32
9	1000	9,0	30	1,3	0,103	157	26	32
4	1200	15,0	20	1,30	0,160	153	13	26
5	1200	15,0	30	1,53	0,135	155	26	33
6	1200	15,0	40	1,33	0,092	154	19	30
7	1600	15,0	20	1,1	0,222	163	16	27

Geschmacklich waren die Extrudate alle sehr gut. Nur der geringe EI ist aufgrund des zu hohen Zuckeranteils schwierig zu verbessern. Eine verbesserte Expansion kann daher nur mit einem geringeren Zuckeranteil erreicht werden.

Für die weiteren Versuche wird deshalb die Rezeptur II aus Punkt 4.5.2 S. 43 verwendet.

4.7 Aufkonzentration

Nachdem der erste Hauptversuch durchgeführt und ausgewertet wurde, musste aufgrund der benannten Umstände ein neuer und von den Inhaltsstoffen unterschiedlicher Trester mit Sanddornsaft verwendet werden.

Durch Messung der Zitronensäure-Konzentration und Zuckerzusammensetzung wurde eine Berechnung durchgeführt, die einen zu hohen Wassergehalt bei korrekter Dosierung verursacht hätte.

Durch eine TM von 7,5% war es notwendig, den Sanddornsaft vorher einzudampfen. Mittels eines Thermomixers der Firma A. Stephan u. Söhne GmbH konnte bei 65°C und 0,7 negativer Überdruck in 3 Stunden und 10 Minuten die Trockenmasse von 7,50% auf 21,04% gebracht werden. Eine Rezepturbilanzierung ergab dann einen Gesamtwassergehalt von 14,95%, wobei das Verhältnis aus Zitronensäure zu Süßkraft gewahrt werden konnte. Mit der Erhöhung der TM steigen der Gehalt an Zitronensäure und Zucker an, wodurch eine korrekte Überführung gewährleistet werden konnte.

Die Aufkonzentrierung war zeitintensiv, da der Anstieg der Trockenmasse annähernd exponentiell verlief und erst in der letzten Stunde deutliche Veränderungen beobachtet wurden. Auf Basis des zweiten Hauptversuches ist dieses Verfahren allerdings nicht geeignet, da mit dem Brüden ebenfalls viele Aromen verloren gingen. Eine mögliche Aufkonzentrierung mittels Gefriertrocknung wäre hier schonender. Der Nachteil der Gefriertrocknung ist die komplizierte und aufwändige Untersuchung eines geeigneten Programms. Für die Verwendung von Sanddornsaft in der Industrie sollte das Produkt so angepasst werden, dass andere Rezepturbestandteile und Prozessparameter diese negative Wirkung ausgleichen können und weitere Bearbeitungsschritte nicht mehr notwendig sind.

4.8 Hauptversuch II

Der zweite Hauptversuch wurde nach den geringen Expansionsergebnissen des ersten Hauptversuchs nur noch mit 12,5% und 10% Zucker und einer offenen Düse (3mm) gefahren. Da das Säure-Süße-Verhältnis gewahrt werden muss, wurde wie unter Abschnitt 4.7 beschrieben der Sanddornsaft eingedampft, um die Gesamtfeuchte 15,0% zu erhalten.

Alle 8 Extrudate wurden ohne Veränderung hergestellt. Trotz des deutlich geringeren Anteils an Zucker stieg im Vergleich zum ersten Hauptversuch der EI, bei 600 1/min und 20kg/h, von 1,33 nur auf 1,90 an (siehe Tabelle 23).

Tabelle 23: Ergebnisse Hauptversuch II

Versuch	Drehzahl [1/min]	Feuchte [%]	Durchsatz [kg/h]	EI	SME [kWh/kg]	Temp. [°C]	Druck [bar]	Drehm. [%]
1	600	15,0	20	1,90	0,102	142	38	34
2	800	15,0	20	2,17	0,132	150	29	33
3	1000	15,0	20	2,10	0,160	156	24	32
4	1200	15,0	20	2,03	0,180	160	20	30
5	600	15,0	30	1,73	0,078	146	48	39
6	800	15,0	30	1,93	0,099	151	39	37
7	1000	15,0	30	2,07	0,117	157	31	35
8	1200	15,0	30	2,03	0,128	161	26	32

Eine Verringerung der Gesamtfeuchte wurde nicht mehr in Betracht gezogen, da in den Ergebnissen von Hirth (2015) ein Gesamtwassergehalt von 15 bis 22% optimal ist, um die Verluste an thermoinstabilen Substanzen so gering wie möglich zu halten. Bei konstantem Durchsatz und Gesamtwassergehalt kann man bei ansteigender Drehzahl wieder einen Anstieg der SME beobachten. Der Gehalt an Zucker ist mit 10% nun wieder so gering, dass wieder Veränderungen stattfinden können. Mit ansteigender Drehzahl vergrößert sich ebenfalls der EI. Beobachtet werden konnte, dass zwischen den Drehzahlen 700 bis 1000 1/min ein Wendepunkt vorhanden ist. Ab 1000 1/min sinkt der EI wieder im Vergleich zu der 800 1/min Variante.

Die Versuche 5 bis 8 wurden mit einem Feststoffdurchsatz von 30kg/h gefahren. Deutlich zu erkennen ist eine Verringerung der SME. Mit steigendem Durchsatz verringert sich die Retentionszeit des Materials, wodurch die Wärmeaufnahme geringer ist. Der Druck ist bei nur einer geöffneten Düse (3mm) mit höherem Durchsatz deutlich größer. Untersucht werden sollte der Bereich zwischen 700 und 900 1/min, da innerhalb dieser Werte das Optimum liegen sollte.

Geschmacklich sind die Extrudate allerdings inakzeptabel, da ein bitterer, leicht verbrannter Geschmack dominiert.

Mit der Aufkonzentrierung sollte auch ein Großteil der Aromen verloren gegangen sein, weswegen für den Hauptversuch III nicht weiter bearbeitetes Sanddornmark zu dosiert werden soll.

4.9 Hauptversuch III

4.9.1 Herstellung und Besonderheiten

Der letzte Versuch sollte das Potenzial von Sanddornmark und die optimale Drehzahl bei 20kg/h Feststoffdurchsatz und einem Düsenausgang (3mm) aufzeigen.

Deutlich wird, dass die Versuche 1-3 mit einer Zuckerreduzierung von 10% auf 8% im gesamten Drehzahlband ähnlich stark expandierten. Der Expansionsindex steigt im Vergleich zum Versuch 2 des zweiten Hauptversuchs bei einer Drehzahl von 800 1/min von 2,17 auf 2,33 (7%) an (siehe Tabelle 24).

Tabelle 24: Ergebnisse Hauptversuch III

Versuch	Drehzahl [1/min]	Feuchte [%]	Durchsatz [kg/h]	EI	SME [kWh/kg]	Temp. [°C]	Druck [bar]	Drehm. [%]
1	700	15,0	20	2,33	0,123	148	35	35
2	800	15,0	20	2,33	0,133	152	32	33
3	900	15,0	20	2,37	0,145	155	29	32
4	700	15,0	20	1,97	0,109	151	31	31
5	800	15,0	20	2,10	0,125	154	29	31
6	900	15,0	20	2,27	0,140	157	27	31
7	700	15,0	20	1,93	0,109	152	33	31
8	800	15,0	20	2,07	0,121	154	28	30
9	900	15,0	20	2,20	0,136	157	27	30

Auch der Vergleich innerhalb der Versuchsreihe zeigt ähnliche Ergebnisse auf. So liegt der die Expansionsdifferenz zwischen Versuch 1 und 4 bei 15,5%. Bei 800 1/min (2 & 4) sinkt diese Differenz auf 10,0% und bei 900 1/min (3 & 6) um nur 4,2% ab. Das bedeutet, dass bei geringerem Zuckergehalt das Expansionsmaximum durch Drehzahlerhöhung schneller erreicht wird, als bei einer höheren Zuckerkonzentration. Die Absenkung des Zuckergehaltes um 2% in diesem niedrigen Bereich kann im Durchschnitt 10% mehr Expansion bei 700 1/min bis 900 1/min hervorrufen.

Die SME verändert sich bei dieser geringen Zuckerreduzierung nicht. Nur über die Schneckendrehzahl lässt sich die SME und damit die Temperatur in diesem Szenario verändern.

Die Versuche 4 bis 6 wurden mit normal verarbeitetem Trester, mit einer Partikelgröße von ≤ 3 mm, hergestellt. Diese weisen bei jeder Drehzahl einen höheren EI auf, als die Versuche 7-9, mit Tresterpulver (1mm). Im Vergleich zum zweiten Vorversuch ist dieser Effekt durch den hohen Zuckeranteil abgeschwächt. Mit Reduzierung des Zuckers sollte eine deutliche Differenzierung auftreten.

Damit bestätigt sich die Annahme, dass bei einem Gesamtwassergehalt von 15% eine größere Partikelstruktur eine stärkere Expansion hervorruft.

Geschmacklich waren die Extrudate trotz des standardisierten Säure/Süße-Verhältnisses in Versuch 1-3 nicht sonderlich intensiv. Die weiteren Proben weisen einen ähnlichen Geschmack auf, sind aber im Vergleich zu Extrudaten aus dem ersten Hauptversuch geschmacklich nüchterner.

Neben der geplanten Hauptversuchsreihe III wurde die (in Abschnitt 3.4.2, Seite 17) erwähnte Rezeptur mit gefriergetrocknetem Sanddornmarkpulver hergestellt (Büssow, 2018). Die Extrudate weisen mit einem Durchmesser von 9mm eine bessere Expansion auf. Der Geschmack war im Vergleich zu den Extrudaten mit Trester deutlich intensiver und erhielt dabei das typische Sanddornaroma.

Wenn der Fokus nicht auf die effiziente Verwertung von Nebenprodukten bei der Sanddornverarbeitung liegt, ist dieses Material eine der besten Lösungen in Hinsicht auf die Optimierung des Geschmacks.

4.9.2 Texturanalyse

Basierend auf den Ergebnissen der Texturanalyse der bestbewerteten Probe (Abbildung 19, Seite 43) weist aus dem letzten Hauptversuch die Probe 9 bei 900 1/min den ähnlichsten Verlauf auf.

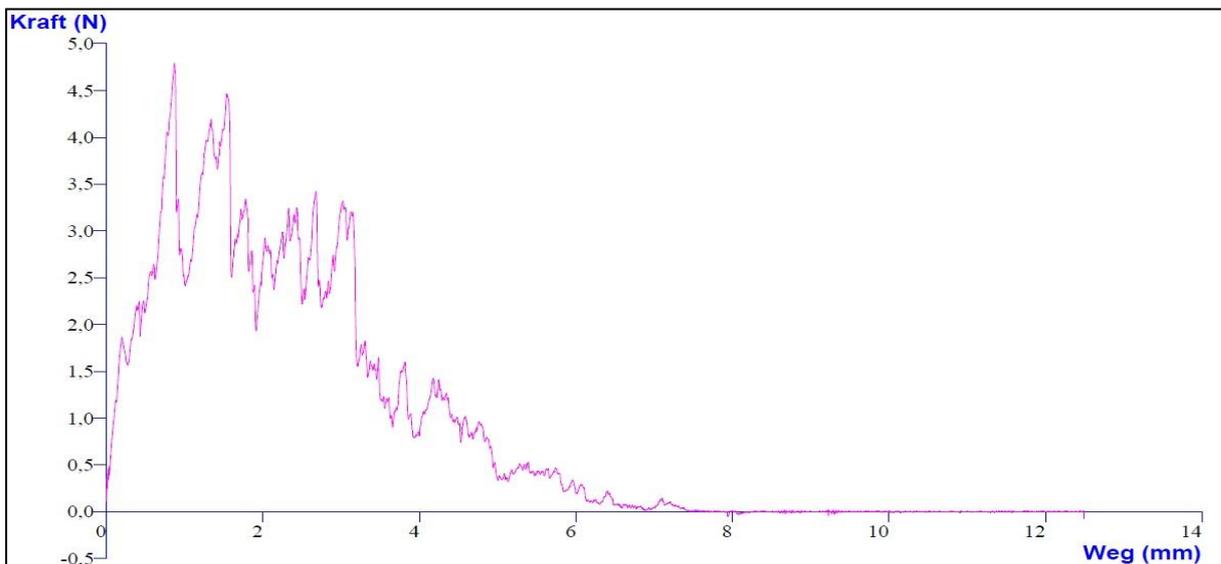


Abbildung 20: Texturmessung Hauptversuch III Probe 9

Obwohl die Probe 6 des dritten Vorversuches mit 10% Trester, 7,5% Zucker und einer Drehzahl von 600 1/min extrudiert wurde, konnte aus dieser Versuchsreihe die Textur mit einer erhöhten Drehzahl reproduziert werden.

Für die Erhöhung der Drehzahl war der Zuckeranteil von 10% verantwortlich.

Für zukünftige Rezepturen müssen Probechargen hergestellt werden, die auf ihre Textur untersucht werden, um eine sinnvolle Adaption mit der Drehzahl, mit den DüsenEinstellungen sowie dem Feststoffdurchsatz zu ermöglichen. Ebenfalls kann der Gesamtwassergehalt in geringen Prozentschritten verändert werden, um die Expansion zu verbessern.

4.9.3 Farbmessung

Ähnlich wie die Ergebnisse aus Abschnitt 4.4.3, Seite 35 wurden die Farbwerte der Extrudate miteinander verglichen. Zusätzlich wurden Ausgangsfarbwerte der Prämixe aufgenommen. Da diese aufgrund der Rezepturdifferenzen und Verarbeitungsformen nicht identisch sind, müssen diese einzeln in den Versuchsteilen beurteilt werden.

Für jede Rezeptur wurden Farbwerte der Extrudate mit 700, 800 und 900 1/min aufgenommen. Zur Auswertung wurde wie bereits erwähnt die Konvertierung der L*a*b-Werte ins R*G*B-System vorgenommen.

Bei Temperaturen zwischen 148...157°C wird deutlich, dass der vorhandene Zucker eine Maillardreaktion hervorruft und daher die L-Werte der Extrudate aus Tabelle 24 deutlich dunkler erscheinen.

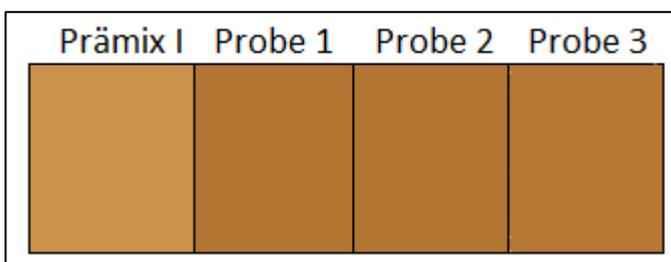


Abbildung 21: Farbunterschiede Hauptversuch III Prämix I und Probe 1-3

Das mit einer ansteigenden Temperatur eine Aufhellung stattfindet, kann nicht bestätigt werden, da der Einfluss von Trester und Zucker zu groß ist (siehe Abbildung 21). Durch die bereits erwähnten chemischen Prozesse findet eher eine Trübung statt.

Tabelle 25: Farbwerte Hauptversuch III Prämix I und Probe 1-3

Material/Probe	L	a	b
Prämix I	64,74	+17,73	+45,92
1	55,36	+20,48	+46,08
2	54,97	+20,86	+45,87
3	55,51	+20,84	+46,04

Der zweite Prämix weist im Vergleich zum Prämix I einen deutlich höheren L-Wert auf. Grund hierfür ist die Beschaffenheit des Tresters. Im Prämix II wurde Sanddornrester mit einer Partikelgröße von $\leq 3\text{mm}$ verwendet. Dadurch findet keine homogene Vermischung mit dem Maisgrieß statt. Resultat ist bei der Farbmessung eine hellere Farbgebung.

Der geringere Zuckeranteil von 2% im Prämix I hat dabei keine Auswirkung.

Insgesamt verursacht die Partikelgröße des Tresters eine Differenz von 2,8 im L-Wert und 2,6 im a-Wert. Der Gelbanteil (b-Wert) zeigt keine großen Unterschiede auf.

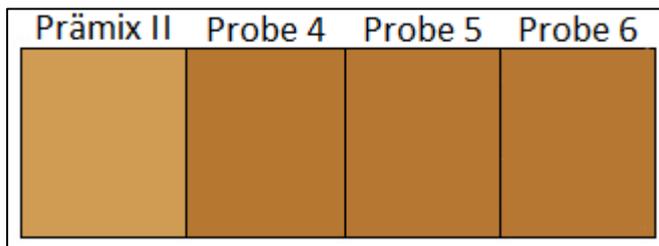


Abbildung 22: Farbunterschiede Hauptversuch III Prämix II und Probe 4-6

Die Extrudate zeigen zu den ersten 3 Proben ebenfalls keine großen Veränderungen auf. Hierbei spielen geringe Veränderungen in der Ausgangsfarbgebung eine untergeordnete Rolle. Der Zucker im Produkt negiert diese Differenz.

Tabelle 26: Farbwerte Farbunterschiede Hauptversuch III Prämix II und Probe 4-6

Material/Probe	L	a	b
Prämix II	67,55	+15,15	+44,60
4	56,20	+21,13	+48,05
5	55,77	+20,96	+46,55
6	57,94	+19,81	+46,21

Ähnlich wie in den ersten beiden Versuchsteilen, wurden auch bei den Extrudaten 7 bis 9 keine signifikanten Unterschiede gemessen.

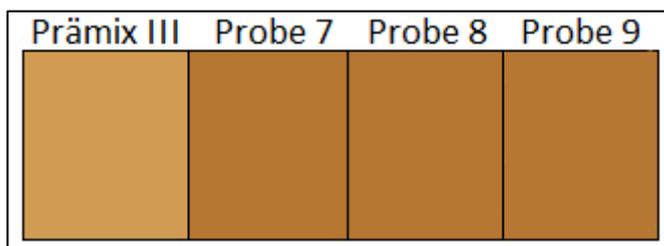


Abbildung 23: Farbunterschiede Hauptversuch III Prämix III und Probe 7-9

Lediglich der Prämix III weist einen noch höheren Wert auf als Prämix II.

Da das gleiche Tresterpulver wie im Prämix I verwendet wurde, kann der Grund für diesen Unterschied nur in einer fehlerhaften Messung oder inhomogenen Vermischung liegen. Die zusätzlichen 2% Zucker in diesem Prämix können die in Tabelle 27 dargestellten Werte nicht verursacht haben.

Tabelle 27: Farbwerte Hauptversuch III Prämix III und Probe 7-9

Material/Probe	L	a	b
Prämix III	68,62	+14,90	+45,33
7	56,45	+21,13	+47,93
8	56,06	+20,75	+46,59
9	56,63	+20,70	+46,04

4.9.4 Chemische Analytik

Der Vitamin C-Gehalt wurde in alle Sanddornmaterialien ermittelt. Zusätzlich wurden Extrudate des dritten Hauptversuches analysiert, um eine Verlustrechnung aufzustellen. Die Konzentrationen sind in mg pro 100g Originalsubstanz angegeben und können aus der folgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 28: Vitamin C-Konzentration Hauptversuch III Rohstoffe und Extrudate 1-3

Probe	[mg/100g]
Trester „Leikora“	185
Sanddornmark	68
Extrudat (Probe 1)	35,12
Extrudat (Probe 2)	38,31
Extrudat (Probe 3)	32,61
Mittelwert	35,35

Während der Herstellung der Extrudate ist ein Verlust von durchschnittlich 36,75% entstanden. Die Berechnungen basieren auf dem Vergleich der Konzentration auf die reine Trockenmasse und sind im Anhang auf Seite 88 zu finden.

Bei einem durchschnittlichen Tagesbedarf von 60...100mg Vitamin C kann mit einer Portion von 50g der Bedarf zu circa 25% decken. Damit bringen Sanddornflips einen beachtlichen Nährwert mit ein, der im Vergleich zu anderen Snackprodukten einzigartig ist. Mit 185mg Vitamin C liegt der Gehalt des „Leikora“ Tresters allerdings sehr weit unten. Zum Vergleich wurde der selbstgetrocknete Trester aus den Vorversuchen untersucht. Mit 511mg/100g OS hat der Trester der Satower Mosterei eine fast 3fach so hohe Konzentration. Grund hierfür ist die Verarbeitung. Während der Satower Trester vor dem Trocknen eine Ausgangstrockenmasse von 25...30% hatte und dementsprechend noch sehr viel Saft enthalten war, wurde der Trester „Leikora“ der Sanddorn GbR zuvor stark ausgepresst. Da das Vitamin C in gelöster Form im Wasser (Saft) enthalten ist, sinkt der Gehalt im übriggebliebenen Trester logischerweise stark ab.

Sofern der Trester als Nebenprodukt für die Herstellung von zum Beispiel Sanddornflips weiterverarbeitet wird, sollte abgeschätzt werden, wie intensiv der Trester ausgepresst werden kann, ohne dass es eine negative Auswirkung auf die Extrudate geben wird.

Für den Gesamtphenolgehalt ergeben sich in Tabelle 29 folgende Werte.

Tabelle 29: Gesamtphenolgehalt Hauptversuch III Rohstoffe und Extrudate 1-3

Probe	[mg/100g]
Trester „Leikora“	1202,6
Sanddornmark	337,7
Maisgrieß	88,0
Extrudat (Probe 1)	245,0
Extrudat (Probe 2)	279,8
Extrudat (Probe 3)	283,4
Mittelwert	269,4

Damit eine Verlustrechnung für den Gesamtphenolgehalt erfolgen konnte, wurde zusätzlich der Maisgrieß mitanalysiert, da die Annahme besteht, dass ein gewisser Anteil von phenolischen Verbindungen aus dem Mais kommt.

Für den Gesamtphenolgehalt ergibt sich ein durchschnittlicher Verlust von 27,83% und fällt geringer als beim Vitamin C aus. Da eine Konzentrationsangabe von phenolischen Verbindungen keine direkten Schlussfolgerungen auf gesundheitliche Effekte bietet, ist die antioxidative Kapazität einfacher zu beschreiben.

Die Antioxidative Kapazität beruht auf dem selbe Messprinzip und wurde parallel mit der Phenolbestimmung durchgeführt. In Tabelle 30 sind die Werte in mmol pro 100g Originalsubstanz angegeben.

Tabelle 30: Antioxidative Kapazität Hauptversuch III Rohstoffe und Extrudate 1-3

Probe	[mmol/100g]
Trester „Leikora“	13,12
Sanddornmark	3,95
Maisgrieß	0,37
Extrudat (Probe 1)	1,99
Extrudat (Probe 2)	2,28
Extrudat (Probe 3)	2,28
Mittelwert	2,183

Insgesamt ergibt sich ein Verlust von 42,26% für die antioxidative Kapazität von den Rohstoffen hin zum Endprodukt. Prozentual ist der Verlust höher als beim Vitamin C-Gehalt und Gesamtphenolgehalt. Das liegt daran, dass sowohl Polyphenole als auch Vitamin C eine antioxidative Wirkung haben und deswegen der anteilige Verlust höher ausfällt. 2,183 mmol entsprechen 2183 ORAC-Einheiten, die den täglichen Bedarf eines Menschen zu 1/3 abdecken und neben dem Vitamin C ein wertvolles Kaufargument für Sanddornflips schafft.

5. Abschlussdiskussion

Materialvorbereitung

Für den Erfolg von Sanddornextrudaten ist die Rohstoffqualität entscheidend. Es stellt sich die Frage, ob eine aufwändige Verarbeitung sich lohnt. Je nach Sanddornsorte schwankt, in Hinsicht auf den Geschmack, der Säuregehalt stark. Die sensorischen Unterschiede zwischen einem bearbeiteten Trester mit einer Ausgangsfeuchte von 50-60% können einen deutlich intensiveren Geschmack im Extrudat hervorbringen, als ein Trester der nur ein Nebenprodukt bei der Sanddornsaftherstellung ist und eine deutliche höhere Ausgangstrockenmasse zu Beginn der Aufbereitung aufweist.

Wenn bei der Saftgewinnung auf eine gewisse Ausbeute verzichtet wird, können mit einem bestimmten zeitlichen Aufwand qualitativ hochwertigerer Rohstoff für die Herstellung von Extrudaten gewonnen werden. Trester, der zuvor stark ausgepresst wurde, wird im Endprodukt nur einen geringen Geschmack hervorrufen. Da es eine Grenze für die Zugabe von Trester gibt, müssen Abstriche gemacht werden, wenn die Saftherstellung im Fokus steht.

Um das Geschmacksdefizit auszugleichen, kann Sanddornmark oder-Saft zusätzlich ins Produkt mit eingebracht werden. Die Limitierung hierbei ist der Wassergehalt. Auch wenn nach Hirth (2015) ein Wassergehalt von 15-22% im Produkt die geringsten Verluste an Polyphenolen und damit direkt auch Vitamin C aufweisen, so wirken sich Feuchten von über 15% deutlich negativ auf die Extrusion aus. Deswegen sollte ein Rohstoff von hoher Qualität verwendet werden, der aber auch anteilig geringer eingesetzt werden kann.

Sanddornsafte stellte sich als schlechter Zusatz heraus, da aufgrund des hohen Wassergehalts eine Aufkonzentration für die Verwendung notwendig ist. Das Eindampfen erwies sich als suboptimal, da bei der Herstellung mit den Brüden wertvolle Aromen verlorengegangen sind. Zudem konnte man einen bitteren, leichten verbrannten Geschmack in den Extrudaten feststellen.

Sanddornmark hat im Vergleich zum Saft zwar eine geringere Säurekonzentration, aber die enthaltenen Aromen glichen einem Teil dessen aus. Die Trockenmasse des Sanddornmarks war mit 16,55% zu niedrig, um das errechnete Säure/Süße-Verhältnis bei 15% Gesamtwassergehalt zu erreichen. Eine Aufkonzentrierung von Sanddornmark ist nicht empfehlenswert, da der Verlust an Aromen ein ähnliches Ergebnis wie beim Saft hervorrufen kann.

Stattdessen sollte ein Kompromiss gefunden werden, der den höchstmöglichen Einsatz von Sanddornmark oder ähnlichen Rohstoffen, bei Nichtüberschreitung von 15% Gesamtwassergehalt im Prämix, gewährleistet.

Der Fettanteil liegt bei dem Sanddornmark der Fima Bayernwald Früchteverwertung KG bei 2% und beeinflusst die Extrusion ohne Messung signifikanter Unterschiede nicht. Eine Alternative ist die Verwendung von gefriergetrocknetem Pulver auf Basis von Sanddornmark (Büssow, 2018).

In Hinsicht auf den Geschmack kann mit 10% Anteil in der Rezeptur ein intensiver und charakteristischer Geschmack erzielt werden, ohne dass weitere Sanddornrohstoffe miteingebracht werden müssen. Negativ ist, dass mit Verwendung des Pulvers keine Tresterzugabe mehr benötigt wird.

Da es in dieser Arbeit um die Möglichkeiten der Verarbeitung von Trester geht, kann eine additive Verwendung zum Trester als Hauptbestandteil verwendet werden. So kann Trester mit einem weniger intensiven Geschmack ohne Probleme angeglichen werden.

Expansionsindex

Der Expansionsindex hat in der sensorischen Beurteilung einen großen Stellenwert eingenommen. Aus Tabelle 13 und 14, Seite 40 geht hervor, dass Extrudate, die einen besser bewerteten Durchmesser aufweisen, ebenfalls in der Beliebtheit für die Textur positiver abschneiden, obwohl im Vergleich zu anderen Extrudaten die Härte und Knusprigkeit weniger gut bewertet wurden.

Um eine Veränderung des EI hervorzurufen, sind die größten Einflussfaktoren die Schneckendrehzahl, Durchsatz, Wasserdosierung und die Rezepturzusammensetzung. Nach Riaz, 2000 steigt der Expansionsindex mit der Drehzahl an. In den beiden letzten Hauptversuchen wurde aufgezeigt, dass jede Rezeptur ein Optimum hat, welches nicht mit der höchsten verwendeten Drehzahl gleichzusetzen ist. Ein Grund ist der herabgesetzte Druck, der durch eine höhere Drehzahl hervorgerufen wird. Je höher die Drehzahl ist, desto geringer ist die Retentionszeit der Masse im Zylinder. So findet keine starke mechanische Bearbeitung statt und Umwandlungsprozesse werden verringert. Diese Wirkung kann mit einer herabgesetzten SME verdeutlicht werden (siehe Tabelle 22, Seite 46). Bei 1200 1/min und 20kg/h findet eine Verschlechterung des EI und folglich der SME statt.

Prämixe mit einem Gesamtwassergehalt von 15%, die bei 20kg/h hergestellt werden, haben einen optimalen Drehzahlbereich zwischen 700 bis 900 1/min (siehe Tabelle 24). Dieses Optimum wird mit Erhöhung des Stoffdurchsatzes nach hinten verlagert. So liegt das Drehzahl optimum bei 30kg/h zwischen 900 bis 1100 1/min.

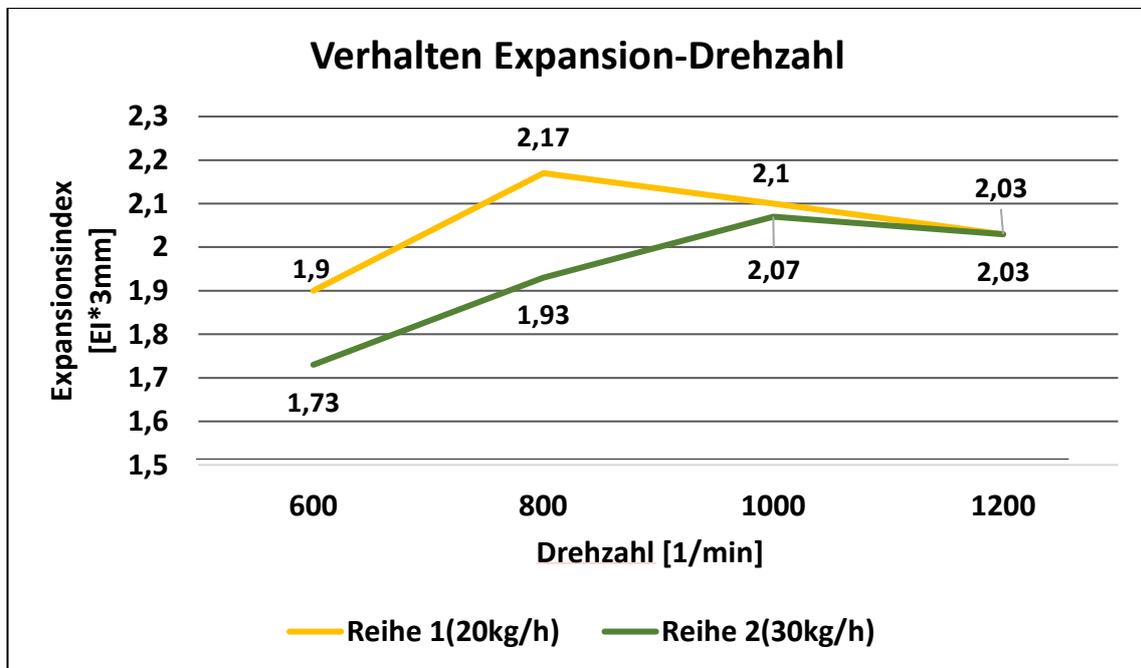


Abbildung 24: Verhalten EI zur Drehzahl und Durchsatz (HVII)

Durch weitere Durchsatzerhöhungen kann es vorkommen, dass der EI ab einem bestimmten Punkt negativ beeinflusst wird und wieder abfällt. Aus Tabelle 22, Seite 46 kann entnommen werden, dass der EI von Probe 5 zu 6 sich verringert. Die Schneckendrehzahl lag bei diesen beiden Versuchen bei 1200 1/min. Nur durch eine weitere Erhöhung der Drehzahl hätte man dieses Defizit ausgleichen können. Da jeder Doppelschneckenextruder eine Maximaldrehzahl hat, sollte auch diese als limitierender Faktor für die Durchsatzeinstellung angesehen werden. So sollten zu Gunsten der verbesserten Expansion Abstriche in der Produktionsmenge pro Stunde gemacht werden.

Betrachtet man die Wasserdosierung ohne weitere Einflüsse, wie zum Beispiel Rezepturbestandteile, zeigt sich auf, dass bei unterschiedlichen Drehzahlen das Optimum für die Expansion bei einem Gesamtwassergehalt von 15% bis 17,5% liegt (siehe Tabelle 7, Seite 28). Wird jedoch Sanddortrester und Zucker in die Rezeptur miteingebracht verlagert und verkleinert sich der optimale Bereich. Aus dem zweiten Vorversuch (siehe Tabelle 8, Seite 31) wird ersichtlich, dass ein Wassergehalt 15% das Optimum darstellt.

Bei 17,5% nimmt der Expansionsindex schon so weit ab, dass keine Veränderungen mit einer weiteren Absenkung des Wassergehaltes hervorgerufen werden kann.

Besteht der Prämix aus 40% Trester, findet keine nennenswerte Expansion mehr statt. Durch so einen starken negativen Einfluss kann mit keinem Geräte- und Prozessparameter die Expansion verbessert werden. Bei 20% Trester in der Rezeptur verschlechtert sich der EI mit 5% Zuckerzugabe um 15%. Sofern die Dosierung nur bis 10% geht, können die negativen Einflüsse durch die Drehzahl und den Durchsatz negiert werden. Über 10% sinkt der EI so stark, dass Prozessveränderungen keine Wirkung mehr auf die Expansion haben. Dieses Verhalten kann der Abbildung 25 entnommen werden.

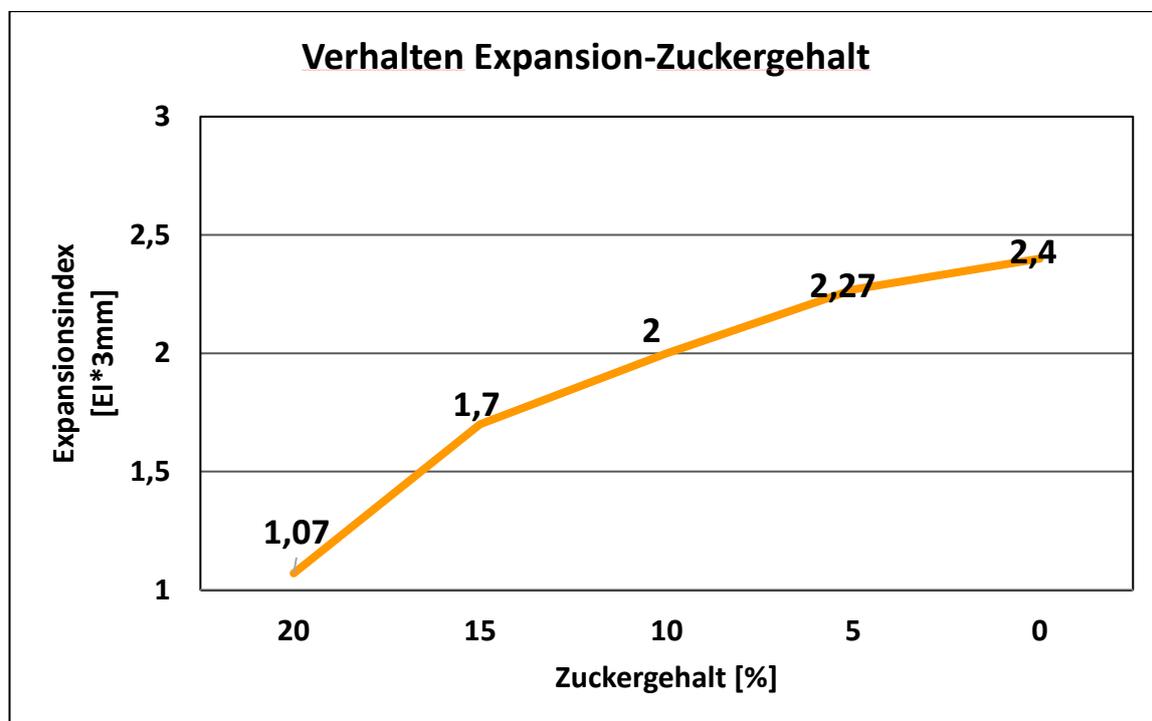


Abbildung 25: Verhalten EI zum Zuckergehalt (VVIII)

Ein EI von 1,07 ruft bei einer 3mm Düse nur eine Vergrößerung von 0,21mm hervor. Daher sollte die Zuckerdosierung nicht die 10% Grenze überschreiten.

Haushaltszucker hat im Vergleich zu Süßstoffen, wie zum Beispiel Acesulfam K, eine deutlich geringere Süßkraft. Die Rohstoffkosten pro Charge wären mit so einer Alternative günstiger. Weil die Zugabemenge geringer ausfallen würde, wäre eine logische Schlussfolgerung, dass Süßstoffe einen geringeren Effekt auf die Expansion haben als Zucker. Dies ist nur eine Behauptung und basiert auf keiner wissenschaftlichen Untersuchung. Dennoch sollte die Alternative in Betracht gezogen werden, sofern es mit dem Endprodukt konform geht.

In Hinsicht auf die Produktivität ist die Wirkung der Partikelgröße entscheidend. In Vorversuch II und Hauptversuch I sind die Extrudate bei 15% Wassergehalt mit einer Tresterpartikelgröße von 3mm stärker expandiert, als das daraus hergestellte Pulver mit 1mm Größe. Wie in der Auswertung schon beschrieben, könnte ein Grund in der negativen Beeinflussung auf die Stärke die Ursache sein. Durch die gute Vermischung des Pulvers mit dem Maisgrieß könnte eine Verschlechterung der Verkleisterung entstanden sein, die bei einer Retentionszeit von circa 10 Sekunden im Zylinder eine große Auswirkung haben kann. Trester mit einer Partikelgröße von 3mm würden sich nicht homogen vermischen und würden die chemischen und physikalischen Prozesse nicht verschlechtern. Sinkt der Gesamtwassergehalt ab, verbessert sich der EI bei der Tresterpulvervariante wie üblich. Nur bei der normalen Tresterform findet im Gegenzug eine Verringerung der Expansion statt. Eine Begründung hierfür könnte in der Verschiebung der optimalen Drehzahl bei den Varianten liegen

Aus wirtschaftlicher Sicht sollte daher die Trestervariante mit 3mm Größe und 15% Wassergehalt weiter optimiert werden, da die Masse an Extrudat bei besserem EI höher ist.

Spezifische mechanische Energie

Die SME ist nicht wie der Expansionsindex ein Qualitätsparameter für die Beliebtheit, sondern bezieht sich viel mehr auf die Bioverfügbarkeit der Inhaltsstoffe während der Herstellung. Da SME und EI unterschiedliche Wirkungen haben, ist ein Vergleich nur schwer möglich.

Durch Veränderung der Rezeptur, Wasserdosierung und Durchsatz kann wie beim EI die SME verändert werden. Fakt ist, dass aufgrund der Berechnungsformel aus der Literatur die SME immer mit einer Drehzahlerhöhung ansteigt. Nicht nur die Zugabe von Zucker, sondern auch Material ohne Stärke (Sanddorntrester) wird die SME herabsetzen. Durch diese Verringerung ist der Abbau von Vitamin und Polyphenolen vermindert. So steigt die SME mit geringerem Gehalt an Trester und Zucker immer weiter an (siehe Tabelle 9, Seite 35). Zudem steigen die Temperatur und der Druck an. Das Drehmoment wird durch die sinkende Zuckerdosierung erhöht, da das Karamellisieren den mechanischen Input herabsetzt. Ziel sollte es sein, unter zusätzlicher Betrachtung des EI's Zucker und Trester soweit zuzugeben, dass die SME möglichst gering ausfällt um eine schonende Prozessführung und andererseits eine akzeptable Expansion zu erzielen.

Schon durch die Zugabe von 20% Trester kann die SME um 21% reduziert werden, ohne dass es die Option nicht mehr geben wird Extrudate mit einem Durchmesser von 9mm herzustellen. Wird zusätzlich Zucker zu dosiert, muss die Trestermenge parallel reduziert werden.

Verringert sich die SME weiter, würde die Expansion des Produkts zunehmend abfallen. Daher sollten aus Sicht der SME maximal 15% Sanddorntrester und 10% Zucker verwendet werden. Durch Adaption des Säure/Süße-Verhältnisses können andere Sanddornsorten eine Verringerung beider Bestandteile hervorrufen.

Neben den Rezepturbestandteilen ist der Durchsatz ebenfalls ein wichtiger Faktor. Durch Erhöhung des Stoffdurchsatzes von 20kg/h auf 30kg/h kann die SME bei 1200 1/min um 29% gesenkt werden (siehe Abbildung 26).

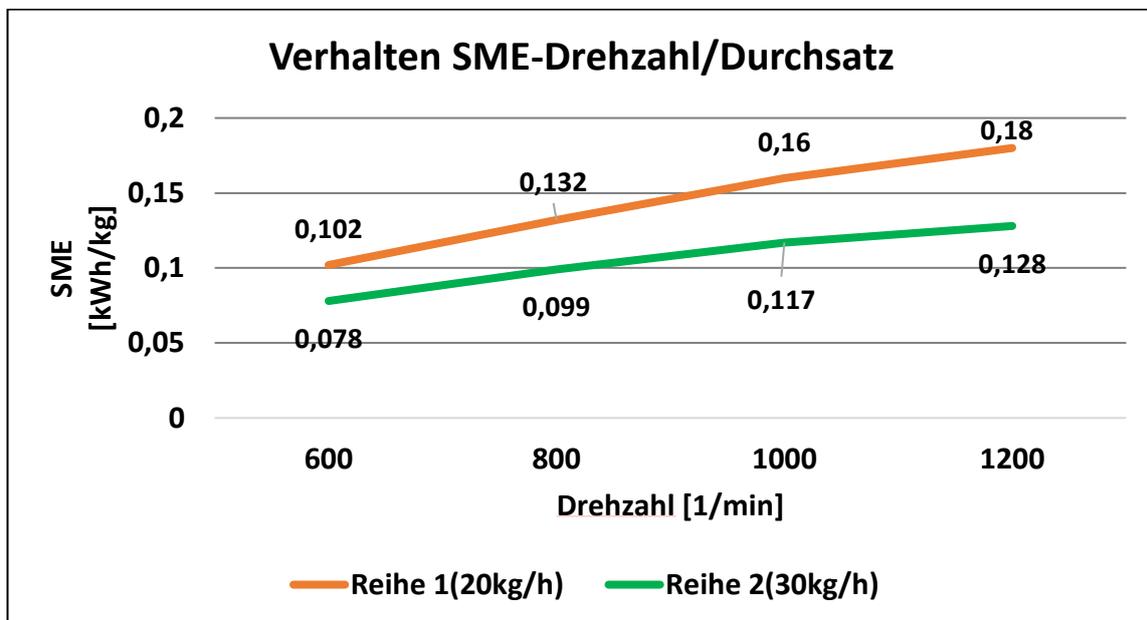


Abbildung 26: Verhalten SME zu Drehzahl und Durchsatz (HVII)

Auch wenn sich die SME bei höherem Durchsatz verringert, so steigt der Energieverbrauch mit der Drehzahl- und Durchsatzerhöhung an. Daher sollte abgeschätzt werden ob es sich lohnt einen höheren Energieverbrauch bei einem geringeren Abbau an Vitamin C zu akzeptieren.

Sensorik

Die Untersuchungen der Sanddornflips mittels Beliebtheitsprüfung und JAR-Fragen erwies sich, trotz der geringen Teilnehmerzahl, als äußerst aussagekräftig. Welches Kriterium ausschlaggebend ist, konnte mit der Gegenüberstellung der Gesamtbeliebtheit zur Beliebtheit des Geschmacks und der Textur analysiert werden.

Nachdem sich die Favoriten herauskristallisierten, konnte in Bezug auf die Rezeptur mit JAR-Fragen eine deutliche Tendenz aufgezeigt werden, in welchem Trester-Zucker-Verhältnis die Rezeptur stehen muss. Mit dem Satower Trester als Rezepturbestandteil ergaben sich zwei Optionen, die in einem Verhältnis zwischen 1:1 und 4:3 Trester zu Zucker standen.

In Bezug auf die Extrudierbarkeit ist die Variante mit 12,5% Trester und 10% Zucker die optimalste, da einerseits die Expansion bei 10% Zucker im Vergleich zu 15 % stärker ist und zum anderen die Rohstoffkosten niedriger sind.

Für die Textur erwies sich ein Extrudatdurchmesser von circa 9mm als optimal (siehe 4.5.2). Deutlich wurde, dass der Durchmesser einen größeren Einfluss auf die Texturbeliebtheit hatte als die Härte und Knusprigkeit. So ergaben sich wie bereits erwähnt bessere Bewertungen in der Texturbeliebtheit durch einen optimalen Durchmesser, obwohl die Härte und Knusprigkeit bei anderen Proben schlechter bewertet wurden. Aus Sicht der Textur gewann das Extrudat mit 10% Trester und 0% Zucker.

Auf die Gesamtbeliebtheit gesehen ist die Probe mit 20% Trester und 10% Zucker am schlechtesten bewertet worden. Obwohl die Härte und Knusprigkeit bei 3,77 und 3,62 lag, war die Expansion viel zu gering.

Für die Textur kann das Extrudat mit 10% Trester und 0% Zucker als Optimum angesehen werden. 4,7 N (Abbildung 19, Seite 43) sollten für eine akzeptable Härte nicht stark über- oder unterschritten werden.

Zusammenfassend kann man für die sensorische Untersuchung sagen, dass die Größe der Extrudate den größten Einfluss auf die Beliebtheit hat und der Geschmack, sofern dieser nicht in extreme Bereiche abdriftet, an zweiter Stelle steht.

Die Härte und Knusprigkeit der Extrudate war in Hinsicht auf einen optimalen Durchmesser immer zu gering. Extrudate mit einem Durchmesser von 9mm wären für weitere Versuche zielführend, allerdings müsste ein Kompromiss zu den Texturfaktoren gefunden werden, da mit steigendem EI die Härte und Knusprigkeit abnimmt.

Chemische Analytik

Die Säuretitration und enzymatische Zuckerbestimmung erwiesen sich als geeignete Verfahren, um sortenübergreifende Adaptionen für die Rezepturen zu gewährleisten. In Hinblick auf die Süßkraft nahmen die Sanddornmaterialien, im Vergleich zur Zuckerzugabe nur einen geringen Prozentwert ein. Für zukünftige Versuche kann damit diese Untersuchung weggelassen werden.

Die Gesamtsäuretitration und Umrechnung in Gramm Zitronensäure pro 100g stellt eine verlässliche Grundlage für die Definition des Geschmacks dar. Aromen, die durch Sanddornmark oder Saft ins Produkt gebracht werden, haben nur einen sekundären Stellenwert. In gewisser Hinsicht bringen diese Materialien einen intensiven Eigenschmack rein, der mit beachtet werden sollte.

Die Vitamin C-Bestimmung zeigte deutliche Differenzen zwischen selbstgetrocknetem und gekauftem Trester auf. Mit 511mg/100g hat der selbstgetrocknete Trester einen 2,5 fach höheren Gehalt an Vitamin C als handelsüblicher Trester.

Da dieses Vitamin als Aushängeschild dient, sollte die Konzentration in den Rezepturbestandteilen so hoch wie möglich sein, da bei der Herstellung im Durchschnitt 36,8% verloren gehen (Anhang, Seite 88). Die Extrudate aus dem letzten Versuch wiesen einen Gehalt von 36mg/100g Originalsubstanz auf. Mit einem durchschnittlichen Tagesbedarf von 100mg, wäre bei 100g Verzehr der Bedarf zu einem Drittel gedeckt. Diese Funktion weist kein anderer Snack auf. Durch Verwendung von selbstgetrocknetem Trester, der eine Ausgangstrockenmasse von 30-50% hat, könnte der Gehalt im Extrudat verdoppelt werden. Ein Trester, der einen höheren Säure- und Vitamin C-Gehalt aufweist, könnte in geringeren Mengen eingesetzt werden. Das würde Herstellungskosten reduzieren, ohne Einbußen in der Bioverfügbarkeit zu verursachen.

Der Gesamtphenolgehalt hat keinen direkten Einfluss auf die Herstellung der Extrudate gehabt. Es sollte eher von einem Maß an gesundheitlich fördernden Stoffen gesprochen werden, die vor allem antioxidativ, antibakteriell und entzündungshemmend wirken. Mit einem Abbau von 27,8% (Anhang, Seite 89) ist der Verlust an phenolischen Stoffen am geringsten ausgefallen.

In den Extrudaten sind im Durchschnitt 269mg/100g (Tabelle 30, Seite 62) phenolische Verbindungen enthalten. Quercetin und Isorhamnetin, die vorrangig im Sanddorn enthalten sind, bieten somit einen positiven Effekt auf den Organismus, der zum Vitamin C als zusätzliches Argument für zukünftige Herstellung verwendet werden kann.

Im Zusammenhang mit der Gesamtphenolbestimmung zeigte sich auf, dass der Verlust des antioxidativen Potenzials mit 42,3% (Anhang, Seite 90) am höchsten ist. Vitamin C und die im Sanddorn enthaltenen Polyphenole besitzen diese Funktion, wodurch in der Summe ein größerer Verlust entsteht. Mit durchschnittlich 2,18mmol/100g OS wird beim Verzehr von 100g Sanddornflips der Tagesbedarf mit einem Drittel gedeckt.

Im Vergleich zu anderen Früchten ist dieser Wert mehr als doppelt so hoch. Gegenüber Zartbitterschokolade verfügen die Extrudate nur 1/23 der antioxidativen Kapazitäten, weshalb diese Erkenntnis nur als positiver Nebeneffekt betrachtet werden sollte.

Für die Vermarktung sollte daher der Fokus auf dem Vitamin C-Gehalt liegen.

Weiterführende Versuche

Die größte Limitierung in der Entwicklung war es, Zucker so wenig wie möglich zu verwenden. Durch die Verflüssigung im Zylinder findet eine starke Herabsetzung des mechanischen Inputs statt. Resultat ist eine niedrige Expansion. Durch Auflösung des Zuckers im wässrigen Medium müsste die Gefahr der Karamellisation, im direkten Kontakt zum Zylinder und den Schnecken, soweit herabgesetzt sein, dass eine Verbesserung der Expansion daraus folgen könnte.

Eine weitere Möglichkeit, die Extrusion zu verbessern, wäre die Verwendung von Süßstoffen, Zuckeraustauschstoffen oder Stevia. Süßstoffe haben den Vorteil, dass ihre Süßkraft um ein Vielfaches höher ist, als bei Zucker. Somit wäre die Dosierungsmenge deutlich geringer und die Auswirkung auf die Expansion niedriger. Süßstoffe sind im Allgemeinen bei den Verbrauchern verpönt. Da diese Arbeit nur von der Entwicklung von Sanddornsnacks handelt, sollte in zukünftigen Umfragen geklärt werden, ob die Verwendung von Süßstoffen ins Bild des Sanddorns passt. Zuckeraustauschstoffe, wie zum Beispiel Xylit, sind vor allem im Bereich der alternativen und vegetarischen Lebensmittel als Birkenzucker bekannt. Zudem weist Xylit die gleiche Süßkraft wie Zucker bei der Hälfte an Kalorien auf und legt eine Verwendung für zukünftige Rezepturen näher.

Stevia hat von allen Möglichkeiten das beste Image.

Da es für den europäischen Raum seit einigen Jahren zugelassen ist, gibt es keine Bedenken in Hinsicht auf gesundheitliche Gefährdung. Nur der spezifische Eigengeschmack müsste in Verbindung mit Sanddorn erforscht werden.

Zusammengefasst bieten diese Optionen viele Möglichkeiten, die Sanddornextrudate aus Sicht der Energiebilanz und der Herstellung zu verbessern.

In Hinsicht auf die Prozessführung könnte eine Entgasungszone im Bereich der Kompression eingerichtet werden. Durch ein linksdrehendes Element wird der Produktfluss gestaut und bietet mit einer Öffnung die Möglichkeit, dass Wasser aus dem Zylinder verdampfen kann. Das bietet den Vorteil einer höheren Ausgangsfeuchte. Überschüssiges Wasser würde vor dem Düsenausgang verdampfen und hätte keinen Einfluss mehr auf die Expansion. Damit würde die Limitierung der Feuchten aller Rohstoffe wegfallen. Im zweiten Hauptversuch bestand die Notwendigkeit Sanddornsaft, einzudampfen, um den Gesamtwassergehalt des Prämix auf 15% zu halten. Das gleiche Problem war ebenfalls im letzten Versuch im Fokus. Durch einen zu hohen Wassergehalt des Sanddornmarks erfolgte eine verringerte Dosierung, die sich wiederum im Geschmack schlecht widerspiegelte. Durch Einrichtung einer Entgasungszone könnte dieses Problem gelöst werden.

Alle durchgeführten Versuche dienen einer effektiven und direkten Entwicklung von marktfähigen Sanddornextrudaten

Durch eine vorhandene standardisierte Rezeptur mit genauen Analysenwerten besteht in Hinblick auf die Extrusion die Möglichkeit, Temperatur, Düsendurchmesser, Schneckenkonfiguration und die Drehzahl in weiteren Versuchsreihen zu untersuchen und Ursache und Wirkung genauer zu erklären.

6.Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Masterthesis soll die Entwicklung von Sanddornextrudaten, auf Basis verschiedener Sanddornverarbeitungsformen mit Süßungsmittel, untersucht werden. Durch den bei der Sanddornsaftherstellung anfallenden Trester ist die Intention, unter Verwendung eines Doppelschneckenextruders, Sanddornflips zu entwickeln, die die Wertstoffkette eines Unternehmens erweitern soll.

Zu diesem Ziel wurden Herstellungsversuche durchgeführt, die über die spezielle Produktentwicklung hinaus, Ursache und Wirkung von Rezepturbestandteilen auf verschiedenen Prozess-und Geräteparametern aufzeigen sollen. Basierend auf chemischen Analysen war es möglich, Kriterien für eine schonende Prozessführung zu generieren und die Bioverfügbarkeit von Vitamin C und phenolischen Verbindungen zu beeinflussen.

Am Ende sind Sanddornextrudate entstanden, die bei der Verwendung von 12,5% Trester und 10% Zucker eine solide Grundlage für weitere Untersuchungen bilden. In Abhängigkeit zu der Sanddornsorte konnte über die Messung des Säuregehaltes und der Süßkraft ein optimales Geschmacksverhältnis von 1:3 bis 1:4 entwickelt werden. Je nach Sanddornform verschiebt sich das Verhältnis auf Basis der Intensität an Aromen zu Gunsten der Süßkraft. Unter Verwendung ineinandergreifender Schnecken wurde eine optimale Extrusion bei 900 1/min mit einem Feststoffdurchsatz von 20kg/h, einer offenen 3mm-Düse und einem Gesamtwassergehalt von 15% erzielt.

Durch Erhöhung des Durchsatzes und der Drehzahl kann bis zu einem Wendepunkt der Expansionsindex indirekt über den Druck gesteuert werden.

Mit einer Zunahme des Zucker-oder Fettgehaltes nimmt diese Wirkung drastisch ab. Aus diesem Grund sollte in der Rezeptur ein Zuckergehalt von 10% nicht überschritten werden. Bei der Sanddornsortenauswahl sollte ebenfalls drauf geachtet werden, dass der Fettanteil so gering wie möglich ist, um eine Herabsetzung des mechanischen Inputs zu vermeiden.

Mit einem Extrudatdurchmesser von 9mm stellt dieser Bereiche eine optimale Größe der Sanddornflips dar.

Die Prozesstemperatur von maximal 155°C sollte nicht überschritten werden, um eine Verringerung der Extrusion und Bioverfügbarkeit von Vitamin C und phenolischen Verbindungen zu vermeiden.

In zukünftigen Versuchen sollte durch Anpassung der Rezeptur, mit zum Beispiel Süßmittelalternativen und weiterführenden Untersuchungen der einzelnen Prozessparameter, eine Verbesserung der Textur und des Geschmacks anvisiert werden.

7.Literaturverzeichnis

Alasalvar, C.; Grigor, J.M.; Zhang, D.; Quantick, P.C.; Shahidi, F.: Comparison of volatiles, phenolics, sugars, antioxidant vitamins, and sensory quality of different colored carrot varieties, 2001

Asarenko, A.: Influence of ingredients and extrusion parameters to optimize expansion index. Journal of Food Science and Technology, 2017

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

Bouvier, J. M.; Campanella, O. H.: Extrusion processing technology: Food and Non-food biomaterials. 1. Auflage. Oxford (UK): Willy-Blackwell, 2014

Büssow, R.: Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung von Fruchtpulver aus Sanddorn und Aronia. Masterthesis, Hochschule Neubrandenburg, Neubrandenburg, 2018

CentroSan B.V.: <https://www.centrosan.com/Wissen/Naehrstoff-Lexikon/Phytamine/K-R/Polyphenole.php> (letzter Zugriff 20.09.2018)

Chinniaswamy, R.; Hanna, M.A.: Optimum Extrusion-Cooking Conditions for Maximum Expansion of Corn Starch. Journal of Food Science, Volume 53, 1988

Davidson, V. J.; Paton, D.; Diosady, L. L.; Larocque, G.: Degradation of Wheat Starch in a Single Screw Extruder: Characteristics of Extruded Starch Polymers. Journal of Food Science, Volume 49, 1984

Elmadfa, I.; Aign, W.; Muskat, E.; Fritzsche, D.: Die große GU Nährwert Kalorien Tabelle. 1. Auflage. München: Gräfe und Unzer, 2016

Frame, N.D.: The technology of extrusion cooking. 1. Auflage. Glasgow (UK): Blacky Academic & Professional, 1994

Frankel, E.N.; Meyer, A.S.: The problems of using one dimensional methods to evaluate multifunctional food and biological antioxidants. *J. Sci. Food Agric.* 80 (13), 1925-1941, 2000

Greif, H.; Limper, A.; Fattmann, G.; Seibel, S.: *Technologie der Extrusion: Lern- und Arbeitsbuch für die Aus- und Weiterbildung.* 2. Auflage. München: Hanser, 2004

Jin, Z.; Hsieh, F.; Huff, H.E.: Effects of Soy fiber, salt, Sugar and Screw speed on Physical Properties and Microstructure of Corn Meal Extrudate. *Journal of Cereal Science*, Volume 22, 185-194, 1994

Jyotirmoy, G.; Parames, C.: *Handbook of Arsenic Toxicology*, Academic Press, London, 2015

Mercier, C.; Feillet, P.: *Modification of Carbohydrate Components by Extrusion-Cooking of Cereal Products.* Institut National de la Recherche Agronomique, Volume 52, 1975

Nix Sensor Ltd.: <https://www.nixsensor.com/free-color-converter/> (letzter Zugriff 24.09.2018)

Owusu-Ansah, J.; Stanley, D.W.; van de Voort, F.R.: Textural and Microstructural Changes in Corn Starch as a Function of Extrusion Variables. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal* Volume 17, Pages 65-70, 1984

Riaz, M.N.; Asif, M.; Ali, R.: Stability of vitamins during extrusion. In: *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 49 , Nr. 4, S. 361 - 368, 2009

Riaz, M.N.; Rokey, G.J.: *Extrusion problems solved: Food, petfood and feed.* 1. Auflage. Oxford: WF, 2012

Riaz, M.N.: *Extruders in food application.* 1. Auflage. Lancaster (USA): Technomic Publishing Company, 2000

8.Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ablauf Vorversuch I.....	14
Tabelle 2: Ablauf Vorversuch II	15
Tabelle 3: Ablauf Vorversuch III	16
Tabelle 4: Ablauf Hauptversuch I	17
Tabelle 5: Ablauf Hauptversuch II.....	18
Tabelle 6: Ablauf Hauptversuch III	19
Tabelle 7: Ergebnisse Vorversuch I	28
Tabelle 8: Ergebnisse Vorversuch II.....	31
Tabelle 9: Farbwerte Vorversuch II	35
Tabelle 10: Ergebnisse Vorversuch III.....	37
Tabelle 11: Einfaktorielle Anova Ergebnisse.....	38
Tabelle 12: Beliebtheiten-und JAR-Bewertung Probe 2 (20%T. 15%Z.).....	39
Tabelle 13: Beliebtheiten-und JAR-Bewertung Probe 3 (20%T. 10%Z.).....	40
Tabelle 14: Beliebtheiten-und JAR-Bewertung Probe 4 (20%T. 0%Z.).....	40
Tabelle 15: Beliebtheiten-und JAR-Bewertung Probe 5 (10%T. 10%Z.).....	41
Tabelle 16: Beliebtheiten-und JAR-Bewertung Probe 6 (10%T. 7,5%Z.).....	41
Tabelle 17: Beliebtheiten-und JAR-Bewertung Probe 7 (10%T. 5%Z.).....	42
Tabelle 18: Zuckerzusammensetzung Sanddornrester (Satower Mosterei).....	44
Tabelle 19: Zuckerzusammensetzung Sanddornrester „Leikora“ (Sanddorn GbR)	45
Tabelle 20: Zuckerzusammensetzung Sanddornsaft (Sanddorn GbR)	45
Tabelle 21: Zuckerzusammensetzung Sanddornmark (Bayernwald Früchteverwertung KG).....	45
Tabelle 22: Ergebnisse Hauptversuch I.....	46
Tabelle 23: Ergebnisse Hauptversuch II	48
Tabelle 24: Ergebnisse Hauptversuch III	49
Tabelle 25: Farbwerte Hauptversuch III Prämix I und Probe 1-3.....	51
Tabelle 26: Farbwerte Farbunterschiede Hauptversuch III Prämix II und Probe 4-6.....	52
Tabelle 27: Farbwerte Hauptversuch III Prämix III und Probe 7-9	53
Tabelle 28: Vitamin C-Konzentration Hauptversuch III Rohstoffe und Extrudate 1-3.....	54
Tabelle 29: Gesamtphenolgehalt Hauptversuch III Rohstoffe und Extrudate 1-3	55
Tabelle 30: Antioxidative Kapazität Hauptversuch III Rohstoffe und Extrudate 1-3.....	55

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Isorhamnetin	Abbildung 2: Rutin	4
Abbildung 3: Schneckenkombinationen		7
Abbildung 4: Doppelschneckenextruder		8
Abbildung 5: Doppelschneckenextruder		13
Abbildung 6: Zusammensetzung der Zonen am Extruder		13
Abbildung 7: Trocknungsverlauf Sanddornrestler		25
Abbildung 8: Abgetrennte Fruchtschalen (Trester, rechts)		26
Abbildung 9: Windsichteranlage		27
Abbildung 10: Texturmessung Vorversuch I Probe 12		29
Abbildung 11: Texturmessung Vorversuch I Probe 4		30
Abbildung 12: Texturmessung Vorversuch I Probe 16		30
Abbildung 13: Extrudate Vorversuch II		32
Abbildung 14: Texturmessung Vorversuch II Probe 6		33
Abbildung 15: Texturmessung Vorversuch II Probe 3		34
Abbildung 16: Texturmessung Vorversuch II Probe 9		34
Abbildung 17: Farbunterschiede Vorversuch II Extrudate 1-3		36
Abbildung 18: Farbunterschiede Vorversuch II Extrudate 4-6*		36
Abbildung 19: Texturmessung Vorversuch III Probe 6		43
Abbildung 20: Texturmessung Hauptversuch III Probe 9		50
Abbildung 21: Farbunterschiede Hauptversuch III Prämix I und Probe 1-3		51
Abbildung 22: Farbunterschiede Hauptversuch III Prämix II und Probe 4-6		52
Abbildung 23: Farbunterschiede Hauptversuch III Prämix III und Probe 7-9		52
Abbildung 24: Verhalten EI zur Drehzahl und Durchsatz (HVII)		58
Abbildung 25: Verhalten EI zum Zuckergehalt (VVIII)		59
Abbildung 26: Verhalten SME zu Drehzahl und Durchsatz (HVII)		61

Anhang

Vorversuch I (18 Proben)

Schneckenkonfiguration: 1 (Standard)

20kg/h Feststoffdurchsatz

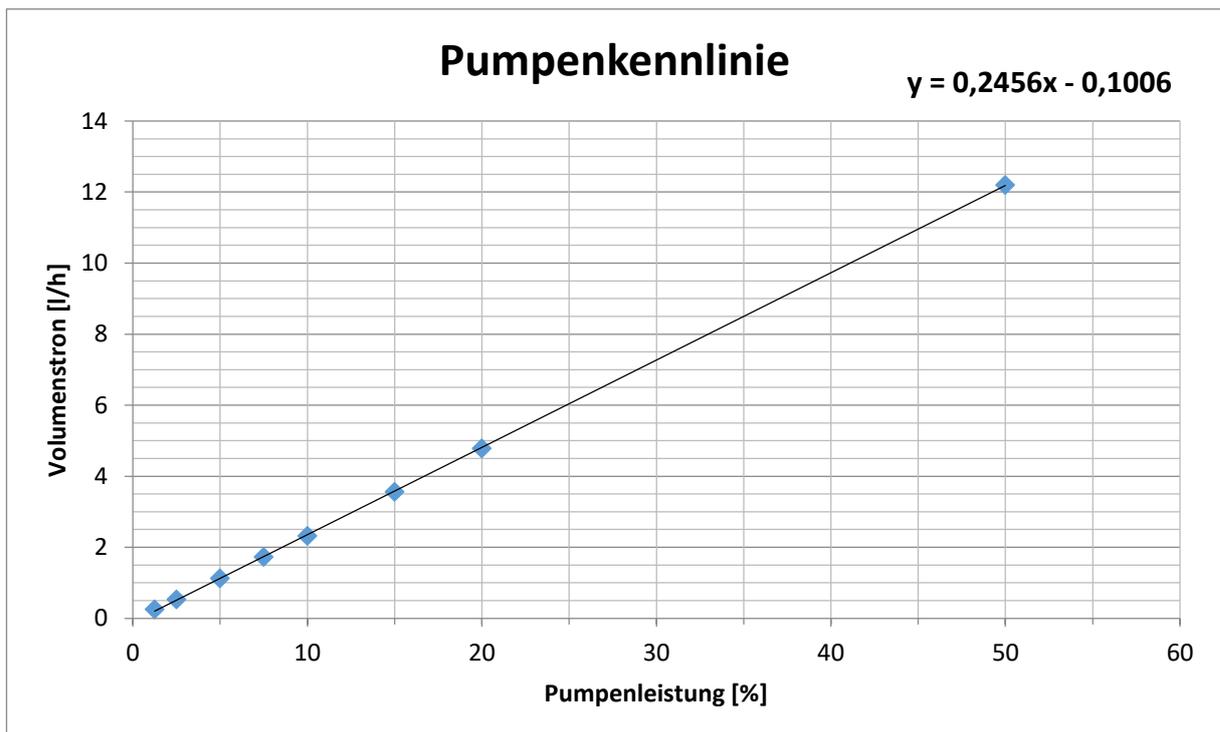
Düsendurchmesser: 2x3mm

...kg/h Wasserzufuhr

Messerumdrehungen: 600 rpm

Zonen: t2 t3 t4 t5 t6

Temperatur: 80°C 120°C 120°C 120°C 120°C



Maisgrieß = 9,64% Feuchte

Rechenbeispiel: $20\text{kg/h} * 0,0964 = 1,928\text{kg/h Wasser} \rightarrow 9,64\%$ Gesamtwassergehalt

$$y = \frac{1,928\text{kg/h} + x}{20\text{kg/h} + x} \quad y = \frac{1,928\text{kg/h} + 1,25\text{kg/h}}{20\text{kg/h} + 1,25\text{kg/h}} \quad y = 15\% \text{ Gesamtfeucht}$$

$$y = 0,2456 * x - 0,1006$$

$$y = 0,2456 * 5,5\% - 0,1006$$

$$y = \underline{1,25\text{kg/h H}_2\text{O}}$$

$\rightarrow 1,39\text{kg/h}$ zusätzliches Wasser \rightarrow 5,50% ~ 5,5% Pumpenleistung

Ablauf:

400rpm	Gesamtwassergehalt [%]	Wasserdosierung [kg/h]	Pumpenleistung [%]
I	12,5	0,66	3,1
II	15,0	1,25	5,5
III	17,5	1,90	8,2
IV	20,0	2,60	11,0
V	22,5	3,30	13,9
VI	25,0	4,10	17,1

600rpm			
VII	12,5	0,66	3,1
VIII	15,0	1,25	5,5
IX	17,5	1,90	8,2
X	20,0	2,60	11,0
XI	22,5	3,30	13,9
XII	25,0	4,10	17,1

800rpm			
XIII	12,5	0,66	3,1
XIV	15,0	1,25	5,5
XV	17,5	1,90	8,2
XVI	20,0	2,60	11,0
XVII	22,5	3,30	13,9
XVIII	25,0	4,10	17,1

Vorversuch II (12 Proben)

Schneckenkonfiguration: 1 (Standard)

20kg/h Feststoffdurchsatz

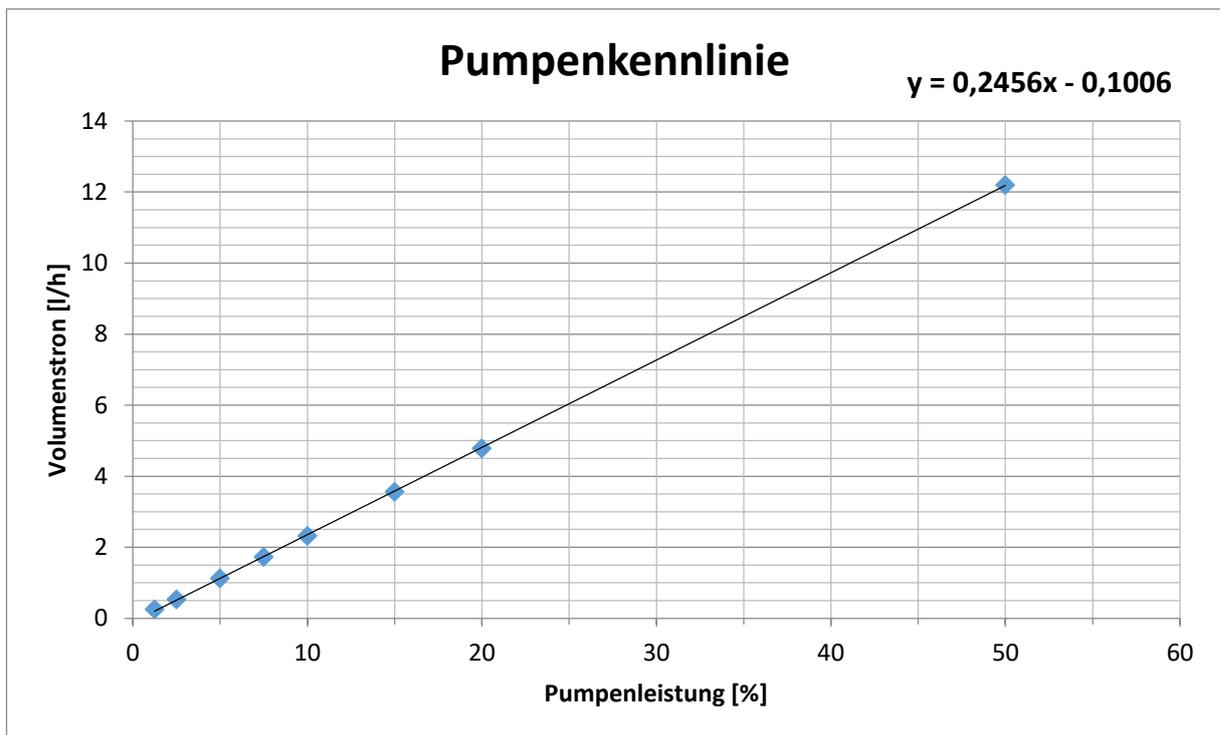
Düsendurchmesser: 2x3mm

...kg/h Wasserzufuhr

Messerumdrehungen: 600 rpm

Zonen: t2 t3 t4 t5 t6

Temperatur: 80°C 120°C 120°C 120°C 120°C



Versuch	Sanddornpulver	Zucker	Maisgrieß
1	20%	5%	75%
2	20%	5%	75%
3	20%	5%	75%
4	40%	10%	50%
5	40%	10%	50%
6	40%	10%	50%
7	20%	0%	80%
8	20%	0%	80%
9	20%	0%	80%
	Sanddorntrester		
10	20%	0%	80%
11	20%	0%	80%
12	20%	0%	80%

Maisgrieß = 9,64% Feuchte

Sanddornpulver/trester = 9,39% Feuchte

Zucker ~ 0% Feuchte

Gesamtfeuchte (Mischung) Versuche 1-3: 9,11%

$$20\% \text{ Sd.} * 20\text{kg/h} * 9,39\% = 0,376\text{kg/h H}_2\text{O}$$

$$75\% \text{ Mais} * 20\text{kg/h} * 9,64\% = 1,446\text{kg/h H}_2\text{O}$$

$$0,376+1,446 = 1,822/20*100 = \underline{\underline{9,11\%}} \text{ Feuchte (Mischung)}$$

$$20*0,0939+5*0+75*0,0964$$

$$=0,09108*100 = \underline{\underline{9,11\%}}$$

Versuche 1-3: 9,11% = 1,822kg/h

Versuche 4-6: 8,58% = 1,716kg/h

Versuche 7-9: 9,59% = 1,918kg/h

Versuche 10-12: 9,59% = 1,918kg/h

Rechenbeispiel: Versuch 3 (1-3)

$$y = \frac{1,822\text{kg/h} + x}{20\text{kg/h} + x} \quad y = \frac{1,822\text{kg/h} + 1,39\text{kg/h}}{20\text{kg/h} + 1,39\text{kg/h}} \quad y = 15\% \text{ Gesamtfeucht}$$

$$y = 0,2456 * x - 0,1006$$

$$y = 0,2456 * \underline{\underline{6,07\%}} - 0,1006$$

$$\underline{\underline{y = 1,39\text{kg/h H}_2\text{O}}}$$

→ 1,39kg/h zusätzliches Wasser → 6,07% ~ 6,1% Pumpenleistung

Ablauf:

600 rpm	Gesamtfeuchte	Wasser [kg/h]	Pumpenleistung [%]
I	20,0%	2,72	11,5
II	17,5%	2,04	8,7
III	15,0%	1,39	6,1
IV	20,0%	2,86	12,1
V	17,5%	2,16	9,2
VI	15,0%	1,51	6,6

600 rpm	Gesamtfeuchte	Wasser [kg/h]	Pumpenleistung [%]
VII	20,0%	2,60	11,0
VIII	17,5%	1,92	8,2
IX	15,0%	1,28	5,6
X	20,0%	2,60	11,0
XI	17,5%	1,92	8,2
XII	15,0%	1,28	5,6

Vorversuch III (8 Proben)

Schneckenkonfiguration: 1 (Standard)

20kg/h Feststoffdurchsatz

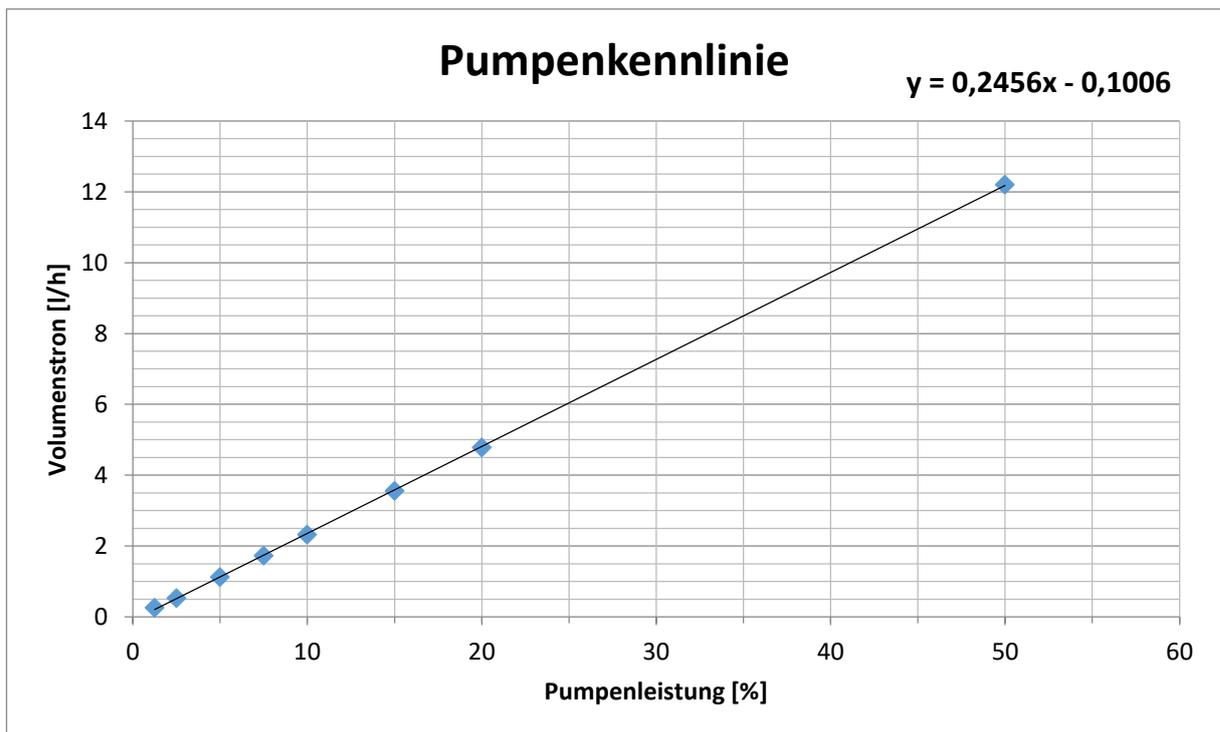
Düsendurchmesser: 2x3mm

...kg/h Wasserzufuhr

Messerumdrehungen: 600 rpm

Zonen: t2 t3 t4 t5 t6

Temperatur: 80°C 120°C 120°C 120°C 120°C



Versuch	Sanddorntrester	Zucker	Maisgrieß
1	20%	20%	60%
2	20%	15%	65%
3	20%	10%	70%
4	20%	0%	80%

5	10%	10%	80%
6	10%	7,5%	82,5%
7	10%	5%	85%
8	10%	0%	90%

Sanddorntrester = 9,72% Feuchte

Maisgrieß = 9,30% Feuchte

Zucker ~ 0% Feuchte

Gesamtfeuchte (Mischung) Versuch 1: 7,524%

20% Sd. * 20kg/h * 9,72% = 0,389kg/h H₂O

60% Mais * 20kg/h * 9,30% = 1,116kg/h H₂O

20% Zucker*20kg/h*0,00% = 0,0kg/h H₂O

0,389+1,116 = 1,505/20*100 = 7,525% Feuchte (Mischung)

0,2*0,0972+0,2*0+0,6*0,0930

=0,07524*100 = 7,524%

Rechenbeispiel: Versuch 1

$y = \frac{1,505\text{kg/h} + x}{20\text{kg/h} + x}$ $y = \frac{1,505\text{kg/h} + 1,76\text{kg/h}}{20\text{kg/h} + 1,76\text{kg/h}}$ $y = 15,00\%$ Gesamtfeucht

$y = 0,2456 * x - 0,1006$

$y = 0,2456 * 7,576\% - 0,1006$

$x = \frac{1,76 + 0,1006}{0,2456}$

$y = 1,76\text{kg/h H}_2\text{O}$

$x = 7,576\%$

→ 1,76kg/h zusätzliches Wasser → 7,576% ~ 7,6% Pumpenleistung

Ablauf:

600 rpm	Gesamtfeuchte	Wasser [kg/h]	Pumpenleistung [%]
I	15%	1,760	7,6
II	15%	1,650	7,1
III	15%	1,540	6,7
IV	15%	1,323	5,8
V	15%	1,550	6,7
VI	15%	1,495	6,5
VII	15%	1,442	6,3
VIII	15%	1,333	5,8

Hauptversuch I: 7 (14) Proben

Schneckenkonfiguration: 1 (Standard)

20kg/h Feststoffdurchsatz

Düsendurchmesser: 2x3mm

...kg/h Wasserzufuhr

Schneckenumdrehungen: 600...1800 rpm

Messerumdrehungen: 1000rpm

Rezeptur: 17,5% Sanddornrester

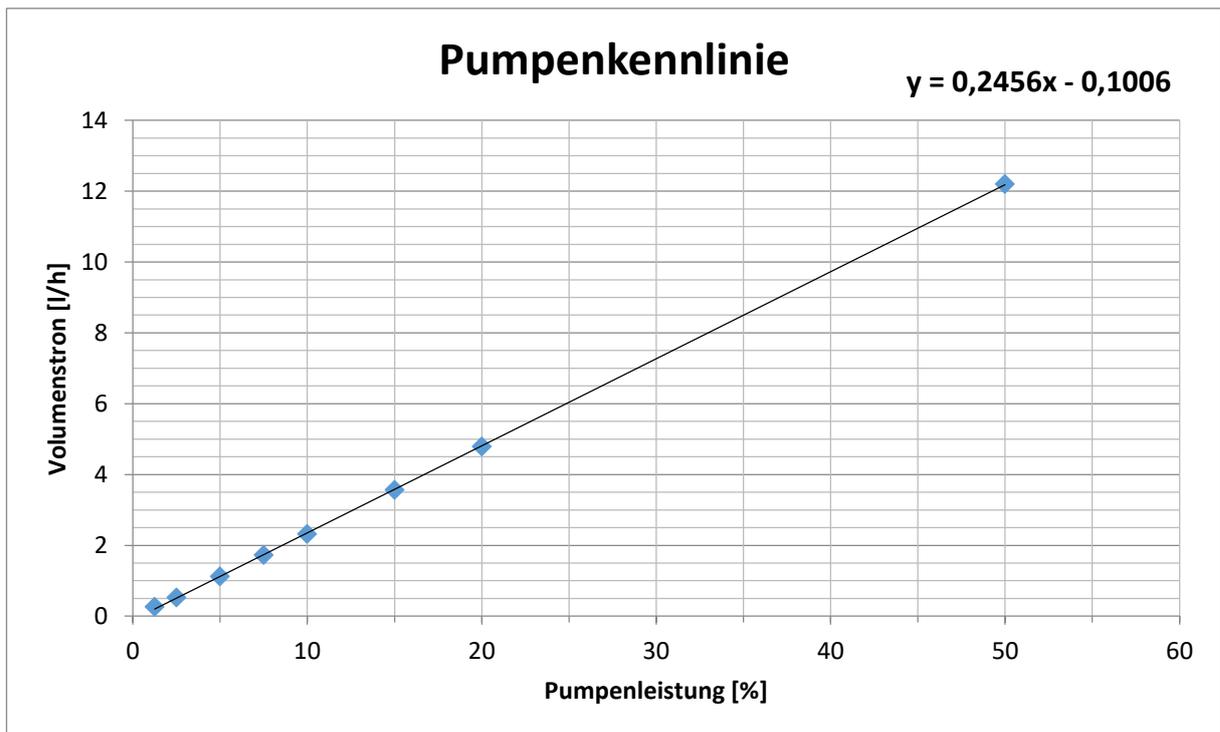
Gesamtfeuchte 15% und 12,5%

15,0% Zucker

67,5% Maisgrieß

Zonen: t2 t3 t4 t5 t6

Temperatur: 80°C 120°C 120°C 120°C 120°C



Sanddornrester = 9,32% Feuchte

Maisgrieß = 9,30% Feuchte

Zucker ~ 0% Feuchte

Gesamtfeuchte (Mischung) Versuch 1: 7,909%

17,5% Sd. * 20kg/h * 9,32% = 0,326kg/h H₂O

67,5% Mais * 20kg/h * 9,30% = 1,256kg/h H₂O

15% Zucker * 20kg/h * 0,00% = 0,000kg/h H₂O

$0,175*0,0932+0,15*0+0,675*0,0930$
 $=0,07909*100 = \underline{\underline{7,909\%}}$

$0,326+1,256 = \underline{\underline{1,582kg/h}}/20kg/h*100 = \underline{\underline{7,91\%}}$ Feuchte (Mischung)

Rechenbeispiel: 15% Gesamtfeuchte

$y = \frac{1,582kg/h + x}{20kg/h + x}$ $y = \frac{1,582kg/h + 1,67kg/h}{20kg/h + 1,67kg/h}$ $y = 15,00\%$ Gesamtfeuchte

$y = 0,2456*x - 0,1006$

$\longrightarrow x = \frac{1,67 + 0,1006}{0,2456}$

$\underline{\underline{x = 7,209\%}}$

$y = 0,2456*7,209\% - 0,1006$

$\underline{\underline{y = 1,67kg/h H_2O}}$

→ 1,76kg/h zusätzliches Wasser → 7,209% ~ 7,2% Pumpenleistung

Rechenbeispiel: 12,5% Gesamtfeuchte

$y = \frac{1,582kg/h + x}{20kg/h + x}$ $y = \frac{1,582kg/h + 1,05kg/h}{20kg/h + 1,05kg/h}$ $y = 12,50\%$ Gesamtfeuchte

$y = 0,2456*x - 0,1006$

$\longrightarrow x = \frac{1,05 + 0,1006}{0,2456}$

$\underline{\underline{x = 4,685\%}}$

$y = 0,2456*4,685\% - 0,1006$

$\underline{\underline{y = 1,05kg/h H_2O}}$

→ 1,05kg/h zusätzliches Wasser → 4,685% ~ 4,7%% Pumpenleistung

15% Gesamtfeuchte → 1,76kg/h H₂O = 7,2% Pumpenleistung

Ablauf:

Versuch	Drehzahl	Wasser [kg/h]	Pumpenleistung [%]
I	600	1,76kg/h	7,2%
II	800		
III	1000		
IV	1200		
V	1400		
VI	1600		
VII	1800		

Versuch	Ø Extrudate [mm]	Schüttdichte [g/l]	Drehmoment [%]	Düsentemp. [°C]	Druck [bar]
I					
II					
III					
IV					
V					
VI					
VII					

12,5% Gesamtfeuchte → 1,76kg/h H₂O = 7,2% Pumpenleistung

Versuch	Drehzahl	Wasser [kg/h]	Pumpenleistung [%]
I	600	1,05kg/h	4,7%
II	800		
III	1000		
IV	1200		
V	1400		
VI	1600		
VII	1800		

Versuch	Ø Extrudate [mm]	Schüttdichte [g/l]	Drehmoment [%]	Düsentemp. [°C]	Druck [bar]
I					
II					
III					
IV					
V					
VI					
VII					

Ronny's Versuch: 8,38% Gesamtfeuchte „Special Pulver“

- für 15% Gesamtfeuchte → 1,560kg/h H₂O = 6,76% ~**6,8% Pumpenleistung**
- für 12,5% Gesamtfeuchte → 0,942kg/h H₂O = 4,25% ~**4,3% Pumpenleistung**

Hauptversuch II: 8 Proben

Schneckenkonfiguration: 1 (Standard)

20kg/h Feststoffdurchsatz

Düsendurchmesser: 1x3mm

...kg/h Wasserzufuhr

Schneckenumdrehungen: 600...1200 rpm

Zonen: t2 t3 t4 t5 t6

Temperatur: 80°C 120°C 120°C 120°C 120°C

Rezeptur: 12,5% Sanddornrester

Gesamtfeuchte 15%

10,0% Zucker

77,5% Maisgrieß

+110,8g Sanddornsafte/kg Prämix

Sanddornrester = 5,49% Feuchte

Sanddornsafte = 78,96% Feuchte

Maisgrieß = 9,30% Feuchte

Zucker ~ 0% Feuchte

Gesamtfeuchte (Mischung) Versuch 1: 9,44%

12,5% Sd. * 20kg/h * 5,49% = 0,137kg/h H₂O

$0,125 * 0,0549 + 0,1 * 0 + 0,775 * 0,093$

77,5% Mais * 20kg/h * 9,30% = 1,442kg/h H₂O

$= 0,09436 * 100 = \underline{\underline{9,44\%}}$

10% Zucker * 20kg/h * 0,00% = 0,000kg/h H₂O

$0,137 + 1,442 = \underline{\underline{1,579\text{kg/h}}}$ / 20kg/h * 100 = 9,44% Feuchte (Mischung)

Die Dosierung des aufkonzentrierten Sanddornsafte beträgt 110,82g/kg Prämix, um einen Gesamtwassergehalt von 15,00% zu erreichen.

Für 20kg/h

→ 2,22kg/h Sanddornsafte → 9,94% ~ 9,9% Pumpenleistung

Für 30kg/h

→ 3,33kg/h Sanddornsafte → 14,9% Pumpenleistung

Ablauf:

Versuch	Drehzahl	Pumpenleistung [%]
1	600	20
2	800	20
3	1000	20
4	1200	20
5	600	30
6	800	30
7	1000	30
8	1200	30

Für 20kg/h

Büssow's Versuch: 8,17% Gesamtfeuchte „Special Pulver Sanddorn“

- für 15% Gesamtfeuchte → 1,610kg/h H₂O = 6,96% ~**7,0% Pumpenleistung**
- für 12,5% Gesamtfeuchte → 0,990kg/h H₂O = 4,44% ~**4,4% Pumpenleistung**

Büssow's Versuch: 8,54% Gesamtfeuchte „Special Pulver Aronia“

- für 15% Gesamtfeuchte → 1,520kg/h H₂O = 6,60% ~**6,6% Pumpenleistung**
- für 12,5% Gesamtfeuchte → 0,910kg/h H₂O = 4,11% ~**4,1% Pumpenleistung**

Hauptversuch III: 8 Proben

Schneckenkonfiguration: 1 (Standard)

20kg/h Feststoffdurchsatz

Düsendurchmesser: 1x3mm

...kg/h Wasserzufuhr

Schneckenumdrehungen: 700...900 rpm

Gesamtfeuchte 15%

Ziel ist es mit jeder Rezeptur die 15% Gesamtwassergehalt und das Verhältnis von 3,43:1 des Süße/Säure-Verhältnisses zu waren.

Nach dem Originalen Verhältnis : 104,65Sk und 30,43g Zitronensäure.

Nach diesem Schema wurden die Rezepturen berechnet. Da der Gesamtwassergehalt über 15% hinausging, wurden die Versuche 4-9 mit der Standardrezeptur und einer verringerten Zugabe an Sanddornmark durchgeführt. Für die Problematik wurde ein Beispiel berechnet, um die Problematik zu erklären.

Rezeptur I: (1-3)

12,5% Sanddornresterpulver (1mm) **+104,2g Sanddornmark /kg Prämix**

8,02% Zucker

79,48% Maisgrieß

Rezeptur II: (4-6)

12,5% Sanddornresterpulver (1mm)

10,38% Zucker

77,162% Maisgrieß

Rezeptur III: (7-9)

12,5% Sanddornrestere (3mm)

10,38% Zucker

77,162% Maisgrieß

Sanddornrestere = 5,49% Feuchte

Maisgrieß = 9,30% Feuchte

Sanddornmark = 83,45% Feuchte

Zucker ~ 0% Feuchte

Versuch	Drehzahl	Feuchte	Durchsatz
1	700	15,19	20
2	800	15,19	20
3	900	15,19	20
4	700	15,0	20
5	800	15,0	20
6	900	15,0	20
7	700	15,0	20
8	800	15,0	20
9	900	15,0	20

Rechenbeispiel: Versuch 4-9

Süßkraft:

Saccharose: *1

Glucose: *0,7

Fructose: *1,25

Sanddorntrester:

0,000g/100g → 0,0*1,25*1

0,215g/100g → 0,215*1,25*0,7

0,120g/100g → 0,12*1,25*1,25

SüßkraftGesamt= 0,38

Zitronensäuregehalt:

12,76g/100g → 12,76*1,25

Zitronensäureg.= 15,95g

Sanddornmark:

0,000g/100g → 0,0*1,95*1

0,348g/100g → 0,348*1,95*0,7

0,170g/100g → 0,17*1,95*1,25

SüßkraftGesamt= 0,89

7,420g/100g → 7,42*1,95

Zitronensäureg.= 14,48g

Zucker:

100g/100g → 100*1,0338*1

0,0g/100g → 0,0*1,0338*0,7

0,0g/100g → 0,0*1,0338*1,25

SüßkraftGesamt= 103,38

0,38+0,89+10,34 = 104,65 Süßkraft

15,95g+14,48g = 30,43g Zitronensäure

Gesamtwassergehalt je kg Prämix+ 195g Sdm.

Trester: 0,0549*125= 6,86g H₂O

Sdm.: 0,8345*195= 162,73g H₂O

Mais: 0,0930*771,162= 71,76g H₂O

6,86+162,73+71,76= 241,35g H₂O/1195g → 20,20% zu feucht!

Neue Berechnung:

6,86g+71,76g=78,62g H₂O/kg Prämix

$$y = \frac{\frac{78,62g}{kg} + 0,8345 * x}{1kg + x} * 100 \quad y = 15,00\% \text{ Gesamtfeuchte}$$

x=104,2g Sdm. je kg Prämix

Für 20kg/h

→ 2,084kg/h Sanddornmark → 9,9% Pumpenleistung

Probennummer: _____

Fragebogen

Gesamtbeliebtheit

Missfällt
außerordentlich

Weder gut
noch schlecht

Gefällt
außerordentlich

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Beliebtheit für den Geschmack

Missfällt
außerordentlich

Weder gut
noch schlecht

Gefällt
außerordentlich

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Wie beurteilen Sie die Süße des Produktes? zu wenig süß Genau richtig zu süß <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5	Bemerkungen (Entscheidungsgründungen) _____ _____
Wie beurteilen Sie die Säure des Produktes? zu wenig sauer Genau richtig zu sauer <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5	Bemerkungen (Entscheidungsgründungen) _____ _____

Beliebtheit für die Textur/Form

Missfällt
außerordentlich

Weder gut
noch schlecht

Gefällt
außerordentlich

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Wie beurteilen Sie die Härte des Produktes? zu weich Genau richtig zu hart <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5	Bemerkungen (Entscheidungsgründungen) _____ _____
Wie beurteilen Sie die Knusprigkeit des Produktes? zu locker Genau richtig zu fest <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5	Bemerkungen (Entscheidungsgründungen) _____ _____
Wie beurteilen Sie die Größe (Ø) des Produktes? zu klein Genau richtig zu groß <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5	Bemerkungen (Entscheidungsgründungen) _____ _____

Trockensubstanzbestimmung

Satower Trester 1. Trocknungsversuch (60°C)

* Wirbelschichttrocknung (50°C)

Trocknungszeit [min]	I [%]	II [%]	III [%]	Mittelwert [%]
0	27,65	27,91	27,69	27,75
60	40,20	38,70	39,10	39,33
90	52,33	52,89	52,23	52,48
120	64,13	63,83	64,01	63,99
150	88,65	90,00	89,01	89,22
195*	91,12	90,11	91,38	90,87

Satower Trester 2. Trocknungsversuch (70°C)

Trocknungszeit [min]	I [%]	II [%]	III [%]	Mittelwert [%]
0	29,40	29,88	29,85	29,71
60	54,89	54,36	55,42	54,89
90	73,60	74,86	74,55	74,33
120	88,36	89,58	89,01	88,98
150	91,29	91,01	90,68	90,99
180	92,67	92,08	92,35	92,36

Satower Trester 3. Trocknungsversuch (70°C)

Trocknungszeit [min]	I [%]	II [%]	III [%]	Mittelwert [%]
0	25,33	26,09	25,79	25,74
60	52,03	52,36	52,71	52,36
90	70,46	70,83	71,01	70,77
120	80,26	79,71	80,16	80,04
150	91,967	91,02	90,88	91,19

Trester „Leikora“ (Sanddorn GbR)

I [%]	II [%]	III [%]	IV [%]	V [%]	Mittelwert [%]
93,75	93,73	94,43	95,13	95,47	94,50

Sanddornsafft (aufkonzentriert, Sanddorn GbR)

I [%]	II [%]	III [%]	IV [%]	V [%]	Mittelwert [%]
79,11	78,92	79,30	78,78	78,71	78,96

Sanddornmark (Bayernwald Früchteverwertung KG)

I [%]	II [%]	III [%]	IV [%]	V [%]	Mittelwert [%]
83,46	83,99	83,04	82,99	83,79	83,45

Maisgrieß Charge I (Vorversuche 1-2)

I [%]	II [%]	III [%]	Mittelwert [%]
90,56	90,42	90,11	90,36

Maisgrieß Charge II (Vorversuch 3 und Hauptversuche 1-3)

I [%]	II [%]	III [%]	Mittelwert [%]
90,44	90,66	90,99	90,70

Allgemeine Versuchsergebnisse

siehe CD, Dateiname: „Extruder Datenblatt.xlsx“

Sensorische Auswertung

siehe CD, Dateiname: „Sensorikauswertung.xlsx“

Gesamte Versuchsdaten

siehe CD, Dateiname: „Extruder_Datenblatt.xlsx“

Texture Analyzer Messungen

siehe CD, Ordner: Texturmessungen

Säuregehalt und Zuckerbestimmung

siehe CD, Dateiname: „Berechnung der Gesamtsäure.xlsx“

„enzymatische Zuckerbestimmung.xlsx“

Berechnung Vitamin C, Gesamtphenolgehalt und Antioxidative Kapazität

siehe CD, Dateiname: „Analyseergebnisse Sanddornprodukte.xlsx“

Berechnung Vitamin C-Verlust

Trocknung Satower Trester Vitamin C-Gehalt Trockenmasse

→ Sanddornrester (nass) 220,50mg/100g 24,44%

→ Sanddornrester (trocken) 511,41mg/100g 90,61%

Trester (nass): $220,50/24,44*100=$ 902,21mg/100g TM

Trester (trocken): $511,41/90,61*100=$ 564,41mg/100g TM

$100-((564,41/902,21)*100)$

→ **Verlust von 37,45% Vitamin C**

Hauptversuch III pro kg Prämix Vitamin C-Gehalt Trockenmasse

→ Sanddornrester: 113,22g/kg 185mg/100g 95,50%

→ Sanddornmark: 94,20g/kg 68mg/100g 16,55%

→ Extrudate(Mittelwert): 353,46mg/kg 92,16%

Vitamin C-Gehalt pro kg Prämix

Trester: $185\text{mg}/100\text{g}*1,1322=$ 209,457mg/kg

Sanddornmark: $68\text{mg}/100\text{g}*0,9420 =$ 64,04mg/kg

Trester: $209,457/95,5*100=$ 219,33mg/kg TM

Sanddornmark: $64,04/16,55*100=$ 387,07mg/kg TM

Extrudate: $353,46/92,16*100=$ 383,53mg/kg TM

Summe: 606,40mg/kg Prämix TM

Extrudate: 383,53mg/kg Prämix TM

$100-((353,46/606,40)*100)$

→ **Verlust von 36,75% Vitamin C**

Berechnung Gesamtphenolgehalt-Verlust

<u>Hauptversuch III pro kg Prämix</u>	Vitamin C-Gehalt	Trockenmasse
→ Sanddorntrester: 113,22g/kg	1206,2mg/100g	95,50%
→ Sanddornmark: 94,20g/kg	333,7mg/100g	16,55%
→ Maisgrieß: 719,80g/kg	88,0mg/100g	90,70%
→ Extrudate(Mittelwert):	269,4mg/100g	92,16%

Vitamin C-Gehalt pro kg Prämix

Trester: $1206,2\text{mg}/100\text{g} \cdot 1,1322 = 1365,66\text{mg}/\text{kg}$

Sanddornmark: $333,7\text{mg}/100\text{g} \cdot 0,9420 = 318,11\text{mg}/\text{kg}$

Maisgrieß: $88,00\text{mg}/100\text{g} \cdot 7,198 = 633,42\text{mg}/\text{kg}$

Trester: $1365,66/95,5 \cdot 100 = 1430,01\text{mg}/\text{kg TM}$

Sanddornmark: $318,11/16,55 \cdot 100 = 1922,11\text{mg}/\text{kg TM}$

Maisgrieß: $633,42/90,7 \cdot 100 = 698,37\text{mg}/\text{kg TM}$

Extrudate: $2694/92,16 \cdot 100 = 2923,18\text{mg}/\text{kg TM}$

Summe: 4050,49mg/kg Prämix TM

Extrudate: 2923,18mg/kg Prämix TM

$100 - ((2923,18/4050,49) \cdot 100)$

→ **Verlust von 27,83% phenolischen Verbindungen**

Berechnung Antioxidative Kapazität -Verlust

<u>Hauptversuch III pro kg Prämix</u>	Vitamin C-Gehalt	Trockenmasse
→ Sanddorntrester: 113,22g/kg	13,12mmol/100g	95,50%
→ Sanddornmark: 94,20g/kg	3,95mmol/100g	16,55%
→ Maisgrieß: 719,80g/kg	0,37mmol/100g	90,70%
→ Extrudate(Mittelwert):	2,18mmol/100g	92,16%

Vitamin C-Gehalt pro kg Prämix

Trester: $13,12\text{mmol}/100\text{g} * 1,1322 = 14,85\text{mmol}/\text{kg}$

Sanddornmark: $3,95\text{mmol}/100\text{g} * 0,9420 = 3,72\text{mmol}/\text{kg}$

Maisgrieß: $0,37\text{mmol}/100\text{g} * 7,198 = 2,66\text{mmol}/\text{kg}$

Trester: $14,85/95,5 * 100 = 15,55\text{mmol}/\text{kg TM}$

Sanddornmark: $3,72/16,55 * 100 = 22,48\text{mmol}/\text{kg TM}$

Maisgrieß: $2,66/90,7 * 100 = 2,93\text{mmol}/\text{kg TM}$

Extrudate: $21,80/92,16 * 100 = 23,65\text{mmol}/\text{kg TM}$

Summe: $40,96\text{mmol}/\text{kg Prämix TM}$

Extrudate: $23,65\text{mmol}/\text{kg Prämix TM}$

$100 - ((23,65/40,96) * 100)$

→ **Verlust von 42,26% Antioxidative Kapazität**

L*a*b-Messungen

Vorversuch 2 Extrudate

Probe	L	a	b	L*a*b
1	55,39 55,28 55,43	18,81 18,78 18,84	52,94 52,83 53,01	55,37 18,81 52,93
2	56,20 56,35 56,38	18,37 18,35 18,36	52,52 52,65 52,63	56,31 18,36 52,60
3	55,68 55,71 55,65	17,63 17,62 17,58	49,27 49,29 49,20	55,68 17,61 49,25
3*				
4	48,79 48,83 48,75	20,37 20,38 20,34	48,85 48,94 48,75	48,79 20,36 48,84
5	49,23 49,18 49,28	20,51 20,46 20,54	50,20 50,09 50,37	49,23 20,50 50,52
6	50,75 50,56 50,75	20,48 20,47 20,46	52,85 52,60 52,82	50,69 20,47 52,76
6*	51,45 51,72 51,36	20,18 20,13 20,20	53,04 52,99 53,01	51,51 20,17 53,01
7	55,16 55,31 55,14	18,75 18,80 18,77	52,87 53,05 52,93	55,20 18,78 52,95
8	56,66 56,68 56,65	17,34 17,35 17,35	49,24 49,26 49,22	56,66 17,35 49,24
9	57,80 57,72 57,71	15,86 15,88 15,80	45,30 45,27 45,22	57,74 15,85 45,26
9*	55,80 55,81 55,81	16,17 16,17 16,11	42,35 42,34 42,32	55,81 16,15 42,34
10	54,79 55,30 54,89	18,01 18,05 17,99	48,75 49,18 48,89	54,99 18,02 48,94
11	59,08 59,65 59,46	15,72 15,73 15,80	49,48 49,77 49,66	59,40 15,75 49,64
12	61,07 61,49 61,24	14,16 14,16 14,12	44,28 44,58 44,28	61,27 14,15 44,38
12*	57,19 57,21 57,13	15,56 15,57 15,56	42,07 42,09 42,01	57,18 15,75 42,06

Hauptversuch 3 Extrudate

Probe	L	a	b	L*a*b
1	55,44 55,45 55,18	20,56 20,45 20,43	46,11 45,99 46,15	55,36 20,48 46,08
2	55,05 54,95 54,91	20,89 20,79 20,89	45,80 45,89 45,92	54,97 20,86 45,87
3	55,38 55,45 55,40	20,84 28,89 20,79	45,98 45,99 46,16	55,41 20,84 46,04
4	56,25 56,13 56,21	21,10 21,19 21,09	48,05 48,11 47,98	56,20 21,13 48,05
5	55,68 55,89 55,74	20,89 20,99 20,99	46,49 46,52 46,64	55,77 20,96 46,55
6	57,93 57,89 58,01	19,85 19,91 19,68	46,30 46,25 46,09	57,94 19,81 46,21
7	56,39 56,42 56,53	21,04 21,17 21,17	48,00 47,95 47,85	56,45 21,13 47,93
8	56,10 56,14 55,94	56,00 56,02 56,15	46,60 46,61 46,55	56,06 20,75 46,59
9	56,68 56,71 56,51	56,70 56,75 56,64	46,00 46,02 46,09	56,63 20,70 46,04

Hauptversuch 3 Prämix I-III

Probe	L	a	b	L*a*b
I	64,77 64,70 64,75	17,76 17,72 17,71	45,91 45,83 46,02	64,74 17,73 45,92
II	67,56 67,55 67,54	15,15 15,14 15,15	44,66 44,57 44,58	67,55 15,15 44,60
III	68,62 68,64 68,60	17,70 17,72 17,77	45,90 45,96 45,90	68,62 17,73 45,92

Durchmesser der Extrudate (Vorversuch 1)

Probe	I	II	III	IV	V	Mittelwert [mm]
2	14,2	15,4	14,8	16,5	16,8	15,54
3	14,0	13,3	13,4	13,4	14,8	13,78
4	10,9	10,4	11,5	11,1	12,0	11,18
5	8,8	8,4	8,9	9,0	9,6	8,64
6	7,8	7,5	8,1	7,6	7,2	7,64
7	5,7	6,3	6,2	6,2	6,5	6,18
8	8,8	9,0	8,7	8,8	8,9	8,84
9	10,4	11,2	12,0	11,8	11,2	11,32
10	13,6	13,6	14,2	13,5	14,1	13,8
11	13,0	14,1	14,4	13,2	12,6	13,46
14	10,3	13,0	11,9	12,7	12,1	12,2
15	11,8	12,1	13,1	11,2	12,5	12,14
16	10,2	10,6	11,1	11,9	10,3	10,82
17	8,9	9,1	9,7	9,6	9,5	9,36
18	5,4	5,9	6,0	5,1	5,3	5,54

Durchmesser der Extrudate (Vorversuch 2)

Probe	I	II	III	IV	V	Mittelwert [mm]
1	5,6	5,4	5,7	5,7	5,5	5,5
2	5,3	5,6	5,4	5,8	5,6	5,5
3	6,6	6,9	6,8	6,8	6,8	6,8
4	3,8	3,9	3,7	3,8	3,9	3,8
5	3,7	3,6	3,8	3,8	3,9	3,8
6	3,7	3,7	3,7	3,8	3,8	3,7
6*	3,5	3,6	3,7	3,7	3,6	3,8
7	5,8	5,4	5,6	5,6	5,5	5,6
8	6,5	6,5	6,4	6,3	6,6	6,5
9	8,5	8,3	8,2	8,4	8,5	8,4
9*	10,2	10,6	10,0	10,4	10,6	10,4
10	5,5	5,3	5,4	5,5	5,5	5,5
11	8,2	7,9	8,1	8,0	7,9	8,0
12	11,0	11,1	10,9	11,0	10,8	11,0
12*	9,9	9,7	9,1	9,3	9,3	9,5

Durchmesser der Extrudate (Vorversuch 3)

Probe	I	II	III	IV	V	Mittelwert [mm]
1	3,9	3,8	3,9	4,0	3,8	3,9
2	4,8	4,8	5,0	4,9	4,9	4,9
3	5,4	5,5	5,5	5,5	5,4	5,5
4	9,2	9,1	8,9	9,0	8,9	9,0
5	6,5	6,7	6,7	6,8	6,8	6,7
6	7,5	7,5	7,4	7,4	7,6	7,5
7	9,4	9,5	9,4	9,6	9,5	9,5
8	12,6	12,4	12,3	12,2	12,3	12,3

Durchmesser der Extrudate (Hauptversuch 1)

Probe	I	II	III	IV	V	Mittelwert [mm]
1	4,0	4,0	4,1	4,1	3,9	4,0
2	4,1	4,1	4,2	4,2	4,0	4,1
3	3,5	3,7	3,7	3,3	3,3	3,5
4	3,8	3,8	3,9	4,0	3,9	3,9
5	4,5	4,6	4,7	4,5	4,6	4,6
6	3,9	3,9	4,1	4,2	4,0	4,0
7	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3
8	3,5	3,6	3,7	3,7	3,5	3,6
9	3,9	3,9	4,1	4,1	3,7	3,9
10	3,9	3,8	3,7	4,0	4,0	3,9
11	4,4	4,7	4,6	4,6	4,6	4,6
12	4,8	4,8	4,5	4,7	4,6	4,7

Durchmesser der Extrudate (Hauptversuch 2)

Probe	I	II	III	IV	V	Mittelwert [mm]
1	5,5	5,6	5,8	5,7	5,7	5,7
2	6,4	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
3	6,3	6,2	6,5	6,3	6,3	6,3
4	6,0	5,9	6,3	6,2	6,1	6,1
5	5,1	5,1	5,2	5,3	5,2	5,2
6	5,7	5,8	5,7	5,9	5,8	5,8
7	6,0	6,2	6,2	6,2	6,3	6,2
8	6,1	6,1	6,1	6,3	6,1	6,1

Durchmesser der Extrudate (Hauptversuch 3)

Probe	I	II	III	IV	V	Mittelwert [mm]
1	7,0	7,0	7,1	7,1	6,9	7,0
2	7,0	7,0	7,0	7,0	7,1	7,0
3	7,1	7,3	7,4	7,0	6,9	7,1
4	5,7	5,8	5,8	5,9	6,0	5,9
5	6,2	6,3	6,3	6,4	6,3	6,3
6	6,6	6,9	6,8	6,8	6,8	6,8
7	5,8	5,7	5,8	5,6	5,9	5,8
8	6,2	6,2	6,2	6,1	6,1	6,2
9	6,4	6,4	6,6	6,9	6,6	6,6

Erklärung über die selbstständige Anfertigung der Arbeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich erkläre weiterhin, dass die abgegebene elektronische Fassung mit der eingereichten Arbeit identisch ist.

Neubrandenburg, den 2018

Markus Stein