



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Masterstudiengang Lebensmittel- und Bioprodukttechnologie

Master Thesis

Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung von Fruchtpulver aus Sanddorn und Aronia

URN: urn:nbn:de:gbv:519-thesis2018-0027-5

vorgelegt von: Ronny Büssow

Betreuer: Prof. Dr. Meurer

Prof. Dr. Flick

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	3
Danksagung	4
Abstract.....	5
1 Einleitung.....	6
2 Stand der Wissenschaft und Technik.....	7
2.1 Sanddorn.....	7
2.2 Aronia	8
2.3 Trocknung von Sanddorn & Aronia zur Pulverherstellung.....	9
2.4 Gefriertrockner	11
2.4.1 Prinzipien des Lyozyklus (Ablauf einer Gefriertrocknung).....	12
2.4.2 Einfriertemperatur, Glasübergangstemperatur und Schmelztemperatur	13
2.4.3 Das Gefrieren.....	14
2.4.4 Die Trocknungsabschnitte	14
2.5 Pulver und Obsterzeugnisse.....	16
3 Material & Methoden	17
3.1 Geräte und Anlagen	17
3.2 Zielsetzung der Versuche	17
3.2.1 Vorversuche.....	17
3.2.2 Hauptversuche	18
3.3 Material.....	18
3.4 Durchführung der Versuche	19
3.4.1 Durchführung der Vorversuche	19
3.4.1.1 Vorversuch V1.....	19
3.4.1.2 Vorversuch V2.....	20
3.4.1.3 Vorversuch V3.....	21
3.4.1.4 Vorversuch V4.....	21
3.4.2 Durchführung der Hauptversuche	23
3.4.2.1 Hauptversuch V5	23
3.4.2.2 Hauptversuch V6	24
3.4.2.3 Hauptversuch V7	25
3.4.2.4 Hauptversuch V8	25
3.4.2.5 Hauptversuch V9	26

3.4.2.6 Hauptversuch V10	27
3.4.2.7 Hauptversuch V11	28
3.4.2.8 Hauptversuch V12	30
3.5 Analytische Methoden.....	31
3.5.1 Vitamin C	31
3.5.2 Gesamtphenolbestimmung (Folin-Ciocalteu).....	32
3.6 Einstellung der Gefriertrocknung	32
4 Ergebnisse.....	34
4.1 Vorversuch V1-V2	34
4.2 Vorversuch V3.....	36
4.3 Vorversuch V4.....	38
4.4 Hauptversuch V5	40
4.5 Hauptversuch V6	43
4.6 Hauptversuch V7	47
4.7 Hauptversuch V8	48
4.8 Hauptversuch V9	50
4.9 Hauptversuch V10	53
4.10 Hauptversuch V11	55
4.10.1 Sanddornversuche.....	56
4.10.2 Aroniaversuche	59
4.10.3 Farbuntersuchung	61
4.10.4 Löslichkeitsuntersuchung	63
4.11 Hauptversuch V12	64
4.12 Hauptversuch V13	66
4.13 Fehlerbetrachtung	67
5 Abschlussdiskussion.....	69
6. Zusammenfassung	73
7 Literaturverzeichnis	74
8 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	77
Anlagen.....	79

Abkürzungsverzeichnis

Fa.	Firma
L*a*b	Dreidimensionaler Farbraum
Lot. Nr.	Losnummer (Identifikationsnummer einer Charge)
nm	Absorption (Nanometer)
RGB	Additiver Farbraum
ssp.	Subspezies (Taxonomische Rangstufe)
Tab.	Tabelle
TS %	Trocknungsparameter (Trockensubstanz %)
U/min	Drehzahl (Umdrehungen/Minute)
V1 – V12	Versuch mit zugehöriger Nummer

Danksagung

Für die Unterstützung während der gesamten Zeit, möchte ich mich recht herzlich bei meinen Betreuern Prof. Meurer und Prof. Flick bedanken. Zusätzlich bei den Projektmitarbeitern Frau Schultze, Frau Schweitzer, Frau Hoffmann, Herr Ahlborn und Herr Stein. Außerdem geht ein spezieller Dank an Frau Linngrön für das Korrigieren meiner Arbeit.

Abstract

Powders made of wild fruits like chokeberry and sea buckthorn have some real exciting characteristics. That's why it is important to use mostly gentle techniques to achieve good products. The biggest problems can happen after the drying of the products, which is combined with sticky and agglomerated powders. Main reason for this problem is a high content of water and fruit-acids inside the fruits. It is necessary to dry the products as good as possible with techniques like freeze drying and combine it with a good storage. Another method for achieving high quality powders is, to use thick juice or removing the peel. Should it be impossible to produce a high-quality fruit powder without maltodextrin or other substances, it is important to reduce those on a low level or to use consumer accepted products. However, the products should be easy to use, have high nutritional value and all-important product specific characteristics. Therefore, it is necessary to control all products on colour, vitamin c and water content after the drying process.

1 Einleitung

Pulver aus getrockneten Früchten finden in vielen Bereichen der Lebensmittelindustrie Verwendung. Meist wird das Pulver eingesetzt um Backwaren und Getränke herzustellen. Trends zeigen zudem, dass diese natürlichen Pulver immer beliebter werden für den ernährungsbewussten Menschen. Zunehmend mehr Produkte finden ihren Weg auf den Markt und versprechen dabei ein hundertprozentiges Fruchtpulver aus jeder erdenklichen Frucht. Technologische Verfahren wie Sprühtrocknung und Gefriertrocknung mit nachfolgender Zerkleinerung durch Walzen oder Mühlen bieten sich zur Herstellung dieser an. Jedoch gibt es häufige Probleme der Agglomeration zu beobachten, aufgrund einer zu hohen Hygroskopie (Liu, 2017). Zudem enthalten diese Pulver Fruchtzucker und -säuren was es unmöglich macht, sie zu trocknen ohne den Zusatz von Trocknungszusätzen wie Maltodextrin, welche den Kristallisationspunkt des Produktes erhöhen (Pater-son, 2015).

Sanddorn (*Hippophae rhamnoides*) und Apfelbeere (*Aronia*) bieten eine Vielzahl an Vitaminen aus dem B-Komplex (B1, B2, B6), verschiedene organische Säuren (Apfelsäure, Weinsäure) aber auch die immer im Fokus stehende Ascorbinsäure für die körpereigene Abwehr. Pulver aus diesen Früchten erhöhen nicht nur ihren eigenen Schutz gegen Lebensmittelverderb, sondern konzentrieren auch ihren hohen Anteil an gesunden Bestandteilen. Daher liegt es nahe, auch diese Produkte in Pulverform anzubieten. Problematiken ergeben sich dabei besonders beim Sanddorn, welcher aufgrund seiner wachsartigen und nicht permeablen Haut den Flüssigkeitsaustritt verhindert (Farias, 2011). Vorversuche mit der Apfelbeere zeigten schon, dass eine Herstellung von Pulver möglich ist, diese jedoch aufgrund einer starken Agglomeration der Produkte noch vertieft werden müssen.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Herstellung von Pulver aus den beiden Früchten Sanddorn und Aronia, vorrangig ohne den Zusatz von Maltodextrin. Es wird versucht, durch das in der Literatur empfohlene Verfahren, Gefriertrocknung mit nachfolgendem Mahlen, ein agglomeratfreies Produkt herzustellen, mit der höchstmöglichen Konzentration gewünschter Bestandteile (Vitamine und organische Säuren). Untersuchungen des Pulvers beschränken sich dabei auf Farbe, Trockensubstanz und Konzentration der Inhaltsstoffe. Innerhalb der Arbeit, soll eine für Sanddorn und Aronia geeignete Verarbeitung mittels Gefriertrockner entwickelt und verbessert werden. Die Versuche und Untersuchungen werden im Labormaßstab der Hochschule Neubrandenburg durchgeführt.

2 Stand der Wissenschaft und Technik

2.1 Sanddorn

Als Sanddorn wird eine Pflanzenart aus der Gattung der Sanddorne (*Hippophae*) innerhalb der Familie der Ölweidengewächse bezeichnet. Die Pflanze wächst in kälteren Regionen Asiens und Europas. In Deutschland findet sich entlang der norddeutschen Ostsee- und Nordseeküste weiträumig eine Vielzahl an Sanddornpflanzen. Besonders die Sorte *Hippophae rhamnoides* ssp. *Rhamnoides* wächst häufig in den Regionen von Rügen und Hiddensee. Einige Sorten wurden bereits im 18. Jahrhundert als natürlicher Erosionsschutz für die Küsten eingesetzt (Albrecht, 1993). Bei der genauen Betrachtung der Früchte ist festzustellen, dass sie in etwa aus 90 % ölfreiem Fruchtmark und aus 10 % ölhaltigen Samen bestehen. Die Früchte des Sanddorns besitzen einen überdurchschnittlich hohen Vitamin C-Gehalt und wurden daher bereits im zweiten Weltkrieg als wertvolle Vitaminquelle eingesetzt. Im Vergleich zur Zitrone (80 – 100 mg Vitamin C pro 100 g) besitzt die Frucht des Sanddorns, je nach Sorte, etwa 150 – 900 mg Vitamin C pro 100 g. Besonders die Veränderung des Vitamin C-Gehaltes über den Erntezeitraum und den Prozesszustand der verarbeiteten Früchte, konnte in verschiedenen Studien belegt werden (s. Tab. 1).

Tabelle 1: Vergleich des Vitamin C-Gehaltes verschiedener Sanddorn Subspezies und dem Prozesszustand

Vitamin C-Gehalt	Spezies	Prozesszustand
1680,5 – 1889 mg / 100g	Salcifolia	Beeren
1351 mg / 100g	Sinensis	Beeren
887,7 – 1261,4mg / 100g	Yunnanensis	Beeren
30 – 290mg / 100g	Rhamnoides	Beeren
420 – 1320mg / 100ml	Sinensis	Saft
70 – 290 mg / 100ml	Rhamnoides	Saft
90 – 120mg / 100ml	Mongolica	Saft

Aber auch andere Inhaltsstoffe wie Carotinoide, Tocopherole, Niacin und Phyllochinone besitzen überdurchschnittlich hohe Werte (Heilscher, 2002). Je nach Sorte bedeutet das, dass sich aufgrund von verschiedenen Anbauorten und Wachstumsbedingungen auch eine große Vielzahl an unterschiedlichen Früchten entwickeln können (s. Tab. 2). Dadurch ändern sich auch die Verhältnisse der Inhaltsstoffe, die Größe der Früchte und sogar die Farbgebung. Daher variiert das Erscheinungsbild einer Frucht von der Größe (6-8 mm lang) bis hin zur Farbe (hellgelb – orange-rot). Sanddorn wird als sehr teurer Rohstoff bewertet, besonders aufgrund der sehr schwierigen Ernte und langen Anlaufzeiten von fünf bis acht Jahren bis zur ersten Ernte. In der Lebensmittelindustrie findet die Frucht besonders Anwendung in der Getränkeherstellung (Saft, Nektar) und als Trockenprodukt in Tee oder Honig. Weitere Verwendungsmöglichkeiten sind wie bei anderen Bee-

renfrüchten auch möglich. Die in den Früchten vorhandenen Kerne werden in diesen Fällen entfernt und können eigenständig für die Gewinnung von Sanddorn-Kernöl verwendet werden, welches später Anwendung in der Herstellung von verschiedenen Kosmetikprodukten oder Nahrungsergänzungsmitteln findet.

Tabelle 2: Übersicht der verschiedenen rhamnoides Formen und ihr Vitamin C-Gehalt (Heilscher, 2002).

Spezies/Subspezies	Ort	Vitamin C (mg/100g)
H. rhamnoides ssp. Rhamnoides	Deutsche Form	150 – 310
H. rhamnoides	Deutsche Kultivierung	160 – 340
H. rhamnoides	Deutsche Form	190 – 200
H. rhamnoides ssp. Rhamnoides	Finnland	165 – 293
H. rhamnoides	Russland	85 – 309
H. rhamnoides	Zentralasien	1294

Zusammenfassend gesehen sind Sanddornbeeren hochwertige und nachwachsende Rohstoffe, welche eine Vielzahl an positiven Eigenschaften mit sich bringen. Daher eignen sie sich auch für teure Verarbeitungsprozesse, wie beispielsweise die Gefriertrocknung, um daraus im späteren Verlauf hochwertige Pulver für die Herstellung von Produkten wie Säfte, Gebäck etc. herzustellen.

2.2 Aronia

Aronia (Apfelbeeren) gehören zu der Familie der Rosengewächse. Ursprünge dieser Art finden sich in Nordamerika und Kanada. Etwa 1900 fand eine Migration der Pflanzen über Deutschland bis nach Russland statt. Besonders die verschiedenen Kultivierungen spielen eine relevante Rolle. Die wichtigsten Vertreter sind dabei die Sorte Viking (Finnland) und Nero (Tschechien). Apfelbeeren wachsen an sommergrünen Sträuchern von bis zu 2 m Höhe. An den Sträuchern wachsen rote bis lila-schwarze Beeren, von 6 bis 13 mm Größe. Die Ernte verläuft mechanisch und kann pro Hektar bis zu 12 Tonnen Beeren betragen. Verwendung findet die Aronia besonders aufgrund ihrer intensiven Färbeeigenschaften und den hohen Anteil an phenolischen Bestandteilen. Anthocyane, Oligomere Procyanidine und Phenolsäuren sind dabei hervorzuheben. Einfluss auf den Gehalt dieser wünschenswerten Stoffe sind vor allem die Sorte, Erntezeit und der Standort der Pflanzen. Dies führt zu großen Unterschieden im Gesamtphenolgehalt, Werte von 3440 mg / 100 g Trockengewicht bis hin zu 7849 mg / 100 g Trockengewicht sind dabei nicht unüblich (Kulling, 2008). Verarbeitet wird Aronia besonders zu Säften und Sirup oder getrocknet in einer ähnlichen Erscheinungsform wie Rosinen. Aufgrund seiner vielen positiven Bestandteile zählt Aronia in Russland zu den Heilpflanzen und wird dort als Fruchtextrakt verwendet, um den oxidativen Stress bei Krebspatienten zu verringern. Erfreulich sind besonders der Anstieg der Anbaufläche in

Deutschland auf aktuell 560 Hektar und der damit verbundenen Erntemenge von 1100 Tonnen. Dadurch stieg laut dem Statistischen Bundesamt (2017) die Fläche um 41 % und die Erntemenge um 137 % im Jahr 2016. Dies zeigt besonders das große Interesse an der Beere und seinen mitgelieferten Eigenschaften. In solchen Fällen ist es besonders interessant, auch besonders schonende Verfahren wie die Gefriertrocknung zum Verarbeiten der Früchte anzuwenden, um eine möglichst große Menge der wertvollen Inhaltsstoffe zu erhalten.

2.3 Trocknung von Sanddorn & Aronia zur Pulverherstellung

Bisherige Versuche auf die Verarbeitung von Sanddorn und Aronia bezogen sich auf die Trocknung mittels verschiedener Verfahren (Sprühtrocknung, Lufttrocknung) unter dem Einsatz von Maltodextrin und anderen Trägerstoffen. Problematisch gestaltet sich ein Verarbeiten von Sanddorn, da es eine wachsartige und sehr undurchlässige Schale besitzt (Araya-Farias, 2011). Diese verhilft dem Produkt selber zu einem hohen Schutz vor Austrocknung. Bei der Aronia ist diese Problematik ähnlich und kann daher nachfolgend gleichermaßen betrachtet werden. Abgeraten wird für einen Trocknungsprozess besonders vor der Lufttrocknung bei hohen Temperaturen. Grundsätzlich kann dadurch eine optische Veränderung (Farbe, Struktur) und auch eine Verminderung der Inhaltsstoffe stattfinden. Zwar zählt diese Trocknungsmethode zu einer der konventionellsten, aber auch problematischsten bei empfindlichen Produkten. Sanddorn & Aronia mithilfe von Gefriertrocknung zu verarbeiten, bringt die Möglichkeit Aroma-Verluste und unerwünschte Strukturveränderungen auf ein Minimum zu reduzieren (Perez-Gregorio, 2011). Es ist möglich Pulver aus Sanddorn herzustellen, wenn das Endprodukt einen Restfeuchtegehalt von 2-3 % nach der Trocknung aufweist. Von den Kosten ist die Verarbeitung von Sanddorn & Aronia mittels Gefriertrocknung zwischen vier bis acht Mal höher als eine konventionelle Trocknung oder der Sprühtrocknung. Es muss daher abgeschätzt werden, ob ein Rohstoff wertvoll genug ist, es mittels dieser Trocknungsmethode zu verarbeiten. Im aktuellen Angebot der Einzelhändler befinden sich laut Angaben reine Sanddornpulver oder reine Aroniapulver. Auf Nachfrage antworten die Unternehmen, dass ein Pulver nicht definiert sein muss als „100 % aus frischer Frucht“, sondern auch zum großen Teil aus Trester bestehen kann.



Abbildung 1: Reines Sanddornpulver - Firma Schmütz Naturkost (Schmütz, <https://www.schmuetz-naturkost.de/shop/bio-sanddorn-pulver-100g>).

Zwar wird dadurch auf den Einsatz von Maltodextrin verzichtet, allerdings auch kein qualitativ vergleichbares Produkt hergestellt, wie es aus frischen Früchten produziert werden würde. Zusätzlich könnte auch der Anteil an Kernen für die spätere positive Farbgebung verringert werden. Für die Unternehmen ergibt sich grundsätzlich ein Mehrgewinn durch den Verkauf von Saft und Pulver. Im Bereich der Fruchtpulver bewegt man sich als Konsument in einem Preissegment zwischen 8 € bis 12 € für 100 g gefriergetrocknetes „reines“ Pulver.

In der Prozessführung von Fruchtpulver wird besonders der bereits erwähnte Einsatz von Maltodextrin vielfach thematisiert. Für den Konsumenten handelt es sich dabei um einen Begriff, welchen er nicht kennt und welcher zunächst abschreckend wirken kann. Technologisch gesehen, helfen diese als Trocknungshilfsstoffe die Glasübergangstemperatur anzuheben (Paterson, 2015). Es wird sogar davon gesprochen, dass es unmöglich ist, manche Obstsorten komplett zu trocknen. Dies liegt am Gehalt von Fruchtsäuren und Fruchtzucker, welche sich besonders in den Schalen befinden. Paterson (2015) spricht auch davon, dass trotz des Einsatzes von Maltodextrin die Pulver nach der Herstellung zur Verklumpung und Agglomeration neigen können. Es wird daher abgeraten, Sprühtrockner zum Trocknen von Fruchtsäften aus Früchten mit sehr hohem Anteil an Fruchtzuckern (Fructose, Maltose und Glucose) und Fruchtsäuren (Zitronensäure, Äpfelsäure) zu nutzen. Wenn diese eingesetzt werden, muss jedoch im Vorfeld in Erfahrung gebracht werden, wieviel Maltodextrin (Verhältnis zum Feststoffanteil) eingebracht werden muss. Die Verarbeitung von Sanddorn und Aronia in reiner Form mittels Gefriertrocknung wurde bisher nicht näher untersucht und kann daher als eine neuartige Verfahrensweise zur Gewinnung von Pulvern gesehen werden.

Zur Aufrechterhaltung der gewünschten Pulver-Eigenschaften ist laut Telis (2012) besonders die Betrachtung der Lager- und Trocknungsbedingungen zu beachten. Dadurch können das Klebrig-

werden, Agglomerieren und Verklumpen der Pulver auf ein Minimum reduziert werden (Downton, 1982). Der Einsatz von polymeren Stoffen, wie etwa Maltodextrin, wird erst dann notwendig, wenn eine Prozessführung nicht mehr verbessert oder verändert werden kann. Die Lagertemperaturen sollten daher im Bereich von unter 10 °C gewählt werden. Auch eine regelmäßige Kontrolle der Restfeuchte ist von großer Notwendigkeit. Durch Erreichen der angestrebten Glasübergangstemperatur und dem Verhindern des Überganges in eine gummiartige Struktur, wird auch das Verkleben der Pulver verhindert (Aguillera, 1995).

2.4 Gefriertrockner

Die Gefriertrocknung ist ein Prozess, den man bei besonders wertvollen und temperaturempfindlichen Stoffen anwendet. Laut Genin und Rene (1995) ist dies auch die beste Methode, um Wasser aus sehr hitzeempfindlichen Produkten zu entfernen. Zielsetzung der Trocknung ist es, einen besonders niedrigen Endfeuchtegehalt zu erhalten und dabei die gewünschte Endqualität zu erreichen. Dies ist bei aroma- und wirkstoffreichen Produkten wie zum Beispiel Tee, Kaffee und verschiedenen Früchten notwendig. Die äußere Form, Textur und Farbe der Stoffe kann dabei erhalten bleiben. Es ist wichtig vor der Gefriertrocknung in Erfahrung zu bringen, ob ein Produkt für eine Gefriertrocknung geeignet ist und ob sich ein hoher Nutzen aus dem teuren Prozess ergibt. In der Theorie sollte zusätzlich die optimale Lagerung und Verarbeitung der Produkte im Vorfeld geklärt werden. Für die Herstellung eines Pulvers sind andere Vorbereitungen zu treffen, als für getrocknete Früchte zum direkten Verzehr.

Als Grundelement der Vorbereitung sollte das Produkt in eine geeignete Größe zerkleinert werden. Notwendige Schritte sind dafür das Zerschneiden grober Stücke, Anreißen der Schale besonders bei Beeren und eventuelles Entfernen von Kernen aus dem Inneren. Alle Bestandteile, die eine Trocknung des Gutes erschweren, sollten im Vorfeld betrachtet und beseitigt oder überwunden werden. Zum Beispiel kann die Schale einer Beere nicht in allen Fällen entfernt werden, dafür empfiehlt sich die Verwendung anderer Rohstoffe oder eventuelle Anpassung des Trocknungsprogramms. Jedoch gilt für alle Rohstoffe in der Vorbereitung ein hauptsächlicher Schritt: Die richtige Überführung der Proben in den Gefriertrockner und ein reibungsloser Ablauf. Notwendigerweise werden dafür die Proben, in fast allen Fällen, im gefrorenen Zustand auf die Platten des Gefriertrockners oder anderen Produktträgern gegeben. Durch diese Vorbereitung müssen die Proben nicht erst beim Befüllen des Gefriertrockners gefroren werden. Dies führt zusätzlich zu einer höheren Energieeinsparung und einer verbesserten Temperaturführung durch den Trockner. Die Endprodukte sind qualitativ hochwertiger und trockener als anders behandelte Proben. Es gilt in jedem

Fall, dass ein optimaler Lyozyklus (s. 2.4.1 Prinzipien des Lyozyklus) ein gutes Endprodukt erwirkt. Wie bereits erwähnt müssen die gewünschten Trockenprodukteigenschaften mit dem Temperatur-/Druck-/Zeitverlauf einhergehen und korrekt abgestimmt werden. Das so gewählte Regime muss ein Optimum in Bezug auf Wirtschaftlichkeit und Produktqualität sein. Ein so teures Verfahren, sowohl bezogen auf Energie- als auch Apparatkosten, strebt nach kurzen Prozesszeiten mit höchster Effektivität (Huang, 2009).

2.4.1 Prinzipien des Lyozyklus (Ablauf einer Gefriertrocknung)

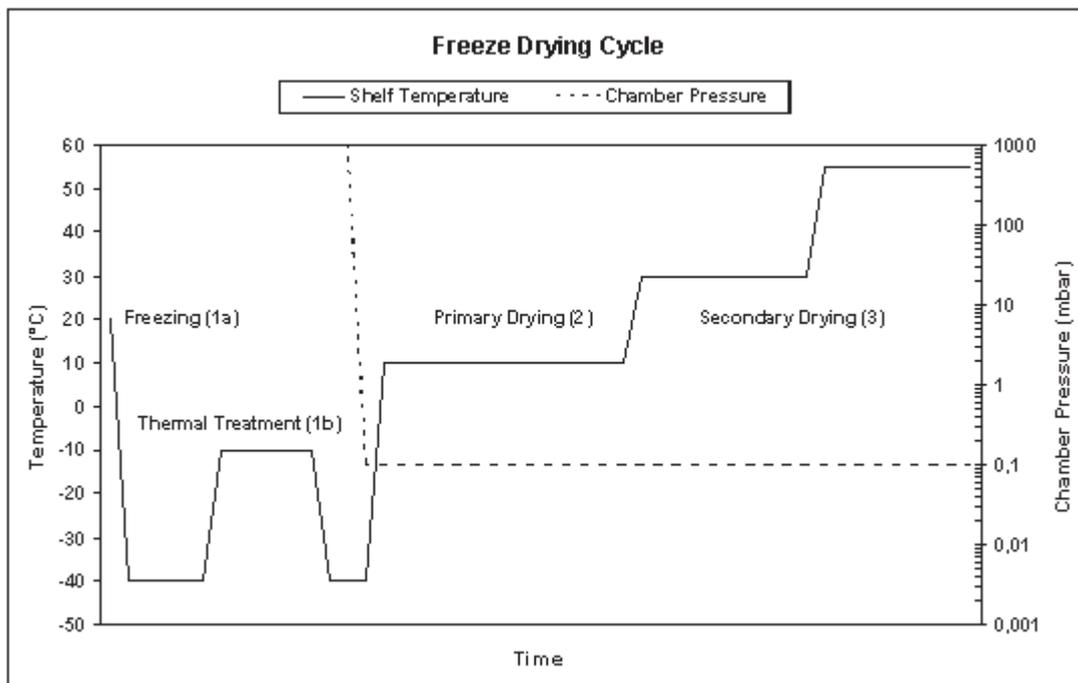


Abbildung 2: Trocknungsverlauf einer Gefriertrocknung (Firma Christ, 30.06.2018).

Die Abbildung 2 zeigt den typischen Ablauf einer Gefriertrocknung. Im Gefrierschritt wird unter Atmosphärendruck, durch ein gleichmäßiges Absenken der Temperatur, die gewählte Starttemperatur der eigentlichen Trocknung erreicht. Diese liegt in vielen Fällen bei Temperaturen unter -30 °C . In einer nachfolgenden Ruhezeit wird den Produkten die Möglichkeit gegeben, sich der aktuellen Temperatur anzunähern. Gehrman (2009) erklärt den Vorgang der Gefriertrocknung als stochastischen Vorgang, welcher von der Keimbildung im Feuchtgut bestimmt wird. Durch die Abkühlung der Produkte unter der Gefriertemperatur (Unterkühlung), noch bevor die erste Keim-/Eiskristallbildung ermöglicht wird, erreicht man eine gleichmäßige Trocknung. Bilden sich die ersten Keime, folgen darauf Kettenreaktionen, welche zum schnellen Einfrieren der im Produkt befindlichen Flüssigkeit führen. Bei sehr starker Unterkühlung erfolgt dieses Erstarren schlagartig und führt auch dazu, dass sich die Mischkristallmasse durch die freiwerdende Schmelzwärme bis zum Tripelpunkt (bezogen auf Wasser) erwärmt. Dadurch können sich, bezogen auf das Einsetzen

der Keimbildung, Temperaturfelder über eine mit Feuchtgut belegte Fläche ausbilden. Ein nachfolgender Schritt (Annealing) beschäftigt sich damit die Temperatur des gefrorenen Gutes auf einen vorher festgelegten Bereich anzuheben. Optimalerweise wird die richtige Temperatur knapp oberhalb der Glasübergangstemperatur gewählt (Genin, 1995). Besonders durch die Erhöhung der Molekülmobilität, im Zusammenhang mit der Anlagerung von Wasser aus noch nicht gefrorenen Bestandteilen, kann das Wachstum der Eiskristalle verbessert werden. Dem eigentlichen Gefrier-trocknungsschritt wird dadurch ein Grundstein gelegt. Es bilden sich vergrößerte Kapillaren, welche besonders dem abströmenden Dampf aus der Trocknung wenig Widerstand entgegensetzen. Positiv ist, dass besonders dadurch die Trocknungsgeschwindigkeit rapide anwächst. Nachfolgend wird ein Absenken der Temperatur erwirkt, welches in Verbindung mit dem passenden Druck in der Vakuumkammer für die optimalen Trocknungsbedingungen sorgen soll. Nach dem Erreichen des passenden Drucks, wird die Stellflächentemperatur hochgefahren, um den gewünschten Sublimationsprozess zu beginnen. Temperaturen für die Produkte sollten im Vorfeld bestimmt werden, um passend für die Kapillarstruktur, Wärmeleitfähigkeit und Dicke der Matrix zu sein. Ein Abschluss dieses Trocknungsabschnittes führt auch dazu, dass gebundenes Wasser aus der Feststoffstruktur entfernt werden muss. Durch eine niedrigere Restfeuchte im Produkt kann nun die Temperatur erhöht und eine Endtrocknung eingeleitet werden. Je nach Produktart wird zusätzlich noch eine Nachtrocknung bei höheren Temperaturen durchgeführt, um auch aus Schalenbestandteilen die letzte Feuchte zu entfernen. Bei der Trocknung wird insgesamt eine große Menge an Dampf freigesetzt, welcher zusätzlich zu Verwirbelung vom Produkt im Gefriertrockner führen kann. Daher wäre es ratsam, die abschließende Drucksenkung nur sehr langsam und gleichmäßig nach der kompletten Trocknung vorzunehmen. Viele grundlegende Parameter wie die Einfrier-, Glasübergangs- und Schmelztemperatur, bestimmen den Trocknungsvorgang und werden nachfolgend in ihrer Begrifflichkeit genauer erklärt. Für den eigentlichen Prozess der Gefriertrocknung ist es notwendig, sich besonders mit diesen drei Temperaturen zu beschäftigen.

2.4.2 Einfriertemperatur, Glasübergangstemperatur und Schmelztemperatur

Kontrollierter Einsatz des Wissens über diese drei Werte, kann zu einem optimal getrockneten Produkt führen. Die Einfriertemperatur gilt als Startpunkt für eine gut kontrollierte Trocknung. Sie ist die niedrigste Temperatur zum Einfrieren, mit der Aufgabe eine Keimbildung/Eiskristallbildung zu begünstigen. Oftmals wird die Glasübergangstemperatur mit der Einfriertemperatur gleichgesetzt, beschreibt jedoch etwas völlig anderes. Bei dieser Temperatur gehen amorphe hochpolymere Werkstoffe aus dem elastisch-plastischen in den glasartigen Zustand über. Auch der um-

gekehrte Weg wird als Glasübergangstemperatur bezeichnet. Wichtig ist, dass eine Glasübergangstemperatur kein typischer Phasenübergang 1. Ordnung ist, daher auch keine exakte Temperatur besitzt (Temperaturbereiche von 10 – 20 °C sind möglich). Bestimmt werden kann der Wert mithilfe unterschiedlicher Messmethoden und ungefähre mathematische Annäherungen durch Gleichungen (Gordon-Taylor-Gleichung). Messungen der Glasübergangstemperatur können u.a. mithilfe der dynamisch-mechanischen Analyse, der dynamischen Differenzkalorimetrie und der dielektrischen Relaxationsspektroskopie gemessen werden (Lechner, 2009). Bei der Schmelztemperatur handelt es sich um den Bereich in der sich die kristalline Phase auflöst und dadurch deutlich die plastische Phase vom Fließbereich abtrennt. Weitere Werte, die für den Gefrierprozess von Bedeutung sind, können Kollapstemperatur (maximale Trocknungstemperatur an der Sublimationsfront), Rekristallisationstemperatur (Temperatur bei der die Umwandlung einer metastabilen amorphen Glasphase in eine stabile Kristallstruktur) und die Eutektikum Temperatur sein. Diese Erklärungen würden jedoch zu weit ins Detail gehen und sind auch für die getätigten Untersuchungen von geringer Bedeutung.

2.4.3 Das Gefrieren

Wasser spielt im Bereich der Lebensmittelindustrie in nahezu allen Produkten eine wichtige Rolle. Es bestimmt die Haltbarkeit, Qualität und auch das Erscheinungsbild eines Lebensmittels. Beim Gefrieren von verschiedenen Produkten erhöht sich gleichzeitig die Konzentration der gelösten Stoffe im noch nicht gefrorenen Wasser. Dieser ungefrorene Anteil des Produktes kann bei Temperaturen oberhalb des Glasübergangs den amorphen Zustand verlassen. Für eine optimale Gefriertrocknung muss daher zunächst der Gefrierbeginn eines Produktes ermittelt werden. Besonders bei Früchten kann dieser Bereich stark schwanken, vor allem aufgrund vorhandener Fruchtsäuren, Fruchtzucker und Schalenbestandteilen. Laut Gehrman (2009) liegt der Gefrierbeginn bei Kirschen zum Beispiel bei -4,5 °C und bei Himbeeren bei -0,9 °C. Zusätzlich gilt zu beachten, dass sich etwa 10 % des Wasseranteils in Lebensmitteln fest an die Trockensubstanz binden. Was dazu führt, dass es nicht durch ein Gefrieren kristallisiert werden kann und als nicht ausfrierbares Wasser bezeichnet wird.

2.4.4 Die Trocknungsabschnitte

Im ersten Trocknungsabschnitt wird aufgrund der gewählten Trocknungstemperatur der Sublimationsstrom (Dampf) durch die porösen und trockenen Schichten der Matrix vom Produkt transportiert. Abhängig von der vorhandenen Kapillarstruktur und der Dicke der bereits vorhandenen getrockneten Schicht, dehnt sich diese zunehmend in die Tiefe des zu trocknenden Produkts aus und

bestimmt den Transportwiderstand. Genauer gesagt, steigt oder sinkt der Transportwiderstand mit Veränderung der Kapillarstruktur und der Schichtdicke. Die Kapillarstruktur ist dabei im Wesentlichen von der Einfriergeschwindigkeit bzw. dem Prozess des Einfrierens abhängig. Strömender Dampf aus der Produktoberfläche kann nachfolgend in Richtung des Kondensators transportiert werden. Die gesamte Dampfbewegung besitzt ein treibendes Potential, dieses ist die Dampfdruckdifferenz zwischen dem vorhandenen Trockenspiegel und dem Systemdruck. Erzeugt wird dieses Druckgefälle durch eine typische Wärmezufuhr von beiden Seiten des Produktes und einer zusätzlichen Kondensation des Dampfes am Kondensator. Es ist möglich aufgrund der Positionierung von Proben, den vorhandenen Kontaktflächen und möglichen Spaltstellen noch weitere Details zu definieren, was jedoch für die nachfolgenden Betrachtungen nicht notwendig ist. Die Aufnahme von Trocknungskurven bzw. Temperaturverläufen gibt genauen Nachweis für die Trocknungsgeschwindigkeit und den im Produkt vorhandenen Temperaturen.

Zu Beginn des zweiten Trocknungsabschnittes ist die Sublimation des Eises komplett abgeschlossen. Nicht ausgefrorenes Wasser, welches sich nach wie vor in der Feststoffmatrix durch physikalische Bindung befindet, kann nun entfernt werden. Man spricht von einem Angleich-Vorgang, der die so genannte Aktivität des trocknenden Produktes, der relativen Feuchte an der Produktoberfläche angleicht. Als Aktivität versteht man im Allgemeinen die produktseitige Entsprechung der relativen Feuchte der Umgebung und diese ist in den meisten Fällen nachschlagbar oder auch messbar. Die zugeführte Wärme bestimmt letztendlich die gesamte Trocknungsgeschwindigkeit. Am Ende des ersten Trocknungsabschnittes wird diese kontinuierlich erhöht. Weitere wichtige Größen für die Geschwindigkeit sind die Stärke und Art der Feuchtebindung, der Dampfdiffusion in den Poren und letztendlich auch dem Dampfdruck im Trockner. Die Stärke und Art der Bindung bezieht sich besonders auf die Verteilung der Flüssigkeit im Produkt. Es ist eine andere Trocknung notwendig für Produkte mit hohem Flüssigkeitsanteil in der Schale als für Produkte, die dort einen geringeren Anteil besitzen. Somit muss dies vorher ermittelt werden. Eine gleichmäßige Flüssigkeitsverteilung, wie sie zum Beispiel in Säften oder Mark vorzufinden ist, gilt als optimale Bedingung für eine Trocknung. Besonders Früchte oder Gemüse mit dicken Schalen und dort gebundenem Wasser, können ein gesamtes Programm verändern. Sollte also in diesem Fall eine veränderte Prozessführung gewählt werden, kann dadurch auch nachfolgend eine qualitative Veränderung des restlichen Produktes eintreten. Dies sollte im besten Fall verhindert werden.

2.5 Pulver und Obsterzeugnisse

Ein aus Obst verarbeitetes Trockenprodukt mit Instant-Eigenschaften (Pulver) wird nach den Leitsätzen für Obsterzeugnisse definiert. Es ist ein Erzeugnis aus ganzen Früchten, Teilen von Früchten oder Zubereitungen daraus, die durch ein geeignetes Verfahren haltbar gemacht worden sind. Zum Haltbarmachen dieser Produkte sind besonders Verfahren (auch Kombinationen daraus) wie Trocknen (Einschließlich Gefriertrocknen), Konzentrieren und auch das Tiefgefrieren im Sinne der Verordnung über tiefgefrorene Lebensmittel möglich. Dabei sollten Obsterzeugnisse den sensorischen Eigenschaften der verwendeten Obstsorte entsprechen und frei von nicht verzehrbaren Bestandteilen (Erde, Steine, Sand) sein. Bei den Obsterzeugnissen enthält die Verkehrsbezeichnung in der Regel den Namen der verwendeten Obstsorte und bei Bedarf auch den Sortennamen. Trockene Produkte wie Pulver enthalten zusätzlich die notwendigen Instant-Eigenschaften zur schnellen Anwendung beim Verbraucher. Die Bedeutung dieser Produkte ist für die Lebensmittelindustrie sehr groß, da sie oftmals als Zwischenprodukt verwendet werden können und eine Vielzahl an positiven Eigenschaften (niedrige Lagerkosten, hoher Wirkstoffgehalt) mit sich bringen. Durch die Größe der Partikel werden zusätzlich feine und grobe Pulver unterschieden. Diese lassen sich wie ersteres leichter lösen aber sind dafür auch anfälliger für äußere Einflüsse. Besonders wichtig ist bei den Pulvern eine gute Lagerstabilität (unerwünschte Agglomeration verringern) und schnelle Einsatzfähigkeit (Löslichkeit in Flüssigkeit möglich) (Fitzpatrick, 2005). Eine unerwünschte Agglomeration wird durch den Einsatz von Trägerstoffen wie Maltodextrin bestenfalls komplett verhindert. Zusätzlich kann dadurch auch eine Löslichkeit für eine breite Palette von Einsatzmöglichkeiten erhalten bleiben. Für die Herstellung von Pulver aus Obst, eignen sich als Ausgangsmaterial entweder die verarbeiteten Früchte (zerkleinert, blanchiert) oder der Saft dieser. Durch Sprühtrocknung der Säfte und Gefriertrocknung (besonders bei hochpreisigen Produkten) ergibt sich ein trockenes Gut. Diese liegen bei der Sprühtrocknung zumeist schon in Pulverform vor und müssen bei der Gefriertrocknung durch einen zusätzlichen Mahlvorgang zum gewünschten Endprodukt verarbeitet werden. Beim Vermahlen kann es jedoch zu einer zusätzlichen Erhöhung der Temperatur kommen, was wiederum zum Verkleben oder Verfärben (Typische Braunfärbung) der späteren Pulver führen kann. Daher sollte der Mahlvorgang möglichst schnell und unter niedrigen Temperaturen durchgeführt werden. Angestrebt werden bei der Trocknung Werte von weniger als 8 % Restfeuchte und bei Pulver sogar weniger als 4 % Restfeuchte (Chau et al., 2007). Der Einsatz der erwähnten Trägerstoffe (stärkehaltige Substanzen) erhöht diesen Spielraum zusätzlich und ermöglicht eine verbesserte Lagerung. Alle Endprodukte sollten jedoch vor Licht, Feuchtigkeit, hohen Temperaturen und Sauerstoff geschützt gelagert werden (Davoodi et al., 2007). Für Pulver bieten

sich dafür beschichtete Behältnisse mit abgedunkelter Außenseite und Vakuumbbeutel an. Weiterhin konnte bei einer Farbuntersuchung unter verschiedenen Lagerbedingungen auch eine Veränderung der gelagerten Proben festgestellt werden. Eine optimale Klärung aller äußeren Bedingungen ist daher von großer Notwendigkeit.

3 Material & Methoden

3.1 Geräte und Anlagen

Die Vorversuche und Hauptversuche wurden bis auf eine einmalige Ausnahme (Herstellung der Sanddorn- und Aroniaflips) im Labormaßstab durchgeführt. In der nachfolgenden Tabelle (Tab. 3) werden die Geräte und ihre Hersteller übersichtlich zusammengefasst.

Tabelle 3: Verwendete Geräte innerhalb des Projekts

Gerät	Typ	Hersteller
Gefriertrockner	Delta 1-124 LSC	Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen, Osterode am Harz, Deutschland
Chroma-Meter	CR-300	Konica Minolta, Chiyoda Präfektur Tokyo, Japan
Analysenwaage	GJ-BA-d-0023	KERN & SOHN GmbH, Balingen, Deutschland
Feuchtebestimmer	MA 30	Sartorius AG, Göttingen, Deutschland
Ultra Zentrifugalmühle	ZM 200	Retsch, Haan, Deutschland
Doppelschneckenextruder	Coperion ZSK27	Coperion GmbH, Stuttgart, Deutschland
Vakuuierier	VM 19/S	Röschermatic Vakuumtechnik GmbH, Osnabrück, Deutschland
Luxmeter	Testo 540 ftc	Testo SE & Co. KGaA., Lenzkirch, Deutschland
Exsikkator		
Küchenmixer		

3.2 Zielsetzung der Versuche

3.2.1 Vorversuche

Die Vorversuche dienen zum Erlernen der grundsätzlichen Handhabung mit dem Probenmaterial. Zusätzlich soll der notwendige Umgang mit der Gefriertrocknung erprobt werden. Fehler durch eine falsche Bedienung und ungeeignete Probenvorbereitung werden dadurch verringert. Des Weiteren können im Vorfeld verschiedene Anpassungen vorgenommen werden, um ein einsatzfähiges Pulver zu erhalten.

3.2.2 Hauptversuche

Das Ziel der Arbeit ist es ein Pulver aus den Wildfrüchten Sanddorn und Aronia herzustellen. Aufgrund der gewünschten und in den Vorversuchen ermittelten Eigenschaften, ergeben sich folgende grundlegende Parameter für die späteren Endprodukte:

- der Trockensubstanzgehalt
- die Farbe im Vergleich von Ausgangsprodukt zu Endprodukt
- Stabilität der Pulver
- Einsatzmöglichkeit der Produkte

In den Hauptversuchen wird versucht ein Pulver zu produzieren, welches die optimalen Parameter besitzt und alle gewünschten Eigenschaften mit sich bringt. Eine Versuchsplanung kann im Vorfeld einer neuartigen Problemstellung nur schwer erstellt und exakt durchgeführt werden. Durch nicht vorhersehbare Ergebnisse muss eine Flexibilität gewährleistet werden. Eine genaue Übersicht kann daher erst zum Abschluss der Versuche erfolgen. Jedoch wurde darauf geachtet, zu jeder Zeit, alle Versuche gleichermaßen mit Sanddorn und Aronia durchzuführen. Zum Zwecke der Verbesserung werden mögliche Anpassungen der Parameter, in den einzelnen Versuchen gekennzeichnet. Die bereits genannten Parameter dienen als Hauptuntersuchungspunkte, jedoch ermöglichen sie zusätzliche Erkenntnisse über die Herstellung von Pulver und den Einsatz der Gefriertrocknung. Grundsätzlich soll aufgrund dieser Versuche eine Möglichkeit entwickelt werden, um auch andere Pulver in leichter und trotzdem effektiver Arbeitsweise herzustellen.

3.3 Material

Zur Durchführung der Versuche (Haupt- und Vorversuche) werden folgende Rohstoffe verwendet.

- Sanddornmark (Fa. Bayernwald Früchteverwertung KG)
- Sanddorn: Sorte Leikora, Sanddorn Storchennest GmbH, Ludwigslust, Erntedatum: 2017
- Aronia: Sorte Wiking, Projektversuchsfeld, Ludwigslust, Erntedatum: 08.2017
- Maltodextrin 19 „Feelwell“ Lot Nr.: E412N

Für die Lager- und Anwendungsversuche

- Weizenmehl Typ 405 „Kathi“ Lot Nr.: 0106 Halle (Saale)
- Kichererbsenmehl “Müllers Mühle” Lot Nr.: 1615 (Gelsenkirchen)
- Reismehl „Biokern“ Lot Nr.: HML4 (Aalen)

- Quinoa Mehl „kornfalt“ Lot Nr.: - (Schillingsfürst)
- Maisgrieß

Sonstige Materialien/Gegenstände, die zur Durchführung der Versuche verwendet wurden

- Backpapier, Aluminiumfolie, Messbecher, Probenbehälter (verschiedene Größen), Messer, Löffel, Schneidebretter, Schere, Eimer (zum Lagern)

3.4 Durchführung der Versuche

3.4.1 Durchführung der Vorversuche

In den ersten Vorversuchen wurden vorbereitende Versuche mit Sanddorn und Aronia durchgeführt. Dabei war es das erste Ziel ein trockenes Endmaterial zu erhalten. Eine verkürzte Gliederung der Vorversuche findet sich in nachfolgender Tabelle. Ausführlich werden diese in den einzelnen Unterpunkten erklärt.

Tabelle 4: Übersicht der Vorversuche V1 – V4

Versuch Nummer	Zielsetzung/Durchgeführte Arbeit
V1	Probenvorbereitung, Anpassung der Arbeitsweise, Einarbeitung mit dem Gefriertrockner
V2	Alternative Probenvorbereitung, Aufzeichnung von Produkttemperatur
V3	Verbesserung der Probenvorbereitung, Bestimmung von Restfeuchte, Anpassung des Gefriertrocknerprogramms
V4	Veränderung des Gefriertrocknerprogramms (Hinzufügen einer Trocknung bei 60°C)

3.4.1.1 Vorversuch V1

Empfehlungen zum allgemeinen Umgang mit Probenmaterial für die Trocknung wurden im ersten Vorversuch umgesetzt. Araya-Farias und Makhlof (2011) beschrieben in ihren Versuchen für die Sanddorn-trocknung, dass sie zunächst die geernteten Früchte bei -18 °C eingefroren haben. Die durchgefrorenen Produkte wurden anschließend manuell halbiert und in dünnen Schichten getrocknet. Als guter Startpunkt wurde der erste Vorversuch in möglichst gleicher Art und Weise durchgeführt: Zunächst wurden die gefrorenen Früchte der Gefrierkammer (-23 °C) entnommen und auch weitestgehend im gefrorenen Zustand mittels Messer einzeln halbiert. Anschließend wurden die halbierten Früchte in einer dünnen Schicht auf den Platten des Gefriertrockners verteilt (Schichthöhe max. 4 cm). Weiteres überschüssiges Material wie Blätter und Zweige wurden vom Probenmaterial entfernt. Besonderes Augenmerk auf die Lage der Früchte wurde nicht gelegt. Das

heißt sie können sowohl mit der angeschnittenen Seite nach oben, als auch nach unten liegen. Um keine angetauten Früchte in den Prozess der Gefriertrocknung zu geben, wurden die vorbereiteten Proben erneut auf den Platten für vier Stunden tiefgefroren. Anschließend konnten die Proben wie bereits beschrieben in den Gefriertrockner gegeben werden. Es wurde das nachfolgende vorgefertigte Programm verwendet (Tab. 5 und Tab. 6).

Tabelle 5: Temperaturprogramm V1 Gefriertrockner (Schritte 1 – 6)

Schritt	1	2	3	4*	5	6
Phase	Beladen	Gefrieren	Gefrieren	Haupttr.	Haupttr.	Haupttr.
Temperatur	-15 °C	-35 °C	-35 °C	-30 °C	-20 °C	-10 °C
Zeit		1:00 h	0:15 h	0:10 h	2:00 h	2:00 h
Vakuum				0,370	0,370	0,370
Sicherer Druck				0.630	0.630	0.630

Tabelle 6: Temperaturprogramm V1 Gefriertrockner (Schritte 7 – 12)

Schritt	7	8	9	10	11	12*
Phase	Haupttr.	Haupttr.	Haupttr.	Haupttr.	Nachtr.	Nachtr.
Temperatur	0 °C	10 °C	20 °C	20 °C	20 °C	25 °C
Zeit	2 h	2 h	2 h	14 h	0:05 h	0:50 h
Vakuum	0,370	0,370	0,370	0,370	0,0010	0,0010
Sicherer Druck	0,630	0,630	0,630	0.630	0.630	0.630

Dieses Programm wurde bereits in vorherigen Versuchen durch andere Personen getestet und angewendet. Besonders zu beachten sind der Schritt 4 und Schritt 12, weil diese ursprünglich aus zwei Teilschritten bestehen, welche sich jedoch nicht unterscheiden und somit in einen gemeinsamen Schritt zusammengefasst wurden. Alle weiteren Erklärungen zum Temperaturprogramm und die Arbeitsweise bei einer Gefriertrocknung, finden sich in Punkt 2.1 Gefriertrocknung (Stand der Wissenschaft und Technik).

3.4.1.2 Vorversuch V2

Da die Verarbeitung des Ausgangsmaterials sehr aufwendig ist, wird in diesem Vorversuch eine alternative Arbeitsweise ausprobiert. Erneut wurden die tiefgefrorenen Proben möglichst im gefrorenen Zustand verarbeitet. Dafür wurden 150 g Beeren in einem handelsüblichen Mixer für insgesamt 10 Sekunden zerkleinert und direkt auf eine Platte verteilt. Zusätzlich wurden sehr grobe Bestandteile wie Zweige und Blätter bestmöglich entfernt. Eine Schichtdicke von mehr als 4 cm wurde verhindert. Für eine bestmögliche Sicherheit wurde für Sanddorn und Aronia eine zweite Platte auf dieselbe Art vorbereitet. Die Platten wurden erneut für vier Stunden bei -23 °C eingefroren und anschließend in den vorbereiteten Gefriertrockner zum Trocknungsvorgang überprüft.

Für die Überprüfung der Produkttemperatur wurde erstmals ein Temperaturfühler in einer zerkleinerten Beere positioniert.

3.4.1.3 Vorversuch V3

Die Verarbeitung des Ausgangsmaterials wurde aufgrund der positiven Ergebnisse wie in V1 und V2 durchgeführt. Für das Problem der Anhaftung von Probenmaterial an die Schalen der Gefriertrocknung, wurde etwas Backpapier unter die Beeren gelegt. Eine Veränderung des Temperaturprogramms sollte für eine Verbesserung der Endprodukte sorgen. Daher wurden zwei Haltezeiten, Schritt 6 und Schritt 8, in das Programm eingefügt (s. Tab. 7 und Tab. 8). Nachfolgend zur Trocknung wird zwei hintereinander eine Schnellfeuchtebestimmung durchgeführt.

Tabelle 7: Temperaturprogramm V3 Gefriertrockner (Schritte 1 – 6)

Schritt	1	2	3	4*	5	6
Phase	Beladen	Gefrieren	Gefrieren	Haupttr.	Haupttr.	Haupttr.
Temperatur	-15 °C	-35 °C	-35 °C	-30 °C	-20 °C	-20 °C
Zeit		1:00 h	0:15 h	0:10 h	2:00 h	2:00 h
Vakuum				0,370	0,370	0,370
Sicherer Druck				0.630	0.630	0.630

Tabelle 8: Temperaturprogramm V3 Gefriertrockner (Schritte 7 – 12)

Schritt	7	8	9	10	11	12*
Phase	Haupttr.	Haupttr.	Haupttr.	Haupttr.	Nachtr.	Nachtr.
Temperatur	0 °C	0 °C	20 °C	20 °C	20 °C	25 °C
Zeit	2 h	2 h	2 h	14 h	0:05 h	0:50 h
Vakuum	0,370	0,370	0,370	0,370	0,0010	0,0010
Sicherer Druck	0,630	0,630	0,630	0.630	0.630	0.630

3.4.1.4 Vorversuch V4

Im letzten Vorversuch konnten die bisherigen Erkenntnisse verwendet und eine erneute Anpassung des Temperaturprogramms vorgenommen werden. Es wurde noch einmal die Probenvorbereitung wie beschrieben durchgeführt und abschließend auch eine Bestimmung der Restfeuchte im Produkt. Die Anpassung des Programmes beruht auf den Informationen, welche durch die Kommunikation mit dem Unternehmen Döhler Dahlenburg (ehemals Molda AG) erlangt wurden. Es empfiehlt sich entgegen der Annahme, eine Gefriertrocknung sollte nur im niedrigen Temperaturbereich stattfinden, höhere Temperaturen zur vollständigen Trocknung einzusetzen. Dadurch soll eine bessere Trocknung erzielt und unerwünschte Nebeneffekte verringert werden. Möglich ist es auch eine nachfolgende Trocknung mittels anderer Trocknungsapparaturen durchzuführen, falls

Tabelle 11: Temperaturprogramm V4 Gefriertrockner (Schritte 13 – 18)

Schritt	13	14	15	16	17	18
Phase	Haupttr.	Haupttr.	Haupttr.	Haupttr.	Nachtr.	Nachtr.
Temperatur	20 °C	60 °C	60 °C	20 °C	20 °C	25 °C
Zeit	4.0 h	1 h	1,5 h	5 h	0:05 h	0:50 h
Vakuum	0,370	0,370	0,370	0,370	0,0010	0,0010
Sicherer Druck	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630

3.4.2 Durchführung der Hauptversuche

Aufgrund der Ergebnisse der Vorversuche konnte in den nachfolgenden Versuchen die Herstellung von reinem Pulver beginnen.

Tabelle 12: Übersicht der Hauptversuche V5 – V13

Versuch Nummer	Zielsetzung/durchgeführte Arbeit
V5	Pulverherstellung aus halbierten und grob zerkleinerten Aronia, Kontrolle der Ausbeute
V6	Lagerversuche von Aroniapulver und zerkleinerten Aronia
V7	Verwendung von Sanddornmark zur Herstellung von Pulver
V8	Farbuntersuchung der Ausgangsstoffe und Endprodukte, Einfluss der Mahlgröße auf die Stabilität des Pulvers
V9	Überprüfung der Zeit vom trockenen zum klebrigen Produkt, maximale Menge die mithilfe des Gefriertrockners verarbeitet werden kann
V10	Herstellung von Snackprodukten aus Sanddorn und Aronia
V11	Erhöhung der Pulverstabilität durch Einsatz von Maltodextrin und anderen Trägerstoffen, Farbuntersuchung, Löslichkeitsuntersuchung
V12	Kontrolle der Produkttemperatur mittels Messfühler (Interpretation des Temperaturverlaufs)
V13	Analytische Untersuchung der hergestellten Proben

3.4.2.1 Hauptversuch V5

Es wird eine Probenvorbereitung wie in den beschriebenen Vorversuchen vorgenommen. Die halbierten und grob zerkleinerten Aronia trocknen unter denselben Bedingungen wie in Vorversuch V4 beschrieben (s. Tab. 9-11). Um zu gewährleisten, dass alle Pulver in ausreichender Menge hergestellt werden, erfolgte eine mehrfache Vorbereitung identischer Platten. Alle getrockneten Proben werden mithilfe einer Ultra Zentrifugalmühle (ZM 200) der Firma Retsch zermahlen. In späteren Versuchen soll zusätzlich der Einfluss der Mahlgröße getestet werden. Zunächst wird jedoch eine 1 mm Lochscheibe (s. Abb. 13) verwendet. Zwischen den unterschiedlichen Proben wird die Lochscheibe und der Probenauffangbehälter der Mühle gereinigt, um auszuschließen,

dass sich im späteren Endprodukt Bestandteile der unterschiedlich getrockneten Proben befinden. Zur Kontrolle der gesamten Ausbeute, werden alle Platten leer, beladen und getrocknet ausgewogen. Dadurch kann am Ende die Aussage getätigt werden, wieviel Gewicht die Endprodukte durch die Trocknung verloren haben und wieviel Pulver aus dem Ausgangsmaterial hergestellt werden kann. Besonders diese Daten sind wichtig für etwaige Transporte von getrockneten Produkten und Pulvern. Die mithilfe der Mühle zerkleinerten Proben werden daraufhin direkt eingewogen und anschließend in einfache Vakuumbutel überführt (s. Abb. 14).

3.4.2.2 Hauptversuch V6

Vorbereitete Pulver und getrocknete Proben werden in verschiedene Behältnisse zur Lagerung überführt. Wichtig ist dabei eine hohe Variabilität zu gewährleisten. Soll ein Pulver ohne Zusatz von Maltodextrin oder anderen Füllstoffen für längere Zeit stabil sein, dann muss die Verpackung optimal gewählt werden. Die zur Verfügung stehenden Behältnisse müssen daher verglichen werden und für spätere Versuche eine hohe Garantie für optimale Lagerung geben. In der Abbildung 16 (s. Anlagen) finden sich die verschiedenen verwendeten Verpackungen.

Einfache Plastikbehälter ohne speziellen Siegelverschluss eignen sich besonders für das schnelle und sehr simple Einlagern von trockenen Produkten, aber auch allen anderen Arten von Lebensmitteln. Sie wurden bereits in den Vorversuchen eingesetzt, in denen jedoch ein schnelles Klebrigwerden der Proben beobachtet wurde. Dies konnte jedoch besonders auf die Schalenbestandteile und Kerne der Rohstoffe zurückgeführt werden. Die verwendeten Probengläser werden besonders häufig für pulverförmige Produkte und Reagenzien eingesetzt. Durch einen einfachen Twist-Off Verschluss können die Proben schnell eingefüllt und entnommen werden. Besondere Sicherheit gegenüber den äußeren Einflüssen liefern die Gläser jedoch nicht. Es wurden zur Überprüfung auch einige Probengläser in einen Exsikkator überführt (s. Abb. 15). Diese Geräte werden besonders in der Chemie zum Austrocknen und Einlagern von sehr trockenen Proben verwendet. Eine weitere Möglichkeit zum Aufbewahren von Proben, ist die Verwendung von speziellen Pulverbeuteln, wie sie auch beim Lagern von Kaffee und anderen pulverartigen Produkten Anwendung findet. Daher werden einige Beutel, die zum Aufbewahren von Kaffee geeignet sind, zum Einlagern der Pulver und getrockneten Proben verwendet. Als eine der sichersten Lagerungsmöglichkeiten gilt die Verwendung von Vakuumbuteln. Proben werden in die Beutel gegeben, die Umgebungsluft wird entzogen und der Beutel fest verschweißt. Es wird garantiert, dass keine äußeren Einflüsse eine Beeinflussung am Produkt vornehmen können. Optimal für die späteren Ergebnisse, wäre eine Stabilität der getrockneten Produkte und Pulver in allen Behältnissen. Telis

(2012) bestätigt zusätzlich, dass neben der Kontrolle von Restfeuchte im Produkt, auch die ständige Überwachung der Umgebungstemperatur eine Rolle spielt. So begünstigen etwa niedrige Temperaturen die Stabilität von Fruchtpulver. Daher werden alle Proben nicht nur bei Raumtemperatur, sondern auch im Kühlschrank (7 °C) aufbewahrt. Eine Kontrolle der Proben erfolgt über den Zeitraum von vier Wochen und regelmäßige Untersuchungen in Bezug auf Restfeuchte werden in gleichmäßigen Abständen durchgeführt.

3.4.2.3 Hauptversuch V7

Da sich in den bisherigen Versuchen die Verwendung von gefrorenen Sanddorn als schwierig darstellte, wurde nun der Einsatz von Sanddornmark angestrebt. Die Bezeichnung Mark ist laut Terres (1993) ein fein bis feinst zerkleinertes Pflanzenmaterial. In der Regel wird es ungezuckert aus frischen und erhitzten Obst hergestellt. Vorteil dieser Produkte ist, dass sie frei von Schalenbestandteilen und Kernen sind. Besonders diese sorgten in den vorherigen Versuchen für verfärbte Produkte, Klebrigkeit und einer erhöhten Feuchtigkeit. Das Mark der Firma Bayernwald Früchteverwertung KG wurde in einem 20 l Schlauchbeutel angeliefert. Zur leichteren Handhabung und längeren Aufbewahrung wurde das gekühlte Mark in Plastikbehälter des Volumens 2 l umgefüllt. Anschließend können diese Behälter eingefroren und bei Bedarf aufgetaut werden. Für den Hauptversuch V7 wurden insgesamt 10 Platten mit Backpapier beschichtet und anschließend in dünnen Schichten (1-2 cm) mit Sanddornmark befüllt. Das Trocknungsprogramm des Gefriertrockners wird wie in den vorherigen Versuchen beibehalten, da sich dort bereits positive Ergebnisse eingestellt hatten. Getrocknetes Endprodukt wird direkt mithilfe der Zentrifugalmühle vermahlen und anschließend sowohl in Vakuumbbeutel, als auch in einfache Plastikbehälter überführt. Eine qualitative Untersuchung erfolgt bezogen auf die Trockensubstanz, der oftmals auftretenden Klebrigkeit und einer allgemeinen sensorischen Beurteilung (Optik, Aroma). Weitere Untersuchungen in Bezug auf Farbe, Inhaltsstoffe und Einsatzmöglichkeiten erfolgen in den nachfolgenden Versuchen.

3.4.2.4 Hauptversuch V8

Als einer der wichtigen Parameter für die Untersuchung wurde anfänglich die Farbe festgelegt. Für eine genaue Kontrolle der Farbveränderung von Ausgangsstoff zu Endprodukt wird in diesem Versuch, zu verschiedenen Zeiten der Verarbeitung vom Rohstoff zum Pulver, eine Farbuntersuchung mithilfe des Chroma-Meters (CR 300) durchgeführt. Besonders durch Trocknungsprozesse werden Bestandteile der Rohstoffe in vielen Fällen stark verändert und oftmals zum Negativen

beeinflusst. Als Beispiel wäre dort die nicht enzymatische Bräunung (Maillard-Reaktion) zu nennen. Gefriertrockner haben die positive Eigenschaft, besonders schonend mit dem Probenmaterial umzugehen und nur geringfügige Veränderungen hervorzurufen. Dadurch wird ein optisch ansprechendes Produkt erzeugt und besonders bei sehr farbintensiven Früchten wie Sanddorn und Aronia bleibt zusätzlich ein Identifikationsmerkmal erhalten. Eine Überprüfung der Farbe erfolgt von den ganzen Früchten (Aronia, Sanddorn) und dem Sanddornmark. Vor Beginn der Verarbeitung werden die ersten Werte aufgenommen. Nach der Trocknung werden weitere Messungen vorgenommen. Zur besseren Übersicht befinden sich alle zu messenden Proben in der nachfolgenden Tabelle mit dem jeweiligen Zeitpunkt der Messung (s. Tab. 13).

Tabelle 13: Übersicht der Farbuntersuchungen

Probe	Zeitpunkt der Farbmessung
Sanddornmark	Vor der Trocknung
Sanddornpulver aus Mark	Nach der Trocknung
gefrorener Sanddorn	Vor der Trocknung
Aroniapulver	Nach der Trocknung
gefrorene Aronia	Vor der Trocknung

Im Verlaufe dieses Versuches sollte zusätzlich eine Untersuchung des Einflusses von Mahlgröße auf die Qualität des Pulvers durchgeführt werden. Die bisher verwendete 1 mm Lochscheibe und die zur Verfügung stehende 0,5 mm Lochscheibe sollten vergleichsweise zur Herstellung von Pulver verwendet werden. Daher wird nach dem Arbeiten mit der 1 mm Lochscheibe das gesamte Gerät gereinigt, die 0,5 mm Lochscheibe eingesetzt und weiteres Pulver hergestellt. Beide Pulver werden auf vorhandene Restfeuchte untersucht und optisch beurteilt. Anschließend werden die Pulver über mehrere Tage sowohl kühl (7 °C) als auch bei Raumtemperatur (21,1 °C) eingelagert und in regelmäßigen Abständen mithilfe des Feuchtebestimmers untersucht. Sollten sich keine maßgeblichen Unterschiede in Bezug auf Qualität, Stabilität und Arbeitsweise ergeben, kann ein Einfluss der Mahlgröße auf ein Endprodukt ausgeschlossen werden.

3.4.2.5 Hauptversuch V9

In den bisherigen Versuchen wurde bestmöglich und auf schnellste Art und Weise versucht ein Pulver aus dem getrockneten Gut herzustellen. In der Industrie ist es jedoch in vielen Fällen sehr teuer oder schier unmöglich, innerhalb kürzester Zeit aus riesigen Mengen getrocknetes Gut ein Pulver zu produzieren, welches sofort gelagert werden kann. Wie bisher beschrieben, tritt häufig

ein Problem mit der Klebrigkeit oder auch Pelzigkeit der getrockneten Produkte auf. So ein klebriges und pelziges Endprodukt lässt sich nur schwer vermahlen bzw. teilweise nicht mehr von den Platten oder dem Backpapier lösen. Um besonders dieses Problem möglichst zu verhindern, wurde eine sofortige und möglichst schnelle Arbeitsweise angestrebt. Erklärungen für diese auftretende Veränderung werden in späteren Abschnitten genauer erklärt (s. 4.8 Auswertung Hauptversuch V9). Möglichst wichtig ist es daher die Zeitspanne und den Bereich zu wissen in dem man möglichst sicher mit diesen Produkten arbeiten kann. Da die Veränderung im Bereich weniger Minuten eintritt, kann eine einfache Messung der Zeit, mittels Stoppuhr, vorgenommen werden. Vergleichend wird zusätzlich eine Bestimmung der Restfeuchte, direkt nach der Trocknung und bei Eintritt der Klebrigkeit/Pelzigkeit (Punkt an dem die Vermahlung unmöglich wird) vorgenommen. Besonders der Unterschied der Restfeuchte, wird Anhaltspunkte liefern, wie weit Sanddorn und Aronia getrocknet werden müssen, um ein Pulver daraus herzustellen und wann diese Möglichkeit nicht mehr besteht. Dadurch kann eine Verbesserung der Trocknungsdauer (u.a. Energieersparnis, Erhalt von Rohstoffbestandteilen) und der nachfolgenden Verarbeitung erzielt werden.

Zusätzlich wird innerhalb dieses Versuchs überprüft, welche Mengen zeitgleich mithilfe der Gefriertrocknung verarbeitet werden können. Dafür muss das gesamte Potential der Anlage ausgenutzt werden und die vorhandenen Platten bestmöglich befüllt werden. Für diesen Test werden Sanddornmark und zerkleinerte Aronia verwendet, weil diese besonders schnell verarbeitet und vorbereitet werden können. Zunächst werden Platten mit unterschiedlicher Produktmenge befüllt um dadurch eine maximal mögliche und qualitativ hochwertige Ausbeute zu erreichen. Die beste Alternative, ohne Einbuße in der Qualität, gilt als optimale Menge und kann daher innerhalb der Höchstbeladung für den Gefriertrockner eingesetzt werden. Rohstoffkosten, Energiekosten und Arbeitsaufwand können für die Industrie wertvolle Werte ergeben, um spätere Preise oder Einsatzmöglichkeiten zu ermitteln. Für diese Arbeit sind die Ergebnisse wichtig, um besonders den Aufwand für eine bestimmte Menge Produkt zu ermitteln.

3.4.2.6 Hauptversuch V10

Ein stabiles Pulver ausschließlich ohne Einsatz anderer Füll- und Festigungstoffe herzustellen, gilt als Hauptziel dieser Arbeit. Die Anwendung der Pulver kann jedoch sehr vielseitig erfolgen. Daher ist die Mischung des Pulvers zur späteren Weiterverarbeitung ein wichtiger Punkt der Untersuchung. Snackprodukte wie etwa Flips, werden bereits in verschiedenen deftigen und würzigen Alternativen angeboten. Im parallellaufenden Projekt kann durch den Einsatz eines Doppelschnecken-Extruders, ein Snackprodukt aus Sanddornrester und Maisgrieß hergestellt werden (Stein, 2018). Durch die Mischung von Maisgrieß, Zucker und Pulver der beiden Wildfrüchte Aronia und

Sanddorn, soll ein verzehrbares und optisch ansprechendes Produkt entstehen. Dank der Zusammenarbeit können daher aufwendige Vorversuche entfallen. Jedoch müssen die Rezeptur und auch die Feuchtigkeit einige Anforderungen erfüllen, um eine möglichst hohe Qualität zu gewährleisten. Dafür werden 10 % des jeweiligen Pulvers, mit 10 % Zucker und 80 % Maisgrieß vermischt. Laut Stein (2018) ist eine Restfeuchte um die 10 % am besten für die Arbeit mit dem Extruder geeignet. Für die Versuche werden ungefähr 1000 g der Mischung benötigt, um ausreichend Produkt herzustellen und ein angenehmes produzieren zu gewährleisten. Die beiden Mischungen werden für mehrere Tage in Eimern kühl und trocken eingelagert. Eine grobe Übersicht der Arbeit mit dem Doppelschneckenextruder wird für ein besseres Verständnis nachfolgend geschildert. Für detaillierte Informationen über die richtigen Einstellungen empfiehlt sich die Arbeit von Stein (2018) als Vorlage. Ein Schneckenextruder erzeugt mittels einer Schnecke Druck. Am Ende des Schneckenzyllinders befindet sich eine Auslassöffnung, welche sich als formgebend für die späteren Endprodukte ergibt. Der Antrieb befindet sich am anderen Ende, der für die Rotation und kontinuierliche Arbeitsweise der Schnecke sorgt. Über einen Trichter oberhalb der Schnecke, können die Proben dem System zugeführt werden. Wichtig ist dabei einerseits die kontinuierliche und exakte Dosierung. Dosierungsformen, welche eingesetzt werden können, sind volumetrisch und gravimetrisch. Durch das Entstehen von hohen Drücken in Verbindung mit einer hohen Temperatur, können die Produkte durch die Schnecke zum Ausgang befördert werden, wo sie beispielhaft durch ein rotierendes Messer in verschiedene Größen zerkleinert werden. Während der Herstellung werden die Extrudate mithilfe von großen Behältern aufgefangen. Entfällt der Einsatz der rotierenden Messer, werden lange Stränge mithilfe von Messern zerkleinert und in Aufbewahrungsboxen verpackt. Es erfolgt nachfolgend eine Messung der Trockensubstanz, Farbe, und der Inhaltsstoffe wie zum Beispiel Vitamin C. Eine einfache sensorische Beurteilung durch die Projektteilnehmer ohne statistische Auswertungen dient als grundlegende Bewertung der erfolgten Herstellung. Eine so simplifizierte Beurteilung erfolgt, da es sich bei diesem Versuch nicht um die Entwicklung einer Rezeptur oder der Untersuchung auf Verbraucherakzeptanz handelt, sondern lediglich die Einsatzmöglichkeiten von Fruchtpulvern aufzeigen soll.

3.4.2.7 Hauptversuch V11

Pulver aus reinem Rohstoff, ohne Zusatz von anderen Trägerstoffen, zeigte sich als nicht ausreichend stabil. Der Einsatz von Maltodextrin und anderen stärkehaltigen Verbindungen, gilt als wichtiges Element der Pulverherstellung. Dabei besteht die Möglichkeit eine definierte Menge vor dem Trocknungsprozess oder auch zum Mahlvorgang hinzuzufügen. Zusätzlich kann auch das Pulver direkt in eine Trägersubstanz eingerührt werden. So wurde es bereits in der Vorbereitung

der Maisgrieß-Pulvermischung von Sanddorn praktiziert. Im Falle des Sanddorns kann das flüssige Mark also bereits vor der Trocknung mit der definierten Menge Maltodextrin versetzt werden. Zum Vergleich des Einflusses auf Stabilität, Trocknungsverhalten, Restfeuchte und Farbe werden unterschiedliche Konzentrationen gewählt. Bei der Herstellung von Fruchtpulver aus Säften, werden geringe Mengen von Maltodextrin (3 – 10 %) eingesetzt, um ein stabiles und trotzdem farblich ansprechendes Produkt zu erhalten. Der erhöhte Einsatz von Maltodextrin (10 – 20 %), kann jedoch auch zur Verbesserung der Stabilität erfolgen (Avila, 2014). Alle Angaben beziehen sich immer auf den prozentualen Anteil Maltodextrin im Vergleich zum Anteil Trockensubstanz im Ausgangsprodukt. Für eine besonders aussagekräftige Arbeit werden daher unterschiedliche Konzentrationen von Maltodextrin im Produkt gewählt (s. Tab. 14). Ein Einsatz von Trägersubstanzen ist meistens mit skeptischen Verhalten der Konsumenten dem gegenüber verbunden. Der Einsatz von Maisgrieß zum Stabilisieren von Pulver zeigte bereits, welche Möglichkeiten bestehen. Ein sehr geringer Anteil von Pulver kann durch das Vermischen für mehrere Tage, ohne Rücksicht auf besondere Lagerbedingungen, erfolgen. Daher sollen auch weitere Trägerstoffe auf ihre Einsatzfähigkeit getestet werden. Es bieten sich dort besonders die verschiedensten Mehlsorten an, welche direkt von Lagerung zum Einsatz in verschiedenen Gebäcken oder Speisen finden können. Alle vermischten Proben werden nach 24 Stunden, 48 Stunden, 96 Stunden, 1 Woche, 2 Wochen und 4 Wochen untersucht. Wenn ein Produkt nach dem längsten Zeitraum eine angenehme Farbe, gutes Aroma, keine erhöhte Feuchtigkeit oder keine anderen Produktfehler mit sich bringt, kann dieses als ein stabiles Produkt betrachtet werden. Die verschiedenen Mehle wurden nicht vor dem Trocknungsprozess zugesetzt, sondern erst mit dem Pulver vermischt und in den verschiedenen Konzentrationen eingesetzt.

Tabelle 14: Übersicht Mischungsversuche mit verschiedenen Trägerstoffen

Mischung	Zeitpunkt der Mischung	Konzentration Trägerstoff
Sanddornmark + Maltodextrin	Vor der Trocknung	5 %, 10 %, 20 %
Sanddornmark + Maltodextrin	Nach der Trocknung	5 %, 10 %, 20 %
Sanddornpulver + Reismehl	Nach der Pulverherstellung	12,5 %, 25 %, 50 %
Sanddornpulver + Quinoa-Mehl	Nach der Pulverherstellung	12,5 %, 25 %, 50 %
Sanddornpulver + Kichererbsenmehl	Nach der Pulverherstellung	12,5 %, 25 %, 50 %
Sanddornpulver + Weizenmehl	Nach der Pulverherstellung	12,5 %, 25 %, 50 %
Aronia + Maltodextrin	Vor der Trocknung	5 %, 10 %, 20 %
Aronia + Maltodextrin	Nach der Trocknung	5 %, 10 %, 20 %
Aroniapulver + Reismehl	Nach der Pulverherstellung	12,5 %, 25 %, 50 %
Aroniapulver + Quinoa-Mehl	Nach der Pulverherstellung	12,5 %, 25 %, 50 %
Aroniapulver + Kichererbsenmehl	Nach der Pulverherstellung	12,5 %, 25 %, 50 %
Aroniapulver + Weizenmehl	Nach der Pulverherstellung	12,5 %, 25 %, 50 %

Eine Vergleichsprobe aus reinem Pulver wurde zu jeder Zeit unter gleichen Bedingungen gelagert und behandelt. Alle Proben werden nachfolgend in einfache Probenbehälter gegeben und regelmäßig auf Restfeuchte untersucht. Zusätzliche Untersuchungen auf Farbe und Aroma der Proben erfolgen in gleichmäßigen Abständen.

Für die Untersuchung von Pulverlöslichkeit gibt es verschiedene Methoden. Die einfachste beschreibt das Einrühren eines selbst gewählten Pulvers in einer sinnvollen Konzentration in einer vorgegeben Menge Flüssigkeit, zum Beispiel Wasser oder Milch, mit einer kontrollierten Messung der verstrichenen Zeit bis zum kompletten Lösen des Pulvers. Anschließend kann die Mixtur für einen längeren Zeitraum beobachtet werden, ob und wie schnell die einzelnen Teilchen zu sedimentieren beginnen. In der Chemie können allgemeine Aussagen wie löslich, gut löslich, schwer löslich oder nicht löslich als Einstufung für diese Untersuchung gewählt werden. Dies gilt als ausreichend um zu bewerten, ob sich die Pulver zum Einsatz in Flüssigkeiten eignen.

3.4.2.8 Hauptversuch V12

Trocknungsverläufe sind in der Gefriertrocknung notwendig, um die Effizienz bestmöglich zu beurteilen. Messkurven können durch Software-Unterstützung direkt durch den Gefriertrockner ge-

messen werden. Für die Versuche werden Temperaturfühler in halbierte und grob zerkleinerte *Aronia* positioniert. Zusätzlich soll auch eine Analyse von Sanddornmark erfolgen. In alle Proben wird noch während der Verarbeitung ein Fühler eingebracht und anschließend eingefroren. Dies garantiert, dass die Messung reibungslos funktioniert und nicht an Kleinigkeiten wie etwa der Positionierung scheitert. Die aufgenommene Kurve wird abschließend analysiert und bewertet.

3.5 Analytische Methoden

3.5.1 Vitamin C

Wichtig für die Qualität des Pulvers und den Nutzen der Gefriertrocknung sind auch die Veränderungen der Inhaltsstoffe. Besonders wertvolle Bestandteile wie Vitamin C und der Gesamtanteil der Phenole sollten nicht durch eine Verarbeitung verloren gehen. Untersuchungen wurden daher von den Ausgangsmaterialien, getrockneten Produkten, Pulvern und auch hergestellten Snacks getätigt. Eine Zusammenarbeit mit anderen Projektmitarbeitern (Ahlborn, 2018) verkürzte die langwierige Probenverarbeitung und Untersuchung. Zur Erklärung wird jedoch nachfolgend in kurzen Schritten aufgezeigt wie die Analyse durchgeführt wurde. Für die Vorbereitung der Vitamin C-Bestimmung müssen zunächst eine 2 % Oxalsäurelösung, eine Dichlorphenol-Indophenol-Lösung 0,25 g/l und eine Ascorbinsäurelösung 0,5 g/l hergestellt werden. Für die 2 % Oxalsäurelösung wird dafür 28 g Oxalsäuredihydrat in einem 1 Liter Maßkolben eingewogen und mit entgastem destilliertem Wasser auf 1 Liter aufgefüllt. Die Dichlorphenol-Indophenol-Lösung wird hergestellt indem zunächst 53 mg Natriumhydrogencarbonat abgewogen und in 190 ml Wasser gelöst wird. Die hergestellte Mischung muss auf 60 °C erhitzt werden. Anschließend werden 62,5 mg Dichlorphenol-Indophenol abgewogen und mit heißem Carbonatwasser in einen 250 ml Maßkolben überspült und gelöst. Dieser Maßkolben muss für ca. 15-20 min in ein auf 60 °C temperiertes Ultraschallbad positioniert und entgast werden. Nach dem abkühlen auf 20 °C wird der Kolben mit entgastem destilliertem Wasser aufgefüllt. Die beiden bisher genannten Lösungen können für eine kurze Zeit kühl und dunkel gelagert werden. Dahingegen muss die Ascorbinsäurelösung immer frisch hergestellt werden. Dafür muss zunächst 25 mg getrocknete L-Ascorbinsäure abgewogen und in einen 50 ml Maßkolben überführen. Diese Lösung muss auf 20 °C temperiert mit der vorher hergestellten Oxalsäure aufgefüllt werden. Die eigentliche Probenvorbereitung erfolgt nach der Einwaage der Wildfrüchte, welche je nach Wildfrucht, Trockenmasse und dem vermutetem Vitamin C-Gehalt variiert. Feststoffe wie Pulver oder getrocknete Früchte müssen direkt vermahlen werden und auf 1 bis 5 g eingewogen. Extrakte, wie auch das Mark aus Früchten, werden filtriert und nachfolgend für 10 min bei 3500 U/min zentrifugiert. Durch die Softwaregestützte

Messung, können viele der nachfolgenden Schritte erleichtert durchgeführt werden. Zunächst müssen 50 ml Oxalsäure in ein Becherglas dosiert werden und anschließend 2 ml der Probenlösung. Auf den Titrator positioniert wird nun nachfolgend die Elektrode und das Thermometer eingetaucht und die verwendete Probenlösung in die vorhandene Software eingetragen. Aufgrund einer im Programm hinterlegten Formel können nun mit Hilfe des Titors und des Blindwertes die Ergebnisse berechnet werden. Bei festen Stoffen muss der Gehalt noch auf die Einwaage und die Trocken- bzw. Frischmasse umgerechnet werden. Für die Untersuchung von Aronia eignet sich diese Methode nicht, da ein zu geringer Anteil an Vitamin C keine brauchbaren Ergebnisse liefert.

3.5.2 Gesamtphenolbestimmung (Folin-Ciocalteu)

Eine genaue Zusammensetzung des Folin-Ciocalteu-Reagenzes ist nicht bekannt, allerdings wird vermutet, dass es Phosphorwolframsäure- und Molybdätophosphorsäure-Komplexe enthält (Paschke, 2012). Basierend auf dem Elektronentransfer im alkalischen Medium durch reduzierende Stoffe, bildet sich Molybdän, welches blaue Komplexe entstehen lässt, die nachfolgend in Wellenlängen von 750 nm und 765 nm spektralphotometrisch detektiert werden können.

Die Proben müssen zunächst extrahiert und 100 µl des erhaltenen Extraktes mit 750 µl Folin-Ciocalteu-Reagenz versetzt werden. Nach der guten Durchmischung muss eine Wartezeit von 5 min bei 22 °C eingehalten und darauf 750 µl Na_2CO_3 -Lösung hinzugefügt werden. Anschließend folgt eine Wartezeit von 90 min bei 22 °C im Dunkeln, kann die Absorption bei 725 nm spektralphotometrisch gemessen werden. Als Standard dient Chlorogensäure in den Konzentrationen 200, 100, 50 und 25 µg/ml in Extraktionslösung.

3.6 Einstellung der Gefriertrocknung

Die Arbeit mit dem Gefriertrockner wird erst durch die notwendige Fachkenntnis über die Funktionsweise des Gerätes ermöglicht. Eine theoretische Erklärung wurde bereits getätigt und wird nun durch eine allgemeine Erklärung der Arbeitsschritte ergänzt. Zunächst ist es notwendig sich mit dem trocknenden Gut zu beschäftigen. Nicht alle Rohstoffe können unter den gleichen Bedingungen getrocknet werden und bedürfen daher unterschiedlicher Vorbereitung. Ganze Früchte müssen zerkleinert werden und die Kerne im besten Fall entfernt. Flüssige Proben wie Saft oder Mark können direkt auf den Platten des Gefriertrockners verteilt und mit dem jeweiligen Deckel, durch einfaches auflegen, verschlossen werden. Mit bis zu zehn Stellflächen besitzt dieser Trockner eine übersichtliche Größe zum Arbeiten. Auf jede dieser Flächen kann eine Platte positioniert werden, welche im Laufe des Programms gleichmäßig getrocknet wird. Bestenfalls werden die Platten vor dem Prozess durch Einfrieren auf den Vorgang vorbereitet. Sollte dieser Schritt nicht

möglich sein, kann auch eine Anpassung des Trocknungsvorgangs erfolgen. Für unterschiedliche Rohstoffe sollten zusätzlich im Vorfeld Anpassungen am Trocknungsprogramm stattfinden. Dieses kann man über ein integriertes Programm am Gefriertrockner verändern. Dabei können für jeden eingefügten Schritt neben der Temperatur und Dauer auch das vorhandene Vakuum eingestellt werden. Bei einer richtigen Kombination wird eine Trocknung maßgeblich beeinflusst und auch verbessert. Sollten die grundsätzlichen Anforderungen durch den Anwender nicht bekannt sein, können auch in dem Gerät bereits vorgeschriebene Programme verwendet werden. Diese sind jedoch immer auf den optimalen Zustand (Laborbedingungen) der Rohstoffe eingestellt und setzen eine gleiche Vorbereitung der Proben voraus. Wenn die Proben vorbereitet sind und das passende Programm ausgewählt wurde, müssen nachfolgend Kontrollen am Gerät durchgeführt werden. Wichtig ist es auf die Sauberkeit der ganzen Anlage zu achten, besonders kleine Öffnungen und Lamellen für eine Belüftung müssen frei von Staub und anderen Fremdkörpern sein. Ventilöffnungen sind für Trocknungsprozesse besonders anfällig und können oft schon durch kleine Partikel in ihrer Funktionsweise gestört werden. Befindet sich das Gerät außer Betrieb, werden diese Ventile offen gelassen um ein Auslüften dieser zu begünstigen. Für die in der Gefriertrocknung vorhandene Vakuumpumpe muss zusätzlich der Öldruck überprüft und bei Bedarf ausgebessert werden. Nach dem Überprüfen des Gerätes auf Tauglichkeit, kann dieses nachfolgend in Betrieb genommen werden. Standardweise befindet es sich dann im Standby-Modus und wartet auf die weiteren Arbeitsschritte. Je nach Typ und Funktionsweise sollte nachfolgend eine Vorkühlung stattfinden. Dadurch wird gewährleistet das zu Beginn des Prozesses ein passendes Klima in der Kammer der Gefriertrocknung vorhanden ist. Der Ventilator wird auf dem Boden des Trockners positioniert und wie der Stellflächenturm fachgemäß angeschlossen. Zusätzlich sollten im Vorfeld alle Ventile fest verschlossen und der Deckel des Trockners aufgelegt werden. Die Innentemperatur wird wie alle weiteren Zahlenwerte der aktuellen Trocknung über das Display kontrolliert. Für die Vorkühlung bieten sich Temperaturen von -15 °C und eine Dauer von 30 min an. Sobald dieser Bereich erreicht ist, können die Proben auf die Stellflächen positioniert werden. Messfühler zur Kontrolle der Produkttemperatur können zusätzlich Einsatz finden. Diese müssen lediglich ins Innere der Probe eingeführt werden. Nach der Beladung des Gerätes, kann nun das Programm für die Trocknung starten. Dafür wird dieses lediglich aus den gespeicherten Einstellungen geladen und bestätigt. Durch einfaches Betätigen der Starttaste auf dem Gerät kann nun der Prozess für mehrere Stunden stattfinden. Messkurven der Produkte können dank der Messfühler und vorhandener Software dauerhaft überprüft werden. Nach Durchlauf aller Programmschritte wird das Gerät automatisch in den Standby-Modus geschaltet. Durch Öffnen des Vakuumventils wird nun Luft in das System und der Innendruck auf Atmosphären gebracht. Dies sollte im besten Falle sehr

langsam und gleichmäßig durchgeführt werden, um ein verringern der Verwirbelung von Produkt zu verhindern. Der Stellflächenturm wird abgeschlossen und anschließend aus der Anlage entnommen. Proben sollten im besten Fall anschließend einer schnellen Verpackung und Verarbeitung unterliegen. Auch der Ventilator sollte entnommen und wie alle anderen Bestandteile auf Funktionstüchtigkeit überprüft werden. Nach dem Abtauen der Anlage, sollte noch eine Reinigung erfolgen. Die Ventile können nun wie bereits erwähnt geöffnet bleiben und die Anlage kann am Hauptschalter ausgeschaltet werden. Erhaltene Messkurven können computergestützt einer Kontrolle unterlaufen. Erklärungen für die allgemeine Auswertung dieser Kurven können im späteren Verlauf der Arbeit nachvollzogen werden.

4 Ergebnisse

Eine Auswertung der Ergebnisse erfolgt direkt im Anschluss zur abgeschlossenen Untersuchung. Dadurch konnten nachfolgende Untersuchungen festgelegt werden und, beispielsweise im Trocknungsprogramm und der Arbeitsweise, erfolgen.

4.1 Vorversuch V1-V2

Ziel des ersten Vorversuches war es, eine geeignete Probenvorbereitung zu finden und die ersten Hinweise auf eine gezielte Arbeitsweise mit den Produkten zu erlernen. Der Gefriertrockner als solches, musste mit der Vielzahl der Einstellungsmöglichkeiten erst kennengelernt werden. Die Hinweise von Araya-Farias und Makhlouf (2011) zum Einsatz von durchgefrorenen Produkten, erwies sich als sehr sinnvoll, auch wenn das Aufrechterhalten einer Kühlkette sich bei der manuellen Verarbeitung als schwierig gestaltet. Ebenfalls die Produkte nicht im Ganzen, sondern halbiert oder wenigstens grob zerkleinert auf die Platten zu geben, kann als guter Anhaltspunkt für die Gefriertrocknung gesehen werden. Dadurch, dass eine Schichthöhe von 4 cm nicht überschritten wurde, konnten die Proben sehr gleichmäßig trocknen und auch nicht durch zusammenhaften ein Trocknen erschweren. Festzustellen war es, dass die Proben an der Plattenoberfläche anhaften. Problematischer ist es jedoch, dass die getrockneten Produkte sehr klebrig sind. Allerdings war die Farbe der Produkte sehr gut erhalten und auch aromatisch konnten die Proben überzeugen. Die Klebrigkeit jedoch lässt darauf schließen, dass nach über 26 Stunden der Trocknung noch eine zu hohe Restfeuchte in den Produkten vorhanden ist. Dies kann beispielsweise an der Schale liegen, aber auch den vorhandenen und nicht entfernten Kernen im Produkt. Unterschiede zwischen Aronia und Sanddorn sind nicht auszumachen. Beide weisen sowohl in halbierter als auch grob zerkleinerter Form ähnliche Eigenschaften auf.



Abbildung 3: Gefriergetrocknete Aroniabeeren, links grob zerkleinert, rechts halbiert (Büssow, 30.06.2018).

Das Temperaturprogramm als Gesamtes gilt es zu bemängeln. Es werden zu wenige Haltezeiten ermöglicht und auch der Schritt bei 20 °C für 14 Stunden wirkt sehr lang. Die Länge des Schrittes in Verbindung mit der Temperatur ist leider nicht zu begründen und sollte daher entweder komplett gekürzt werden oder in abgewandelter Form in künftigen Versuchen Anwendung finden. Als Fazit des ersten Vorversuches kann die Probenvorbereitung als sehr positiv betrachtet werden. Auch wenn der Aufwand sehr hoch ist, sind die Ergebnisse schon eine Tendenz in die richtige Richtung für die nachfolgenden Versuche. Verbesserungen können noch in Richtung Ablösen von der Schalenoberfläche getätigt werden und Verringerung des Auftauens der Proben. In Abbildung 3 sind auf der rechten Platte die Saftspuren von angetauten Aronia zu erkennen. Dies kann minimiert werden und möglicherweise auch ein besseres Ablösen der Proben begünstigen. Auf eine Untersuchung der Restfeuchte wurde in diesem Vorversuch noch verzichtet, da das Produkt noch nicht die gewünschten Eigenschaften mit sich bringt. Der zweite Vorversuch sollte die Probenvorbereitung beschleunigen. Dafür wurden die durch den Mixer zerkleinerten Früchte direkt auf eine Platte gegeben und getrocknet. In Abbildung 3 kann man vergleichsweise beide Möglichkeiten der Verarbeitung von Aronia sehen. Durch die besonders schnelle Verarbeitung ist es möglich, eine große Menge an Platten in schneller Zeit zu befüllen. Allerdings garantiert der Mixer nicht immer eine optimale Zerkleinerung. Zusätzlich sorgt er dafür, dass die Oberfläche der Proben stark vergrößert wird und ein schnelleres Auftauen begünstigt wird. Die Messung mit den Temperaturfühlern sollte Aufschluss darauf geben, inwieweit die Innentemperatur der Proben mit dem Trocknungsprogramm standhalten kann. Es empfiehlt sich, die Temperaturfühler in einer angetauten Beere ein-

zuführen und direkt bei -23 °C einzufrieren. In der nachfolgenden Abbildung kann man gut erkennen, dass die halbierten Beeren besonders im Bereich zwischen -25 °C und -10 °C dem eigentlichen Temperaturprogramm hinterherhängen. Dies kann ein Anhaltspunkt sein für den Bereich, in dem sich der Erstarrungspunkt des Produktes befindet (eutektische Temperatur, Glasübergangstemperatur). Die Firma Christ bestätigt in ihrer zum Gefriertrockner beigelegten Anleitung diese Vermutung. Zusätzlich sagen sie, dass je weiter sich das Vakuum dem Erstarrungspunkt gemäß der Dampfdruckkurve über Eis annähert, umso mehr kann die Haupttrocknungszeit verkürzt werden. Es empfiehlt sich daher nachfolgend auch eine Trocknung im Bereich zwischen -25 °C und -10 °C zu intensivieren. Jedoch bleibt schlussendlich die Problematik der restlichen Flüssigkeit, welche sich besonders in den Schalenbestandteilen und Kernen befindet. Dies sorgt besonders für die Klebrigkeit und das Anhaften der Produkte. Auch eine vergrößerte Oberfläche, wie sie in V2 ermöglicht wurde, kann schlussendlich nicht das Trocknen der Schalenbestandteile begünstigen.

4.2 Vorversuch V3

Unter den stark zerkleinerten Proben konnte das Backpapier ein Anhaften der Proben verhindern. Die beschichtete Oberfläche der Unterlage erleichterte auch das Überführen der Proben in andere Gefäße. Auch wurde die Reinigungsarbeit auf ein Minimum abgesenkt. Optische Unterschiede zu den vorherigen Versuchen ergaben sich jedoch nicht (s.Abb.4).



Abbildung 4: Gefriergetrocknete Aroniabeeren, links grob zerkleinert, rechts halbiert (Büssow, 30.06.2018).

Die Anpassung des Gefriertrocknerprogramms ergab eine Verringerung der Klebrigkeit. Erkennbar ist auf der Platte mit den halbierten Beeren auch weniger Austritt von Flüssigkeit, was wiederum zu einem trockenen und weniger klebrigen Produkt führt. Jedoch befindet sich nachweislich in der Schale ein zu hoher Anteil Flüssigkeit. Ergebnisse der Restfeuchtebestimmung ergeben

Werte über 5 %. Diese sind laut Gehrman (2009) für ein Pulver, welches in der Sprühtrocknung hergestellt wird, zu hoch. Jedoch müssen bei den hier hergestellten Produkten ein hoher Schalenanteil und auch die vorhandenen Kerne Berücksichtigung finden. In der Tab. 15 kann man erkennen, dass sich die halbierten Aronia im Vergleich zu den restlichen Produkten am besten trocken ließen. Die grob zerkleinerten Varianten hatten eine vergleichsweise hohe Restfeuchte, was besonders an dem engen Aneinanderlegen der Proben liegen kann oder erneut an der vergrößerten Oberfläche dieser Produkte.

Tabelle 15: Trockensubstanzbestimmung der Proben vom V3

Probennummer	Art und Verarbeitungsgrad	Ø Trockensubstanz %
Probe 1	Grob zerkleinerter Sanddorn	6,53 %
Probe 2	Halbierter Sanddorn	6,08 %
Probe 3	Grob zerkleinerte Aronia	6,86 %
Probe 4	Halbierte Aronia	5,42 %

Da zusätzlich Sanddorn eine dünnere und wachsartige Schale besitzt, konnten leicht bessere Ergebnisse erzielt werden. Dadurch wurde auch eine geringere Klebrigkeit in den beiden Produkten festgestellt. Beim Ablösen von den Platten waren die Beeren sehr leicht und konnten sogar leicht zerrieben werden. Eine wachsartige Schicht und der Anteil von ölhaltigen Kernen kann jedoch bei späteren Mahlversuchen Probleme verursachen. Daher sind diese Ergebnisse mit Vorsicht zu genießen. Sowohl die Aronia- als auch die Sanddornproben konnten durch eine kräftige für die Frucht typische Farbe und ein intensives Aroma überzeugen.



Abbildung 5: Gefriergetrocknete Proben (v.l.: grob zerkleinertes Sanddorn, halbiertes Sanddorn, grob zerkleinerte Aronia, halbierte Aronia) (Büssow, 30.06.2018).

Innerhalb kurzer Zeit konnte jedoch festgestellt werden, dass sich alle Proben schnell gummiartig anfühlten. Die Feuchtigkeit erhöhte sich schlagartig und ein sehr klebriges und unbrauchbares Produkt konnte zumindest als optisches Beispiel eingelagert werden (s. Abb. 5).

4.3 Vorversuch V4

Die vorherige kleine Änderung am Temperaturprogramm konnte nicht dafür sorgen, dass nachfolgende Produkte weniger Klebrigkeit vorweisen. Um ein möglichst trockenes Gut zu erhalten, wurden Alternativen ausprobiert. Es empfiehlt sich während bzw. nachfolgend zur Gefriertrocknung, eine Trocknung im höheren Temperaturbereich ($>50\text{ °C}$) durchzuführen, um auch Flüssigkeit aus den Schalen zu entfernen. Das angepasste Temperaturprogramm sorgte zusätzlich für die gesamte Verkürzung des Prozesses. Die Aroniabeeren waren sehr trocken, wenig bis überhaupt nicht klebrig und konnten leicht von den Platten entfernt werden. Ausschließlich kleinere und schlecht zerkleinerte Beeren waren nicht wie gewünscht getrocknet. Äußerlich sahen die Beeren sehr gut aus und auch das Aroma war sehr kräftig und wie erwünscht. Unterschiede zwischen den grob zerkleinerten und halbierten Aronia waren auf den ersten Blick, unmittelbar nach der Trocknung, nicht festzustellen. Beim getrockneten Sanddorn war der äußerliche Eindruck auch sehr positiv und beim Fühlen merkte man keine Klebrigkeit. Unterschiede zwischen der grob zerkleinerten und halbierten Variante waren nicht zu erkennen. Die getrockneten Aronia erinnern in ihrer Art sehr an getrocknete Früchte, die man im Supermarkt erhalten kann. Vom ersten Eindruck her sollte ein Vermahlen dieser Beeren mühelos vonstattengehen. Messungen ergeben eine sehr positive Steigerung der Werte (s. Tab. 16).

Tabelle 16: Trockensubstanzbestimmung der Proben vom V4

Probennummer	Art und Verarbeitungsgrad	Trockensubstanz %	Trockensubstanz vom Vorversuch
Probe 1	Halbierter Sanddorn	6,88 %	6,08 %
Probe 2	Grob zerkleinerter Sanddorn	6,49 %	6,53 %
Probe 3	Halbierter Aronia	4,63 %	5,42 %
Probe 4	Grob zerkleinerter Aronia	3,40 %	6,86 %

Besonders die grob zerkleinerten Aronia können aufgrund der vergrößerten Oberfläche viel Flüssigkeit abgeben. Die ungefähre Schwelle von 5 % können beide Aroniaprodukte erreichen. Warum die Werte bei dem halbierten und grob zerkleinerten Sanddorn nach wie vor keine Veränderung zeigen, liegt vermutlich an der schon vorher beschriebenen Wachsschicht und auch an den im Fruchtfleisch befindlichen ölhaltigen Kernen. Nachfolgende Versuche sollten besonders beim Sanddorn auf eine Verringerung der Kerne abzielen. Möglichkeiten wären der Einsatz von dickflüssigen Saft oder Mark und das aufwendige Entfernen aller Kerne und der Schale. Positive Erkenntnis dieses Versuches ist die Möglichkeit, den Prozess stark zu verkürzen und ein besseres Ergebnis zu erhalten. Durch weitere Einsparungen könnte der Prozess sogar in weniger als 20 Stunden mit gleichbleibend hoher Qualität durchgeführt werden. Vorschläge für kurze und sehr effektive Programme finden sich in folgenden Teilen der Arbeit. Ein optimales Programm für alle Arten von Früchten gibt es jedoch nicht und daher sollten diese Programme nicht wahllos auf andere Produkte übertragen werden.



Abbildung 6: Proben vom 27.04.2018 (v.l. Sanddorn halbiert, Sanddorn grob zerkleinert, Aronia halbiert, Aronia grob zerkleinert) (Büssow, 30.06.2018).

Problematisch ist weiterhin die Lagerung der getrockneten Produkte. Nach wenigen Stunden beginnen die ersten Proben stark zu agglomerieren und werden sehr klebrig. Lediglich Aronia in seiner halbierten Form kann sich noch über einige Tage stabil halten, wird jedoch auch irgendwann von der Textur gummiartig. Eine gute Lagermöglichkeit gibt es bisher noch nicht und sollte daher in den kommenden Hauptversuchen ergründet werden. Die Plastikschaalen dienen lediglich der kurzzeitigen Aufbewahrung der Proben und zur guten Präsentation. Erfolgreich sind die Vorversuche allemal gewesen. Zusammenfassend kann man sagen, dass es mithilfe der Gefriertrocknung möglich ist, Produkte herzustellen, die im weiteren Verlauf zu Pulver verarbeitet werden können und sowohl ihre äußerlichen Merkmale als auch den sensorischen Ersteindruck beibehalten.

4.4 Hauptversuch V5

Wie in der Durchführung beschrieben, wurden zunächst die halbierten und grob zerkleinerten Aronia genauer untersucht. Besonders aufgrund der niedrigeren Restfeuchte bieten sich die Proben zum Verarbeiten zu Pulver an.

Tabelle 17: Übersicht der prozentualen Gewichtverluste während der Trocknung halbiertes Aronia

	Gewicht Platte (g)	Ein- waage Probe (g)	Gesamtge- wicht (g)	Gesamtge- wicht nach der Trocknung (g)	Ausbeute (g)	Gewichtver- lust %
1	953,8	132,4	1086,2	981,2	27,4	79,31
2	893,8	138,5	1032,3	929,3	35,5	74,37
3	902,5	125,8	1028,3	931,6	29,1	76,87
4	895,8	131,6	1027,4	917,4	21,6	83,59
5	913,8	130,9	1044,7	938,1	24,3	81,44
6	940,4	130,1	1070,5	966,5	26,1	79,94
7	938,4	133,3	1071,7	960	21,6	83,80
8	901	135,6	1036,6	923,4	22,4	83,48
9	912,1	137,4	1049,5	935,9	23,8	82,68
10	916,5	132,2	1048,7	943,3	26,8	79,73
Durchschnitt	916,81	132,78	1049,59	942,67	25,86	80,52
Gesamt		1460,58			284,46	

In der Tabelle 17 können übersichtsweise die prozentualen Verluste durch die Gefriertrocknung erkannt werden. Verschiedene Quellen beschreiben Gewichtverluste von bis zu 80 % innerhalb eines Gefriertrocknungsprozesses als möglich an. Mit einem durchschnittlichen Gewichtverlust von etwa 80,52 % und einer durchschnittlichen Ausbeute pro Platte von 25,86 g, bewegt sich unser Produkt im sehr positiven Bereich. Zusammengefasst wurden insgesamt 1460,8 g Rohstoff auf den 10 Platten verteilt. Daraus wurden 284,46 g getrocknete halbierte Aronia hergestellt. Mithilfe der Mühle konnte daraus 250,18 g Pulver hergestellt werden. Die Verluste sind besonders auf das schwierige Arbeiten mit der Mühle zurückzuführen. Beschriebene Gewichtsverluste von bis zu 80 % werden insbesondere bei sehr wasserreichen Obstsorten erreicht (Orange, Zitrone). Auch Aronia zählt mit Wasseranteilen, je nach Sorte unterschiedlich, zwischen 78 % - 85 % zu den sehr wasserreichen Früchten. Die gesamte prozentuale Gewichtsveränderung lässt auf den sehr hohen Verlust von Wasser schließen.

Tabelle 18: Übersicht der Gewichtverluste während der Trocknung grob zerkleinerter Aronia

	Gewicht Platte (g)	Einwaage Probe (g)	Gesamt- gewicht (g)	Gesamtgewicht nach der Trocknung (g)	Ausbeute (g)	Gewichtver- lust %
1	953,8	145,6	1086,2	980,4	26,6	81,73
2	893,8	143,5	1037,3	931,4	37,6	73,80
3	902,5	128,5	1031	929,5	27	78,99
4	895,8	127,7	1023,5	920,5	24,7	80,66
5	913,8	130,8	1044,6	936,1	22,3	82,95
6	940,4	130,9	1071,3	968,7	28,3	78,38
7	938,4	152,8	1091,2	948,3	9,9	93,52
8	901	146,3	1047,3	920,1	19,1	86,94
9	912,1	120,3	1032,4	932,3	20,2	83,21
10	916,5	138,4	1054,9	938,6	22,1	84,03
Durch- schnitt	916,81	136,48	1051,97	940,59	23,78	82,58
Gesamt		1501,28			261,58	

Eine prozentual höhere Ausbeute ist bei den grob zerkleinerten Aronia zu beobachten (s. Tab. 18). Dies deutet auf den erhöhten Flüssigkeitsverlust dieser Produkte hin. Die Ausbeute ist dadurch geringer, kann jedoch trotzdem als sehr positiv betrachtet werden. Grundsätzlich steigert sich durch einen geringeren Wassergehalt die Lagerfähigkeit der Produkte und zusätzlich findet eine erhöhte Konzentration der Inhaltsstoffe auf kleinerer Menge statt. Islam (2017) beschrieb diese positiven Eigenschaften besonders in Bezug auf die Produktion von Orangenpulver mittels Sprühtrocknung. Da die Gefriertrocknung zusätzlich noch als sehr Vitamin C und Farbschonendes Verfahren beschrieben wird (Barbosa, 2015), kann ein ähnlicher positiver Effekt eintreten. Insgesamt ist der Trocknungsvorgang der Aronia als sehr erfolgreich zu bewerten. Die typischen Probleme treten jedoch bereits bei der Verarbeitung zum Pulver auf. Schalenbestandteile sorgen für eine sehr pelzige Struktur und erzeugen kein typisches Pulver. Produkte, die mittels Sprühtrocknung hergestellt werden, haben diese Problematik nicht, müssen sich jedoch mit einer langwierigen Konzentration des Saftes beschäftigen und auf viele Inhaltsstoffe der Schale verzichten. Ein weiteres Problem ist die sehr schnell eintretende gummiartige Struktur der einzelnen Beeren. Sobald die Platten aus der Gefriertrocknung entnommen werden, müssen sie auch direkt verarbeitet werden, weil sich ansonsten die Produkte drastisch ins Negative verändern. Nach dem Vermahlen und Vakuumieren der Proben in geeigneten Tüten, können die Produkte problemlos eingelagert werden. In dieser Aufmachung kann das Aroniapulver für mehrere Tage, dunkel und kühl, gelagert werden.

Tabelle 19: Trockensubstanzbestimmung der Proben V5

Probennummer	Art und Verarbeitungsgrad	Trockensubstanz %
Probe 1	Halbierte Aronia	3,89 %
Probe 2	Grob zerkleinerte Aronia	4,22 %
Probe 3	Pulver aus halbiert	3,62 %
Probe 4	Pulver aus grob zerkleinerten Aronia	3,98 %

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass ein zumindest vorübergehend stabiles Pulver aus Aronia hergestellt werden kann. Die grob zerkleinerten Aronia ermöglichen einen erhöhten Flüssigkeitsverlust, haben jedoch einen höheren Anteil an Restfeuchte im Produkt (s. Tab. 19). Aus etwa 1,5 kg Produkt können bei ordentlicher Trocknung ungefähr 250 g Pulver für den späteren Einsatz produziert werden. Lediglich die Lagerung der Pulver und die Stabilität muss verbessert werden, dies im besten Fall ohne Verwendung von Maltodextrin oder anderen Trägersubstanzen.

4.5 Hauptversuch V6

Die verschiedenen Behältnisse wurden mit den vorbereiteten Pulvern aus Aronia befüllt und für einen längeren Zeitraum in regelmäßigen Abständen untersucht. Wichtig war es im Vorfeld die äußeren Umstände zu untersuchen. Im Trockenlager wurden die Proben bei 20 °C, einer relativen Luftfeuchtigkeit von 53 % und einer Beleuchtung von 20 Lux eingelagert. Standardwerte im Kühlraum betragen 6 °C, 38 % relative Luftfeuchtigkeit und eine absolute Dunkelheit bei ausgeschaltetem Licht (typische Lagerbedingungen). Zunächst wird deutlich, dass sich gekühlte Proben stabiler über den Zeitraum von 16 Wochen verhalten als diejenigen, welche bei Raumtemperatur eingelagert werden. Die Aussage von Telis (2012) besonders auf die Umgebungstemperatur der gelagerten Pulver und Proben zu achten, erweist sich als äußerst wichtig.

Tabelle 20: Übersicht über die Entwicklung der Restfeuchte verschiedener Aroniaprogen

Lagerung in	Restfeuchte									
	0h	24h	48h	96h	1 W	2 W	4 W	8 W	16 W	Anstieg %
Plastikbehälter (7 °C)	3,49	3,64	3,79	3,92	4,05	4,07	4,10	4,28	5,16	1,67
Plastikbehälter (20 °C)	3,44	3,84	4,13	4,42	4,66	5,20	6,00	0,00*	0,00*	0,00*
Vakuumbbeutel (7° C)	3,47	3,41	3,63	3,68	3,74	3,76	3,78	3,91	4,01	0,54
Vakuumbbeutel (20 °C)	3,46	3,47	3,53	3,67	3,71	3,78	3,79	3,92	4,01	0,55
Schraubglas (7 °C)	3,55	3,85	4,19	4,92	5,11	5,34	5,83	6,04	6,18	2,63
Schraubglas (20 °C)	3,29	3,91	4,13	4,42	5,01	5,24	5,76	6,04	6,07	2,78
Schraubglas Exsikator	3,31	3,91	4,07	4,43	5,04	5,22	5,53	5,91	6,00	2,69
Papierbeutel (7 °C)	3,59	3,85	4,11	4,31	4,52	4,82	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*
Papierbeutel (20 °C)	3,30	3,94	4,13	4,43	4,72	5,02	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*

0.00* - Proben konnten aufgrund von Ungeziefer nicht weiter untersucht werden

Leider mussten einige Proben nach vier bzw. sechs Wochen der Lagerung entsorgt werden. Motten waren in den Plastikbehältern und Papierbeuteln vorzufinden. Dieser Schädlingsbefall kann einerseits aufgrund der nicht sehr sicheren Verpackung und andererseits bereits durch die Rohstoffe in die Pulver gelangt sein. Eine genaue Auswertung der entsorgten Proben kann daher leider nur tendenziell erfolgen bzw. auf Rückschluss der ersten Wochen. Die Plastikbehälter haben über den Zeitraum der Lagerung einen vergleichsweise mittelmäßigen Anstieg der Restfeuchte. Ab ungefähr 3,5 % setzt auch erneut die typische klebrige Struktur ein. Der kühler gelagerte Plastikbehälter zeigt nach vier Wochen der Lagerung ein viel besseres Ergebnis als das bei Raumtemperatur gelagerte Produkt. Auch der Punkt, dass sich im kühl gelagerten Produkt keine Motten bis zum Ende der Untersuchung befanden, lässt darauf schließen, dass ein Teil des Ungeziefers von außen in die Plastikschaalen eingedrungen sein muss. Trotzdem ist auch bei dem gekühlten Pulver in der Plastikverpackung ein Wert über 5 % Restfeuchte nach 16 Wochen eindeutig zu hoch und bestätigt keine hohe Stabilität des Produktes bzw. guten Schutz durch die Verpackung. Im Vorfeld wurden schon einige Proben in Vakuumbbeutel gelagert und zeigten eine gute Stabilität. Die Werte belegen diese Erkenntnis eindeutig. Lediglich um 0,5 % ist die Restfeuchte über die Zeit angestiegen. Vermutlich ist dieser Anstieg auch nur durch das Öffnen zum Entnehmen der Probe entstanden. Diese Lagerung ist nur dann sinnvoll, wenn die Pulver in Portionsbeutel eingelagert und direkt im Gesamten verarbeitet oder erneut verschlossen werden können. Für den Konsumenten und potentiellen Käufer der Pulver ist dies jedoch nicht möglich. Beobachten kann man, dass schon einige Online-Händler Pulver aus verschiedenen Früchten in reiner Form anbieten. Die Produkte werden in 100 g Vakuumbbeutel angeliefert und können laut Herstellerangaben nach dem Öffnen Klumpen

bilden. Daher sollte ein lediglich im Vakuumbbeutel stabiles Produkt nicht als negativ bewertet werden, jedoch als eher umständlich für den Alltagsgebrauch. Aufgrund der Empfehlung verschiedener Projektmitarbeiter, wurde zusätzlich die Lagerung von Proben in speziellen Gläsern durchgeführt und auch eine besondere Lagerung im Exsikkator. Durch das Positionieren der Probe im Exsikkator, sollte der Probe zusätzlich Feuchtigkeit entzogen werden. Die verschlossenen Gläser haben insgesamt die schlechtesten Ergebnisse geliefert. Zwar waren sie frei von Schädlingen, hatten jedoch mit ungefähr 6,08 % Restfeuchte den höchsten Anstieg aller gelagerten Pulver (s. Abb.7).

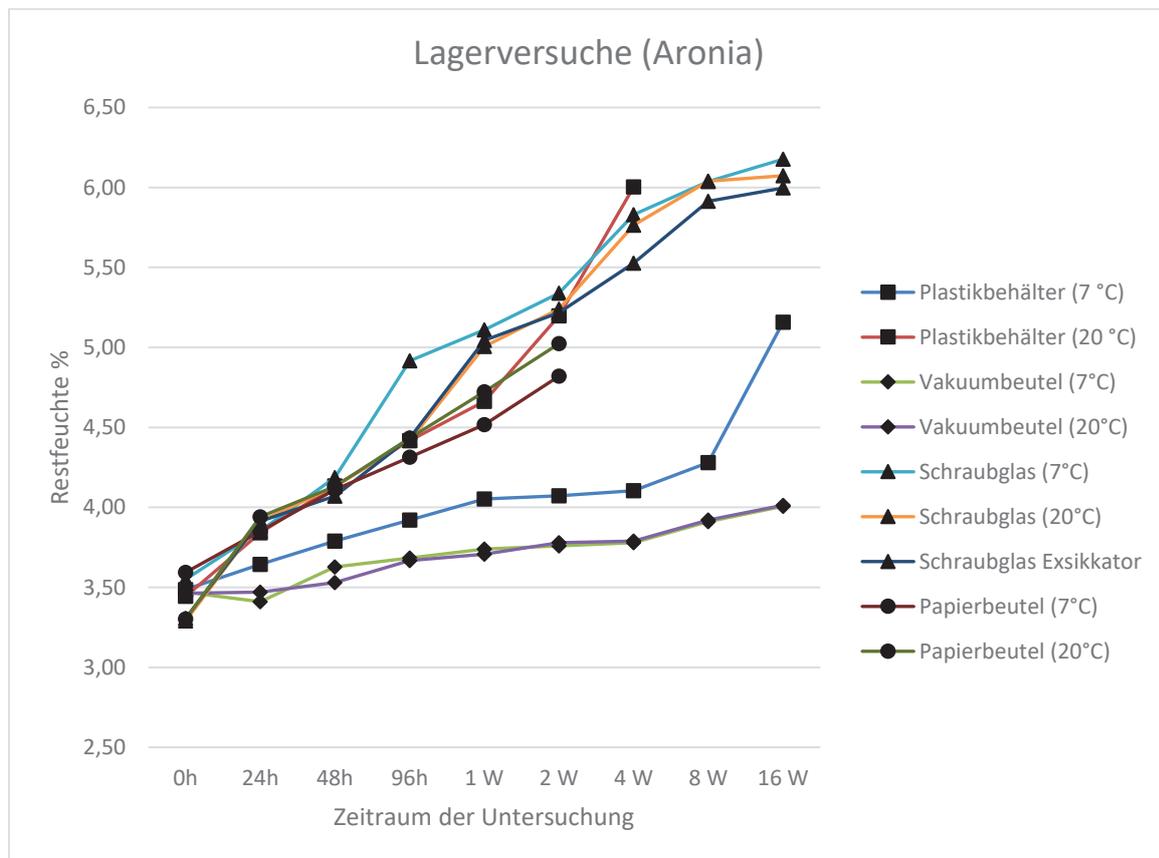


Abbildung 7: Grafische Darstellung der Veränderung der Restfeuchte über die Lagerdauer

Dementsprechend waren die Pulver in einzelne gummiartige Klumpen verformt und das bereits nach 48 Stunden der Lagerung. Auch die Kühlung schaffte dabei keine Abhilfe. Eine Erklärung für das besonders starke Auftreten dieser Verklumpung liegt besonders an den Verschlüssen der Gläser. Häufigste Risikofaktoren bei Glasverpackungen sind die Deckel. Diese sind nicht wie die Flaschen aus einem durchgehenden Rohstoff hergestellt, sondern ein Extrateil. Die Verpackung Glas ist bekannt dafür, ausschließlich über den Verschluss Stoffe zu emigrieren und ansonsten sehr sicher vor Migration zu schützen (Müller-Simon, 2010). Das gilt besonders für den Schutz vor Sauerstoff von außen. Bei den eingesetzten Verpackungen ist es ziemlich schwer einen genauen Einfluss des Sauerstoffs auf das Produkt nachzuweisen. Dies kann lediglich durch komplett

verschlossene Verpackungen mit Siegelnähten erfolgen (Buchner, 1999). Grund dafür ist die fehlende Kontrolle des Übergangs durch die Verpackungen und eventuelle Öffnungen. Bei versiegelten Verpackungen (beispielsweise Vakuumbbeutel) mit der Ausgangskonzentration 0 in der Verpackung kann der Konzentrationsverlauf des Sauerstoffs in sauerstoffarmen Verpackungen durch folgende Formel dargestellt werden.

$$C = 20,89 * (1 - e^{-\frac{P_n * D_G * A}{V} * t})$$

Dabei bedeutet:

C = Konzentration des Sauerstoffs in der Packung

P_n = Normaldruck in der Packung (1 bar)

D_G = Gasdurchlässigkeit

A = Oberfläche der Packung durch die das Gas geht

t = Zeit

V = Hohlraumvolumen der Packung

Daraus ist zu schließen, dass besonders das Verpackungsmaterial und die Qualität des Verpackens einen enormen Einfluss auf das spätere Endprodukt haben und daher mit Bedacht durchgeführt werden müssen. Bei den Gläsern machen es die Deckel schwierig genaue Angaben für eine Berechnung zu ermöglichen. Es bleibt immer noch zu viel Spielraum für Sauerstoff, in die Gläser einzudringen und für das schnellere Verklumpen der Pulver zu sorgen. Eine weitere negative Eigenschaft ist bei den vorherigen Verpackungen auch zu nennen: eine durchsichtige Verpackung zeigt zwar für den Kunden schon was zu erwarten ist, jedoch können durch die Einwirkung von Licht, besonders anfällige Vitamine zerstört werden. Besonders das in unseren Produkten vorhandene Vitamin C ist laut Ternes (2005) und Matissek (2015) sehr anfällig gegenüber Tageslicht und kann schon nach wenigen Stunden um bis zu 35 % seines ursprünglichen Gehaltes reduziert werden. Daher wurde noch eine Alternative gewählt, die vielversprechend wirkt. Die Papierbeutel, welche von innen beschichtet sind, eignen sich hervorragend um Kaffee und andere pulverförmige Lebensmittel zu lagern. Eine lichtundurchlässige Außenseite begünstigt die bereits erwähnten möglichen Vitaminverluste. Bis zur zweiten Woche lieferten die Papierbeutel relativ gute Ergebnisse und waren zusätzlich leicht zu handhaben. Durch das Verschließen mittels Zubinden der Tüte, kann jedoch kein Austausch verhindert werden. Positiv ist jedoch die Beschichtung, welche ein Verklumpen und Anhaften an der Oberfläche der Verpackung sehr geringhält. Schädlinge hat-

ten es in dem Fall der Papiertüten sehr leicht einzudringen. Hier befanden sich sogar in der gekühlten Variante, kleinere Motten. Diese müssen sich jedoch bereits im Vorfeld in den Produkten befunden haben. Die optimale Verpackung für ein Pulver zu finden, gestaltet sich als sehr schwer. Abhängig von den Kundenwünschen, muss daher entschieden werden, ob es sinnvoll ist mit Portionsbeutel zu arbeiten, welche vorher vakuumiert wurden oder doch mit beschichteten Behältnissen. Abgedunkelte Verpackungen sollten bei der Lagerung von sehr Vitamin C-reichen Lebensmitteln und anderen Substanzen gewählt werden, um einen durch Sonnenlicht auftretenden Vitaminverlust zu verhindern (Ternes, 2005). Empfohlen für eine sauerstoffarme Lagerung werden daher entweder Dosen aus Blech oder heißgesiegelte Becher/Beutel. Diese können genauer kontrolliert werden und eine eventuelle Gasdurchlässigkeit angeben (Buchner, 1999). Der Einsatz niedriger Temperaturen zur Lagerung der Pulver, sollte dennoch Berücksichtigung finden, weil dadurch eine Lagerung grundsätzlich verbessert und verlängert werden kann.

4.6 Hauptversuch V7

Die getrockneten Sanddornproben hatten oftmals Probleme mit einer sehr hohen Klebrigkeit und geringen Stabilität während der Lagerung. Hauptsächlich Kerne und Schalenbestandteile sind für diese Erscheinung verantwortlich. Durch die Verwendung von Sanddornmark der Firma Bayernwald sollten nun diese Probleme verringert werden. Wie in der Durchführung beschrieben, konnten diese Proben genauso behandelt werden wie die Aroniaprobe. Nach dem Entnehmen der Proben konnte sofort festgestellt werden, dass die Trocknung sehr gleichmäßig durchgeführt wurde. Dank des Backpapiers konnten alle getrockneten Proben mühelos entnommen und direkt in die Zentrifugalmühle überführt werden. Die Pulver wurden auf Restfeuchte untersucht und anschließend in Vakuumbutel verpackt. Vergleicht man die letzten Werte der Untersuchung von gefrorenen Sanddorn und die der Pulverherstellung aus Aronia, ergeben sich äußerst positive Werte. Außer der sehr guten Handhabung vom Mark im Vergleich zu den gefrorenen Früchten, kann auch eine Verbesserung der Trocknung angemerkt werden. Vorteilhaft im Vergleich zum Aroniapulver ist auch das Fehlen von Schalenbestandteilen und Kernen. Besonders dadurch wird verhindert, dass diese Bestandteile später erneut Feuchtigkeit abgeben können. Die ursprüngliche Farbe kann auf den ersten Blick im Vergleich zu den anderen Sanddornpulvern auch überzeugen. Natürlich liegt dies besonders am Fehlen der Kerne. Trotzdem beginnt schon nach kurzer Zeit auf den Platten ein pelziges und klebriges Produkt zu entstehen. Daher müssen die getrockneten Proben schnell verarbeitet und eingelagert werden. Aromatisch ist das Pulver als positiv zu beurteilen. Nach dem Einlagern der Pulver, konnte in den Vakuumbuteln keine Veränderung festgestellt werden. Durch

die erfolgreiche Produktion eines Sanddornpulvers können nun weitere produktrelevante Untersuchungen durchgeführt werden.

Tabelle 21: Übersicht der Restfeuchte getrockneter Produkte

Probenart	Verarbeitungsgrad	Restfeuchte %
Sanddorn (frische Frucht)	Halbiert	6,88
Sanddorn (frische Frucht)	Grob zerkleinert	6,49
Sanddornmark	Pulver	3,70
Aronia (frische Frucht)	Halbiert	3,89
Aronia (frische Frucht)	Grob zerkleinert	4,22
Aronia (frische Frucht) (Halbiert)	Pulver	3,62

4.7 Hauptversuch V8

Die Proben wurden auf die übliche Art und Weise getrocknet und anschließend vermahlen. Zunächst sollte ein Vergleich der Pulverherstellung erfolgen. Die Möglichkeit feinere Pulver herzustellen, soll möglicherweise positive Auswirkungen auf das Lagern und die Stabilität der Produkte haben. Zwei vorhandene Lochscheiben wurden eingesetzt und zeigten klare Unterschiede in der Arbeitsweise. Die Handhabung mit einer üblichen 1 mm Lochscheibe war bereits erprobt und konnte daher problemlos durchgeführt werden. Typisch für den Mahlvorgang ist besonders der Anstieg der Temperatur in der Mühle und auch das leichte Verkleben der Lochscheibe. Der Zeitpunkt bis dies bei der 1 mm Lochscheibe eintritt ist relativ gut abzuschätzen und bewegt sich im normalen Rahmen der Verarbeitung. Durch die geringeren Durchmesser der Löcher bei der 0,5 mm Lochscheibe, ist dieses Problem jedoch sehr schnell eingetreten und sorgte besonders für viel Arbeitsaufwand. Bei dem ständigen Zwischenreinigen der Lochscheibe kommt es leider auch

dazu, dass einige Platten nicht rechtzeitig verarbeitet werden konnten, bevor sie beginnen die pelzige und klebrige Struktur auszubilden.

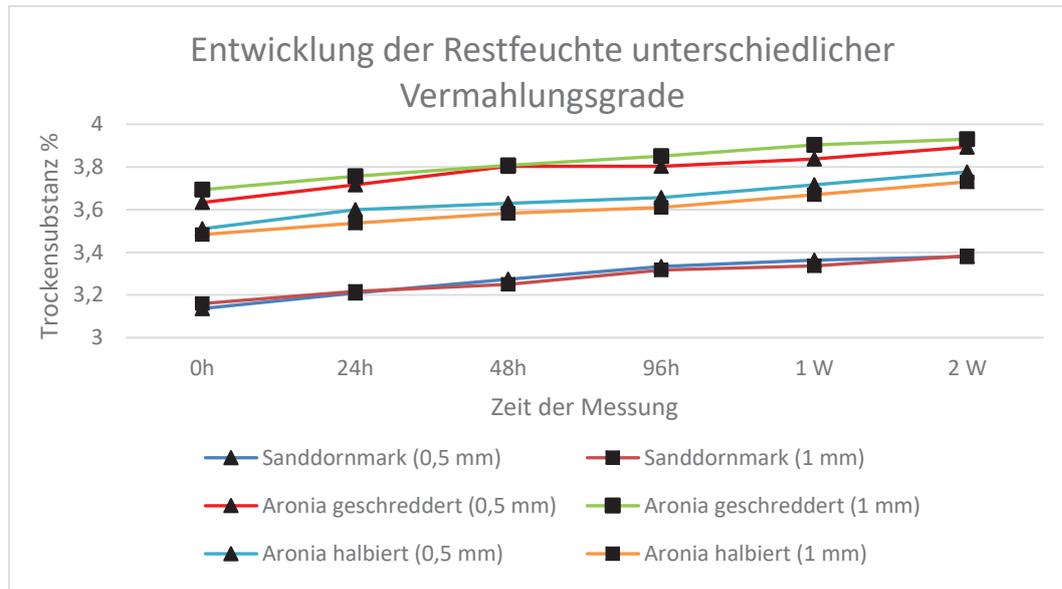


Abbildung 8: Übersicht der Entwicklung von Restfeuchte während der Lagerung in Vakuumbutel

Zusätzlich ergaben sich durch das feinere Mahlen auch keine Vorteile in Bezug auf die Produktqualität oder Stabilität des Pulvers. Da sich der Vakuumbutel in Verbindung mit kühlen Temperaturen als produktschonendste Alternative ergab, wurde dies für diesen Versuch erneut eingesetzt. Bei der Untersuchung der Pulver auf vorhandene Restfeuchte über die Zeit, waren keine großen qualitativen Unterschiede zu erkennen (s. Tab. 22 und Abb. 8).

Tabelle 22: Untersuchung der Restfeuchte über die Zeit

Pulver aus	Restfeuchte %						Unterschied
	0h	24h	48	96	1 W	2 W	
Sanddornmark (0,5 mm)	3,14	3,21	3,273	3,33	3,36	3,38	0,24
Sanddornmark (1 mm)	3,16	3,22	3,25	3,32	3,34	3,38	0,22
Aronia grob zerkleinert (0,5 mm)	3,63	3,72	3,803	3,8	3,84	3,89	0,26
Aronia grob zerkleinert (1 mm)	3,69	3,76	3,807	3,85	3,9	3,93	0,24
Aronia halbiert (0,5 mm)	3,51	3,6	3,63	3,66	3,72	3,78	0,27
Aronia halbiert (1 mm)	3,48	3,54	3,583	3,61	3,67	3,73	0,25
Durchschnitt							0,25

Auch optisch und von den vorhandenen Aromen ähnelten die Pulver in ihrer gesamten Art den Ausgangsprodukten. Für die Arbeitserleichterung sollte jedoch weiterhin mit der 1 mm Lochscheibe gearbeitet werden. Natürlich besteht auch noch die Möglichkeit zukünftig Untersuchungen

mit anderen Mühlen und Mahlkörpern zu tätigen. Diese sollten jedoch kein hauptsächlicher Untersuchungspunkt dieser Arbeit sein.

Die Farbuntersuchungen wurden vergleichend zwischen Ausgangsprodukt und Pulver getätigt. In der nachfolgenden Tabelle (Tab. 23) wurden die nur sehr geringen Unterschiede dargestellt.

Tabelle 23: Mittelwerte der Farbmessungen getrockneter Produkte und Rohstoffe

	L*	a*	b*	RGB	Farbe
Sanddornmark	61,54	28,76	67,27	170, 126, 43	
Sanddornpulver aus Mark	76,73	22,47	77,86	251, 172, 15	
gefrorener Sanddorn	74,54	25,35	66,36	247, 164, 53	
Aroniapulver	43,82	8,03	3,94	119, 99, 97	
gefrorene Aronia	26,36	3,04	-0,24	67, 61, 63	

Die erhaltenen L*a*b*-Werte wurden mithilfe eines Online-Tools (nixsensor.com) in RGB Format umgerechnet und nachfolgend dank der verschiedenen Funktionen von Word als Beispielfarbe in die Tabelle eingefügt. Besonders interessant ist die Veränderung der Farbe von den Ausgangsstoffen zu den hergestellten Pulvern. Wahrscheinlich wird aufgrund der Herstellung des Sanddornmarks ein Großteil der Stoffe aufkonzentriert und die Farbe erscheint leicht bräunlich. Doch direkt nach der Trocknung haben die Pulver eine sehr helle Farbe und ähneln besonders dem gefrorenen Sanddorn. Natürlich darf dabei nicht vergessen werden, dass verschiedene Sorten von Sanddorn auch Unterschiede in der Farbgebung besitzen. Das Aroniapulver ist im Vergleich zum gefrorenen Ausgangsstoff um einige Nuancen heller. Besonders aufgrund der Kerne und weiteren in der Aronia befindlichen Bestandteile kann dies leicht begründet werden. Die vor allem besonders schonende Arbeitsweise mit dem Gefriertrockner, kann dies erst ermöglichen. Farbstoffe, Antioxidantien und weitere Nährstoffe können im Vergleich zur Heißluft-Trocknung erhalten werden (Orak, 2012). Zusätzlich ist nach Orak (2012) Gefriertrocknung die beste Methode, um neben den genannten auch alle weiteren sensorisch wichtigen Bestandteile zu schonen.

4.8 Hauptversuch V9

Zunächst sollte das vielfach beschriebene Problem der Klebrigkeit genauer untersucht werden. Dabei handelt es sich wie erwähnt um Hygroskopie. In einigen Bereichen der Lebensmittelindustrie sind hygroskopische Feuchthaltemittel besonders wichtig, beispielsweise wie Sorbit in Marzipan (Ternes, 2005). Dort verhindert es das Hartwerden und dient somit als Weichmacher. Für Pulver ist diese Eigenschaft unerwünscht. Um dem entgegenzuwirken, werden im Allgemeinen stärkehaltige Substanzen oder andere Mittel wie Maltodextrin eingesetzt. Ein Absorbieren von

Wasser aus der Umgebung wird dadurch zwar nicht verhindert, jedoch kann ein Verklumpen verringert werden. Dies hängt einerseits von der zugegebenen Menge des Trägerstoffes und auch den Produkteigenschaften ab. Besitzt ein Rohstoff besonders hohe Anteile an Fruchtsäuren und Fruchtzucker, können laut Tsami (1998) vermehrt Nebeneffekte wie Klebrigkeit und Hygroskopie der Pulver auftreten. Die Zeit und Restfeuchte, in welcher diese Problematiken auftritt, wurde anhand von getrockneten Sanddornmark und grob zerkleinerten Aronia bestimmt.

Tabelle 24: Übersicht der Beurteilung von getrockneten Aronia über die Zeit

Beurteilung von getrockneten Aronia über die Zeit		
Zeit	TS %	Beurteilung
0 min	3,47	sehr trocken, keine Klebrigkeit vorhanden
5 min	3,57	sehr trocken, Klebrigkeit vergleichsweise höher
10 min	3,8	trocken, erste Fruchtstückchen geben beim Druck ausüben nach
20 min	4,65	gummiartige Früchte, stark klebrig, Pulverherstellung nicht mehr möglich
30 min	5,1	sehr klebrig, eine große Masse auf den Platten
60 min	5,9	sehr klebrig, Produkte lassen sich Geleeartig verformen
120 min	7,2	eine klebrige Masse, lassen sich nicht mehr von der Unterlage lösen

In der Übersicht zu den verarbeiteten Aronia erkennt man schnell den extremen Anstieg der Feuchtigkeit über einen sehr kurzen Zeitraum. Zwei Stunden reichen aus um bereits für eine Verdoppelung der Restfeuchte zu sorgen. Dies liegt besonders an der Umgebungsluft, in der sich die Proben befinden. In den nicht klimatisierten Räumen wurden die Fenster geschlossen gehalten und alle Proben offen nebeneinander gelagert. Zu diesem Zeitpunkt betrug die Außentemperatur 26 °C und die Raumtemperatur 21,5 °C. Eine relative Luftfeuchtigkeit von 26 °C kann als normal bewertet werden und sollte keine größeren Einflüsse auf die untersuchten Proben haben. Besonders interessant wird der Zeitbereich, in dem die Verarbeitung zu Pulver unmöglich wird. Dieser Abschnitt befindet sich zwischen 10 und 20 Minuten. Für die Verarbeitung bedeutet dies eine notwendige und schnelle Arbeitsweise. Die imaginäre Schwelle, bei der die Vermahlung nicht mehr möglich wäre, liegt bei ungefähr 4 % Restfeuchte im Produkt. Grundsätzlich wäre bei höheren Werten die Gefahr zu groß, dass Geräteteile, wie etwa die Lochscheibe, stark verkleben und die Mühle verstopft bzw. überhitzt.

Tabelle 25: Übersicht der Beurteilung von getrockneten Sanddorn über die Zeit

Beurteilung von getrockneten Sanddorn über die Zeit		
Zeit	TS %	Beurteilung
0 min	3,19	Sehr trocken, fest und kann in der Hand zerbröseln werden
5 min	3,34	Sehr trocken, keine Klebrigkeit zu spüren
10 min	3,56	Sehr trocken, Außenbereiche der Platte beginnen zu kleben
20 min	4,01	Klebrigkeit zieht sich in die Mitte der Platte, Verarbeitung nicht mehr möglich
30 min	4,8	Klebrige und pelzige Produkte, lassen sich verformen ohne zu zerfallen
60 min	5,44	Sehr pelzig aber nicht mehr klebrig, lassen sich verformen
120 min	6,9	Lösen von der Unterlage nicht mehr möglich, pelzige durchgängige Masse

Noch besser kann bei den Ergebnissen der Sanddorn Trocknung erkannt werden, wann genau der Bereich der Klebrigkeit eintritt (s. Tab. 25). Durch das trockenere Ausgangsprodukt ist es logischerweise ein längerer Zeitraum bis zum Eintreten der Klebrigkeit. Der Wert von 4,0 % Restfeuchte ist jedoch identisch mit dem ungefähren Wert bei der Untersuchung von Aronia. Auch interessant ist, dass sich während der Zeit nicht die Klebrigkeit beim Sanddorn erhöht, sondern verringert aber dafür in ein pelziges Produkt übergeht. Dies kann besonders an den verwendeten Ausgangsmaterialien liegen. Aussagekräftig sind diese Werte besonders, wenn die Menge der hergestellten Produkte zu Rate gezogen wird. In einem Zeitraum von ungefähr 20 Minuten alle Produkte zu verarbeiten und zu verpacken, ist eine zu geringe Zeitspanne für industrielle Anwendungen. Haltezeiten sind besonders wichtig und müssen auch Bestandteil der Planung sein.

Tabelle 26: Beladung der Gefriertrocknerplatten und Einfluss auf die Trockensubstanz

Menge in g	TS % Sanddorn	TS % Aronia
50	3,04	3,20
100	3,10	3,19
150	3,16	3,23
200	3,24	3,57
220	3,87	3,87

Die Untersuchung der maximalen Gefriertrocknerbeladung sollte auch aufzeigen, ab wann und ob die Beladung negative Einflüsse auf das Produkt hat. Da die Restfeuchte als wichtiges Element der Herstellung von Pulver gilt, musste auch hier dieser Wert als Mittelpunkt der Untersuchung stehen. Zunächst kann pauschal gesagt werden, je weniger Produkt sich auf der Gefriertrocknerplatte befindet, umso besser kann eine Trocknung stattfinden. Wichtig ist, dass der Maximalwert

von 220 g tatsächlich die Menge ist, welche noch ein Schließen des Deckels ermöglicht. Für vorherige Untersuchungen wurde oftmals ein ungefähres Maß gewählt, welches zwischen 130 – 150 g Füllmenge schwankte (s. Hauptversuch 5). Die Werte des Sanddorns verhalten sich äußerst stabil über die Zeit, bis es zur maximalen Füllmenge von 220 g kommt. Durch die Lagerung konnten dort auch einige Produktreste am Deckel anhaften. Trotzdem muss erwähnt werden, dass alle getrockneten Produkte, problemlos zu Pulver hätten verarbeitet werden können. Lediglich der als kritisch zu betrachtende Wert von 4,0 % Restfeuchte liegt näher an den Platten mit der größeren Menge Produkt, was demnach eine verkürzte Verarbeitungszeit bedeutet. Bei der Aronia gestaltet sich eine Trocknung mit erhöhter Menge als problematisch. Die körnige Substanz ist schwerer gleichmäßig zu verteilen und dies führt dazu, dass bei der Trocknung manche Schichten schwerer zu durchdringen sind. Dadurch kann es zu teilweise klebrigen Stellen auf der Platte des Gefriertrockners kommen. Bis 150 g kann dieses Problem noch nicht beobachtet werden und der Deckel kann auch noch ohne Produktberührung aufgebracht werden. Daher sollte für Sanddornmark eine Rohstoffmenge von 200 g und für die zerkleinerten Aronia von 150 g als Bereich für eine maximale einzelne Plattenbeladung gelten. Mit 10 Platten maximale Gefriertrocknerbeladung können somit 1,5 kg frische Aronia und 2 kg Sanddornpulpe in einem Durchgang verarbeitet werden. Diese Angaben gelten alle für die Gefriertrockneranlage Delta 1-124 LSC der Firma Christ und die dazugehörigen Gefriertrocknerplatten.

4.9 Hauptversuch V10

Mithilfe des Extruders wurden sowohl aus Sanddornpulver als auch aus Aroniapulver frische Snackprodukte hergestellt. Während der Vorbereitung zeigte sich jedoch, dass sich die Arbeit mit dem Aroniapulver als etwas schwierig herausstellte. Beim Herstellen der Rezeptur aus Aronia und Maisgrieß begannen sich direkt beim Einrühren große Klumpen zu bilden. Daher wurde die gesamte Mischung erneut mithilfe einer Mühle zerkleinert. Die Klumpen sind dadurch verschwunden und der Zucker konnte hinzugefügt werden. Die gesamte Mischung hatte eine Restfeuchte von 8,54 % und zeigte die positive Eigenschaft, dass sie selbst nach 1 Woche Lagerung im Eimer frei von Klumpen war. Auch die normalerweise eintretende Klebrigkeit konnte nicht festgestellt werden. Zwar ist der Anteil von Pulver zu Maisgrieß nur sehr gering, kann jedoch als zusätzliche positive Erkenntnis verzeichnet werden. Sanddornpulver ließ sich jedoch um einiges einfacher verarbeiten. Direkt beim Einrühren waren keine Klumpen erkennbar und auch nach 1 Woche Lagerung hatte die Sanddornmischung eine Feuchtigkeit von 8,17 %.



Abbildung 9: Mischung aus Maisgrieß, Sanddornpulver und Zucker (Büssow, 30.06.2018).

Klebrigkeit war nicht festzustellen, jedoch ein sehr gutes Aroma und eine ansprechende Farbe (s. Abb. 9). Dies sollte sich auch in den späteren Snackprodukten widerspiegeln.

Tabelle 27: Übersicht der Farbwerte hergestellter Snacks aus Sanddorn und Aronia

Produkt	L	A	b	RGB	Farbe
Sanddornsnack	78,53	19,44	55,54	249, 180, 89	
Aroniasnack	38,32	46,63	-6,17	153, 51, 102	
Trestersnack	61,27	14,15	44,38	187, 138, 68	

Wie in Tabelle 27 zu erkennen ist, wurden farblich sehr intensive Produkte hergestellt. Zusätzlich sind die Farben etwas greller und weniger matt wie die der hergestellten Pulver. Natürlich hängt dies auch mit der Mischung vom helleren Maisgrieß zusammen. Bei der nachfolgenden Beurteilung der Proben war festzustellen, dass sowohl geschmacklich als auch von der Textur die Sanddornsnacks um einiges besser abschnitten. Eine leichte Säure mit einer angenehmen Süße und schöner Knusprigkeit. Dies kann sogar noch nach mehreren Tagen der Lagerung in einfachen Plastikbehältern festgestellt werden. Bei dem Aroniasnack ist leider kaum Eigengeschmack erkennbar. Eher die leichte Süße durch den Zucker war zu vernehmen. Die Proben waren jedoch auch sehr knusprig und machten einen guten Gesamteindruck. Verglichen zu den Trestersnacks sind die Produkte jedoch viel intensiver, jedoch auch von der Herstellung um einiges aufwendiger und teurer.



Abbildung 10: Frisch extrudierte Sanddornsnacks aus Pulver (Büssow, 30.06.2018).

In der Kombination aus Knusprigkeit und Geschmack können die Snacks allerdings alle überzeugen. Einige Testpersonen fanden besonders die Farbe der Produkte sehr ansprechend und dass die Kombination beider Produkte in einer Verpackung ein schönes Gesamtbild abgibt. Als Vermarktungsidee kann diese Meinung für spätere Projekte berücksichtigt werden. Die Verarbeitung der Pulver mithilfe von Maisgrieß zu diesen Snackprodukten zeigt, dass die Anwendung von reinen Pulver, hergestellt aus Sanddornmark und zerkleinerten Aronia, gut möglich ist. Es wurden genießbare und sogar darüber hinaus sehr ansprechende Produkte hergestellt, welche als Grundlage für weitere Versuche und verbesserte Rezepturen dienen können. Lediglich die Verarbeitung von Aroniapulver und das spätere Mischen mit dem Maisgrieß sollte als problematischer Schritt verbessert bzw. angepasst werden, durch Verwendung von Aroniemark oder vergleichbaren Produkten. Auch die Lagerstabilität des Pulvers in Verbindung mit dem Maisgrieß und in Snackform ist sehr erfreulich für den gesamten Versuch.

4.10 Hauptversuch V11

Um ein möglichst stabiles Pulver zu erhalten bietet sich die Möglichkeit an, verschiedene Trägerstoffe zuzugeben. Industriell wird in diesen Fällen Maltodextrin eingesetzt. Der Name sorgt jedoch bei einigen Kunden schon für Besorgnis. Auch wenn die verschiedenen Arten des Maltodextrins keine negativen oder gesundheitsverändernden Wirkungen mit sich bringen, sind Konsumenten eher abgeschreckt. In dem vorherigen Versuch zeigte sich bereits, dass eine Vermischung von Fruchtpulver mit Maisgrieß eine lange und sichere Lagerung ermöglicht. Besonders für den spä-

teren Einsatz lohnt sich daher eine Betrachtung weiterer Rezepturen. Die Wirkung von Maltodextrin ist für die Lebensmittelindustrie wichtig und auch entscheidend, wenn es um die Verringerung, der bei uns auch aufgetretenen Probleme geht (Hygroskopie, Klumpen, Pelzigkeit).

4.10.1 Sanddornversuche

Für eine bessere Übersicht werden nachfolgend zunächst die Sanddornversuche ausgewertet. Besonders angenehm war das Arbeiten mit den verschiedenen Mehlsorten und Sanddornpulvern. Ähnlich zum Hauptversuch V10, ließ sich das hergestellte Fruchtpulver mühelos vermischen. Das Maltodextrin wurde in den verschiedenen Konzentrationen in die Pulpe gegeben - dort ließ sich feststellen, dass sich ein Einrühren in die Flüssigkeit als sehr schwierig gestaltet und ohne Klumpen-Bildung nicht zu bewerkstelligen ist.

Tabelle 28: Probenschlüssel der Sanddornversuche

0	Reines Pulver aus Sanddornmark
1	Sanddornmark + Maltodextrin (5%) vor der Trocknung
2	Sanddornmark + Maltodextrin (10 %) vor der Trocknung
3	Sanddornmark + Maltodextrin (20 %) vor der Trocknung
4	Sanddornpulver + Maltodextrin (5%) nach der Trocknung
5	Sanddornpulver + Maltodextrin (10%) nach der Trocknung
6	Sanddornpulver + Maltodextrin (20%) nach der Trocknung
7	Sanddornpulver + Reismehl (12,5 %)
8	Sanddornpulver + Reismehl (25 %)
9	Sanddornpulver + Reismehl (50 %)
10	Sanddornpulver + Quinoamehl (12,5 %)
11	Sanddornpulver + Quinoamehl (25 %)
12	Sanddornpulver + Quinoamehl (50 %)
13	Sanddornpulver + Kichererbsenmehl (12,5 %)
14	Sanddornpulver + Kichererbsenmehl (25 %)
15	Sanddornpulver + Kichererbsenmehl (50 %)
16	Sanddornpulver + Weizenmehl (12,5 %)
17	Sanddornpulver + Weizenmehl (25 %)
18	Sanddornpulver + Weizenmehl (50 %)

Die Vielzahl der Versuche soll den besten Hinweis darauf liefern, in welcher Konzentration die geringsten Veränderungen auftreten und wo zusätzlich eine hohe Stabilität erreicht wird. Maltodextrin wurde dem Produkt sowohl vor als auch nach der Trocknung beigelegt und auf sein Verhalten untersucht. Dabei wird erkenntlich, dass besonders die Pulver mit der nachträglichen Zufuhr von Maltodextrin eine hohe Stabilität aufweisen. Verglichen zum reinen Pulver, sind zwar die Maltodextrin-Versuche mit vorheriger Zugabe besser, jedoch nicht so überzeugend wie erwartet. Wichtig zu erwähnen ist, dass die Proben mit Maltodextrin zwar nach acht Wochen einen Gehalt

über 4 % Restfeuchte besitzen, allerdings nicht oder nur in einigen Fällen leicht verklumpen. Die Dosis von Maltodextrin ist in vielen Fällen sehr entscheidend. Eigentlich sollten die besten Ergebnisse auch bei einer erhöhten Einsatzmenge auftreten. Eine optimale Menge ist einerseits von Produkt zu Produkt unterschiedlich und auch die Literatur ist sich uneinig über die richtige Dosierung. Islam (2017) spricht sich für Konzentrationen von 3 – 5 % Maltodextrin aus, wohingegen Garofulic (2016) von Dosierungen zwischen 20 bis 40 % Maltodextrin spricht. Auch viele weitere Empfehlungen zur zusätzlichen Vermischung mit anderen Trägerstoffen, wie beispielsweise Cyclo-dextrin, werden oftmals gegeben (Watson, 2017). Bei der vorherigen Zugabe von Maltodextrin (Proben 1-3) ergaben sich einige kleine Probleme. Zunächst war es sehr schwer, den Trägerstoff in das Sanddornmark einzurühren. Es bildeten sich schon dort kleine Klumpen, welche mühselig zerstört werden mussten. Nach der Trocknung war es sehr schwer, die getrockneten Proben von den Platten zu lösen und in die Mühle zu überführen. Teilweise waren die Produkte so fest das sie nur mit hoher Muskelkraft, vorzerkleinert werden konnten. Selbst dann wirkte es das die Mühle mit der Härte der Produkte überfordert war und große Probleme bei der Vermahlung hatte. So eine mühselige Verarbeitung muss bei der Auswahl der besten Alternative auch berücksichtigt werden. Veränderungen in der Qualität der hergestellten Pulver ergab sich über die Zeit nicht. Alle Proben konnten jederzeit problemlos der Verpackung entnommen und dosiert werden. Allerdings ist ein sensorischer Eindruck der Proben eher negativ im Vergleich zum Pulver ohne Trägerstoffe. Auch die geringste Dosis von Maltodextrin wirkt leicht bitter in der schnellen Beurteilung. Die nachträgliche Zugabe von Maltodextrin (Proben 4-6), besitzt neben dem geringen Anstieg der Restfeuchte auch noch eine vergleichsweise leichtere Verarbeitung. Besonders der Einsatz von 10 % Maltodextrin spricht, wie auch in der Probe 2, für sehr gute Ergebnisse und einen nur geringfügigen Anstieg. Sensorisch sind die Proben 1-3 von 4-6 kaum zu unterscheiden auch trotz erhöhter Maltodextrin-Konzentration. Dies kann besonders an dem intensiven Aroma des Sanddorns liegen.

Tabelle 29: Übersicht der Restfeuchteveränderung der Proben 1-9

	0h	24h	48h	96h	1 W	2 W	4 W	8 W	Anstieg %
0	3,32	4,17	4,82	5,00	5,34	7,06	6,08	7,83	4,51
1	2,87	3,78	4,02	4,42	5,07	6,19	6,34	6,73	3,86
2	2,88	3,45	3,34	3,27	4,11	5,32	5,91	6,04	3,17
3	2,89	3,51	3,60	3,86	4,11	6,01	6,01	6,12	3,24
4	3,20	3,35	3,95	4,17	4,59	4,80	4,97	5,03	1,83
5	3,23	3,35	3,45	3,59	3,73	4,03	4,14	4,33	1,10
6	3,33	3,43	3,55	3,82	4,03	4,16	4,34	4,59	1,26
7	5,85	6,08	6,94	7,07	8,02	9,05	10,18	11,05	5,21
8	6,05	6,23	7,07	7,89	8,92	9,97	10,39	11,49	5,45
9	6,89	6,88	7,52	8,88	9,70	10,16	11,10	12,09	5,21

Die Mischung von Reismehl mit dem Pulver (Proben 7-9) funktionierte sehr gut. Eine Restfeuchte von 13,2 % im Mehl gilt als Basis vor der Vermischung. In dem Zustand lässt sich das Mehl fein streuen und einfach dosieren. Nach dem Erhalt der verschiedenen Mixturen ergaben sich je nach Einsatzmenge höhere Restfeuchte-Werte, was aufgrund des höheren Anteils Reismehl eine einfache Schlussfolgerung ist. Über die Zeit nähert sich die Mischung langsam dem ursprünglichen Wert an, erreicht diesen jedoch auch nach acht Wochen nicht. Besonders zu beobachten ist bei allen Dosierungen mit Reismehl eine Bildung von großen Klumpen nach zwei Wochen und das Entstehen der problematischen pelzigen Oberfläche nach vier Wochen. Am wenigsten stabil hat sich dabei die 25 % Mischung verhalten, welche schon einige Tage vor der Messung aufzeigte, dass Veränderungen bei den anderen Proben noch auftreten werden. Daher kann der Mittelwert bei den Reismehl-Proben nicht als Optimum gewählt werden. Schon besser verhält sich dort die niedrige Dosierung, welche mit dem hohen Anteil Sanddornpulver, zumindest für den Zeitraum von zwei Wochen, annähernd stabil ist und auch optisch überzeugt. Die 50/50 Dosierung hingegen verhält sich wie ein Reismehl in der etwas Farbstoff hineingegeben wurde. Ein typischer Geruch von Sanddorn ist nur gering wahrnehmbar. Um die Handhabung zu erleichtern, müsste die Stabilität dieser Proben für Kundenanforderungen besser sein. Sehr positiv ist die Entwicklung der Quinoa-Proben (10-12) über die Zeit. Dort besitzt die mittlere Dosierung von 25 % Quinoa-Mehl mit 75 % Sanddornpulver, eine vergleichsweise geringere Restfeuchte (8,5 %) als alle anderen Mehlproben. Prozentuale Anstiege sind gut vergleichbar mit den Maltodextrin-Proben und liefern zusätzlich auch die gewünschten Eigenschaften, wie eine gute Farbgebung, geringe Aromaverluste und eine hohe Stabilität nach einer langen Lagerung. Auch nach der gesamten Lagerzeit, zeigten diese Proben noch immer eine sehr hohe Qualität mit geringen Veränderungen. Eine Verwendung von Kichererbsenmehl (Proben 13-15) gilt als zweite gute Alternative. Die mittlere Mischung von 25 % Mehl auf 75 % Sanddornpulver zeigte beim Anstieg der Restfeuchte die schlechtesten Ergebnisse. Jedoch sind alle drei Proben von der Stabilität über der Zeit, kaum zu unterscheiden. Alle lassen sich nach der gesamten Lagerung noch immer leicht entnehmen und dosieren. Von der optischen und sensorischen Komponente ist eine leichte Veränderung wahrzunehmen. Alle Mischungen wirken leicht gräulich und haben einen eher unangenehmen Eigengeruch. Dies liegt vor allem an dem verwendeten Kichererbsenmehl und den hohen Dosierungen. Eine besonders hohe Klumpenbildung ließ sich bei den Mischungen mit Weizenmehl (Proben 16-18) feststellen. Der Ausgangswert des Mehles von 11,23 % wurde zwar nicht erreicht, jedoch ein qualitativer Unterschied über die Zeit. Alle Proben begannen stark zu Klumpen und sich zu einem großen Klumpen

zu verbinden. Dies macht ein Dosieren unmöglich und spricht gegen die Verwendung von Weizenmehl als Trägerstoff.

Tabelle 30: Übersicht der Restfeuchteveränderung der Proben 10 – 18

	0 h	24 h	48 h	96 h	1 W	2 W	4 W	8 W	Anstieg
0	3,32	4,17	4,82	5,00	5,34	7,06	6,08	7,83	4,51
10	6,65	6,77	7,02	7,16	7,82	8,02	8,16	8,35	1,71
11	6,86	7,12	7,26	7,35	7,85	8,04	8,21	8,50	1,64
12	7,08	7,23	7,51	7,41	7,86	8,03	8,46	9,03	1,96
13	7,03	5,02	5,88	6,18	6,60	8,12	8,38	9,11	2,09
14	7,27	5,08	7,07	7,29	7,87	8,34	9,61	10,07	2,80
15	8,56	6,83	7,04	7,76	8,09	9,17	10,09	10,17	1,61
16	6,49	6,74	7,02	7,15	8,07	9,60	9,85	10,03	3,54
17	7,43	6,70	7,08	7,41	8,27	9,22	9,80	10,14	2,72
18	7,50	6,80	8,43	9,08	9,41	9,98	10,22	10,60	3,10

4.10.2 Aroniaversuche

Im Vergleich zur Arbeitsweise mit Sanddornmark, ergaben sich bei den Aroniaversuchen einige Schwierigkeiten. Besonders das nachträgliche Vermischen war aufgrund einer starken Agglomeration der hergestellten Pulver fast unmöglich. Es wurden grob zerkleinerte Aroniabeeren für diese Versuche (s. Tab. 31) verwendet, um besonders die Vorbereitung der Proben zu beschleunigen.

Tabelle 31: Probenschlüssel der Aroniaversuche

0	Reines Pulver aus Aronia
19	Aronia + Maltodextrin (5%) vor der Trocknung
20	Aronia + Maltodextrin (10%) vor der Trocknung
21	Aronia + Maltodextrin (20%) vor der Trocknung
22	Aroniapulver + Maltodextrin (5%) nach der Trocknung
23	Aroniapulver + Maltodextrin (10%) nach der Trocknung
24	Aroniapulver + Maltodextrin (20%) nach der Trocknung
25	Aroniapulver + Reismehl (12,5%)
26	Aroniapulver + Reismehl (25%)
27	Aroniapulver + Reismehl (50%)
28	Aroniapulver + Quinoamehl (12,5%)
29	Aroniapulver + Quinoamehl (25%)
30	Aroniapulver + Quinoamehl (50%)
31	Aroniapulver + Kichererbsenmehl (12,5%)
32	Aroniapulver + Kichererbsenmehl (25%)
33	Aroniapulver + Kichererbsenmehl (50%)
34	Aroniapulver + Weizenmehl (12,5%)
35	Aroniapulver + Weizenmehl (25%)
36	Aroniapulver + Weizenmehl (50%)

Im Vergleich zum Sanddornversuch ergab sich beim vorherigen Mischen mit Maltodextrin (Proben 19-21) die einfache Möglichkeit den Trägerstoff direkt mit in den Mixer zugeben und dadurch eine gute Vermischung zu gewährleisten. Das zerkleinerte Produkt wirkte anschließend sehr klebrig und gummiartig und konnte nur schwer auf den Platten verteilt werden. Nach der Trocknung waren die negativen Eigenschaften jedoch nicht mehr vorhanden und die Proben konnten leicht vermahlen werden. Ein sehr gutes Pulver lieferte dabei die Probe 21 mit der 20 % Maltodextrin Mischung. Erneut zeigte sich der nachträgliche Einsatz von Maltodextrin (Proben 22-24) als stabilere Alternative. Auch wenn die Ausgangswerte höher sind, ist besonders ein geringer Anstieg der Restfeuchte sehr entscheidend für die Lagerung der Pulver. Nach der gesamten Lagerzeit ergeben sich jedoch bei den Proben 19, 20, 22 und 23 eine Klumpenbildung, welche bei den Proben mit der höchsten Konzentration von Maltodextrin nicht eintritt. Vom restlichen Eindruck besitzen zwar alle Proben eine sehr intensive Farbgebung, jedoch fast keine für Aronia typischen Aromen.

Tabelle 32: Restfeuchte der untersuchten Aronia-Proben 19 – 27 über 8 Wochen

	0h	24h	48h	96h	1 W	2 W	4 W	8 W	Anstieg
0 (Aronia)	3,47	3,89	5,15	5,32	5,92	6,22	6,48	8,22	4,75
19	3,60	4,15	4,27	4,42	4,75	5,06	5,33	5,91	2,32
20	2,20	2,87	3,47	4,11	4,88	5,10	5,26	5,82	3,62
21	3,51	3,56	3,87	4,02	4,23	4,51	4,87	5,07	1,56
22	3,89	4,04	4,20	4,54	4,93	5,07	5,22	5,42	1,54
23	3,92	4,05	4,12	4,36	4,79	5,00	5,09	5,22	1,30
24	3,78	4,00	4,07	4,17	4,32	4,50	4,74	4,91	1,14
25	6,13	7,85	8,03	8,16	8,22	9,13	10,08	12,44	6,31
26	6,20	7,55	7,92	8,10	8,19	9,00	9,96	11,04	4,84
27	6,26	7,42	7,84	8,04	8,19	8,86	9,88	10,98	4,72

Eine Mischung des Pulvers mit Reismehl (Proben 25-27) ergibt erneut keine sehr positiven Ergebnisse. Alle Proben nehmen eine Menge an Feuchtigkeit über die Lagerdauer auf und entwickeln zusätzlich sehr viele Klumpen über die Zeit. Besonders die Probe 25 konnte nach zwei Wochen nicht mehr als Pulver bezeichnet werden. Allgemein ist eine Vorbereitung der Produkte auch viel aufwendiger als bei den Sanddornversuchen. So lässt sich beispielsweise eine Vermischung von Trägerstoff mit Pulver nur schwer bewerkstelligen. Probleme, die dabei auftreten, sind vor allem eine Entstehung von Klumpen noch vor der Vermischung mit Mehl. Diese Agglomerate aus Aroniapulver sind anschließend nur schwer zu zerkleinern.

Tabelle 33: Restfeuchte der untersuchten Aronia-Proben 28 – 36 über 8 Wochen

	0h	24h	48h	96h	1 W	2 W	4 W	8 W	Anstieg
0 (Aronia)	3,47	3,89	5,15	5,32	5,92	6,22	6,48	8,22	4,75
28	6,68	6,94	9,05	8,13	7,20	7,55	7,82	9,47	2,79
29	6,81	7,06	8,92	8,10	7,22	7,39	7,76	9,37	2,56
30	6,95	7,08	8,87	8,07	7,21	7,43	7,60	9,28	2,33
31	6,53	6,82	8,94	8,08	6,96	7,18	7,35	9,44	2,92
32	6,67	6,89	9,03	8,17	7,02	7,20	7,41	9,93	3,26
33	6,73	6,98	9,43	8,93	7,08	7,36	7,60	10,06	3,33
34	5,98	6,52	9,16	8,44	6,78	7,02	7,23	10,16	4,18
35	6,22	6,63	9,44	8,63	6,98	7,10	7,22	10,43	4,22
36	6,57	6,85	9,57	8,85	7,04	7,17	7,34	10,57	4,00

Quinoa (Proben 28-30) und Kichererbsenmehl (31-33) zeigten zwar erneut nur geringe Anstiege der Trockensubstanz, waren jedoch aufgrund der Herstellung und Verarbeitung als negativ zu bewerten. Bei der Untersuchung der Weizenmehlproben waren in einigen Behältnissen auch schon nach kurzer Zeit (drei Wochen) Schädlinge zu finden, was zusätzlich für die Untersuchung problematisch war. Ebenso konnten nicht alle Proben sensorisch die gewünschten Eigenschaften vorweisen. Ein saurer Geschmack und die typischen Aromen waren leider nur sehr schwach wahrzunehmen. Der Eigengeschmack der Mehle und Trägerstoffe dominierten den gesamten Eindruck der Produkte.

4.10.3 Farbuntersuchung

Durch die Mischung der Pulver mit den verschiedenen Trägern gab es folglich auch Veränderung in der Farbgebung. Je mehr Trägersubstanz dem Produkt zugegeben wurde, umso heller wurde die Mischung. Besonders gut kann man dies bei den verschiedenen Mehlen erkennen. Keines der Produkte sah jedoch künstlich oder sehr stark verändert aus. Die optisch überzeugendsten Ergebnisse für die Sanddornproben lieferten die Maltodextrin 5 % Mischung und die Mischung mit 12,5 % Reismehl.

Tabelle 34: Farbuntersuchungen der Sanddorn-Pulver mit unterschiedlichen Trägerstoffen

Probe	L	A	B	RGB	Farbe
Reines Pulver aus Sanddornmark	76,73	22,47	77,86	251, 172, 15	
Sanddornmark + Maltodextrin (5%) vorher	79,97	16,93	72,29	252, 185, 50	
Sanddornmark + Maltodextrin (10 %) vorher	81,24	14,87	67,88	252, 190, 66	
Sanddornmark + Maltodextrin (20 %) vorher	83,05	12,12	61,59	252, 197, 86	
Sanddornpulver + Maltodextrin (5%)	80,81	16,13	64,34	252, 188, 74	
Sanddornpulver + Maltodextrin (10%)	82,86	16,46	57,90	252, 196, 94	
Sanddornpulver + Maltodextrin (20%)	84,76	10,64	49,80	252, 203, 116	
Sanddornpulver + Reismehl (12,5 %)	80,81	16,12	64,34	252, 188, 74	
Sanddornpulver + Reismehl (25 %)	83,27	11,58	49,70	252, 201, 115	
Sanddornpulver + Reismehl (50 %)	89,07	5,20	37,89	253, 219, 151	
Sanddornpulver + Quinoamehl (12,5 %)	83,32	11,79	60,15	252, 198, 90	
Sanddornpulver + Quinoamehl (25 %)	85,73	8,68	50,93	252, 207, 116	
Sanddornpulver + Quinoamehl (50 %)	88,81	5,53	38,54	253, 218, 149	
Sanddornpulver + Kichererbsenmehl (12,5 %)	82,00	13,61	65,90	252, 193, 73	
Sanddornpulver + Kichererbsenmehl (25 %)	86,48	5,35	64,28	252, 211, 88	
Sanddornpulver + Kichererbsenmehl (50 %)	88,99	0,66	65,61	252, 221, 91	
Sanddornpulver + Weizenmehl (12,5 %)	81,09	15,84	62,14	252, 189, 80	
Sanddornpulver + Weizenmehl (25 %)	83,57	11,36	59,97	252, 199, 91	
Sanddornpulver + Weizenmehl (50 %)	89,29	0,55	62,59	252, 222, 99	

Eine Mischung mit Aroniapulver war wie bereits erwähnt sehr schwer zu bewerkstelligen. Trotzdem konnte nach dem Sieben der Proben auch hiervon eine Farbuntersuchung getätigt werden. Auch bei diesen Mischungen konnte man bei der 5 % Maltodextrin Variante, die ansprechendsten Ergebnisse beobachten. Besonders bei den Mehlmischungen konnten hingegen grobe Partikel erkannt werden. Diese schlechte Vermischung sorgte in der späteren Auswertung für große Zahlen-sprünge. Jedoch kann in allen Untersuchungen mit Erhöhung der Trägerstoffe eine allgemeine äußere Veränderung festgestellt werden.

Tabelle 35: Farbuntersuchungen der Aronia-Pulver mit unterschiedlichen Trägerstoffen

Probe	L	a	b	RGB	Farbe
Reines Pulver aus Aronia	43,82	8,03	3,94	119,99,97	
Aronia + Maltodextrin (5%) vorher	50,33	9,47	4,82	138, 114, 112	
Aronia + Maltodextrin (10%) vorher	53,09	9,35	4,76	145, 121, 119	
Aronia + Maltodextrin (20%) vorher	62,32	7,45	3,95	166, 146, 144	
Aroniapulver + Maltodextrin (5%)	51,19	9,80	3,15	140, 116, 117	
Aroniapulver + Maltodextrin (10%)	52,59	8,96	4,60	143, 120, 118	
Aroniapulver + Maltodextrin (20%)	61,76	4,98	5,32	161, 146, 140	
Aroniapulver + Reismehl (12,5%)	65,83	4,52	5,10	171, 157, 151	
Aroniapulver + Reismehl (25%)	67,85	7,07	-0,24	178, 161, 166	
Aroniapulver + Reismehl (50%)	70,39	8,14	1,90	188, 167, 169	
Aroniapulver + Quinoamehl (12,5%)	64,35	4,67	4,60	167, 153, 148	
Aroniapulver + Quinoamehl (25%)	65,32	5,56	4,35	171, 155, 151	
Aroniapulver + Quinoamehl (50%)	66,57	6,18	3,44	175, 158, 156	
Aroniapulver + Kichererbsenmehl (12,5%)	68,41	6,30	-0,52	178, 163, 168	
Aroniapulver + Kichererbsenmehl (25%)	70,02	6,78	-0,88	183, 167, 173	
Aroniapulver + Kichererbsenmehl (50%)	71,41	6,38	-1,03	186, 171, 177	
Aroniapulver + Weizenmehl (12,5%)	65,78	4,38	3,89	170, 157, 153	
Aroniapulver + Weizenmehl (25%)	67,91	3,72	4,78	175, 163, 157	
Aroniapulver + Weizenmehl (50%)	70,00	3,19	3,43	179, 169, 165	

4.10.4 Löslichkeitsuntersuchung

Die verschiedenen Maltodextrin-Proben wurden in Wasser eingerührt und über die Zeit von zwei Stunden untersucht. Besonders erfreulich ist es, dass sich alle Proben ohne größere Probleme leicht im Wasser lösen ließen. Die beste Löslichkeit ergab sich bei den Proben mit sehr hohen Maltodextrin Konzentrationen. Bei den Aroniaprobe(n) (Proben 4-6) ließen sich in den Mischungsversuchen einige Probleme feststellen, welche besonders mit der Klumpenbildung zusammenhängen. Beim Einrühren in Wasser waren sowohl diese als auch andere Probleme zu erkennen. Die vermahlenden Schalenbestandteile der Aronia konnten sich nicht lösen und schwebten in der Flüssigkeit umher, was zu einem weniger schönen Anblick führte und nicht besonders wünschenswert ist. Nach kurzer Zeit konnte auch schon bei allen Proben das Sedimentieren der größeren Feststoffpartikel bemerkt werden, was zusätzlich ein optisches Manko ist. Unterschiede beim Einsatz von Maltodextrin und reinem Pulver ergaben sich auch nicht, was zusätzlich für die späteren Verwendungsmöglichkeiten wichtig ist. Es lösten sich zwar alle Pulver schnell durch das konstante Rühren, jedoch waren die Ergebnisse beim nachfolgenden Sanddornpulver (Proben 22-24) als besser zu beurteilen. Dort lösten sich alle Pulver sehr schnell auf und konnten ebenso vom äußeren Erscheinungsbild eher überzeugen (s. Abb. 11).



Abbildung 11: Gelöste Sanddornpulver in Wasser (v.l.n.r. reines Pulver, 5 % Maltodextrin, 10 % Maltodextrin, 20 % Maltodextrin) (Büssow, 30.06.2018).

Besonders die fehlenden Schalenbestandteile sorgten für die optisch besseren Ergebnisse. Eine Sedimentation konnte nach einiger Zeit auch festgestellt werden. Diese wirkte jedoch weniger unscheinbar als die von den Aroniaprodukten. Der Einsatz von Maltodextrin ist somit für die Löslichkeit unbedenklich, jedoch nicht zwingend notwendig. Schalenbestandteile sorgen besonders im Gesamtbild des Produktes für eher unansehnliche Ergebnisse. Daher müsste dort eine Rohstoffalternative gewählt werden.

4.11 Hauptversuch V12

Aufgrund eines Defektes der Gefriertrocknungsanlage zu Beginn der praktischen Versuche, konnten keine aussagekräftigen Messwerte mithilfe der Temperaturfühler aufgenommen werden. Durch eine kurzfristige Reparatur zum Ende der Untersuchungen, wurde als abschließender Versuch noch eine Temperaturverlaufskurve der Proben aufgenommen. Man kann zunächst erkennen, dass sich alle drei Proben gut an die Temperatur der Anlage angepasst haben und sehr schnell auf Veränderungen reagierten. Da alle Produkte im Vorfeld eingefroren wurden, ist eine Beobachtung des Verlaufes sehr wichtig. Kurven sollten dem eigentlichen Programm sehr nah kommen, um zu garantieren das alle Schritte im richtigen Maße durchlaufen werden. Die Unterschiede zwischen den drei Produkten sind auf dem ersten Blick sofort ersichtlich. Produkt 2 zeigt die Kurve der halbierten Aroniabeeren. Es sind klare Peaks zu erkennen, welche nicht immer einher gehen mit dem ursprünglichen Temperaturprogramm. Besonders kann man dies nach 10 Stunden erkennen, wenn sich die halbierten und grob zerkleinerten Aronia scheinbar auf Temperaturen über 30 °C aufheizen. Zu dieser Zeit sollten sich die Produkte noch im Temperaturbereich von etwa 10 °C befinden, was man gut an der Stellflächentemperatur nachvollziehen kann. Ein Grund für dieses Auftreten kann die Entstehung von Eiskristallen in den Anschlüssen der Messfühler sein oder auch

ein möglicher Defekt an den Messfühlern selbst. Besonders das erste Problem kann häufig an so einer Apparatur auftreten. Produkt 3 mit der flüssigen Probe aus Sanddornmark weist den optimalen Verlauf nach. Ein konstanter Anstieg über die Zeit, welcher mit der Stellflächentemperatur übereinstimmt gilt als sehr wichtig in der Gefriertrocknung. Im späteren Verlauf kann bei allen drei Produkten und den Stellflächen erkannt werden, dass sich bei längerer Trocknungsdauer sehr ähnliche Kurven entwickeln. Wenn jedoch das Sanddornmark die Höchsttemperatur von 60 °C erreicht, findet bereits bei den halbierten und grob zerkleinerten Aroniabeeren eine Veränderung der Innentemperatur statt. Flüssige Produkte wie etwa Mark oder Saft können daher als eher träge beurteilt werden. Längere Haltezeiten können helfen eine passende Trocknungsdauer zu erreichen. Wichtig ist für die Prozessführung ein sehr konstanter Lyo Rx Wert, da dieser bei einer schlagartigen Änderung aufzeigt, dass ein Produkt während der Haupttrocknung angetaut wurde. Dies sollte im besten Fall nicht passieren, weil dadurch nachfolgende Trocknungsschritte nicht ihre Wirksamkeit haben können. Auftreten kann dieses Problem besonders wenn ein zu rascher Anstieg der Trocknungstemperatur erfolgt und sich dadurch der Widerstand stark verändert. Der Lyo Rx ist ein für die Trocknung wichtiger Widerstandswert, welcher nicht unter ein bestimmtes Maß fallen sollte. In unserer Untersuchung befindet er sich fast ausschließlich im Bereich über 90 % und kann daher als sehr gut bewertet werden. Ein guter Trocknungsprozess sollte dieses Ziel auch ohne Nachbesserung, durch z. B. eventuelles Nachgefrieren, erreichen. So wie es auch in dem oben genannten Versuch erzielt wurde.

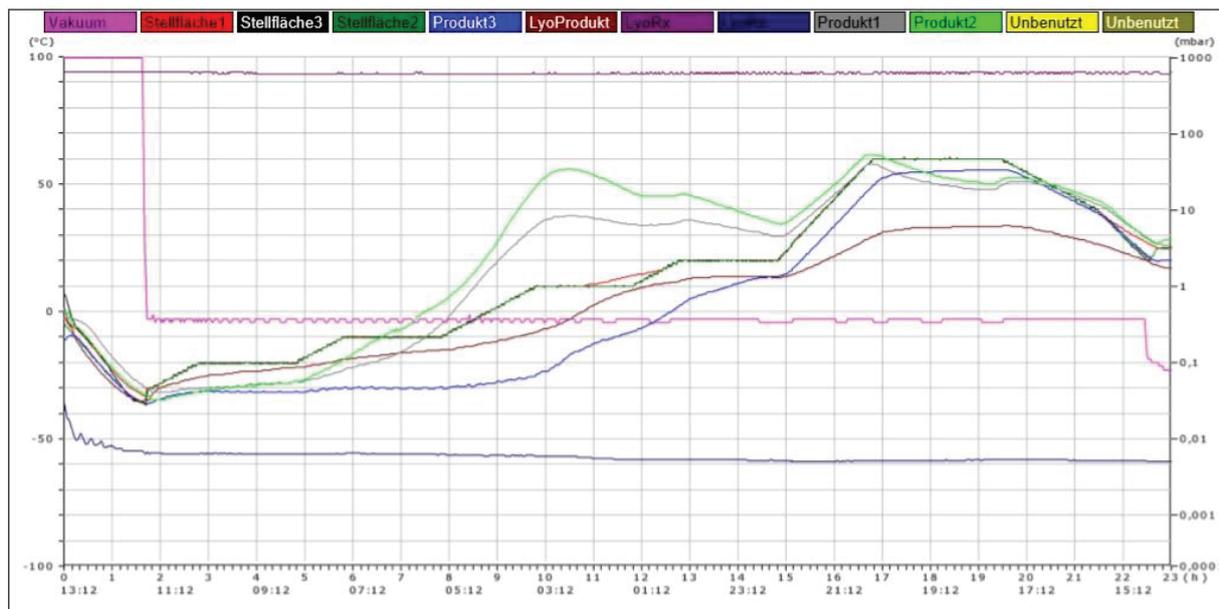


Abbildung 12: Temperaturverlaufskurve der Trocknung verschiedener Wildfruchtproben

Positiv zu bewerten ist, dass ein Produkt zu jeder Zeit die gewünschten Temperaturen erreicht hat

und es zu keiner Verzögerung des Prozesses kam. Die Trocknung von Proben unterschiedlicher Verarbeitungsstufen und Wassergehalten ist zwar ein Risiko, kann jedoch durch eine gute universelle Prozessführung erleichtert werden. Qualitativ hätten alle Proben nachfolgend zu Pulver verarbeitet und eingelagert werden können. Wenn jedoch noch speziellere Anforderungen an die Produkte notwendig sind oder eine Temperatur von 60 °C die Inhaltsstoffe gefährdet, sollte eine Änderung zugunsten dieser vorgenommen werden.

4.12 Hauptversuch V13

Als schonende Variante der Trocknung, sollte die Gefriertrocknung auch eine Vielzahl der Inhaltsstoffe besonders schonend behandeln.

Tabelle 36: Analytische Untersuchungen der Sanddornproben Übersichtsweise

Sorte/Bezeichnung	Verarb.- stufe	TM in %	Vit. C-Gehalt		
			mg/l Extrakt	mg/100g OS	mg/1g TM
Sanddorn	Mark	16,6	58,48	69,29	4,19
Lienig WF	Mark		58,77	67,09	4,05
Sanddorn getrocknet	Pulver	96,6	160,16	377,74	3,91
Lienig WF	Pulver		155,51	359,80	3,73
Sanddorn getrocknet	Pulver	97,9	122,20	305,50	3,12
Lienig WF	Pulver		113,98	287,83	2,94
Sanddornflips	Extrudat	2,1421	21,59	17,24	0,93
		2,0228	-	-	-

Das Sanddornmark enthält als Rohstoff etwa 69,29 mg Vitamin C auf 100 g Produkt. Laut Herstellerangaben der Firma Bayernwald sollten ein Gehalt von etwa 40 bis 200 mg pro 100 g Produkt in dem angelieferten Mark vorhanden sein. Die Werte können daher als passend bewertet werden. Durch den eher geringen Anteil an Vitamin C im Vergleich zu anderen Sanddornsorten, kann man darauf schließen, dass dieses Mark aus der Spezies rhamnoides hergestellt wurde (etwa 30 – 290 mg auf 100 g Produkt). Durch die Trocknung steigt besonders der Gehalt an Vitamin C auf Werte von über 300 mg auf 100 g Produkt. Immense Unterschiede, wie sie bei den beiden Sanddornpulvern auftreten, können nicht wirklich begründet werden. Vermutlich war ein Pulver zu lange dem Licht ausgesetzt oder befand sich zu lange an der Luft. Durch das Extrudieren kam es zusätzlich zu einer Verringerung der Vitamin C Konzentration im Produkt. Trotzdem enthalten die Snacks immer noch einen guten Anteil des Vitamins. Die zweite Snackprobe konnte jedoch aufgrund eines zu geringen Gehaltes nicht analysiert werden. Starker Temperaturanstieg während

der Extrusion und ein nur 10 % Anteil des Pulvers in der Mischung, können diese Werte eindeutig begründen.

Da wie bereits in der Durchführung erläutert, bei der Aronia keine Untersuchung auf den Vitamin C-Gehalt vorgenommen werden konnte, wurde dafür der entscheidende Gesamtphenolgehalt bestimmt.

Tabelle 37: Analytische Untersuchung der Aronia-Proben Übersichtsweise

Sorte/Bezeichnung	Verarb.-stufe	TM in %	Polyph. mg/		1g TM
			1 Extr.	100g FM	
Aronia getrocknet	Pulver	0,5454	589,0	5399,7	55,2
	Pulver	0,6161	674,0	5469,9	56,0
Aroniaflips	Extrudat	2,0033	147,7	368,6	20,1
	Extrudat	2,1654	156,7	361,8	19,8

Leider wurde im Laufe der Untersuchung keine Analyse der frischen Aronia vorgenommen, was daher nur Interpretationen zulässt. Mit etwa 5400 mg Polyphenole auf 100 g Produkt bewegt sich das getrocknete Aroniapulver im Bereich der Literaturwerte frischer Früchte (3400 mg – 7500 mg). Für die Sorte Viking, welche in der Pulverherstellung verwendet wurde, sind Werte um die 4210 mg / 100 g Produkt üblich (Kulling, 2008). Auch die hier untersuchten Extrudate weisen deutliche Verluste auf. Erneut ist dies auf die geringere Einsatzmenge von Pulver in der Extrudermischung und eine erhöhte Temperatur während des Prozesses zurückzuführen. Insgesamt können die Ergebnisse jedoch als sehr positiv bewertet werden und zeigen, dass die Pulverherstellung mittels Gefriertrockner sehr schonend auf die Inhaltsstoffe wirkt.

4.13 Fehlerbetrachtung

Aufgrund der Vielzahl der Versuche konnten einige wichtige Punkte während der Arbeit nicht berücksichtigt werden. Zunächst sollte künftig eine Analyse aller Rohstoffe im größeren Maßstab erfolgen. Besonders fehlende Werte für Lagerversuche der Mehle ohne Pulver, würden eine bessere Analyse ermöglichen. Dadurch können bessere Vergleiche in Bezug auf qualitative Veränderungen erfolgen. Weitere Verbesserungen wären dort auch die Verwendung anderer Trägersubstanzen, welche nicht zum Zeitpunkt der Untersuchung verfügbar waren. Der Einsatz von Sanddornmark gilt als gute Alternative kann jedoch nicht ohne weiteres im Vergleich stehen zu den halbierten Aronia oder grob zerkleinerten Früchten. Für eine bessere Bewertung wäre eine komplette Versuchsreihe mit Aroniamark wichtig. Lagerversuche sollten umfangreicher Bezug auf die Verpackung selbst nehmen und nicht nur die Veränderung des Produktes. Eine Auswertung der Temperaturkurven, kann nur bei einem komplett funktionsfähigen Gerät auch die gewünschten

Ergebnisse liefern. Zwar zeigt die Messung für ein Produkt eine passende Kurve, ist sie jedoch nicht mit den zwei Kurven der defekten Kabel vergleichbar. Um die Eiskristallbildung an den Steckplätzen zu verhindern, sollten die Messfühler zukünftig nicht vorher mit den Proben eingefroren werden. Falls weitere Fehler in der Messung der Temperatur auftreten, wäre eine Reparatur der Anlage notwendig. Für die Verbesserung und Sicherung der Lagerung sollte künftig noch besserer Schutz vor Schädlingen stattfinden. Dafür könnten einerseits mehr Fallen aufgestellt oder schon bei der Rohstoffverarbeitung auf eventuell kontaminierte Proben geachtet werden. Dies verhindert die in dieser Arbeit aufgetretenen Verluste der Pulver und anderen Proben. Zusätzlich muss in kommenden Versuchen der Vergleich zwischen dem vorherigen einbringen eines Trägerstoffes wie Maltodextrin genauer betrachtet werden. Durch die Trocknung verändert sich die Konzentration nämlich maßgeblich, wodurch eine 10 % Zugabe von Maltodextrin vorher, im nachfolgenden Pulver eine andere Konzentration besitzt. Die Wirkung von Maltodextrin wird jedoch durch diese Arbeitsweise nicht verfälscht, lediglich ein Vergleich zwischen vorher und nachher ist nicht möglich und sollte daher alleinstehend betrachtet werden.

5 Abschlussdiskussion

Es ist gelungen, ein Pulver aus 100 % Sanddorn und Aronia herzustellen. Problematisch sind dabei die begrenzte Verarbeitungszeit und geringe Stabilität zu beurteilen. Daher ist es besonders wichtig die Rohstoffe unter 4 % Trockensubstanz zu trocknen. Die Vielzahl der Versuche ermöglichte umfangreiche Beurteilungen der hergestellten Produkte und der Arbeitsweise mit der Gefriertrocknung. Eine umfangreiche Vorbereitung der Proben ist zunächst unabdingbar, um einen möglichst sicheren Prozess zu gewährleisten. Dabei hat sich das Einfrieren der stückigen Proben nach dem Zerkleinern als eine sehr gute Alternative gezeigt. Ein Einsatz von flüssigen Produkten wie etwa das Mark kann zudem auch ohne Probleme mittels Gefriertrocknung erfolgen, wenn diese zunächst vorgefroren wurden. Grundsätzlich sollte dabei auf die Handhabung der getrockneten Proben Rücksicht genommen werden und der Einsatz von Zwischenschichten, zum einfachen Ablösen der Endprodukte, erfolgen. Dadurch kann der gesamte nachfolgende Verarbeitungsprozess auch in der Gesamtzeit beschleunigt und unter eine bessere Kontrolle fallen. Es ist äußerst schwierig Proben mit einem besonders hohen Anteil an Schalen oder Kernen zu verarbeiten, besonders wenn die Kerne einen hohen Anteil an Öl enthalten, wie es beim Sanddorn der Fall ist (Araya-Farias, 2011). Auch die dicke feste Schale wie sie bei der Aronia typisch ist, muss zunächst überwunden werden. Es bieten sich daher die Verwendung von fein zerkleinerten Proben ohne Schalenbestandteile und Kerne an, wie es beim Sanddornmark der Fall ist. Besonders durch die Konsistenz des Marks kann dies auch erst zusätzlich begünstigt werden. Die Verwendung von klarem Saft zeigte hingegen in nicht selbst durchgeführten Versuchen (Schweitzer, 2018), eher negative Ergebnisse. Sollte der Einsatz von Mark nicht möglich sein, sollten Proben im besten Fall grob zerkleinert oder halbiert werden um eine möglichst große Oberfläche für die Trocknung zu schaffen. Jedoch können dann nicht entfernte Kerne beispielsweise auch für einen höheren Anteil von Feuchtigkeit im Produkt sorgen. Im Fall von Sanddorn können die dort enthaltenen Kerne sogar die Farbgebung des Pulvers maßgeblich zum Negativen verändern. Daher sollte im Vorfeld eine klare Betrachtung der Proben erfolgen, welche später getrocknet werden. Eine Problembeseitigung beginnt daher schon bei dem verwendeten Ausgangsmaterial und kann sich nachfolgend nicht mehr korrigieren lassen. Werden die Proben mittels der Gefriertrocknung verarbeitet, bietet es sich an, einige grundlegende Dinge zu beachten. Zunächst sollte ein Programm gewählt werden, welches keine unnötige Energie durch längere Schritte als notwendig aufwendet, und auch keine Temperaturen verwendet werden, welche für das Material von Nachteil sind. Ersteres kann im besten Fall durch den Trocknungsverlauf der Proben erkannt werden. Lassen sich Proben schon nach sehr kurzer Zeit trocknen, werden auch Kurzzeitprogramme empfohlen. Sind Haltezeiten bei einem

bestimmten Schritt notwendig, wäre es besser, diese nicht zu überspringen. Theoretisches Grundwissen über die Glasübergangstemperatur und dem eutektischen Punkt, können langes Ausprobieren durch weit angelegte Versuchsreihen ersparen. Dadurch können insbesondere Haltezeiten verringert werden, wenn diese keinen signifikanten Einfluss auf das zu trocknende Gut haben. Ein Universalprogramm, wie es in den durchgeführten Versuchen verwendet wurde, sollte im besten Fall für eine Produktgruppe angelegt werden. Viele Früchte und Gemüse weisen ähnliche Probleme auf und können auch mithilfe gleicher Techniken verarbeitet werden. Sollte dies nicht möglich sein, müssen konsequenterweise auch Veränderungen im Programm erfolgen. Eine Verkürzung der Trocknungszeit, zwecks der Energieeinsparung und Schonung der Produkte, konnte auch in den durchgeführten Versuchen ermöglicht werden. Daher sollte man vorgefertigte Programme vom Hersteller nicht immer als perfekt ansehen und auch für den eigenen Zweck anpassen. Dadurch können überflüssige Haltezeiten von 14 Stunden bei 20 °C entfallen. Es bietet sich besonders für schwer zu trocknende Produkte auch der Einsatz von Temperaturen um die 60 °C, zum Ende der Trocknung an. Dies wird in der Industrie bereits seit mehreren Jahren durchgeführt und sollte als wichtiger Schritt Berücksichtigung finden. Dadurch konnte in den Hauptversuchen eine gewisse Konstanz in den Endprodukten entdeckt werden. Trockene Produkte und leicht zu vermahlene Früchte, liefern ein Ergebnis, das wünschenswert für das Hauptziel der Arbeit sind. Problematisch ist jedoch die kurze Dauer der Stabilität von getrockneten Produkten und Pulver. Nach etwa 15 Minuten ist es unmöglich, die entnommenen Proben noch zu Pulver zu verarbeiten. Dies liegt vor allem an den stark hygroskopischen Produkten und kann nur durch kompletten Abschluss von Luft mit einer Feuchtigkeit höher als der Gleichgewichtsfeuchte verlängert werden. Industriell werden gegen dieses Problem Trocknungshilfsmittel wie Maltodextrin eingesetzt. Dann würde dies jedoch die markante Farbe und Aromakomponenten der hergestellten Pulver verfälschen. Um qualitativ hochwertige Produkte herzustellen, sollte also bestmöglich auf diese Hilfsmittel verzichtet werden. Dies gelingt besonders durch die gute Prozesskontrolle und schnelle Arbeitsweise. Durch die Verarbeitung innerhalb der gemessenen Zeit, können also besonders aus Sanddornmark sehr gute Pulver erzeugt werden. Durch eine volle Beladung des gesamten Trockners ergeben sich etwa 2,5 kg zu trocknendem Produkt, woraus etwa 300 g Pulver entstehen. Andere Hersteller bieten Pulver aus getrocknetem Sanddorn, mit Kernen und allen weiteren Bestandteilen, für 10 € pro 100 g an. Jedoch sollte beachtet werden, dass die Bestückung der Platten niemals ein bestimmtes Maß überschreitet. Es ergab sich für diese Trockner eine mittlere Menge von rund 150 g bis 200 g je nach Produkt. Die höhere Menge erschwert das Durchdringen der Produkte und somit auch die Qualität der Trocknung. Ergebnis sind nachfolgend auch klebrige Bestandteile, die für den Mahl-

vorgang nicht wünschenswert sind. Diese Klebrigkeit ist ein ständiger Begleiter während der Verarbeitung, welcher jedoch auch schnell zeigt, dass eine Trocknung nicht optimal verlaufen ist oder das Produkt nicht vorteilhaften Umständen ausgesetzt ist. Als Schwelle für dieses Problem gilt der Wert von 4 % Restfeuchte im Endprodukt. Dort beginnen halbierte Beeren zu kleben und getrocknetes Mark elastisch zu werden. Daher muss bereits nach der Trocknung ein weitaus niedrigerer Wert als 4 % erreicht werden, um einen längeren Verarbeitungszeitraum zu ermöglichen. Kann dies nicht bewerkstelligt werden, müssen Veränderungen im Programm erfolgen oder die Rohstoffwahl überdacht werden. Der Einfluss der Mahlgröße ist nicht für die Endprodukte zu berücksichtigen. Eine nachfolgende Lagerung muss jedoch ohne Probleme möglich sein. Lagerversuche ergaben besonders die Schwierigkeit dies zu bewerkstelligen. Proben sollten dafür kühl, trocken, dunkel und im besten Falle vor Luft geschützt sein. Als sicherste Alternative ergibt sich dabei besonders die Verpackung in Vakuumbbeutel oder Plastikschaalen im kälteren Temperaturbereich von etwa 7 °C. Erstere haben jedoch den Nachteil für den Kunden, aufgrund einer sehr speziellen Art der Verpackung, eher schwierig in der Handhabung zu sein. Schalen aus Plastik eignen sich besonders dann, wenn es keine besseren Alternativen, wie spezielle beschichtete Verpackungen gibt. Zwar ist dort eine Lagerung nicht über viele Monate möglich, jedoch kann durch eine Temperaturabsenkung ein verbessertes Verhältnis geschaffen werden. Hersteller der bereits genannten Produkte, liefern ihre Produkte in Vakuumbbeutel und konfrontieren den Kunden bereits vor der Bestellung mit der Aussage, dass es nach dem Öffnen der Verpackung zu Agglomeration und Veränderung der Pulver kommen kann. Neben der Lagerung dieser Proben, war es auch möglich diese hergestellten Produkte einsetzen zu können. Die hergestellten Extrudate waren geschmacklich sehr überzeugend und weisen im Vergleich zu den Trestersnacks eine bessere Farbgebung und intensiveren Geschmack auf. Dies ist allein durch den Einsatz von 10 % Pulver möglich. Jedoch muss erwähnt werden, dass sich die Snacks aus Sanddorn geschmacklich und sich die Snacks aus Aronia farblich besser verhalten hatten. Eine Kombination beider Produkte in Form von Wildfrüchtesnacks könnte für kommende Projektarbeiten eine interessante Untersuchungsalternative bilden. Durch die Mischung des Pulvers mit anderen Trägerstoffen, ergaben sich zusätzlich weitere Möglichkeiten für die Handhabung von Pulver, welche auch noch intensiver untersucht werden sollten. Die Lagerung erleichterte sich maßgeblich und eine Stabilität wurde besonders beim Einsatz von Quinoamehl und Kichererbsenmehl begünstigt. Konzentrationen von 25 % beider Mehle ermöglichten auch zusätzlich eine geringere Veränderung des äußeren Erscheinungsbildes. Dies ist besonders beim Sanddornpulver zu beobachten gewesen, wenn sie nachträglich in diese Stoffe eingerührt wurden. Auch der Einsatz von Maltodextrin in geringen Konzentrationen (5 %

und 10 %) nach der Trocknung, ermöglichte die Herstellung eines stabilen Pulvers. Problematischer gestaltete sich dieser ganze Schritt bei dem Aroniapulver, welches sich nur schlecht vermischen ließ bzw. sehr gerne Klumpen ausbildete. Am besten eignet sich dort die alternativen Proben vorher mit Maltodextrin zu versetzen und anschließend direkt zu vermahlen.

Die Gefriertrocknung zeigte sich zu jeder Zeit als schonende Alternative zur Trocknung von Produkten. Besonders die ansprechende Rohstofffarbe konnte in allen Fällen gut umgesetzt werden. Auch von den Inhaltsstoffen der Pulver, waren stets positive Ergebnisse sichtbar. Zwar konnten für Aronia keine Untersuchungen für Vitamin C getätigt werden aufgrund des zu geringen Gehaltes, liefern die der Polyphenole jedoch Rückschluss auf einen schonenden Verlauf der Trocknung. Mit 5400 mg Polyphenole auf 100 g Produkt liefert das Aroniapulver sehr ansprechende Ergebnisse, welche für Kunden sicherlich ein entscheidendes Kaufkriterium sein könnten. Die Untersuchung des Sanddorns zeigte dies noch eindrucksvoller. Bei der vergleichenden Messung von Sanddornmark (70 mg Vitamin C / 100 g Produkt) und Sanddornpulver (370 mg Vitamin C / 100 g Produkt) ergaben sich äußerst positive Ergebnisse. Eine Verarbeitung mittels Gefriertrockner ist somit schonend für Farbe und auch Inhaltsstoffe. Verlaufskurven der Gefriertrocknung zeigen es deutlich, dass die Trocknung mittels des entwickelten Programms problemlos geschehen kann.

Alternativen für künftige Untersuchungen können unter anderem die Verwendung einer Infrarot-Trocknung oder Sprühtrocknung sein. Besonders die Trocknung mit Infrarot lieferte bei Untersuchungen von Grdzlishvili (2012) positive Ergebnisse. Hervorzuheben sind dort vor allem eine verkürzte Prozesszeit und hohe Energieeinsparung. Diese neuartigen Trocknungsmethoden müssen jedoch noch besser untersucht werden laut Dehnad (2016), weil sie noch keine positiven Einflüsse auf die Qualität der Pulver haben. Weitere nennenswerte Alternativen zur Gefriertrocknung können eine Mikrowellentrocknung und die zusätzliche Anwendung von Vakuum-Imprägnierung sein. Letztere kann laut Dehnad (2016) und Schulze (2009) für einen höheren Gehalt an Antioxidantien und Anthocyane sorgen. Dabei wird das gewünschte Produkt einem Vakuum ausgesetzt, welches Luft aus porösen Bestandteilen herauszieht. Dieser luftleere Raum kann nachfolgend mit anderen Stoffen befüllt werden, wie beispielsweise konzentrierte Bestandteile aus der Fruchtschale oder denen der entfernten Kerne. Eine nachfolgende Trocknung kann aufgrund einer gleichmäßigen und verbesserten Struktur leichter erfolgen. Nachweislich ist der Gehalt an wertvollen Substanzen im getrockneten Produkt besser. Dies sind nur einige Möglichkeiten für weitere Untersuchungen und Verbesserung einer Trocknung verschiedener Wildfrüchte.

6. Zusammenfassung

Pulver aus Wildfrüchten bringen viele positive Eigenschaften mit sich und können mithilfe der Gefriertrocknung schonend hergestellt werden. Probleme ergeben sich besonders bei der Stabilität dieser Produkte, welche oftmals zum Agglomerieren und Kleben neigen. Mögliche Hilfsmittel können diese Probleme verringern und auch im besten Fall eine Lagerung erleichtern. Dort bietet sich besonders die Verwendung von Vakuumbutel an, welche bei niedrigen Temperaturen im Dunkeln gelagert werden. Viele Stellschrauben lassen sich während der Probenvorbereitung und Prozessführung verstellen. Am Wichtigsten ist es jedoch die Proben schnell zu verarbeiten, für die Trocknung zu zerkleinern und im besten Falle von störenden Bestandteilen (Schalen, Kerne) zu befreien. Sanddornmark bildet die optimale Alternative für die Trocknung und liefert qualitativ hochwertigere Ergebnisse als Pulver aus halbierten Beeren. Aronia ist in seiner halbierten und grob zerkleinerten Form eine gute Alternative, auch wenn die Kerne eine Pulverherstellung maßgeblich erschweren. Reines Fruchtpulver herzustellen mittels Gefriertrocknung stellt eine große Herausforderung dar und muss noch besonders in Bezug auf die Verarbeitung erweitert werden. Sollte jedoch eine Herstellung reiner Pulver unmöglich sein, bietet sich letztendlich noch die Alternative Trägersubstanzen zu verwenden, welche keine Abschreckung für potentielle Kunden sind (Quinoamehl/Reismehl). Es zeigte sich, dass dadurch eine Lagerung maßgeblich verbessert werden kann. Die Einsatzmöglichkeiten für die Fruchtpulver sind besonders dadurch um ein Vielfaches angestiegen und können dieses interessante Produkt noch für viele Menschen zugänglich machen. Fruchtpulver aus den Wildfrüchten Sanddorn und Aronia kann problemlos hergestellt werden, jedoch muss die Stabilität noch verbessert werden um den Kunden ein bestmögliches Produkt zu liefern.

7 Literaturverzeichnis

Aguillera, J.; Del Valle, J.; Karel, M.: Caking Phenomena in amorphous food powders. Trends Food Sci. Technol. (1995). Vol.6, S.149 – 155.

Ahlborn, B.: Wildfrüchte-Projekt, Hochschule Neubrandenburg, 2018.

Albrecht, H.J.: Seabuckthorn cultivars for cultivation in plantations and gardens. (1993) S.42-50.

Araya-Farias, M.; Makhlof, J.: Drying of Seabuckthorn (*Hippophae Rhamnoides* l.) Berry: Impact of Dehydration Methods on Kinetics and Quality. Drying Technology. (2011). 29 (3), S. 351 – 359.

BMEL: Leitsätze des Deutschen Lebensmittelbuchs für Obsterzeugnisse. 09.07.2008.

Buchner, N: Verpackung von Lebensmitteln, Berlin: Springer Verlag, 1999.

Chau, C.F.; Wang, Y.T.; Wen, Y. L.: Different micronization methods significantly improve the functionality of carrot insoluble fiber. Food Chem. (2007), Vol.100, S.1402 – 1408.

Christ Freeze Drying: Freeze Drying Processes, 2011. <https://www.martinchrist.de/en/freeze-drying/processes/>. 27.09.2018.

Davoodi, M.G.; Vijayanand, P.; Kulkarni, S.G; Ramana, K.V.R.: Effect of different pretreatments and dehydrations methods on quality characteristics and storage stability of tomato powder. LWT (2007), Vol. 40, S.1832 – 1840.

Dehnad, D.; Jafari, S.M.: Influence of drying on functional properties of food biopolymers: From traditional to novel dehydration techniques, Trends in Food Science & Technology (2016). Vol. 57, S. 116 – 131.

Downton, G.; Flores-Luna, J.; King, C.: Mechanism of stickiness in hygroscopic, amorphous powders. Ind. Eng. Chem. Fund. (1982), Vol.21, S.447-451.

Fitzpatrick, J.J.; Lilia, A.: Food powder handling and processing: Industry problems, knowledge barriers and research opportunities. Chem Eng. Process (2005), Vol.44, S.209-214.

Garofulic, I.: Optimization of Sour Cherry Juice Spray Drying as Affected by Carrier Material and Temperature, Food Technology & Biotechnology (2016), Vol. 54, S.441 – 449.

Genin, N.; Rene, F.: Analysis of the role of the glass transition in the methods of food preservation. J Food Eng. (1995), Vol.26, S. 391-408.

Grdzlishvili G.; Hoffman P.: Infrared drying of food products, Czech Technical University in Prague, 109-116, 2012.

Heilscher, K.: Die Sanddornbeere – altbekannt und sehr innovativ. Aus Tagungsband „Innofood“ der Fachtagung zu Innovationen in der LM-Wirtschaft, 2012.

Huang, L. L.; Zhang, M.; Mujumdar, A.S.; Sun, D.F.; Tan, G. W.; Shameel, T.: Studies on decreasing energy consumption for a freeze-drying process of apple slices. *Dry Technol.* (2009), Vol. 27, S. 938-946.

Islam, M.: Processing of Orange (*Citrus unshiu*) Powder by Micro Wet Milling and Vacuum Spray Drying, *Food and Bioproducts Processing* (2017), Vol.101, S. 132 – 144.

Kramer, M: Innovatives Einfrierverfahren zur Minimierung der Prozeßzeit von Gefriertrocknungszyklen, 1999. http://www2.chemie.uni-erlangen.de/services/dissonline/data/dissertation/Martin_Kramer/html/kramer.html#TopOfPage. 27.09.2018.

Kulling, S.: Chokeberry (*Aronia melanocarpa*) – A Review on the Characteristic Components and Potential Health Effect. *Planta Med* (2008), Vol. 74, S.1625 – 1634.

Matissek, R.: Lebensmittelchemie, Hamburg: Springer Spektrum, 2015.

May, T.: Spray drying, freeze drying and hot-airdrying – How to choose right process to make fruit powder, 2017. <https://www.linkedin.com/pulse/spray-drying-freeze-hot-air-drying-how-choose-right-process-may-feng>. 27.09.2018.

Müller-Simon, H.: Migration in Verpackungsmaterialien; HVG Mitteilung, 2010.

Orak, H.: Effects of hot air- and freeze-drying methods on antioxidant activity, colour and some nutritional characteristics of strawberry tree (*Arbutus unedo* L) fruit, *Food Science and Technology* (2012), Vol. 18, S.391 – 402.

Paschke, M: Vergleich von Labormethoden zur Messung des antioxidativen Potentials von Pflanzenteilen, Hochschule Neubrandenburg, 2012.

Perez-Gregorio, M. R.; Regueiro, J.; Gonzalez-Barreiro, C.; Rial-Otero, R; Simal-Gandara, J.: Changes in antioxidant flavonoids during freeze-drying of red onions and subsequent storage. *Food Control* (2011), Vol. 22, S.1108 – 1113.

Schulze, B: Enhancement of quercetin content and its bioavailability in food by vacuum impregnation and microwave vacuum drying, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2009.

Schweitzer, S.: Wildfrüchte-Projekt, Hochschule Neubrandenburg, 2018.

Statistisches Bundesamt: 1100 Tonnen der “Gesundheitsbeere“ Aronia geerntet, 2017, www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/zdw/2017/PD17_20_p002.html, 12.09.2018.

Stein, M.: Entwicklung von Sanddornsnackprodukten unter Verwendung eines Doppelschneckenextruders, Hochschule Neubrandenburg, 2018.

Watson, M: Spray drying of pomegranate juice using maltodextrin/cyclodextrin blends as the wall material, Food Science and Nutrition (2017), Vol.5, S.820 – 826.

8 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich des Vitamin C-Gehaltes verschiedener Sanddorn Subspezies und dem Prozesszustand	7
Tabelle 2: Übersicht der verschiedenen rhamnoides Formen und ihr Vitamin C-Gehalt	8
Tabelle 3: Verwendete Geräte innerhalb des Projekts	17
Tabelle 4: Übersicht der Vorversuche V1 – V4	19
Tabelle 5: Temperaturprogramm V1 Gefriertrockner (Schritte 1 – 6).....	20
Tabelle 6: Temperaturprogramm V1 Gefriertrockner (Schritte 7 – 12).....	20
Tabelle 7: Temperaturprogramm V3 Gefriertrockner (Schritte 1 – 6).....	21
Tabelle 8: Temperaturprogramm V3 Gefriertrockner (Schritte 7 – 12).....	21
Tabelle 9: Temperaturprogramm V4 Gefriertrockner (Schritte 1 – 6).....	22
Tabelle 10: Temperaturprogramm V4 Gefriertrockner (Schritte 7 – 12).....	22
Tabelle 11: Temperaturprogramm V4 Gefriertrockner (Schritte 13 – 18).....	23
Tabelle 12: Übersicht der Hauptversuche V5 – V13	23
Tabelle 13: Übersicht der Farbuntersuchungen	26
Tabelle 14: Übersicht Mischungsversuche mit verschiedenen Trägerstoffen	30
Tabelle 15: Trockensubstanzbestimmung der Proben vom V3	37
Tabelle 16: Trockensubstanzbestimmung der Proben vom V4	39
Tabelle 17: Übersicht der prozentualen Gewichtverluste während der Trocknung halbirter Aronia.....	41
Tabelle 18: Übersicht der prozentualen Gewichtverluste während der Trocknung grob zerkleinerter Aronia.....	42
Tabelle 19: Trockensubstanzbestimmung der Proben V5.....	43
Tabelle 20: Übersicht über die Entwicklung der Restfeuchte verschiedener Aroniaprobe n ...	44
Tabelle 21: Übersicht der Restfeuchte getrockneter Produkte.....	48
Tabelle 22: Untersuchung der Restfeuchte über die Zeit.....	49
Tabelle 23: Mittelwerte der Farbmessungen getrockneter Produkte und Rohstoffe.....	50
Tabelle 24: Übersicht der Beurteilung von getrockneten Aronia über die Zeit.....	51
Tabelle 25: Übersicht der Beurteilung von getrockneten Sanddorn über die Zeit.....	52
Tabelle 26: Beladung der Gefriertrocknerplatten und Einfluss auf die Trockensubstanz	52
Tabelle 27: Übersicht der Farbwerte hergestellter Snacks aus Sanddorn und Aronia	54
Tabelle 28: Probenschlüssel der Sanddornversuche	56
Tabelle 29: Übersicht der Restfeuchteveränderung der Proben 1 - 9	57
Tabelle 30: Übersicht der Restfeuchteveränderung der Proben 10 – 18.....	59
Tabelle 31: Probenschlüssel der Aroniaversuche.....	59
Tabelle 32: Restfeuchte der untersuchten Aronia-Proben 19 – 27 über 8 Wochen	60
Tabelle 33: Restfeuchte der untersuchten Aronia-Proben 28 – 36 über 8 Wochen	61
Tabelle 34: Farbuntersuchungen der Sanddorn-Pulver mit unterschiedlichen Trägerstoffen..	62
Tabelle 35: Farbuntersuchungen der Aronia-Pulver mit unterschiedlichen Trägerstoffen.....	63
Tabelle 36: Analytische Untersuchungen der Sanddornproben Übersichtsweise.....	66
Tabelle 37: Analytische Untersuchung der Aronia-Proben Übersichtsweise	67
Tabelle 38: Rohdaten Lagerversuche	80
Tabelle 39: Rohdaten Trockensubstanzbestimmung (Vermahlungsproben)	81
Tabelle 40: Rohdaten Trockensubstanzbestimmung der Mischungsversuche (Sanddorn).....	82

Tabelle 41: Rohdaten Trockensubstanzbestimmung der Mischungsversuche (Aronia)	83
Tabelle 42: Rohdaten Farbuntersuchung der Mischungsversuche	83
Tabelle 43: Rohdaten Farbuntersuchung hergestellter Snacks und Pulver	85

Abbildung 1: Reines Sanddornpulver - Firma Schmütz Naturkost (Schmütz, https://www.schmuetz-naturkost.de/shop/bio-sanddorn-pulver-100g)	10
Abbildung 2: Trocknungsverlauf einer Gefriertrocknung (Firma Christ, 30.06.2018).	12
Abbildung 3: Gefriergetrocknete Aroniabeeren, links grob zerkleinert, rechts halbiert (Büssow, 30.06.2018).....	35
Abbildung 4: Gefriergetrocknete Aroniabeeren, links grob zerkleinert, rechts halbiert (Büssow, 30.06.2018).....	36
Abbildung 5: Gefriergetrocknete Proben (v.l: grob zerkleinerter Sanddorn, halbierte Sanddorn, grob zerkleinerte Aronia, halbierte Aronia) (Büssow, 30.06.2018).....	38
Abbildung 6: Proben vom 27.04.2018 (v.l. Sanddorn halbiert, Sanddorn grob zerkleinert, Aronia halbiert, Aronia grob zerkleinert) (Büssow, 30.06.2018).	40
Abbildung 7: Grafische Darstellung der Veränderung der Restfeuchte über die Lagerdauer .	45
Abbildung 8: Übersicht der Entwicklung von Restfeuchte während der Lagerung	49
Abbildung 9: Mischung aus Maisgrieß, Sanddornpulver und Zucker (Büssow, 30.06.2018).	54
Abbildung 10: Frisch extrudierte Sanddornsnacks aus Pulver (Büssow, 30.06.2018).	55
Abbildung 11: Gelöste Sanddornpulver in Wasser (v.l.n.r. reines Pulver, 5 % Maltodextrin, 10 % Maltodextrin, 20 % Maltodextrin) (Büssow, 30.06.2018).	64
Abbildung 12: Temperaturverlaufskurve der Trocknung verschiedener Wildfruchtproben ...	65
Abbildung 13: Imm Lochscheibe eingesetzt in der Zentrifugalmühle (Büssow, 30.06.2018).	79
Abbildung 14: Getrocknete Produkte verpackt im Vakuumbbeutel (Büssow, 30.06.2018).....	79
Abbildung 15: Probengläser mit Aroniapulver im Exsikkator positioniert (Büssow, 30.06.2018).	80
Abbildung 16: Verpackungen für Lagerversuche (o.l. nach u.r. Glas, Plastikschaale, Papierbeutel, Vakuumbbeutel) (Büssow, 30.06.2018).....	80

Anlagen



Abbildung 13: 1 mm Lochscheibe eingesetzt in der Zentrifugalmühle (Büssow, 30.06.2018).



Abbildung 14: Getrocknete Produkte verpackt im Vakuumbbeutel (Büssow, 30.06.2018).



Abbildung 15: Probengläser mit Aroniapulver im Exsikkator positioniert (Büssow, 30.06.2018).



Abbildung 16: Verpackungen für Lagerversuche (o.l. nach u.r. Glas, Plastikschale, Papierbeutel, Vakuumbbeutel) (Büssow, 30.06.2018).

Tabelle 38: Rohdaten Lagerversuche

	0h	0h	0h	24h	24h	24h	48h	48h	48h
1	3,47	3,51	3,48	3,56	3,66	3,71	3,81	3,79	3,77
2	3,43	3,42	3,48	3,79	3,88	3,85	4,11	4,15	4,14
3	3,51	3,29	3,61	3,4	3,33	3,5	3,61	3,64	3,63
4	3,49	3,46	3,44	3,44	3,48	3,49	3,51	3,52	3,56
5	3,51	3,52	3,62	3,83	3,89	3,84	4,01	4,22	4,33
6	3,22	3,31	3,34	3,9	3,93	3,91	4,11	4,13	4,15
7	3,29	3,22	3,41	3,9	3,91	3,93	4,05	4,04	4,12
8	3,43	3,74	3,61	3,89	3,81	3,85	4,06	4,11	4,16
9	3,32	3,36	3,23	3,99	3,91	3,92	4,11	4,13	4,15
	96h	96h	96h	1 W	1 W	1 W	2 W	2 W	2 W
1	3,89	3,95	3,92	4,01	4,11	4,04	4,12	4,03	4,07
2	4,38	4,44	4,43	4,6	4,72	4,67	5,17	5,23	5,19

3	3,64	3,7	3,71	3,75	3,74	3,73	3,78	3,79	3,71
4	3,65	3,67	3,68	3,71	3,71	3,7	3,75	3,79	3,8
5	4,89	4,92	4,94	5,11	5,13	5,09	5,35	5,34	5,33
6	4,39	4,41	4,45	5,01	5,02	4,99	5,25	5,24	5,23
7	4,44	4,45	4,41	5,06	5,03	5,04	5,22	5,23	5,2
8	4,33	4,31	4,3	4,5	4,53	4,52	4,81	4,83	4,82
9	4,42	4,43	4,45	4,7	4,75	4,72	5,01	5,03	5,03
	4 W	4 W	4 W	8 W	8 W	8 W	16 W	16 W	16 W
1	4,16	4,07	4,08	4,3	4,22	4,32	5,15	5,18	5,14
2	5,96	6,01	6,04	0	0	0	0	0	0
3	3,78	3,75	3,81	3,91	3,9	3,92	3,99	4,01	4,02
4	3,85	3,87	3,65	3,9	3,95	3,91	4,02	4,02	4
5	5,82	5,82	5,85	6,01	6,03	6,07	6,16	6,18	6,19
6	5,78	5,75	5,76	6,05	6,04	6,03	6,08	6,09	6,05
7	5,55	5,51	5,52	5,9	5,91	5,93	6	6,01	5,98
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 39: Rohdaten Trockensubstanzbestimmung (Vermahlungsproben)

Pulver aus	0h	0h	0h	24 h	24 h	24 h	48 h	48 h	48 h	96 h	96 h	96 h	1 W	1 W	1 W	2 W	2 W	2 W
Sanddornmark (0,5 mm)	3,12	3,14	3,15	3,2	3,21	3,22	3,27	3,27	3,28	3,32	3,35	3,33	3,34	3,37	3,38	3,39	3,38	3,37
Aronia halbiert (0,5 mm)	3,51	3,52	3,5	3,6	3,61	3,59	3,65	3,64	3,6	3,65	3,66	3,66	3,71	3,72	3,72	3,76	3,78	3,79
Aronia geschreddert (0,5 mm)	3,67	3,61	3,62	3,68	3,73	3,74	3,81	3,8	3,8	3,78	3,83	3,8	3,81	3,85	3,85	3,89	3,89	3,9
Pulver aus	0h	0h	0h	24 h	24 h	24 h	48 h	48 h	48 h	96 h	96 h	96 h	1 W	1 W	1 W	2 W	2 W	2 W
Sanddornmark (1 mm)	3,18	3,18	3,12	3,21	3,23	3,21	3,25	3,26	3,24	3,32	3,32	3,31	3,35	3,32	3,34	3,39	3,38	3,38
Aronia halbiert (1 mm)	3,49	3,48	3,48	3,52	3,53	3,56	3,56	3,61	3,58	3,6	3,61	3,62	3,64	3,68	3,69	3,72	3,73	3,74
Aronia geschreddert (1 mm)	3,68	3,69	3,71	3,75	3,74	3,78	3,79	3,81	3,82	3,84	3,85	3,86	3,9	3,9	3,91	3,92	3,93	3,94

Tabelle 40: Rohdaten Trockensubstanzbestimmung der Mischungversuche (Sanddorn)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0
0h	2,9 1	2,8 8	2,9 2	3,1 8	3,2 1	3,3 2	5,8 9	6,0 5	6,9 2	6,6 6	6,8 2	7,0 5	7,0 1	7,1 1	8,4 4	6,4 4	7,4 3	7,5 2	3,2 9
0h	2,8 3	2,8 7	2,8 5	3,2 2	3,2 4	3,3 4	5,8	6,0 4	6,8 5	6,6 3	6,8 9	7,1	7,0 4	7,4 3	8,6 8	6,5 4	7,4 2	7,4 8	3,3 5
24 h	3,7 7	3,5 4	3,5 9	3,5 4	3,3 3	3,4 1	6,1 2	6,1 8	6,7 5	6,7 6	7,1 4	7,2 2	5,0 4	5,0 2	6,7 6	6,7 4	6,5 8	6,8 6	4,2 1
24 h	3,7 9	3,4 8	3,6 1	3,6 1	3,3 6	3,4 5	6,0 4	6,2 8	7,0 1	6,7 8	7,1	7,2 3	4,9 9	5,1 3	6,8 9	6,7 3	6,8 1	6,7 4	4,1 2
48 h	4,0 1	3,3 3	3,8 8	3,9 2	3,4 6	3,5 4	6,9 4	7,0 2	7,5 4	7,0 1	7,2 4	7,5 8	5,8 7	7,0 3	7,0 5	6,9 9	7,0 4	8,3 9	4,8 0
48 h	4,0 2	3,3 5	3,8 4	3,9 9	3,4 4	3,5 6	6,9 3	7,1 1	7,5	7,0 3	7,2 8	7,4 3	5,8 8	7,1 1	7,0 3	7,0 5	7,1 2	8,4 7	4,8 3
96 h	4,3 8	3,2 9	4,6 9	4,1 8	3,6 1	3,8 1	7,0 2	7,8 8	8,8 2	7,1 4	7,3 1	7,3 8	6,1 4	7,3 4	7,7 7	7,1 3	7,3 8	9,0 4	4,8 9
96 h	4,4 6	3,2 5	4,3 4	4,1 6	3,5 7	3,8 2	7,1 2	7,8 9	8,9 3	7,1 8	7,3 9	7,4 4	6,2 1	7,2 3	7,7 5	7,1 7	7,4 3	9,1 2	5,1 1
1 W	5,0 3	4,1	4,7 3	4,5 5	3,7 2	4,0 2	8	8,9 1	9,6 4	7,8 3	7,8 8	7,8 8	6,5 5	7,8 9	8,0 3	8,0 3	8,2 2	9,3 8	5,0 3
1 W	5,1 1	4,1 2	4,7 1	4,6 3	3,7 4	4,0 4	8,0 4	8,9 3	9,7 6	7,8	7,8 1	7,8 4	6,6 5	7,8 5	8,1 4	8,1 1	8,3 1	9,4 4	5,6 5
2 W	6,2	5,3 2	5,9 9	4,8 1	4,0 3	4,1 5	9,0 2	9,9 9	10, 11	7,9 9	8,0 5	8,0 1	8,1 1	8,4 4	9,1 2	9,5 6	9,2 1	9,9 8	5,6 6
2 W	6,1 8	5,3 1	6,0 2	4,7 9	4,0 3	4,1 6	9,0 7	9,9 5	10, 21	8,0 4	8,0 2	8,0 4	8,1 2	8,2 3	9,2 1	9,6 4	9,2 3	9,9 7	8,4 5
4 W	6,3 3	5,9	6	4,9 5	4,1 2	4,3 3	10, 15	10, 33	11, 05	8,1 9	8,2 2	8,8 7	8,3 4	9,5 5	10, 03	9,8 1	9,8 8	10, 21	6,0 4
4 W	6,3 4	5,9 1	6,0 2	4,9 9	4,1 5	4,3 5	10, 21	10, 45	11, 14	8,1 2	8,1 9	8,0 5	8,4 2	9,6 7	10, 14	9,8 8	9,7 1	10, 23	6,1 2
8 W	6,6 7	6,0 2	6,1 1	5,0 1	4,3 3	4,6 1	11, 08	11, 59	12, 07	8,3 8	8,4 5	9,0 1	9,0 1	10, 02	10, 25	10, 03	10, 12	10, 55	7,8 2
8 W	6,7 8	6,0 6	6,1 3	5,0 4	4,3 2	4,5 6	11, 02	11, 39	12, 11	8,3 2	8,5 4	9,0 5	9,2 1	10, 11	10, 09	10, 02	10, 16	10, 65	7,8 4

Tabelle 41: Rohdaten Trockensubstanzbestimmung der Mischungversuche (Aronia)

	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	0
0h	3,5 8	2,1 7	3,5	3,8 8	3,9 1	3,7 7	6,1 1	6,1 7	6,2 8	6,6 5	6,8 1	6,9 3	6,5 5	6,6 9	6,7	5,9 9	6,2 3	6,5 6	3,4 7
0h	3,6 1	2,2 3	3,5 1	3,8 9	3,9 3	3,7 8	6,1 4	6,2 2	6,2 3	6,7 1	6,8	6,9 7	6,5	6,6 5	6,7 5	5,9 7	6,2	6,5 7	3,4 7
24 h	4,1 3	2,8 3	3,5 6	4,0 3	4,0 4	4,0 1	7,8 8	7,5 5	7,4	6,9 8	7,0 5	7,0 7	6,8 9	6,8 9	6,9 9	6,5 5	6,6 5	6,8 9	3,8 7
24 h	4,1 6	2,9	3,5 5	4,0 5	4,0 6	3,9 8	7,8 1	7,5 4	7,4 4	6,9	7,0 7	7,0 9	6,7 5	6,8 8	6,9 7	6,4 8	6,6	6,8	3,9 1
48 h	4,2 3	3,4 2	3,8 6	4,2 1	4,1 5	4,0 5	8,0 1	7,9	7,8 2	7,2 2	7,2 1	7,1 9	7,0 3	7,0 4	7,0 6	6,7 8	6,9 9	7,0 3	5,1 7
48 h	4,3 1	3,5 1	3,8 7	4,1 8	4,0 8	4,0 8	8,0 4	7,9 3	7,8 5	7,1 9	7,2 3	7,2 3	6,8 8	6,9 9	7,0 9	6,7 7	6,9 7	7,0 5	5,1 2
96 h	4,4 3	4,1 2	4,0 3	4,5 2	4,3 8	4,1 7	8,1 5	8,1 1	8,0 3	7,5 4	7,4	7,2 3	7,2 1	7,2	7,3 4	6,9 9	7,0 8	7,1 8	5,3 5
96 h	4,4	4,0 9	4,0 1	4,5 6	4,3 4	4,1 6	8,1 7	8,0 9	8,0 5	7,5 6	7,3 8	7,4 2	7,1 5	7,1 9	7,3 8	7,0 4	7,1 1	7,1 5	5,2 8
1 W	4,7 2	4,8 5	4,1 4	4,9 8	4,7 8	4,3 3	8,2 3	8,2	8,1 9	7,8	7,7	7,5 9	7,3 4	7,4 4	7,5 9	7,2 8	7,2 3	7,3 4	5,9 6
1 W	4,7 8	4,9 1	4,3 1	4,8 8	4,7 9	4,3 1	8,2	8,1 7	8,1 8	7,8 3	7,8 2	7,6	7,3 5	7,3 8	7,6	7,1 8	7,2	7,3 3	5,8 8
2 W	5,0 1	5,1 2	4,5 3	5,0 3	5,0 1	4,5	9,1	9,0 1	8,8 5	8,1 2	8,1 1	8,0 3	8,0 6	8,1 5	8,9 6	8,4 4	8,6	8,8 1	6,2 1
2 W	5,1 1	5,0 8	4,4 9	5,1 1	4,9 8	4,4 9	9,1 5	8,9 8	8,8 7	8,1 4	8,0 9	8,1	8,0 9	8,1 8	8,9	8,4 3	8,6 6	8,8 8	6,2 3
4 W	5,3 2	5,2 5	4,8 7	5,2 3	5,1 2	4,7 3	10, 04	9,9 5	9,9 4	9,0 4	8,9 1	8,9	8,9 8	9,0 1	9,4	9,1 3	9,4 4	9,5 4	6,4 5
4 W	5,3 4	5,2 6	4,8 6	5,2 5,2	5,0 5	4,7 5	10, 12	9,9 7	9,8 2	9,0 6	8,9 3	8,8 4	8,9	9,0 5	9,4 5	9,1 8	9,4 3	9,6	6,5 1
8 W	5,8 9	5,7 9	5,0 8	5,4	5,2 3	4,8 9	12, 44	11, 05	10, 98	9,4 3	9,3 3	9,3 0	9,4 3	9,9 5	10, 04	10, 18	10, 45	10, 59	8,2
8 W	5,9 3	5,8 4	5,0 5	5,4 4	5,2	4,9 3	12, 43	11, 02	10, 97	9,5	9,4	9,2 5	9,4 5	9,9	10, 07	10, 14	10, 41	10, 54	8,2 3

Tabelle 42: Rohdaten Farbuntersuchung der Mischungversuche

	L	a	b
1	79,97	16,9	72,25
	79,97	16,96	72,33

2	81,2	14,87	67,86
	81,28	14,86	67,89
3	83,03	12,1	61,59
	83,07	12,14	61,59
4	80,8	16,12	64,36
	80,81	16,13	64,32
5	82,87	12,94	57,93
	82,85	19,98	57,87
6	84,78	10,64	49,82
	84,74	10,64	49,78
7	80,81	16,13	64,3
	80,8	16,11	64,38
8	82,26	11,58	49,72
	84,27	11,57	49,68
9	89,05	5,22	37,92
	89,09	5,18	37,86
10	83,32	11,77	60,14
	83,32	11,81	60,15
11	85,7	8,7	50,93
	85,76	8,66	50,93
12	88,8	5,52	38,56
	88,81	5,53	38,52
13	82	13,6	65,88
	82	13,61	65,92
14	86,44	5,35	64,3
	86,52	5,35	64,26
15	88,98	0,66	65,61
	88,99	0,66	65,6
16	81,03	15,84	62,1
	81,15	15,84	62,18
17	83,55	11,37	59,97
	83,58	11,34	59,97
18	89,29	0,55	62,58
	89,28	0,54	62,59
19	50,31	9,47	4,82
	50,34	9,46	4,82
20	53,07	9,36	4,76
	53,11	9,34	4,76
21	62,32	7,43	3,95
	62,32	7,47	3,94
22	51,18	9,81	3,16
	51,2	9,79	3,14
23	52,59	8,96	4,58
	52,58	8,96	4,62

24	61,77	4,98	5,3
	61,75	4,98	5,34
25	65,81	4,52	5,08
	65,85	4,51	5,12
26	67,83	7,05	-0,23
	67,87	7,09	-0,24
27	70,4	8,14	1,9
	70,37	8,13	1,9
28	64,37	4,67	4,6
	64,33	4,66	4,59
29	65,3	5,56	4,33
	65,33	5,55	4,37
30	66,56	6,19	3,42
	66,58	6,17	3,45
31	68,4	6,28	-0,51
	68,41	6,32	-0,53
32	70	6,79	-0,87
	70,04	6,77	-0,88
33	71,41	6,37	-1,04
	71,4	6,39	-1,02
34	65,77	4,39	3,87
	65,79	4,37	3,91
35	67,91	3,71	4,78
	67,9	3,72	4,78
36	70	3,17	3,43
	70	3,2	3,42

Tabelle 43: Rohdaten Farbuntersuchung hergestellter Snacks und Pulver

	L 1	L2	L3	a 1	a 2	a 3	b 1	b 2	b 3
Sanddorn-Mark	61,54	61,55	61,54	28,76	28,78	28,74	67,28	67,23	67,31
Sanddornpulver aus Mark	76,72	76,74	76,72	22,47	22,45	22,46	77,84	77,88	77,87
gefrorener Sand- dorn	74,52	74,58	74,53	25,39	25,34	25,33	66,38	66,36	66,35
Aronia-Pulver	45,5	41,5	44,45	6,97	8,48	8,64	3,8	4,02	4,01
gefrorene Aronia	26,79	26,82	25,48	2,79	2,79	3,54	-0,32	-0,34	-0,07
SanddornSnack	78,7	78,4	78,5	19,45	19,43	19,44	55,52	55,56	55,54
AroniaSnack	38,32	38,34	38,3	46,66	46,61	46,62	-6,15	-6,17	-6,18

Erklärung über die selbstständige Anfertigung der Arbeit

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

Ort, Datum

Unterschrift