

Hochschule Neubrandenburg
Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften
Studiengang Lebensmittel- und Bioprodukttechnologie

Masterarbeit

Einfluss der Verarbeitungstechnik auf den Gesamtphenolgehalt und die antioxidative Kapazität von Sanddornsaft

Lisanne Maltzen

Betreuer:

Prof. Dr. Peter Meurer

Prof. Dr. Gerhard Flick

31. Juli 2017

URN:urn:nbn:de:gbv:519-thesis2017-0308-2

Abstract

In the present work, the influence of the processing technique on the total phenol content (TPC) and the antioxidative capacity (AC) of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides L.*) juice was considered. The main goal was the investigation of the mash treatment with regard to its potential to increase the AC and the TPC in the resulting juice. High pressure pasteurization (HHP) of sea buckthorn juice was examined with the aim of minimizing the loss of AC and TPC while pasteurization process and storage. The samples were analyzed for its TPC by Folin-Ciocalteu-Method, the AC was measured by FRAP-Method and colour differences were carried out by ΔE calculation.

The mash treatment resulted in an increase of the TPC by 20% in sea buckthorn juice while the AC could not be increased. Moreover, the mash treatment had a negative effect on the colour of the juice. The samples with 20% TPC increases showed significant colour differences.

Immediately after pasteurization, both the HP-pasteurized samples and the thermally pasteurized sample showed no significant differences to the freshly pressed seabuckthorn juice. The advantage of HHP compared to thermal pasteurisation (TP) was shown only within storage. While the TP-samples had 16% loss in TPC and 39% loss in AC, the HPP-samples had 9% loss in TPC and 29% loss in AC, however, this was still significant. A further advantage of the HPP is the colour retention. While for the TP-sampels, pasteurization process and storage caused a considerable color difference, the change of the colour of the HPP sample was slight.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	12
2. Grundlagen der Wissenschaft und Technik	14
2.1. Sanddorn	14
2.1.0.0.1. Phenole im Sanddorn	14
2.1.0.0.2. Antioxidantien im Sanddorn	14
2.1.0.0.3. Gesamtphenolgehalte und antioxidative Kapazität verschiedener Pflanzenteile	15
2.1.0.0.4. Gesundheitlicher Nutzen	16
2.2. Pasteurisation	16
2.2.1. Einfluss der Pasteurisationsart auf den Gesamtphenolgehalt und die antioxidative Kapazität von Sanddornsaft	17
2.2.2. Einfluss der Pasteurisationsart auf den Gesamtphenolgehalt und die antioxidative Kapazität von Säften anderer Früchte	17
2.3. Lagerung	18
2.3.1. Einfluss der Pasteurisationsart auf den Gesamtphenolgehalt und die antioxidative Kapazität während der Lagerung von Sanddornsaft	18
2.3.2. Einfluss der Pasteurisationsart auf den Gesamtphenolgehalt und die antioxidative Kapazität während der Lagerung von Säften anderer Früchte	19
2.4. Maische	20
2.4.1. Einfluss der Maischebehandlung auf den Gesamtphenolgehalt und die antioxidative Kapazität von Säften anderer Früchte	21
3. Material und Methoden	23
3.0.1. Rohstoff	23
3.1. Methode	23
3.1.1. Saffherstellung, Probennahme und -lagerung	23
3.1.2. Physikalische Messungen	25
3.1.2.0.1. Probenvorbereitung	25
3.1.2.0.2. Verwendete Geräte	25
3.1.2.0.3. Farbe	27
3.1.2.0.4. Extraktgehalt	28
3.1.2.0.5. Trockensubstanz	29

3.1.2.0.6.	pH-Wert	29
3.1.2.0.7.	Presssaftausbeute	29
3.1.3.	Chemische Analytik	30
3.1.3.1.	Extraktion	30
3.1.3.2.	Gesamtphenolgehalt	31
3.1.3.2.1.	Einmalige Vorbereitungen	31
3.1.3.2.2.	Standardreihe	31
3.1.3.2.3.	Laboranleitung Gesamtphenolgehaltsbestimmung . . .	32
3.1.3.3.	Antioxidative Kapazität	33
3.1.3.3.1.	Einmalige Vorbereitungen	33
3.1.3.3.2.	Standardreihe	34
3.1.3.3.3.	Laboranleitung antioxidative Kapazitätsbestimmung . .	36
3.1.4.	Verwendete Statistik	36
4.	Ergebnisse	38
4.0.1.	Standardwerte Sanddontrester und Sanddornsaft	38
4.1.	Pasteurisationsversuch	39
4.1.1.	Versuchsplanung Pasteurisation	39
4.1.2.	Einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA)	40
4.1.3.	Post Hoc Test	40
4.1.3.1.	Safttrockensubstanz	40
4.1.3.2.	Extraktgehalt und pH-Wert	41
4.1.3.3.	Farbmessung	41
4.1.3.3.1.	L-, a-,b- Werte	41
4.1.3.3.2.	Farbabstand	42
4.1.3.4.	Gesamtphenolgehalt	44
4.1.3.5.	Antioxidative Kapazität	44
4.2.	Lagerversuch	45
4.2.1.	Versuchsplanung Lagerversuch	45
4.2.2.	Gesamtphenolgehalt	46
4.2.3.	Antioxidative Kapazität	46
4.2.4.	Farbabstand	47
4.3.	Maischebehandlungsversuch	48
4.4.	Vorversuche	48
4.4.1.	Enzymprodukte	48
4.4.2.	Enzymdosierung	50
4.4.3.	Temperatur	51
4.4.4.	Maischebehandlungszeit	53
4.4.5.	Maischen mit und ohne Enzymzugabe	53
4.4.6.	Tresterauswaschung	54

4.4.7. Vergleich mit gekauften Saftproben	55
4.5. Hauptversuch Maischeenzymierung	56
4.5.1. Versuchsplanung Maischehauptversuch	56
4.5.1.1. Versuchsübersicht	56
4.5.2. Ergebnisübersicht	57
4.5.3. Betrachtung der einzelnen Responces	58
4.5.3.1. Safttrockensubstanz	58
4.5.3.2. Trestartrockensubstanz	59
4.5.3.3. Extraktgehalt	59
4.5.3.4. Ausbeute	61
4.5.3.5. L-Wert	61
4.5.3.6. a-Wert	62
4.5.3.7. b-Wert	62
4.5.3.8. Farbabstand	64
4.5.3.9. pH-Wert	65
4.5.3.10. Gesamtphenolgehalt	65
4.5.3.11. Antioxidative Kapazität	68
5. Diskussion	71
5.1. Pasteurisation	71
5.2. Lagerung	72
5.3. Maischebehandlung	73
5.4. Zusammenfassende Diskussion und Ausblick	77
6. Zusammenfassung	79
7. Literaturverzeichnis	81
8. Anhang	87
A. Stand der Wissenschaft	88
B. Material und Methode	94
C. Ergebnisse	96
C.1. Pasteurisationsversuch	96
C.2. Lagerversuch	96
C.3. Maischeversuch	104

Abbildungsverzeichnis

2.1. Phenolverteilung verschiedene Früchte (Mayer,2006)	15
3.1. Herstellung Sanddornsaft	24
3.2. Lab-Farbraum (Hunterlab Bedienungsanleitung, 2013)	27
3.3. Standardreihe Gallussäure	32
3.4. Standardreihe Trolox	35
4.1. Trockensubstanzgehalt pasteurisierte Sanddornsäfte (n=3)	41
4.2. L-Wert pasteurisierte Sanddornsäfte (n=3)	42
4.3. a-Wert pasteurisierte Sanddornsäfte (n=3)	43
4.4. b-Wert pasteurisierte Sanddornsäfte (n=3)	43
4.5. Gesamtphenolgehalte der pasteurisierten Sanddornsäfte (n=3)	44
4.6. Antioxidative Kapazität der pasteurisierten Sanddornsäfte (n=3)	45
4.7. Gesamtphenolgehalt der pasteurisierten Säfte im Lagerversuch	46
4.8. Antioxidative Kapazität der pasteurisierten Säfte im Lagerversuch	47
4.9. Vergleich verschiedene Enzymhersteller im Bezug auf den Trockensubstanzgehalt des mittels Maische hergestellten Sanddonsaftes	49
4.10. Vergleich verschiedene Enzymhersteller im Bezug auf den Gesamtphenolgehalt pro Feuchtmasse des mittels Maische hergestellten Sanddonsaftes	49
4.11. Vergleich verschiedene Enzymhersteller im Bezug auf den Gesamtphenolgehaltes pro Trockensubstanz des mittels Maische hergestellten Sanddonsaftes	50
4.12. Trockensubstanzgehalt des Saftes in Abhängigkeit von der Enzymdosierung	51
4.13. Gesamtphenolgehalt des Saftes in Abhängigkeit von der Enzymdosierung	52
4.14. Gesamtphenolgehalt des Saftes in Abhängigkeit von der Maischetemperatur	52
4.15. Gesamtphenolgehalt des Saftes in Abhängigkeit von der Maischebehandlungszeit	53
4.16. Gesamtphenolgehalt des Saftes verschiedener Maischebehandlung	54
4.17. Gesamtphenolgehalt des Saftes im Vergleich mit Werten gekaufter Säfte	55
4.18. Summary Maischeenzymierung	58
4.19. Safttrockensubstanzgehalt in Abhängigkeit von Maischebehandlungszeit (h) und Maischebehandlungstemperatur (°C)	59
4.20. Trestartrockensubstanzgehalt in Abhängigkeit von Maischebehandlungszeit (h) und Maischebehandlungstemperatur (°C)	60
4.21. Extraktgehalt in Abhängigkeit von Maischebehandlungszeit (h) und Maischebe- handlungstemperatur (°C)	60

4.22. Saftausbeute in Abhängigkeit von der Maischebehandlungszeit (h)	61
4.23. Interaktionsgraph von Enzymdosierung (ml/kg Maische) und Maischebehandlungstemperatur (°C) auf die Ausbeute im Sanddornsaft	62
4.24. L-Wert in Abhängigkeit von Enzymdosierung (ml/kg) und Maischebehandlungstemperatur (°C)	63
4.25. a-Wert in Abhängigkeit von Behandlungsdauer (h) und Maischebehandlungstemperatur (°C)	63
4.26. b-Wert in Abhängigkeit von Behandlungsdauer (h) und Maischebehandlungstemperatur (°C)	64
4.27. ΔE in Abhängigkeit von Behandlungsdauer (h) und Maischebehandlungstemperatur (°C)	65
4.28. Gesamtphenolgehalt pro Feuchtmasse in Abhängigkeit von Enzymdosierung (ml/kg Maische) und Maischebehandlungstemperatur (°C) bezogen auf den gesamten Saft (Feuchtmasse) mit Optimumanzeige	66
4.29. Gesamtphenolgehalt pro Feuchtmasse in Abhängigkeit von Maischebehandlungsdauer (h) und Maischebehandlungstemperatur (°C) bezogen auf den gesamten Saft (Feuchtmasse) mit Optimumanzeige	67
4.30. Vergleich der Gesamtphenolgehalte pro Feuchtmasse von unbehandeltem Sanddornsaft mit Sanddornsaft der Maischeenzymierung mit der höchst erzielten Ausbeute an Gesamtphenolgehalt	67
4.31. Vergleich der Gesamtphenolgehalte pro Trockenmasse von unbehandeltem Sanddornsaft mit Sanddornsaft der Maischeenzymierung mit der höchst erzielten Ausbeute an Gesamtphenolgehalt	68
4.32. antioxidative Kapazität pro Feuchtmasse in Abhängigkeit von Enzymdosierung (ml/kg Maische) und der Behandlungsdauer (h) bezogen auf den gesamten Saft (Feuchtmasse) mit Optimumanzeige	69
4.33. Vergleich der antioxidativen Kapazität pro Feuchtmasse von unbehandeltem Sanddornsaft mit Sanddornsaft der Maischeenzymierung mit der höchst erzielten Ausbeute an antioxidativer Kapazität	70
4.34. Vergleich der antioxidativen Kapazität pro Trockenmasse von unbehandeltem Sanddornsaft mit Sanddornsaft der Maischeenzymierung mit der höchst erzielten Ausbeuten an antioxidativer Kapazität	70
A.1. Maischeenzyme (Schobinger, 1987)	88
A.2. Phenolklasseneinteilung (Mayer, 2006)	89
A.3. Phenole im Sanddorn (Guo et. al, 2017)	90
A.4. Phenolsäuren im Sanddorn (Zadernowski et. al., 2005)	91
A.5. Phenolsäuren im Sanddorn (Zadernowski et. al., 2005)	92
A.6. Phenolsäuren im Sanddorn (Zadernowski et. al., 2005)	93
C.1. Deskriptive Statistik inkl. SD für nicht verwendeten HTST-Versuch	96

C.2. Einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA)	96
C.3. Einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA)	97
C.4. Deskriptive Statistik	97
C.5. Deskriptive Statistik	97
C.6. Test auf Homogenität der Varianz	98
C.7. Post Hoc Test nach Tukey der Safttrockensubstanz	98
C.8. Post Hoc Test nach Tukey des Extraktgehaltes	98
C.9. Extraktgehalt pasteurisierte Sanddornsäfte (n=3	98
C.10. Post Hoc Test nach Tukey des pH Wertes	99
C.11. Post Hoc Test nach Tukey des L-Wertes	99
C.12. Post Hoc Test nach Tukey des a-Wertes	99
C.13. Post Hoc Test nach Tukey des b-Wertes	99
C.14. Post Hoc Test nach Tukey des Gesamtphenolgehaltes bezogen auf die Trockensubstanz	99
C.15. Post Hoc Test nach Tukey der antioxidativen Kapazität bezogen auf die Trockensubstanz	100
C.16. T-Test für gepaarte Stickproben des Gesamtphenolgehalt (mg/100g Trockenmasse) des thermisch pasteurisierten Saftes (70°C; 2,5 min) vor (t0) und nach Lagerung (t1) bei 4°C	101
C.17. T-Test des Gesamtphenolgehalt (mg/100g Trockenmasse) des HPP pasteurisierten Saftes vor (t0) und nach Lagerung (t1) bei 4°C	102
C.18. T-Test für gepaarte Stickproben der antioxidativen Kapazität (mmol/100g Trockenmasse) des thermisch pasteurisierten Saftes (70°C; 2,5 min) vor (t0) und nach Lagerung (t1) bei 4°C	103
C.19. T-Test der antioxidativen Kapazität (mmol/100g Trockenmasse) des HP-pasteurisierten Saftes vor (t0) und nach Lagerung (t1) bei 4°C	104
C.20. Sanddornsafft 1.Pressung (3a) im Vergleich mit dem Produkt 2. Pressung des enzymatisch gemischten Tresters (3b)	104
C.21. Effekt Graph der Safttrockensubstanz	105
C.22. Effekt Graph des Extraktgehaltes	105
C.23. Effekt Graph der Saftausbeute	105
C.24. Saftausbeute in Abhängigkeit von Enzymdosierung (ml/kg Maische) und Maischebehandlungstemperatur (°C)	106
C.25. Effekt Graph des L-Wertes	106
C.26. Effekt Graph des a-Wertes	106
C.27. Effekt Graph des b-Wertes	107
C.28. Effekt Graph des Δ E-Wertes	107
C.29. Effekt Graph des pH-Wertes	107
C.30. pH in Abhängigkeit von Behandlungsdauer (h) und Enzymdosierung (ml/kg)	108
C.31. Effekt Graph des Gesamtphenolgehalt bezogen auf den gesamten Saft (Feuchtmasse)	108

C.32. Gesamtphenolgehalt (mg/100g Feuchtmasse) in Abhängigkeit von Maischebehandlungsdauer (h) und Maischebehandlungstemperatur (°C) bezogen auf den gesamten Saft (Feuchtmasse) mit Optimumanzeige	109
C.33. Gesamtphenolgehalt (mg/100g Feuchtmasse) in Abhängigkeit von Enzymdosierung (ml/kg Maische) und Maischebehandlungstemperatur (°C) bezogen auf den gesamten Saft (Feuchtmasse) mit Optimumanzeige	109
C.34. T-Test für eine Stickprobe	110
C.35. Effekt Graph des Gesamtphenolgehalt (mg/100g Trockenmasse) bezogen auf die Safttrockenmasse	110
C.36. Gesamtphenolgehalt (mg/100g Trockemasse) in Abhängigkeit von Maischebehandlungsdauer (h) und Maischebehandlungstemperatur (°C) bezogen auf die Safttrockenmasse mit Optimumanzeige	110
C.37. Gesamtphenolgehalt (mg/100g Trockemasse) in Abhängigkeit von Maischebehandlungsdauer (h) und Maischebehandlungstemperatur (°C) bezogen auf die Safttrockenmasse mit Optimumanzeige	111
C.38. Effekt Graph der antioxidativen Kapazität (mmol/100g Feuchtmasse) bezogen auf den gesamten Saft	111
C.39. antioxidative Kapazität (mmol/100g Feuchtmasse) in Abhängigkeit von Maischebehandlungsdauer (h) und Maischebehandlungstemperatur (°C) bezogen auf den gesamten Saft mit Optimumanzeige	112
C.40. T-Test für eine Stickprobe	112
C.41. Antioxidative Kapazität (mmol/100g Feuchtmasse) in Abhängigkeit von der Interaktion Maischebehandlungsdauer (h) und Enzymdosierung (ml/kg Maische) bezogen auf den gesamten Saft (Feuchtmasse)	113
C.42. T-Test für eine Stickprobe	113

Tabellenverzeichnis

2.1. Hauptantioxidantien im Sanddornsaft (Christaki, 2012)	15
2.2. Gesamtphenolehalt und antioxidative Kapazität der Sanddornpflanze (Korekar et. al.,2011)	16
3.1. Verwendete Geräte und Materialien der Saftherstellung und Probenziehung	26
3.2. Verwendete Geräte und Materialien der physikalischen Messungen	26
3.3. Beurteilung des Farbabstandes $\Delta E_{p,v}$ (ISO 12655)	28
3.4. Verwendete Materialien Extraktion	30
3.5. Verwendete Materialien Gesamtphenolgehaltsbestimmung	31
3.6. Standardreihe Gallussäure	32
3.7. Verwendete Materialien für die antioxidativitäts Kapazitätsbestimmung	33
3.8. Standardreihe Trolox	34
3.9. Zusammensetzung FRAP-Reagenz	35
4.1. Sanddornsaft- und Sanddornrestermesswerte	38
4.2. Versuchsübersicht Pasteurisation	39
4.3. Messvariablen	39
4.4. Versuchsübersicht Lagerversuch	45
4.5. Messvariablen Lagerversuch	45
4.6. Vergleich der Produktangaben der verschiedenen Enzymprodukte	50
4.7. Versuchsparameter randomisierter Versuchsplan	57
4.8. Response Variablen	57
B.1. Herstellerangaben verwendete Chemikalien	94
B.2. Versuchsplan Maischehaptversuch	95
C.1. Varianz pH-Wert	100
C.2. Standardabweichung b-Wert	114

Abkürzungsverzeichnis

AC	antioxidative capacity
FC	Folin-Ciocalteu
FM	Feuchtmasse
GA	Gallussäure
GAE	Gallussäureequivalent
HP	Hochdruck
HPLC	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie
HPP	Hochdruckpasteurisation
HTST	Hochtemperatur-Kurzzeiterhitzung
NP	Nicht pasteurisiert
PO	Peroxidase
PPO	Polyphenoloxidase
SD	Standardabweichung
T	Trolox
TE	Troloxequivalent
TEAC	Trolox Equivalent Antioxidative Capacity
TM	Trockenmasse
TP	thermische Pasteurisation
TPC	Total phenolic content
TPTZ	2,4,6-Tris(2-pyridil)-s-triazine

1. Einleitung

Im Laufe des Herstellungsprozesses von Fruchtsäften nehmen die Antioxidantien und Phenole im Saft immer weiter ab. Dabei haben die einzelnen Prozessschritte unterschiedlich starke Auswirkung auf die Abnahme (Hartmann,2007; Rechner,2001). Besonders negativ scheint sich die Pasteurisation und Lagerung auf die genannten Inhaltsstoffe auszuwirken (Hartmann,2007).

Alexandrakis et. al. (2013) Untersuchungen zu Hochdruckpasteurisation (HPP) von Sanddornsaft sibirischer Früchte ergab signifikante Unterschiede in Bezug auf die antioxidative Kapazität im Vergleich zum thermisch pasteurisierten (TP) Saft. Ähnliche Ergebnisse zeigten Untersuchungen von Chang et.al (2016) auf. Hier unterschieden sich der Gesamtphenolgehalt und die antioxidative Kapazität im weißem Traubensaft signifikant zwischen dem HP-behandelten zum thermisch behandelten Saft. Ob eine HP-Pasteurisation des Sanddornsaftes der Sanddornfrucht Leikora aus Norddeutschland ähnliche positive Effekte hat, soll im Pasteurisationsversuch betrachtet werden.

In der aktuellen Literatur finden sich Untersuchungen zur Lagerung von Sanddornsaft in Bezug auf die Stabilität von Vitamin C und anderen bioaktiven Komponenten (Gutzeit et. al. ,2008; Andersson et. al.,2015). Beide Arbeiten beschreiben eine signifikante Abnahme des Vitamin C gehaltes während der Lagerung.

Ob die Lagerung von pasteurisiertem Sanddornsaft der Sorte Leikonia aus Norddeutschland ebenfalls einen signifikanten negativen Einfluss auf die antioxidative Kapazität und den Gesamtphenolgehalt hat, soll in dieser Arbeit untersucht werden.

Weniger beachtet scheint die Maischebehandlung im Prozess der Sanddornsaftherstellung. Dabei zeigen Maischebehandlungen anderer Früchte deutliche Potentiale zur Erhöhung der Ausbeute verschiedener Substanzen im Saft. Borowska et al. (2009) untersuchten die Effekte der Wärme- und Enzymbehandlung der Maische der Apfelbeere. Die Versuche ergaben eine Verdoppelung des Gesamtphenolgehalts im Apfelbeerensaft bei enzymierter Maische und kombinierter enzymierter-wärmebehandelter Maische im Vergleich zur unbehandelten Maische. Auch eine alleinige Wärmebehandlung der Maische ergab schon eine deutliche Erhöhung des Gesamtphenolgehalts.

Hartmann (2007) untersuchte in ihrer Diplomarbeit unter anderem den Verlust des Gesamtphenolgehalts während der Verarbeitung von Erbeeren zu Saft. Durch eine Maischeenzymierung erreichte sie eine Reduzierung des Gesamtphenolverlustes während des nachstehenden Pressvorganges von 30% auf 19%. Zielinski et al. (2014) untersuchten die Effekte unterschiedlicher Enzympräparate während der Maische von Äpfeln unterschiedlicher Reifegrade auf den Gesamtphenolgehalt, einzelne Phenole und die antioxidative Kapazität von naturtrübem Apfelsaft. Bei unreifen und reifen Äpfeln zeigte die Mehrzahl der eingesetzten Enzympräparate eine signifikante Erhöhung des Gesamtphenolgehalts und der antioxidativen Kapazität im Apfelsaft.

Ob eine thermische und enzymatische Maischebehandlungen ähnliche positive Effekte auf den Gesamtphenolgehalt und die antioxidative Kapazität von Sanddornsaft hat wird in dieser Arbeit untersucht.

Für den Pasteurisationsversuch werden jeweils drei Proben Sanddornsaft hochdruckpasteurisiert, thermisch pasteurisiert und für die Vergleichsproben nicht pasteurisiert. Ausgewertet werden die Ergebnisse mittels einfacher Varianzanalyse (ONE-WAY-ANOVA) und Mehrfachvergleich nach Tukey.

Für den Lagertest wird eine Dreifachprobe des thermisch pasteurisierten Saftes drei Monate bei 4°C gelagert. Die Abnahme der antioxidativen Kapazität und des Gesamtphenolgehaltes wird mittels t-Test ausgewertet. Zusätzlich wird eine Probe hochdruckpasteurisierten Saftes ebenfalls bei diesen Konditionen gelagert und der Verlust ermittelt.

Zur Maischebehandlung werden Vorversuche durchgeführt um die Variablenwertebereiche zu ermitteln in denen eine Maischebehandlung erfolgreich ist. Die Variablen sind Maischetemperatur, Maischebehandlungszeit und Enzymdosierung. Auf Grundlage der Ergebnisse der Vorversuche bzw. ermittelten Variablenwertebereichen wird ein teilfaktorieller Versuchsplan erstellt. Der quadratische Versuchsplan umfasst 20 Versuche inklusive fünf Wiederholungen. Der Maischeversuch wird mittels Response Surface ausgewertet. Zusätzlich werden für einige Parameter, wie Gesamtphenolgehalt und antioxidative Kapazität, die optimalen Prozessparameter mittels Optimumanzeige ermittelt. Der maximal erreichte Gesamtphenolgehalts- und antioxidative Kapazitätswert werden mittels t-Test mit den unbehandelten Saftproben verglichen um zu ermitteln ob durch die Maischebehandlung eine signifikante Steigerung des Gesamtphenolgehaltes und der antioxidativen Kapazität erreicht werden konnte.

Die Gesamtphenolgehalte der Säfte werden mittels der Folin-Ciocalteu-Methode analysiert. Für die antioxidative Kapazitätsbestimmung wird die FRAP-Methode verwendet. Zusätzlich werden Farbe, Trockesubstanz, Extraktgehalt, pH-Wert und Saftausbeute bestimmt.

In der folgenden Arbeit wird, wie auch in der verwendeten Literatur, der Begriff des Gesamtphenolgehaltes als Ergebnis der Folin-Ciocalteu-Analytik (FC) und der Begriff der antioxidativen Kapazität als Messergebnis der FRAP-Methode bezeichnet. Ob die FC-Methode wirklich nur Phenole gemessen werden wird diskutiert (Prior et.al., 2005).

Ziel dieser Arbeit ist es, Erkenntnisse über die Einflussfaktoren des Sanddornsaftherstellungsprozesses auf den Gesamtphenolgehalt und die antioxidative Kapazität zu erhalten. Untersucht wird dabei die Maischebehandlung, Saftpasteurisation und Lagerung.

Hauptziel der Arbeit ist eine Erhöhung des Gesamtphenolgehaltes und der antioxidativen Kapazität im Sanddornsaft durch Maischebehandlung zu erzielen. Weiter soll die Hochdruckpasteurisation auf ihr Potential zum Erhalt der Phenole und der Antioxidantien im Saft getestet werden.

2. Grundlagen der Wissenschaft und Technik

2.1. Sanddorn

Die Sanddornpflanze (*Hippophae rhamnoides L.*) stammt ursprünglich aus Zentralasien. Der Strauch gehört zu den Ölweidengewächsen (*Eleagnaceae*) und wird bis zu fünf Meter hoch. Im europäischen Raum wächst dieser vor allem in Dünen und an Hängen an der Ostsee oder am Atlantik. Ihre Früchte, die Sanddornbeeren, haben eine orange-rote Färbung und bestehen aus Zellulose bestehende harte Fruchthülle. Die Sanddornbeere zeichnet sich vor allem durch ihren außergewöhnlich hohen Anteil an Fruchtfleischöl (2%) aus. Das Öl ist besonders reich an Palmitoleinsäure, Tocopherol und Carotinoiden. Der Sanddornkern ist ebenfalls sehr ölhaltig. Aus der Sanddornbeere wird sowohl Fruchtfleisch- also auch Kernöl für den menschlichen Gebrauch gewonnen (Heilscher; Morsel, 2002). Die Beere setzt sich in etwa zu 68% aus Saft, 23% aus Kern und 7,75% aus der Fruchthülle zusammen (Christaki et. al., 2012).

2.1.0.0.1. Phenole im Sanddorn Phenole haben mindestens eine Hydroxylgruppe am aromatischen Benzol-Ring. Polyphenole haben mehr als eine Hydroxylgruppe am aromatischen Ring. Die Abbildung A.2 im Anhang zeigt die weitere Einteilung der Phenole (Mayer, 2006).

Die Abbildung 2.1 zeigt neben anderen Früchten die Verteilung der phenolischen Substanzen in der Sanddornbeere ohne Kern. Die Abbildung zeigt deutlich, dass der Anteil an Flavonoiden den der phenolischen Säuren überwiegt. Isorhamnetine sind die quantitativ dominierenden phenolischen Verbindungen. Aufgrund ihrer Strukturen sind ihre antioxidativen Wirkungen jedoch gering. Im Sanddorn vertretene und besonders antioxidative Phenole sind das Quercetin, Catechin und Hydroxybenzoesäuren. Diese sind jedoch nur in geringer Menge im Sanddorn vorhanden (Rosch et. al., 2003). Im Anhang sind in Abbildung A.3 die Flavonoide und Gesamtphenolsäuren verschiedener Sanddornbeeren dargestellt, Abbildung A.4 bis A.6 im selben Abschnitt zeigt die Phenolsäuren detaillierter.

2.1.0.0.2. Antioxidantien im Sanddorn Oxidationsprozesse können freie Radikale hervorrufen, die wiederum Zellen schädigen können. Diese Kettenreaktion kann durch Antioxidantien beendet werden. Antioxidantien unterbinden damit die Oxidation anderer Moleküle. In Lebensmitteln führen Oxidationsprozesse zu Qualitätsminderungen durch Fettverderb oder Abnahme von Inhaltsstoffen (Hartmann, 2007).

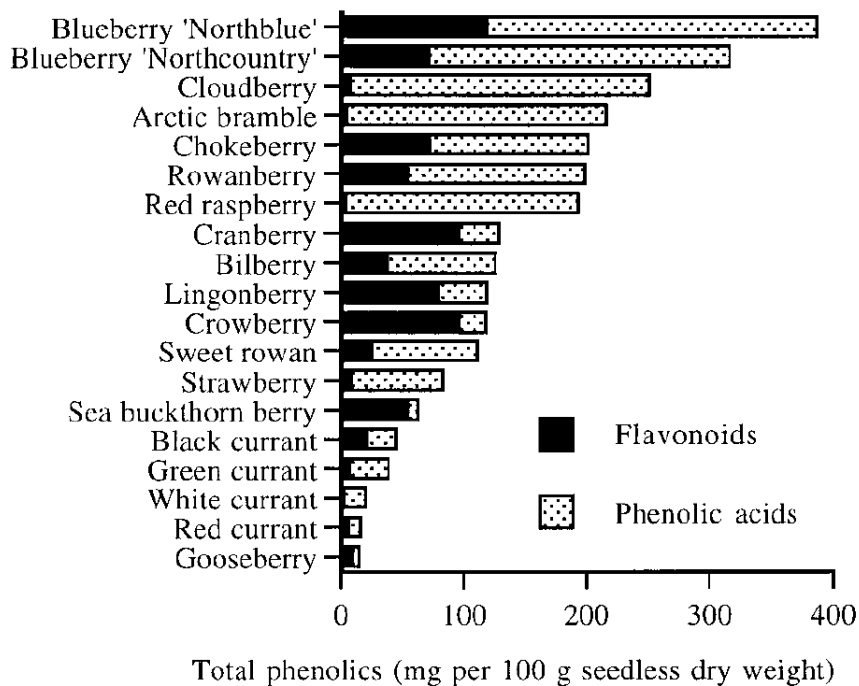


Abbildung 2.1.: Phenolverteilung verschiedene Früchte (Mayer, 2006)

Tabelle 2.1 zeigt die Hauptantioxidantien bzw. Hauptantioxidantiengruppen in der Sanddornbeere. Es fällt der hohe Gehalt an Vitamin C auf. Auch Flavonoide machen einen Großteil der Antioxidantien aus. Bei den Flavonoiden sind es vor allem Isorhamnetin, gefolgt von Isorhamnetin-3-O-13-D-glucosiden, Rutin, Ustzagalin, Quercetin, Myricetin und Kaempferol. Bei Vitamin E ist α - β - γ -Tocopherol zu 90% und α - β - γ -Tocotrienol zu 10% vertreten. Bei den Carotinoiden sind es vor allem β -Carotin, Lycopene und Zeaxanthin (Christaki et. al., 2012). Die Phenole machen nur etwa 5% der antioxidativen Kapazität im Sanddorn aus, rund 75% werden durch das Vitamin C bestimmt (Rosch et. al., 2003).

Tabelle 2.1.: Hauptantioxidantien im Sanddornsaft (Christaki, 2012)

Antioxidant	Vitamin E	Vitamin C	Carotinoide	Flavotinoide
mg/L	13,5	1540	7,3	1182

2.1.0.0.3. Gesamtphenolgehalte und antioxidative Kapazität verschiedener Pflanzenteile Korekar et. al. (2011) untersuchten den Gesamtphenolgehalt (Folin-Ciocalteu-Methode) und die antioxidative Kapazität (FRAP-Methode) des Fruchtkerns inkl. Fruchthülle, des Kernes und der Baumrinde der Sanddornpflanze. Die Messwerte sind in Tabelle 2.2 wiedergegeben. Am meisten Gesamtphenolgehalt weisen die Kerne auf. Das Fruchtkern inkl. Hülle besitzt gerade mal ein Drittel dessen. Bei der antioxidativen Kapazität sind die Unterschiede nicht so stark, die Kerne haben aber auch hier einen höheren Gehalt als der Frucht (Korekar et. al., 2011).

Tabelle 2.2.: Gesamtphenolehalt und antioxidative Kapazität der Sanddornpflanze (Korekar et. al., 2011)

Pflanzenteil	Gesamtphenolgehalt mg GE/100g Trockenmasse	Antioxidative Kapazität mmol FESO ₄ /L
Frucht inkl. Fruchthülle	4056	13,09
Kerne	12440	16,01
Blätter	6100	11,18
Baumrinde	10701	17,43

2.1.0.0.4. Gesundheitlicher Nutzen Eine Ernährung reich an bioaktiven Substanzen steht im Verdacht das Risiko an chronische Krankheiten wie Herz-Kreislaufkrankungen, Krebs oder Diabetes zu erkranken zu verringern. Die besonders in Beeren reich enthaltenen Phenole, Flavonoide, Phenolsäuren, Anthocyane und Tannine fungieren antioxidativ, antikarzinogen, antimikrobiell, entzündungshemmend und antineurodegenerativ (Liu, 2013a,b; Nile, 2014).

Antioxidantien besitzen *in vitro* eine sogenannte Radikalfängerfunktion, sie fungieren als Protonendonator und können so reaktive Sauerstoffspezies inaktivieren. In wieweit dies *in vivo* ebenfalls stattfindet ist noch nicht abschließend geklärt (Haller et. al, 2013).

Gou et. al. (2017) untersuchten die antioxidative und anticancerogene Aktivität der sekundären Pflanzenstoffe im Sanddorn. Sie ermittelten, dass eine extrazelluläre antioxidative Aktivität eng mit dem Gesamtphenolgehalt und Flavonoidgehalt zusammenhängt. Zelluläre antioxidative Aktivität und anticancerogene Aktivität korrelierte hingegen signifikant mit dem Gesamtphenolsäuregehalt und Flavonoid-Aglykongehalt. Phenolsäuren, Quercetin, Kaempferol, Isorhamnetin (Monoglycoside) waren effektiver gegen Krebszellenvermehrung, obwohl diese in geringeren Mengen als andere phenolische Verbindungen im Sanddorn vorkommen, vergl. Abbildung A.3. Die Autoren schließen daraus, dass nicht eine oder zwei dominierende sekundäre Pflanzenstoffe den anticancerogenen Effekt im Versuchsextrakt hervorriefen, sondern vielmehr die spezifische Kombination und die komplexen Interaktionen vieler sekundärer Pflanzenstoffe (Guo et. al., 2017).

2.2. Pasteurisation

Bei der Pasteurisation zur Haltbarmachung von Fruchtsäften ist das Ziel Hefen, Schimmelpilze und säuretolerante Bakterien abzutöten. Weiter sollen Enzyme inaktiviert werden, die die Lagerstabilität negativ beeinflussen. Die Inaktivierung erfolgt meist jedoch nur unvollständig, sodass Restaktivitäten von Enzymen während der Lagerung bestehen bleiben können (Heiss, 2013). Beim Sanddornsaft sind die kritischen Enzyme Polyphenoloxidasen (PPO) und Peroxidasen (PO). Polyphenoloxidasen reagiert mit Phenolen, was zur unerwünschten Farbveränderung führt. In Anwesenheit von Sauerstoff katalysiert PPO zwei Reaktionen: Hydroxylierung von Monophenolen zu Diphenolen und Oxidation von Diphenolen zu Quinonen. Die entsprechenden Enzymbezeichnungen sind Monophenolase (Cresolase) und Diphenolase (Catecholase). Diese PPO-induzierte Reaktion wird hervorgerufen durch Zellzerstörung bei der Ernte oder während des Prozesses, wie

es bei der Saffherstellung der Fall ist. Die gebildeten Quinone führen zur Bildung von braunen Farbpigmenten. Neben der Farbänderung nimmt durch diese Reaktion, durch die Abnahme der Phenole, auch die ernährungsphysiologische Qualität des Produktes ab (Mayer, 2006). In deutlich langsamerer Reaktion können auch Peroxidasen zur Braunfärbung von Fruchtsäften (Schobinger, 1987).

Siddiq und Dolan (2017) ermittelten für eine komplette PPO-Inaktivierung eine Behandlung von 20 Minuten bei 85°C. Nach 2 Minuten bei 85°C war jedoch nur noch eine Restaktivität von 3% vorhanden

(Siddiq und Dolan, 2017).

In der vorliegenden Arbeit wurde neben thermischer Pasteurisation eine Hochdruckpasteurisation durchgeführt.

Bei der Hochdruckpasteurisation wird in einem meist großvolumigem Autoklaven bei Drücken von 0,5 bis 6·10³ bar, zwischen 18°C und 55°C meist nur einige Minuten pasteurisiert. Diese Methode ist besonders effektiv gegen Schimmelpilze und Hefen, was sie für die Fruchtsaftindustrie besonders interessant macht (Schobinger, 1987).

2.2.1. Einfluss der Pasteurisationsart auf den Gesamtphenolgehalt und die antioxidative Kapazität von Sanddornsaft

Alexandrakis et. al. (2014) untersuchten den Einfluss verschiedener Prozesskonditionen der Hochdruckpasteurisation auf die Antioxidantien in Sanddornsaft. Dabei wurde die thermische Pasteurisation (60°C, 70°C, 80°C) und die Hochdruckpasteurisation (2000bar, 4000bar, 6000bar bei 25°C, 30°C, 35°C) miteinander verglichen. Laut Alexandrakis et. al. (2014) hat die Temperatur einen signifikanten Einfluss auf den Antioxidantiengehalt. Bei Temperaturen 60°-80°C sank der Gehalt signifikant. Eine Kombination aus Temperatur von 25°C und Druckbehandlung hatte hingegen sogar eine leichte Erhöhung der Antioxidantien im Saft zu Folge. Bei einer Temperatur von 35°C und Druckbehandlung war kein Unterschied zum Antioxidantiengehalt zum unbehandelten Sanddornsaft vorhanden (Alexandrakis et. al., 2014).

2.2.2. Einfluss der Pasteurisationsart auf den Gesamtphenolgehalt und die antioxidative Kapazität von Säften anderer Früchte

Garica-Parra et. al. (2016) untersuchten die Hochdruckpasteurisation von Kürbispüree und ihren Einfluss auf mikrobiologische Belastung, Farbe, bioaktive Komponenten und Polyphenoloxidaseaktivität. Es wurden verschiedene Druck und Temperatur Kombinationen getestet. Im Bezug auf die Farbe ergaben sich signifikante Unterschiede auf den L- und den a-Wert. Weiter hatte die Behandlung signifikanten Einfluss auf die mikrobiologische Belastung und den Carotinoidgehalt. Die Polyphenoloxidaseaktivität wurde durch die Hochdruckpasteurisation signifikant reduziert, bis zu einer Restaktivität von etwa 40%. Im Bezug auf die antioxidative Kapazität ergaben sich nur

teilweise signifikante Auswirkungen. Höchste Werte an antioxidativer Kapazität ergab die Behandlung bei 6000bar/70°C. Alle durchgeführten Pasteurisationsbehandlungen ergaben eine Erhöhung des Gesamtphenolgehaltes.

Blaszczak et. al. (2017) untersuchten unter anderem die antioxidative Kapazität, Gesamtphenolgehalt und die mikrobiologische Stabilität von hochdruckpasteurisiertem Aroniasaft. Es wurden drei Drücke (2000bar, 4000bar, 6000bar) bei 15 Minuten Pasteurisation getestet und die entsprechenden Proben mit unpasteurisierten Probe verglichen.

Die HP-pasteurisierten Säfte hatten direkt nach der Behandlung signifikant niedrigere Gesamtphenolgehalte als die nicht behandelten. Die Unterschiede liegen bei 200MPa bei 8%, 4000bar 9,7% und bei 6000bar bei 12% zur Vergleichsprobe. Die antioxidative Kapazität sank bei allen Hochdruckpasteurisationen nur rund 3%.

2.3. Lagerung

Während der Lagerung nimmt die Qualität von Säften immer weiter ab. Wie stark diese Qualitätsunterschiede sind hängt von der vorherigen Behandlung des Saftes, vor allem die Pasteurisation, und den Lagerkonditionen, besonders der Lagertemperatur, ab. Andere Einflussfaktoren wie die Menge an gelösten Sauerstoff im Saft spielen ebenfalls eine Rolle (Schobinger, 2001).

Siddiq und Dolan (2017) untersuchten die Lagerstabilität von isolierten PPO von Blaubeeren bei verschiedenen Lagertemperaturen über 20 Wochen. Bei Raumtemperatur (22°C) war bereits nach drei Wochen keine PPO Aktivität mehr vorhanden. Bei 4°C Lagerung war nach 20 Wochen eine Restaktivität von 10% vorhanden, bei -20°C noch 80%. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass je höher die Lagertemperatur, je mehr PPO reagieren mit den sich im Saft befindlichen Phenolen während der Lagerung (Siddiq und Dolan, 2017).

Durch die Pasteurisation vor der Lagerung soll schon vor Beginn der Lagerung möglichst ein Großteil der PPO inaktiviert werden, um Qualitätsverluste, wie enzymatische Bräunung und Phenolabbau während der Lagerung möglichst klein zu halten.

2.3.1. Einfluss der Pasteurisationsart auf den Gesamtphenolgehalt und die antioxidative Kapazität während der Lagerung von Sanddornsaft

Anderson et.al (2015) untersuchten den Effekt der Lagerzeit und Lagertemperatur in Bezug auf die Stabilität bioaktiver Stoffe von unter anderem Sanddornsaft. Betrachtet wurden Lagertemperaturen von 4°C und 20°C, Lagerzeiten von 0 bis 35 Tagen. Sie fanden im Bezug auf den Gesamtphenolgehalt (Folin-Ciocalteu-Methode) heraus, dass besonders in den ersten 5 Tagen dieser in ihrem prozentualen Gehalt sogar noch leicht zunahm. Ab dem zehnten Tag der Lagerung fanden nahezu keine Veränderung mehr statt und der Gesamtgehaltswert blieb konstant bis zum Ende des Lagerversuches von 35 Tagen. Auch die einzelne Betrachtung der Polyphenole ergab einen leichten

Anstieg dieser. Für die gemessene antioxidative Kapazität (FRAP-Methode) ergab sich ebenfalls ein kleiner Anstieg im gemessenen Gehalt bis zum Ende des Lagertestes. Der leichte Anstieg der Phenole und der antioxidativen Kapazität wurde bei Lagertemperaturen von 4°C und 22°C festgestellt. Bei den Vitamin E Derivaten gab es bei der 4°C Lagerung leichte Erhöhungen oder leichte Abstiege. Bei der 22°C Lagerung hingegen nahmen alle Vitamin E Derivate ab. Der Gesamtcarotinoidgehalt nahm bei beiden Lagertemperaturen ab. Bei 22°C Lagertemperatur stärker als bei 4°C. Die größten Verluste zeigten sich bei dem Vitamin C, hier war der Verlust über den gesamten Zeitraum, hier 120 Tage, und alle Lagertemperaturen, hier 22°C, 8°C und 4°C, zu verzeichnen. In den ersten 60 Tagen war der Verlust am stärksten.

Die bioaktiven Komponenten sind an Redoxreaktionen beteiligt. Tocopherol und Carotinoide können durch Vitamin C, Phenole und anderen Antioxidantien regeneriert werden. Dies kann ein Grund für die starken Schwankungen in den ersten Tagen der Lagerung sein. Ein weiterer Grund ist vermutlich der noch durch den Herstellungsprozess im Produkt befindliche Sauerstoff (Andersson et. al., 2015).

2.3.2. Einfluss der Pasteurisationsart auf den Gesamtphenolgehalt und die antioxidative Kapazität während der Lagerung von Säften anderer Früchte

Chang et. al. (2017) betrachteten den Effekt der Hochdruckpasteurisation und der thermischen Pasteurisation auf verschiedene Qualitätsparameter von weißem Traubensaft. Untersucht wurden Extraktgehalt, pH-Wert, titrierbare Säure, Farbdifferenz ΔE , Polyphenoloxidase (PPO) und Peroxidase (PO) Aktivität, antioxidative Kapazität, Gesamtphenolgehalt, sowie die sensorischen Eigenschaften des Saftes. Signifikante Unterschiede ergaben sich bei der Farbe, PPO- und PO- Aktivität. Bei der PPO waren sowohl signifikante Unterschiede zwischen den beiden Pasteurisationsarten wie auch zur Kontrollprobe vorhanden. Auch für die antioxidative Kapazität und den Gesamtphenolgehalt ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen HP-pasteurisierter und thermisch pasteurisierter Probe, sowie zur nichtpasteurisierten Vergleichsprobe. Wobei die HP-behandelte Probe signifikant höhere Werte aufwies als die thermisch pasteurisierte Probe. Kein signifikanter Unterschied ergab sich für den Anthocyangehalt. In der Sensorik wurde der HPP-behandelte Saft dem der thermischen pasteurisierten bevorzugt. Der HPP-behandelte wurde dem frischen nicht pasteurisierten Saft gleich gewertet (Chang et. al., 2017).

Blaszczak et. al. (2017) untersuchten unter anderem die antioxidative Kapazität, Gesamtphenolgehalt und die mikrobiologische Stabilität von hochdruckpasteurisierten Aroniasäften während der Lagerung bei 4°C. Es wurden drei Drücke für die HPP 15 Minuten getestet.

Es ergaben sich signifikant erhöhte Werte im Gesamtphenolgehalt für die HP-behandelten Proben nach 20, 40, 60 und 80 Tagen im Vergleich zum unbehandelten Saft. Der nicht pasteurisierte Saft verzeichnete einen Verlust von 36% während der 80 Tage Lagerzeit. Die Proben der HP-Behandlung verloren während der selben Zeit signifikant weniger an Gesamtphenolgehalt. Die 2000bar pasteurisierte Probe verzeichnete einen Verlust 18%, bei der 4000bar waren es 22% Ver-

lust, bei der 6000bar 23% Verlust.

Die signifikant höheren Werte von pasteurisiertem zu nicht pasteurisiertem Saft werden auf die Inaktivierung der Enzyme Polyphenoloxidase (PPO) und Peroxidase (PO), während der Pasteurisation zurückgeführt (Barba et. al., 2012). Diese Enzyme sind verantwortlich für die Degradation der Phenole (Błaszczak et. al., 2017).

2.4. Maische

In der Maischebehandlung für Sanddornbeeren kommen gängige hydrolytische Enzympräparate in Frage. Diese bestehen meist aus Cellulasen und Pectinasen. Die Cellulase lösen dabei die Zellwand auf, während die Pectinasen die Mittellamelle auflösen. Die Mittellamelle besteht aus Pektin. Die Hydrolyse der Mittellamelle durch die Enzyme verbessert den Saftausfluss aus dem Trester durch Erniedrigung der Viskosität (Beveridge et. al., 1999 ;Li et.al., 2003). Vermutlich hat aber auch die Temperatur während der Maische alleine schon einen aufbrechenden Effekt auf die Mittellamelle, da Pektin thermisch spaltbar ist (Rechner, 2000; Schobinger, 1987). Durch ein Auflösen der Mittellamellen und verbesserten Saftausfluss können mehr Phenole und Antioxidantien in den Saft übergehen. Ziel der Maischebehandlung mittels Enzympräparaten ist die Ausbeute an antioxidativer Kapazität und Gesamtphenolgehalt im Saft zu erhöhen.

Im folgenden werden der Pektinaufbau sowie Wirkmechanismen des Pektinabbaus durch die in dieser Arbeit verwendeten Enzymklassen kurz erläutert. Abbildung A.1 zeigt den enzymatischen Pektinabbau. Cellulasen wurden in dieser Arbeit nicht verwendet.

Pektin ist ein Heteropolysaccharid. Es besteht größtenteils aus α -1,4-Verknüpfungen, partiell methylierter Galacturonsäure (smooth region) und Neutralzuckern (Rahmnose, Galactose, Arabinose, Xylose). Die Neutralzucker befinden sich überwiegend in den Seitenketten (hairy region). Im linearen Bereich befinden sich Rhamnose, die durch ihren Einbau zu einem „Knick“ in der Kette führen. In den Seitenketten können Galacturonsäuren acetyliert sein.

Pectinesterasen dienen dem Abbau der smooth region. Sie bewirken eine hydrolytische Spaltung des Methylesters des Pektins. Dabei wird das Pektin zu niederveresterten Pektin oder Pektinsäure umgewandelt. Pectinesterasen besitzen eine hohe Spezifität auf Methylester der Polygalactonsäure. Andere Ester werden kaum gespalten.

Polygalacturonasen setzen an der α (1,4)-glykosidischen Bindung an und bewirken so eine hydrolytische Spaltung der Pektinsäure. Endo-Polygalacturonasen spalten nur glykosidische Bindungen, die sich neben einer freien Carboxylgruppe befinden. Exo-Polygalacturonasen bauen hochmolekulare Pektate vom nichtreduzierenden Ende der Moleküle ab.

Pektinlyasen sind in der Lage hochveresterte Polygalacturonsäuren zu spalten. Es handelt sich um ein Endo-Enzym. Durch Trans-Eliminierung wird ein Proton vom Sauerstoff-(5)-Atom auf den Sauerstoff der glykosidischen Gruppe übertragen, welche gespalten wird. Es werden nur Bindungen gespalten, die sich neben einer Methylestergruppe befinden (Schobinger, 2001).

2.4.1. Einfluss der Maischebehandlung auf den Gesamtphenolgehalt und die antioxidative Kapazität von Säften anderer Früchte

Für die Maischebehandlung von Sanddornbeeren und deren Auswirkung auf den Gesamtphenolgehalt und der antioxidative Kapazität konnten keine wissenschaftliche Veröffentlichungen gefunden werden.

Borowska et al. (2009) allerdings untersuchten die Effekte der Wärme- und Enzymbehandlung der Maische der Apfelbeere. Die Versuche ergaben eine Verdoppelung des Gesamtphenolgehalts im Apfelbeerensaft durch enzymierte Maische und kombinierter enzymierte-wärmebehandelte Maische. Auch eine alleinige Wärmebehandlung der Maische ergab schon eine deutliche Erhöhung des Gesamtphenolgehalts.

Hartmann (2007) untersuchte in ihrer Diplomarbeit unter anderem den Verlust des Gesamtphenolgehalts während der Verarbeitung von Erdbeeren zu Saft. Durch eine Maischeenzymierung erreichte sie eine Reduzierung des Gesamtphenolverlustes während des nachstehenden Pressvorganges von 30% auf 19%.

Zielinski et al. (2014) untersuchten die Effekte unterschiedlicher Enzypräparate während der Maische von Äpfeln unterschiedlicher Reifegrade auf den Gesamtphenolgehalt, einzelne Phenole und antioxidative Kapazität. Bei unreifen und reifen Äpfeln zeigte die Mehrzahl der eingesetzten Enzympräparate eine signifikante Erhöhung des Gesamtphenolgehalts und der antioxidativen Kapazität im Apfelsaft.

Oszmianski et. al. (2011) untersuchten die enzymatische Behandlung von Apfeltrester zur Herauslösung von polyphenolen Antioxidantien. Der durch anschließende zweite Pressung gewonnene Saft wurde dem erst gepressten Saft zugegeben. Es wurden unterschiedliche Enzympräparate verschiedener Hersteller getestet. Der Mischsaft wurde mittels FRAP-Methode auf antioxidative Kapazität und mittels HPLC auf polyphenole Antioxidantien getestet. Durch die Addition der Trestermaischesäfte ergaben sich signifikant erhöhte Saftausbeuten. Diese stiegen von 81,8% bei unbehandelten Säften auf 92,3% bis 95,3% bei den Mischsäften. Bei drei von fünf Enzympräparaten waren im Mischsaft höhere Gesamtphenolausbeuten als im Vergleichssaft.

Markowski et.al. (2009) betrachteten unter anderem zwei verschiedene Maischeenzymierungen auf die Auswirkungen einzelner Phenole und der antioxidative Kapazität im Apfelsaft. Gemessen wurde mittels HPLC und FRAP-Methode. Die bei 50°C gemischten Proben ergaben dabei deutliche höhere Messwerte als die bei 20°C gemischten an einzelnen Polyphenolen als auch an antioxidativer Kapazität.

Pour et. al. (2001) betrachteten unter anderem die Maischestandzeit von Trauben zur Weinherstellung im Bezug auf ihren Gehalt an Phenolen (Gesamt nach Folin-Ciocalteu-Methode, einzelne mittels HPLC) . Betrachtet wurde die Rebsorte Gewürztraminer und Riesling. Es wurden Weine ohne Maischestandzeit, mit 16 Stunden und 40 Stunden Maische produziert. Der resultierende Wein als auch die Maische wurden analysiert. Für den Gewürztraminer ergab sich ein Anstieg des Gesamtphenolgehaltes während der Maischestandzeit und auch im Wein fanden sich erhöhte Werte. Pour et. al. begründen diesen Anstieg mit einer Bildung von polymeren Oxidationsprodukten

mit höher molarer antioxidativer Kapazität. Beim Riesling nahmen Polyphenolgehalt und antioxidative Kapazität mit steigender Maischezeit ab. Dies wird auf die stetige Oxidation der Phenole zu polymeren Verbindungen zurückgeführt.

3. Material und Methoden

3.0.1. Rohstoff

Für die vorliegende Arbeit wurden Sanddornbeeren der Sorte Leikora verwendet. Die Beeren entstammen der Sanddorn Storchennest GmbH, die diese rund um Ludwigslust in Norddeutschland anbauen. Geerntet wurden die verwendeten Sanddornbeeren im September 2016 und direkt vor Ort mit -100°C Stickstoff schockgefrostet. Die gefrorenen Beeren wurden mittels Kühlboxen zur Hochschule Neubrandenburg transportiert und dort bei -18°C gelagert bis zur Verwendung.

3.1. Methode

3.1.1. Saftherstellung, Probennahme und -lagerung

Eine Liste der zur Saftherstellung verwendeten Geräte und Materialien ist in Tabelle 3.1 aufgeführt. Abbildung 3.1 zeigt den Herstellungsprozess des Sanddornsafte. Zur Sanddornsaftherstellung wurden die gefrorenen Sanddornbeeren zunächst aufgetaut. Hierzu wurde diese in die vierfache Menge Wasser bei 35°C 20 Minuten belassen. Für den Pasteurisations- und Lagerversuch wurden 600g Beeren pro Herstellungsprozess verwendet. In den Maischevorversuchen und Maischehauptversuchen wurden 200g Beeren pro Prozessdurchgang verwendet. Die aufgetauten Beeren wurden drei Minuten auf zwei über den Beeren umgeschlagenen Baumwolltüchern getrocknet. Die Beeren wurden bei allen Versuchen 1 Minute im Thermomix TM3 mittels pulsierender sogenannter Teigeinstellung zerkleinert.

Gepresst wurde fünf Minuten bei 40rpm, wobei in den ersten zwei Minuten befüllt wurde. Als Siebaufsatz wurde die kleinste Lochung verwendet, da diese augenscheinlich das beste Saftergebnis hervorbrachte. Die beiden anderen Aufsätze, eine mit Großlochung und eine ohne Lochung (ähnlich Hammermühle), wiesen deutlich größere Partikel im Saft auf, was ein beschleunigtes Auftrennen der Saftphasen bei schon kurzer Standzeit zur Folge hatte.

Die Massen des Saftes und Trester wurden aufgenommen. Drei Saftproben wurden in Probenbehälter gegeben und sofort bei -18°C gefroren und für die spätere chemische Analytik aufbewahrt. Die physikalischen Messungen wurden 20 Minuten nach Pressung durchgeführt. Hierzu wurde ein Reagenzglas mit der Saftprobe befüllt. Da ein Großteil der Versuche thermische Prozessschritte beinhaltet, wurde der Saft standardmäßig 20 Minuten im 18°C im Wasserbad belassen. Der Trester wurde, abzüglich einer 1g Probe für die Trockensubstanzbestimmung, bei -18°C auf Edel-

stahltellern ausgebreitet im Gefrierraum gefroren.

Abbildung 3.1 zeigt den Flow Chart für die Sanddornsaftherstellung.

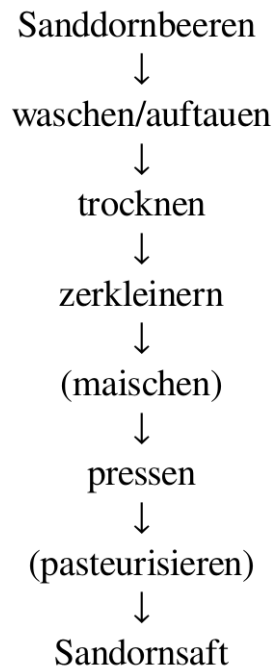


Abbildung 3.1.: Herstellung Sanddornsaft

Für den Pasteurisationsversuch wurde nach der Pressung der Saft im Thermomix TM3 pasteurisiert. Hierzu wurde der Saft unter kontinuierlichem Rühren (Stufe 1, 100rpm) auf entsprechende Temperatur erhitzt und über die definierte Zeit gehalten. Erst dann wurden die entsprechenden Proben gezogen und wie oben beschrieben gelagert.

Für die Saftherstellung des Hochdruckpasteurisationsversuches wurden der Saft lediglich gepresst und in etwa 400ml Spezialflaschen abgefüllt. Die Proben wurden am Folgetag, im isolierten und gekühlten Paket, an das Unternehmen Avure Technologie (Frans Vermee GmbH) geschickt. Wo diese einen Tag später hochdruckpasteurisiert wurden. Die Säfte verblieben noch einige Tage im Unternehmen, bis sie an die Hochschule Neubrandenburg zurückgesandt wurden. Im Unternehmen wurden die Säfte gekühlt gelagert, auch der Rückversand wurde gekühlt. Allerdings war die Kühlung bei Antreffen der Proben nicht mehr vorhanden. Es muss davon ausgegangen werden, dass die Kühlkette nicht vollständig über die gesamte Zeit bestand. Von der Pasteurisation bis zum Eintreffen der Proben verging eine Woche. Nach Eintreffen der Proben wurden diese an der Hochschule Neubrandenburg bei 4°C gelagert und zwei Tage später physikalisch gemessen bzw. Proben für die chemische Analytik gezogen und bei -18°C gefroren. Eine Probe wurde ungeöffnet bei 4°C drei Monate gelagert.

Die Maischebehandlungen wurden im Thermomix TM3 durchgeführt. Hierzu wurde unter ständigem Rühren (Rühreinstellung, 40rpm) die Maische auf die entsprechende Temperatur erhitzt. Anschließend wurde mittels Hubpipette das Enzymprodukt zudosiert. Unter ständigem Rühren (Rühreinstellung, 40rpm) und konstanter Temperatur wurde die entsprechende Zeit gemaischt. Nach

Ablauf der Zeit wurde die noch warme Maische direkt gepresst und wie oben beschrieben Proben gezogen. Im Vorversuch wurden die Maischeversuchsproben noch 90°C 45 Sekunden pasteurisiert. Da sich aber im Pasteurisationsversuch herausstellte, dass Proben die so pasteurisiert wurden große Standardabweichung im Gesamtphenolgehalt und der antioxidativen Kapazität hervorriefen, wurde in den Hauptversuchen des Maischeversuches auf eine Pasteurisation verzichtet.

3.1.2. Physikalische Messungen

3.1.2.0.1. Probenvorbereitung Nach jeder Versuchsdurchführung wird eine repräsentative Probe gezogen. Hierzu wird direkt nach der Pasteurisation (Pasteurisationsversuch) oder direkt nach der Pressung (Maischeversuch) ein Reagenzglas abgefüllt und direkt in einem 18°C Wasserbad gekühlt. Die physikalischen Messungen des Sanddornsafte werden 20 Minuten nach der Probenziehung durchgeführt. Es ist darauf zu achten, dass die Proben Raumtemperatur erreicht haben um eine Vergleichbarkeit der Messungen zwischen der verschiedenen Proben zu gewährleisten. Vor der Durchführung der physikalischen Messungen muss der Sanddornsaft durchmischt werden, da sich bereits nach 20 Minuten Standzeit eine Teilung in zwei Phasen andeutet. Hierzu wird das Reagenzglas in der Hand mit dem Daumen verschlossen und auf den Kopf gestellt, sodass der Luftraum einmal durch die Probe wandert. Anschließend in der Horizontalen halten und nach oben und unten im 45°Winkel schütteln. Den gesamten Vorgang drei mal durchführen. Zusätzlich wird die Probe unmittelbar vor jeder Messung 8 Sekunden mittels eines Reagenzglasschüttler (Vortex) durchmischt. Hierfür ebenfalls die Reagenzglasöffnung mit dem Daumen verschließen und anschließend schräg auf den Rüttler ansetzen.

3.1.2.0.2. Verwendete Geräte Die für die physikalischen Messungen verwendeten Geräte und Materialien sind in Tabelle 3.2 aufgelistet.

Tabelle 3.1.: Verwendete Geräte und Materialien der Saftherstellung und Probenziehung

Geräte	Materialien
Thermomix TM3	Reagenzglas
Saftpresse BioChef Whole Slow Juicer	Probenbehälter aus Kunststoff
Thermometer	Edelstahlgefriereller
Hubpipette 100-1000 μ l	Baumwolltücher

Tabelle 3.2.: Verwendete Geräte und Materialien der physikalischen Messungen

Messung	Geräte	Zusatz
Farbmessung	SHunter Lab ColourFlex EZ	Rundküvette 34 mm aus Glas, passende Messblende, Stempel und Abstandring
Trockensubstanz	Sartorius MA 40 Moisture Analyzer	Aluschale, Pad
Extraktgehalt	Mettler TOLEDO, RE40 Refraktometer	Destilliertes Wasser, Labortücher
pH-Wert	pH-Meter	Destilliertes Wasser
Masse	Waage	

3.1.2.0.3. Farbe Zur Bestimmung der Farbwerte des Sanddornsafte wird der ColourFlex EZ (Hunter Lab), ein Zweistrahl-Spektralphotometer, mit einem Rundküvetten Messaufsatz aus Glas ($d=34\text{mm}$), passende Messblende, Stempel und Abstandsring, verwendet. Die Messungen beruhen auf dem Hunter L,a,b Farbraum. Der Farbraum ist eine dreidimensionale Darstellung. Die folgende Abbildung 3.2 zeigt den Hunter Lab Farbraum.

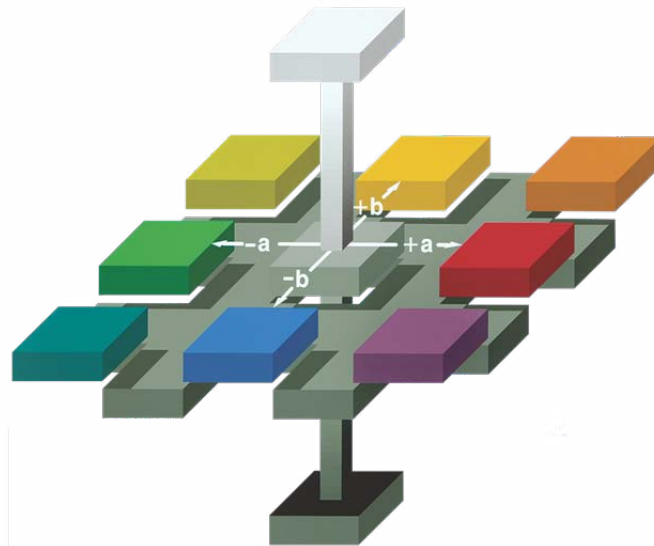


Abbildung 3.2.: Lab-Farbraum (Hunterlab Bedienungsanleitung, 2013)

Angegeben werden die Probenmesswerte als einheitslose Werte L, a und b, die die Achsen im Farbraum darstellen. Der L-Wert gibt die Helligkeit der Probe wieder. Die Spannweite beträgt 0 -100, wobei 0 schwarz und 100 weiß impliziert. Der a-Wert ist der Messwert für grün/rot, wobei negative Werte die grünen, die positiven Werte die roten Farbtöne beschreiben. Der Wertebereich reicht von - 100 bis + 100. Der b-Wert stellt analog dazu die blau/gelbe Färbung dar, wobei negative Werte die blauen, die positiven den gelben Farbtöne darstellen. Die Farbtöne werden auch Bunttöne genannt. Je weiter der Buntton vom Mittelpunkt (dem Graupunkt) entfernt ist, also je höher der Wert $|a|$ oder $|b|$ ist, desto gesättigter ist der Farbton bzw. Buntton (Hunterlab Bedienungsanleitung, 2013).

3.1.2.0.3.1. Einstellungen Hunter Lab Jede Saftprobe wird drei mal gemessen und anschließend der Mittelwert notiert. Um den Arbeitsaufwand zu minimieren wird drei mal die selbe Probe gemessen. Grundsätzlich ist eine Platzierung drei unterschiedliche Probenziehungen des jeweiligen Versuches, also die Auswechselung der Saftprobe in der Rundküvette, sinnvoll. Es zeigte sich jedoch, dass bei guter Durchmischung der Probe auf diese Dreifachbestimmung verzichtet werden kann.

Vor jedem Messtag oder nach Verwendung durch Dritte wird der Sensor standardisiert. Es wird erst gegen eine schwarze, anschließend gegen eine weiße Oberfläche gemessen.

3.1.2.0.3.2. Messung durchführen Im ColorFlex EZ entsprechendes Programm aufrufen (hier Setup 3). Die unmittelbar vorher durchmischte Probe mittels Kunststoffpipette in die Rundkuvette bis auf Höhe des Abstandsringes füllen. Anschließend den Stempel auf die Probe geben. Den Programmaufforderungen folgen und dreimal hintereinander Messen. Anschließend die angezeigten Mittelwerte notieren.

Die verschiedenen Saftproben werden mittels Farbabstand $\Delta E_{p,v}$ miteinander verglichen. Die Gleichung 3.1 zeigt die Berechnung. Die Indexe p steht dabei für die entsprechende Probe, der Index v für die Vergleichsprobe.

$$\Delta E_{p,v} = \sqrt{(L_p - L_v)^2 + (a_p - a_v)^2 + (b_p - b_v)^2} \quad (3.1)$$

Für die Ermittlung der Farbänderung während der Lagerung wird der Saft einmal zu Beginn der Lagerung (t_0) und am Ende der Lagerung (t_1) gemessen, vergleiche 3.2.

$$\Delta E_{t_0,t_1} = \sqrt{(L_{t_0} - L_{t_1})^2 + (a_{t_0} - a_{t_1})^2 + (b_{t_0} - b_{t_1})^2} \quad (3.2)$$

Über den ermittelten Farbabstand $\Delta E_{p,v}$ lassen sich die in Tabelle 3.3 aufgezeigten Beurteilungen treffen.

Tabelle 3.3.: Beurteilung des Farbabstandes $\Delta E_{p,v}$ (ISO 12655)

$\Delta E_{p,v}$	Bewertung
0-0,5	kein bis fast kein Farbunterschied
0,5-1	Unterschied kann für das geübte Auge bemerkbar sein
1-2	unmerklicher Farbunterschied
2-4	wahrgenommener Farbunterschied
4-5	wesentlicher farbunterschied der selten toleriert wird
oberhalb 5	die Differenz wird als andere Farbe gewertet

3.1.2.0.4. Extraktgehalt

3.1.2.0.4.1. Messprinzip Der Extraktgehalt wird über den Brechungsindex ermittelt und in der Einheit °Brix angegeben. Es wird der RE40 Refraktometer von Mettler TOLEDO verwendet.

3.1.2.0.4.2. Messung durchführen Destilliertes Wasser auf die Messlinse aufgeben, bis zur eingekerbten Ringmarkierung befüllen. Deckel schließen und Messung starten. Der gemessene Wert muss Null betragen. Sollte dies nicht der Fall sein, ist eine Reinigung der Linse durchzuführen. Hierzu ebenfalls destilliertes Wasser und spezielle weiche, fusselfreie Labortücher verwenden.

Saftprobe vor jeder Messung 8 Sekunden mittels Reagenzglasschüttler gut mischen. Mittels Kunststoffpipette Saftprobe auf Linse geben bis zur Ringmarkierung füllen. Um Luftblasen in der Probe zu vermeiden, die das Messergebnis verfälschen würden, ist es sinnvoll, die Pipettenspitze oberhalb der Linse anzusetzen und die Probe langsam in die Zylindermitte, wo sich die Linse befindet, runter laufen zu lassen. Anschließend den Deckel schließen und die Messung starten. Die Messung wird drei Mal mit jeweils neuer Probenaufgabe durchgeführt. Vor und nach jeder Messung, die Linse mit destilliertem Wasser reinigen und gründlich trocknen.

3.1.2.0.5. Trockensubstanz Die Trockensubstanzmessung wird mit dem Sartorius MA 40 Moisture Analyzer durchgeführt. Mittels Infrarot Strahlen wird die Probe getrocknet. Gemessen wird der Gewichtsverlust der Probe durch den Trocknungsprozess. Die Trockensubstanz wird in % angegeben, sie berechnet sich aus Anfangs- und Endgewicht der Probe.

3.1.2.0.5.1. Messung Zur Trockensubstanzmessung des Sanddornsafte ein Glasfaserpad auf die Probenschale legen. Etwa 1g des gut durchgemischten Saft mit der Kunststoffpipette auf die gesamte Fläche des Pads aufgeben und die Messung starten.

Zur Messung der Trockensubstanz des Tresters sind die Kerne zu entfernen. Etwa 1g des Trester einwiegen und auf der Probenschale gut verteilen.

Da eine Messung etwa 15 Minuten beansprucht, wird nur je eine Probe Saft und Trester pro Versuchsnummer bestimmt.

3.1.2.0.6. pH-Wert Zur Messung des pH-Wertes des Saftes wird ein Hand pH-Meter verwendet.

Vor jedem Messtag, wird das pH-Messgerät überprüfen. Bei destilliertem Wasser muss ein pH-Wert von 7 angezeigt werden. Sollte dies nicht der Fall sein, muss das pH-Wertmessgerät kalibriert werden. Dies geschieht mittels zwei Pufferlösungen pH 7 und pH 3-4 laut Herstellerangaben.

3.1.2.0.6.1. Probenmessung Etwa 5ml des Saftes werden in ein Becherglas gegeben und die Elektrode des pH-Messgerätes komplett eingetaucht. Bei konstantem Anzeigewert diesen notieren. Zwischen den Messungen wird die Elektrode ausgiebig mit destilliertem Wasser gespült. Der pH-Wert wird als dimensionslose Größe mit zwei Stellen hinterm Komma angegeben.

3.1.2.0.7. Presssaftausbeute Die Presssaftausbeute wird in Prozent angegeben und berechnet sich aus dem Verhältnis von gewonnenem Saft zu eingesetzter Sanddornbeerenmenge. Verluste im Prozess, durch beispielweise Verdampfung von Wasser während der Pasteurisation, werden nicht beachtet.

3.1.3. Chemische Analytik

3.1.3.1. Extraktion

Tabelle 3.4 zeigt die verwendeten Materialien, Geräte und Chemikalien. Eine Chemikalienliste mit Herstellerangaben befindet sich im Anhang B.1.

Tabelle 3.4.: Verwendete Materialien Extraktion

Materialien	Geräte	Chemikalien
50ml Zentrifugenröhrchen	Zentrifuge Thermo Scientific Labfuge 400	Methanol (HPLC gerade)
50ml Messkolben	Überkopfschüttler ELMI Intelli Mixer MR-2L	Essigsäure (96%ige)
Einmalpipetten	Ultraschallbad Brandelin Sonorex RK100H	Reinstwasser
Ottawasand		

Zur Herstellung der Extraktionslösung (, 80%Methanol + 1%Essigsäure) wird 20ml Essigsäure zu 1600ml Methanol in einen zwei Liter Messkolben gegeben. Anschließend wird dieser bis zur Eichgeraden mit Reinstwasser gefüllt. Das Gemisch wird mindestens eine Stunde bei Raumtemperatur stehen gelassen. Da sich der Flüssigkeitsspiegel leicht absenkt, wird nach einer Stunde erneut mit Reinstwasser auf Eichgerade aufgefüllt. Die Extraktionslösung wird in einer Glasflasche aufbewahrt und mit einem auf 20ml eingestellten Hubfüller versehen. Zu Beginn jeden Versuchstages wird der erste Hub verworfen.

3.1.3.1.0.1. Durchführung

- Die gefrorenen Saftproben werden im Probenbehälter im Wasserbad eine Stunde aufgetaut. Die Anfangstemperatur des Wasserbads beträgt 35°C, nach einer halben Stunde wird das Wasserbad erneut auf 35°C gebracht.
- 0,75g Saft mittels Einmalpipette in Zentrifugenröhrchen auf der Feinwaage einwiegen, die genauen Werte notieren
- 5g Ottawasand in jedes Zentrifugenröhrchen geben
- 20ml Extraktionslösung mittels Hubfüller in jedes Zentrifugenröhrchen geben
- Zentrifugenröhrchen fünf Minuten ins Ultraschallbad geben (ohne Erhitzung)
- Alle Proben zwei Stunden bei 60rpm überkopf im Schüttler (Programm F1) extrahieren
- Proben zehn Minuten bei 3.500rpm zentrifugieren
- Überstände mittels Einmalpipette in 50ml Messkolben überführen
- Erneut 20ml Extraktionslösung in Zentrifugenröhrchen geben und fünf Minuten im Ultraschallbad belassen

- Eine Stunde bei 60rpm überkopf im Schüttler (Programm F1) extrahieren
- Überstand mittels Einmalpipette in 50ml Messkolben überführen
- 50ml Messkolben mit Extraktionslösung auf 50ml auffüllen

Die Extrakte werden bis zur Verwendung bei 4°C gelagert. In dieser Arbeit wurde die Extrakte immer am Folgetag verwendet, sodass die Lagerzeit unter 24 Stunden lag.

3.1.3.2. Gesamtphenolgehalt

Der Gesamtphenolgehalt wurde nach Folin-Ciocalteu durchgeführt, beschrieben in Paschke (2012). Die genaue Zusammensetzung der Folin-Ciocalteu-Reagenz ist nicht bekannt, es wird aber angenommen dass ein Molybdatekomplex mit den reduzierenden Substanzen, vorallem Phenole in der Probe reagiert. Das Ergebnis ist eine mehr oder weniger intensive Blaufärbung der Probe. Diese Änderung in Absorbtion wird photometrisch bei 725nm gemessen.

Tabelle 3.5 zeigt die verwendeten Materialien, Geräte und Chemikalien.

Tabelle 3.5.: Verwendete Materialien Gesamtphenolgehaltsbestimmung

Materialien	Geräte	Chemikalien
Küvetten Küvettenständer	Spektralphotometer Pharmacia Biosystem GmbH Novaspec II	Extraktionslösung (80% Methanol + 1% Essigsäure)
Tubes Tubesstände	Hubpipetten	Folin-Ciocalteu-Reagenz (FC) (10% FC + 90% Reinstwasser)
		Reinstwasser
		Na ₂ CO ₃ -Lösung (60g/L)
		Extrakte

3.1.3.2.1. Einmalige Vorbereitungen

3.1.3.2.1.1. Lösungen herstellen Zur Herstellung der Na₂CO₃-Lösung werden 6g Na₂CO₃ in einen 100ml Messkolben überführt. Die Substanz vollständig in destilliertem Wasser lösen. das Becherglas anschließend bis zur Eichgeraden auf 100ml füllen und durchmischen.

Folin-Ciocalteu-Reagenz auf 10% mit Reinstwasser rückverdünnen und lichtgeschützt in getönter Glasflasche bei Raumtemperatur lagern.

3.1.3.2.2. Standardreihe Zunächst wird aus einer Stammlösung (10,1mg GA) mittels Verdünnungsreihe einzelne Standards hergestellt. Diese Standards werden bei -18°C gelagert. Sie werden als Kontrollproben bei den späteren Messungen verwendet. Ein Teil wird zur Herstellung der Standardreihe verwendet.

Hierzu werden die Standards, wie unter 3.1.3.2.3 für die Extrakte beschrieben, pipetiert, mit der Folin-Ciocalteu-Reagenz und Na₂CO₃-Lösung versetzt und eine Stunde im Dunkeln zur Reaktion

belassen. Anschließend werden die Reagenzien im Spektralphotometer gemessen und die dazugehörige Gallussäurekonzentration definiert. Die folgende Tabelle 3.8 und Abbildung 3.3 zeigt die entsprechende Standardreihe.

Tabelle 3.6.: Standardreihe Gallussäure

Nr.	Gallussäure (µml)	Extinktion (A)
1	10,1	0,0585
2	20,2	0,1225
3	50,5	0,319
4	101	0,622
5	202	1,195
6	303	1,695

$$y = 0,0056x + 0,026 \quad R^2 = 0,9981 \quad (3.3)$$

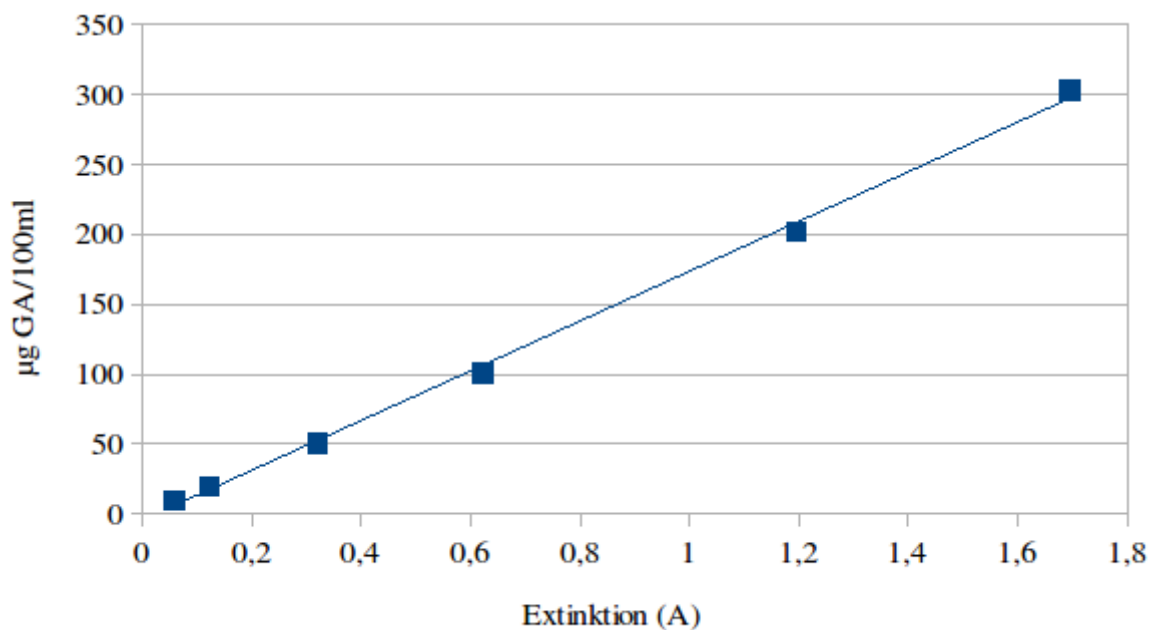


Abbildung 3.3.: Standardreihe Gallussäure

3.1.3.2.3. Laboranleitung Gesamtphenolgehaltsbestimmung

- Extrakte und Standards auf Raumtemperatur aufwärmen lassen und drei mal schütteln
- in Blindprobe 100µl Extraktionslösung pipetieren
- 100µl Standard pipettieren (Doppelprobe)
- je 100µl der Extrakte pipetieren (Doppelprobe)

- 750µl Folin-Ciocalteu-Reagenz pipetieren und direkt vortexen
- nach 5min 750µl NaCO₃-Lösung pipetieren, direkt vortexen
- 60min im Dunkeln bei 22°C reagieren lassen
- Absorption bei 725nm messen
- Messwerte der Gallussäureequivalenz (µg/ml) und Extinktionen (A) notieren
- Die Messwerte der Gallussäureequivalenz (µg/ml) werden auf Gallussäureequivalenz (mg/100Trockenmasse) und (mg/100Feuchtmasse) umgerechnet

3.1.3.3. Antioxidative Kapazität

Die Bestimmung der antioxidativen Kapazität wird mittels FRAP-Methode (Ferric reducing anti-oxidant power) durchgeführt. Mittels dieser Analyseverfahren hat Paschke (2012) an der Hochschule Neubrandenburg bereits Saftproben untersucht, sodass auf ihre Masterarbeit Bezug genommen werden kann.

Die Methode beruht auf einem Fe³⁺-TPTZ-Komplex der durch vorhandene Antioxidantien zu Fe²⁺-TPTZ reduziert wird. Das Resultat ist je nach Konzentration an Antioxidantien eine mehr oder weniger intensive Blaufärbung der Probe. Absorptionsänderungen werden photometrisch bei 593nm gemessen.

Die Tabelle 3.7 zeigt die verwendeten Materialien, Geräte und Chemikalien.

Tabelle 3.7.: Verwendete Materialien für die antioxidativitäts Kapazitätsbestimmung

Materialien	Geräte	Chemikalien
Küvetten	Spectralphotometer	Extraktionslösung
Tubes 2ml	Hubpipetten	TPTZ-Lösung (10mM in 40mM HCL)
Küvettenständer		FECl ₃ 6H ₂ O-Lösung (20mM)
Tubesständer		Reinstwasser
Karton o ähnliches als Schutz vor Licht		Extrakte
getönte Flasche 75ml		Acetat Puffer (300mM; pH 3,6)
Wasserbadschale		
Thermometer		

3.1.3.3.1. Einmalige Vorbereitungen

3.1.3.3.1.1. FECl₃ 6H₂O-Lösung herstellen Zur Herstellung der FECl₃ 6H₂O-Lösung wird folgende Rechnung herangezogen:

$$m(g) = M(g/mol) \cdot n(mol) \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned}
M_{\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}} &= 270,33 \text{ g/mol} \\
m_{\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}} &= (270,33 \text{ g/mol} \cdot 20 \text{ mol/L}) / 1000 \\
&= 5,4066 \text{ g/L} \\
&= 0,54066 \text{ g/100ml}
\end{aligned}
\tag{3.5}$$

Zur Herstellung der $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -Lösung werden 0,54066g FeCl_3 im Messkolben auf 100ml mit Reinstwasser aufgefüllt und bei 4°C gelagert.

3.1.3.3.1.2. TPTZ Lösung herstellen Die Herstellung erfolgt analog zur $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -Lösung und berechnet sich wie folgt.

$$\begin{aligned}
M_{\text{TPTZ}} &= 312,33 \text{ g/mol} \\
m_{\text{TPTZ}} &= (312,33 \text{ g/mol} \cdot 10 \text{ mol/L}) / 1000 \\
&= 3,1233 \text{ g/L} \\
&= 0,31233 \text{ g/100ml}
\end{aligned}
\tag{3.6}$$

3.1.3.3.2. Standardreihe Die Standards sowie Standardreihe und Kalibrierung im Spektralphotometer waren bereits vorhanden und konnten übernommen werden.

Die folgende Abbildung zeigt die Konzentrationen der Standards und die entsprechende Extinktionen.

Tabelle 3.8.: Standardreihe Trolox

Nr.	Trolox (mmol/L)	Extinktion (A)
1	0,25	0,185
2	0,5	0,333
3	0,75	0,572
4	1	0,76
5	1,25	0,98
6	1,5	1,163

$$y = 0,8022x - 0,036 \quad R^2 = 0,9976 \tag{3.7}$$

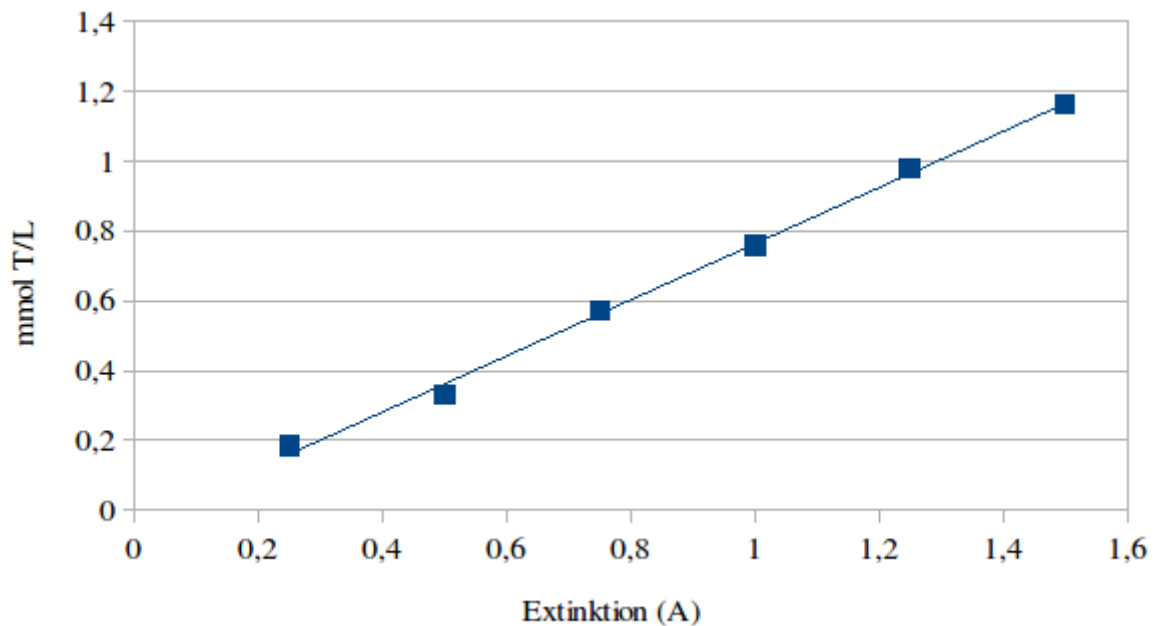


Abbildung 3.4.: Standardreihe Trolox

3.1.3.3.2.1. FRAP Reagenz herstellen Die FRAP-Reagenz wird vor jedem Messdurchgang frisch hergestellt. Hierzu müssen die $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -Lösung und TPTZ- Lösungen Raumtemperatur haben. Die Reagenz wird in einer getönten Flasche hergestellt und unmittelbar vor Verwendung 4 Minuten bei 37°C im Wasserbad inkubiert.

Im Folgenden ist die Zusammensetzung der FRAP-Reagenz dargestellt, Tabelle 3.9.

Tabelle 3.9.: Zusammensetzung FRAP-Reagenz

Chemikalien	Volumenanteil
TPTZ Lösung (10mM in 40mM HCL)	1
Acetat Puffer (300mM;pH 3,6)	10
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (20mM)	1

Es wird immer nur so viel Reagenz hergestellt wie für den nächsten Durchgang benötigt wird. Die benötigte Menge errechnet sich wie folgt:

$$\begin{aligned}
 & \text{Anzahl Extrakte inklusive Doppelprobe} \\
 & + \text{Anzahl Standards inklusive Doppelprobe} \\
 & \quad + \text{Blindprobe} \\
 & \hline
 & = X \\
 & X \cdot 1,8 \text{ml FRAP – Reagenz}
 \end{aligned} \tag{3.8}$$

In der Regel wird ein Standard pro Messdurchgang mitgemessen.

3.1.3.3.3. Laboranleitung antioxidative Kapazitätsbestimmung

- Extrakte, Reagenzien und Standards auf Raumtemperatur aufwärmen lassen und drei mal schütteln
- FRAP-Reagenz herstellen
- 40µl Extraktionslösung als Blindprobe in Tubes pipettieren
- Standard pipettieren
- 40µl Extrakt in Tubes pipettieren
- FRAP-Reagenz in warmes Wasserbad, 4min 37°C inkubieren
- FRAP-Reagenz im Wasserbad belassen (kleines Schälchen)
- 1800µl FRAP-Reagenz bei 37°C pipettieren
- 160µl entionisiertes Wasser pipettieren
- alle Proben vortexen
- 3h im Dunkeln bei 22°C zur Reaktion belassen
- Absorption bei 593nm messen; dabei ist auf einen schnellen Ablauf zu achten und die Proben zwischenzeitlich mittels Abdeckung vor Licht zu schützen.
- Anzeigewerte in Troloxequivalent (mmol/L) und Extinktionen (A) notieren
- Die Messwerte Troloxequivalent (mmol/L) werden auf Troloxequivalent (mmol/100Trockenmasse) und (mmol/100Feuchtmasse) umgerechnet

3.1.4. Verwendete Statistik

Zur Auswertung der Versuche wurde sich verschiedener statistischer Tests bedient, die im Folgenden vorgestellt werden.

Die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) dient der Überprüfung der Signifikanz (F-Test) des Unterschiedes von Mittelwertdifferenzen. Im Gegensatz zum t-Test können hier mehrere Mittelwertdifferenzen miteinander verglichen werden. Sie zeigt, ob mindestens ein signifikanter Unterschied zwischen den Vergleichsgruppen besteht. In der vorliegenden Arbeit wird die ANOVA verwendet, um signifikante Unterschiede zwischen den Pasteurisationsarten zu ermitteln. Nicht überprüft werden kann mit dieser Methode zwischen welchen Vergleichsgruppen genau der Unterschied besteht. Hierfür wird der Post Hoc Test (multiple Vergleiche) herangezogen. Es gibt verschiedene Tests für Mehrfachvergleiche. Hier wurde der Post Hoc Test nach Tukey (HSD)

verwendet. Dieser ist einer der üblichsten und robustesten Mehrfachvergleiche. Es werden Mittelwertdifferenzen paarweise miteinander auf signifikante Unterschiede verglichen.

Für den Lagertest wurden zwei verschiedene t-Tests verwendet. T-tests dienen der Ermittlung signifikanter Unterschiede zweier Mittelwerte zweier Gruppen. Für die Ermittlung signifikanter Unterschiede während der Lagerung von thermisch pasteurisiertem Saft wurde der t-Test für abhängige (gepaarte) Stichproben verwendet, da es sich hierbei um die gleichen Proben im Zeitverlauf handelt. Für die Ermittlung eines signifikanten Unterschiedes der HP-pasteurisierten Probe während der Lagerung wurde der „t-test für eine Stichprobe“ verwendet. Hier wird ein Mittelwert mit einem vorgegeben Testwert verglichen. Da zur Lagerung nur eine Probe zur Verfügung stand musste auf diesen Test zurückgegriffen werden (Janssen, 2010).

Die beiden Tests wurden mittels der Software „GNU PSPP“ erstellt. Einer freien Software zur statistischen Auswertung von Stichproben.

Für die Maischeenzymierung wurde ein statistischer Versuchsplan erstellt. Mittels diesem können mehrere Faktoren (unabhängige Variablen) und Faktorstufen getestet werden. Erstellt wurde dieser mit der Versuchsplanungs Software ECHIP. Dem Programm vorgegeben wurden die drei Faktoren (Maischetemperatur, Maischebehandlungszeit und Enzymdosierung) und je drei Faktorstufen (konkrete Parameter für die Faktoren), die in den Vorversuchen ermittelt wurden. Als Versuchsdesign wurde ein quadratisches Standarddesign gewählt. Fünf Wiederholungen wurden definiert. Die Software erstellt aus den Vorgaben einen randomisierten teilfaktoriellen Versuchsplan. Der Versuchsaufwand wird dadurch auf 15 Versuche reduziert. Mit den fünf Wiederholungen ergibt sich ein Versuchsplan mit 20 Versuchsdurchgängen. Der Versuchsplan wird randomisiert um andere Einflüsse, besonders Umwelteinflüsse wie Raumtemperatur im Laufe des Versuchstages, zu minimieren. Nach Durchführung der Versuche werden diese mittels Response-Surface Methode ausgewertet. Diese ermöglicht eine graphische Darstellung der abhängigen Variablen in Abhängigkeit von den Faktoren und Faktorstufen. Die Ermittlung von Signifikanzen geschieht mittels F-Test und kann unterschiedlich dargestellt werden. Er zeigt signifikante Einflüsse innerhalb des Versuchsplanes, dh. innerhalb der getesteten Prozessparameterbereiche, auf. Um zu ermitteln bei welchen Prozessparametern optimale Ergebnisse erzielt werden, wird sich der Optimumsermittlung in der Response-Surface Darstellung bedient. Das Optimum kann beliebig definiert werden. Für die Maischeversuche sind diese unter anderem der maximale Gesamtphenolgehalt und die maximale antioxidative Kapazität im Saft. Der jeweilige maximal ermittelte Wert wird anschließend mittels t-Test (für eine Stichprobe) mit dem Mittelwert des unbehandelten Standardsaftes auf signifikante Unterschiede getestet. So kann ermittelt werden, ob die Maischeenzymierung einen signifikanten Effekt auf den Gesamtphenolgehalt und die antioxidative Kapazität hat. Der Vergleich mit dem Standardsaft ist wichtig, da innerhalb des Versuchsplanes alle Säfte gemischt werden. Signifikante Unterschiede die wie oben geschrieben ermittelt werden, sind immer nur signifikante Unterschiede innerhalb des Versuchsplanes und geben keine Auskunft darüber, ob zwischen gemischten und nicht gemischten Proben ein Unterschied besteht. Hierfür wird der anschließende t-Test benötigt.

4. Ergebnisse

4.0.1. Standardwerte Sanddontrester und Sanddornsaft

In einem ersten Versuch wurde der Sanddornsaft, aus den Beeren der Sorte Leikonia aus dem Anbaugebiet im Raum Ludwigslust (Norddeutschland), auf Gesamtphenolgehalt und antioxidative Kapazität getestet. Dies ermöglicht einen Vergleich mit der bestehenden Literatur. Zudem dienen die Messwerte als Vergleichswerte für die folgenden Prozessversuche. Die Sanddornbeeren wurden aufgetaut, eine Minute aufgeschlossen und anschließend direkt gepresst, siehe Abschnitt 3.1.1. Der Saft wurde nicht pasteurisiert. Der Versuch wurde drei mal durchgeführt mit je 600g Beeren. Die gemessenen Werte für den Standardsaft sind in Tabelle 4.1 dargestellt.

Als Vorversuch wurde ein Sanddornrester auf seinen Gesamtphenolgehalt hin untersucht. Der Trester ist angefallen beim Standardsaftherstellungsverfahren wie oben beschrieben. Der Trester wurde in diesem Vorversuch feucht extrahiert. Idealerweise sollte der Trester vorher gefriergetrocknet werden. Der Messwert wird jedoch ohnehin auf die Trockensubstanz bezogen. Die Trocknung vor der Extraktion hätte aber den Vorteil, dass der Trester einfacher und gleichmäßiger pulverisiert werden kann, während hingegen bei der feuchten Zerkleinerung keine gleichmäßige Struktur erreicht wurde. Der Gesamtphenolgehalt des gemessenen Tresters ist ebenfalls in Tabelle 4.1 dargestellt.

Tabelle 4.1.: Sanddornsaft- und Sanddornrestermesswerte

Produkt		Einheit	Messwert	SD	n
Saft	Gesamtphenolgehalt	mg GEA/100g TM	2296,04	47,27	3
Saft	Gesamtphenolgehalt	mg GEA /100g FM	228,95	2,84	3
Saft	antioxidative Kapazität	mmol TE/100g TM	33,43	0,20	3
Saft	antioxidative Kapazität	mmol TE/100g Saft TM	3,33	0,07	3
Trester	Gesamtphenolgehalt	mg GEA /100g TM	1450,00	–	1

Korekar et. al. (2011) hatte für das Fruchtfleisch inklusive Fruchthülle Werte von 4056 mg GE/100g Trockenmasse angegeben. Arimboor et. al. ermittelte mit 2600 mg GE/100g TM deutlich geringere Werte für Sanddornproben des gleichen Anbaugebietes Ladakh (Indien) und der gleichen Methode (Folin-Ciocalteu). Werden die Werte für Saft und Trester der vorliegenden Arbeit zusammengerechnet, ergibt sich ein Wert von 3746,04 mg GE/100g Trockenmasse. Der Wert liegt damit zwischen denen der in der Literaturangabe. Allerdings muss bei einem Vergleich die Unterschiede im Anbaugebiet, Sorte, Reifegrad und Analytikvorbereitung beachtet werden (Korekar et. al., 2011; Arimboor et. al., 2008).

Paschke (2012) untersuchte an der Hochschule Neubrandenburg ebenfalls Sanddornsaft. Verwendet wurde ein Sanddornbeerenmix der im Raum Gülzow angebaut wurde. Für den Gesamtphenolgehalt ermittelte sie einen Wert von 253 CE ml/100ml (Clorogensäureequivalent). Der Wert ist sehr nahe an dem in dieser Arbeit ermittelte Wert von 228,95mg GE/ 100g Feuchtmasse. Für die antioxidative Kapazität des gleichen Saftes ermittelte sie 1,8 TE mmol/100ml und ist damit geringer als der in der vorliegenden Arbeit ermittelten 3,3 mmol TE/ 100gFM. Allerdings ist die unterschiedliche Äquivalenzsubstanz zu berücksichtigen.

4.1. Pasteurisationsversuch

4.1.1. Versuchsplanung Pasteurisation

Im ersten Hauptversuch wurden verschieden pasteurisierte und ein nicht pasteurisierter Sanddornsaft miteinander verglichen. Die Tabelle 4.2 zeigt die Versuchsübersicht des Pasteurisationsversuches.

Tabelle 4.2.: Versuchsübersicht Pasteurisation

Versuchsnummer	Behandlungsart	Prozessparameter	n
1	Hochdruckpasteurisation (HPP)	6.000 bar 3min	3
2	High-Temperature-Short-Time (HTST)	90°C 45sek.	3
3	thermische Pasteurisation (TP)	70°C 2,5min	3
4	nicht pasteurisiert (NP)	–	3

Bei der Kurzzeiterhitzung (HTST) 90°C 45s zeigte sich eine große Standardabweichung innerhalb der Dreierprobe, auch eine Wiederholung dieses Versuches brachte keine Verbesserung. Die Proben der Kurzzeiterhitzung wurden demnach nicht weiter betrachtet und werden im folgenden nicht dargestellt. Die deskriptive Statistik inkl. Standardabweichung für HTST-Proben ist in Abbildung C.1 dargestellt. Wie diese Abweichung zustande kommen konnte kann nur vermutet werden. Es ist möglich, dass die Pasteurisation mit dem Thermomix TM3 bei kurzer Erhitzung nicht ausreichend genau ist.

Tabelle 4.3.: Messvariablen

Variable	Einheit
Safttrockensubstanzgehalt	%
Saftextraktgehalt	°Brix
pH	–
L- a- b- ΔE	-
Gesamtphenolgehalt	ml GAE/100gFM und ml GAE/100gTM
antioxidative Kapazität	ml TE/100gFM und ml TE/100gTM

Statistisch ausgewertet wurde der Versuch mittels einfractioneller Varianzanalyse (ONE-WAY-ANOVA) um zu ermitteln auf welche Variablen die Pasteurisationsart einen signifikanten Einfluss

hat. Die zu testenden Variablen sind in Tabelle 4.3 dargestellt. In diesem Versuch nicht betrachtet wird die Trester Trockensubstanz, da diese von der Pasteurisation nicht beeinflusst werden kann. Anschließend wird mittels Post Hoc Test nach Tukey geprüft zwischen welchen Pasteurisationsarten im Einzelnen und bezogen auf die entsprechende Variable signifikante oder nicht signifikante Unterschiede bestehen. Immer mitbetrachtet wird die nichtpasteurisierte Probe als Vergleichsprobe.

Ziel des Versuches ist es zu ermitteln ob eine Hochdruckpasteurisation von Sanddornsaft im Vergleich zum thermisch pasteurisiertem Sanddornsaft signifikant höhere Werte an Gesamtphenolgehalt und antioxidativer Kapazität aufweist. Weiter soll überprüft werden inwieweit und ob diese sich vom unbehandelten, also frisch gepressten Sanddornsaft, unterscheiden. Auch soll überprüft werden, ob die Hochdruckpasteurisation positive oder negative Auswirkung auf die physikalischen Parameter des Sanddornsaftes hat.

4.1.2. Einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA)

Die einfaktorielle Varianzanalyse ermittelte einen signifikanten Einfluss der Pasteurisation auf alle getesteten physikalischen Parameter des Sanddornsaftes. Die verschiedenen Pasteurisationsverfahren hatten hingegen keinen signifikanten Effekt auf den Gesamtpolyphenolgehalt und die antioxidative Kapazität im Saft. Die Abbildungen C.2 und C.3 im Anhang zeigen die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse.

Im Anhang ebenfalls aufgeführt C.4 und C.5 ist die deskriptive Statistik des Pasteurisationsversuches.

Dargestellt sind Mittelwert, Standardabweichung, Standardfehler, 95% Konfidenzintervall für Mittelwert und Minimum sowie Maximum des Messwertes.

Die statistische Auswertung der Homogenität der Varianz (Leven-Test) ist im Anhang unter C.6 dargestellt. Mit der Homogenität der Varianz wird geprüft ob die Varianzen der drei Gruppen (HHP, TP, NP) untereinander homogen sind bzw. sich nicht signifikant unterscheiden. Eine Signifikanz sollte nicht vorliegen da sonst die Aussagekraft der einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) in Frage zu stellen ist. Dies war mit Ausnahme des pH-Wertes überall der Fall. Die Ergebnisse des pH-Wertes müssen demnach im Folgenden skeptisch betrachtet werden. Die Varianzen für den pH-Wert sind in Tabelle C.1 im Anhang dargestellt. Während bei HPP-Proben und den nicht pasteurisierten Proben mit einem Wert von 0,01 geringe Varianz innerhalb der Dreierprobe zu verzeichnen ist, ist diese bei Proben der thermischen Pasteurisation mit 0,25 deutlich höher.

4.1.3. Post Hoc Test

Zwischen welchen Pasteurisationsarten im Einzelnen signifikante Unterschiede bestehen wird im Folgenden näher betrachtet.

4.1.3.1. Safttrockensubstanz

Die Abbildung 4.1 zeigt die prozentualen Safttrockensubstanzgehalte des Pasteurisationsversuches.

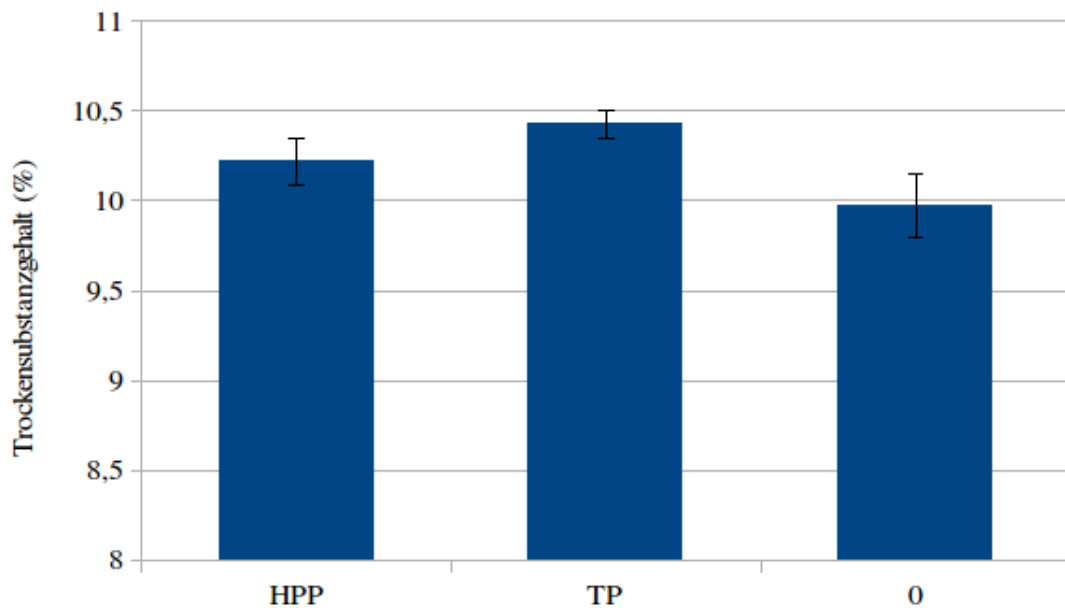


Abbildung 4.1.: Trockensubstanzgehalt pasteurisierte Sanddornsäfte (n=3)
 Legende: HPP=Hochdruckpasteurisation, TP=thermische Pasteurisation, 0=nicht pasteurisierte Vergleichsprobe

Höchste Trockensubstanzgehalte wurden beim thermisch pasteurisierten Saft, zweithöchste bei dem HPP-behandelten und geringste bei dem nicht pasteurisierten Saft gemessen. Es ist zu vermuten, dass die höheren prozentualen Trockensubstanzgehalte der pasteurisierten Säfte auf den Verlust von Wasser durch Verdampfung zurückzuführen sind.

Die Abbildung C.7 im Anhang zeigt den Post Hoc Test für die Safttrockensubstanz. Die Betrachtung der Safttrockensubstanz im Mehrfachvergleich zeigt, dass lediglich zwischen der thermisch pasteurisierten Probe und der nicht pasteurisierten Probe ein signifikanter Unterschied besteht.

4.1.3.2. Extraktgehalt und pH-Wert

Die Ergebnisse des Extraktgehaltes C.8 und C.9 und des pH-Wertes C.10 sind im Anhang dargestellt. Die Ergebnisse des pH-Wertes sind auf Grund der genannten Nichterfüllung der Homogenität der Varianz vorsichtig zu betrachten. Auch die Messungen des Extraktgehaltes geben Zweifel auf, da diese sich stark von denen der Trockensubstanzmessung unterscheiden.

4.1.3.3. Farbmessung

4.1.3.3.1. L-, a-, b- Werte In Abbildung 4.2 sind die Mittelwerte der gemessenen L-Werte graphisch dargestellt. Die hellste Probe ist die thermische, zweithellste die HP-pasteurisierte und die dunkelste ist die nicht pasteurisierte.

Signifikante Unterschiede zeigt die pasteurisierte Probe zur HP-behandelten und zur nicht pasteurisierten Probe, vergleiche Abbildung C.11 im Anhang.

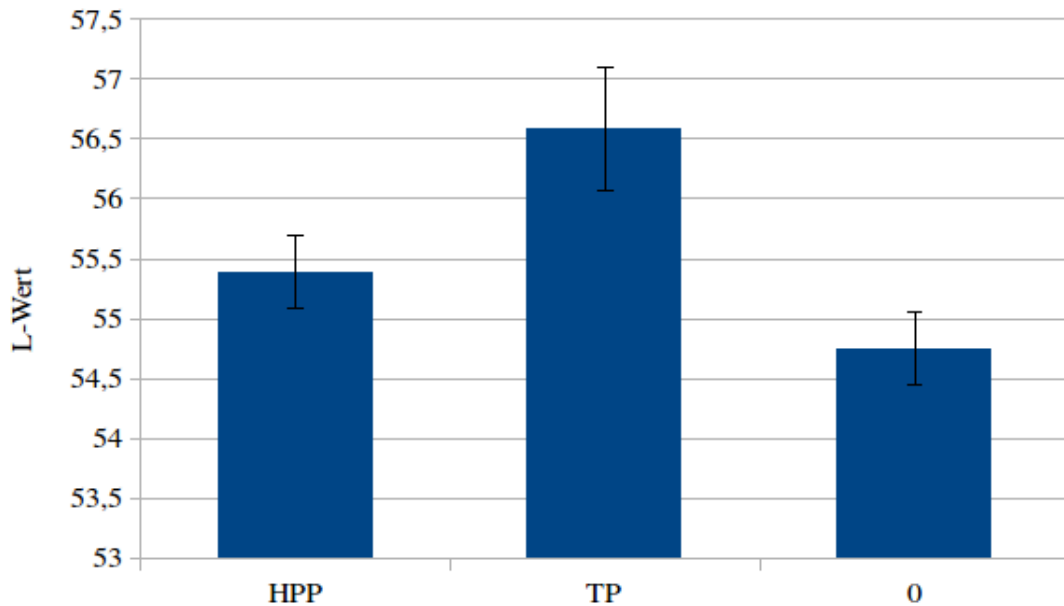


Abbildung 4.2.: L-Wert pasteurisierte Sanddornsäfte (n=3)

Legende: HPP=Hochdruckpasteurisation, TP=thermische Pasteurisation, 0=nicht pasteurisierte Vergleichsprobe

Wie beim L-Wert bestehen für den a-Wert ein signifikanter Unterschiede zu der thermisch pasteurisierten Probe zur HP-behandelten Probe und zur nicht pasteurisierten Probe. Die Sättigung des roten Bunttonwertes der HP-Probe und der nicht pasteurisierten Probe ist nahezu gleich, während bei der thermisch pasteurisierten Probe diese deutlich geringer ist. Die Abbildung 4.3 zeigt die gemessenen a-Werte der drei Versuche. Abbildung C.12 im Anhang zeigt den entsprechenden Post Hoc Test.

Die pasteurisierte Probe zeigt die höchste Sättigung des gelben Bunttons, gefolgt von der nicht pasteurisierten Probe. Geringste Werte zeigt die HP-behandelte Probe auf. Die Abbildung 4.4 zeigt die gemessenen b-Werte der drei Versuchsdurchführungen.

Die gelben Bunttöne waren zwischen allen drei Proben signifikant unterschiedlich. Die thermisch pasteurisierte Probe ist zu der HP-behandelten und der nicht pasteurisierten Probe sogar höchst signifikant unterschiedlich. Abbildung C.13 im Anhang zeigt den Post Hoc Test für die gelben Bunttöne der Proben.

4.1.3.3.2. Farbabstand Zum Vergleich der drei Behandlungsarten wird der Farbabstand ΔE herangezogen. Die Formel zur Berechnung des Farbabstandes ist unter 3.1 Absatz 3.1.2.0.3 dargestellt.

Der Farbabstand ΔE zwischen der HP-Pasteurisierten und der thermisch pasteurisierten Probe beträgt 5,53. Dieser Farbabstand wird als andere Farbe gewertet.

Der Farbabstand ΔE zwischen der nicht pasteurisierten Probe und der thermisch pasteurisierten Probe beträgt 4,77, was als wesentlicher Farbunterschied gewertet wird.

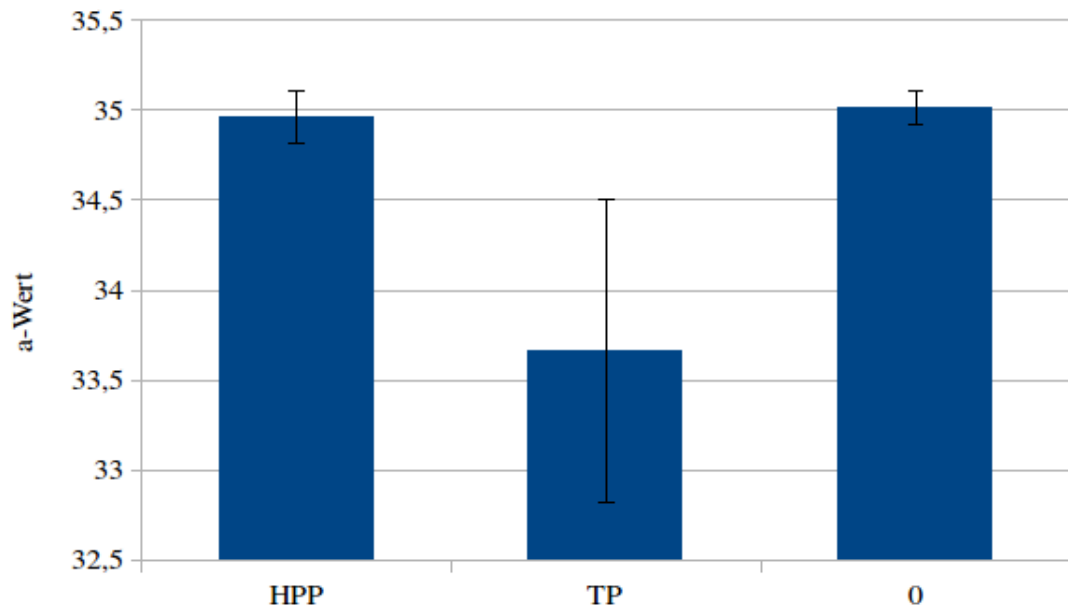


Abbildung 4.3.: a-Wert pasteurisierte Sanddornsäfte (n=3)

Legende: HPP=Hochdruckpasteurisation, TP=thermische Pasteurisation, 0=nicht pasteurisierte Vergleichsprobe

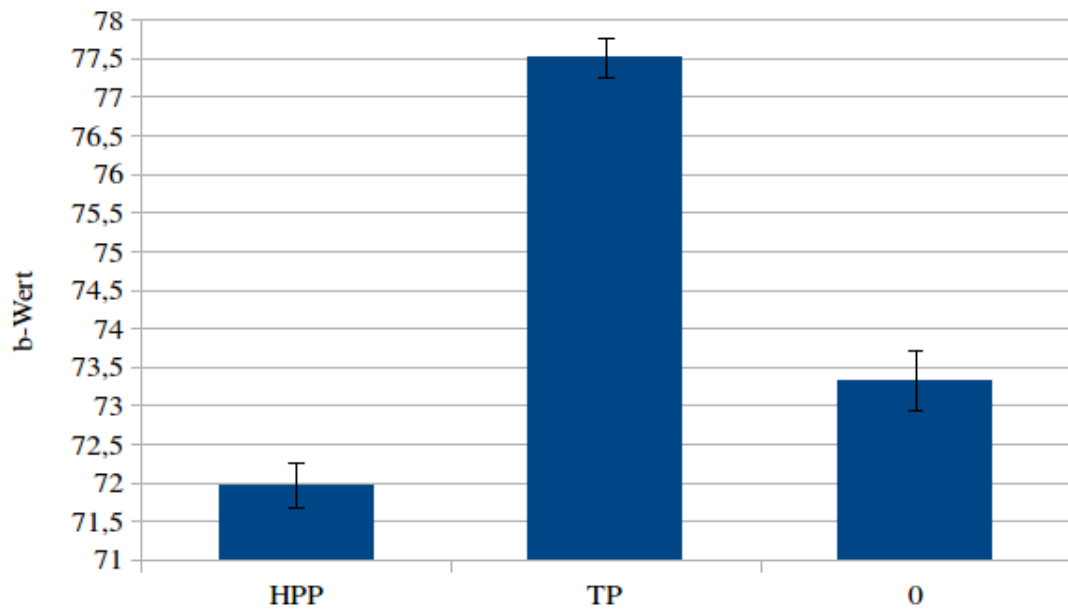


Abbildung 4.4.: b-Wert pasteurisierte Sanddornsäfte (n=3)

Legende: HPP=Hochdruckpasteurisation, TP=thermische Pasteurisation, 0=nicht pasteurisierte Vergleichsprobe

Der Farbabstand ΔE zwischen der HP-behandelten Probe und der nicht pasteurisierten Probe beträgt 1,50. Dieser Farbabstand wird als unmerklicher Farbunterschied gewertet.

Die Ergebnisse zeigen, dass die thermische Pasteurisation die Farbe des Saftes erheblich beeinflusst. Die HP-Pasteurisation hingegen rief keinen merklichen Farbunterschied zum frisch gepressten Sanddornsafft hervor.

4.1.3.4. Gesamtphenolgehalt

Bei der Betrachtung des Gesamtphenolgehaltes zeigen sich die höchsten Werte bei der nicht pasteurisierten Probe. Im Vergleich der beiden pasteurisierten Proben hat die HP-behandelte etwas höhere Gehalte als die thermisch pasteurisierte Probe, siehe Abbildung 4.5. Die HP-pasteurisierte Probe hat einen Verlust von 1,5% Gesamtphenolgehalt in Vergleich zur nichtpasteurisierten Vergleichsprobe. Die termisch pasteurisierte Probe hat einen Verlust von 2% zur Vergleichsprobe. Die Unterschiede sind nicht signifikant wie der Post hoc Test im Abbildung C.14 im Anhang zeigt.

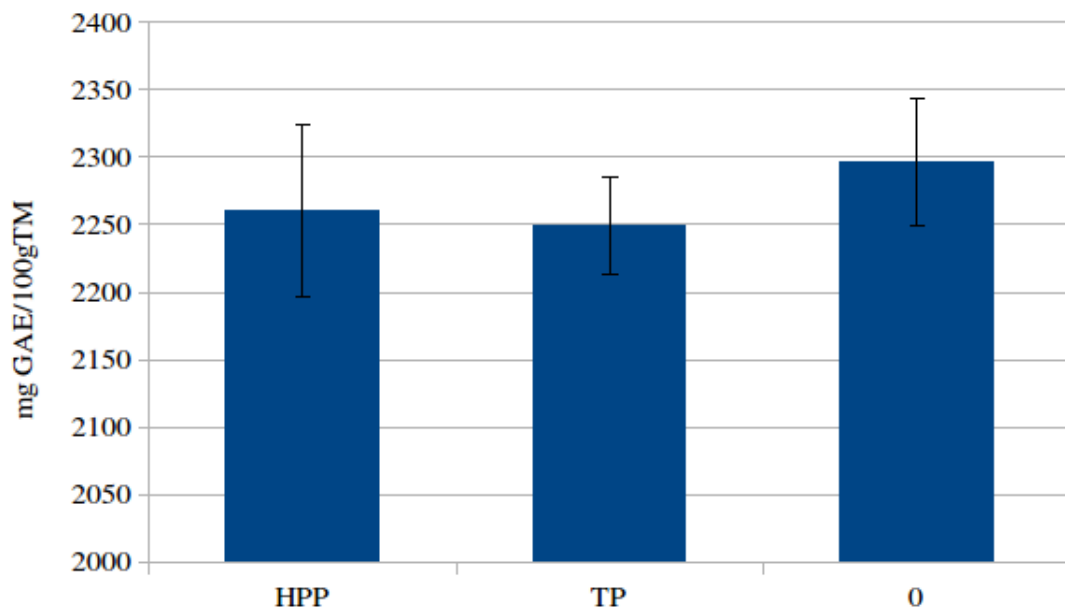


Abbildung 4.5.: Gesamtphenolgehalte der pasteurisierten Sanddornsäfte (n=3)
Legende: HPP=Hochdruckpasteurisation, TP=thermische Pasteurisation, 0=nicht pasteurisierte Vergleichsprobe

4.1.3.5. Antioxidative Kapazität

Wie auch bei dem Gesamtphenolgehalt zeigte die HP-behandelte Probe etwas höhere Werte an antioxidativer Kapazität als die thermisch pasteurisierte Probe. Die HPP-Probe hat 0,8% weniger gemessene antioxidative Kapazität als die unpasteurisierte Vergleichsprobe. Die TP-Probe hat 2% Verlust zur Vergleichsprobe. Abbildung 4.6 zeigt dies graphisch. Die Unterschiede sind auch hier nicht signifikant, wie C.15 im Anhang zeigt.

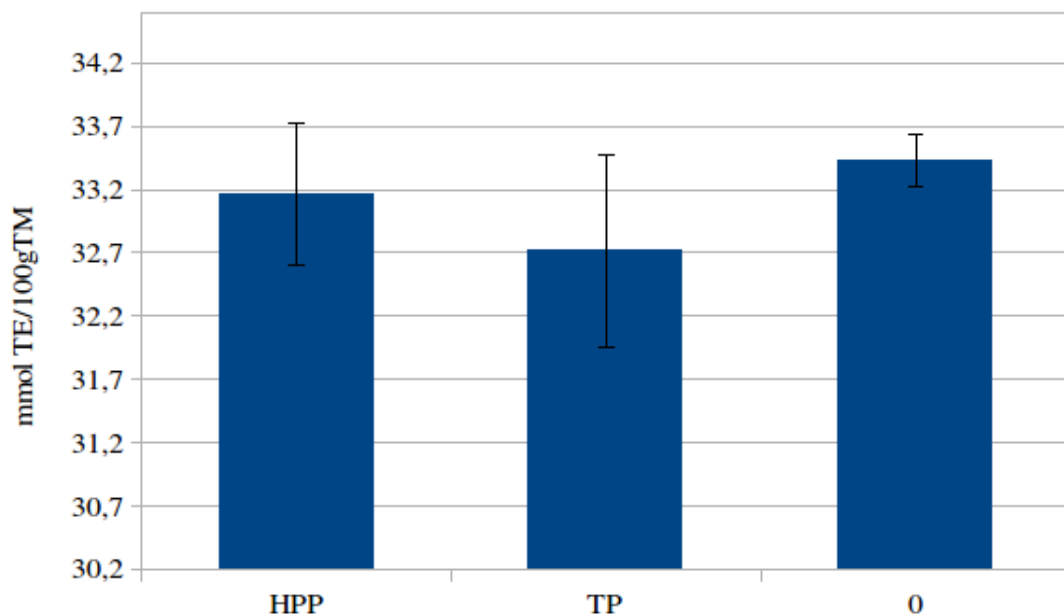


Abbildung 4.6.: Antioxidative Kapazität der pasteurisierten Sanddornsäfte (n=3)
 Legende: HPP=Hochdruckpasteurisation, TP=thermische Pasteurisation, 0=nicht pasteurisierte Vergleichsprobe

4.2. Lagerversuch

4.2.1. Versuchsplanung Lagerversuch

Im zweiten Hauptversuch wurden die HPP- und TP- Säfte des Pasteurisationsversuches 90 Tage bei 4°C gelagert. Die Tabelle 4.4 zeigt die Versuchsübersicht des Lagerversuches.

Tabelle 4.4.: Versuchsübersicht Lagerversuch

Behandlungsart	Prozessparameter	n
Hochdruckpasteurisation (HPP)	6.000 bar 3min	1
thermische Pasteurisation (TP)	70°C 2,5min	3

Tabelle 4.5.: Messvariablen Lagerversuch

Variable	Einheit
L- a- b- ΔE	-
Gesamtphenolgehalt	ml GAE/100gTM
antioxidative Kapazität	ml TE/100gTM

Statistisch ausgewertet wird der Versuch mittels t-Test für Mittelwertsdifferenzen.

Zur Betrachtung des thermisch pasteurisierten Saftes wurden von drei Proben vor Beginn der Lagerung und am Ende der Lagerung Proben gezogen. Die Messwerte nach Beendigung der Lagerung (t1) wurden mit den Werten vor Beginn der Lagerung verglichen (t0). Da zu beiden Zeitpunkten eine Dreifachprobe analysiert wurde und es sich um dieselbe Probe im Zeitverlauf handelt wurde der t-Test für zwei verbundene (gepaarte) Stichproben verwendet.

Zur Betrachtung der Lagerung von hochdruckpasteurisiertem Sanddornsaft stand nur eine Probe zur Verfügung. Von den insgesamt vier Sanddornproben wurden drei für den Pasteurisationsversuch geöffnet. Da nach dem Öffnen die Proben nicht mehr für eine Lagerung in Frage kommen, wurde nur die vierte Probe als Einzelprobe für den Lagerversuch verwendet. Dementsprechend wurde zur statistischen Betrachtung hier der t-Test für eine Stichprobe verwendet. Die getestenden Variablen sind in Tabelle 4.5 dargestellt.

Ziel des Versuches ist es, zu ermitteln ob die Lagerung einen signifikanten negativen Einfluss auf den Gesamtphenolgehalt, antioxidative Kapazität und Farbe hat. Auch soll überprüft werden ob sich die Hochdruckpasteurisation und die thermische Pasteurisation im Bezug auf die Lagerstabilität der genannten Variablen unterscheiden.

4.2.2. Gesamtphenolgehalt

Während der drei monatigen Lagerung nahm der Gesamtphenolgehalt in den thermisch pasteurisierten Sanddornsäften um 16% ab. Die hochdruckpasteurisierte Sanddornsaftprobe verzeichnete ebenfalls einen signifikanten Verlust von 9,1%. Die Abbildung 4.7 zeigt dies graphisch. Abbildung C.16 und C.17 im Anhang zeigen die entsprechenden Signifikanztests.

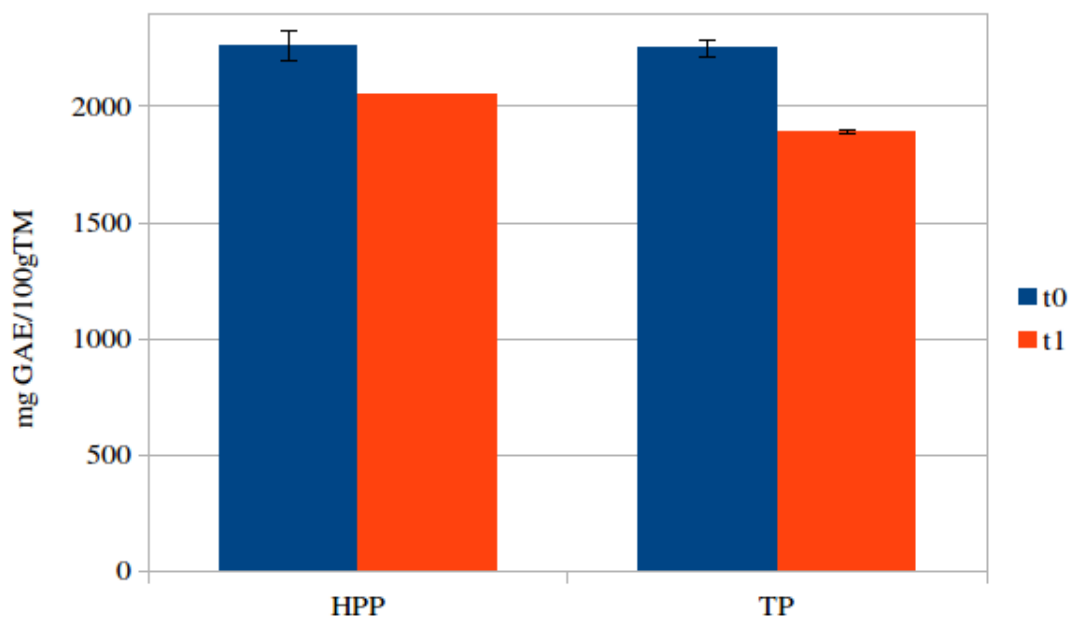


Abbildung 4.7.: Gesamtphenolgehalt der pasteurisierten Säfte im Lagerversuch
 Legende: HPP=Hochdruckpasteurisation, TP=thermische Pasteurisation; t0= Beginn Lagerung, t1= Ende Lagerung

4.2.3. Antioxidative Kapazität

Auch die antioxidative Kapazität der Säfte nahm durch die Lagerung signifikant ab. Hier waren die Verluste noch deutlicher. Bei den thermisch pasteurisierten Proben sank der Gehalt um 39%. Bei

der hochdruckpasteurisierten Probe waren es 29%. Die Abbildung 4.8 zeigt dies graphisch. Unter C.18 und C.19 sind die entsprechenden Signifikanztests dargestellt.

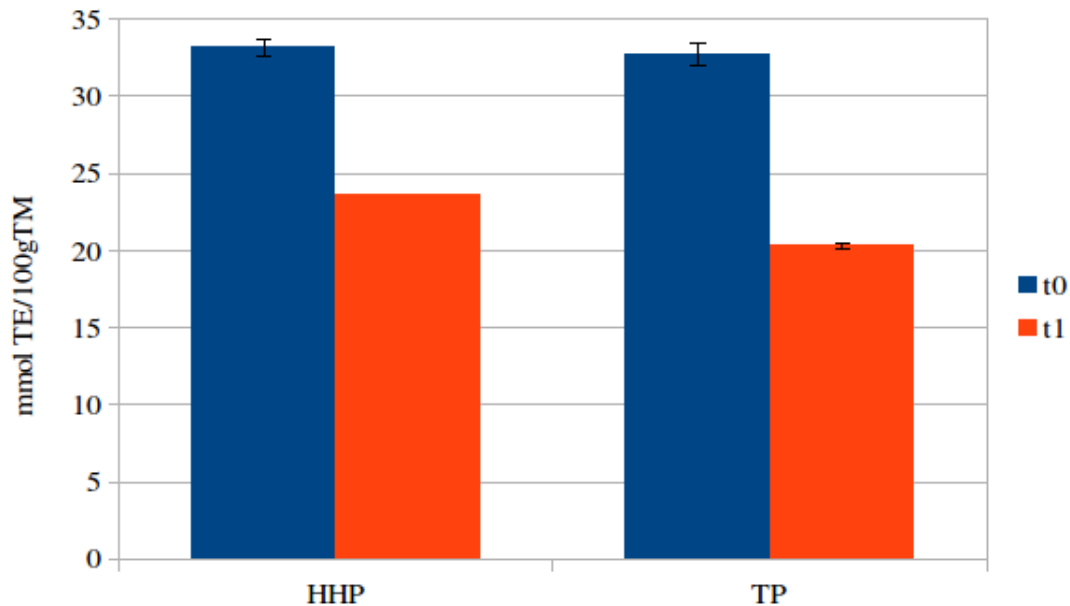


Abbildung 4.8.: Antioxidative Kapazität der pasteurisierten Säfte im Lagerversuch
 Legende: HPP=Hochdruckpasteurisation, TP=thermische Pasteurisation; t0= Beginn Lagerung, t1= Ende Lagerung

4.2.4. Farbabstand

Mit Ausnahme der HPP-Probe zum Zeitpunkt t1, werden die Mittelwerte der jeweiligen Dreifachproben verwendet. Unter 4.1 und 4.2 sind die Berechnungen für den Farbabstand für die thermisch pasteurisierte Probe (TP) und die hochdruckpasteurisierte Probe (HHP) dargestellt.

$$\begin{aligned}\Delta E_{TP} &= \sqrt{(56,58 - 56,43)^2 + (33,66 - 32,61)^2 + (77,52 - 74,68)^2} \\ &= 3,03 \\ &= \text{wahrgenommener Farbumterschied}\end{aligned}\quad (4.1)$$

$$\begin{aligned}\Delta E_{HHP} &= \sqrt{(55,39 - 54,14)^2 + (34,96 - 34,54)^2 + (71,96 - 71,16)^2} \\ &= 1,54 \\ &= \text{unmerklicher Farbumterschied}\end{aligned}\quad (4.2)$$

Für die thermisch pasteurisierten Proben ergibt sich ein wahrgenommener Farbumterschied durch die drei monatige Lagerung. Hier ist es vor allem der b-Wert der abnimmt (t0=77,52, t1=74,68). Für die hochdruckpasteurisierte Probe ergibt sich kein merklicher Farbumterschied.

4.3. Maischebehandlungsversuch

4.4. Vorversuche

In den Vorversuchen wurden verschiedene Prozesse und deren Auswirkung auf den Gesamtphenolgehalt im Saft getestet. Die antioxidative Kapazität wurde zwar auch bestimmt, einige Proben befanden sich jedoch ausserhalb der Standardreihe. Eine Extrapolation der Werte führte zu keiner Korrelation mit dem gemessenen Gesamtphenolgehalt. Aufgrund dieser Ungenauigkeit wird im Folgenden auf die Darstellung der antioxidativen Kapazität verzichtet. Als Konsequenz wurde in den Hauptversuchen die Einwaage des Saftes für die Extraktion von 0,5g auf 0,75g erhöht.

Die Vorversuche wurden nur jeweils einmal durchgeführt und stellen damit keinen statistische Sicherheit da. Signifikante Effekte sollen in den Hauptversuchen ermittelt werden. Auch wurden die Proben alle bei 90°C 45 Sekunden pasteurisiert. Die Vorversuche der Maischebehandlung wurden vor den Versuchen der Pasteurisation durchgeführt. Wie sich im Pasteurisationsversuch jedoch herausstellte wiesen gerade die Proben diese Pasteurisationsparameter große Standardabweichungen auf. Es ist demnach nicht auszuschließen, dass die Pasteurisation auch einen Effekt auf die im Folgenden beschriebenen Ergebnisse hat. Im anschließend beschriebenen Hauptversuch zur Maischebehandlung wurde keine Pasteurisation mehr durchgeführt.

Die Vorversuche zeigen vor allem, dass mit Maischebehandlung eine Erhöhung des Polyphenolgehaltes möglich ist. Es zeigt sich zum einen, dass die gemessenen Gesamtphenolgehalte der maischeenzymierten Säfte höher waren als die der ungemaischten Vergleichsproben, zum anderen, dass mit unterschiedlichen Maischebehandlungen auch unterschiedliche Gesamtphenolgehalte im Saft erzielt werden können.

Die verschiedenen Vorversuche der Maischebehandlung werden im Folgenden beschrieben.

4.4.1. Enzymprodukte

Die Verwendung verschiedener Enzymprodukte ergab Unterschiede im Trockensubstanzgehalt der produzierten Säfte. Es wurde bei 60°C und 2,25ml/kg Enzympräparatdosierung gemaischt. Höchste Trockensubstanzgehalte ergaben sich bei dem Enzymprodukt Panzym Pro Color.

Der Gesamtphenolgehalt im Saft war am höchsten bei dem mit Panzym BE XXL behandelten. Zweithöchste Werte ergaben sich für Natozym BE. An dritter Stelle Panzym Pro Color. Es ist zu beachten, dass nur bei einer Temperatur und einer definierten Zeit gemaischt wurde. Die jeweiligen Enzymproduktoptima liegen jedoch leicht auseinander. Tabelle 4.6 zeigt die Herstellerangaben der drei Enzymprodukte im Vergleich.

Bei Betrachtung des Gesamtphenolgehaltes bezogen auf die Trockensubstanz verändert sich die Rangfolge etwas. Hier sind Werte für Natozym BE höher und erst an zweiter Stelle steht Panzym BE XXL. Dies ist darauf zurück zu führen, dass vergleichbar wenig Trockensubstanz in der Natozym BE behandelten Probe vorhanden ist.

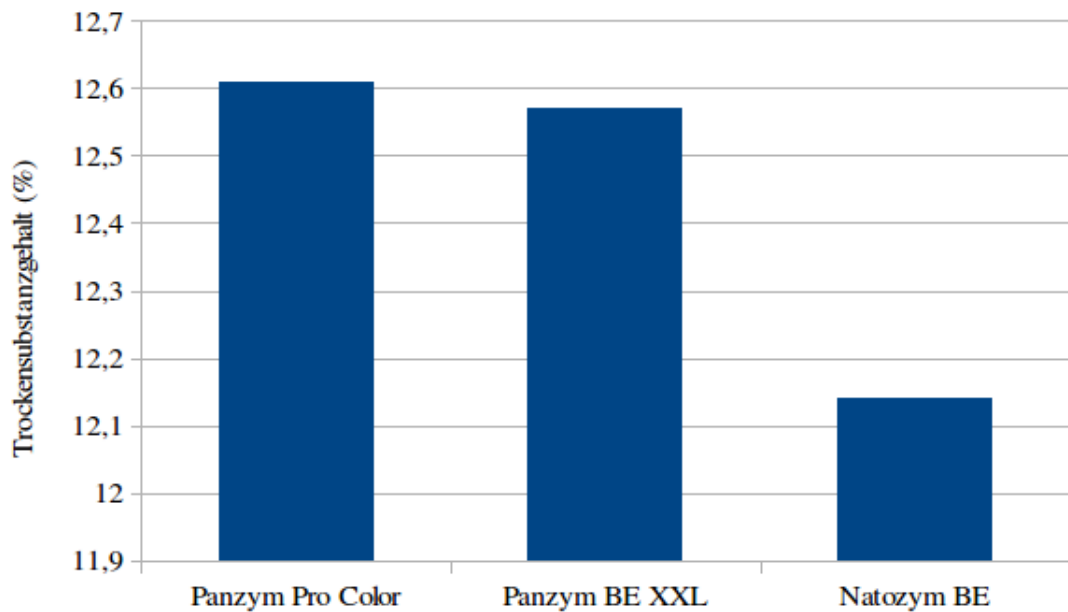


Abbildung 4.9.: Vergleich verschiedene Enzymhersteller im Bezug auf den Trockensubstanzgehalt des mittels Maische hergestellten Sanddonsaftes

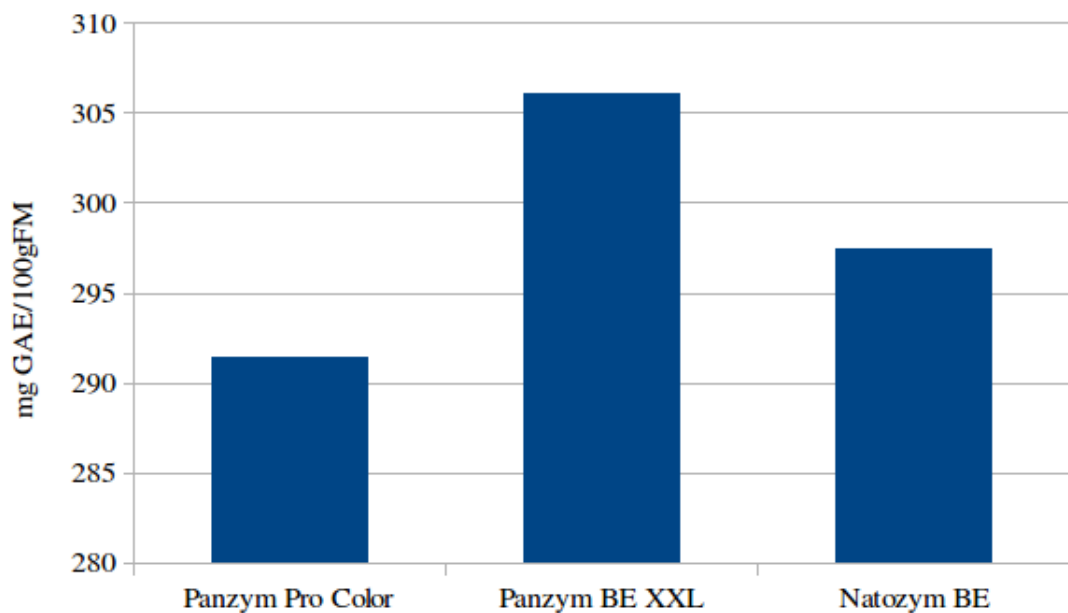


Abbildung 4.10.: Vergleich verschiedene Enzymhersteller im Bezug auf den Gesamtphenolgehalt pro Feuchtmasse des mittels Maische hergestellten Sanddonsaftes

Tabelle 4.6.: Vergleich der Produktangaben der verschiedenen Enzymprodukte

Hersteller	EATON	EATON	Schliessmann
Produkt	Panzym Pro Color	BE XXL	Natozym BE
Dosierung	100-300ml/t	20-60ml/t	100-300g/t
Aktivitätsoptimum (°C)	45-55	50-60	50-55
Maischezeitvorgabe (h)	1	1-3	1-3
Aktivität	n.a.	n.a.	560 PLU/g
Produktzusammensetzung	n.a.	n.a.	Pektinlyase, Pektinesterase Polygalacturonase

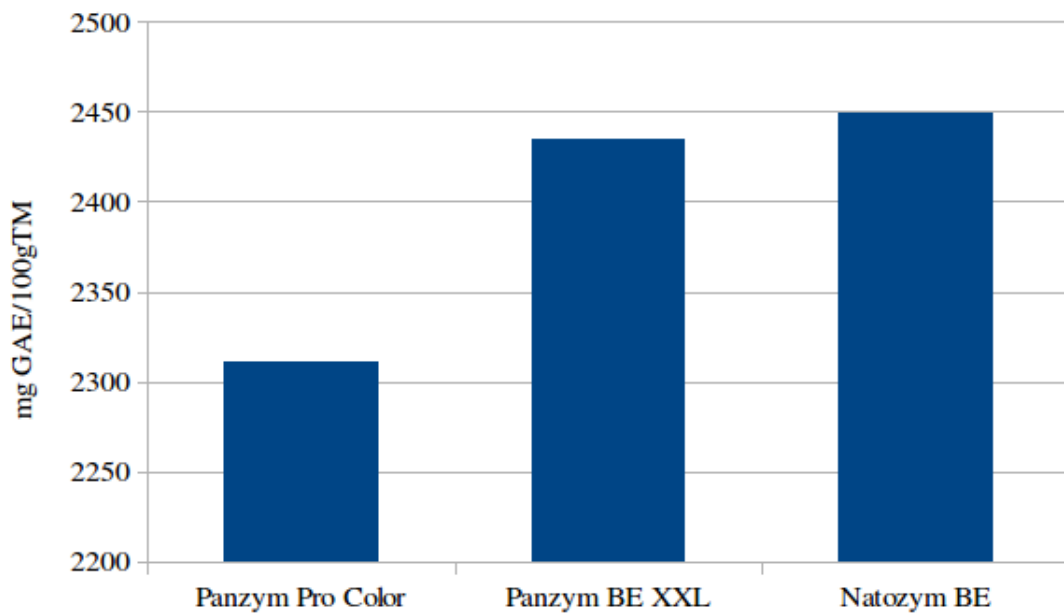


Abbildung 4.11.: Vergleich verschiedene Enzymhersteller im Bezug auf den Gesamtphenolgehaltes pro Trockensubstanz des mittels Maische hergestellten Sanddonsaftes

Der Versuch zeigt, dass eine Darstellung des Gesamtphenolgehaltes bezogen auf die Trockensubstanz sowie bezogen auf die Feuchtmasse sinnvoll ist. Da eine wesentliche Ursache der Gehaltserhöhung auf eine Erhöhung der Trockensubstanz im Saft zurückzuführen zu sein scheint, würde die alleinige Darstellung bezogen auf die Trockensubstanz diesen Effekt unterschlagen.

4.4.2. Enzymdosierung

Laut Enzymhersteller Schließmann liegt die Enzymdosierung für Maischen mit niedrigen pH-Werten deutlich höher als auf dem Produkt angegeben. Für das verwendete Enzymprodukt Natozym BE (Schließmann Schwäbisch Hall) angegeben ist ein Dosierbereich von 200-300g/t für eine Einwirkdauer von 1-3 Stunden bei 50°C-55°C. 200-300g/to entspricht 0,2-0,3g/kg. Die Dichte der Enzymlösung liegt etwas über 1kg/m³, der einfachhalthalber wird hier angenommen sie wäre 1. Dementsprechend läge die Enzymdosierung bei 0,2-0,3ml/kg Maische. Die Angabe in ml wird hier verwendet, da die Zugabe der Enzymlösung mittels Pipette erfolgt. Eine Einwaage wäre bei so geringen Mengen, mit großen Verlusten durch Anhaften an der Wägebehälter verbunden.

Für die Versuche der Enzymdosierung wurden die Enzymzugaben aus den erwähnten Gründen erhöht. Die Abbildung 4.12 zeigt die Trockensubstanz des Saftes nach Maischebehandlungen mit verschiedenen hohen Enzymierungen. Gemaischt wurde jeweils eine Stunde bei 50°C. Die Abbildung zeigt höchste Wert bei der mittleren Dosierung. Bei einer Dosierung von 3ml/kg Maische war diese nicht mehr pressbar (nicht dargestellt). Dies liegt vermutlich zum einen an der dadurch entstandenen sehr feinen, aufgeschlossenen Maische deren Presskuchen keine Kapillare mehr freilässt um Saft abfließen zu lassen, zum anderen an der sehr glitschigen Oberfläche der Maische die ein Nachrücken in die Presse erschwerte.

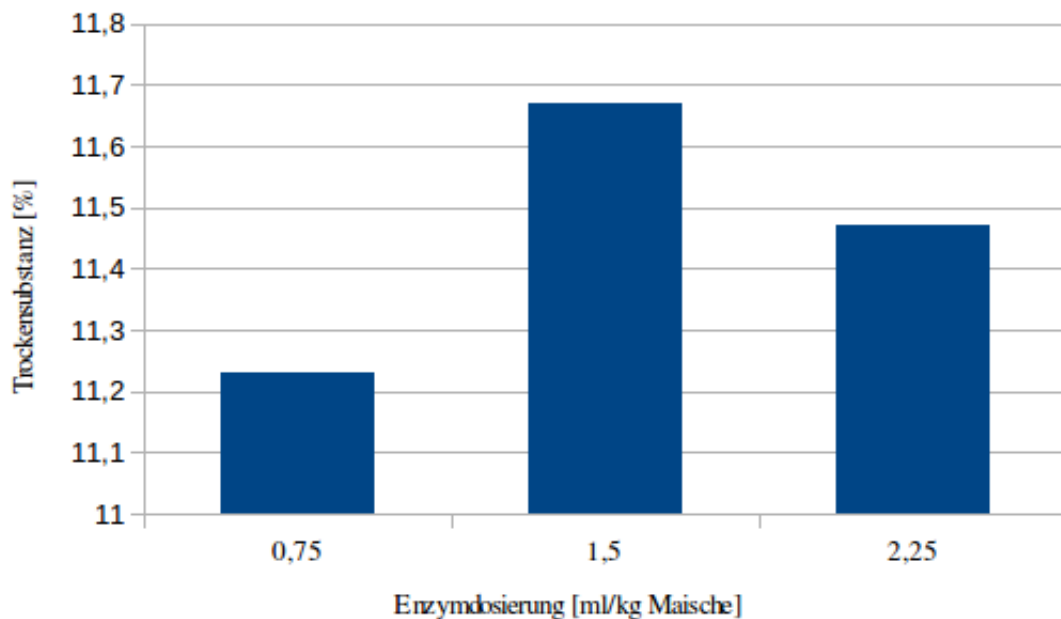


Abbildung 4.12.: Trockensubstanzgehalt des Saftes in Abhängigkeit von der Enzymdosierung

Die Messwerte des Gesamtphenolgehaltes zeigen ein ähnliches Bild. Höchste Werte an Gesamtphenolgehalt zeigte die Probe mit der Dosierung 1,5ml/kg, siehe Abbildung 4.13.

4.4.3. Temperatur

Die Temperaturempfehlung des Herstellers liegt bei 50°C- 55°C für eine optimale Enzymaktivität. In den Vorversuchen wurden vier verschiedene Maischetemperaturführungen 19°C, 37°C, 50°C und 60°C getestet. Die Temperaturwahl richtet sich nach den Einstellmöglichkeiten des Thermomomixes, bzw. 19°C stellt die Raumtemperatur da. Höchste Extraktgehalte und Trockensubstanzgehalte (nicht dargestellt) zeigte die 50°C, zweithöchste die 60°C Probe. Ob die erhöhten Extraktgehalte und Trockensubstanzgehalte auf die Enzymaktivität oder die erhöhte Temperatur zurückzuführen sind, ist nicht feststellbar. Laut Hersteller werden die Enzyme ab einer Temperatur $\leq 60^\circ\text{C}$ inaktiviert. Der Einfluss der Temperatur, Enzymierung und ihre gegenseitige Beeinflussung wird in den Hauptversuchen näher untersucht. Die zwei Versuche mit Maischetemperaturen bei je 37°C und 19°C, bzw. Raumtemperatur, zeigen geringere Werte im Extraktgehalt. Bei der 37°C

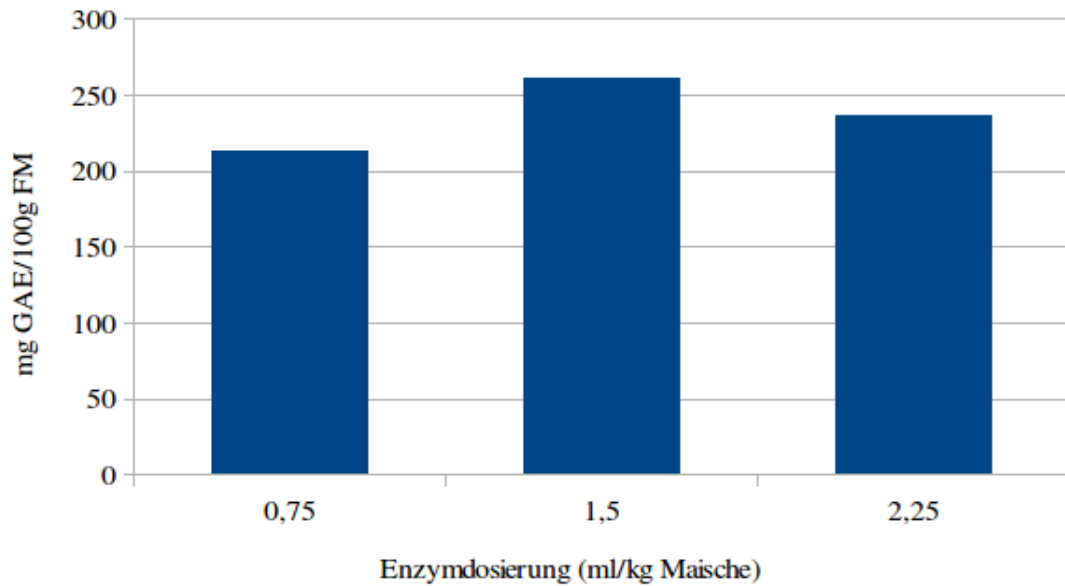


Abbildung 4.13.: Gesamtphenolgehalt des Saftes in Abhängigkeit von der Enzymdosierung

Probe ist der Extraktgehalt etwas höher als bei der 19°C Probe.

Die gemessenen Farbwerte der Säfte zeigen ähnliche Ergebnisse (nicht dargestellt). Bei der 50°C Probe sind alle Farbwerte und der L-Wert erhöht. Besonders der b- Wert ist im Vergleich zu den anderen Säften deutlich ausgeprägt. Zwischen 19°C, 37°C und 60°C Proben sind kaum Unterschiede erkennbar.

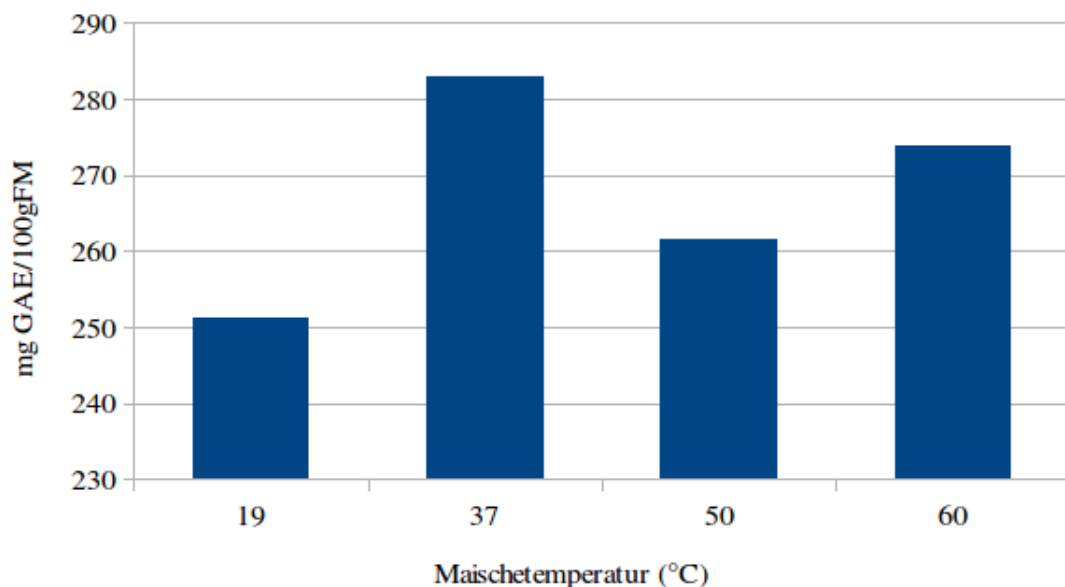


Abbildung 4.14.: Gesamtphenolgehalt des Saftes in Abhängigkeit von der Maischetemperatur

Die Messwerte des Gesamtphenolgehaltes im Sanddornsaft, Abbildung 4.14, zeigen nicht ganz schlüssige Werte. Es wäre zu erwarten gewesen, dass die 50°C Probe die höchsten Werte liefert, da diese laut Hersteller das Enzymaktivitätsoptimum darstellt. Die 50°C Probe wurde noch einmal

extrahiert und gemessen. Trotzdem blieb der Wert ähnlich. Fehler in der Produktion, Rohstoffschwankungen können ebenfalls Ursache für dieses Ergebnis sein. Um dies genauer zu betrachten müsste der Versuch wiederholt werden. Da dies ohnehin in den Hauptversuchen getan wird, wurde darauf verzichtet.

4.4.4. Maischebehandlungszeit

Laut Enzymhersteller sollte die Einwirkzeit der Enzyme zwischen einer und drei Stunden betragen. In den Vorversuchen wurden eine, zwei und drei Stunden gemaischt. Die Temperatur betrug dabei 50°C und es wurde eine Enzymdosierung von 1,5ml Natozym BE pro kg Maische verwendet.

Die Versuche zeigen mit einer Verlängerung der Maischestandzeit auch eine Erhöhung des Extraktgehaltes und der Trockensubstanz (nicht dargestellt).

Es zeigten sich jedoch auch bei längerer Maischestandzeit, veränderte Farbwerte. Besonders der b-Wert nahm mit Erhöhung der Standzeit ab (nicht dargestellt).

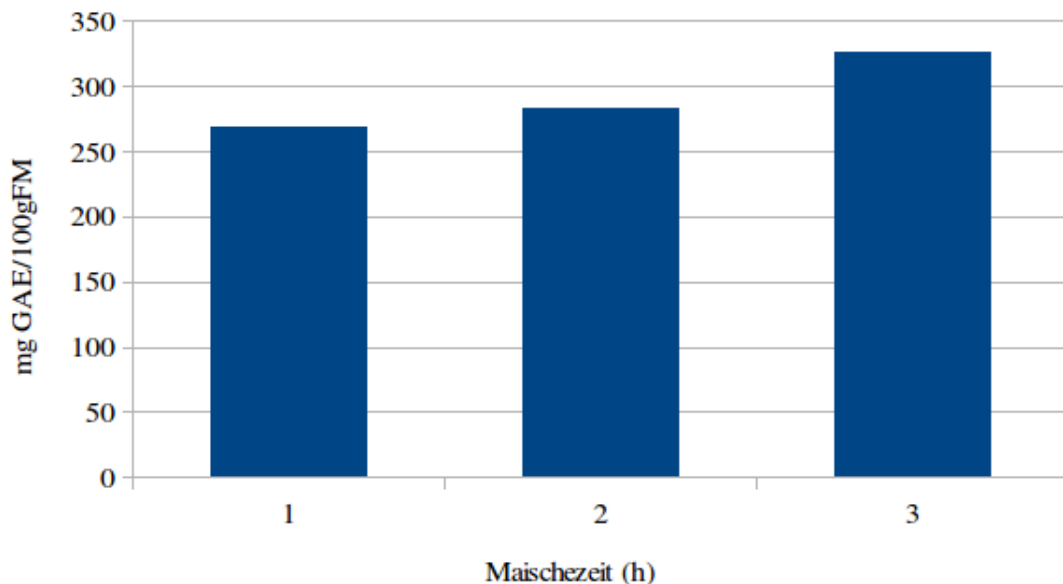


Abbildung 4.15.: Gesamtphenolgehalt des Saftes in Abhängigkeit von der Maischebehandlungszeit

Die Betrachtung der Maischeenzymierungszeit in Bezug auf den Gesamtphenolgehalt, Abbildung 4.15 zeigen eine Erhöhung des Gehaltes mit Erhöhung der Behandlungszeit.

4.4.5. Maischen mit und ohne Enzymzugabe

Interessant ist auch, dass schon eine alleinige Maischeerwärmung einen positiven Effekt auf den Gesamtphenolgehalt im Saft hatte. Im Vergleich zweier Maischeproben, beide bei 50°C eine Stunde kontinuierlich gerührt, eine davon mit Enzymzusatz Natozym BE (1,5ml/kg Maische), zeigen die resultierenden Säfte sich beieinanderliegende Messwerte. Die Abbildung 4.16 zeigt diesen

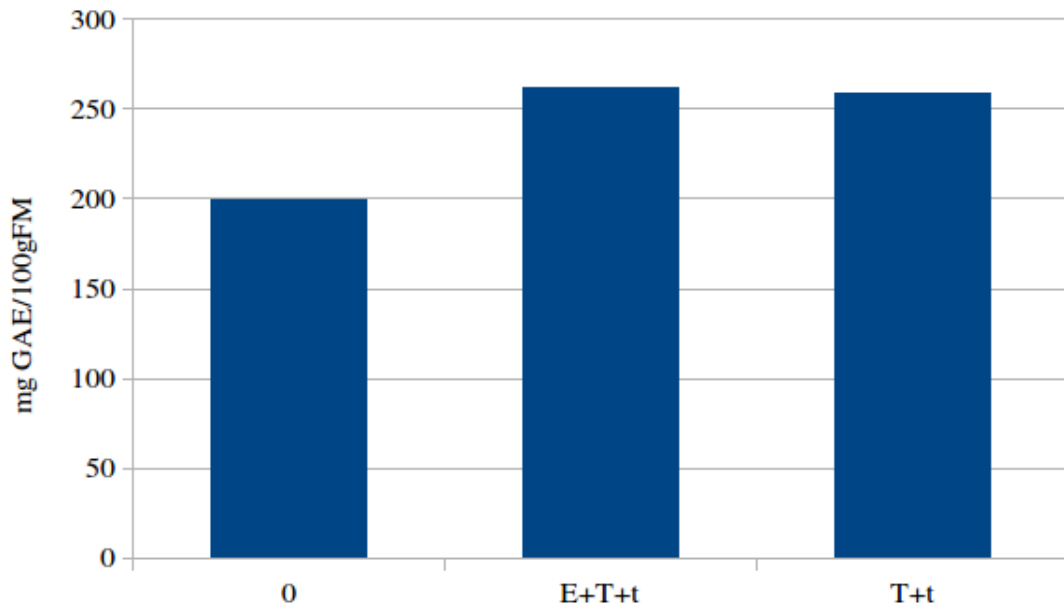


Abbildung 4.16.: Gesamtphenolgehalt des Saftes verschiedener Maischebehandlung
 Legende: 0=keine Maischebehandlung, E+T+t=Enzym-, Temperatur- und Zeitbehandlung,
 T+t=Temperatur- und Zeitbehandlung

Zusammenhang. Es ist möglich, dass eine Stunde Maischebehandlung zu gering ist um einen positiven Enzymeffekt zu erzielen. Für das verwendete Enzymprodukt sind Maischezeiten von 1-3 Stunden angegeben. Der vorherige Versuch der verschiedenen Enzymprodukte, Abschnitt 4.4.1, zumindest deutet daraufhin, dass der Einsatz von Enzymen einen Effekt hat und nicht allein die Temperatur und Behandlungszeit für erhöhte Werte im behandelten Saft verantwortlich sind. In dem Enzymprodukteversuch wurde drei Stunden gemaischt, was die Hypothese verstärken würde, dass enzymatischbegründete Effekte erst nach einer Maischebehandlungszeit länger als eine Stunde auftreten. Dieser Versuch zeigt aber auch, dass Temperatur und/oder Behandlungszeit der Maische einen Effekt auf die Ausbeute an Gesamtphenolgehalt im Saft hat. Im Vergleich zum Standardsaft (0), also ohne jegliche Behandlung, sind die Gesamtphenolgehaltswerte um 25% höher.

4.4.6. Tresterauswaschung

Der Trester der im Standardprozess angefallen ist, ohne jegliche Maischebehandlung, wurde mittels 1g Enzym Natzym BE/33,7g Trester und 70g Wasserzugabe eine Stunde bei 50°C gemaischt. Anschließend wurde dieser gepresst und analysiert. Die Trestermasse reduzierte sich durch die zweite Pressung von 33,7g auf 14,1g. Der Saft der zweiten Pressung hatte eine Masse von 63,7g. Der leichte Masseverlust zur eingesetzten Wassermenge erklärt sich vermutlich durch Verluste im Prozess, wie das Verbleiben in der Presse. Es zeigten sich deutlich geringere Werte an Gesamtphenolgehalt im Produkt, gerade einmal ein sechstel im Vergleich zum Saft der ersten Pressung. Auch wenn die Gesamtphenolgehaltswerte gering sind, zeigt dieser Versuch doch, dass noch Phenole im Trester vorhanden sind und durch entsprechende Verfahren gewonnen werden können. In

der Literatur finden sich Verfahren wonach Produkte der Tresterbehandlung und zweiten Pressung dem Produkt erster Pressung zugeführt werden um so die Ausbeute bestimmter Inhaltsstoffe zu steigern (Oszmianski et. al., 2011). So wie die Tresterbehandlung in dieser Arbeit durchgeführt wurde, würde das Endprodukt jedoch sehr verwässert werden. Abbildung C.20 zeigt den Sanddornsafte 1. Pressung im Vergleich mit dem Produkt 2. Pressung.

4.4.7. Vergleich mit gekauften Saftproben

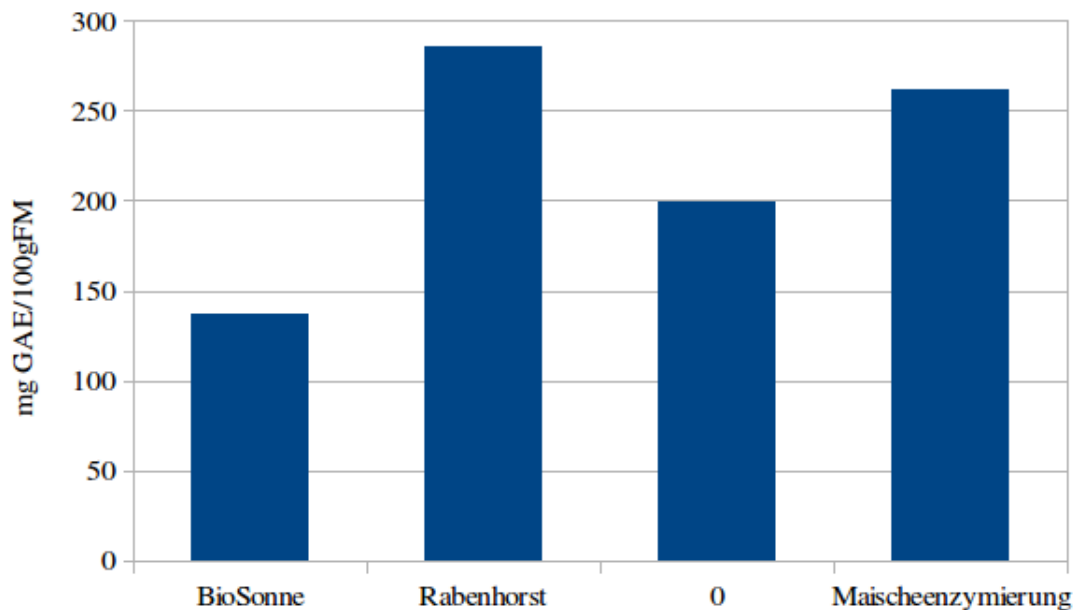


Abbildung 4.17.: Gesamtphenolgehalt des Saftes im Vergleich mit Werten gekaufter Säfte
0=ohne Maischebehandlung

In den Vorversuchen wurden ebenfalls zwei gekaufte Saftproben (100% Direktsaft) getestet. Die Abbildung 4.17 zeigt den Gesamtphenolgehalt pro 100g Saft zweier gekaufter Saftproben im Vergleich zum im Rahmen dieser Arbeit hergestellten Standardsaft ohne Maischeenzymierung (0) und mit Maischeenzymierung (1h, 50°C, 1,5ml/kg Maische). Die Ergebnisse zeigen geringe Gesamtphenolgehalte bei dem Produkt "BioSonne". Die "Rabenhorst"Produktprobe zeigt hingegen hohe Gehalte auf. Diese sind höher als der im Rahmen dieser Arbeit produzierte Direktsaft Saft "0", als auch der mittels Maischeenzymierung hergestellte Saft. Es ist sehr wahrscheinlich, dass neben dem möglichen Einfluss der unterschiedlichen Herstellungsmethode vor allem der Rohstoff einen entscheidenden Einfluss hat. In dieser Arbeit wurde für die Sanddornsaftherstellung die Sanddornbeere Leikonia verwendet. Welche Sorte den gekauften Säften zugrunde liegt ist nicht ersichtlich.

4.5. Hauptversuch Maischeenzymierung

4.5.1. Versuchsplanung Maischehauptversuch

In den Vorversuchen wurden unter anderem verschiedene Enzymdosierungen, Standzeiten und Wärmebehandlungen der Maische getestet. Die Vorversuche dienten vor allem der technologischen Machbarkeit und dem Aufzeigen der technologischen Grenzen. So zeigte sich, dass ab einer bestimmten Enzymmenge ($\geq 0,3\text{ml}/100\text{g}$ Maische) die Maische nicht mehr pressbar ist. Zudem liegt laut Enzymhersteller Schließmann die Enzymdosierung für Säfte mit niedrigem pH, wie der in dieser Arbeit untersuchte Sanddornsaft mit $\text{pH}=2,8$, höher als die in der Spezifikation angegebene Dosierung. In den Vorversuchen wurden die möglichen Zudosierungen ermittelt, bei denen die gewünschten Effekte wie Erhöhung der Trockensubstanz und des Gesamtphenolgehaltes im Saft auftreten. Die ermittelten Dosierungen liegen bis zu 10 mal höher als die vom Hersteller angegebene Dosierempfehlung. Neben der Erhöhung des Gesamtphenolgehaltes und der Trockensubstanz zeigten die maischeenzymierten Säfte veränderte Farbwerte. Die L-Werte waren bei den behandelten Säften leicht erniedrigt, während a- und b-Werte leicht erhöht waren. Ob die beschriebenen Effekte signifikant sind soll im Hauptversuch ermittelt werden. Weiter wird die Auswirkung der Maischebehandlung auf die antioxidative Kapazität ermittelt, die laut Guo et. al. (2017) mit dem Gesamtphenolgehalt korreliert. Keinen Einfluss scheint die Behandlung auf den pH-Wert des Saftes, Saftausbeute und die Trockensubstanz des Tresters zu haben (nicht dargestellt). Um einen Einfluss auszuschließen, werden diese Werte im Hauptversuch weiter erfasst.

Auf Grundlage der Ergebnisse der Vorversuche bzw. ermittelten Prozessparameterbereiche wird eine teilfaktorieller Versuchsplan erstellt.

Nicht betrachtet wird die Maischepasteurisation. Dieses würde eine deutliche Erhöhung des Versuchsumfanges bedeuten. In den Vorversuchen ergab die Maischepasteurisation zudem keine positiven Ergebnisse (nicht dargestellt). Eine Maischepasteurisation kann zwei positive Effekte haben, zum einen besseren Aufschluss der Früchte durch Aufplatzen der Zellen zum anderen die Inaktivierung von Enzymen wie Polyphenoloxidasen (Rechner, 2001). Auch auf die Betrachtung verschiedener Enzymhersteller wird aus Arbeitsumfanggründen verzichtet. In den Hauptversuchen wird ausschließlich das Produkt Natozym BE von Schliessmann verwendet, da mit diesem Produkt auch die Vorversuche der Enzymdosierung, Maischetemperatur und Maischebehandlungszeit durchgeführt wurden, auf die der Versuchsplan des Hauptversuches aufbaut. Die Saftproben wurden nicht pasteurisiert.

4.5.1.1. Versuchsübersicht

Die Tabelle 4.7 zeigt die verwendeten Prozessvariablen (unabhängige Variablen). Der Maischeversuch umfasst 20 Versuchsdurchführungen, davon fünf Wiederholungen in einem randomisierten quadratischen Versuchsplan. Der vollständige Versuchsplan findet sich im Anhang B.2. Tabelle 4.8 zeigt die response Variablen. In Vergleich zu den anderen Hauptversuchen wird hier zusätzlich die Trestertrockensubstanz und Saftausbeute ermittelt.

Ermittelt werden sollen signifikante Einflüsse der Maischetemperatur, Maischezeit und Enzymdosierung auf die Saftqualitätsmerkmale (response Variablen). Dargestellt werden diese Effekte mit der Response Surface Methode. Zusätzlich wird für einzelne response Variablen eine Optimumfindung durchgeführt. So kann ermittelt werden bei welchen Prozessparametern höchste Gesamtphenolgehalte und antioxidative Kapazität im Saft auftreten. Diese Werte werden anschließend mittels Mittelwertvergleich (t-Test für eine Stichprobe) auf signifikante Unterschiede zum unbehandelten Saft verglichen. Hauptziel des Versuches ist eine Erhöhung des Gesamtphenolgehaltes und der antioxidativen Kapazität im Sanddornsaft durch Maischebehandlung zu erzielen.

Tabelle 4.7.: Versuchsparameter randomisierter Versuchsplan

Prozessvariable(Faktor)	Faktorstufen	Variablenart
Maischetemperatur	37°C 50°C 60°C	kontinuierlich
Maischebehandlungszeit	1h, 2h, 3h	kontinuierlich
Enzymdosis	0,75;1,5; 2,25(ml/kg Maische)	kontinuierlich

Tabelle 4.8.: Response Variablen

Variable	Einheit
Safttrockensubstanzgehalt	%
Saftextraktgehalt	°Brix
pH	–
L- a- b- ΔE	-
Gesamtphenolgehalt	ml GAE/100gFM und ml GAE/100gTM
antioxidative Kapazität	ml TE/100gFM und ml TE/100gTM
Trestertrockensubstanzgehalt	%
Saftausbeute	%

4.5.2. Ergebnisübersicht

Eine Ergebnissübersicht zeigt die Abbildung 4.18. In der Ergebnissübersicht sind die Prozessvariablen gegenüber den response Variablen dargestellt. Die Sterne markieren signifikante Effekte.

Es ist ersichtlich, dass Maischetemperatur und Maischezeit auf einen Großteil der response Variablen einen signifikanten Einfluss haben, wohingegen die Enzymdosierung nur auf den pH-Wert und die antioxidative Kapazität einen signifikanten Einfluss hat.

Für den b-Farbwert und ΔE ist ein LOF (=Lack-of-fit) aufgetreten. Dies kann bedeuten, dass die quadratische Näherung nicht ausreichend gut an die tatsächlich gemessenen Werte angenähert werden können oder eine zu große Standardabweichung der Wiederholungsproben. Tabelle C.2 im Anhang zeigt die Standardabweichung der fünf gemessenen Wiederholungsversuche. Bei zwei Proben ist die Standardabweichung über 0,7. Da die Proben im Zeitraum von Mitte April bis Ende Mai 2017 hergestellt wurden, ist es gut möglich, dass die steigende Umgebungstemperatur trotz Kühlung im Wasserbad, einen Einfluss auf die Proben genommen hat.

Im Folgenden werden die einzelnen Ergebnisse näher betrachtet. Die jeweiligen Effektgraphen befinden sich im Anhang C.

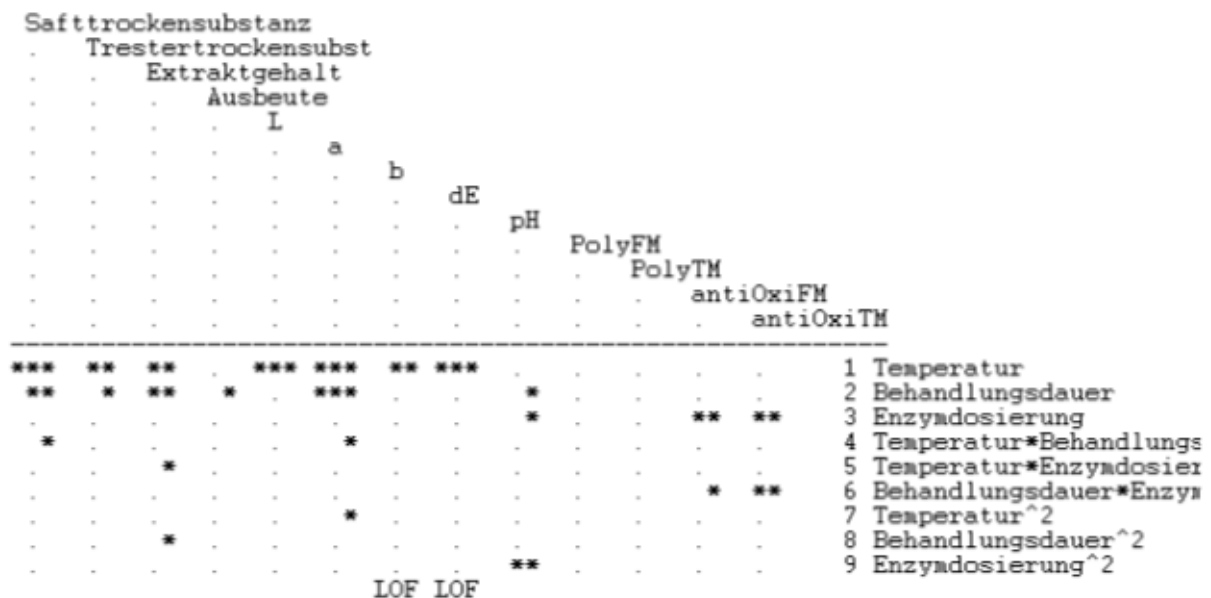


Abbildung 4.18.: Summary Maischeenzymierung
 Legende: * signifikant, ** hoch signifikant, ***höchst signifikant

4.5.3. Betrachtung der einzelnen Responses

4.5.3.1. Safttrockensubstanz

Signifikante Effekte auf den Trockensubstanzgehalt des Saftes hatte die Maischetemperatur und die Behandlungszeit. Die Temperatur hat einen höchst signifikanten, die Behandlungszeit einen hoch signifikanten Effekt.

Abbildung 4.19 zeigt dies graphisch.

Die Abbildung zeigt, dass mit Anstieg der Temperatur auch der Trockensubstanzgehalt steigt. Höchste Werte zeigen sich bei einer Maischebehandlung von 60°C. Auch eine Erhöhung der Standzeit hat eine Erhöhung der Trockensubstanz zur Folge. Das Optimum, das hier als Maximum definiert wurde befindet sich bei 60°C und drei Stunden Maischebehandlung. Das Optimum wird durch einen Kreuz in der Graphik markiert. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass sich das Maximum am Rande der Graphik und damit auch am Rande des Versuchsplanes befindet. Es ist davon auszugehen, dass die Werte mit weiterer Erhöhung der Temperatur und Behandlungszeit weiter steigen würden. Das hier gefundene Optimum bzw. Maximum ist demnach lediglich das Maximum innerhalb des Versuchsplanes. Eine Erhöhung der Trockensubstanz wird angestrebt, da wie die Vorversuche zeigten, eine Gesamtphenolgehaltserhöhung oftmals mit einem Anstieg der Trockensubstanz einhergeht. Erhöhte Trockensubstanzen sind Hinweise für eine gelungene Auftrennung der Mittellamelle der Sanddornbeeren.

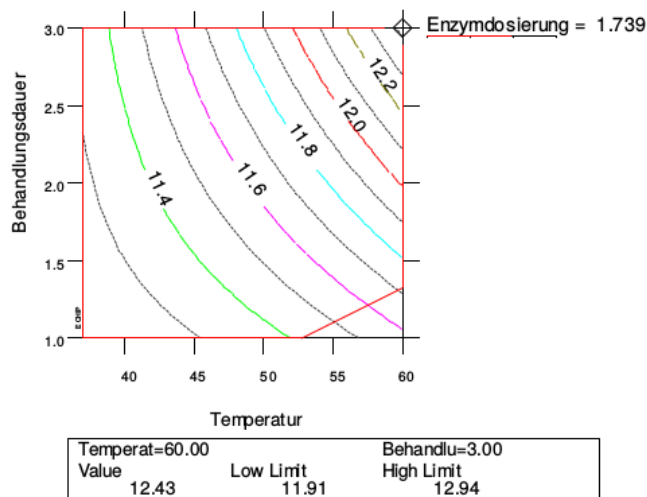


Abbildung 4.19.: Safttrockensubstanzgehalt in Abhängigkeit von Maischebehandlungszeit (h) und Maischebehandlungstemperatur (°C)

4.5.3.2. Trestartrockensubstanz

Auch im Bezug auf die Trestartrockensubstanz hat die Temperatur den größten Effekt, gefolgt von der Behandlungszeit.

In der Abbildung 4.20 ist die Trestartrockensubstanz in Abhängigkeit von der Maischetemperatur und Behandlungszeit abgebildet. Die graphische Darstellung zeigt, dass mit Erhöhung der Maischetemperatur sowie Erhöhung der Behandlungszeit auch die Trockensubstanz steigt. Die positiven Effekte der Temperatur sind vor allem von 50°C bis 60°C zu beobachten. Das Optimum, das als Maximum der Trestartrockensubstanz definiert ist, liegt auch hier bei 60°C und 3 Stunden Behandlungszeit. Demnach handelt es sich wieder lediglich um das Maximum innerhalb des Versuchsplanes. Eine erhöhte Trockensubstanz des Trestarters wird angestrebt, da es eine Masseminimierung des Nebenproduktes bedeutet und damit geringere Entsorgungskosten. Zudem kann vermutet werden, dass eine höhere Trestartrockensubstanz auf vermehrte Auftrennung der Mittellamelle der Sanddonbeeren schließen lässt und damit besseren Saftaustritt.

4.5.3.3. Extraktgehalt

Im Bezug auf den Extraktgehalt hat die Behandlungsdauer den größten Effekt, gefolgt von der Maischetemperatur.

Die Abbildung 4.21 zeigt den Effekt der Maischetemperatur und Behandlungsdauer auf den Extraktgehalt. Es ist ersichtlich, dass sowohl bei Temperaturerhöhung als auch bei Behandlungsdauererhöhung der Extraktgehalt steigt. Das Optimum, das wieder als Maximum des Extraktgehaltes definiert ist, liegt bei 60°C, 2,73 Stunden und einer Enzymdosierung von 2,25ml/kg Maische. Die Behandlungsdauer liegt damit etwas niedriger als bei der Trockensubstanz, was vermutlich eher der Ungenauigkeit im Randbereich des Versuchsplanes zuzuschreiben ist als einem tatsächlichen Unterschied.

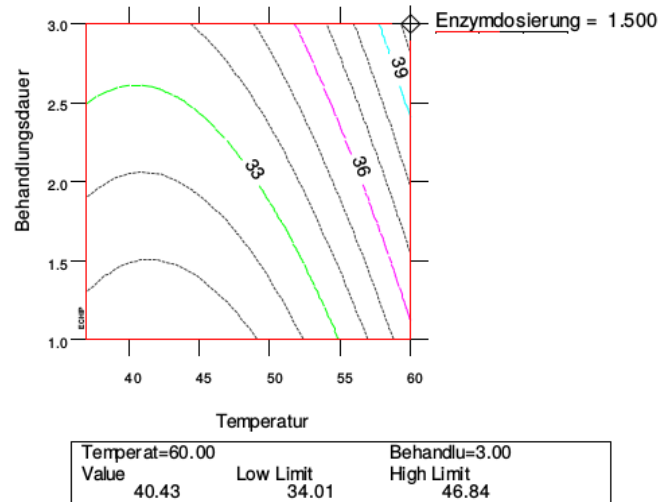


Abbildung 4.20.: Trester Trockensubstanzgehalt in Abhängigkeit von Maischebehandlungszeit (h) und Maischebehandlungstemperatur (°C)

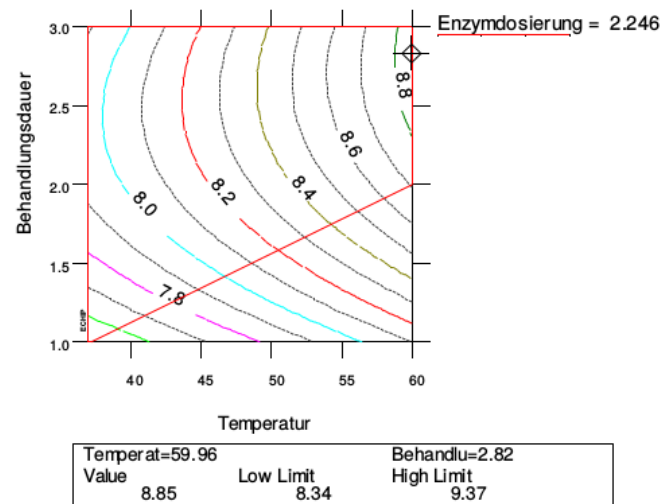


Abbildung 4.21.: Extraktgehalt in Abhängigkeit von Maischebehandlungszeit (h) und Maischebehandlungstemperatur (°C)

4.5.3.4. Ausbeute

Einen signifikant negativen Effekt auf die Saftausbeute hat die Behandlungsdauer.

Der Effekt der Behandlungsdauer auf die Saftausbeute ist in 4.22 dargestellt. Die Saftausbeute sinkt mit zunehmender Behandlungsdauer.

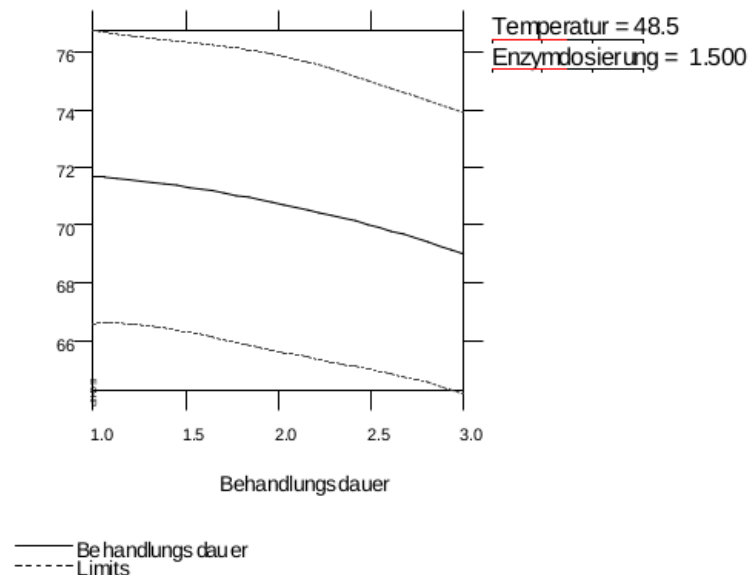


Abbildung 4.22.: Saftausbeute in Abhängigkeit von der Maischebehandlungszeit (h)

Höchste Saftausbeute ergeben sich bei einer Maischebehandlung von 1 Stunde bei 37°C und einer Enzymdosierung von 2,25ml/kg, vgl. Anhang C.24. Das ist schwer vorstellbar, da die Ergebnisse der Trockensubstanz im Saft und Tester sowie Saftextraktgehalt gegenteilige Ergebnisse zeigen, nämlich einen besseren Aufschluss der Früchte bei hohen Maischetemperaturen und -behandlungszeiten. Auch das Wirkoptimum des verwendeten Enzymproduktes liegt laut Hersteller bei 50°C bis 55°C und einer Behandlungsdauer von einer bis drei Stunden. Es ist eher anzunehmen, dass die geringe Ausbeute bei hohen Maischezeiten und hohen Temperaturen auf Verdunstungen und damit Masseverlust zurückzuführen ist.

Der Interactions Graph 4.23 zeigt, dass nur bei geringen Temperaturen die höheren Enzymdosierungen auch einen positiveren Effekt haben. Bei Temperaturen ab 50°C hat die Enzymdosierung einen negativen Effekt auf die Ausbeute. Dies könnte durch einen anfänglich vermehrten Saftaustritt durch die Temperatur und Enzymwirkung und damit anschließenden vermehrten Verdunstung über die verbleibende Zeit zu erklären sein.

4.5.3.5. L-Wert

Der L-Wert, der die Helligkeit der Probe widerspiegelt, wird signifikant von der Maischetemperatur beeinflusst.

Die Abbildung 4.24 zeigt die Auswirkungen der Maischebehandlungszeit und der Enzymdosierung auf den L-Wert. Zur Optimumfindung wurde hier ein L-Wert von 54,75 vorgegeben, da dieses

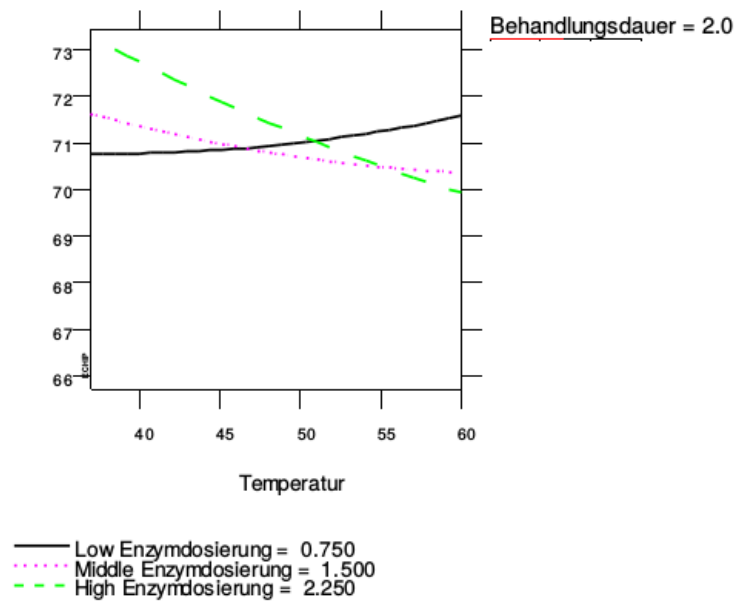


Abbildung 4.23.: Interaktionsgraph von Enzymdosierung (ml/kg Maische) und Maischebehandlungstemperatur (°C) auf die Ausbeute im Sanddornsaft

der gemessene Wert der frisch gepressten unbehandelten Saftprobe entspricht. Der entsprechende L-Wert liegt hier bei 40°C Maischebehandlungstemperatur. Die roten Linien der Graphik stellen die konvexe Hülle dar. Sie markiert die Grenze von Interpolation zu Extrapolation. Sie richtet sich nach der dritten Variable mit fixem Wert, die für die jeweilige Graphik oben rechts angegeben ist. Der fixe Wert ist hier ebenfalls der Wert des Optimums (Wheeler; Betsch 2003).

4.5.3.6. a-Wert

Temperatur und Behandlungsdauer haben einen signifikanten Einfluss auf die roten Farbtöne des gemischten Saftes. Das Optimum, das auch hier nach dem a-Wert des unbehandelten Sanddornsaftes vorgegeben wurde, wird bei 40°C und 2,25 Stunden Behandlungszeit ausgegeben. Mit Anstieg der Behandlungstemperatur sinkt der a-Wert, mit Anstieg der Behandlungszeit sinkt auch der a-Wert. Da sich der gesuchte Wert im Randbereich der Graphik befindet, sollten die gegebenen Werte für Temperatur und Behandlungsdauer jedoch nur als ungefähre Werte betrachtet werden. Die Graphik zeigt eine deutlich große wertegleiche Fläche in Bereich des Optimums, vergleiche 4.25. Zudem dient diese Betrachtungsweise in diesem Fall auch nicht wirklich einer Optimumsfindung, sondern lediglich der Feststellung bis zu welchen Temperaturen und bis zu welchen Behandlungszeiten gemischt werden kann, ohne einen Farbunterschied, bzw. in diesem Fall keine Veränderung der roten Bunttöne, hervorzurufen.

4.5.3.7. b-Wert

Beim b-Farbwert ist wie bereits erwähnt ein Lack-of-fit aufgetreten. Der Versuch kann in Bezug auf den b-Wert nur bedingt ausgewertet werden. Die folgenden Abbildungen 4.26 zeigen trotzdem die

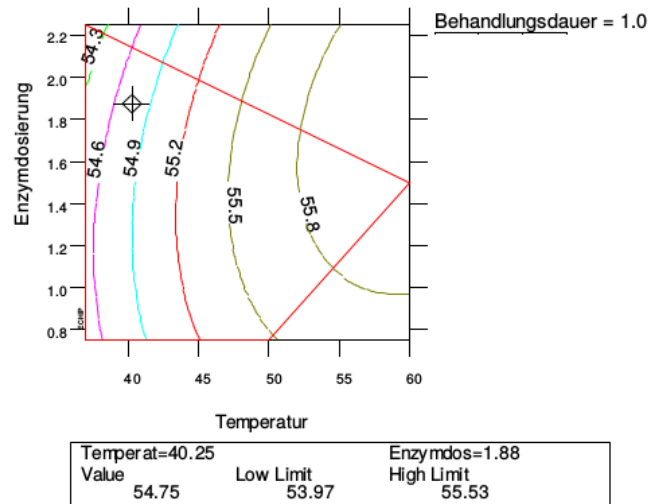


Abbildung 4.24.: L-Wert in Abhängigkeit von Enzymdosierung (ml/kg) und Maischebehandlungstemperatur (°C)

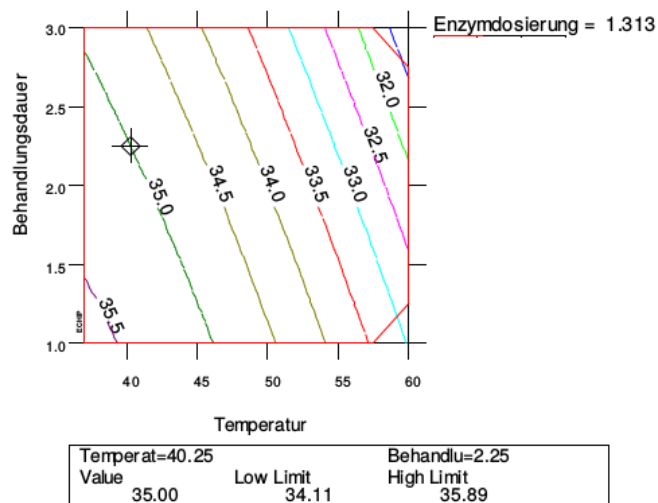


Abbildung 4.25.: a-Wert in Abhängigkeit von Behandlungsdauer (h) und Maischebehandlungstemperatur (°C)

Abhängigkeit des b-Wertes von der Behandlungsdauer und der Maischebehandlungstemperatur. Auch hier wurde der b-Wert des nicht behandelten Saftes für die Optimumsuche als Referenzwert vorgegeben. Der Wert fürs Optimum wird hier bei 75,32 angegeben. Der vorgegebene Referenzwert des Standardsaftes ist jedoch 73,32, dieser befindet sich außerhalb der Graphik und damit außerhalb der gemessenen Werte. Alle durchgeführten Maischeversuche hatten demnach schon einen Einfluss auf den b-Wert. Bei Temperaturen von 60°C gehen die gemessenen Werte hoch bis zu 78,82.

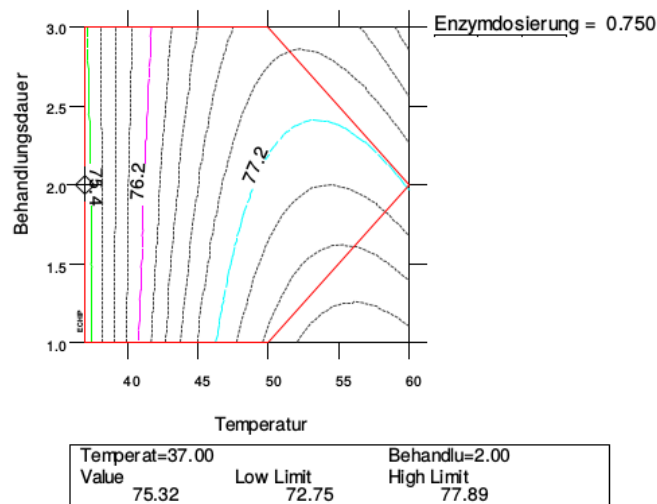


Abbildung 4.26.: b-Wert in Abhängigkeit von Behandlungsdauer (h) und Maischebehandlungstemperatur (°C)

Lack-of-fit

4.5.3.8. Farbabstand

Der Farbabstand ergibt sich aus der Differenz der gemessenen L, a, b- Werten des Maischeversuches zu denen des unbehandelten Standardsaft, siehe Abschnitt 3.1.2.0.3. Einen höchst signifikanten Einfluss hat die Maischetemperatur auf den Farbabstand ΔE . Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass auch bei dieser Auswertung resultierend auch auf den b-Wert, ein Lack-of-fit auftritt. Abbildung 4.27 zeigt ΔE in Abhängigkeit von der Temperatur. Es zeigt deutlich, dass mit Anstieg der Temperatur auch der Farbabstand steigt. Das Maximum, das hier vorgegeben wurde als „0“ also keinen Farbabstand, wird nicht gefunden. Stattdessen wird der niedrigste Farbabstand von 2,07 bei 37°C angegeben. Der Wert liegt auf der Grenze zwischen „unmerklicher“ und „wahrgenommener Farbunterschied“. Deutlicher wird der Unterschied mit Anstieg der Temperatur bei 50°C ist ein „wesentlicher Farbunterschied“ zu erkennen (Werte ab $\Delta E=4$), bei 60°C liegt der Farbunterschied bei rund 5, was als andere Farbe gewertet wird. Auch visuell waren die Saftproben deutlich voneinander unterscheidbar.

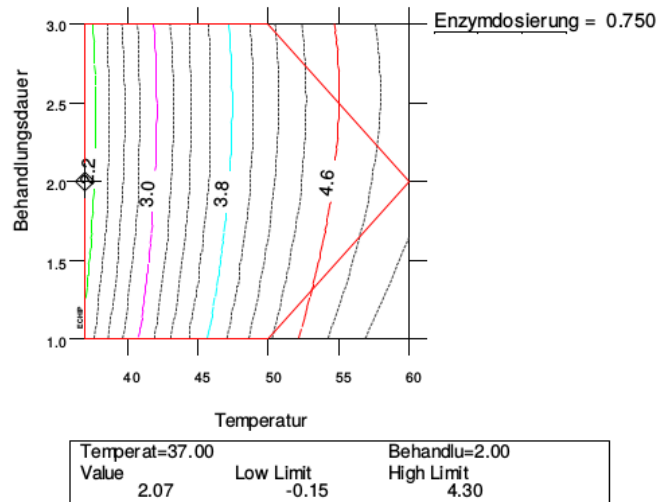


Abbildung 4.27.: ΔE in Abhängigkeit von Behandlungsdauer (h) und Maischebehandlungstemperatur (°C)

Lack-of-fit

4.5.3.9. pH-Wert

Die Graphiken für die pH-Wert sind im Anhang C.29 und C.30 dargestellt.

4.5.3.10. Gesamtphenolgehalt

Es wird im Folgenden der Gesamtphenolgehalt bezogen auf die Feuchtmasse, bzw. den gesamten Saft dargestellt. Nur im Einzelfall wird eine Betrachtung der Gesamtphenolgehalte pro Trockensubstanz herangezogen. Die Ergebnisse unterscheiden sich, da wie in den Vorversuchen ermittelt erhöhte Gesamtphenolgehalte mit erhöhten Trockensubstanzgehalten einhergehen. Da eine wesentliche Ursache der Gehaltserhöhung auf eine erhöhte Trockensubstanzaubeute zurückzuführen zu sein scheint, würde die alleinige Darstellung bezogen auf die Trockensubstanz diesen Effekt unterschlagen.

Für den Gesamtphenolgehalt ergab sich kein signifikanter Einfluss durch die Temperatur, Behandlungsdauer und Enzymdosierung. Ein positiver Einfluss, ist aber dennoch wahrscheinlich, vergleiche Abbildung C.31 im Anhang.

Die Abbildung 4.28 zeigt den Gesamtphenolgehalt in Abhängigkeit von der Maischetemperatur und Enzymdosierung.

Es zeigt sich, dass der Gesamtphenolgehalt mit Erhöhung der Temperatur bis zu einer Temperaturbereich um die 50°C steigt. Bei weiterer Erhöhung ist ein Absinken des Gesamtphenolgehaltes zu erkennen.

Ähnlich verhält es sich bei der Enzymdosierung. Nach einem Anstieg sinkt der Gesamtphenolgehalt wieder bei Werten über 1,7ml Enzymprodukt pro kg Maische.

Die Abbildungen zeigen zusätzlich die ermittelten optimalen Prozessparameter der Maischebehandlung. Das Optimum wird dargestellt durch einen Pfeil und wurde vorgegeben als maximaler

Gesamtphenolgehalt. Die optimalen Prozessparameter werden hier angegeben als eine Temperatur von 48,29°C und einer Enzymdosierung von 1,64ml/kg Maische, vergleiche auch C.33 im Anhang. Hier wurde ein sehr deutliches Optimum gefunden. Die Temperatur liegt in dem vom EnzymproduktHersteller vorgegebenen Maischetemperaturbereich von 50°C-55°C. Die Enzymdosierung entspricht dem sechsfachen der Herstellerempfehlung.

Bei der Behandlungsdauer ist das Ergebnis nicht so eindeutig. Abbildung 4.29 zeigt einen Anstieg des Gesamtphenolgehaltes bis zu einem ermittelten Optimum von 2,4 Stunden Behandlungsdauer. Dieses Optimum liegt in dem vom Enzymhersteller vorgegebenen Maischezeit von 1-3 Stunden. Allerdings zeigt die Graphik bei weiterer Behandlungszeit über das Optimum nur eine geringe Reduzierung des Gesamtphenolgehaltes. Da sich der Wert nahe am Rande des Versuchsplanes befindet, ist es auch möglich, dass der leichte erkennbare Rückgang eher der quadratischen mathematischen Annäherung der Software geschuldet ist, als einem wirklichen Gesamtphenolgehaltsrückgang, vergleiche auch C.32. Die Vorversuche zumindest zeigten bei der drei Stunden gemaischten Probe höhere Werte als bei der zwei Stunden gemaischten.

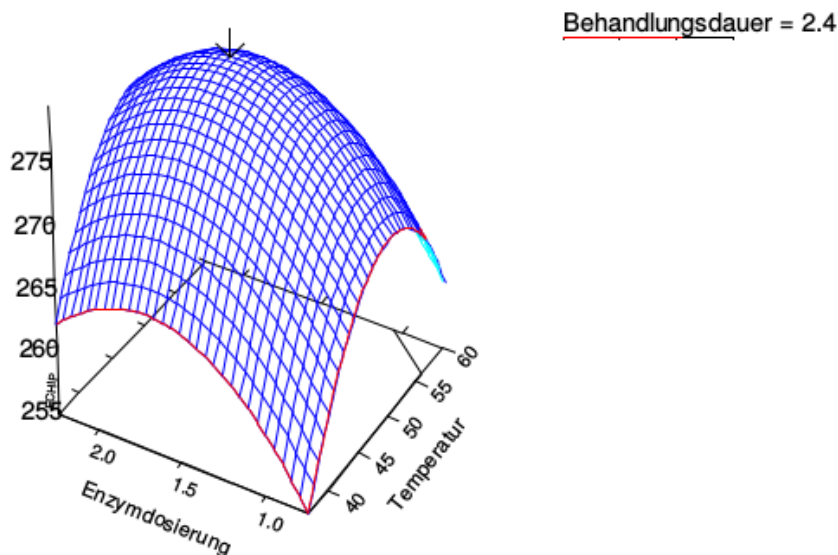


Abbildung 4.28.: Gesamtphenolgehalt pro Feuchtmasse in Abhängigkeit von Enzymdosierung (ml/kg Maische) und Maischebehandlungstemperatur (°C) bezogen auf den gesamten Saft (Feuchtmasse) mit Optimumanzeige

Auch wenn innerhalb des Versuchsplanes keine signifikanten Unterschiede auftraten, so wurden doch die Prozessparameterwerte ermittelt bei denen die Maischebehandlung die höchsten Gesamtphenolgehalte im Saft hervorruft. Wird dieser maximalermittelte Gesamtphenolgehalt mit den Wertes des unbehandelten Sanddornsafte verglichen, ergibt sich eine signifikante Erhöhung des Gesamtphenolgehaltes, vergleiche C.34.

Durch die Maischebehandlung des Sanddornsafte wurde so eine 20%ige Erhöhung des Gesamtphenolgehaltes im Sanddornsafte erreicht. Abbildung 4.30 zeigt dies graphisch.

Wird die gleiche Betrachtung für den Gesamtphenolgehalt pro Trockensubstanz herangezogen, wird deutlich, dass der Gesamtphenolgehalt sich kaum ändert, vergleiche Abbildung 4.31.

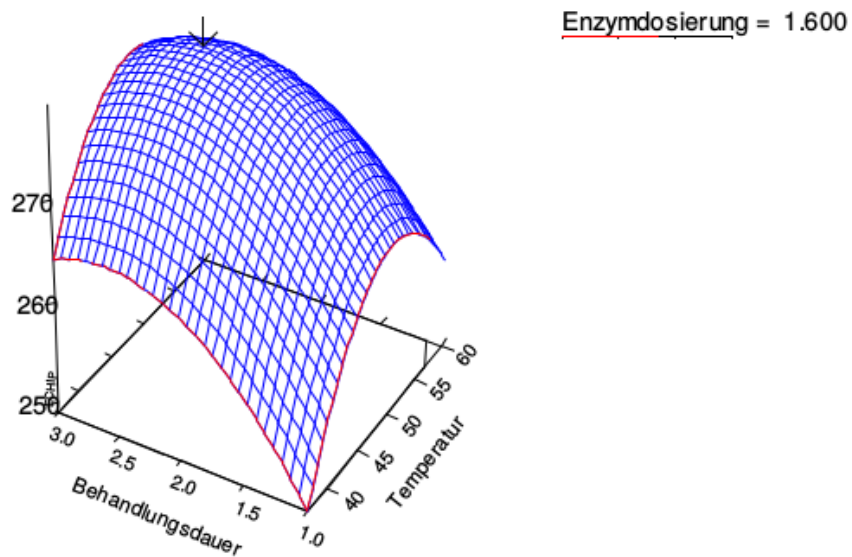


Abbildung 4.29.: Gesamtphenolgehalt pro Feuchtmasse in Abhängigkeit von Maischebehandlungsdauer (h) und Maischebehandlungstemperatur (°C) bezogen auf den gesamten Saft (Feuchtmasse) mit Optimumanzeige

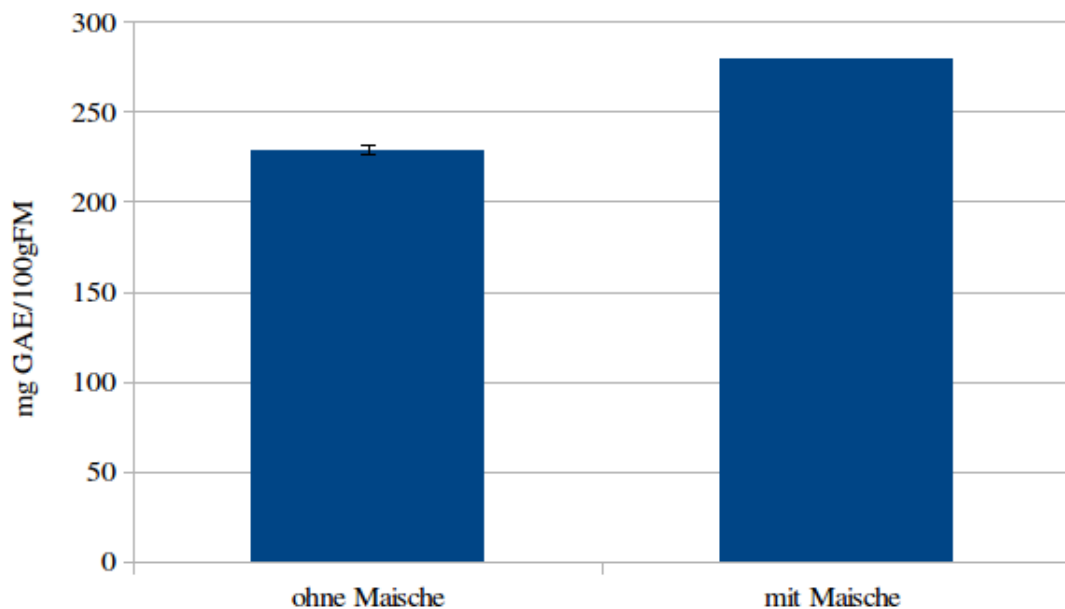


Abbildung 4.30.: Vergleich der Gesamtphenolgehalte pro Feuchtmasse von unbahandeltem Sanddornsafte mit Sanddornsafte der Maischeenzymierung mit der höchst erzielten Ausbeute an Gesamtphenolgehalt

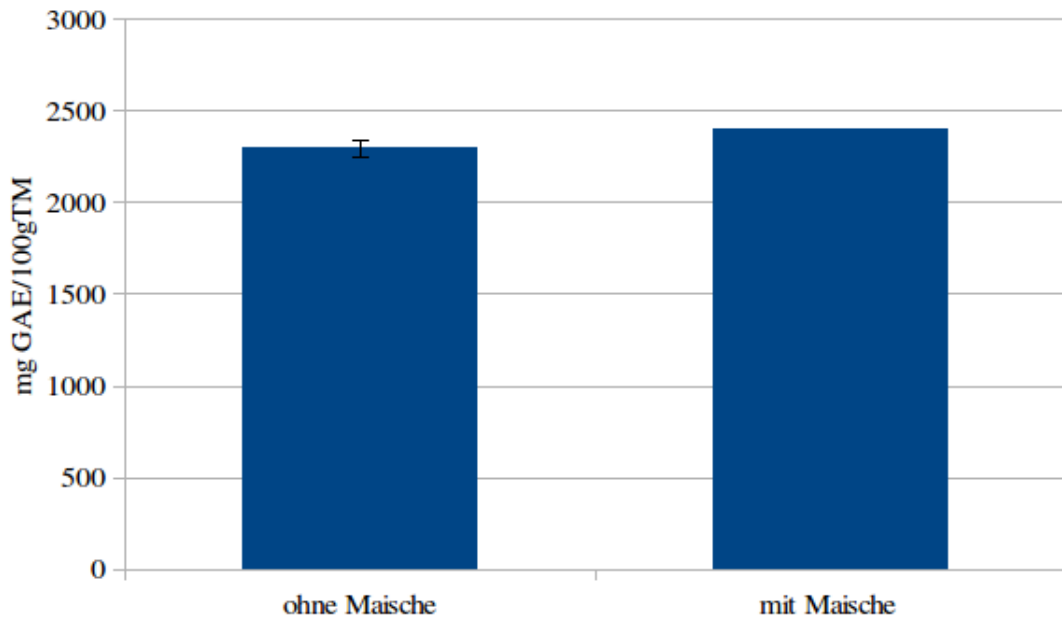


Abbildung 4.31.: Vergleich der Gesamtphenolgehalte pro Trockenmasse von unbehandeltem Sanddornsaft mit Sanddornsaft der Maischeenzymierung mit der höchst erzielten Ausbeute an Gesamtphenolgehalt

Daraus kann geschlussfolgert werden, dass die Gesamtphenolgehaltserhöhung aus der Trockensubstanzerhöhung resultiert, und andere mögliche negative Effekte, wie Oxidationsprozesse, keine große Rolle zu spielen scheinen.

4.5.3.11. Antioxidative Kapazität

Für die antioxidative Kapazität wurde ein signifikanter Einfluss der Enzymdosierung ermittelt, vergleiche C.38. Die Abbildung 4.32 zeigt die antioxidative Kapazität bezogen auf die Feuchtmasse in Abhängigkeit von Behandlungsdauer und Enzymdosierung. Die Abbildung zeigt deutlich, dass mit Erhöhung der Enzymdosierung auch die gemessene antioxidative Kapazität des Saftes steigt.

Die Abbildung zeigt zudem die ebenfalls signifikante Interaktion zwischen Enzymdosierung und Maischebehandlungszeit, vergleiche auch C.38. Während bei niedrigen Enzymdosierungen die Erhöhung der Behandlungszeit noch eine Erhöhung der antioxidativen Kapazität im Sanddornsaft zur Folge hat, haben lange Behandlungszeiten bei hohen Enzymdosierungen einen negativen Effekt auf die antioxidative Kapazität, vergleiche auch C.41.

Wird auch hier eine Ermittlung der optimalen Prozessparameter durchgeführt, so ergibt sich für die höchsten antioxidativen Kapazitätswerte im Saft, eine Maischetemperatur von 58,69°C, eine Enzymdosierung von 2,25 ml/kg Maische und eine Behandlungsdauer 1,94 Stunden. Sowohl für die Enzymdosierung als auch für die Temperatur liegt dieser Wert im Randbereich der Graphik, sodass dieses Optimum kein wirkliches Optimum darstellt, sondern lediglich der maximal ermittelte Wert innerhalb des Versuchplanes. Es ist möglich das dieser Wert noch ansteigen würde bei entsprechender Enzymdosierungserhöhung. Wie in den Vorversuchen ermittelt ist aber eine weitere Enzymdosierungserhöhung technisch nicht möglich. Zumindest bei der hier verwendeten

Saftpresse war eine Pressung ab einer Enzymdosierung von 3ml/kg Maische nicht mehr möglich.

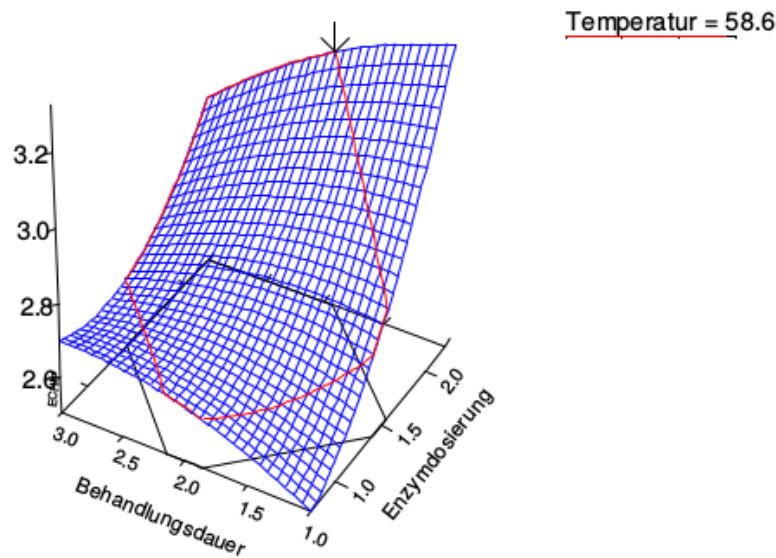


Abbildung 4.32.: antioxidative Kapazität pro Feuchtmasse in Abhängigkeit von Enzymdosierung (ml/kg Maische) und der Behandlungsdauer (h) bezogen auf den gesamten Saft (Feuchtmasse) mit Optimumanzeige

Wird die maximal erreichte antioxidative Kapazität des Maischeversuches mit Werten des unbehandelten Saftes verglichen, ergibt sich hier keine Ausbeuteerhöhung durch die Maischebehandlung. Die maximalen ermittelten Werte an antioxidativer Kapazität im Maischeversuch sind 3,203mmol/100gFM, in der unbehandelten Vergleichsprobe 3,34 mmol/100gFM. Abbildung 4.33 zeigt dies graphisch. Abbildung C.40 zeigt des entsprechenden Signifikanztest, der negativ ausfällt. Im Vergleich zur Gesamtphenolgehalt wo eine Gesamtphenolgehaltssteigerung um 20% erreicht wurde, hat die Maischenehandlung keinen positiven Effekt auf die antioxidative Kapazität im Saft.

Wird die gleiche Betrachtung für die antioxidative Kapazität pro Trockensubstanz herangezogen, wird deutlich, dass die antioxidative Kapazität sogar signifikant abnimmt, vergleiche Abbildung C.42. Abbildung 4.34 zeigt dies graphisch.

Daraus kann geschlussfolgert werden, dass die Maischebehandlung einen negativen Effekt auf die antioxidative Kapazität hat, diese jedoch durch erhöhte Trockensubstanzausbeuten relativiert wird.

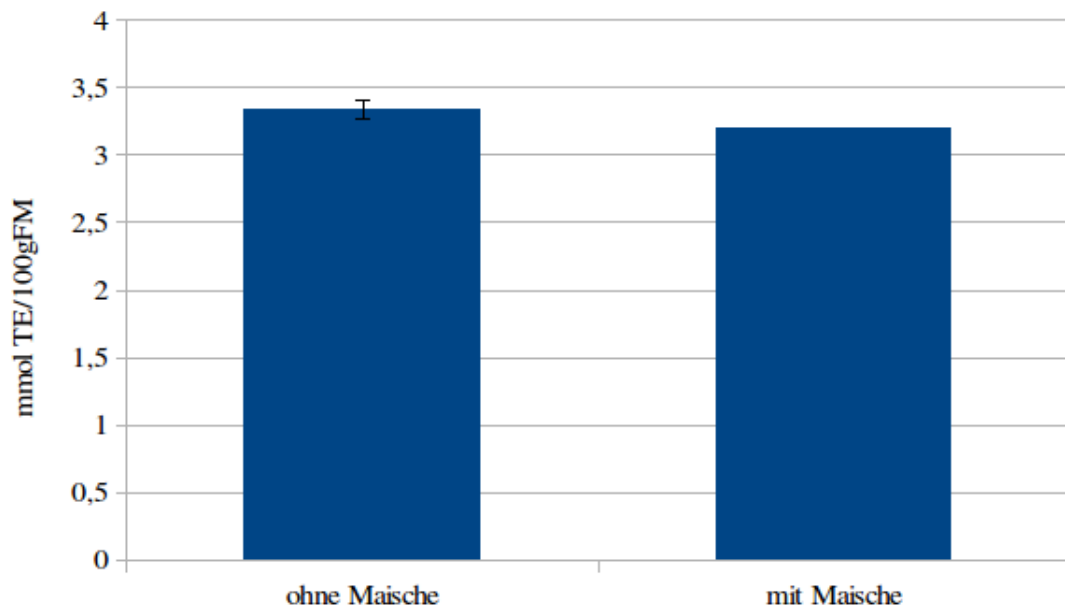


Abbildung 4.33.: Vergleich der antioxidativen Kapazität pro Feuchtmasse von unbehandeltem Sanddornsaft mit Sanddornsaft der Maischeenzymierung mit der höchst erzielten Ausbeute an antioxidativer Kapazität

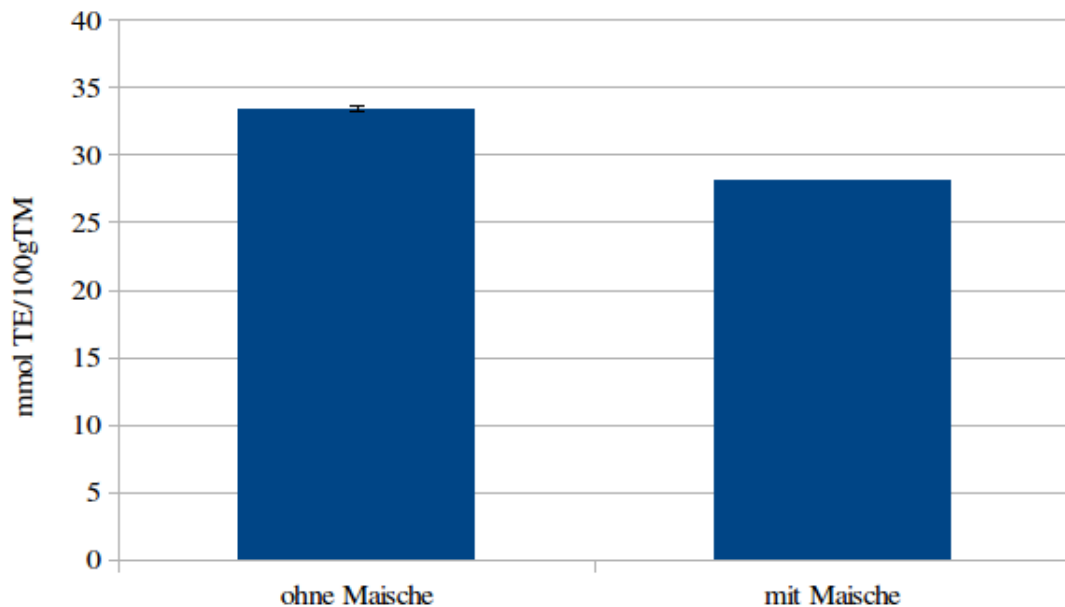


Abbildung 4.34.: Vergleich der antioxidativen Kapazität pro Trockenmasse von unbehandeltem Sanddornsaft mit Sanddornsaft der Maischeenzymierung mit der höchst erzielten Ausbeuten an antioxidativer Kapazität

5. Diskussion

5.1. Pasteurisation

Bei den in dieser Arbeit getesteten verschiedenen Pasteurisationsarten, Hochdruckpasteurisation (HPP) und thermische Pasteurisation (TP), ergaben sich weder für den Gesamtphenolgehalt noch für die antioxidative Kapazität signifikante Unterschiede im Sanddornsaft. Auch im Vergleich zu den nicht pasteurisierten Proben zeigten die Proben der beiden Pasteurisationsarten keinen signifikanten Unterschied. Die Pasteurisation hatte demnach keinen direkten negativen Einfluss auf die Gehalte im Saft, wohl aber auf ihre Lagerstabilität, wie unter 5.2 diskutiert wird.

Die Ergebnisse von Alexandrakis et. al. (2014), wonach bei Pasteurisationstemperaturen von 60°-80°C die antioxidative Kapazität im Sanddornsaft signifikant sinkt, konnte demnach nicht bestätigt werden. Auch konnten ihre Ergebnisse, wonach HP-pasteurisierte Säfte signifikant höhere Antioxidationswerte als die thermisch pasteurisierten Säfte aufwiesen nicht bestätigt werden.

Die Ergebnisse Blaszczyk et. al. (2017) konnten ebenfalls nicht bestätigt werden. Hier hatten verschiedene HP-pasteurisierte Säfte direkt nach der Behandlung alle signifikant niedrigere Gesamtphenolgehalte als die nicht behandelten Vergleichssäfte. Die Unterschiede lagen bei den Proben der 2000bar Behandlung bei 8%, bei 4000bar bei 9,7% und bei 6000bar bei 12% geringere Gesamtphenolgehalte zu den unpasteurisierten Vergleichsproben.

Allerdings ergaben auch die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Versuche, etwas erhöhte Werte an antioxidativer Kapazität und Gesamtphenolgehalt für die nicht pasteurisierten Proben, gefolgt von den HP-behandelten Proben. Am wenigsten wiesen die thermisch pasteurisierten Säfte auf. Die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant. Die Gesamtphenolgehaltswerte der HPP- Proben (6000bar, 3min) lagen hier lediglich 1,56% unter den nichtpasteurisierten Vergleichsproben. Bei den TP-Proben (70°C 2,5min) lagen die Werte 2% unter denen der unbehandelten Vergleichsproben. Für die antioxidative Kapazität ergaben die HPP-Säfte einen Verlust von 0,8%, die TP-Säfte von 2%.

Einen starken Einfluss hatte die Pasteurisation allerdings auf die Farbe der Säfte. Es ergab sich für die thermisch pasteurisierten Proben ein starker Farbunterschied zu den unpasteurisierten Vergleichsproben. Es ist zu vermuten, dass bei der thermischen Pasteurisation Maillard-Reaktionen stattgefunden haben, die zu dieser Verfärbung geführt haben. Die Maillard-Reaktion wird durch Temperatureinwirkung induziert, es reagieren Aminoverbindungen und reduzierende Zuckern miteinander. Sanddornsaft hat einen Zuckergehalt von 5,6-22,7%. Dabei besteht dieser zu durchschnittlich 55% aus Glucose und 45% aus Fructose. Beides sind reduzierende Zucker. Aminoverbindungen im Sanddorn sind vorallem freie Aminosäuren (Zeb, 2004). Auch ein Ascorbinsäu-

rezerfall kann Ursache für Farbänderungen sein, da aber der antioxidative Kapazitätsverlust zur Vergleichsprobe nur gering ist, ist dieser Effekt vermutlich nur minimal (Schobinger, 1987).

Die HP-Proben hatten keinen merklichen Farbunterschied zu den unpasteurisierten Vergleichsproben. Bei der HP-Pasteurisation fand keine Erhitzung statt, sodass eine Maillardreaktion nicht stattfinden konnte.

Es ist festzuhalten, dass die Auswirkungen der thermischen und der Hochdruckpasteurisation auf den Gesamtphenolgehalt und die antioxidative Kapazität im Sanddornsaft vernachlässigbar gering sind. Ein erheblicher Unterschied besteht jedoch in der Farbe. Während die thermische Pasteurisation eine starke Farbänderung im Saft hervorrief, war diese bei der Hochdruckpasteurisation geringfügig.

5.2. Lagerung

Im Lagerversuch ergab sich sowohl für die hochdruckpasteurisierte Probe als auch für die thermisch pasteurisierten Proben ein signifikanter Verlust an Gesamtphenolgehalt und antioxidativer Kapazität während der 90 Tagen Lagerung bei 4°C. Für die HPP-Probe wurde ein Verlust von 9% Gesamtphenolgehalt gemessen. Die thermisch pasteurisierten Probe verzeichnete einen Verlust von 16% an Gesamtphenolgehalt während der Lagerung. Für die gemessene antioxidative Kapazität ergaben sich noch stärkere Verluste. Der Verlust beträgt 29% für die HPP-Probe und 39% für die thermisch pasteurisierten Proben. Für die thermisch pasteurisierten Proben ergab sich ein wahrgenommener Farbunterschied durch die drei monatige Lagerung. Für die hochdruckpasteurisierte Probe ergab sich kein merklicher Farbunterschied.

Es kann vermutet werden, dass die Hochdruckpasteurisation die Polyphenoloxidasen (PPO) erfolgreicher inaktivierte als die thermische Pasteurisation. Die Tatsache, dass in den HPP-Probe höhere Gehalte an Gesamtphenol verblieben, stützt diese These. Je mehr PPO zu Beginn der Lagerung inaktiviert werden, je weniger enzymatische Bräunungsreaktionen bzw. Oxidationsreaktionen der Phenole können stattfinden. Die Hochdruckpasteurisation zeigte demnach im Bezug auf die Lagerstabilität einen Vorteil gegenüber der thermischen Pasteurisation.

Siddic und Dolan (2017) ermittelten bei isolierten Blaubeeren PPO (pH=6,1) eine Restaktivität von 52% bei 65°C und 20% bei 75°C nach 2,5 Minuten Pasteurisation. In der vorliegenden Arbeit wurde der thermisch pasteurisierte Sanddornsaft bei 70°C 2,5 Minuten pasteurisiert. Der entsprechende Wert für die Restaktivität im getesteten Saft liegt demnach vermutlich zwischen 52% und 20%. Bei einer Lagerung von 20 Wochen bei 4°C ermittelten Siddic und Dolan (2017) einen Verlust an PPO Aktivität auf 10%. Die Abnahme ist hier begründet durch die Reaktion der PPO mit den Phenolen. Die Untersuchungen Siddic und Dolan (2017) stützen die Vermutung, dass bei der vorliegenden Arbeit durchgeführten thermischen Pasteurisation eine Restaktivität der PPO bestehen blieb und so enzymatische Bräunungsreaktionen mit den Phenolen während der Lagerung stattfanden. Allerdings müssen unterschiedliche pH-Werte und die Einwirkung der Saftmatrix mitbeachtet werden. Bei einem pH von 3 (Sanddornsaft) ist laut Siddic und Dolan (2017) eine Restaktivität des PPO

von 10% gegeben.

Die signifikanten Gesamtphenolverluste während der Saftlagerung, auch der HP-behandelten Probe, finden sich in der Arbeit Blaszczyk et. al. (2017) bestätigt. In ihren Untersuchungen wurde Arionasaft unterschiedlich HP-pasteurisiert (15min bei 2000bar, 4000bar und 6000bar) und u.a. 80 Tage bei 4°C gelagert. In der Arbeit von Blaszczyk et. al. verloren die verschiedenen HPP-Säfte zwischen 18% und 23% während der Lagerung. Die nichtpasteurisierten Vergleichsproben verloren 36%. Es kann demnach vermutet werden, dass auch eine HP-Behandlung, wie sie Blaszczyk et. al. durchgeführt haben und wie sie auch in der vorliegenden Arbeit durchgeführt wurde, PPO nicht ausreichend inaktiviert.

Andersson et.al (2015) hatten bei einer Lagerung von Sanddornsafte bei 4°C über 35 Tage ein leichter Anstieg des Gesamtphenolgehaltes und der antioxidativen Kapazität zu verzeichnen. Der Saft war zuvor bei 90°C 45 Sekunden pasteurisiert worden. In der vorliegenden Arbeit konnte diese Ergebnisse nicht wiedergefunden werden. Hier nahm bei der 4°C Lagerung sowohl bei der HPP-Probe (6.000bar, 3min) als auch bei der thermisch pasteurisierten Probe (70°C, 2,5min) der Gesamtphenolgehalt signifikant ab. Allerdings ist der Vergleich schwierig, da sowohl die Pasteurisationsparameter als auch die Lagerzeit unterschiedlich sind. Es ist möglich, dass bei einer Lagerung über 35 Tage bei den von Anderson et.al. getesteten Sanddornsäften noch Verluste aufgetreten wären. Dagegen spricht allerdings das diese beschreiben, dass Veränderungen aller getesteten bioaktiver Komponenten (Vitamin C, Karotinoide, einzelne Phenole, Tocopherol, Gesamtphenolgehalt und antioxidative Kapazität) besonders in den ersten fünf Tagen der Lagerung auftraten. Die in der vorliegenden Arbeit hergestellten Säfte die bei den gleichen Pasteurisationsparametern (90°C 45 Sekunden) wie bei Anderson et. al hergestellt wurden, wurden nicht weiter betrachtet, beziehungsweise nicht in den Lagerversuch mit einbezogen, da diese Dreierprobe bereits direkt nach der Pasteurisation große Standardabweichungen verzeichnete. Eine Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen Anderson et. al. wäre hier besser gegeben.

Anderson et. al. beschreiben aber auch einen signifikanten Verlust des Vitamin C bei 4°C Lagerung von 90 Tagen. Die Vitamin C Abnahme würde den signifikanten Verlust an antioxidativer Kapazität in der vorliegenden Arbeit begründen. Die antioxidative Kapazität des Sanddornsafte wird zu 75% durch das Vitamin C bestimmt (Rosch et. al,2003). Dagegen spricht, dass bei Anderson et.al. der Vitamin C Gehalt nicht mit der antioxidativen Kapazität korrelierte. Dieser nahm während der Lagerung ab, wohin gegen die gemessene antioxidative Kapazität im Saft sogar leicht zunahm. Andere Quellen legen aber eine Korrelation zwischen Vitamin C und antioxidativer Kapazität nahe (Prior et.al. 2005; Benzie und Strain,1996).

5.3. Maischebehandlung

In der vorliegen Arbeit wurde eine Ausbeuteerhöhung der Gesamtphenole im Sanddornsafte um 20% erreicht. Das Ziel dieser Arbeit durch einen Maischeprozess eine Erhöhung im resultierenden Saft hervorzurufen, konnte demnach für den Gesamtphenolgehalt erreicht werden. Mehr noch,

konnten durch den Optimierungsversuch die Prozessparameter ermittelt werden, die diese größtmöglichen Gehalte erlauben. Der Maischeversuch zeigte mehrere Effekte auf den Gesamtphenolgehalt im Sanddornsaft. Bei einer Temperaturerhöhung war ein Anstieg des Gesamtphenolgehaltes bis zu 50°C zu beobachten, auch eine Behandlungszeiterhöhung bis 2,5 Stunden und eine Enzymdosierungserhöhung bis 1,64ml/kg resultierten in einer Erhöhung des Gesamtphenolgehaltes im Saft. Diese Effekte waren allerdings nicht signifikant. Die Enzymdosierung ist mit 1,64ml/kg sehr hoch. Diese Dosierung entspricht rund 940PLU/kg Maische. Ob sich unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten diese hohe Dosis rentiert ist fraglich.

Erstaunlicherweise lassen sich diese Ergebnisse nicht eins zu eins auf die antioxidative Kapazität übertragen. Es wäre anzunehmen gewesen, dass die Ergebnisse mit denen des Gesamtphenolgehaltes ähnlich sind. Tatsächlich sind die ermittelten Maischeprozessparameter bei denen höchste antioxidative Kapazitätswerte im Saft resultieren denen der höchsten Gesamtphenolgehalte ähnlich. Auch der Effekt, dass mit steigender Temperatur bis zu einem bestimmten Punkt auch der Gesamtphenolgehalt im Saft steigt, findet sich bei der antioxidativen Kapazität wieder.

Bei der antioxidativen Kapazität hat jedoch die Enzymdosierung einen signifikanten Einfluss. Bei Erhöhung der Enzymdosierung stieg auch die antioxidative Kapazität im Saft signifikant. Bei dem Gesamtphenolgehalt war dieser zwar auch wahrscheinlich, aber nicht signifikant.

Erstaunlich ist jedoch, dass bei der Messung der antioxidativen Kapazität kein signifikanter Unterschied zwischen den maischebehandelten Proben zu den nicht behandelten Proben gefunden wurde. Die Saftproben in denen 20% Steigerung im Gesamtphenolgehalt gefunden wurden, wiesen keine erhöhten Werte an antioxidativer Kapazität auf. Bezogen auf die Trockenmasse hatten die Proben sogar signifikant geringere Werte. Die antioxidative Kapazität pro Trockenmasse in den maischebehandelten Säften war um 16% geringer als in den unbehandelten Vergleichssäften.

Um dieses Ergebnis zu interpretieren muss genauer in die Analytik geschaut werden, bzw. was wirklich bei welcher Methode gemessen wird. Hier ergibt sich das erste Problem. Die Folin-Ciocalteu Methode die ursprünglich entwickelt wurde um Phenole nachzuweisen, steht in der Diskussion auch andere Substanzen zu erfassen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass auch andere Antioxidantien wie Ascorbinsäure mitgemessen werden (Prior et. al., 2005). Nehmen wir jedoch an mit der Folin-Ciocalteu-Methode würden hauptsächlich phenolische Verbindungen gemessen und mit der FRAP-Methode hauptsächlich Antioxidantien erfasst. Dann ließe sich das Ergebnis so interpretieren, dass bei einer Maischebehandlung durch thermisches sowie enzymatische Auflösen der Mittellamelle der Pflanzenzellen der Sanddornbeeren vermehrt Phenole herausgelöst werden und diese in den Saft übergehen. Die Phenole sind gegenüber Temperaturen bis 50°C stabil bzw. werden durch andere Antioxidantien regeneriert.

Die Maischebehandlung brachte wie bereits benannt, im Bezug auf die antioxidative Kapazität pro Feuchtmasse keine Erhöhung im Vergleich zu den unbehandelten Vergleichsproben. Im Bezug auf die Trockenmasse sank die antioxidative Kapazität sogar signifikant. Auch fand eine signifikante Trockensubstanzerhöhung durch die Maischebehandlung statt. Es ist möglich, dass zwar vermehrt Antioxidantien aus der Mittellamelle der Zelle herausgelöst wurden und in den Saft übergegangen sind, diese aber durch Oxidationsprozesse während der Maische wieder abnah-

men. Diese These würde stützen, dass die Behandlungszeit im Versuch teilweise einen negativen Effekt zeigte. Bei erhöhter Enzymdosierung, zeigte sich bei Erhöhung der Behandlungszeit eine Abnahme der gemessenen antioxidativen Kapazität.

Da Vitamin C rund 75% der antioxidativen Kapazität im Sanddornsaft ausmacht, ist es gut möglich, dass dieses durch Oxidationsprozesse abnahm. Die Maischen wurden bis zu drei Stunden unter ständigem Rühren gemaischt, was einen Sauerstoffeintrag begünstigt. Vitamin C wird auch als Antioxidationsmittel in Lebensmittel eingesetzt, da es reaktiver als andere Stoffe ist. Es ist möglich, dass das Vitamin C zu Gunsten der Phenole oxidierte, weshalb diese nicht abnahmen.

Trotz des Lack-of-fits beim b-Wert und dementsprechend auch beim Farbabstand ΔE , soll hier auf die Farbänderung eingegangen werden. Alle im Rahmen des Maischeversuchsplanes hergestellten Säfte wiesen Farbabstände auf. Den größten Einfluss hatte die Temperatur. Dabei ist der Farbabstand bei 37°C auf der Grenze zwischen „unmerklicher“ und „wahrnehmbarer Unterschied“, bei 50°C war ein „wesentlicher Farbunterschied“ vorhanden und bei 60°C wurde der Saft als „andere Farbe“ gewertet. Die Sanddornsäfte die bei 50°C gemaischt wurden und 20% Gesamtphenolsteigerung erzielten, wiesen einen „erheblichen Farbunterschied“ zum unbehandelten Saft auf.

Es kann vermutet werden, dass dieser Farbunterschied unter anderem auf die enzymatische Bräunungsreaktion zurückzuführen ist. Siddiq und Dolan (2017) ermittelten eine Enzymaktivität von PPO bei Temperaturen von 25°C-60°C, wobei das Optimum (100% Aktivität) bei 35°C lag. Bei 50°C lag die Aktivität noch bei 77% und bei 60°C bei 72%. Bei Versuchen zur PPO-Inaktivierung war bei 55°C nach 30 Minuten noch eine Restaktivität von 52% gegeben. Die Autoren empfehlen daher bei Maischebehandlungen von Beeren eine Maischepasteurisation durchzuführen um PPO vor der Maischebehandlung größtmöglichst zu inaktivieren um so negative enzymatische Bräunungsreaktionen zu minimieren.

Eine Maischepasteurisation wurde in den Maischeversuchen der vorliegenden Arbeit nicht durchgeführt, weshalb einer Aktivität der PPO während der Maischebehandlung wahrscheinlich ist. Da der Farbunterschied in den durchgeführten Versuchen jedoch entgegen dem oben aufgezeigten Aktivitätsverlauf der PPO verläuft, ist davon auszugehen, dass die enzymatische Bräunung nicht die einzige Ursache für die Farbänderung ist.

Die Maillard-Reaktion ist ebenfalls eine häufige Ursache für Braunfärbungen von Fruchtsäften. Diese thermisch induzierte Reaktion würde besser erklären, warum mit zunehmendem Maischetemperatur auch die Farbänderung zunimmt. Die Maillard-Reaktion wird häufig von Ascorbinsäurezersetzung begleitet, welche ebenfalls die Braunfärbung des Fruchtsaftes weiter begünstigt (Schobinger, 1987).

Auch ist es wahrscheinlich, dass die wie oben beschriebene höheren Gesamtphenolgehalte im Saft bei höheren Maischetemperaturen die Farbänderung mit beeinflussen. Phenole sind maßgeblich für die Färbung von Pflanzen verantwortlich.

Es finden sich keine Veröffentlichungen zur Maischebehandlung von Sanddornbeeren und deren

Auswirkungen auf den Gesamtphenolgehalt und die antioxidative Kapazität mit denen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit verglichen werden könnten. Allerdings wurde die Thematik für viele andere Früchte betrachtet.

Die Ergebnisse Borofska et. al. (2009) können größtenteils bestätigt werden. In der entsprechenden Arbeit wurden die Effekte der Wärme- und Enzymbehandlung während der Maische der Apfelbeere betrachtet. Die Versuche ergaben eine Verdoppelung des Gesamtphenolgehalts in Apfelbeersaft durch enzymierte Maische und kombinierter enzymierter-wärmebehandelter Maische. Auch eine alleinige Wärmebehandlung der Maische ergab schon eine deutliche Erhöhung des Gesamtphenolgehalts.

In der vorliegenden Arbeit wurde für die Maischeenzymierung von Sanddornsafte zwar keine Verdoppelung des Gesamtphenolgehaltes, aber immerhin einer 20% Steigerung erreicht. Auch eine alleinige Wärmebehandlung (50°C, 1 Stunde) ergab in den Vorversuchen schon eine Erhöhung des Gesamtphenolgehaltes.

Zielinski et al. (2014) untersuchten die Effekte unterschiedlicher Enzympräparate während der Maische von Äpfeln auf den Gesamtphenolgehalt und einzelne Phenole von naturtrübem Apfelsaft. Die Mehrzahl der eingesetzten Enzympräparate zeigte eine signifikante Erhöhung des Gesamtphenolgehalts und der antioxidativen Kapazität im Apfelsaft. In den Vorversuchen der vorliegenden Arbeit wurden ebenfalls drei verschiedene Enzympräparate getestet. Es ergaben sich Unterschiede im gemessenen Gesamtphenolgehalt. Alle jedoch waren deutlich höher als die nicht gemischte Vergleichsprobe.

Oszmianski et. al. (2011) untersuchten die enzymatische Behandlung von Apfeltrester zur Herauslösung von polyphenolen Antioxidantien und Addition in den Saft der ersten Pressung. Bei drei von fünf Enzympräparaten waren im Mischsaft höhere Gesamtphenolausbeuten als im Vergleichsaft. In den Vorversuchen dieser Arbeit wurde ebenfalls eine Enzymierung der Sanddortresters durchgeführt. Hier wurde mittels Wasserzugabe und Enzymzugabe der Trester gemischt. Wie bei Oszmianski et. al. konnte eine weitere Herauslösung von phenolischen Verbindungen erzielt werden.

Markowski et.al. (2009) betrachteten zwei verschiedene Maischeenzympräparate und Temperaturen in Bezug auf die Auswirkungen einzelner Phenole und der antioxidativen Kapazität im Apfelsaft. Die bei 50°C mittels Panzym Enzym gemischten Proben ergaben dabei signifikant höhere Messwerte als die bei 20°C mittels Rohapect Enzym gemischten an einzelnen Phenolen als auch an antioxidativer Kapazität. Das auch in Versuchen der vorliegenden Arbeit unterschiedliche Enzympräparaten unterschiedliche Auswirkung auf die Maischewirkung hatten wurde bereits weiter oben beschrieben. Das die Temperatur einen Einfluss auf den Gesamtphenolgehalt im Sanddornsafte hat, kann aus den Ergebnissen des Hauptversuches vermutet werden. Dieser war für den Gesamtphenolgehalt (Folin-Ciocalteu-Methode) zwar nicht signifikant, ein Einfluss kann aber auch nicht ausgeschlossen werden. Bei einer Maischeenzymierungstemperatur von 37°C ergab sich ein Gesamtphenolgehaltswert von 2320mg GAE/TM, bei 50°C von 2400mg GAE/TM und bei 60°C von 2350mg GAE/TM innerhalb des Versuchsplanes (t=2h=cte, Enzymd.=1,7ml/kgMaische=cte). Bei der Messung der antioxidativen Kapazität (FRAP-Methode) war der Einfluss der Temperatur

ebenfalls nicht signifikant, ein Einfluss kann aber auch hier nicht ausgeschlossen werden.

Pour et. al. (2000) betrachtete unter anderem die Maischestandzeit von Trauben zur Weinherstellung im Bezug auf ihren Gehalt an Phenolen (Folin-Ciocalteu-Methode, HPLC) und der antioxidativen Kapazität (TEAC). Für die Reepsorte Gewürztaimer ergab sich im Gegensatz zur Riesling Traube eine Erhöhung des Gesamtphenolgehaltes und der antioxidativen Kapazität mit Anstieg der Maischestandzeit von 0 auf 16 Stunden und 40 Stunden in der resultierenden Maische und im Wein. In der vorliegenden Arbeit wurde die Sanddornmaische lediglich bis zu drei Stunden gemaischt, weshalb die Ergebnisse nicht gut zu vergleichen sind. Dennoch ergab sich auch bei der Maische der Sanddornbeeren ein Anstieg an Gesamtphenolgehalt bis zu einer bestimmten Behandlungszeit. Ab 2,5 Stunden scheint der Gesamtphenolgehalt wieder herunter zu gehen. Diese Ergebnisse müssen jedoch vorsichtig betrachtet werden, da die hier ermittelte ideale Maischezeit, also die Zeit bei der innerhalb des Versuchsplanes die höchsten Werte an Gesamtphenolgehalt erzielt wurden, sehr nach am Rand des Versuchsplanes liegen. Da es sich um einen quadratischen Versuchsplan handelt und die Werte interpoliert werden darf dieser Wert nicht zu streng genommen werden. Es ist ebenso möglich dass bei einer längeren Maischezeit ein weiterer Anstieg der Gesamtphenole erfolgen würde. Die Vorversuche zumindest zeigten bei der drei Stunden gemaischten Probe höhere Werte als die der zwei Stunden gemaischten. Aus Arbeitszeitgründen war aber eine weitere Erhöhung der Maischezeit innerhalb dieser Arbeit nicht möglich, bzw. sinnvoll.

5.4. Zusammenfassende Diskussion und Ausblick

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Hauptziel der Arbeit, die Erhöhung des Gesamtphenolgehaltes und der antioxidativen Kapazität im Sanddornsaft durch Maischebehandlung nur teilweise erreicht wurde. Zwar ergab sich durch die Maischebehandlung eine Erhöhung des Gesamtphenolgehaltes um 20% im Sanddornsaft, die antioxidative Kapazität konnte jedoch nicht erhöht werden. Auch das Ziel durch HP-Pasteurisation eine Erhöhung der Gesamtphenolgehalte im Vergleich zur thermisch Pasteurisierten Säften zu erzielen, wurde nur bedingt erfüllt. Positiv zu Bewerten ist, dass beide Pasteurisationsarten keinen nennenswerten Verlust zum frischgepressten Sanddornsaft im Bezug auf die antioxidative Kapazität und den Gesamtphenolgehalt im Saft hervorriefen. Erst mit der Lagerung zeigte sich der Vorteil der HPP gegenüber der TP. Hier war der Verlust an Gesamtphenolgehalt und antioxidative Kapazität für die HPP-Probe geringer.

In der vorliegenden Arbeit wurde nur eine Druckbehandlung durchgeführt. Es wäre ratsam, weitere Drücke und Behandlungszeiten der HPP zu testen um die Verluste während der Lagerung weiter zu minimieren. Parallel dazu könnte die Lagertemperatur weiter herabgesetzt werden, die Säfte vor Lagerung entgast und der Kopfraum mit Schutzgas versehen werden. Auch die Zugabe von Antioxidantien wäre möglich. Es könnte zudem Pulsed Electric Field oder Plasma Behandlungen in Betracht gezogen werden.

Die Maischebehandlung könnte noch näher betrachtet werden. So sollten weitere Enzymprodukte mit anderen Enzymzusammensetzungen getestet werden. Es zeigte sich in den Vorversuchen,

dass unterschiedliche Produkte große Unterschiede in ihrer Wirkung auf die Gesamtphenolausbeute haben. Weiter könnte die Maischepasteurisation untersucht werden. Eine Maischepasteurisation vor der Maischebehandlung kann PPO und andere Enzyme inaktivieren, wodurch negative Effekte wie enzymatische Bräunungsreaktionen reduziert würden. Auch sollte die sensorische Qualität der mittels Maische hergestellten Säfte beurteilt werden. Durch die langen Erhitzungszeiten können Aromaverluste sowie Fehlgerüche entstehen. Mittels HPLC könnte näher betrachtet werden welche Antioxidantien im Einzelnen von der Abnahme während der Maische betroffen sind. Auch eine Untersuchung der einzelnen Phenole wäre interessant um eine mögliche Änderung in der Phenolzusammensetzung des Saftes durch die Maischebehandlung zu ermitteln.

6. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss der Verarbeitungstechnik auf den Gesamtphenolgehalt und die antioxidative Kapazität von Sanddornsaft betrachtet. Hauptziel war die Untersuchung der Maischebehandlung im Bezug auf ihr Potential, die antioxidative Kapazität und den Gesamtphenolgehalt im Sanddornsaft zu erhöhen. Zudem sollten optimale Temperatur, Behandlungszeit und Enzymdosierung der Maischebehandlung ermittelt werden.

Untersucht wurden weiter die Pasteurisation und Lagerung des Saftes mit dem Ziel der Verlustminimierung an antioxidativer Kapazität und Gesamtphenolgehalt durch Hochdruckpasteurisation. Es wurden hierzu thermische, hochdruckpasteurisierte und nichtpasteurisierte Proben miteinander verglichen, sowie deren Verluste bei 4°C Lagertemperatur über drei Monate.

Die Versuche wurden im labortechnischen Maßstab durchgeführt. Maischebehandlung der Früchte sowie die thermische Pasteurisation wurden im Thermomix TM3 durchgeführt. Die HPP-Proben wurden extern pasteurisiert. Analysiert wurden die Proben auf Gesamtphenolgehalt mittel Folin-Ciocalteu. Die antioxidative Kapazität wurde mittels FRAP Methode gemessen. Betrachtet wurden zusätzlich die physikalischen Parameter des Saftes, Trockensubstanz, Extraktgehalt, pH-Wert, Farbwerte, sowie Trockensubstanz des Trester und die Saftausbeute.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Hauptziel, die Erhöhung des Gesamtphenolgehaltes und der antioxidativen Kapazität im Sanddornsaft durch Maischebehandlung nur teilweise erreicht wurde. Zwar ergab sich durch die Maischebehandlung eine Erhöhung des Gesamtphenolgehaltes um 20% im Sanddornsaft, die antioxidative Kapazität konnte jedoch nicht erhöht werden. Zudem hat die Maischebehandlung einen negativen Effekt auf die Farbe des Sanddornsaftes. Die Saftproben, in denen eine 20%ige Gesamtphenolsteigerungen erzielt wurde, wiesen einen wesentlichen Farbunterschied im Vergleich zum unbehandelten Sanddornsaft auf.

Auch das Ziel durch die HP-Pasteurisation eine Verlustminimierung des Gesamtphenolgehaltes und der antioxidativen Kapazität im Sanddornsaft zu erzielen, wurde nur bedingt erfüllt. Direkt nach der Pasteurisation wiesen sowohl die HP-pasteurisierten also auch die thermisch pasteurisierten Proben keine nennenswerten Unterschiede zum unbehandelten Sanddornsaft auf. Dies kann als positives Ergebnis gewertet werden. Erst mit der Lagerung zeigte sich der Vorteil der Hochdruckpasteurisation gegenüber der thermischen Pasteurisation. Hier war der Verlust an Gesamtphenolgehalt und antioxidativer Kapazität geringer. Mit 9% Gesamtphenolgehalt und 29% antioxidative Kapazität, war dieser jedoch immernoch erheblich. Die thermisch pasteurisierten Proben hatten im Vergleich 16% Verlust an Gesamtphenolgehalt und 39% Verlust an antioxidativer Kapazität.

Ein weiterer Vorteil der Hochdruckpasteurisation stellt die Farbstabilität da. Während bei den thermisch pasteurisierten Proben, Pasteurisation und Lagerung einen erheblichen Farbunterschied

im Saft hervorriefen, war dieser bei den HPP-Proben geringfügig.

Die Versuche dieser Arbeit zeigten vor allem, dass die Lagerung einen erheblichen negativen Einfluss auf den Gesamtphenolgehalt, die antioxidative Kapazität und die Farbe des Sanddornsafte hat. Weiter zeigte sich, dass die HP-Pasteurisation der thermischen vorzuziehen ist, da bei dieser die genannten negativen Einflüsse während der Lagerung geringer sind. Die Maischebehandlung muss kritisch betrachtet werden. Zwar wurde eine Erhöhung des Gesamtphenolgehaltes erzielt, nicht jedoch die der antioxidativen Kapazität. Weitere analytische Untersuchungen sind nötig um detailliertere Aussagen über die Antioxidantienveränderungen durch die Maischebehandlung treffen zu können. Zudem sollten die Säfte auf ihre sensorische Akzeptanz getestet werden.

7. Literaturverzeichnis

Alexandrakis, Z., Kyriakopoulou, K., Katsaros, G., Krokida, M., & Taoukis, P. (2014). Selection of process conditions for high pressure pasteurization of sea buckthorn juice retaining high anti-oxidant activity. *Food and bioprocess technology*, 7(11), 3226-3234.

Andersson, S. C., Ekholm, A., Johansson, E., Olsson, M. E., Sjöholm, I., Nyberg, L., Rumpunen, K. (2015). Effect of storage time and temperature on stability of bioactive compounds in aseptically packed beverages prepared from rose hips and sea buckthorn berries. *Agricultural and Food Science*, 24(4), 273-288.

Arimboor, R., Kumar, K. S., & Arumughan, C. (2008). Simultaneous estimation of phenolic acids in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) using RP-HPLC with DAD. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 47(1), 31-38..

Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, 239(1), 70-76.

Bermejo-Prada, A., & Otero, L. (2016). Effect of hyperbaric storage at room temperature on color degradation of strawberry juice. *Journal of food engineering*, 169, 141-148.

Beveridge, T., Li, T. S., Oomah, B. D., & Smith, A. (1999). Sea buckthorn products: manufacture and composition. *Journal of agricultural and food chemistry*, 47(9), 3480-3488.

Blaszczyk, W., Amarowicz, R., & Gorecki, A. R. (2017). Antioxidant capacity, phenolic composition and microbial stability of aronia juice subjected to high hydrostatic pressure processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 39, 141-147.

Borowska, E. J., Szajdek, A., & Czaplicki, S. (2009). Effect of heat and enzyme treatment on yield, phenolic content and antioxidant capacity of juices from chokeberry mash. *Italian Journal of Food Science*, 21(2).

Buggenhout, S., Messagie, I., Van der Plancken, I., & Hendrickx, M. (2006). Influence of high-pressure-low-temperature treatments on fruit and vegetable quality related enzymes. *European Food Research and Technology*, 223(4), 475.

Cervantes-Elizarraras, A., Piloni-Martini, J., Ramirez-Moreno, E., Alanis-Garcia, E., Güemes-Vera, N., Gomez-Aldapa, C. A., ... & del Socorro Cruz-Cansino, N. (2017). Enzymatic inactivation and antioxidant properties of blackberry juice after thermoultrasound: Optimization using response surface methodology. *Ultrasonics sonochemistry*, 34, 371-379.

Chauhan, A. S., Rekha, M. N., Ramteke, R. S., & Eipeson, W. E. (2003). Seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* Lin.) berries: Harnessing its potential for processing. *Journal of food science and technology*, 40(4), 349-356.

Chang, Y. H., Wu, S. J., Chen, B. Y., Huang, H. W., & Wang, C. Y. (2017). Effect of high pressure processing and thermal pasteurization on overall quality parameters of white grape juice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(10), 3166-3172.

Christaki, E. (2012). *Hippophae Rhamnoides* L.(Sea Buckthorn): a potential source of nutraceuticals. *Food and Public Health*, 2(3), 69-72.

Garcia-Parra, J., Gonzalez-Cebrino, F., Delgado, J., Cava, R., & Ramirez, R. (2016). High pressure assisted thermal processing of pumpkin purée: Effect on microbial counts, color, bioactive compounds and polyphenoloxidase enzyme. *Food and Bioproducts Processing*, 98, 124-132.

Goyal, A. K., Basistha, B. C., Sen, A., & Middha, S. K. (2011). Antioxidant profiling of *Hippophae salicifolia* growing in sacred forests of Sikkim, India. *Functional Plant Biology*, 38(9), 697-701.

Guo, R., Guo, X., Li, T., Fu, X., & Liu, R. H. (2017). Comparative assessment of phytochemical profiles, antioxidant and antiproliferative activities of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries. *Food chemistry*, 221, 997-1003.

Gutzeit, D., Baleanu, G., Winterhalter, P., & Jerz, G. (2008). Vitamin C content in sea buckthorn berries (*Hippophae rhamnoides* L. ssp. *rhamnoides*) and related products: A kinetic study on storage stability and the determination of processing effects. *Journal of food science*, 73(9).

Haller, D., Grune, T., & Rimbach, G. (2013). *Biofunktionalität der Lebensmittelinhaltsstoffe*. Springer Berlin Heidelberg.

Hartmann, A. (2007). Bestimmung der Gesamtphenole und der Anthocyane sowie der antioxidativen Kapazität von Erdbeeren vor und nach technologischer Verarbeitung: Untersuchungen zur Farbstabilität (Haute Ecole d'Ingénierie).

Häkkinen, S., Heinonen, M., Kärenlampi, S., Mykkänen, H., Ruuskanen, J., & Törrönen, R. (1999). Screening of selected flavonoids and phenolic acids in 19 berries. *Food Research International*, 32(5), 345-353.

Heilscher, K., & Morsel, J. T. (2002). FACHTHEMEN-Sanddornbeere—altbekannt und sehr innovativ. *Flussiges Obst*, 69(5), 311-317.

Huang, H. W., Wu, S. J., Lu, J. K., Shyu, Y. T., & Wang, C. Y. (2017). Current status and future trends of high-pressure processing in food industry. *Food Control*, 72, 1-8.

HunterLab (2013). ColorFlex EZ user manual.

Janssen, J., & Laatz, W. (2010). *Statistische Datenanalyse mit SPSS*. 7., neu bearbeitete und erweiterte Auflage.

Kanayama, Y., Kato, K., Stobdan, T., Galitsyn, G. G., Kochetov, A. V., & Kanahama, K. (2012). Research progress on the medicinal and nutritional properties of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*)-a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 87(3), 203-210.

Korekar, G., Stobdan, T., Singh, H., Chaurasia, O., & Singh, S. (2011). Phenolic content and antioxidant capacity of various solvent extracts from seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) fruit pulp, seeds, leaves and stem bark. *Acta Alimentaria*, 40(4), 449-458.

Oszmianski, J., Wojdylo, A., & Kolniak, J. (2011). Effect of pectinase treatment on extraction of antioxidant phenols from pomace, for the production of puree enriched cloudy apple juices. *Food chemistry*, 127(2), 623-631.

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

Liu, R. H. (2013). Dietary bioactive compounds and their health implications. *Journal of food science*, 78(s1).

Li, T. S., & Beveridge, T. H. (2003). Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) production and utilization. NRC Research Press.

Liu, R. H. (2013). Health-promoting components of fruits and vegetables in the diet. *Advances in Nutrition: An International Review Journal*, 4(3), 384S-392S.

Markowski, J., Mieszczakowska, M., & Plocharski, W. (2009). Effect of apple cultivar and en-

zyme treatment on phenolic compounds content during clear apple juice production. *International journal of food science & technology*, 44(5), 1002-1010.

Mayer, A. M. (2006). Polyphenol oxidases in plants and fungi: going places? A review. *Phytochemistry*, 67(21), 2318-2331.

Mäkilä, L., Laaksonen, O., Kallio, H., & Yang, B. (2017). Effect of processing technologies and storage conditions on stability of black currant juices with special focus on phenolic compounds and sensory properties. *Food chemistry*, 221, 422-430.

Nikfardjam, M. P., Kopp, M., Hempfling, K., & Engel, K. H. (2013). Ascorbic acid contents, polyphenol contents and antioxidative capacity of fresh gooseberries. *Mitteilungen Klosterneuburg, Rebe und Wein, Obstbau und Früchteverwertung*, 63(4), 213-222.

Nile, Shivraj Hariram und Se Won Park (2014). "Edible berries: Bioactive components and their effect on human health". In: *Nutrition* 30.2, S. 134–144.

Pour Nikfardjam, M. S. (2001). Polyphenole in Weißweinen und Traubensäften und ihre Veränderung im Verlauf der Herstellung (Doctoral dissertation, Universitätsbibliothek Giessen).

Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(10), 4290-4302..

Rechner, Andreas (2001). "Einfluss der Verarbeitungstechnik auf die Polyphenole und antioxidative Kapazität von Apfel-und Beerenobstsäften". Diss. Universitätsbibliothek Giessen.

Rechner, A. (2001). Einfluss der Verarbeitungstechnik auf die Polyphenole und antioxidative Kapazität von Apfel-und Beerenobstsäften (Doctoral dissertation, Universitätsbibliothek Giessen).

Rop, O., Ercişli, S., Mlcek, J., Jurikova, T., & Hoza, I. (2014). Antioxidant and radical scavenging activities in fruits of 6 sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(2), 224-232.

Rösch, D., Bergmann, M., Knorr, D., & Kroh, L. W. (2003). Structure-antioxidant efficiency relationships of phenolic compounds and their contribution to the antioxidant activity of sea buckthorn juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(15), 4233-4239.

Saeidi, K., Alirezalu, A., & Akbari, Z. (2016). Evaluation of chemical constitute, fatty acids and antioxidant activity of the fruit and seed of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) grown wild

in Iran. Natural product research, 30(3), 366-368.

Selvamuthukumaran, M., & Khanum, F. (2014). Optimization of spray drying process for developing seabuckthorn fruit juice powder using response surface methodology. Journal of food science and technology, 51(12), 3731-3739.

Schobinger, U. und Frucht-und Gemüsesäfte (1987). "Handbuch der Lebensmitteltechnologie". In: Frucht-und Gemüsesäfte. Ulmer, Stuttgart.

Siddiq, M., & Dolan, K. D. (2017). Characterization of polyphenol oxidase from blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). Food chemistry, 218, 216-220.

Silva, F. V., & Gibbs, P. (2004). Target selection in designing pasteurization processes for shelf-stable high-acid fruit products. Critical reviews in food science and nutrition, 44(5), 353-360.

Singh, S., & Shalini, R. (2016). Effect of hurdle technology in food preservation: a review. Critical reviews in food science and nutrition, 56(4), 641-649.

Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. Methods in enzymology, 299, 152-178.

Singleton, V. L., & Cilliers, J. J. (1995). Phenolic browning: a perspective from grape and wine research.

Tiitinen, K. M., Hakala, M. A., & Kallio, H. P. (2005). Quality components of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) varieties. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53(5), 1692-1699.

Varshneya, C., Kant, V., & Mehta, M. (2012). Total phenolic contents and free radical scavenging activities of different extracts of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides*) pomace without seeds. International journal of food sciences and nutrition, 63(2), 153-159.

Wheeler, B.&Betsch,R. (2003). ECHIP Reference Manual. Software for the Design of Experiments. Hockessin.

Wilfred, V., & Nicholson, R. (2006). Phenolic compound biochemistry. Springer.

Zadernowski, R., Naczki, M., Czaplicki, S., Rubinskiene, M., & Szalkiewicz, M. (2005). Composition of phenolic acids in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries. Journal of the American Oil Chemists' Society, 82(3), 175-179..

Zeb, A. (2004). Chemical and nutritional constituents of sea buckthorn juice. Pakistan Journal

of Nutrition, 3(2), 99-106.

Zielinski, A. A. F., Alberti, A., Braga, C. M., da Silva, K. M., Canteri, M. H. G., Mafra, L. I., & Wosiacki, G. (2014). Effect of mash maceration and ripening stage of apples on phenolic compounds and antioxidant power of cloudy juices: A study using chemometrics. *LWT-Food Science and Technology*, 57(1), 223-229.

8. Anhang

A. Stand der Wissenschaft

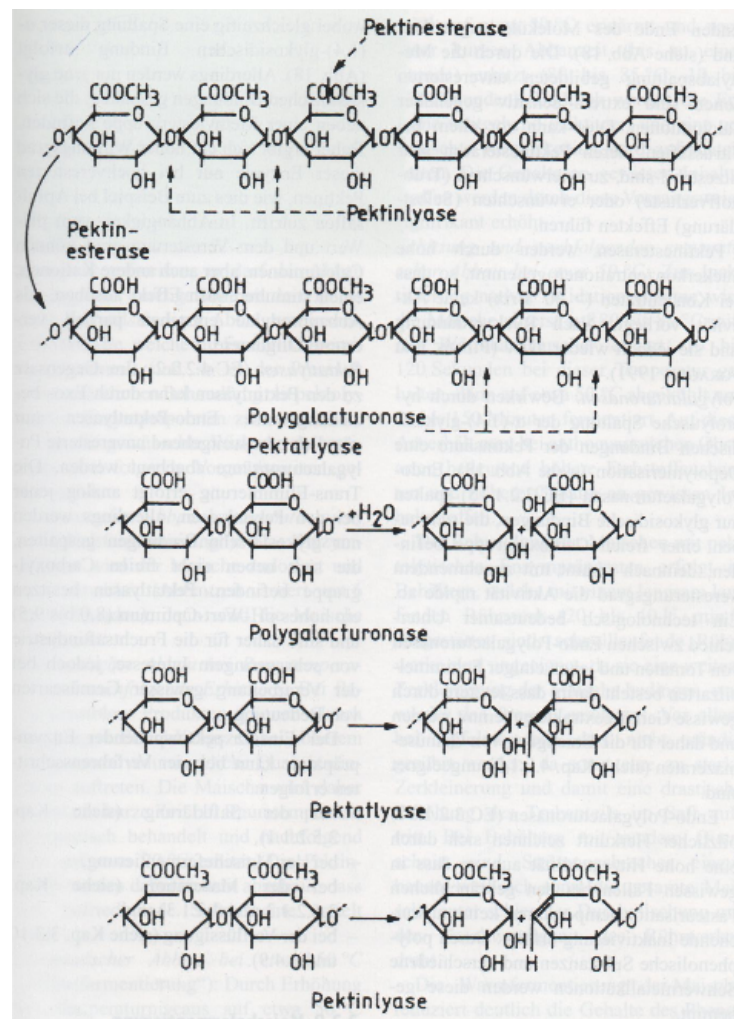


Abbildung A.1.: Maischeenzyme (Schobinger, 1987)

Table 1-1. Classification of phenolic compounds

Structure	Class
C ₆	simple phenolics
C ₆ - C ₁	phenolic acids and related compounds
C ₆ - C ₂	acetophenones and phenylacetic acids
C ₆ - C ₃	cinnamic acids, cinnamyl aldehydes, cinnamyl alcohols
C ₆ - C ₃	coumarins, isocoumarins, and chromones
C ₁₅	chalcones, aurones, dihydrochalcones
C ₁₅	flavans
C ₁₅	flavones
C ₁₅	flavanones
C ₁₅	flavanonols
C ₁₅	anthocyanidins
C ₁₅	anthocyanins
C ₃₀	biflavonyls
C ₆ -C ₁ -C ₆ , C ₆ -C ₂ -C ₆	benzophenones, xanthenes, stilbenes
C ₆ , C ₁₀ , C ₁₄	quinones
C ₁₈	betacyanins
Lignans, neolignans	dimers or oligomers
Lignin	polymers
Tannins	oligomers or polymers
Phlobaphenes	polymers

Table 2Contents of phenolics in Sea buckthorn subspecies (mg/100 g DW) (mean \pm SD, n = 3).

Phenolic content (mg/100 g DW)	Subspecies				Average
	Sinensis	Yunnanensis	Mongolica	Turkestanica	
Total phenolic acids					
GA (1)	37.9 \pm 1.2 d	97.9 \pm 2.8 a	69.4 \pm 2.2 b	46.3 \pm 2.2 c	62.9 \pm 23.4
PA (2)	20.1 \pm 1.4b	28.7 \pm 2.6 a	15.1 \pm 0.3 c	15.3 \pm 0.7 c	19.8 \pm 5.7
FA (3)	12.1 \pm 0.1 d	64.6 \pm 1.6 a	51.5 \pm 1.9 b	29.3 \pm 2.0 c	39.3 \pm 20.2
	5.72 \pm 0.25 a	4.71 \pm 0.23 b	2.85 \pm 0.08 c	1.77 \pm 0.11 d	3.76 \pm 1.55
Total flavones					
CE (4)	25.2 \pm 0.3 d	39.4 \pm 1.3 a	31.8 \pm 0.4 b	27.3 \pm 0.9 c	30.9 \pm 5.5
Epi (5)	8.18 \pm 0.91 b	11.9 \pm 1.1 a	8.32 \pm 0.18 b	7.60 \pm 0.34 b	8.99 \pm 1.84
QE (6)	1.70 \pm 0.04 b	4.51 \pm 0.19 a	0.82 \pm 0.06 c	1.51 \pm 0.06 b	2.14 \pm 1.41
KA (7)	4.02 \pm 0.24 c	6.38 \pm 0.20 a	6.67 \pm 0.15 a	4.95 \pm 0.17 b	5.51 \pm 7.04
IS (8)	1.02 \pm 0.03 d	1.50 \pm 0.04 a	1.30 \pm 0.04 b	1.11 \pm 0.02 c	1.23 \pm 0.19
	10.3 \pm 0.5 c	15.1 \pm 0.2 a	14.7 \pm 0.5 a	12.2 \pm 0.7 b	13.1 \pm 2.0
Total flavonoid-monoglycosides					
Q3R (9)	179 \pm 4 a	148 \pm 2 b	147 \pm 5 b	113 \pm 2 c	147 \pm 24
Q3G (10)	28.8 \pm 1.4 c	23.0 \pm 0.8 d	44.6 \pm 1.2 a	35.3 \pm 1.6 b	32.9 \pm 8.2
I3R (11)	40.2 \pm 1.4 b	49.5 \pm 3.0 a	37.8 \pm 2.1 b	31.2 \pm 2.9 c	39.7 \pm 7.0
I3G (12)	84.0 \pm 2.2 a	58.8 \pm 1.1 b	52.9 \pm 1.5 c	38.7 \pm 2.3 d	58.6 \pm 16.5
	26.0 \pm 1.4 a	17.1 \pm 1.7 b	11.4 \pm 0.7 c	7.61 \pm 0.40 d	15.5 \pm 7.0
Total flavonoid-diglycosides					
K-3-S-7-Rh (13)	212 \pm 4 b	311 \pm 12 a	208 \pm 1 b	199 \pm 7 b	233 \pm 46
I-3-S-7-Rh (14)	34.1 \pm 2.7 c	49.6 \pm 1.4 b	34.8 \pm 1.3 c	61.6 \pm 1.2 a	45.0 \pm 11.6
I-3-G-7-Rh (15)	43.7 \pm 1.5 b	74.6 \pm 1.5 a	15.2 \pm 0.7 d	25.5 \pm 0.8 c	39.7 \pm 22.6
	134 \pm 4 c	187 \pm 10 a	158 \pm 3 b	112 \pm 6 d	148 \pm 29
Total phenolics	454 \pm 9 b	597 \pm 14 a	456 \pm 5 b	385 \pm 9 c	473 \pm 78

Values with different letters in the same row indicated a significant difference ($p < 0.05$). Where compounds 1–15 are represented as: GA: gallic acid (1), PA: protocatechuic acid (2), FA: ferulic acid (3), CE: catechin (4), Epi: epicatechin (5), QE: quercetin (6), KA: kaempferol (7), IS: isorhamnetin (8), Q3R: quercetin-3-O-rutinoside (9), Q3G: quercetin-3-O-glucoside (10), I3R: isorhamnetin-3-O-rutinoside (11), I3G: isorhamnetin-3-O-glucoside (12), K-3-S-7-Rh: kaempferol-3-O-sophoroside-7-O-rhamnoside (13), I-3-S-7-Rh: isorhamnetin-3-O-sophoroside-7-O-rhamnoside (14), I-3-G-7-Rh: isorhamnetin-3-O-glucoside-7-O-rhamnoside (15).

Abbildung A.3.: Phenole im Sanddorn (Guo et. al, 2017)

Total Phenols, Total Phenolic and Related Acids, and Contributions of Phenolic Acid Fractions in Sea Buckthorn Berries

Sample	Total phenols (g/kg d.m. ^a)	Total phenolic acids (mg/kg d.m.)	Total related acids (mg/kg d.m.)	Free phenolic acids (%) ^b	Phenolic acids liberated from	
					Esters (%) ^b	Glycosides (%) ^b
Nadbattycka	8.82 ± 0.93	3746.2 ± 364.0 ^a	818.9 ± 70.0	1.9 ± 0.2 ^a	53.9 ± 7.5 ^a	44.2 ± 5.2 ^a
Nevlejena	12.65 ± 1.98 ^a	4439.2 ± 405.0	313.4 ± 45.9 ^a	2.2 ± 0.2 ^b	55.7 ± 5.7 ^a	42.1 ± 4.7 ^a
Otradnaja	13.08 ± 1.12 ^a	3883.4 ± 259.0 ^{a,b}	16.9 ± 1.5	1.8 ± 0.2 ^a	60.8 ± 4.7 ^b	37.4 ± 4.6 ^b
Podarok Sadu	12.51 ± 1.65 ^a	3887.4 ± 208.0 ^{a,b,c}	78.0 ± 4.6	1.3 ± 0.1	64.5 ± 4.2 ^{b,c}	34.2 ± 5.5 ^c
Trofimovskaja	13.45 ± 0.20 ^a	3570.7 ± 282.5 ^{a,b,c,d}	324.3 ± 22.4 ^a	1.6 ± 0.2	66.6 ± 6.9 ^c	31.8 ± 2.9 ^c
Hybrid 29-88	14.42 ± 1.87 ^a	3573.7 ± 204.0 ^{a,b,d}	551.9 ± 50.7	2.3 ± 0.2 ^b	61.7 ± 5.0 ^{b,c}	36.0 ± 2.7 ^{b,c}

^amg (+)-catechin equivalents per kg of dry matter (d.m.) of berries.

^bPercentage of the total phenolic acids as determined by GC-MS methodology; values for the same column marked by the same letter are not significantly different ($n = 6$; t -test; $P > 0.05$).

Free Phenolic Acids in Sea Buckthorn Berries (mg per kg of dry matter of berries)

Acid	Nadbattycka	Nevlejena	Otradnaja	Podarok Sadu	Trofimovskaja	Hybrid 29-88
Hydroxybenzoic acid derivatives						
2,5-Dihydroxybenzoic	1.0 ± 0.1	6.1 ± 0.7	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.0	3.1 ± 0.4
Gallic	2.3 ± 0.3	1.2 ± 0.1	1.9 ± 0.2	1.0 ± 0.6	1.1 ± 0.2	4.6 ± 0.5
Pyrocatechuic	0.9 ± 0.1	2.5 ± 0.3	6.3 ± 0.1	0.8 ± 0.0	1.0 ± 0.1	2.4 ± 0.2
Protocatechuic	4.0 ± 0.2	1.4 ± 0.2	4.3 ± 0.5	0.9 ± 0.1	1.0 ± 0.1	0.7 ± 0.1
Salicylic	38.7 ± 4.9	47.5 ± 5.9	21.0 ± 3.3	33.9 ± 1.4	25.0 ± 3.8	35.1 ± 4.5
Vanillic	0.8 ± 0.1	0.5 ± 0.1	1.8 ± 0.2	1.3 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.9 ± 0.1
Hydroxycinnamic acid derivatives						
Caffeic	0.9 ± 0.1	4.3 ± 0.5	6.6 ± 0.3	1.8 ± 0.1	6.7 ± 0.8	— ^a
<i>m</i> -Coumaric	0.8 ± 0.1	3.8 ± 0.4	6.1 ± 0.4	0.3 ± 0.1	5.6 ± 0.6	4.4 ± 0.5
<i>o</i> -Coumaric	2.2 ± 0.3	13.3 ± 1.0	8.1 ± 1.0	5.0 ± 0.3	3.1 ± 0.5	—
<i>p</i> -Coumaric	9.8 ± 1.0	5.8 ± 1.0	6.0 ± 0.4	1.4 ± 0.2	2.6 ± 0.2	7.8 ± 0.5
Other phenolic acids						
<i>p</i> -Hydroxyphenyl-l-lactic	9.5 ± 0.5	12.8 ± 2.5	9.1 ± 0.8	5.3 ± 0.6	8.8 ± 0.6	24.7 ± 2.2
Total phenolic acids	70.9 ± 5.0	99.2 ± 6.6	71.3 ± 3.6	51.9 ± 1.7	55.5 ± 4.0	83.7 ± 5.1

^a—, Not detected.

Abbildung A.5.: Phenolsäuren im Sanddorn (Zadernowski et. al., 2005)

Phenolic and Related Acids Liberated from Esters in Sea Buckthorn Berries (mg per kg of dry matter of berries)

Acid	Nadbaltycka	Nevlejena	Otradnaja	Podarok Sadu	Trofimowskaja	Hybrid 29-88
Hydroxybenzoic acid derivatives						
25-Dihydroxybenzoic	30.8 ± 4.5	10.8 ± 1.9	— ^a	79.3 ± 8.6	61.1 ± 7.2	62.1 ± 3.2
Galic	146.3 ± 19.0	504.3 ± 60.0	988.0 ± 60.0	485.0 ± 40.0	1008.0 ± 120.0	184.4 ± 20.5
<i>p</i> -Hydroxybenzoic	3.7 ± 0.5	—	—	14.5 ± 0.3	—	20.0 ± 2.5
Pyrocatechuic	0.2 ± 0.0	23.3 ± 3.0	32.1 ± 3.5	12.0 ± 1.9	0.6 ± 0.1	—
3,4-Dihydroxycinnamic	7.8 ± 0.8	26.4 ± 3.0	24.4 ± 3.6	27.3 ± 1.9	5.9 ± 0.6	15.0 ± 2.0
Protocatechuic	106.0 ± 10.9	90.5 ± 10.0	118.0 ± 20.9	54.6 ± 6.7	100.4 ± 10.5	125.0 ± 18.9
Salicylic	1558.0 ± 200.0	1726.4 ± 100.0	1004.1 ± 59.8	1348.5 ± 80.5	1050.0 ± 100.0	1522.2 ± 120.0
Vanillic	0.8 ± 0.1	16.4 ± 2.5	0.7 ± 0.1	—	—	14.3 ± 2.1
Veratric	3.3 ± 0.3	26.4 ± 3.5	63.0 ± 7.0	10.7 ± 1.8	15.1 ± 1.9	21.2 ± 2.0
Hydroxycinnamic acid derivatives						
Caffeic	6.3 ± 0.9	9.3 ± 1.0	—	10.8 ± 1.5	15.8 ± 2.1	15.7 ± 2.9
<i>m</i> -Coumaric	18.3 ± 2.2	18.1 ± 2.0	—	86.4 ± 4.8	23.3 ± 2.9	45.1 ± 5.5
<i>o</i> -Coumaric	12.5 ± 1.8	9.8 ± 1.0	—	10.0 ± 1.9	—	4.3 ± 0.6
<i>p</i> -Coumaric	101.9 ± 15.0	—	104.3 ± 10.9	290.8 ± 30.9	90.3 ± 10.0	133.0 ± 15.8
Ferulic	5.1 ± 0.6	—	13.0 ± 2.0	17.8 ± 3.0	—	11.0 ± 0.1
Hydroxycaffeic	19.8 ± 2.5	9.5 ± 0.6	14.5 ± 2.7	58.5 ± 7.0	9.1 ± 1.0	30.0 ± 7.8
Related acids						
Quinic	9.2 ± 0.4	13.0 ± 1.5	13.8 ± 1.5	—	190.7 ± 20.0	72.1 ± 5.3
Cinnamic	803.9 ± 70.0	300.4 ± 45.9	0.8 ± 0.1	74.5 ± 4.5	130.4 ± 15.0	474.5 ± 50.0
Total phenolic acids	2020.8 ± 201.8	2471.2 ± 117.2	2362.1 ± 88.4	2506.2 ± 96.2	2379.6 ± 157.1	2203.3 ± 124.7

^a—, Not detected.

Abbildung A.6.: Phenolsäuren im Sanddorn (Zadernowski et. al., 2005)

B. Materail und Methode

Tabelle B.1.: Herstellerangaben verwendete Chemikalien

Chemikalien	CAS-Nummer	Hersteller
Acetrat Puffer	-	Morphisto GmbH
Folin-Ciocalteu-Reagenz	-	Fluka
Methanol	67-56-1	BDH Prolabo
Ottawa Sand	-	Fischer Scientific
Trolox	53188-07-1	Cayman chemical company
Gallussäure	-	Cayman chemical company
TPTZ _{(2,4,6-Tris(2-pyridil)-s-triazine)}	3682-35-7	Sigma-Aldrich
Na ₂ CO ₃	497-19-6	Sigma-Aldrich
Essigsäure	64-19-7	Sigma-Aldrich

Tabelle B.2.: Versuchsplan Maischehaptversuch

Versuchsnummer	Maischetemperatur °C	Maischestandzeit h	Enzymdosierung ml/kg
5	60	3	2,25
4	37	1	2,25
3	37	3	0,75
4	37	1	2,25
14	60	2	2,25
8	50	2	2,25
1	37	3	2,25
13	50	1	0,75
5	60	3	2,25
2	60	2	0,75
3	37	3	0,75
12	50	3	0,75
1	37	3	2,25
9	37	1	0,75
2	60	2	0,75
15	37	2	0,75
11	60	3	1,5
10	60	1	1,5
6	50	3	1,5
7	37	2	1,5

C. Ergebnisse

C.1. Pasteurisationsversuch

		N	Mittelwert	Std. Abweichung	Standardfehler	95% Konfidenzintervall für Mittelwert		Minimum	Maximum
						Untere Grenze	Obere Grenze		
Gesamtpolyphenolgehalt _{TM}	1,00	3	2260,22	64,11	37,02	2100,96	2419,48	2206,97	2331,38
	2,00	3	2142,30	106,72	61,61	1877,20	2407,40	2036,06	2249,49
	3,00	3	2249,48	36,31	20,96	2159,29	2339,67	2218,28	2289,33
	4,00	3	2296,04	47,27	27,29	2178,62	2413,46	2267,99	2350,62
	Gesamt	12	2237,01	83,96	24,24	2183,66	2290,36	2036,06	2350,62
antioxidative Kapazität _{TM}	1,00	3	26,56	,45	,26	25,45	27,68	26,25	27,08
	2,00	3	25,38	2,15	1,24	20,05	30,72	23,04	27,27
	3,00	3	27,76	1,03	,59	25,20	30,32	26,84	28,87
	4,00	3	29,06	,49	,29	27,83	30,28	28,70	29,62
	Gesamt	12	27,19	1,77	,51	26,06	28,32	23,04	29,62
Gesamtphenolgehalt _{FM}	1,00	3	230,95	4,12	2,38	220,71	241,18	228,49	235,70
	2,00	3	222,31	9,27	5,35	199,28	245,34	212,56	231,02
	3,00	3	234,54	3,91	2,26	224,82	244,26	231,70	239,01
	4,00	3	228,95	2,84	1,64	221,89	236,01	225,67	230,60
	Gesamt	12	229,19	6,67	1,93	224,95	233,43	212,56	239,01
antioxidative Kapazität _{FM}	1,00	3	2,71	,03	,02	2,65	2,78	2,69	2,74
	2,00	3	2,63	,20	,12	2,13	3,14	2,41	2,80
	3,00	3	2,89	,09	,05	2,67	3,12	2,80	2,99
	4,00	3	2,90	,02	,01	2,84	2,96	2,87	2,92
	Gesamt	12	2,78	,15	,04	2,69	2,88	2,41	2,99

Abbildung C.1.: Deskriptive Statistik inkl. SD für nicht verwendeten HTST-Versuch
Legende: 1,00=HPP, 2,00=HTST, 3,00=thermische Pasteurisation, 4,00=ohne Pasteurisation

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Safttrockensubstanz	Zwischen Gruppen	,31	2	,15	8,61	,017
	Innerhalb Gruppen	,11	6	,02		
	Gesamt	,42	8			
Extraktgehalt	Zwischen Gruppen	,25	2	,12	6,37	,033
	Innerhalb Gruppen	,12	6	,02		
	Gesamt	,36	8			
L	Zwischen Gruppen	5,20	2	2,60	17,49	,003
	Innerhalb Gruppen	,89	6	,15		
	Gesamt	6,09	8			
a	Zwischen Gruppen	3,51	2	1,75	7,07	,026
	Innerhalb Gruppen	1,49	6	,25		
	Gesamt	5,00	8			
b	Zwischen Gruppen	50,27	2	25,14	249,95	,000
	Innerhalb Gruppen	,60	6	,10		
	Gesamt	50,88	8			
pH	Zwischen Gruppen	,17	2	,09	81,69	,000
	Innerhalb Gruppen	,01	6	,00		
	Gesamt	,18	8			

Abbildung C.2.: Einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA)
Legende: 1,00=HPP, 3,00=thermische Pasteurisation, 4,00=ohne Pasteurisation

C.2. Lagerversuch

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Gesamtpolyphenolgehalt _{TM}	Zwischen Gruppen	3566,69	2	1783,34	,70	,534
	Innerhalb Gruppen	15325,61	6	2554,27		
	Gesamt	18892,30	8			
antioxidativeKapazität _{TM}	Zwischen Gruppen	,76	2	,38	1,22	,359
	Innerhalb Gruppen	1,86	6	,31		
	Gesamt	2,62	8			
Gesamtphenolgehalt _{FM}	Zwischen Gruppen	48,23	2	24,11	1,79	,245
	Innerhalb Gruppen	80,76	6	13,46		
	Gesamt	128,99	8			
antioxidativeKapazität _{FM}	Zwischen Gruppen	,01	2	,00	,90	,457
	Innerhalb Gruppen	,03	6	,01		
	Gesamt	,04	8			

Abbildung C.3.: Einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA)

Legende: 1,00=HPP, 3,00=thermische Pasteurisation, 4,00=ohne Pasteurisation

		N	Mittelwert	Std. Abweichung	Standardfehler	95% Konfidenzintervall für Mittelwert		Minimum	Maximum
						Untere Grenze	Obere Grenze		
Safttrockensubstanz	1,00	3	10,22	,13	,07	9,90	10,54	10,11	10,36
	3,00	3	10,43	,08	,05	10,23	10,63	10,34	10,50
	4,00	3	9,97	,18	,10	9,54	10,41	9,81	10,16
	Gesamt	9	10,21	,23	,08	10,03	10,38	9,81	10,50
Extraktgehalt	1,00	3	6,84	,22	,13	6,29	7,40	6,60	7,03
	3,00	3	6,44	,02	,01	6,40	6,48	6,43	6,46
	4,00	3	6,63	,09	,05	6,41	6,86	6,53	6,70
	Gesamt	9	6,64	,21	,07	6,48	6,80	6,43	7,03
L	1,00	3	55,39	,31	,18	54,63	56,15	55,12	55,72
	3,00	3	56,58	,51	,29	55,31	57,85	56,09	57,11
	4,00	3	54,75	,30	,17	54,00	55,50	54,51	55,09
	Gesamt	9	55,57	,87	,29	54,90	56,24	54,51	57,11
a	1,00	3	34,96	,15	,09	34,59	35,33	34,87	35,13
	3,00	3	33,66	,85	,49	31,56	35,76	32,77	34,45
	4,00	3	35,01	,09	,05	34,78	35,24	34,96	35,12
	Gesamt	9	34,55	,79	,26	33,94	35,15	32,77	35,13
b	1,00	3	71,96	,29	,17	71,25	72,68	71,72	72,28
	3,00	3	77,52	,26	,15	76,88	78,15	77,26	77,77
	4,00	3	73,32	,39	,23	72,35	74,30	72,96	73,74
	Gesamt	9	74,27	2,52	,84	72,33	76,21	71,72	77,77
pH	1,00	3	2,57	,01	,01	2,55	2,59	2,56	2,58
	3,00	3	2,52	,06	,03	2,38	2,65	2,48	2,58
	4,00	3	2,83	,01	,00	2,82	2,85	2,83	2,84
	Gesamt	9	2,64	,15	,05	2,53	2,75	2,48	2,84

Abbildung C.4.: Deskriptive Statistik

Legende: 1,00=HPP, 3,00=thermische Pasteurisation, 4,00=ohne Pasteurisation

		N	Mittelwert	Std. Abweichung	Standardfehler	95% Konfidenzintervall für Mittelwert		Minimum	Maximum
						Untere Grenze	Obere Grenze		
Gesamtpolyphenolgehalt _{TM}	1,00	3	2260,22	64,11	37,02	2100,96	2419,48	2206,97	2331,38
	3,00	3	2249,48	36,31	20,96	2159,29	2339,67	2218,28	2289,33
	4,00	3	2296,04	47,27	27,29	2178,62	2413,46	2267,99	2350,62
	Gesamt	9	2268,58	48,60	16,20	2231,23	2305,94	2206,97	2350,62
antioxidativeKapazität _{TM}	1,00	3	33,16	,56	,32	31,77	34,55	32,55	33,65
	3,00	3	32,72	,76	,44	30,84	34,61	31,88	33,36
	4,00	3	33,43	,20	,12	32,92	33,93	33,22	33,63
	Gesamt	9	33,10	,57	,19	32,66	33,54	31,88	33,65
Gesamtphenolgehalt _{FM}	1,00	3	230,95	4,12	2,38	220,71	241,18	228,49	235,70
	3,00	3	234,54	3,91	2,26	224,82	244,26	231,70	239,01
	4,00	3	228,95	2,84	1,64	221,89	236,01	225,67	230,60
	Gesamt	9	231,48	4,02	1,34	228,39	234,57	225,67	239,01
antioxidativeKapazität _{FM}	1,00	3	3,39	,04	,02	3,30	3,48	3,36	3,43
	3,00	3	3,41	,10	,06	3,16	3,66	3,30	3,48
	4,00	3	3,33	,07	,04	3,16	3,51	3,26	3,40
	Gesamt	9	3,38	,07	,02	3,32	3,43	3,26	3,48

Abbildung C.5.: Deskriptive Statistik

Legende: 1,00=HPP, 3,00=thermische Pasteurisation, 4,00=ohne Pasteurisation

	Levene Statistik	df1	df2	Sig.
Safttrockensubstanz	,80	2	6	,493
Extraktgehalt	4,87	2	6	,055
L	,44	2	6	,664
a	4,12	2	6	,075
b	,35	2	6	,720
pH	10,21	2	6	,012
Gesamtpolyphenolgehalt _{TM}	,79	2	6	,496
antioxidativeKapazität _{TM}	2,27	2	6	,185
Gesamtphenolgehalt _{FM}	,51	2	6	,627
antioxidativeKapazität _{FM}	2,25	2	6	,186

Abbildung C.6.: Test auf Homogenität der Varianz

Legende: 1,00=HPP, 3,00=thermische Pasteurisation, 4,00=ohne Pasteurisation

	(I) Pasteurisationsart	(J) Pasteurisationsart	Mittlere Differenz (I - J)	Standardfehler	Sig.	95% Konfidenzintervall Untere Grenze	Obere Grenze
Tukey HSD	1,00	3,00	-,21	,11	,222	-,54	,13
		4,00	,25	,11	,140	-,09	,58
	3,00	1,00	,21	,11	,222	-,13	,54
		4,00	,45	,11	,014	,12	,79
	4,00	1,00	-,25	,11	,140	-,58	,09
		3,00	-,45	,11	,014	-,79	-,12

Abbildung C.7.: Post Hoc Test nach Tukey der Safttrockensubstanz

Legende: 1,00=HPP, 3,00=thermische Pasteurisation, 4,00=ohne Pasteurisation

	(I) Pasteurisationsart	(J) Pasteurisationsart	Mittlere Differenz (I - J)	Standardfehler	Sig.	95% Konfidenzintervall Untere Grenze	Obere Grenze
Tukey HSD	1,00	3,00	,40	,11	,027	,06	,75
		4,00	,21	,11	,229	-,14	,56
	3,00	1,00	-,40	,11	,027	-,75	-,06
		4,00	-,19	,11	,278	-,54	,15
	4,00	1,00	-,21	,11	,229	-,56	,14
		3,00	,19	,11	,278	-,15	,54

Abbildung C.8.: Post Hoc Test nach Tukey des Extraktgehaltes

Legende: 1,00=HPP, 3,00=thermische Pasteurisation, 4,00=ohne Pasteurisation

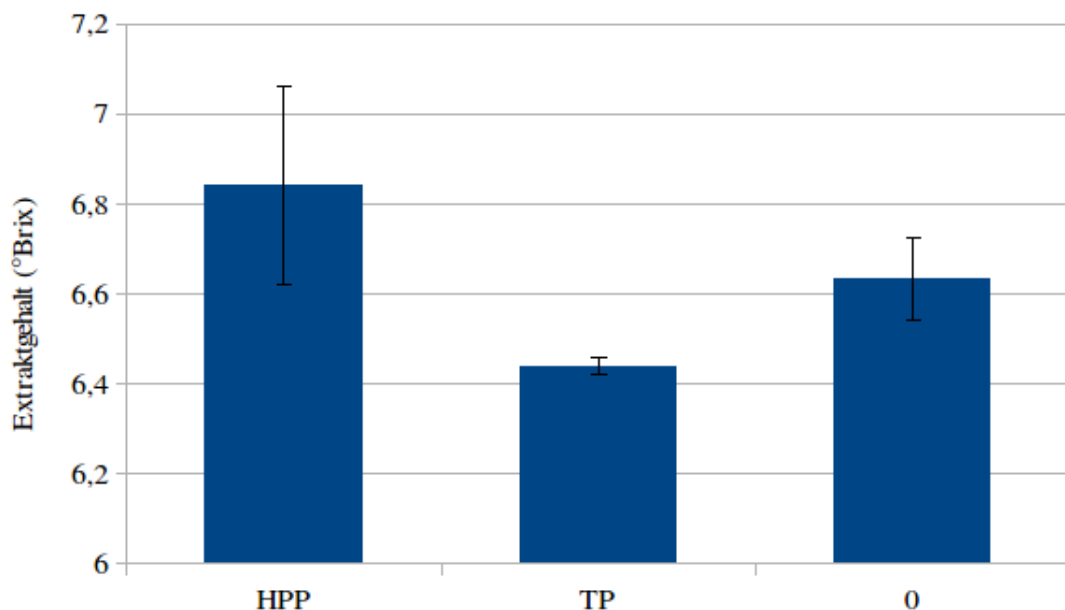


Abbildung C.9.: Extraktgehalt pasteurisierte Sanddornsäfte (n=3)

Legende: HPP=Hochdruckpasteurisation, TP=thermische Pasteurisation, 0=nicht pasteurisierte Vergleichsprobe

	(I) Pasteurisationsart	(J) Pasteurisationsart	Mittlere Differenz (I - J)	Standardfehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untere Grenze	Obere Grenze
Tukey HSD	1,00	3,00	,05	,03	,190	-,03	,13
		4,00	-,26	,03	,000	-,34	-,18
	3,00	1,00	-,05	,03	,190	-,13	,03
		4,00	-,32	,03	,000	-,40	-,24
	4,00	1,00	,26	,03	,000	,18	,34
		3,00	,32	,03	,000	,24	,40

Abbildung C.10.: Post Hoc Test nach Tukey des pH Wertes
Legende: 1,00=HPP, 3,00=thermische Pasteurisation, 4,00=ohne Pasteurisation

	(I) Pasteurisationsart	(J) Pasteurisationsart	Mittlere Differenz (I - J)	Standardfehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untere Grenze	Obere Grenze
Tukey HSD	1,00	3,00	-1,20	,31	,021	-2,16	-,23
		4,00	,64	,31	,188	-,33	1,60
	3,00	1,00	1,20	,31	,021	,23	2,16
		4,00	1,83	,31	,003	,87	2,80
	4,00	1,00	-,64	,31	,188	-1,60	,33
		3,00	-1,83	,31	,003	-2,80	-,87

Abbildung C.11.: Post Hoc Test nach Tukey des L-Wertes
Legende: 1,00=HPP, 3,00=thermische Pasteurisation, 4,00=ohne Pasteurisation

	(I) Pasteurisationsart	(J) Pasteurisationsart	Mittlere Differenz (I - J)	Standardfehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untere Grenze	Obere Grenze
Tukey HSD	1,00	3,00	1,30	,41	,043	,05	2,54
		4,00	-,05	,41	,991	-1,30	1,19
	3,00	1,00	-1,30	,41	,043	-2,54	-,05
		4,00	-1,35	,41	,037	-2,60	-,10
	4,00	1,00	,05	,41	,991	-1,19	1,30
		3,00	1,35	,41	,037	,10	2,60

Abbildung C.12.: Post Hoc Test nach Tukey des a-Wertes
Legende: 1,00=HPP, 3,00=thermische Pasteurisation, 4,00=ohne Pasteurisation

	(I) Pasteurisationsart	(J) Pasteurisationsart	Mittlere Differenz (I - J)	Standardfehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untere Grenze	Obere Grenze
Tukey HSD	1,00	3,00	-5,55	,26	,000	-6,35	-4,76
		4,00	-1,36	,26	,005	-2,15	-,57
	3,00	1,00	5,55	,26	,000	4,76	6,35
		4,00	4,19	,26	,000	3,40	4,99
	4,00	1,00	1,36	,26	,005	,57	2,15
		3,00	-4,19	,26	,000	-4,99	-3,40

Abbildung C.13.: Post Hoc Test nach Tukey des b-Wertes
Legende: 1,00=HPP, 3,00=thermische Pasteurisation, 4,00=ohne Pasteurisation

	(I) Pasteurisationsart	(J) Pasteurisationsart	Mittlere Differenz (I - J)	Standardfehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
						Untere Grenze	Obere Grenze
Tukey HSD	1,00	3,00	10,74	41,27	,964	-115,88	137,35
		4,00	-35,82	41,27	,678	-162,44	90,79
	3,00	1,00	-10,74	41,27	,964	-137,35	115,88
		4,00	-46,56	41,27	,533	-173,18	80,05
	4,00	1,00	35,82	41,27	,678	-90,79	162,44
		3,00	46,56	41,27	,533	-80,05	173,18

Abbildung C.14.: Post Hoc Test nach Tukey des Gesamtphenolgehaltes bezogen auf die Trockensubstanz
Legende: 1,00=HPP, 3,00=thermische Pasteurisation, 4,00=ohne Pasteurisation

Tabelle C.1.: Varianz pH-Wert

Legende: 1,00=HPP, 3,00=thermische Pasteurisation, 4,00=ohne Pasteurisation

Versuchsnummer	Standardabweichung S	Varianz S^2
1,00	0,1	0,01
3,00	0,5	0,25
4,00	0,1	0,01

		Mittlere Differenz (I - J)	Standardfehler	Sig.	95% Konfidenzintervall	
(I) Pasteurisationsart (J) Pasteurisationsart					Untere Grenze	Obere Grenze
Tukey HSD	1,00 3,00	,44	,46	,625	-,96	1,83
	1,00 4,00	-,27	,46	,832	-1,66	1,13
	3,00 1,00	-,44	,46	,625	-1,83	,96
	3,00 4,00	-,70	,46	,336	-2,10	,69
	4,00 1,00	,27	,46	,832	-1,13	1,66
	4,00 3,00	,70	,46	,336	-,69	2,10

Abbildung C.15.: Post Hoc Test nach Tukey der antioxidativen Kapazität bezogen auf die Trockensubstanz

Legende: 1,00=HPP, 3,00=thermische Pasteurisation, 4,00=ohne Pasteurisation

Statistik bei gepaarten Stichproben

	Mittelwert	N	Std. Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Paar 1 PolyTM_t0	2249,48	3	36,31	20,96
polyTM_t1	1887,19	3	8,20	4,73

Korrelationen bei gepaarten Stichproben

	N	Korrelation	Sig.
Paar 1 PolyTM_t0 & polyTM_t1	3	,87	,325

Test bei gepaarten Stichproben

		Gepaarte Differenzen				t	df	Sig. (2-seitig)
		Mittelwert	Std. Abweichung	Std.fehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz Untere Obere			
Paar 1	PolyTM_t0 - polyTM_t1	362,29	29,43	16,99	289,18 435,39	21,32	2	,002

Abbildung C.16.: T-Test für gepaarte Stichproben des Gesamtphenolgehalt (mg/100g Trockenmasse) des thermisch pasteurisierten Saftes (70°C; 2,5 min) vor (t0) und nach Lagerung (t1) bei 4°C

Legende: ≤0.05 signifikat, ≤0.01 hoch signifikat, ≤0,01 höchst signifikant

Statistik bei einer Stichprobe

	<i>N</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Std. Abweichung</i>	<i>Standardfehler des Mittelwertes</i>
PolyTM	3	2260,22	64,11	37,01

Test bei einer Stichprobe

	Testwert = 2054,490000					
	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>Sig. (2-seitig)</i>	<i>Mittlere Differenz</i>	95% Konfidenzintervall der Differenz	
					<i>Untere</i>	<i>Obere</i>
PolyTM	5,56	2	,031	205,73	46,47	364,99

Abbildung C.17.: T-Test des Gesamtphenolgehalt (mg/100g Trockenmasse) des HPP pasteurisier-
ten Saftes vor (t0) und nach Lagerung (t1) bei 4°C

Legende: ≤0,05 signifikant, ≤0,01 hoch signifikant, ≤ 0,001 höchst signifikant

Statistik bei gepaarten Stichproben

	Mittelwert	N	Std. Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Paar 1 antiOxiTM_t0	33,43	3	,21	,12
antiOxiTM_t1	20,35	3	,18	,10

Korrelationen bei gepaarten Stichproben

	N	Korrelation	Sig.
Paar 1 antiOxiTM_t0 & antiOxiTM_t1	3	-,97	,163

Test bei gepaarten Stichproben

		Gepaarte Differenzen							
		Mittelwert	Std. Abweichung	Std.fehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		t	df	Sig. (2-seitig)
					Untere	Obere			
Paar 1	antiOxiTM t0 - antiOxiTM t1	13,08	,38	,22	12,13	14,02	59,42	2	,000

Abbildung C.18.: T-Test für gepaarte Stichproben der antioxidativen Kapazität (mmol/100g Trockenmasse) des thermisch pasteurisierten Saftes (70°C; 2,5 min) vor (t0) und nach Lagerung (t1) bei 4°C

Legende: $\leq 0,05$ signifikant, $\leq 0,01$ hoch signifikant, $\leq 0,001$ höchst signifikant

Statistik bei einer Stichprobe					
	<i>N</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Std. Abweichung</i>	<i>Standardfehler des Mittelwertes</i>	
antiOxiTM	3	33,16	,56	,32	

Test bei einer Stichprobe					
Testwert = 23,600000					
	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>Sig. (2-seitig)</i>	<i>Mittlere Differenz</i>	95% Konfidenzintervall der Differenz
					<i>Untere</i> <i>Obere</i>
antiOxiTM	29,55	2	,001	9,56	8,17 10,95

Abbildung C.19.: T-Test der antioxidativen Kapazität (mmol/100g Trockenmasse) des HP-pasteurisierten Saftes vor (t0) und nach Lagerung (t1) bei 4°C
 Legende: $\leq 0,05$ signifikant, $\leq 0,01$ hoch signifikant, $\leq 0,001$ höchst signifikant

C.3. Maischeversuch

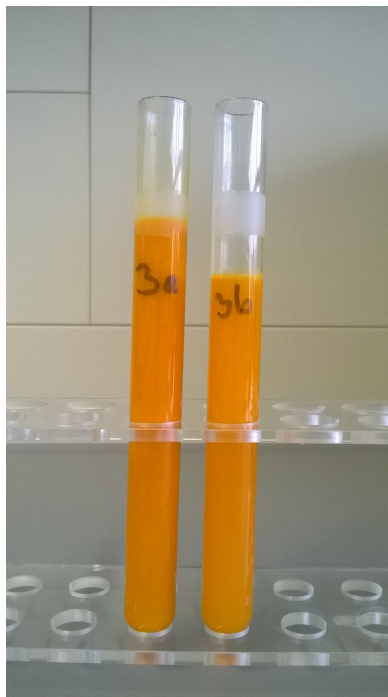


Abbildung C.20.: Sanddornsaft 1.Pressung (3a) im Vergleich mit dem Produkt 2. Pressung des enzymatisch gemaischten Tresters (3b)

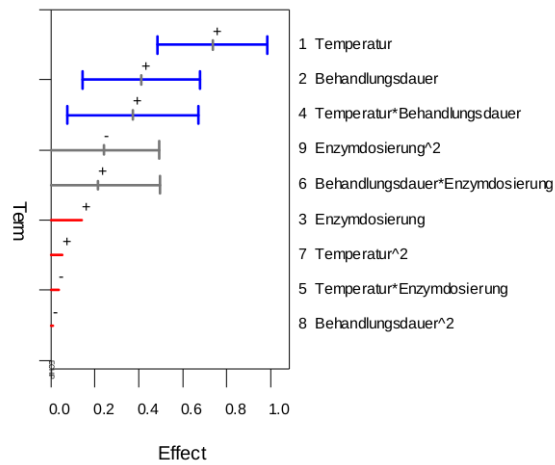


Abbildung C.21.: Effekt Graph der Safttrockensubstanz

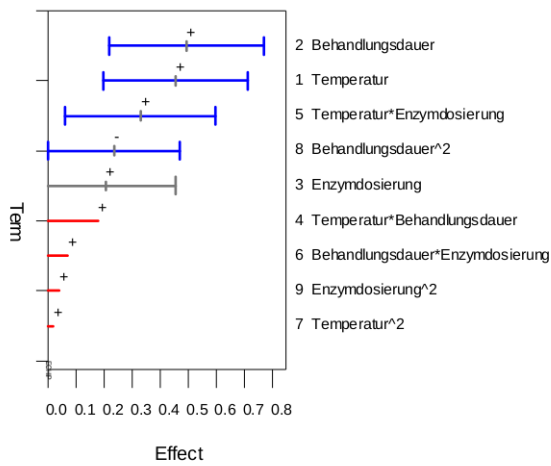


Abbildung C.22.: Effekt Graph des Extraktgehaltes

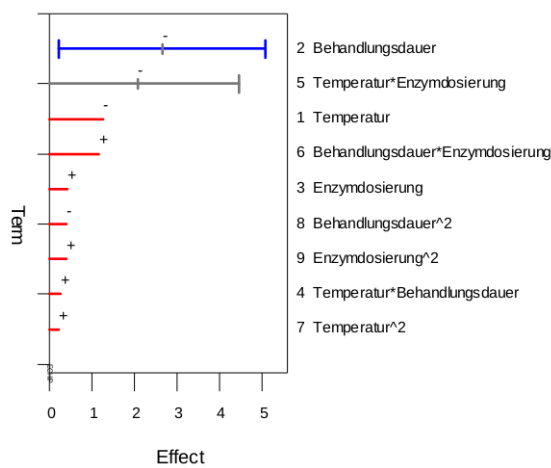


Abbildung C.23.: Effekt Graph der Saftausbeute

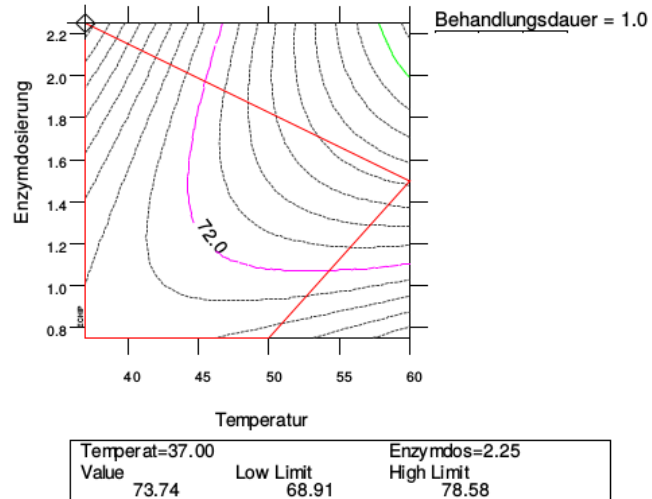


Abbildung C.24.: Saftausbeute in Abhängigkeit von Enzymdosierung (ml/kg Maische) und Maischebehandlungstemperatur (°C)

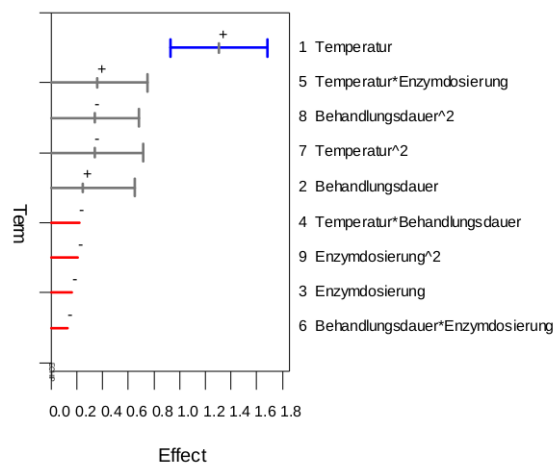


Abbildung C.25.: Effekt Graph des L-Wertes

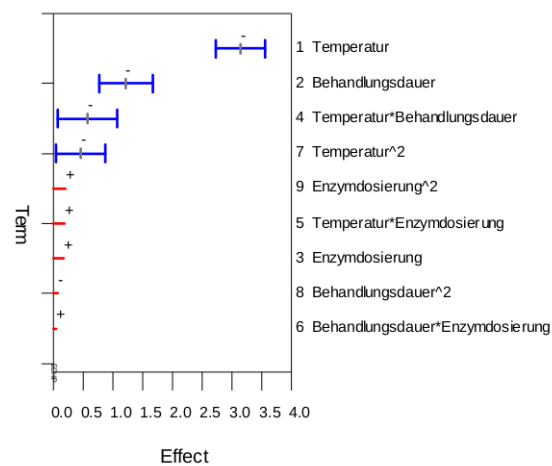


Abbildung C.26.: Effekt Graph des a-Wertes

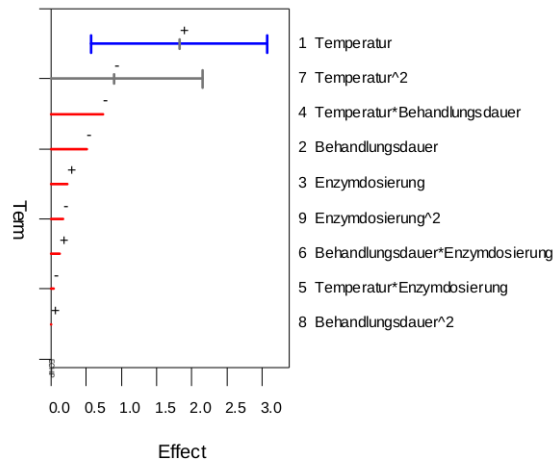


Abbildung C.27.: Effekt Graph des b-Wertes
Lack-of-Fit

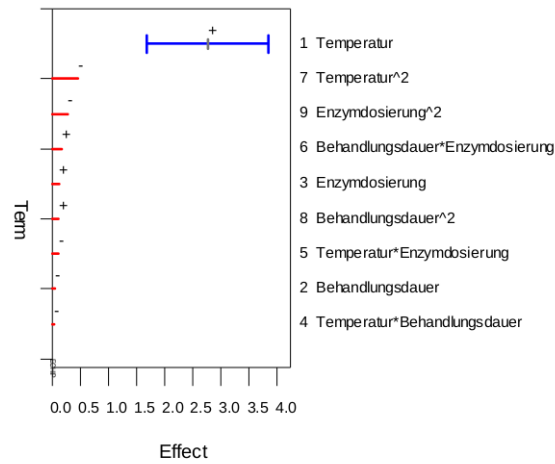


Abbildung C.28.: Effekt Graph des Δ E-Wertes
Lack-of-Fit

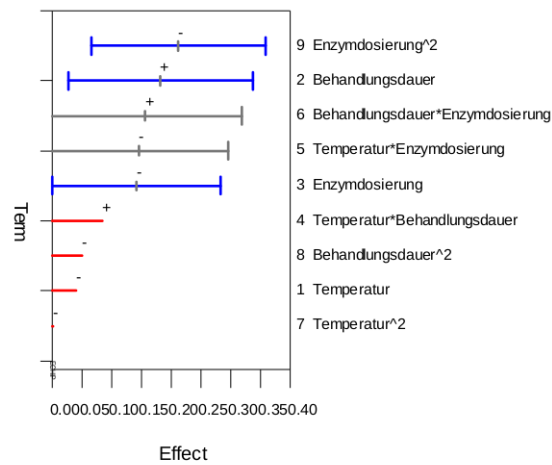


Abbildung C.29.: Effekt Graph des pH-Wertes

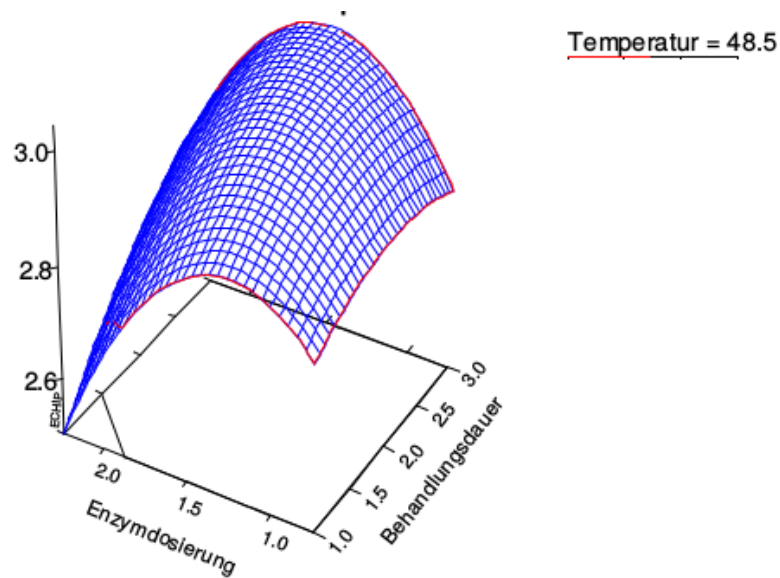


Abbildung C.30.: pH in Abhängigkeit von Behandlungsdauer (h) und Enzymdosierung (ml/kg)

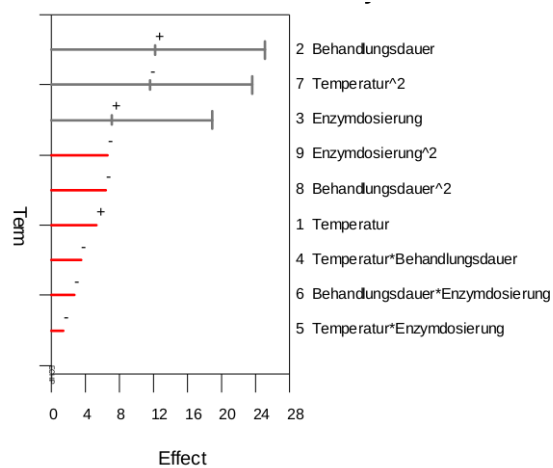


Abbildung C.31.: Effekt Graph des Gesamtphenolgeht bezogen auf den gesamten Saft (Feuchtmasse)

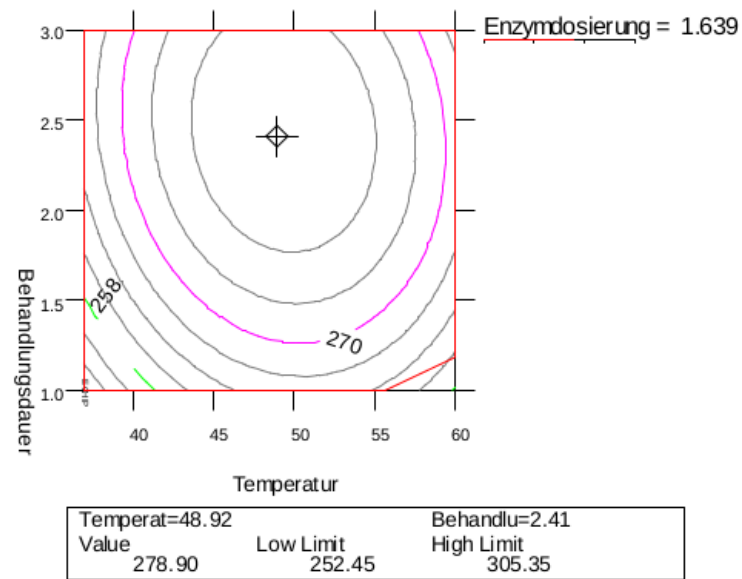


Abbildung C.32.: Gesamtphenolgehalt (mg/100g Feuchtmasse) in Abhängigkeit von Maischebehandlungsdauer (h) und Maischebehandlungstemperatur (°C) bezogen auf den gesamten Saft (Feuchtmasse) mit Optimumanzeige

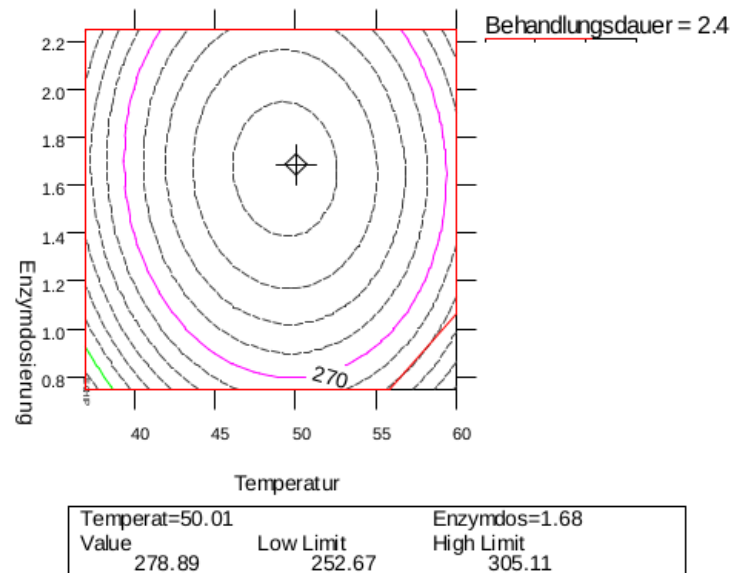


Abbildung C.33.: Gesamtphenolgehalt (mg/100g Feuchtmasse) in Abhängigkeit von Enzymdosierung (ml/kg Maische) und Maischebehandlungstemperatur (°C) bezogen auf den gesamten Saft (Feuchtmasse) mit Optimumanzeige

Statistik bei einer Stichprobe

	N	Mittelwert	Std. Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
PolyFM	3	228,95	2,84	1,64

Test bei einer Stichprobe

	Testwert = 278,900000					
	t	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz Untere	Obere
PolyFM	-30,43	2	,001	-49,95	-57,01	-42,89

Abbildung C.34.: T-Test für eine Stichprobe

Vergleich der Gesamtphenolgehalte (mg/100g Feuchtmasse) von unbehandeltem Sanddornsaft mit maischeenzymiertem bei den ermittelten optimalen Prozessparametern (=Testwert)

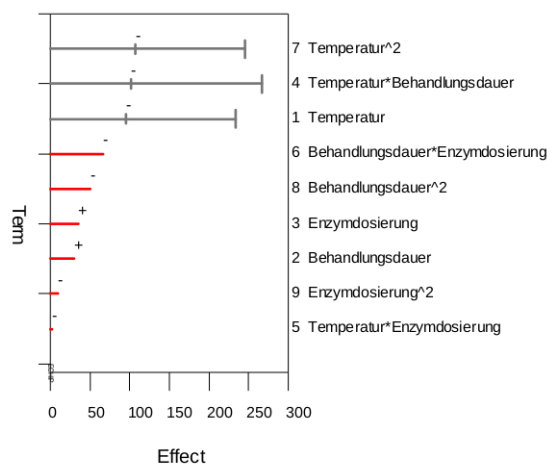


Abbildung C.35.: Effect Graph des Gesamtphenolgehts (mg/100g Trockensmasse) bezogen auf die Safttrockensmasse

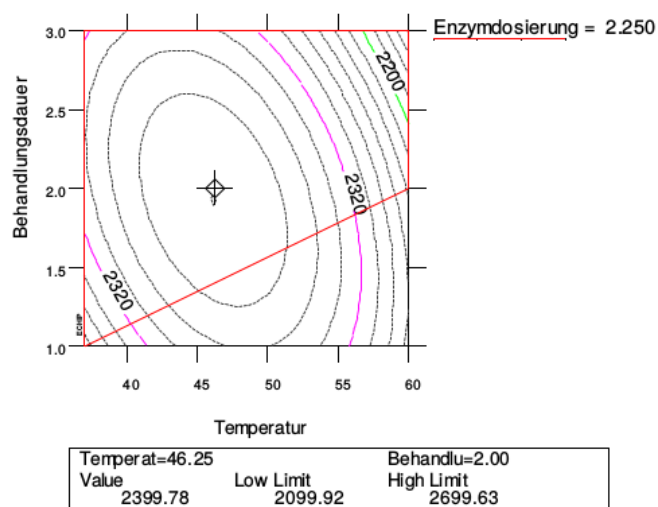


Abbildung C.36.: Gesamtphenolgehalt (mg/100g Trockensmasse) in Abhängigkeit von Maischebehandlungsdauer (h) und Maischebehandlungstemperatur (°C) bezogen auf die Safttrockensmasse mit Optimumanzeige

$$\underline{\text{Enzymdosierung}} = 2.120$$

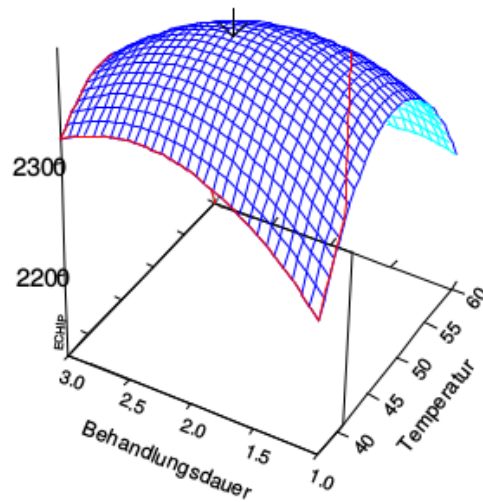


Abbildung C.37.: Gesamtphenolgehalt (mg/100g Trockemasse) in Abhängigkeit von Maischebehandlungsdauer (h) und Maischebehandlungstemperatur (°C)bezogen auf die Safttrockemasse mit Optimumanzeige

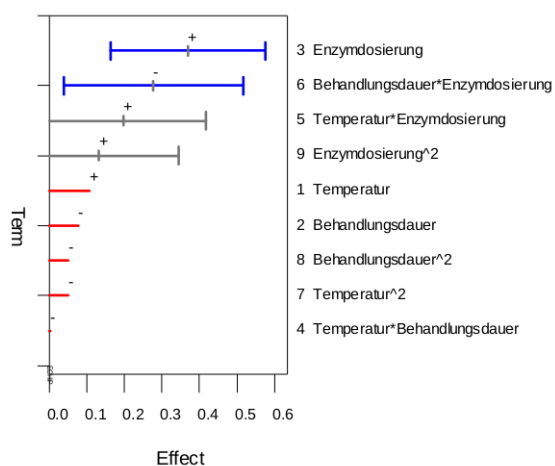


Abbildung C.38.: Effect Graph der antioxisativen Kapazität (mmol/100g Feuchtmasse) bezogen auf den gesamten Saft

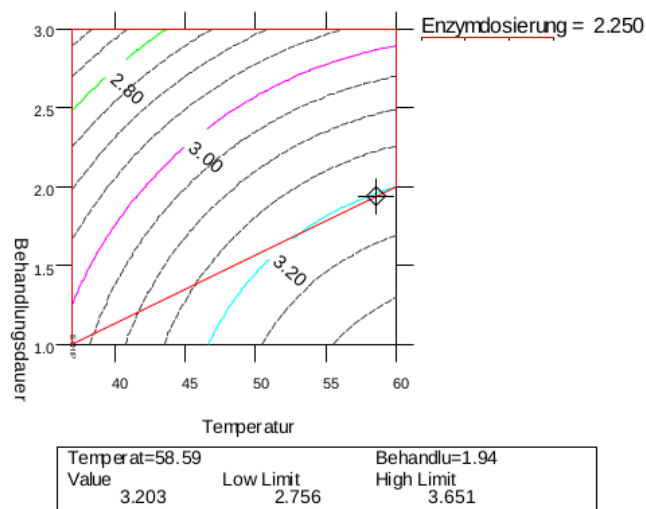


Abbildung C.39.: antioxidative Kapazität (mmol/100g Feuchtmasse) in Abhängigkeit von Maischebehandlungsdauer (h) und Maischebehandlungstemperatur (°C) bezogen auf den gesamten Saft mit Optimumanzeige

Statistik bei einer Stichprobe

	N	Mittelwert	Std. Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
antiOxiFM	3	3,34	,07	,04

Test bei einer Stichprobe

	Testwert = 3,203000					
	t	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
					Untere	Obere
antiOxiFM	3,26	2	,082	,13	-,04	,31

Abbildung C.40.: T-Test für eine Stichprobe

Vergleich der antioxidativen Kapazität (mmol/100g Feuchtmasse) von unbehandeltem mit maischeenzymiertem Sanddornsaft bei den ermittelten optimalen Prozessparametern (=Testwert)

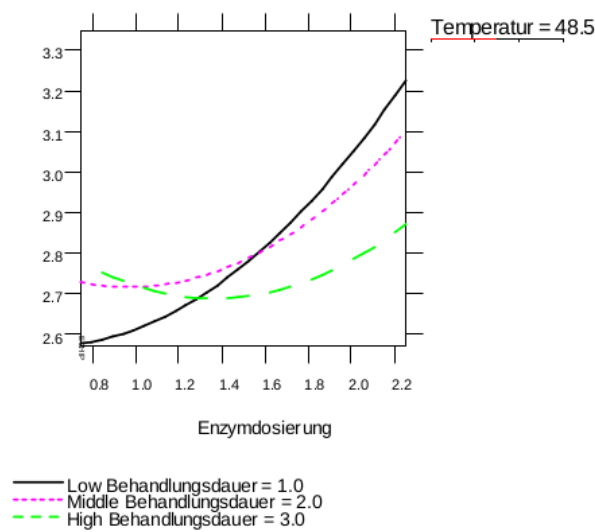


Abbildung C.41.: Antioxidative Kapazität (mmol/100g Feuchtmasse) in Abhängigkeit von der Interaktion Maischebehandlungsdauer (h) und Enzymdosierung (ml/kg Maische) bezogen auf den gesamten Saft (Feuchtmasse)

Statistik bei einer Stichprobe

	<i>N</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Std. Abweichung</i>	<i>Standardfehler des Mittelwertes</i>
antiOxiTM	3	33,43	,21	,12

Test bei einer Stichprobe

	Testwert = 28,080000					
	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>Sig. (2-seitig)</i>	<i>Mittlere Differenz</i>	95% Konfidenzintervall der Differenz	
					<i>Untere</i>	<i>Obere</i>
antiOxiTM	45,17	2	,000	5,35	4,84	5,86

Abbildung C.42.: T-Test für eine Stichprobe

Vergleich der antioxidativen Kapazität (mmol/100g Trockenmasse) von unbehandeltem mit maischeenzymiertem Sanddornsaft bei den ermittelten optimalen Prozessparametern (=Testwert)

Tabelle C.2.: Standardabweichung b-Wert

Versuchsnummer	Standardabweichung	n
1	0,43	2
2	0,23	2
3	0,33	2
4	0,78	2
5	0,71	2