

Dirk Hofmann

Verbesserung der Anthocyanstabilität in flüssigen und pastösen Fruchtprodukten

am Beispiel von Brombeeren (*Rubus*), Erdbeeren (*Fragaria*), Sauerkirschen (*Prunus cerasus*) und roten Trauben (*Vitis vinifera*)



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



Verbesserung der Anthocyanstabilität in flüssigen und pastösen Fruchtprodukten –
am Beispiel von Brombeeren (*Rubus*), Erdbeeren (*Fragaria*),
Sauerkirschen (*Prunus cerasus*) und roten Trauben (*Vitis vinifera*)





Verbesserung der Anthocyanstabilität
in flüssigen und pastösen
Fruchtprodukten –
am Beispiel von Brombeeren (*Rubus*),
Erdbeeren (*Fragaria*), Sauerkirschen (*Prunus cerasus*)
und roten Trauben (*Vitis vinifera*)

Von der Fakultät für Lebenswissenschaften
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina
zu Braunschweig
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften
(Dr. rer. nat.)
genehmigte
D i s s e r t a t i o n

von
Dirk Klaus Hofmann
aus Heilbronn-Neckargartach



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2012

Zugl.: (TU) Braunschweig, Univ., Diss., 2012

978-3-95404-091-9

1. Referent: Prof. Dr. Peter Winterhalter
Institut für Lebensmittelchemie
TU Braunschweig

2. Referent: Prof. Dr. Helmut Dietrich
Fachgebiet Weinanalytik und Getränkeforschung
Forschungsanstalt Geisenheim

eingereicht am: 19.12.2011

mündliche Prüfung am: 12.04.2012

Druckjahr 2012

Dissertation an der Technischen Universität Braunschweig,
Fakultät für Lebenswissenschaften

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2012

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2012

Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-95404-091-9



Danksagung

Dieses Vorhaben wurde aus Mitteln der industriellen Gemeinschaftsforschung (Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit/AIF) über den Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI) gefördert (Projekt-Nr. AIF 16005-N).

Herrn **Prof. Dr. Peter Winterhalter**, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, danke ich für die freundliche Übernahme der Betreuung, das Interesse an dieser Arbeit und die Gelegenheit, einen Teil der Probenaufarbeitung an der Universität Braunschweig durchführen zu können.

Herrn **Prof. Dr. Helmut Dietrich**, Forschungsanstalt Geisenheim, danke ich für die Überlassung des Themas, seinem großen Engagement, seinen wertvollen Anregungen, das in mich gesetzte Vertrauen und die freundliche Übernahme des Korreferates.

Herrn **Prof. Dr. Frank Will**, Forschungsanstalt Geisenheim, für die praktische Betreuung der Arbeit, seinem Engagement bei speziellen Fragestellungen und Problemen, sowie die Fachgespräche.

Herrn **Dr. Claus-Dieter Patz**, Forschungsanstalt Geisenheim, für die gute Zusammenarbeit, die vielen Anregungen und die wichtigen Anmerkungen im Bereich der Chemometrie und der statistischen Versuchsplanung.

Dem **projektbegleitenden Ausschuss** für die gute Zusammenarbeit, die regelmäßigen konstruktiven Treffen, für viele Anregungen und hilfreiche Informationen.

Meinen Projektpartnern **Melanie Holzwarth**, **Dr. Dietmar Kammerer** und Herrn **Prof. Dr. h.c. Reinhold Carle** des Instituts für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie, Fachgebiet Lebensmittel pflanzlicher Herkunft an der Universität Hohenheim, für die gute Zusammenarbeit.

Meinen **Doktorandenkollegen** und **-kolleginnen**, insbesondere **Melanie Josuttis**, für die gute Zusammenarbeit, den regen Austausch, konstruktive Diskussionen, gemeinsame Versuche und Veröffentlichungen.

Allen **Mitarbeiterinnen** und **Mitarbeitern** des Fachgebietes Weinanalytik und Getränkeforschung der Forschungsanstalt Geisenheim, insbesondere **Anja Giehl** und **Anja Rheinberger**, für die Unterstützung bei der Probenaufbereitung und allen praktischen Fragestellungen.

Den **Mitarbeitern** des Außenbetriebes des Fachgebietes Weinanalytik und Getränkeforschung der Forschungsanstalt Geisenheim, insbesondere **Michael Ludwig**, **Franz Fuchs** und **Peter Bach** für die Hilfe bei technischen Problemen.





Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand der Wissenschaft.....	3
2.1	Grundlagen.....	3
2.2	Reaktionsmechanismen mit Metallionen.....	8
2.3	Einfluss nativer Enzyme	10
2.4	Technologische Verfahren zur Farbstabilisierung.....	13
2.5	Die Wirkung von Ascorbinsäure	14
2.6	Copigmentierung.....	15
2.7	Polymere Bestandteile der primären Pflanzenzellwand	16
2.8	Anthocyanzusammensetzung einer Fruchtart.....	17
2.9	Alterungsverhalten verschiedener Produkte	19
2.10	Mikrobiologische Einflüsse	20
2.11	Verbesserung der Anthocyanstabilität durch chemische Verfahren	21
2.12	Einfluss des Proteingehaltes.....	21
2.13	Veränderungen durch Alterung.....	22
2.14	Mikroverkapselung von Anthocyanen	24
3	Ergebnisse.....	25
3.1	Brombeerprodukte 2009	25
3.1.1	Verarbeitung und Kinetik Brombeersaft 2009	25
3.1.1.1	Einzelbetrachtung Anthocyane während der Verarbeitung.....	28
3.1.1.2	Betrachtung der Kinetik bei Brombeersaft 2009.....	30
3.1.1.3	Sensorik des Brombeersaftes 2009.....	38
3.1.2	Verarbeitung und Kinetik Brombeerpüree 2009	42
3.1.2.1	Einzelbetrachtung Anthocyane während der Verarbeitung.....	42
3.1.2.2	Betrachtung der Kinetik bei Brombeerpüree 2009.....	43
3.2	Erdbeerprodukte 2009.....	52
3.2.1	Erdbeersaft 2009.....	52
3.2.1.1	Einzelbetrachtung Anthocyane während der Verarbeitung.....	55
3.2.1.2	Betrachtung der Kinetik bei Erdbeersaft 2009	57



3.2.1.3	Sensorik des Erdbeersaftes 2009	65
3.2.2	Verarbeitung und Kinetik Erdbeerpüree 2009.....	68
3.2.2.1	Einzelbetrachtung Anthocyane während der Verarbeitung.....	71
3.2.2.2	Betrachtung der Kinetik bei Erdbeerpüree 2009	72
3.3	Erdbeerprodukte 2010.....	81
3.3.1	Vorversuche Erdbeerpüree 2010	81
3.3.2	Verarbeitung und Kinetik Erdbeersaft 2010.....	91
3.3.2.1	Einzelbetrachtung der Anthocyane während der Verarbeitung.....	94
3.3.2.2	Betrachtung der Kinetik bei Erdbeersaft 2010	96
3.3.3	Verarbeitung und Kinetik Erdbeerpüree 2010.....	104
3.3.3.1	Einzelbetrachtung Anthocyane während der Verarbeitung.....	108
3.3.3.2	Betrachtung der Kinetik bei Erdbeerpüree 2010	110
3.3.4	Sonderversuch Statistische Versuchsplanung (Design of Experiments)	117
3.3.5	Herstellung Erdbeerpüree 2010 mit Inaktivierung der nativen Enzyme	123
3.3.5.1	Einzelbetrachtung Anthocyane während der Verarbeitung.....	126
3.4	Sauerkirschsaft 2009	130
3.4.1	Verarbeitung Sauerkirschsaft 2009	130
3.4.1.1	Einzelbetrachtung der Anthocyane während der Verarbeitung.....	132
3.5	Sauerkirschsaft 2011	138
3.5.1	Verarbeitung Sauerkirschsaft 2011	138
3.5.1.1	Einzelbetrachtung der Anthocyane während der Verarbeitung.....	139
3.6	Roter Traubensaft 2009	142
3.6.1	Verarbeitung und Kinetik roter Traubensaft 2009	143
3.6.1.1	Betrachtung der Kinetik bei rotem Traubensaft 2009	145
3.7	Analytik aus Fruchtsäften isolierter Kolloide, kolloidfreier Säfte und phenolischer Extrakte	154
3.7.1	Brombeersaft 2009	154
3.7.2	Erdbeersaft 2009.....	161
3.7.3	Erdbeersaft 2010.....	167
3.7.4	Sauerkirschsaft 2009	176
3.7.5	Roter Traubensaft	181



3.8	Sonderversuch Kolloid-Anthocyan-Wechselwirkung	186
3.8.1	Brombeerkolloidmaterial 2009.....	187
3.8.2	Erdbeerkolloidmaterial 2009	191
3.8.3	Erdbeerkolloidmaterial 2010	194
3.8.4	Sauerkirschkolloidmaterial 2009.....	202
3.8.5	Traubensaftkolloidmaterial.....	206
3.8.6	Analyse Hochmolekularpeak Brombeerkolloidmaterial 2009	209
3.8.7	Analyse Hochmolekularpeak Erdbeerkolloidmaterial 2010.....	213
3.9	Trennung Erdbeerextrakt 2010 mit LSRCCC.....	215
3.9.1	Ergebnisse der Anthocyananalytik	215
3.9.2	Statistische Datenauswertung aller Fraktionen.....	218
4	Material und Methoden	227
4.1	RSK-Analytik	227
4.2	Bestimmung des Monomerindex und der polymeren Anthocyane.....	228
4.3	Testsysteme zur Bestimmung der antioxidativen Kapazität.....	228
4.4	Bestimmung der Anthocyane und der farblosen Phenole.....	229
4.4.1	Bestimmung der Anthocyane	229
4.4.2	Bestimmung der farblosen Phenole.....	231
4.5	Gewinnung von Extrakten aus Pürees	232
4.6	Farbmessung mittels CIE L*a*b* Farbraum	232
4.7	Bestimmung des Molekulargewichtes	235
4.8	Analyse von Zuckerbausteinen und Zuckersäuren	236
4.9	Analyse von Aminosäuren.....	237
4.10	Viskosimetrie	239
4.11	Sensorik.....	239
4.12	Fruchtprodukte	240
4.12.1	Brombeeren 2009	240
4.12.2	Erdbeeren 2009.....	242
4.12.3	Erdbeeren 2010.....	243
4.12.4	Sauerkirschen 2009	246
4.12.5	Sauerkirschen 2011	248



4.12.6	Rote Trauben 2009	250
4.12.6.1	Accent.....	250
4.12.6.2	Regent.....	251
4.13	Gewinnung von Kolloiden aus Fruchtsäften.....	251
4.14	Gewinnung von phenolischen Extrakten aus Fruchtsäften	253
4.15	Schock-Temperaturversuch N ₂ 100 °C	254
4.16	Low Speed Rotary Countercurrent Chromatography (LSRCCC).....	255
4.17	Mathematische Berechnungen	256
4.18	Multivariate Verfahren, Chemometrie	256
4.19	Statistische Versuchsplanung.....	257
5	Zusammenfassung	259
6	Literaturverzeichnis	263
7	Anhang	273
7.1	Anhang A.....	273
7.2	Anhang B	275
7.3	Anhang C	277



Abkürzungsverzeichnis

AAS	Atomabsorptionsspektrometrie
ÄS	Äpfelsäure
ber.	berechnet
CS	Citronensäure
Cya	Cyanidin
DAD	Diode Array Detector
Dek.	Dekanter
Enz.	Enzymierung
ESI	Elektrospray Ionisation
Ext.	Extinktion
Fa.	Firma
Fil./Filtr.	Filtration
Fllg.	Heißfüllung
GalA	Galacturonsäure
GlucA	Glucuronsäure
GP	Gesamtphenole
GPC	Gelpermeationschromatographie
GS	Gesamtsäure
Hf./Heißf.	Heißfüllung
HM	hochmolekular
HMF	Hydroxymethylfurfural
Hom./Homo.	Hochdruckhomogenisator
HP	High Pressure
HPAEC	High Pressure Anion Exchange Chromatography
HPLC	Hochdruckflüssigchromatographie
HR-CS	High Resolution Continuum Source
IFU	Internationale Fruchtsaft Union
Keg	engl. keg „kleines Fass“, Mehrwegfass
Konz.	Konzentration



LC	Liquid Chromatography
Löd.	Lödige (Pflugscharmischer)
Mal	Malvidin
MS	Massenspektrometer
MW	Mittelwert
n.b.	nicht bestimmt
n.n.	nicht nachweisbar
OIV	Organisation Internationale de la Vigne et du Vin
ORAC	Oxygen Radical Absorbance Capacity
PAD	Pulsed Amperometric Detection
PDA	Photodiode Array Detector
Pel	Pelargonidin
phen.	phenolischer
Pm.	Passiermaschine
PPO	Polyphenoloxidase
RP	reversed Phase
RSD	relative Standardabweichung
RSK	Richtlinien und Schwankungsbreiten bestimmter Kennzahlen
RWT	Röhrenwärmetauscher
SD	Standardabweichung
Separ.	Separator
Sp.	Spuren
TEAC	Trolox Equivalent Antioxidative Capacity
TRFA	Totalreflektions Röntgenfluoreszenz Analyse
W.	Wochen
WS	Weinsäure



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Allgemeine Struktur der Anthocyanidine (Aglycone)	4
Abbildung 2: Einfluss des pH-Wertes auf die Farbe des Pigmentes.....	5
Abbildung 3: Mögliche Reaktionen der Pigmente	7
Abbildung 4: Reaktionen der Ascorbinsäure	8
Abbildung 5: Veränderung der antioxidativen Kapazität und der Summe der Anthocyane während der Herstellung von Brombeersaft 2009.....	27
Abbildung 6: RP-HPLC Chromatogramm eines frischen Brombeersaftes. Peak-Nummerierung siehe Tabelle 2.	28
Abbildung 7: Veränderungen der Monomerindices bei Brombeersaft 2009 in Abhängigkeit der Lagertemperatur.....	30
Abbildung 8: Veränderungen des Anteils polymerer Anthocyane bei Brombeersaft 2009 in Abhängigkeit der Lagertemperatur.....	31
Abbildung 9: Antioxidative Kapazität TEAC, ber. als Troloxäquivalente, von Brombeersaft 2009 über ein Jahr Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C.....	32
Abbildung 10: Antioxidative Kapazität ORAC, ber. als Troloxäquivalente, von Brombeersaft 2009 über ein Jahr Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C.....	32
Abbildung 11: Gesamtphenole nach Folin-Ciocalteu, ber. als wasserfreies Catechin, von Brombeersaft 2009 über ein Jahr Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C.....	33
Abbildung 12: Kinetik der Anthocyane bei Brombeersaft 2009.....	35
Abbildung 13: RP-HPLC Chromatogramm eines zwölf Monate bei 20 °C gelagerten Brombeersaftes 2009. Peak-Nummerierung siehe Tabelle 6.	36
Abbildung 14: Deskriptive Sensorik mit dem Parameter Farbe des Brombeersaftes nach sechs und zwölf Monaten Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C.....	39
Abbildung 15: Deskriptive Sensorik mit dem Parameter Geruch des Brombeersaftes nach sechs und zwölf Monaten Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C.....	40
Abbildung 16: Deskriptive Sensorik mit dem Parameter Geschmack des Brom- beersaftes nach sechs und zwölf Monaten Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C...	41
Abbildung 17: RP-HPLC Chromatogramm des Extraktes aus frischem Brombeer- püree. Peak-Nummerierung siehe Tabelle 8.....	42

Abbildung 18: Veränderungen der Monomerindices bei Brombeerpüree 2009 in Abhängigkeit der Lagertemperatur.....	44
Abbildung 19: Veränderungen des Anteils polymerer Anthocyane bei Brombeerpüree 2009 in Abhängigkeit der Lagertemperatur.....	45
Abbildung 20: Antioxidative Kapazität TEAC, ber. als Troloxäquivalente, von Brombeerpüree über ein Jahr Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C.....	46
Abbildung 21: Antioxidative Kapazität ORAC, ber. als Troloxäquivalente, von Brombeerpüree über ein Jahr Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C.....	46
Abbildung 22: Gesamtphenole nach Folin-Ciocalteu, ber. als wasserfreies Catechin, von Brombeerpüree über ein Jahr Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C.....	47
Abbildung 23: Kinetik der Anthocyane bei Brombeerpüree 2009.....	49
Abbildung 24: RP-HPLC Chromatogramm des Extraktes eines zwölf Monate bei 20 °C gelagerten Brombeerpürees. Peak-Nummerierung siehe Tabelle 8.	50
Abbildung 25: Antioxidative Kapazität TEAC und ORAC, je ber. als Troloxäquivalente, Gesamtphenole nach Folin-Ciocalteu, ber. als wasserfreies Catechin, sowie Summe der Anthocyane per HPLC-MS, ber. als Pelargonidin-3- glucosid, von Erdbeersaft nach den einzelnen Verarbeitungsstufen.....	54
Abbildung 26: RP-HPLC Chromatogramm des frischen Erdbeersaftes 2009. Peak-Nummerierung siehe Tabelle 13.	55
Abbildung 27: Veränderungen der Monomerindices bei Erdbeersaft 2009 in Abhängigkeit der Lagertemperatur.....	57
Abbildung 28: Veränderungen des Anteils polymerer Anthocyane bei Erdbeersaft 2009 in Abhängigkeit der Lagertemperatur.....	58
Abbildung 29: Antioxidative Kapazität TEAC, ber. als Troloxäquivalente, von Erdbeersaft über ein Jahr Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C.....	59
Abbildung 30: Antioxidative Kapazität ORAC, ber. als Troloxäquivalente, von Erdbeersaft über ein Jahr Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C.....	59
Abbildung 31: Gesamtphenole nach Folin-Ciocalteu, ber. als wasserfreies Catechin, von Erdbeersaft über ein Jahr Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C.....	60
Abbildung 32: Kinetik der Anthocyane bei Erdbeersaft 2009.....	62

Abbildung 33: RP-HPLC Chromatogramm eines zwölf Monate bei 20 °C gelagerten Erdbeersaftes aus dem Jahr 2009. Peak-Nummerierung siehe Tabelle 17.....	63
Abbildung 34: Deskriptive Sensorik mit dem Parameter Farbe des Erdbeersaftes nach sechs und zwölf Monaten Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C	65
Abbildung 35: Deskriptive Sensorik mit dem Parameter Geruch des Erdbeersaftes nach sechs und zwölf Monaten Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C.....	66
Abbildung 36: Deskriptive Sensorik mit dem Parameter Geschmack des Erdbeersaftes nach sechs und zwölf Monaten Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C.....	67
Abbildung 37: Veränderung der antioxidativen Kapazität und der Summe der Anthocyane während der Herstellung von Erdbeerpüree 2009.....	70
Abbildung 38: RP-HPLC Chromatogramm eines frischen Erdbeerpürees der Sorte Korona. Peak-Nummerierung siehe Tabelle 20.	71
Abbildung 39: Veränderungen der Monomerindices bei Erdbeerpüree 2009 in Abhängigkeit der Lagertemperatur.....	73
Abbildung 40: Veränderungen des Anteils polymerer Anthocyane bei Erdbeerpüree 2009 in Abhängigkeit der Lagertemperatur.....	74
Abbildung 41: Antioxidative Kapazität TEAC, ber. als Troloxäquivalente, von Erdbeerpüree über ein Jahr Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C.....	75
Abbildung 42: Antioxidative Kapazität ORAC, ber. als Troloxäquivalente, von Erdbeerpüree über ein Jahr Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C.....	75
Abbildung 43: Gesamtphenole nach Folin-Ciocalteu, ber. als wasserfreies Catechin, von Erdbeerpüree über ein Jahr Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C	76
Abbildung 44: Kinetik der Anthocyane bei Erdbeerpüree 2009	78
Abbildung 45: RP-HPLC Chromatogramm des Extraktes eines zwölf Monate bei 20 °C gelagerten Erdbeerpürees der Sorte Korona. Peak-Nummerierung in Tabelle 24.	79
Abbildung 46: Entwicklung des Anthocyangehaltes, ber. als Pelargonidin-3-glucosid, in Erdbeerpüree bei verschiedenen Enzymierungsbedingungen	82
Abbildung 47: Entwicklung der Helligkeit, dargestellt in Form des L* Wertes des CIE Farbraumes, in Erdbeerpüree bei verschiedenen Enzymierungsbedingungen	83

Abbildung 48: Entwicklung der rot-grün Anteile, dargestellt in Form des a^* Wertes des CIE Farbraumes, in Erdbeerpüree bei verschiedenen Enzymierungsbedingungen	83
Abbildung 49: Entwicklung der blau-gelb Anteile, dargestellt in Form des b^* Wertes des CIE Farbraumes, in Erdbeerpüree bei verschiedenen Enzymierungsbedingungen	84
Abbildung 50: Entwicklung der Monomerindices in Erdbeerpüree bei verschiedenen Enzymierungsbedingungen	85
Abbildung 51: Entwicklung der polymeren Anthocyane in Erdbeerpüree bei verschiedenen Enzymierungsbedingungen.....	85
Abbildung 52: Entwicklung der Viskosität in Erdbeerpüree bei verschiedenen Enzymierungsbedingungen	86
Abbildung 53: Entwicklung des Ascorbinsäuregehaltes in Erdbeerpüree bei verschiedenen Enzymierungsbedingungen.....	87
Abbildung 54: Sensorische Bewertung der Erdbeerpürees mittels Rangordnungsprüfung	88
Abbildung 55: Deskriptive Sensorik mit dem Parameter Farbe bei Erdbeerpüree, hergestellt bei verschiedenen Enzymierungsbedingungen	88
Abbildung 56: Deskriptive Sensorik mit dem Parameter Geruch bei Erdbeerpüree, hergestellt bei verschiedenen Enzymierungsbedingungen	89
Abbildung 57: Deskriptive Sensorik mit dem Parameter Geschmack bei Erdbeerpüree, hergestellt bei verschiedenen Enzymierungsbedingungen	90
Abbildung 58: Veränderung der antioxidativen Kapazität und der Summe der Anthocyane während der Herstellung von Erdbeersaft 2010	93
Abbildung 59: RP-HPLC Chromatogramm eines frischen Erdbeersaftes 2010. Peak-Nummerierung siehe Tabelle 27.	94
Abbildung 60: Veränderungen der Monomerindices bei Erdbeersaft 2010 in Abhängigkeit der Lagertemperatur.....	96
Abbildung 61: Veränderungen des Anteils polymerer Anthocyane bei Erdbeersaft 2010 in Abhängigkeit der Lagertemperatur.....	97

Abbildung 62: Antioxidative Kapazität TEAC, ber. als Troloxäquivalente, von Erdbeersaft 2010 über sechs Monate Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C.....	98
Abbildung 63: Antioxidative Kapazität ORAC, ber. als Troloxäquivalente, von Erdbeersaft 2010 über sechs Monate Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C.....	99
Abbildung 64: Gesamtphenole nach Folin-Ciocalteu, ber. als wasserfreies Catechin, von Erdbeersaft 2010 über sechs Monate Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C....	99
Abbildung 65: Kinetik der Anthocyane bei Erdbeersaft 2010	101
Abbildung 66: RP-HPLC Chromatogramm eines sechs Monate bei 20 °C gelagerten Erdbeersaftes der Sorte Senga Sengana. Peak-Nummerierung siehe Tabelle 31.	102
Abbildung 67: Veränderung der antioxidativen Kapazität und der Summe der Anthocyane während der Herstellung von Erdbeerpüree 2010.....	107
Abbildung 68: RP-HPLC Chromatogramm des Extraktes aus frischem Erdbeerpüree der Sorte Senga Sengana. Peak-Nummerierung siehe Tabelle 35.....	108
Abbildung 69: Veränderungen der Monomerindices bei Erdbeerpüree 2010 in Abhängigkeit der Lagertemperatur.....	110
Abbildung 70: Veränderungen des Anteils polymerer Anthocyane bei Erdbeerpüree 2010 in Abhängigkeit der Lagertemperatur.....	111
Abbildung 71: Antioxidative Kapazität TEAC, ber. als Troloxäquivalente, von Erdbeerpüree 2010 über sechs Monate Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C.....	112
Abbildung 72: Antioxidative Kapazität ORAC, ber. als Troloxäquivalente, von Erdbeerpüree 2010 über sechs Monate Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C.....	112
Abbildung 73: Gesamtphenole nach Folin-Ciocalteu, ber. als wasserfreies Catechin, von Erdbeerpüree 2010 über sechs Monate Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C.....	113
Abbildung 74: Kinetik der Anthocyane bei Erdbeerpüree 2010	115
Abbildung 75: RP-HPLC Chromatogramm des Extraktes eines sechs Monate bei 20 °C gelagerten Erdbeerpürees 2010. Peak-Nummerierung siehe Tabelle 31. ...	116
Abbildung 76: Photometrische Spektren von kolloidfreiem Erdbeersaft (A), originalem Erdbeersaft (B) und mit safteigenen Kolloiden angereichertem Erdbeersaft (C) zum Zeitpunkt der Heißfüllung und nach der Lagerung.....	118
Abbildung 77: Fließschema des Versuchsaufbaus zur Erfassung des Einflusses von nativen Kolloiden und Zusatzstoffen.....	119

Abbildung 78: Summe der Anthocyane bei allen Produkten der statistischen Versuchsplanung 2010 [mg/L]	120
Abbildung 79: Wechselwirkungen zwischen den zugesetzten Mengen an Kolloiden und Pektinsäure und ihr Einfluss auf die Farbe des Erdbeersaftes.....	121
Abbildung 80: Wechselwirkungen zwischen den zugesetzten Mengen an Kolloiden und Vitamin C und ihr Einfluss auf die Farbe des Erdbeersaftes.....	122
Abbildung 81: Verarbeitungsschritte Stickstoffversuch Erdbeerpüree 2010	123
Abbildung 82: Digitalfotografien Erdbeerpürees 2010, links per Pürrierstab, rechts per Stickstoff und Mörser hergestellt	125
Abbildung 83: Veränderung der antioxidativen Kapazität und der Summe der Anthocyane während der Herstellung von Erdbeerpüree 2010 im Rahmen des Stickstoffversuches.....	126
Abbildung 84: Digitalfotografien Erdbeerpürees 2010, Stickstoffversuch nach Lagerung, links per Pürrierstab, rechts per Stickstoff und Mörser hergestellt	129
Abbildung 85: RP-HPLC Chromatogramm eines frischen Sauerkirschsafte der Sorte Favorit. Peak-Nummerierung siehe Tabelle 45.....	132
Abbildung 86: RP-HPLC Chromatogramm eines zwölf Monate bei 20 °C gelagerten Sauerkirschsafte der Sorte Favorit. Peak-Nummerierung siehe Tabelle 49.	135
Abbildung 87: RP-HPLC Chromatogramm eines frischen Sauerkirschsafte des Jahres 2011. Peak-Nummerierung siehe Tabelle 52.	140
Abbildung 88: RP-HPLC Chromatogramm von frischem Traubensaft der Rebsorte Accent. Peak-Nummerierung siehe Tabelle 55.	143
Abbildung 89: Veränderungen der Monomerindices bei Traubensaft der Rebsorte Accent in Abhängigkeit der Lagertemperatur	145
Abbildung 90: Veränderungen des Anteils polymerer Anthocyane bei Traubensaft der Rebsorte Accent in Abhängigkeit der Lagertemperatur.....	146
Abbildung 91: Antioxidative Kapazität TEAC, ber. als Troloxäquivalente, von Traubensaft Accent über ein Jahr Lagerung bei 20 °C.....	147
Abbildung 92: Antioxidative Kapazität ORAC, ber. als Troloxäquivalente, von Traubensaft Accent über ein Jahr Lagerung bei 20 °C.....	147

Abbildung 93: Gesamtphenole nach Folin-Ciocalteu, ber. als wasserfreies Catechin, von Traubensaft Accent über ein Jahr Lagerung bei 20 °C.....	148
Abbildung 94: Kinetik der Anthocyane bei Traubensaft Accent 2009	150
Abbildung 95: RP-HPLC Chromatogramm eines zwölf Monate bei 20 °C gelagerten Traubensaftes der Rebsorte Accent. Peak-Nummerierung siehe Tabelle 55.	152
Abbildung 96: Brombeermaterialien und ihre Farben.....	160
Abbildung 97: Erdbeermaterialien 2009 und ihre Farben	166
Abbildung 98: Erdbeermaterialien 2010 und ihre Farben	175
Abbildung 99: Sauerkirschmaterialien und ihre Farben.....	181
Abbildung 100: Traubensaftmaterialien und ihre Farben.....	186
Abbildung 101: Molekulargewichtsverteilung Brombeerkolloidmaterial, isoliert aus zwölf Monate bei 4 °C gelagertem Saft	187
Abbildung 102: Molekulargewichtsverteilung Brombeerkolloidmaterial, isoliert aus zwölf Monate bei 20 °C gelagertem Saft	189
Abbildung 103: Molekulargewichtsverteilung Erdbeerkolloidmaterial 2009, isoliert aus zwölf Monate bei 4 °C gelagertem Saft	191
Abbildung 104: Molekulargewichtsverteilung Erdbeerkolloidmaterial 2009, isoliert aus zwölf Monate bei 20 °C gelagertem Saft	193
Abbildung 105: Molekulargewichtsverteilung Erdbeerkolloidmaterial 2010, isoliert aus frisch hergestelltem Saft.....	195
Abbildung 106: Molekulargewichtsverteilung Erdbeerkolloidmaterial 2010, isoliert aus 18 Tage bei 4 °C gelagertem Saft	197
Abbildung 107: Molekulargewichtsverteilung Erdbeerkolloidmaterial 2010, isoliert aus sechs Monate bei 4 °C gelagertem Saft.....	199
Abbildung 108: Molekulargewichtsverteilung Erdbeerkolloidmaterial 2010, isoliert aus sechs Monate bei 20 °C gelagertem Saft.....	201
Abbildung 109: Molekulargewichtsverteilung Sauerkirschkolloidmaterial, isoliert aus zwölf Monate bei 4 °C gelagertem Saft	203
Abbildung 110: Molekulargewichtsverteilung Sauerkirschkolloidmaterial, isoliert aus zwölf Monate bei 20 °C gelagertem Saft	205

Abbildung 111: Molekulargewichtsverteilung Traubensaftkolloidmaterial, isoliert aus zwölf Monate bei 20 °C gelagertem Saft	207
Abbildung 112: Vergleich der Zuckerbausteinverteilung [Gew.-%] der Hochmolekularfraktion mit jener des originalen Brombeerkolloides	212
Abbildung 113: Struktur von Rhamnogalacturonan Typ I.....	212
Abbildung 114: RP-HPLC Chromatogramm Fraktion Nr. 9 des phenolischen Extraktes. Peak-Nummerierung siehe Tabelle 112.	216
Abbildung 115: Ergebnis der Hauptkomponentenanalyse der Metallverteilung aller 17 LSRCCC-Fraktionen	218
Abbildung 116: Ergebnis der Hauptkomponentenanalyse der Zuckerbausteine aller 17 LSRCCC-Fraktionen	220
Abbildung 117: Ergebnis der Hauptkomponentenanalyse der Anthocyane aller 17 LSRCCC-Fraktionen	221
Abbildung 118: Ergebnis der Hauptkomponentenanalyse der Anthocyane und Zuckerbausteine aller 17 LSRCCC-Fraktionen.....	222
Abbildung 119: Ergebnis der Hauptkomponentenanalyse der Anthocyane, Zuckerbausteine und Metalle aller 17 LSRCCC-Fraktionen	223
Abbildung 120: Ergebnis der Hauptkomponentenanalyse der Summen der Anthocyane, Zuckerbausteine und Metalle aller 17 LSRCCC-Fraktionen	224
Abbildung 121: Ergebnis der Hauptkomponentenanalyse der Summen der Anthocyane, Zuckerbausteine und Metalle, sowie ausgewählter Basisparameter aller 17 LSRCCC-Fraktionen	225
Abbildung 122: CIE-Farbraum (Wargalla, 1999)	233
Abbildung 123: Verarbeitungsdiagramme Herstellung Brombeersaft und –püree 2009	241
Abbildung 124: Verarbeitungsdiagramme Herstellung Erdbeersaft und –püree 2009	242
Abbildung 125: Verarbeitungsdiagramm Erdbeerpüreeherstellung 2010 Vorversuch	244
Abbildung 126: Verarbeitungsdiagramme Herstellung Erdbeersaft und –püree 2010	246
Abbildung 127: Verarbeitungsdiagramm Herstellung Sauerkirschsafft 2009.....	247
Abbildung 128: Sauerkirschverarbeitung 2011, links mit, rechts ohne Maischeenzymierung.....	249



Abbildung 129: Verarbeitungsdiagramm Herstellung Traubensaft Accent 2009	250
Abbildung 130: Verarbeitungsdiagramm Herstellung Traubensaft Regent 2009	251
Abbildung 131: Sartocon Slice System (Fa. Sartorius) im Gebrauch	252
Abbildung 132: Aufbau Adsorberharzsäule BPG 100, mit SP70 Harz.....	253



Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einfluss der Verarbeitung auf die Qualität von Brombeersaft 2009	26
Tabelle 2: Anthocyane in frischem Brombeersaft des Jahres 2009.....	29
Tabelle 3: Einfluss der Verarbeitung auf die Anthocyangehalte [mg/L]	29
Tabelle 4: Zusammensetzung der Phenole in Brombeersaft 2009 zum Zeitpunkt der Herstellung, sowie deren Veränderung über die Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C [mg/L].....	34
Tabelle 5: Veränderung der Konzentrationen einzelner Anthocyane im Verlauf der Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C in Brombeersaft 2009 [mg/L].....	35
Tabelle 6: Anthocyane in gealtertem Brombeersaft 2009	37
Tabelle 7: Basisparameter (RSK-Analytik) des bei 4 °C, 20 °C und 37 °C gelagerten Brombeersaftes 2009 nach 0, 6 und 12 Monaten	38
Tabelle 8: Anthocyane in frischem Brombeerpüree des Jahres 2009	43
Tabelle 9: Zusammensetzung der Phenole in Brombeerpüree 2009 zum Zeitpunkt der Herstellung, sowie deren Veränderung über die Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C [mg/kg].....	48
Tabelle 10: Veränderung der Konzentrationen einzelner Anthocyane im Verlauf der Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C bei Brombeerpüree [mg/kg]	49
Tabelle 11: Basisparameter (RSK-Analytik) des bei 4 °C, 20 °C und 37 °C gelagerten Brombeerpürees nach 0, 6 und 12 Monaten	51
Tabelle 12: Einfluss der Verarbeitung auf die Qualität von Erdbeersaft 2009	53
Tabelle 13: Anthocyane in frischem Erdbeersaft der Sorte Korona.....	56
Tabelle 14: Einfluss der Verarbeitung auf die Anthocyangehalte [mg/L]	56
Tabelle 15: Einfluss der Lagerung auf die farblosen Phenole in Erdbeersaft 2009 bei 4 °C, 20 °C und 37 °C [mg/L].....	61
Tabelle 16: Veränderung der Konzentrationen einzelner Anthocyane im Verlauf der Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C in Erdbeersaft 2009.....	62
Tabelle 17: Anthocyane in gealtertem Erdbeersaft aus dem Jahr 2009	64
Tabelle 18: Basisparameter (RSK-Analytik) des bei 4 °C, 20 °C und 37 °C gelagerten Erdbeersaftes aus dem Jahr 2009 nach 0, 6 und 12 Monaten.....	64



Tabelle 19: Einfluss der Verarbeitung auf die Qualität von Erdbeerpüree 2009	68
Tabelle 20: Anthocyane in frischem Erdbeerpüree der Sorte Korona.....	72
Tabelle 21: Einfluss der Verarbeitung auf die Anthocyangehalte [mg/kg].....	72
Tabelle 22: Einfluss der Lagerung auf die farblosen Phenole in Erdbeerpüree 2009 bei 4 °C, 20 °C und 37 °C [mg/kg].....	77
Tabelle 23: Veränderung der Konzentrationen einzelner Anthocyane im Verlauf der Lagerung bei 4 °C , 20 °C und 37 °C bei Erdbeerpüree 2009 [mg/kg].....	78
Tabelle 24: Anthocyane in gelagertem Erdbeerpüree der Sorte Korona.....	80
Tabelle 25: Basisparameter (RSK-Analytik) des bei 4 °C, 20 °C und 37 °C gelagerten Erdbeerpürees 2009 nach 0, 6 und 12 Monaten	80
Tabelle 26: Einfluss der Verarbeitung auf die Qualität von Erdbeersaft 2010	92
Tabelle 27: Anthocyane in frischem Erdbeersaft 2010	95
Tabelle 28: Einfluss der Verarbeitung auf die Anthocyangehalte [mg/L]	95
Tabelle 29: Einfluss der Lagerung auf die farblosen Phenole in Erdbeersaft 2010 bei 4 °C, 20 °C und 37 °C	100
Tabelle 30: Veränderung der Konzentration einzelner Anthocyane im Verlauf der Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C in Erdbeersaft 2010.....	102
Tabelle 31: Anthocyane in gealtertem Erdbeersaft der Sorte Senga Sengana	103
Tabelle 32: Basisparameter (RSK-Analytik) des bei 4 °C, 20 °C und 37 °C gelagerten Erdbeersaftes 2010 nach 0 und 6 Monaten.....	104
Tabelle 33: Einfluss der Verarbeitung auf die Qualität von Erdbeerpüree 2010, Teil A.....	105
Tabelle 34: Einfluss der Verarbeitung auf die Qualität von Erdbeerpüree 2010, Teil B	106
Tabelle 35: Anthocyane in frischem Erdbeerpüree der Sorte Senga Sengana	109
Tabelle 36: Einfluss der Verarbeitung auf die Anthocyangehalte [mg/kg].....	109
Tabelle 37: Einfluss der Lagerung auf die farblosen Phenole in Erdbeerpüree 2009 bei 4 °C, 20 °C und 37 °C [mg/kg].....	114
Tabelle 38: Veränderung der Konzentrationen einzelner Anthocyane im Verlauf der Lagerung bei 4 °C, 20 °C und 37 °C bei Erdbeerpüree 2010 [mg/kg].....	115



Tabelle 39: Basisparameter (RSK-Analytik) des bei 4 °C, 20 °C und 37 °C gelagerten Erdbeerpürees 2010 nach 0 und 6 Monaten	117
Tabelle 40: Einfluss der Verarbeitung auf die Qualität von Erdbeerpüree 2010, Stickstoffversuch	124
Tabelle 41: Einfluss der Verarbeitung auf die Anthocyangehalte [mg/kg].....	126
Tabelle 42: Einfluss der Lagerung auf die Qualität von Erdbeerpüree 2010, Stickstoffversuch	127
Tabelle 43: Einfluss der Lagerung auf die Anthocyangehalte [mg/kg].....	128
Tabelle 44: Einfluss der Verarbeitung auf die Qualität von Sauerkirschsaft 2009	131
Tabelle 45: Anthocyane in frischem Sauerkirschsaft der Sorte Favorit.....	133
Tabelle 46: Einfluss der Heißfüllung auf die Anthocyangehalte [mg/L]	133
Tabelle 47: Einfluss der Lagerung auf die farblosen Phenole in Sauerkirschsaft 2009 bei 4 °C und 20 °C [mg/L]	134
Tabelle 48: Veränderung der Konzentrationen einzelner Anthocyane im Verlauf der Lagerung bei 4 °C und 20 °C in Sauerkirschsaft der Sorte Favorit.....	135
Tabelle 49: Anthocyane in gelagertem Sauerkirschsaft der Sorte Favorit	136
Tabelle 50: Basisparameter (RSK-Analytik) des bei 4 °C und 20 °C gelagerten Sauerkirschaftes 2009 nach 0 und 12 Monaten	137
Tabelle 51: Einfluss der Maischeenzymierung auf die Qualität von Sauerkirschsaft 2011	139
Tabelle 52: Anthocyane in frischem Sauerkirschsaft des Jahres 2011	140
Tabelle 53: Einfluss der Maischeenzymierung auf die Anthocyangehalte [mg/L]	141
Tabelle 54: Einfluss der Maischeenzymierung auf die farblosen Phenole in Sauerkirschsaft 2011 [mg/L]	142
Tabelle 55: Anthocyane in frischem Traubensaft der Sorte Accent. Identifizierung nach Dietrich et al. (2009).	144
Tabelle 56: Konzentrationen der Anthocyane in frischem Traubensaft der Sorte Accent.....	144
Tabelle 57: Einfluss der Lagerung auf die farblosen Phenole in Traubensaft der Rebsorte Accent 2009 bei 20 °C [mg/L]	149



Tabelle 58: Veränderung der Konzentrationen einzelner Anthocyane im Verlauf der Lagerung bei 20 °C in Traubensaft Accent 2009 [mg/L]. Identifizierung nach Dietrich et al. (2009).....	151
Tabelle 59: Basisparameter (RSK-Analytik) des bei 20 °C gelagerten Traubensaftes der Rebsorte Accent nach 0, 6 und 12 Monaten.....	153
Tabelle 60: Grundparameter gelagerter Brombeersaft 2009 und kolloidfreier Saft.....	155
Tabelle 61: Aschegehalt und Elementzusammensetzung des originalen Brombeersaftes, des isolierten Kolloidmaterials und des phenolischen Extraktes	156
Tabelle 62: Aminosäurezusammensetzung der Kolloide aus Brombeersaft [Gew.-%]	157
Tabelle 63: Zuckerbausteinverteilung der Kolloide und phenolischen Extrakte aus Brombeersaft [Gew.-%].....	158
Tabelle 64: Basisparameter der Kolloide und phenolischen Extrakte von Brombeersaft 2009	158
Tabelle 65: Grundparameter gelagerter Erdbeersaft 2009 und kolloidfreier Saft.....	162
Tabelle 66: Aschegehalt und Elementzusammensetzung des originalen Erdbeersaftes 2009, des isolierten Kolloidmaterials und des phenolischen Extraktes.....	163
Tabelle 67: Aminosäurezusammensetzung der Kolloide aus Erdbeersaft 2009 [Gew.-%]	164
Tabelle 68: Zuckerbausteinverteilung der Kolloide und phenolischen Extrakte aus Erdbeersaft 2009 [Gew.-%].....	164
Tabelle 69: Basisparameter der Kolloide und phenolischen Extrakte von Erdbeersaft 2009	165
Tabelle 70: Grundparameter frischer und 18 Tage gelagerter Erdbeersaft 2010 und kolloidfreier Saft.....	168
Tabelle 71: Grundparameter sechs Monate gelagerter Erdbeersaft 2010 und kolloidfreier Saft.....	169
Tabelle 72: Aschegehalt und Elementzusammensetzung des gelagerten originalen Erdbeersaftes 2010, des isolierten Kolloidmaterials und des phenolischen Extraktes	170
Tabelle 73: Aminosäurezusammensetzung der frischen Kolloide aus Erdbeersaft 2010 [Gew.-%]	172



Tabelle 74: Zuckerbausteinverteilung der Kolloide und phenolischen Extrakte [Gew.-%]	173
Tabelle 75: Basisparameter der Kolloide und phenolischen Extrakte von Erdbeersaft 2010	173
Tabelle 76: Grundparameter gelagerter Sauerkirschsaft 2009 und kolloidfreier Saft..	177
Tabelle 77: Aschegehalt und Elementzusammensetzung des originalen Sauerkirschsaftes, des isolierten Kolloidmaterials und des phenolischen Extraktes	178
Tabelle 78: Aminosäurezusammensetzung der Kolloide aus Sauerkirschsaft [Gew.-%]	179
Tabelle 79: Zuckerbausteinverteilung der Kolloide und phenolischen Extrakte aus Sauerkirschsaft [Gew.-%].....	179
Tabelle 80: Basisparameter der Kolloide und phenolischen Extrakte aus Sauerkirschsaft 2009	180
Tabelle 81: Grundparameter gelagerter roter Traubensaft 2009 und kolloidfreier Saft	182
Tabelle 82: Aschegehalt und Elementzusammensetzung des originalen Traubensaftes, des isolierten Kolloidmaterials und des phenolischen Extraktes.....	183
Tabelle 83: Zuckerbausteinverteilung der Kolloide und des phenolischen Extraktes [Gew.-%]	184
Tabelle 84: Basisparameter des Kolloidmaterials und des phenolischen Extraktes von Traubensaft 2009	185
Tabelle 85: Monosaccharide und Zuckersäuren in Brombeerkolloidmaterial, isoliert aus zwölf Monate bei 4 °C gelagertem Saft [Gew.-%]	188
Tabelle 86: Anthocyane in Brombeerkolloidmaterial, isoliert aus zwölf Monate bei 4 °C gelagertem Saft [mg/kg].....	188
Tabelle 87: Monosaccharide und Zuckersäuren in Brombeerkolloidmaterial, isoliert aus zwölf Monate bei 20 °C gelagertem Saft [Gew.-%]	190
Tabelle 88: Anthocyane in Brombeerkolloidmaterial, isoliert aus zwölf Monate bei 20 °C gelagertem Saft [mg/kg].....	190
Tabelle 89: Monosaccharide und Zuckersäuren in Erdbeerkolloidmaterial 2009, isoliert aus zwölf Monate bei 4 °C gelagertem Saft [Gew.-%]	192



Tabelle 90: Anthocyane in Erdbeerkolloidmaterial, isoliert aus zwölf Monate bei 4 °C gelagertem Saft [mg/kg].....	192
Tabelle 91: Monosaccharide und Zuckersäuren in Erdbeerkolloidmaterial 2009, isoliert aus zwölf Monate bei 20 °C gelagertem Saft [Gew.-%]	193
Tabelle 92: Anthocyane in Erdbeerkolloidmaterial 2009, isoliert aus zwölf Monate bei 20 °C gelagertem Saft [mg/kg].....	194
Tabelle 93: Monosaccharide und Zuckersäuren in Erdbeerkolloidmaterial 2010, isoliert aus frisch hergestelltem Saft [Gew.-%].....	195
Tabelle 94: Anthocyane in Erdbeerkolloidmaterial 2010, isoliert aus frisch hergestelltem Saft [mg/kg]	196
Tabelle 95: Monosaccharide und Zuckersäuren in Erdbeerkolloidmaterial 2010, isoliert aus 18 Tage bei 4 °C gelagertem Saft [Gew.-%]	197
Tabelle 96: Anthocyane in Erdbeerkolloidmaterial 2010, isoliert aus 18 Tage bei 4 °C gelagertem Saft [mg/kg].....	198
Tabelle 97: Monosaccharide und Zuckersäuren in Erdbeerkolloidmaterial 2010, isoliert aus sechs Monate bei 4 °C gelagertem Saft [Gew.-%].....	199
Tabelle 98: Anthocyane in Erdbeerkolloidmaterial 2010, isoliert aus sechs Monate bei 4 °C gelagertem Saft [mg/kg].....	200
Tabelle 99: Monosaccharide und Zuckersäuren in Erdbeerkolloidmaterial 2010, isoliert aus sechs Monate bei 20 °C gelagertem Saft [Gew.-%].....	201
Tabelle 100: Anthocyane in Erdbeerkolloidmaterial 2010, isoliert aus sechs Monate bei 20 °C gelagertem Saft [mg/kg].....	202
Tabelle 101: Monosaccharide und Zuckersäuren in Sauerkirschkolloidmaterial, isoliert aus zwölf Monate bei 4 °C gelagertem Saft [Gew.-%]	203
Tabelle 102: Anthocyane in Sauerkirschkolloidmaterial, isoliert aus zwölf Monate bei 4 °C gelagertem Saft [mg/kg].....	204
Tabelle 103: Monosaccharide und Zuckersäuren in Sauerkirschkolloidmaterial, isoliert aus zwölf Monate bei 20 °C gelagertem Saft [Gew.-%]	205
Tabelle 104: Anthocyane in Sauerkirschkolloidmaterial, isoliert aus zwölf Monate bei 20 °C gelagertem Saft [mg/kg].....	206



Tabelle 105: Monosaccharide und Zuckersäuren in Traubensaftkolloidmaterial, isoliert aus zwölf Monate bei 20 °C gelagertem Saft [Gew.-%]	207
Tabelle 106: Anthocyane in Traubensaftkolloidmaterial, isoliert aus zwölf Monate bei 20 °C gelagertem Saft [mg/kg]	208
Tabelle 107: Charakterisierung der Anthocyane im hochmolekularen Anteil des Brombeerkolloidmaterials	210
Tabelle 108: Anthocyane im hochmolekularen Anteil des Brombeerkolloidmaterials [mg/kg]	211
Tabelle 109: Monosaccharide und Zuckersäuren im hochmolekularen Anteil des Brombeerkolloidmaterials [Gew.-%]	211
Tabelle 110: Charakterisierung der Anthocyane im hochmolekularen Anteil des Erdbeerkolloidmaterials	213
Tabelle 111: Anthocyane im hochmolekularen Anteil des Erdbeerkolloidmaterials [mg/kg]	214
Tabelle 112: Anthocyane in den LSRCCC-Fractionen des phenolischen Extraktes ...	217
Tabelle 113: Gradientenprogramm HPLC-DAD-MS ⁿ	230
Tabelle 114: Gradientenprogramm HPLC-DAD	232
Tabelle 115: Versuchsplan der statistischen Versuchsplanung	258



1 Einleitung

Die Kaufentscheidung eines Konsumenten fällt neben ökonomischen und ökologischen Überlegungen auf Basis von produktspezifischen Eigenschaften wie Sensorik und Textur, aber auch der Farbe. Frische Früchte weisen brillante Farben auf. Durch Verarbeitung und Lagerung von Lebensmitteln kommt es jedoch zu einem signifikanten Verlust an Farbkraft und Brillanz. Durch Optimierung einzelner Verfahrensschritte kann der Pigmentverlust bei der Verarbeitung von Früchten reduziert werden, jedoch bleibt das Problem der Stabilität über die Lagerung von Fruchtsäften, Fruchtmarks, -pürees, Gelees, Konfitüren, Fruchtzubereitungen und „Smoothies“ bestehen. Viele Hersteller greifen deshalb auf synthetische Farbstoffe zurück.

Seit Bekanntwerden des kausalen Zusammenhangs zwischen dem Verzehr synthetischer Farbstoffe und der Hyperaktivität bei Kleinkindern (ADHS-Syndrom) werden Produkte mit synthetischen Farbstoffzusätzen vom Verbraucher zunehmend abgelehnt (McCann et al., 2007). Seit dem 20. Juli 2010 besteht für Lebensmittel, welche die Azofarbstoffe Tartrazin, Gelborange S, Azorubin, Allurarot oder Cochenillerot A enthalten, in der Europäischen Union eine Kennzeichnungspflicht mit gesondertem Warnhinweis.

Anthocyane haben als natürliche Lebensmittelfarbstoffe eine geringere Stabilität gegenüber Hitze und Licht als die synthetischen Farbstoffe. Dafür haben sie potentiell gesundheitsfördernde Eigenschaften (Clifford, 2000; Stintzing und Carle, 2004; McGhie und Walton, 2007). Sie wirken antioxidativ und fungieren als freie Radikalfänger. Zahlreiche Studien weisen auf antibakterielle, antithrombotische und entzündungshemmende Wirkungen hin. Anthocyane gelten als Gruppe von bioaktiven Stoffen, welche die Gesundheit des Menschen fördern, ohne Nährstoffe zu sein (vgl. Dietrich et al., 2009). Hier stehen insbesondere Ergebnisse von Studien zur Erkrankung koronarer Herzgefäße, Auswirkungen auf Krebszellen und Viren (Mazza und Miniati, 1993) im Vordergrund. Eine Übersicht zum Thema Gesundheitswirkung der Anthocyane gibt Kaul (1996). Durch klimatische Schwankungen kommt es zu beträchtlichen jahrgangsabhängigen Konzentrationsunterschieden an Anthocyanen in Früchten. Anthocyane



Einleitung

zeigen eine unterschiedliche Stabilität bei der Lagerung. Vor allem bei Pelargonidin-3-glucosid, dem Hauptanthocyan der Erdbeere, liegt eine geringe Halbwertszeit vor. Dies ist eine der Ursachen für das rasche Braunwerden von Erdbeerprodukten. Hinzu kommen Einflüsse durch den pH-Wert, Licht, Sauerstoff, Temperatur, die Anwesenheit von Sacchariden, freien Aminosäuren und phenolischen Verbindungen. Die Stabilität von Anthocyanen in der originalen Frucht ist stets besser als in Verarbeitungsprodukten. Dies lässt den Schluss zu, dass eventuell Wechselwirkungen von Anthocyanen mit polymeren Matrixbestandteilen wie Teilen der primären Zellwand (Pektin, Hemicellulose, Cellulose) bestehen, welche eine farbstabilisierende Wirkung erzeugen. Im Zuge moderner Verarbeitungstechnologie werden Enzympräparate zur Steigerung der Ausbeute oder der vermehrten Freisetzung an Anthocyanen eingesetzt, welche polymere Matrixkomponenten abbauen. Ob dies zu einem destabilisierenden Effekt führt, ist bisher nicht bekannt. Eine wichtige Rolle spielen genuine Fruchtenzyme (Ascorbatperoxidasen, Peroxidasen etc.), welche ebenfalls zu Pigmentverlust führen. Diese Gruppe an Enzymen spielt vor allem bei längeren Standzeiten während der Verarbeitung, zum Beispiel bei der Maischeenzymierung, eine wichtige Rolle. Dazu kommen Nebenaktivitäten von technischen Enzympräparaten, die zum Pigmentabbau beitragen.

Die vorliegende Arbeit soll klären, welche Risiken und Chancen in der modernen Verarbeitungstechnologie bestehen, um Produkte mit möglichst hohem Pigmentanteil und hoher Pigmentstabilität herzustellen. Darüber hinaus soll der Einfluss einer Enzymierung während der Verarbeitung hinsichtlich Farbe und Farbstabilität des Endproduktes überprüft werden. Dabei wird nicht nur die Produktqualität am Ende der Herstellung, sondern auch im Zuge einer Lagerung von mehreren Monaten bei drei unterschiedlichen Temperaturen bewertet. Darüber hinaus sollen Alterungspigmente, die durch Veränderungen während der Lagerung entstehen, charakterisiert und, sofern möglich, identifiziert werden. Parallel dazu erfolgen Analysen von kolloidalen Bestandteilen der einzelnen Fruchtsäfte, die Aufschluss über mögliche Wechselwirkungen zwischen Anthocyanen und polymeren Matrixbestandteilen, sowie der Art der Wechselwirkung, geben sollen.



2 Stand der Wissenschaft

2.1 Grundlagen

Anthocyane sind für die Farben vieler Früchte, Blumen, aber auch Gemüsearten verantwortlich. Botaniker und Pflanzenphysiologen haben diese Farbpigmente in zahlreichen Untersuchungen erforscht. In der Natur dienen die Farben der Pflanzen zum Beispiel zur Anlockung von Insekten, welche die Pollen aus Blüten zur Bestäubung verwenden. Es sind sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe, die auch in vielen aktuellen Projekten weiter erforscht werden. Eine der ältesten Anwendungen von Anthocyanen ist die Verbesserung der Farbe von Rotwein durch den Zusatz farbstarker Extrakte aus roten Beerenhäuten von Weintrauben. Noch heute werden Lebensmittel durch Verwendung von natürlichen Farben gefärbt. Ein Anwendungsbeispiel ist die Verwendung von Fruchtsaftkonzentraten aus Schwarzer Johannisbeere zur Färbung von Gummibärchen. Die Konzentrationen von Anthocyanen, aber auch die Art der Anthocyane, hängen im Wesentlichen von der verwendeten Fruchtart ab. Die Gehalte unterliegen zudem starken Schwankungen. Aronia, Heidelbeere und Schwarze Johannisbeere sind dabei neben Weintrauben die Fruchtarten mit den höchsten Anthocyangehalten in der frischen Frucht. Bisher wurden über 300 Anthocyanverbindungen in der Natur identifiziert. Die fundierte Arbeit von Francis und Markakis (1989) befasst sich mit den Strukturen und Eigenschaften von Anthocyanen in verschiedenen Pflanzen. Weintrauben stellen eine wichtige Quelle dar. Der Autor gibt einleitend eine Übersicht zu den bereits bekannten Anthocyanen in Form einer tabellarischen Auflistung mit 17 Aglyconen, von denen lediglich sechs eine Rolle in der Färbung von Lebensmitteln spielen. Anschließend wird ein Verfahren zur Gewinnung eines Anthocyanextraktes aus Trauben beschrieben, sowie weitere Verfahren zur Extraktion anderer roter Früchte. Hinsichtlich der Farbstabilität werden die Einflussfaktoren chemische Struktur, pH-Wert, Temperatur, Licht, Ascorbinsäure, Sauerstoff, Metalle, Zucker, Copigmentierung, Kondensation und Enzyme