

Iris Anna Maria Ragger

Analytische und sensorische Charakterisierung von alten steirischen Streuobstapfelsorten

Von der unversehrten Frucht bis zu sortenreinem Saft und Most

MASTERARBEIT

Zur Erlangung des akademischen Grades einer Diplomingenieurin

der Studienrichtung Biotechnologie
erreicht an der

Technischen Universität Graz



Unter der Betreuung von
Univ.Doz.ⁱⁿ Dipl.Ing. Dr.techn. Barbara Siegmund
Institut für Analytische Chemie und Lebensmittelchemie
Arbeitsgruppe Lebensmittelchemie und Humansensorik
Technische Universität Graz

Im Zeitraum von Oktober 2012 bis Juni 2013

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am.....

Signaturwert	juDrhFBp27E3NinNRotB9nRwq0fbOqlmrJiaR5v3YVMYvJys9BbYPplyvLs/3JZtneh7WTITE DnzvYVoytGxUQ==	
	Unterzeichner	Iris Ragger
	Aussteller-Zertifikat	CN=a-sign-premium-mobile-03,OU=a-sign-premium-mobile-03,O=A-Trust Ges. f. Sicherheitssysteme im elektr. Datenverkehr GmbH,C=AT
	Serien-Nr.	733574
	Methode	urn:pdfsigfilter:bka.gv.at:binaer:v1.1.0
	Parameter	etsi-bka-atrust-1.0:ecdsa-sha256:sha256:sha1
Prüfinformation	Signaturprüfung unter: http://www.signaturpruefung.gv.at	
Hinweis	Dieses mit einer qualifizierten elektronischen Signatur versehene Dokument ist gemäß § 4 Abs. 1 Signaturgesetz einem handschriftlich unterschriebenen Dokument grundsätzlich rechtlich gleichgestellt.	
Datum/Zeit-UTC	2013-08-05T09:01:43Z	

Statutory Declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....

date

Signaturwert	ffb9nvGNxvfI04cZmCkSV1F9HAjndz1SlrWKyEJyNxjBLLMETx37nttPy3phqlfgawYYZ3B6M BkCBUbPucvx4w==	
	Unterzeichner	Iris Ragger
	Aussteller-Zertifikat	CN=a-sign-premium-mobile-03,OU=a-sign-premium-mobile-03,O=A-Trust Ges. f. Sicherheitssysteme im elektr. Datenverkehr GmbH,C=AT
	Serien-Nr.	733574
	Methode	urn:pdfsigfilter:bka.gv.at:binaer:v1.1.0
	Parameter	etsi-bka-atrust-1.0:ecdsa-sha256:sha256:sha1
Prüfinformation	Signaturprüfung unter: http://www.signaturpruefung.gv.at	
Hinweis	Dieses mit einer qualifizierten elektronischen Signatur versehene Dokument ist gemäß § 4 Abs. 1 Signaturgesetz einem handschriftlich unterschriebenen Dokument grundsätzlich rechtlich gleichgestellt.	
Datum/Zeit-UTC	2013-08-05T09:05:06Z	

Danksagung

Allen voran möchte ich mich bei Frau Univ.Doz.ⁱⁿ Dipl.Ing. Dr. Barbara Siegmund für die umfangreiche, kompetente Betreuung während meiner Masterarbeit bedanken und vor allem für den großartigen, persönlichen Einsatz und Mühe, mir eine intensive Betreuung zu ermöglichen.

Des Weiteren möchte ich mich auch ganz herzlich bei Herrn Ao. Univ. Prof. Dipl.Ing. Dr. Erich Leitner für seine Hilfe und Unterstützung für diese Arbeit bedanken.

Besonders möchte ich mich bei Frau Dipl.Ing. Andrea Jurek, Frau Ing. Nina Haar, Frau Dipl.Ing. Nicole Pabi und bei Chemielabortechnik-Lehrling Frau Anna Walcher für ihre große Hilfestellung bei der Durchführung der Arbeit bedanken.

Weiters gilt mein Dank auch den Mitgliedern der Arbeitsgruppe Lebensmittelchemie für ein angenehmes Arbeitsklima und für ihre Zusammenarbeit. Auch bei den Mitgliedern des Sensorikpanels möchte ich mich besonders bedanken, ohne deren Motivation und Unterstützung eine Durchführung der Analysen nicht möglich gewesen wäre.

Zuletzt möchte ich mich bei meinem Freund Arne, meinen Freundinnen Katharina und Bettina, und natürlich bei meinen (Stief-)Eltern bedanken, für ihre geduldige und verständnisvolle Unterstützung und deren Bereitschaft, immer ein offenes Ohr für meine Sorgen und Nöte zu haben.

Für meine Omi

Kurzfassung

Sortenreine Apfelsäfte und –moste von hoher Qualität aus alten Apfelsorten (Bohnapfel, Kronprinz Rudolf, Maschanzker) aus der ländlichen, bäuerlichen Produktion stellen eine Produktschiene dar, die dazu beitragen kann, den Erhalt der Kulturlandschaft Streuobstwiese aus wirtschaftlicher Sicht zu erhalten. Derartige Produkte werden im Moment produziert, allerdings ohne die sortentypischen Eigenschaften genau zu kennen.

Ziel dieser Arbeit war es, Apfelsäfte und –moste aus den drei alten Streuobstsorten hinsichtlich ihres Aromas genau zu charakterisieren und mit Produkten, die aus den wichtigsten Sorten aus dem Plantagebau (Braeburn, Golden Delicious) hergestellt wurden, zu vergleichen. Für diese Fragestellungen wurden sowohl Methoden der Lebensmittelensorik als auch der instrumentell-analytischen Aromastoffanalytik eingesetzt.

Die lebensmittelbiotechnologische Produktion der Säfte erfolgte unter standardisierten Bedingungen, wobei alle Schritte beginnend vom Rohsaft, über den enzymatisch katalysierten Entschleimungsvorgang bis zum pasteurisierten Direktsaft hinsichtlich der Aromastoffe verfolgt wurde. Zusätzlich wurden die Fruchtmuttersäfte unter streng kontrollierten Bedingungen einer Fermentation unterworfen, um die zugehörigen sortenreinen, kaltvergorenen Apfelmoste zu erhalten.

Das Aroma ist ein wichtiger Parameter zur Unterscheidung und zur Qualitätsbeurteilung der sortenreinen Apfelsäfte und –moste. Es gibt eine Vielzahl von Aromastoffen, die das Aroma eines Apfelsaftes/mostes bestimmen. Das komplexe Gemisch einer Vielzahl flüchtiger Verbindungen des Apfels(saftes/mostes) wurde unter Verwendung von gaschromatographischen Methoden aufgetrennt in ihre Einzelbestandteile und mit geeigneten Detektionssystemen identifiziert und (semi-)quantifiziert. Die Extraktion und Anreicherung der flüchtigen Produkte erfolgte über Festphasenmikroextraktion. Zur Identifizierung von geruchsaktiven Verbindungen in den sortenreinen Apfelsäften kam die Gaschromatographie-Olfaktometrie zum Einsatz. Es erfolgten außerdem Zuckergehalts- und Säuregehaltsmessungen.

Zusätzlich zu den analytischen Messungen wurden die unterschiedlichen Apfelsorten unter Verwendung von deskriptiven Methoden sowie Projective Mapping in Hinblick auf ihre sensorischen Eigenschaften charakterisiert. Dafür wurde ein trainiertes Sensorikpanel eingesetzt.

Die Ergebnisse der Aromastoffanalytik zeigten, dass die Verbindungen, die als relevant für das Aroma erachtet werden, in sehr unterschiedlich großen Mengen in den einzelnen reinsortigen Säften vorliegen. Zu den Verbindungen, die generell in hohen Konzentrationen in allen Apfel(-säften) vorliegen, gehören unter anderem 1-Hexanol, 1-Butanol, 2-Methyl-1-butanol, Butylacetat und Hexylacetat. Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass der Verarbeitungsschritt des Pressvorganges und die damit verbundenen ablaufenden Reaktionen, die größten Veränderungen im Aroma mit sich bringen. Außerdem konnten sortentypische Eigenschaften und eine deutliche Differenzierung der Sorten mit den sensorischen und analytischen Analysen ermittelt werden. Die fruchtig, beerig riechenden Ester Ethylbutanoat und Ethyl-2-methylbutanoat sind charakteristisch für die Sorte Kronprinz Rudolf.

Die Ergebnisse dieser Arbeit liefern einerseits eine Basischarakterisierung der beschriebenen Produkte hinsichtlich des Aromas und dienen andererseits als Grundlage für weiterführende Arbeiten, in denen durch das Setzen von geeigneten (bio)technologischen Maßnahmen die Sortencharakteristika noch stärker hervorgehoben werden können.

Abstract

High quality single-origin apple juices and ciders of old apple varieties (Bohnapfel, Kronprinz Rudolf and Maschanzker) from rural production are products which, from an economical point of view, can contribute to preserve meadow orchards which are typical cultural landscapes in Southern Austrian regions. Such products are currently produced, however, without knowing their variety-specific characteristics.

The goal of this thesis was to characterize apple juices and ciders of the mentioned three old apple varieties according to their flavor and to compare them with the most significant products from plantation growing (Braeburn, Golden Delicious). In order to achieve this aim, both methods from sensory as well as instrumental-analytical analytics were applied.

The biotechnological juice production has been conducted under standardized circumstances, whereby all steps starting from the fruit to the raw juice, the enzymatic catalytic disliming removal up to the pasteurized NFC juice were observed with respect to their flavor. Moreover single-origin ciders were produced under the strictly controlled fermentation conditions.

Flavor is an important parameter for the distinction and quality assessment of single-origin apple juices and ciders. Many compounds are described to be characteristic for the flavor of apple juices and ciders. The complex composite of numerous volatile compounds of the apple juice was separated into its single components by applying gas chromatographic methods. These components were identified with appropriate detection systems and have been (semi-)quantified. The extraction and enrichment of the volatile products were carried out by using solid-phase micro-extraction. In order to identify odor-active compounds in single-origin apple juices, gas chromatography olfactometry was used. In addition, sugar and acid levels were determined.

In addition to the analytical measurements, sensory evaluation of the different apple varieties was performed using descriptive methods as well as projective methods. A trained sensory panel was used for this purpose.

The results of the flavoring analytics show that compounds, which are considered as flavor-relevant, are present in apple juices in different quantities. 1-Hexanol, 1-Butanol, 2-Methyl-1-butanol, Butylacetat und Hexylacetat are amongst those compounds, which generally occur in higher concentrations. It could be further demonstrated that the squeezing step and the concerned reactions imply the greatest changes in flavor. Variety-typical characteristics and a significant differentiation of the single varieties could be identified. The fruity, berrylike odorous of the esters Ethylbutanoat and Ethyl-2-methylbutanoat are characteristic for Kronprinz Rudolf.

First, the results of this thesis provide a main characterization of the discussed products with respect to their flavor. Second, this thesis also serves as basis for future work where variety characteristics can be emphasized more by applying appropriate biotechnological methods.

Inhaltsverzeichnis

KURZFASSUNG	5
ABSTRACT	6
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	9
TABELLENVERZEICHNIS	11
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	14
1 EINLEITUNG	15
2 ALLGEMEINE GRUNDLAGEN	17
2.1 Streuobstwiese	17
2.2 Der Apfel	18
2.3 Die Apfelsaftherstellung	19
2.3.1 Zuckergehalts- und Säuregehaltsmessungen	22
2.4 Most.....	23
2.4.1 Geschichte des Mostes und Begriffserklärungen	23
2.4.2 Mostherstellung: die alkoholische Gärung	24
2.4.3 Die Hefe	25
2.5 Aromastoffe	26
2.5.1 Entstehung von Aromastoffen	26
2.5.2 Entstehung von Aromastoffen während der Apfelsaftherstellung	27
3 METHODEN	31
3.1 Probenvorbereitung.....	31
3.2 Gaschromatographie.....	32
3.2.1 Aufbau eines Gaschromatographen	33
3.2.2 Gaschromatographie-Massenspektrometrie	34
3.2.3 Gaschromatographie-Olfaktometrie	35
3.2.4 Identifizierung der Verbindungen	36
3.3 Sensorische Analysen.....	37
3.3.1 Sinnesphysiologie	37
3.3.2 Die sensorische Prüfung	38
3.3.3 Sensorische Prüfverfahren.....	38
4 UNTERSUCHTE PROBEN	40
4.1 Die Streuobstsorten: die alten Apfelsorten	40
4.2 Die Plantageanbausorten.....	41
5 EXPERIMENTELLER TEIL	42
5.1 Herstellung des Apfelsaftes und Apfelmostes	42
5.2 Analyse von Zucker- und Säuregehalt	46
5.3 Untersuchung der Mostproben mittels AlcoLyzer®.....	46
5.4 Probenvorbereitung mittels SPME und GC-MS für die Flüssigproben.....	47
5.5 Probenvorbereitung mittels PFS und GC-MS für die unversehrten Äpfel	48
5.6 GC-O und Detection Frequency von den Streuobstsorten	49

5.7	Sensorische Untersuchungen	50
5.8	Sensorische Untersuchungen der unversehrten Äpfel	51
5.9	Sensorische Untersuchungen der Säfte	52
5.10	Sensorische Untersuchungen der Moste	54
6	ERGEBNISSE UND DISKUSSION DER MESSUNGEN	55
6.1	Messungen von Basisparametern	55
6.1.1	Ergebnisse der Zucker- und Säuregehaltsmessungen.....	55
6.1.2	Ergebnisse der Alkohol- und Dichtemessungen.....	56
6.2	Sensorische Untersuchungen von Apfelaromen	57
6.2.1	Sensorische Untersuchungen – Schulungsergebnisse	57
6.2.2	Sensorische Untersuchungen der unversehrten Äpfel	58
6.2.3	Sensorische Untersuchungen der Säfte	60
6.2.4	Sensorische Untersuchungen der Moste.....	63
6.3	Aromastoffanalytik	65
6.3.1	Unversehrte Äpfel	65
6.3.2	Aromastoffanalyse: vom Rohsaft bis zum pasteurisierten Saft	74
6.3.3	Aromastoffanalyse der Apfelmoste	101
6.4	GC-O und Detection Frequency der Streuobstsorten	114
7	ZUSAMMENFASSUNG	120
8	LITERATURVERZEICHNIS	121
9	ANHANG	125

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Refraktometer (Quelle: Firma Kuhny Optik, Schweiz)	23
Abbildung 2: Übersicht der Bildung von Aromastoffen (Quelle: „Flavor Formation in Fruits and Vegetables“ Seite 75, Reineccius 2006)	27
Abbildung 3: Bildung und Wirkung von Ethylen im Apfel; Ethylen wird als Abbauprodukt von der Aminosäure Methionin gebildet, durch Anbindung an spezifische Ethylen-Rezeptoren werden eine Reihe von genetischen Reaktionen in der Frucht ausgelöst und die Enzyme, die für die Reifung der Frucht notwendig sind, werden exprimiert. [Quelle: RG Berger „Flavours and Fragrance“].....	28
Abbildung 4: Mögliche Bildungsvorgänge von Aromastoffen im Apfel (angelehnt an Yahia 1994, Seite 208).....	29
Abbildung 5: Skizze einer SPME Vorrichtung Quelle: Chromatography Knowledge Base http://www.chromedia.org/chromedia?waxtrapp=ujuiPdsHqnOxmOIIEcCpBmFrF&subNav=a_bffyDsHqnOxmOIIEcCpBmFrFH	32
Abbildung 6: Aufbau eines Gaschromatographen mit den wichtigsten Bestandteilen; Quelle: http://www.techniklexikon.net/d/gaschromatographie/gaschromatographie.htm	33
Abbildung 7: Mit dem sogenannten Sniffing Port schnüffelt eine sensorisch geschulte (oder auch ungeschulte) Person einen Teil des Gasstromes ab und detektiert so die aromaaktiven Verbindungen.....	36
Abbildung 8: Die Streuobstsorten; Bohnapfel-linkes Bild; Kronprinz Rudolf-mittleres Bild; Maschankker-rechtes Bild	40
Abbildung 9: Die Plantageanbausorten; Braeburn-linkes Bild; Golden Delicious-rechtes Bild	41
Abbildung 10: Apfelsaftherstellung: Zuerst wurden die Äpfel sortiert, dann gemahlen und danach gepresst. Der Rohsaft wurde einer Schönung unterzogen und über Nacht inkubiert.	43
Abbildung 11: Zur Schönung eingesetzt: Bentonit der Firma Erbsloh (linkes Bild) und Most-Gelatine der Max F. Keller GmbH (rechtes Bild)	43
Abbildung 12: Apfelsaftherstellung: Nach dem Entschleimungsvorgang wurde der Saft in Flaschen abgefüllt und in einem Heißluftofen der Firma Krefft pasteurisiert.	44
Abbildung 13: Mostherstellung: Der Saft wurde mit Hefe und Hefenährsalz versetzt und unter kontrollierten Bedingungen wurde der Gärungsprozess durchgeführt.....	45
Abbildung 14: Säuregehaltsmessungen der Apfelsaftproben mittels Titration.....	46
Abbildung 15: Vier Portable Field Sampler SPME Fasern wurden eine Stunde lang exponiert in einem mit Äpfeln gefüllten Glas	48
Abbildung 16: Einzelkabine des DIN genormten Prüflabors.....	50
Abbildung 17: Deskriptive Beurteilung von unversehrten Äpfeln.....	51
Abbildung 18: Durchführung eines Projective Mapping: ein großes, weißes Blatt Papier, auf denen die Proben von jedem Prüfer auf seine eigenen Unterscheidungen/Ähnlichkeiten aufgestellt werden	54
Abbildung 19: Deutliche Farbunterschiede der jeweiligen Apfelsorte sind erkennbar	55
Abbildung 20: Vergleich der Zuckergehalte der unterschiedlichen Apfelsaftsorten	56
Abbildung 21: Anzahl der Nennungen der wichtigsten Attribute zur Geruchsbeschreibungen durch einzelne Prüfpersonen.....	59
Abbildung 22: Anzahl der Nennungen der wichtigsten Eindrücke beim Verkosten.....	60
Abbildung 23: Projective Mapping: Jede Prüfperson verglich die Proben nach ihrem persönlichen Empfinden. Aus diesem Grund auch die unterschiedlichen Anordnungen	60

Abbildung 24: Projective Mapping: Die deskriptive Beurteilung und die erhaltenen Daten des Statistikprogrammes sind hier dargestellt	61
Abbildung 25: Spinnendiagramm-Ergebnis der QDA: Der Mittelwert der Intensitätseindrücke der Prüfpersonen wurde berechnet und mit den Attributen graphisch dargestellt	62
Abbildung 26: Daten des Projective Mappings wurden mittels des Statistikprogrammes Unscrambler® visualisiert.....	64
Abbildung 27: Überlagerung der Aromaprofile der unversehrten Äpfel (1 = Maschanzker; 2 = Kronprinz Rudolf; 3 = Golden Delicious; 4 = Braeburn; 5 = Bohnapfel).....	65
Abbildung 28: Vergleich von fünf ausgewählten Verbindungen, die in allen untersuchten Apfelsorten vorkommen, mit deren Flächen	66
Abbildung 29: Multivariate Datenauswertung der unversehrten Äpfel mittels MasStat®	73
Abbildung 30: Überlagerte Aromaprofile von fünf Rohsaftproben (1 = Maschanzker; 2 = Kronprinz; 3 = Golden Delicious; 4 = Braeburn; 5 = Bohnapfel).....	74
Abbildung 31: Die Aromastoffe Hexanal und (<i>E</i>)-2-Hexenal sind im unversehrten Apfel noch nicht vorhanden, jedoch in den Rohsaftproben nachzuweisen; umgekehrt sind die Aromastoffe Ethylbutanoat und Propylpropanoat nur in den unversehrten Äpfeln nachzuweisen (die Sorte Bohnapfel wurde als Beispiel verwendet).....	76
Abbildung 32: Multivariate Datenauswertung der Rohsaftproben mittels MasStat®.....	82
Abbildung 33: Multivariate Datenauswertung der entschleimten Saftproben mittels MasStat®	89
Abbildung 34: Multivariate Datenauswertung der Rohsaftproben und der entschleimten Saftproben mittels MasStat®.....	89
Abbildung 35: Multivariate Datenauswertung der pasteurisierten Saftproben mittels MasStat®	96
Abbildung 36: Multivariate Datenauswertung aller Saftproben mittels MasStat®	98
Abbildung 37: Multivariate Datenauswertung aller Proben (rot = unversehrte Frucht; grün = Rohsaft/Entschleimt; orange = past. Säfte) der Sorten Braeburn und Kronprinz Rudolf mittels MasStat®	99
Abbildung 38: Multivariate Datenauswertung aller Proben mittels MasStat®.....	100
Abbildung 39: Vergleich der Anzahl an flüchtigen Verbindungen von den Sorten Braeburn und Kronprinz Rudolf.....	100
Abbildung 40: Überlagerte Aromaprofile von fünf Apfelmotproben vor der Abschwefelung (Maschanzker = 1; Kronprinz Rudolf = 2; Golden Delicious = 3; Braeburn = 4; Bohnapfel = 5)	101
Abbildung 41: Überlagerte Aromaprofile von den fünf fertigen Apfelmotproben (Maschanzker = 1; Kronprinz Rudolf = 2; Golden Delicious = 3; Braeburn = 4; Bohnapfel = 5)	107
Abbildung 42: Multivariate Datenauswertung der Mostproben mittels MasStat®	113
Abbildung 43: GC-Olfaktogramm von der Sorte Bohnapfel.....	115
Abbildung 44: GC-Olfaktogramm von der Sorte Maschanzker.....	116
Abbildung 45: GC-Olfaktogramm von der Sorte Kronprinz Rudolf	118
Abbildung 46: Aromabaum aller drei alten Streuobstsorten	118
Abbildung 47: Beispiel- Protokoll für eine Profilprüfung	125
Abbildung 48: Beispiel- Protokoll für eine Quantitative Deskriptive Analyse (QDA).....	126
Abbildung 49: Beispiel- Protokoll für eine Rangordnungsprüfung	127
Abbildung 50: Beispiel- Protokoll für einen Triangeltest	128

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Unterschiede zwischen Streuobstbau und dem Plantagebau.....	18
Tabelle 2: Überblick der Ausgangsstoffe mit den daraus gebildeten Aromastoffen:.....	30
Tabelle 3: Übersicht über die Zugabemenge von Hefe und Hefenährsalz zu den unterschiedlichen Ansätzen.....	45
Tabelle 4: GC-MS Parameter für die Messung der Proben von Rohsaft, entschleimtem Saft, pasteurisiertem Saft und Most	47
Tabelle 5: Das Gewicht der abgewogenen Apfelsorten:	48
Tabelle 6: GC-MS Parameter für die manuelle Messung der unversehrten Äpfel	49
Tabelle 7: GC-O Parameter für die Messung der Flüssigextrakte	50
Tabelle 8: Übersicht der durchgeführten Verkostungen	51
Tabelle 9: Geruchsstandards mit eingesetzter Konzentration [%].....	52
Tabelle 10: Durchgeführte Triangeltests und Rangordnungsprüfungen für die Schulung des Panels:	53
Tabelle 11: Durchgeführte Profilprüfungen für die Schulung des Panels:	53
Tabelle 12: Zucker- und Säuregehalt der untersuchten Proben:.....	55
Tabelle 13: Ergebnisse der Alkoholgehalts- und Dichtemessungen:.....	56
Tabelle 14: Beschreibungen der Geruchsstandards	57
Tabelle 15: Deskriptive Beurteilung der unversehrten Äpfel.....	58
Tabelle 16: Deskriptive Beurteilungen der Apfelsaftproben	61
Tabelle 17: Deskriptive Beschreibungen der Apfelmustproben.....	63
Tabelle 18: Vergleich der relativen Konzentrationen der flüchtigen Verbindungen in unversehrten Äpfeln (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 4)	67
Tabelle 19: Auflistung aller Verbindungen, die bei der Sorte Bohnapfel identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 4)	67
Tabelle 20: Auflistung aller Verbindungen, die bei der Sorte Golden Delicious identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 4) ..	69
Tabelle 21: Auflistung aller Verbindungen, die bei der Sorte Maschanzker identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 4)	70
Tabelle 22: Auflistung aller Verbindungen, die bei der Sorte Braeburn identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 4)	71
Tabelle 23: Auflistung aller Verbindungen, die bei der Sorte Kronprinz Rudolf identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 4) ..	72
Tabelle 24: Auflistung der Verbindungen, die in allen Rohsaftproben der fünf Apfelsorten identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)	75
Tabelle 25: Auflistung aller Verbindungen, die bei der Sorte Bohnapfel in den Rohsaftproben identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)	77
Tabelle 26: Auflistung aller Verbindungen, die bei der Sorte Kronprinz Rudolf in den Rohsaftproben identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	78
Tabelle 27: Auflistung aller Verbindungen, die bei der Sorte Braeburn in den Rohsaftproben identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)	79

Tabelle 28: Auflistung aller Verbindungen, die bei der Sorte Golden Delicious in den Rohsaftproben identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	80
Tabelle 29: Auflistung aller Verbindungen, die bei der Sorte Maschanzker in den Rohsaftproben identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	81
Tabelle 30: Auflistung aller Verbindungen, die in allen fünf Apfelsorten identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	83
Tabelle 31: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Saftproben der Sorte Bohnapfel nach dem Entschleimungsvorgang (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	84
Tabelle 32: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Saftproben der Sorte Golden Delicious nach dem Entschleimungsvorgang (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)	85
Tabelle 33: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Saftproben der Sorte Kronprinz Rudolf nach dem Entschleimungsvorgang (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)	86
Tabelle 34: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Saftproben der Sorte Braeburn nach dem Entschleimungsvorgang (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	87
Tabelle 35: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Saftproben der Sorte Maschanzker nach dem Entschleimungsvorgang (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	88
Tabelle 36: Auflistung aller Verbindungen, die in den pasteurisierten Säften identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5) ..	90
Tabelle 37: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Bohnapfel in den pasteurisierten Saftproben (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	91
Tabelle 38: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Braeburn in den pasteurisierten Saftproben (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	92
Tabelle 39: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Golden Delicious in den pasteurisierten Saftproben (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	93
Tabelle 40: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Kronprinz Rudolf in den pasteurisierten Saftproben (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	94
Tabelle 41: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Maschanzker in den pasteurisierten Saftproben (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	95
Tabelle 42: Auflistung der Verbindungen, die in den Proben aller Sorten in allen Verarbeitungsschritten identifiziert werden konnten (die graue Markierung zeigt gleiche Verbindungen an).....	97
Tabelle 43: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Bohnapfel in den Apfelmustproben vor der Abschwefelung (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	102

Tabelle 44: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Braeburn in den Apfelmostproben vor der Abschweifung (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	103
Tabelle 45: Auflistung aller Verbindungen der Sorte Golden Delicious in den Apfelmostproben vor der Abschweifung (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	104
Tabelle 46: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Kronprinz Rudolf in den Apfelmostproben vor der Abschweifung (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	105
Tabelle 47: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Maschankker in den Apfelmostproben vor der Abschweifung (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	106
Tabelle 48: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Bohnapfel in den Apfelmostproben (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	108
Tabelle 49: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Braeburn in den Apfelmostproben (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	109
Tabelle 50: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Golden Delicious in den Apfelmostproben (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	110
Tabelle 51: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Kronprinz Rudolf in den Apfelmostproben (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	111
Tabelle 52: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Maschankker in den Apfelmostproben (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5).....	112
Tabelle 53: Auflistung der geruchsaktiven Verbindungen der Sorte Bohnapfel.....	114
Tabelle 54: Auflistung der geruchsaktiven Verbindungen der Sorte Maschankker.....	115
Tabelle 55: Auflistung der geruchsaktiven Verbindungen der Sorte Kronprinz Rudolf.....	117

Abkürzungsverzeichnis

AEVA	Aromaextraktverdünnungsanalyse
ADP	Adenosindiphosphat
ATP	Adenosintriphosphat
CWX	Carbowax
DMS	Dimethylsulfid
DVB	Divinylbenzen
FID	Flammenionisationsdetektor
FPD	Flammenphotometrischer Detektor
GC	Gaschromatographie
GC-MS	Gaschromatographie-Massenspektrometrie
GCO	Gaschromatographie-Olfaktometrie
HPLC	Hochleistungsflüssigchromatographie
KMW	Klosterneuburger Mostwaage
KPS	Kaliumpyrosulfit
MS	Massenspektrometrie
°Oe	Oechslegrad
NAD/NADH	Nikotinsäureamidadenindinukleotid oxididierte/reduzierte Form
NPD	Stickstoff-Phosphor-selektiver Detektor
PA	Polyacrylat
PCA	Principal Component Analysis
PDMS	Polydimethylsiloxan
PFS	Portable Field Sampler
RI	Retentionsindices
SPME	solid phase microextraction
TIC	total ion chromatogramm
TTP	Thiaminpyrophosphat

1 Einleitung

Sortenreine Apfelsäfte und – moste von hoher Qualität aus alten Apfelsorten (Bohnapfel, Kronprinz Rudolf, Maschanzker) aus der ländlichen Produktion stellen eine Produktschiene dar, die dazu beitragen kann, den Erhalt der Streuobstwiese aus wirtschaftlicher Sicht zu erhalten. Die Streuobstwiese ist eine typische Kulturlandschaft der östlichen und südlichen Steiermark und der Erhalt dieser Kulturlandschaft erfolgt nur, wenn es eine Wertschöpfung aus der Streuobstwiese gibt. Die Vermarktung von entsprechenden Produkten könnte einen großen Beitrag leisten, alten Apfelsorten einen Aufschwung zu geben. Es werden derartige Produkte im Moment produziert, aber die Produkte sind nicht charakterisiert.

Ziel dieser Arbeit war es, Apfelsäfte und – moste aus den drei Streuobstsorten (Bohnapfel, Kronprinz Rudolf, Maschanzker) hinsichtlich ihres Aromas genau zu charakterisieren und mit Produkten, die aus den wichtigsten Sorten aus dem Plantagebau (Braeburn, Golden Delicious) hergestellt wurden, zu vergleichen. Die Kenntnis der Eigenschaften der Streuobstsorten ist wichtig für die Produktentwicklung von Produkten mit für die Region typischen Eigenschaften. Für diese Fragestellungen wurden sowohl Methoden der Lebensmittelsensorik als auch der instrumentell-analytischen Aromastoffanalytik eingesetzt.

Diese Arbeit zur Charakterisierung der beschriebenen Apfelsorten sowie der daraus hergestellten Produkte ist wie folgt aufgebaut:

Kapitel 2 liefert einen Überblick über die allgemeinen Grundlagen der Thematik der vorliegenden Arbeit. Dabei werden grundlegende Begriffe wie die Streuobstwiese, Apfel oder Most bzw. Vorgänge der Apfelsaftherstellung bzw. die Entstehung der Aromastoffe ausführlich diskutiert. Bei der Herstellung des Apfelsaftes werden die einzelnen Bearbeitungsschritte und die Gerätschaften erklärt, außerdem wird auf die Mostherstellung eingegangen. Die verschiedenen Bildungswege der Aromastoffe während der Apfelsaftherstellung werden ebenfalls diskutiert. Zusätzlich werden die Geschichte des Mostes und die alkoholische Gärung behandelt.

Die der Arbeit zu Grunde liegenden Methoden werden in Kapitel 3 erläutert. Es werden einerseits die instrumentell-analytischen Methoden für die Erstellung von so genannten Aromaprofilen erklärt und andererseits die sensorischen Prüfmethode, die zur sensorischen Beurteilung von Lebensmitteln dienen. Zuerst wird die Probenvorbereitung behandelt, danach der Aufbau und die Verwendung eines Gaschromatographen. Die Methode zur Auftrennung und Identifizierung der Proben, die Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS) und die Methode zur Identifizierung von aromarelevanten Verbindungen, die Gaschromatographie-Olfaktometrie (GC-O) werden ausführlicher beschrieben.

Die eingesetzten Proben, die Streuobst- und die Plantagebausorten, werden in Kapitel 4 beschrieben. Die Herkunft und Anbauggebiete der alten Streuobstsorten (Bohnapfel, Kronprinz Rudolf und Maschanzker) und der Plantagebausorten (Braeburn und Golden Delicious) werden in diesem Kapitel erläutert.

Kapitel 5 diskutiert die durchgeführten Arbeitsschritte, die verwendeten Geräte und Methoden. Die lebensmittelbiotechnologische Produktion der Säfte erfolgte unter standardisierten Bedingungen, wobei alle Schritte beginnend vom unversehrten Apfel zum Rohsaft, über den enzymatisch katalysierten Entschleimungsvorgang bis zum pasteurisierten Direktsaft hinsichtlich der Aromastoffe verfolgt wurde. Zusätzlich wurden die

Fruchtmuttersäfte unter streng kontrollierten Bedingungen einer Fermentation unterworfen, um die zugehörigen sortenreinen, kaltvergorenen Apfelmoste zu erhalten.

Die Vielzahl von Aromastoffen, die das Aroma eines Apfelsafes/mostes bestimmen, wurde mittels gaschromatographischer Techniken in ihre Einzelbestandteile aufgetrennt und mit geeigneten Detektionssystemen identifiziert. Die Extraktion und Anreicherung der flüchtigen Produkte erfolgte über Festphasenmikroextraktion. Zur Identifizierung von geruchsaktiven Verbindungen in den sortenreinen Apfelsäften kam die Gaschromatographie-Olfaktometrie zum Einsatz. Abschließend wurden die Datensätze aller analytischen und teils auch sensorischen Untersuchungen einer statistischen Auswertung mittels multivariater Datenanalyse, deren Ziel eine Differenzierung der Sorten war, unterzogen.

Die umfangreichen Ergebnisse werden in Kapitel 6 dargestellt und diskutiert. Die Kombination von instrumentell-analytischen Methoden mit sensorischen Analysen brachte eine Basischarakterisierung der Aromastoffe von den untersuchten alten Streuobstsorten. Zusätzlich wurden die Daten mit den Plantagebausorten verglichen.

Kapitel 7 bildet den Abschluss dieser Arbeit; eine kurze Zusammenfassung und einen Ausblick auf weiterführende Arbeiten wird in diesem Kapitel erläutert.

2 Allgemeine Grundlagen

In den Allgemeinen Grundlagen werden die wichtigen Begriffe wie Streuobstwiese, Apfel, Apfelsaftherstellung, Most und Aromastoffe genauer betrachtet. Die Unterschiede zwischen Streuobstanbau und Plantagebau, alte und neue Apfelsorten werden erklärt und verglichen.

2.1 Streuobstwiese

Der Begriff Streuobst ist nur im deutschsprachigen Raum bekannt. Es gibt keine englische oder französische Übersetzung für diesen Begriff. Als Streuobstbestände werden alle Obstbäume, die auf nicht eingezäunten, landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzten Flächen (Unternutzung) stehen, eine Mindesthöhe des untersten Astansatzes von 1,80 m über dem Erdboden haben und nicht intensiv bewirtschaftet werden (z.B. nach Spritz-, Schnitt- und Düngelplänen), definiert (Lucke, 1992). Die Erhaltung gepflegter Streuobstbestände wird als Maßnahme zur Sortenerhaltung in Genbanken herausgestellt. Dabei sind die langfristige Sicherung der Bestände, zuverlässige Sortenbestimmung und Dokumentation sowie wissenschaftliche Begleitung erforderlich (Fischer, 2007).

Der Streuobstbau stellt eine traditionelle Form des Obstanbaus dar und hatte schon im 19. Jahrhundert eine große kulturelle Bedeutung. Die heutige Streuobstwiese wird charakterisiert durch die Vielfalt der Sorten und Arten, das teils unterschiedliche Alter der hochstämmigen Obstbäume und der Verzicht von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln und Kunstdüngern. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden die Streuobstwiesen durch Siedlungs- und Bauwesen dezimiert und waren fast verschwunden. Nicht nur in der Sortenvielfalt, auch in der ökologischen Funktion als Lebensraum für Pflanzen und Tiere liegt der Wert des Streuobstbaues. Österreich ist Kernland des „europäischen Streuobstgürtels“, welcher sich von den britischen Inseln über Westeuropa und den Alpenraum bis nach Rumänien und das Schwarze Meer zieht. Dadurch ist Österreich mit Streuobstwiesen maßgeblich für die Erhaltung dieser Kulturlandschaft beteiligt. Der Streuobstbau hat durch den Strukturwandel in der Landwirtschaft und durch die niedrigen Preise für Äpfel in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten stark an Bedeutung verloren, doch gibt es Institutionen, die mit Studien und Erhaltungsmaßnahmen, den Streuobstbau wieder mehr beleben möchten und dessen Wirtschaftlichkeit fördern wollen, zum Beispiel durch die Verarbeitung von älteren Sorten zu hochwertigen Produkten (Herzog 1998; Kern 2006; Huber & Suske 2012; Kajtna & Holler 2012). Nicht nur der Flächenrückgang beim Streuobstbau ist zu beobachten, auch ein massiver Rückgang der Obstsortenvielfalt. In Österreich sind seit den 1990er Jahren Bestrebungen zum Sortenerhalt etabliert worden; die Republik Österreich verpflichtet sich beispielsweise seit 1995 zur Erhaltung der agrarischen Biodiversität¹. In der östlichen und westlichen Steiermark stellt die Kulturlandschaft Streuobstwiese eine erhaltenswerte Kulturform dar. Die Entwicklung und Produktion von für diese Regionen typischen Produkten liefern einen wesentlichen Beitrag dazu, diese einzigartige Kulturlandschaft zu erhalten. Traditionellerweise werden dort vor allem so genannte alte Apfelsorten (z.B.: Maschanzker, Kronprinz Rudolf oder Bohnapfel) in extensiver Form angebaut.

In Erwerbsobstanlagen wurden im Jahr 2012 in etwa 190 000 Tonnen (Statistik Austria, 2012) Äpfel geerntet und nur ein kleiner Teil der Ernte stammt aus dem

¹ Quelle: Bundesgesetzblatt der Republik Österreich: 213. Übereinkommen über die biologische Vielfalt samt Anlagen und Erklärungen; https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/1995_213_0/1995_213_0.pdf ; letzter Zugriff am 09.07.2013

Extensivobstanlagen. Die Äpfel werden bei Erwerbsobstanlagen (Plantagebau) nach einem regelmäßigen System gepflanzt, außerdem weisen sie einen guten Pflegezustand auf, der zur Erzeugung von Tafelobst geeignet ist und überwiegend gewerbsmäßig genutzt wird. Ganz anders sieht es bei den Extensivobstanlagen aus; hier wachsen die Obstbestände auf Wiesen- und Weideflächen (Streuobstbau), deren Ernte meist für den Eigenverbrauch oder für Verarbeitungszwecke (Saft, Most) bestimmt ist (Statistik Austria, 2012). Die hochstämmigen, großkronigen Bäume des Streuobstbaus sind alternierend-tragend, der Ertrag liegt bei 500 kg pro Baum jedes zweite Jahr. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Unterschiede zwischen Streuobstbau und Plantagebau.

Tabelle 1: Unterschiede zwischen Streuobstbau und dem Plantagebau

Plantagebau	Streuobstbau
Abholzung der Bäume nach 10/15 Jahren	Bäume werden bis zu 100 Jahre alt
Niederstämmige, buschige Bäume	Hochstämmige, großkronige Bäume
Aussterben von Tier - und Pflanzenwelten	Lebensraum für Pflanzen und Tiere
Monokulturen	Sortenvielfalt
Gleiche Form und Farbe	Vielfalt an Größe, Farbe und Form
Ganzes Jahr das gleiche Produkt	Saisonale Produkte
Billig im Anbau	Produktionskosten hoch
Pestizideinsatz	Keine Pestizide eingesetzt

2.2 Der Apfel

Der Apfel ist mit einem Pro-Kopf-Verbrauch von 29 Kilo pro Jahr das beliebteste Obst der ÖsterreicherInnen (Steiermark, 2007). In Österreich werden auf etwas mehr als 6.000 Hektar rund 200.000 Tonnen Äpfel geerntet. Die überwiegende Menge kommt dabei aus der Steiermark (169.000 Tonnen), wo auf 4.800 Hektar Apfelkulturen gedeihen.

Der Apfel ist keine heimische Frucht, sondern war ursprünglich in Zentral- und Westasien beheimatet. Schon vor über 10.000 Jahren wurden Äpfel auf dem Gebiet des heutigen Kasachstan angebaut und noch heute ist der Apfel namensgebend für die Hauptstadt „Alma-Ata“ (Stadt des Apfels). In der Antike gelangte er in den Schwarzmeerraum, dort wurde er von Griechen und Römern kultiviert. Die Römer nahmen den Apfel mit auf ihren Feldzügen und bauten in den neuen Ländern Apfelbäume an. So erreichte der Apfel auch bei den Kelten und Germanen schnell einen mystischen Status. Über viele Jahrhunderte weg galt der Apfel als Symbol für Reichtum, Liebe und Fruchtbarkeit, doch wurde diese ursprüngliche Rolle des Apfels durch die industrielle Massenproduktion fast vollständig verdrängt, sodass der Apfel heute vielleicht als alltäglichste Frucht gilt².

Der Apfel (*Malus*) ist eine Pflanzengattung der Kernobstgewächse aus der Familie der Rosengewächse (*Rosaceae*). Er zählt zum Kernobst und ist eine Scheinfrucht mit meist süßsauerlichem Geschmack. Der Kulturapfel (*Malus domestica*) ist die weltweit mit Abstand

² Quelle: Planet Wissen; http://www.planet-wissen.de/natur_technik/apfelbluetenland/aepfel/ ; letzter Zugriff am 09.07.2013

bekannteste und wirtschaftlich bedeutendste Art (März, 2011). Die Apfelfrucht ist in botanischem Sinn eine Scheinfrucht. Das Gewebe der Blütenachse und der Fruchtknoten sind an der Fruchtbildung beteiligt. Diese Organe umhüllen das Kerngehäuse, welches die eigentliche Frucht darstellt (März, 2011). Der Apfel ist eine klimakterische Frucht³, bei der je nach Sorte, die Baumreife nicht mit der Genussreife übereinstimmen muss. Er bildet das gasförmige Reifungshormon Ethylen, welches bei anderen Äpfeln und Obstarten die Reifung beschleunigt.

Bei der Zusammensetzung der Inhaltsstoffe spielen die Sorte, der Reifegrad, die Lagerzeit und die Anbaubedingungen, wie Boden, Klima und Sonne, eine wichtige Rolle (Belitz, Grosch, & Schieberle, 2009). Die Hauptinhaltsstoffe eines Apfels sind Wasser, Gesamtzucker (Glucose, Fructose, Saccharose), Stärke, Äpfelsäure, Zitronensäure, Ballaststoffe, Pektin und Vitamin C.

Die ursprünglichen Ziele in der Anfangszeit der Apfelmehrung waren andere als heute; der Apfel sollte lediglich in Geschmack und Aussehen den Erwartungen entsprechen (März, 2011). Ende des 17. Jahrhunderts wurde schon von R.J.Camerarius über das Thema Züchtung geschrieben, doch fand die Kreuzung der Pflanzen eher unbewusst statt. Die neuen Sorten waren Sämlinge wie „Golden Delicious“ von van Mons. Erst gegen Ende des 20. Jahrhunderts gewann die Kreuzzüchtung an Bedeutung, somit wurden die Sämlinge mit den besten Eigenschaften immer weiter verbessert, bis sie die erwünschten Eigenschaften in sich trugen und eine Sorte geschaffen wurde (März, 2011). Neue Eigenschaften wie Festigkeit, Feinzigkeit, Saftigkeit und Knackigkeit haben in den letzten Jahren immer mehr an Wichtigkeit gewonnen. Auf diesem Weg entstanden viele neue Apfelsorten, die vor allem durch den Plantageanbau einen hohen Ertrag liefern. Doch wurden durch den Plantageanbau die alten Apfelsorten immer mehr verdrängt und der Anbau der neuen Apfelsorten auf ein paar wenige Sorten reduziert. Die Apfelsorte „Golden Delicious“ ist seit Jahrzehnten der unangefochtene Spitzenreiter unter den Apfelsorten und hat weltweit einen Anteil von etwa einem Drittel an der gesamten Apfelproduktion, der Rest entfällt auf die Sorten wie „Granny Smith“ und „Braeburn“⁴.

Die alten Sorten wie Bohnapfel oder Maschanzker, die auch heute noch traditionell im Streuobstanbau verwendet werden, wurden zu einer Zeit entwickelt, als Pflanzenschutzmittel gar nicht oder nur sehr eingeschränkt zur Verfügung standen. Sie sind daher gegenüber Krankheiten und Schaderregern als besonders robust einzustufen.

2.3 Die Apfelsaftherstellung

Apfelsaft ist in Österreich und vielen anderen Ländern ein sehr beliebtes Getränk. Der Apfelsaft/-nektar belegt hinter Orangensaft/-nektar den zweiten Rang der beliebtesten Fruchtsäfte Österreichs. Der Pro – Kopf - Verbrauch in Österreich von Fruchtsäften/-nektaren lag im Jahr 2012 bei 30,6 Litern (AIJN, 2012). Der Großteil der im Handel erhältlichen Apfelsäfte wird aus Apfelsaftkonzentrat hergestellt und nur ein kleiner Teil wird als direkt gepresster Saft vermarktet. Sortenreine Apfelsäfte und – mostly von hoher Qualität aus alten Apfelsorten aus der ländlichen Produktion stellen dabei aber nur eine kleine Produktschiene dar.

³ Klimakterische Früchte sind nachreifende Früchte (d.h. Zunahme der Atmung-Klimakterium). Die Nachreifung ist abhängig von Erntezeitpunkt und Atmungsverhalten der Früchte;

⁴ Quelle: Obstgroßhandel; <http://www.obst-gemuese.at/product/pages/aepfel#zahlen> ; letzter Zugriff am 03.07.2013

Die Herstellung eines Apfelsaftes unterliegt einer Reihe von Behandlungsschritten. Der erste wesentliche Schritt ist die Vorbereitung der Äpfel. Zuerst sollten die Äpfel aussortiert (Früchte, die durch Fäulniserreger weich werden) und von Schmutz wie Erde, Steine, Laub, Gras usw. befreit werden. Die Mitverarbeitung von Schmutzpartikeln kann zu Geruchs- und Geschmacksfehlern führen. Durch den Waschvorgang kann auch der Keimgehalt auf der Oberfläche der Früchte reduziert werden. In der großtechnischen Industrie werden teils Detergenzien mitverwendet, um den Reinigungseffekt zu verbessern (Schobinger, 2001).

Durch umfassende Versuche zur Charakterisierung der Fruchtsaftqualität, ist man zum Ergebnis gekommen, dass bei Apfelsäften das Aroma, der Zuckergehalt und das Zucker/Säure-Verhältnis qualitätsbestimmend sind und dass bereits das verwendete Rohmaterial genauso für die Qualität entscheidend ist (Daepp, 1970).

Untersuchungen (Versari, Parpinello, & Mattioli, 2007) haben gezeigt, dass die Verwendung von schlechtem Rohmaterial dazu führen kann, dass die Patulin Werte erhöht sind. Patulin ist ein Mykotoxin (Schimmelpilzgift) und wird von den Pilzen der Arten *Aspergillus* und *Penicillium* gebildet. Nicht nur Apfelsäfte sind betroffen, auch andere Lebensmittel wie Gemüse können Kontaminationen von Patulin aufweisen. Größere Mengen von Patulin können gesundheitsschädlich sein und aus diesem Grund gibt es seit 2003 eine Verordnung (EC, 2003), die ein oberes Limit von 50 ppb angibt (für Babyfood von 10 ppb).

Der nächste Behandlungsschritt ist die Zerkleinerung der Äpfel, der einen entscheidenden Einfluss auf die Entsaftung ausübt (Dauer des Entsaftungsvorganges, Saftausbeute, Trubstoffgehalt usw.). Es gibt mechanische (Obstmühlen), thermische (Thermobreak beziehungsweise Gefrieren), enzymatische oder unkonventionelle Verfahren (Ultraschall, Elektroplasmolyse), die der Zerkleinerung der Äpfel dienen (Schobinger, 2001).

Die Entsaftung sollte möglichst schnell dem Zerkleinerungsschritt folgen, um die enzymatische Reaktionen aller Art und oxidative Prozesse so gering wie möglich zu halten. Die Braunfärbung der Maische und des Saftes bei der Verarbeitung von Äpfeln wird in Gegenwart von Luftsauerstoff durch Polyphenoloxidasen verursacht (Schobinger & Dürr, 1974). Der Pressvorgang wird mehrheitlich in der Literatur als ein Trennungsvorgang betrachtet. Die bestimmenden Faktoren beim Pressvorgang sind die Vorentsaftung, der Druck, der Zerkleinerungsgrad sowie die Schichthöhe. Technische Einrichtungen zur Entsaftung durch Pressen sind unter anderem diskontinuierliche Pressen (Vertikal-Korbpressen, Packpressen, hydraulische Horizontal-Korbpressen, pneumatische Horizontal-Korbpresse, mechanische Horizontal-Korbpresse) und kontinuierliche Pressen (Schraubenpresse, Bandpresse, Winkelpresse). Weitere Möglichkeiten der Entsaftung sind Vibration, Zentrifugation, Vakuumfiltration oder Extraktion. Für weitere Informationen zu den unterschiedlichen Möglichkeiten der Entsaftung mittels kontinuierlicher und diskontinuierlicher Verfahren sowie Extraktionsmethoden wird auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen (Tressler 1983; Ashurst 1995; Schobinger 2001).

Als Nebenprodukt bei der Apfelsaftherstellung fällt die entsaftete Maische an, die als Trester bezeichnet wird. Sie wird oft in der Landwirtschaft als Viehfutter oder zur Pektingewinnung verwendet.

Bei der Stabilisierung von Rohsaft stehen zwei wichtige Gesichtspunkte im Vordergrund: die Farb- und die Trubstabilisierung.

Farbveränderungen werden fast ausschließlich durch enzymatische oder nichtenzymatische Bräunungsreaktionen verursacht. Damit es nicht zu einer enzymatisch bedingten Bräunungsreaktion während der Lagerung der Rohsäfte kommt, wäre eine Möglichkeit die Lagerung tiefgekühlt durchzuführen.

Weitere Möglichkeiten zur Entfernung von Trubstoffen und anderen unerwünschten Saftinhaltsstoffen bieten der Einsatz von Schönungs- und Adsorptionsmitteln sowie die mechanische Klärung. Bentonit, Gelatine und Kieselsol sind aus der Weintechnologie bekannte Schönungsmittel, die auch in der Saftherstellung für die Erzeugung klarer Säfte verwendet werden. Bei der Herstellung von klarem Apfelsaft werden Pektinase, Gelatine, Bentonit und Kieselsol verwendet. Durch die Pektinase - Behandlung erfolgt ein enzymatisch-katalysierter Pektin - Abbau. Pektine sind zu 15-30 % am Aufbau der Pflanzenzellwände beteiligt. Gelatine wird als Schönungsmittel verwendet, um den Gehalt an phenolischen Saftinhaltsstoffen zu reduzieren. Von den phenolischen Substanzen im Apfelsaft sind vor allem die Procyanidine von großer Bedeutung, da sie für den bitteren (niedermolekulare Procyanidine) und adstringierenden (hochmolekulare Procyanidine) Geschmack verantwortlich sind (Schobinger, 2001). Die positiv geladene Gelatine geht mit den negativ geladenen Trubstoffen eine Bindung ein und es erfolgt eine Ausflockung. Dadurch setzen sich die Flocken am Boden ab und können in Folge leicht abgetrennt werden.

Ein weiteres Schönungsmittel ist Bentonit. Bentonit ist ein Tonmineral (Mg-Al-Silikat) mit hoher Quellfähigkeit und hoher Adsorptionsfähigkeit. In mehreren Versuchen wurden Alternativen für den Einsatz von Bentonit geprüft (Junker, Prinz, & Hagemann, 2011), da Bentonit in Diskussion steht, unerwünschte Ionen und Stoffe in Fruchtsäfte einzutragen. Laut Junker lässt sich sagen, dass man auf Bentonit zur Stabilisierung noch nicht verzichten kann, doch lassen sich durch Gestaltung einiger Prozessparameter (Vorquellen, Standzeit, Prozesstemperatur) die unerwünschten Einträge in die Produkte signifikant reduzieren. Kieselgele (amorphe Siliziumoxide zur Adsorption von Eiweißstoffen) stabilisieren unzuverlässig und können lediglich ergänzend zur Reststabilisierung verwendet werden. Meist wird Kieselsol/-gel in Kombination mit Gelatine beigemischt. Aufgrund ihrer großen Porosität/Oberfläche sind Aktivkohle und verschiedene Adsorberharze großtechnisch eingesetzte Adsorptionsmittel, die im Gegensatz zu den oben genannten Schönungsmitteln Trubstoffe physikalisch binden und diese dadurch vom Saft abtrennen (Schobinger, 2001). Die Klärung, die mechanische Abtrennung suspendierter Feststoffteilchen aus dem Saft kann durch Sedimentation, Filtration oder Zentrifugation erfolgen. Die Sedimentation wird im Zuge der Saftschönung durchgeführt. Bei der Filtration wird unterschieden zwischen verschiedenen Verfahren, der Schichtenfiltration, der Anschwemmfiltration oder der Membranfiltration.

Ein weiterer Behandlungsschritt sind die Konservierungsverfahren. Diese Verfahren sind wichtig, um mögliche Kontaminationen (hervorgerufen von diversen Mikroorganismen) zu verhindern und den Saft länger haltbar zu machen. Die Pasteurisierung wird als schonende Erhitzung des Saftes zur Konservierung eingesetzt und die für den Verderb verantwortlichen Stoffe (Bakterien und/oder Pilze) unschädlich gemacht.

Ein weiteres Verfahren zur Konservierung ist die Heißeinlagerung; dabei wird der Saft in Wärmetauschern erhitzt und ohne Abkühlung in die Tanks eingelagert. Der Saft ist relativ lange der hohen Hitze ausgesetzt; dies kann zu Qualitätsverlusten führen. Bei der Kurzzeiterhitzung wird der Saft auch in Wärmetauschern erhitzt, aber hier wird der Saft nur

für eine kurze Zeitspanne von 15 bis 30 Sekunden bei einer Temperatur von 90 bis 95°C gehalten. Der Saft wird anschließend mit Kaltwasser auf 15°C gekühlt und gelagert.

Es gibt noch weitere Verfahren wie den Plattenwärmetauscher, den Durchlauferhitzer und haushaltstypische Geräte wie Thermostattöpfe, Milchwärmer oder Behälter mit Heizstäben oder Tauchsieder. Die alkoholische Gärung sowie die Umwandlung durch Essigsäurebakterien stellen ebenfalls ein Verfahren der Konservierung dar. Dazu muss der Rohsaft nicht erhitzt werden. Die Verfahren ohne Konservierung dienen zur Erzeugung von Apfelessig bzw. Apfelmost.

2.3.1 Zuckergehalts- und Säuregehaltsmessungen

Der Zuckergehalt wird vorrangig mit einem Gerät zur Dichtemessung (Density Meter) oder Refraktometer gemessen. Es gibt verschiedene Einheiten um den Zuckergehalt anzugeben, die sich meist regional unterscheiden. So wird KMW (Klosterneuburger Mostwaage) ausschließlich in Österreich verwendet; KMW gilt als gebräuchliches Maß für das Mostgewicht und für die Umrechnung gilt, dass ein Grad KMW ungefähr 4,86° Oechsle entspricht. Die Einheit °Oechsle ist bei Winzern und Mostherstellern im deutschsprachigen Raum am gebräuchlichsten; es handelt sich um ein Maß der Dichte (spezifisches Gewicht). Wie in Formel 1 ersichtlich, wird mit Oechslegrad [Oe] direkt die Dichte [kg/L] berechnet.

Formel 1: Dichtemessung mit Oechsle

$$[D] = 1 + \frac{[Oe]}{1000}$$

Die Einheit Brix ist der Zuckergehalt in Gewichtsprozent (%gew), diese wird international am häufigsten verwendet. Für die Umrechnung gilt, dass 4,25 ° [Brix] einem [°Oe] entspricht. Die SI- Einheit für Konzentrationsangaben ist ein Gramm Zucker pro Liter [g/L] und für die Umrechnung von Brix auf [g/L] gilt folgendes:

$$[Brix] = [g/L] / ((1 + [°Oe]/1000) * 10)$$

und nach einer kurzen Ableitung der daraus resultierenden quadratischen Gleichung:

$$[Brix] = (-10 + \sqrt{(100 + 4 * 2,25 / 100 * [g/L])}) / (2 * 4,25 / 100)$$

In der heutigen Zeit werden zur Messung des Brix- Wertes sogenannte Refraktometer (Abbildung 1) eingesetzt. Diese Geräte erlauben eine schnelle und hinreichend genaue Bestimmung des Brix- Wertes. Bei diesem Messverfahren wird der Umstand ausgenutzt, dass sich in Abhängigkeit zur Menge, der in einer Flüssigkeit gelösten Trockensubstanz der Lichtbrechungsindex der Flüssigkeit verändert. Für die Messung werden nur einige Tropfen Probeflüssigkeit benötigt, die auf das Messprisma des Refraktometers aufgebracht und gleichmäßig verstrichen werden. Die durch die Probeflüssigkeit bzw. die darin gelöste Trockensubstanz veränderte Lichtbrechung, kann auf einer entsprechend kalibrierten Skala direkt in Grad Brix abgelesen werden (Stallmann & Jahner, 2003).



Abbildung 1: Refraktometer (Quelle: Firma Kuhny Optik, Schweiz)

2.4 Most

Der Most und die Geschichte des Mostes werden in diesem Kapitel betrachtet und kurz zusammengefasst wiedergegeben. Anschließend wird im Zuge der Mostherstellung die alkoholische Gärung näher betrachtet.

2.4.1 Geschichte des Mostes und Begriffserklärungen

Most, auch Apfelwein oder „Saurer Most“ genannt, ist laut österreichischem Weingesetz ein vergorener Apfelsaft. Der Name „Most“ leitet sich vom lateinischen Wort „vinum mustum“ ab. Im Sinne des österreichischen Bundesgesetzes ist Apfelwein, ein durch alkoholische Gärung des Saftes oder der Maische von frischem Obst hergestelltes Getränk, das einen Gehalt von mindestens 1,2%vol Alkohol aufweist⁵.

Die Geschichte des Mostes geht auf die Kelten zurück, sie vertrauen auf die gesunde Wirkung des Mostes. Die Römer verfeinerten und veredelten den Most und stellten sortenreinen Apfelmost her. Den nächsten Aufschwung erlebte der Most in den Regierungsjahren der Kaiserin Maria Theresia; sie verordnete die Anpflanzung von Streuobstbäumen. Einen weiteren Aufschwung erlebte der Most gegen Ende des 19. Jahrhunderts, in der Zeit der Industrialisierung. Durch Erbauung einer Straßen- und Eisenbahninfrastruktur wurde der Most in fernere Regionen transportiert. Nach dem 2. Weltkrieg kamen Bier, Wein und Limonaden auf den Markt und verdrängten den Most fast gänzlich. Große Bestände an Obstbäumen wurden gerodet, viele Streuobstwiesen verschwanden. Inzwischen wächst die Zahl der Obstbäume wieder, auch auf Grund neuer Erkenntnisse der Kulturlandschaft Streuobstwiese⁶.

Most, Cider und Perry (Birnenmost) werden vorwiegend in der Nordhälfte der EU produziert und getrunken. Als Ausnahme dient Asturien in Spanien⁷. In Österreich sind die Hauptregionen des Mostes in Niederösterreich (Mostviertel, Bucklige Welt, Schneebergland), in Oberösterreich (Hausruck-Mostlandl, Linz-Land), in Kärnten (Lavanttal) und in der Süd-

⁵Quelle: Bundesgesetzblatt Republik Österreich; Weingesetz;
<http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20006524> ; letzter Zugriff am 09.07.2013

⁶Quelle: Most-Wiki- Alles über Most und die Moststraße;
<http://www.most-wiki.at/index.php?title=Hauptseite> ; letzter Zugriff am 04.07.2013

⁷Quelle: L'Association des Industries des Cidres et Vins de fruits de l'U.E. (A.I.C.V.);
<http://www.aicv.org/> ; letzter Zugriff am 04.07.2013

Steiermark. Most ist ein alkoholisches Getränk (4,5 bis 8 Vol.%). In der Steiermark werden seit einiger Zeit die Apfelmoste unter Einsatz von reinsortigen Hefen kaltvergoren; dies führt zur Ausbildung von frischen, fruchtigen Aromen.

2.4.2 Mostherstellung: die alkoholische Gärung

Die Herstellung von Most beginnt mit den gleichen Schritten wie die Apfelsaftherstellung; meist wird erst nach dem Entschleimungsvorgang ein Teil zum Saft verarbeitet und ein Teil weiter vergoren zum Most. Wie schon unter Punkt 2.3 besprochen, ist das Ausgangsmaterial zu sortieren und zu waschen. Bei der reinen Mostherstellung wird besonders darauf geachtet, dass die Äpfel einheitlich reif sind und dass die Früchte beim Waschen bewegt werden, damit sie wirklich sauber sind, um zu verhindern, dass Kontaminationen durch Mikroorganismen auftreten.

Ein wichtiger Bearbeitungsschritt bei der Mostherstellung ist die Schwefelung. Vor der Gärung wird KPS (Kaliumpyrosulfit) beigemischt, damit werden der Sauerstoff und das Acetaldehyd gebunden und die unerwünschten Mikroorganismen gehemmt. Die Schwefelung dient der Farbstabilität.

Die Definition der alkoholischen Gärung lautet: Alle Prozesse, bei denen unter aerobem oder anaerobem Stoffwechsel von Mikroorganismen (Bakterien, Hefen, Pilze) mit mikrobiellen Enzymen oder auch mit pflanzlichen oder tierischen Zellkulturen definierte Produkte entstehen. Bei der Fermentation wird Zucker zu Alkohol und Kohlendioxid umgesetzt⁸.

Der Gärprozess wird in zwei metabolische Wege unterteilt: die Glykolyse und die alkoholische Gärung. Bei der Glykolyse, die zur Gänze im Cytoplasma der Hefezellen stattfindet, erfolgt der schrittweise Abbau der im Most vorliegenden Monosaccharide Glucose und Fructose (Ribereau-Gayon, 2006). Die Reaktionsschritte der Glykolyse, die zur Transformation von Glucose zu Pyruvat unter der Bildung von Adenosintriphosphat führen, stellen einen universellen Pfad in biologischen Systemen dar (Nelson & Cox, 2011). In einem ersten Schritt, in dem Energie in Form von Adenosintriphosphat (ATP) benötigt wird, wird Glucose unter der katalytischen Wirkung von Hexokinase, Phosphoglucoseisomerase und Phosphoglucokinase in Fructose-1,6- biphosphat umgewandelt. Durch Aldolasespaltung entstehen daraus Dihydroxyaceton-phosphat und Glyceraldehyd-3-phosphat. Aufgrund der raschen Isomerisierung von Dihydroxy-acetonphosphat zu Glyceraldehyd-3-phosphat, entstehen aus einem Molekül Glucose zwei Moleküle Glyceraldehyd-3-phosphat. In einer dritten Phase der Glykolyse wird Glyceraldehyd-3-phosphat zuerst zu 1,3-Biphosphoglycerate umgewandelt, welches zu 3-Phosphoglycerate transformiert wird. Bei dieser Reaktionsfolge werden zwei Moleküle NADH zu NAD⁺ reduziert und zwei Moleküle ATP aus ADP gewonnen. Im letzten Schritt wird 3-Phosphoglycerat über mehrere Zwischenschritte, unter der Produktion zweier weiterer Moleküle ATP, zu Pyruvat, dem Endprodukt der Glykolyse umgeformt. In Summe gesehen wird durch die Glykolyse ein Molekül Zucker in zwei Moleküle Pyruvat umgewandelt. Dabei werden vier Moleküle ATP produziert, wobei zwei davon sofort für die Aktivierung eines neuen Hexosemoleküls herangezogen werden. Die überschüssige Energie wird in Form von Wärme abgegeben. Da bei der Glykolyse zwei Moleküle NADH zu NAD⁺ reduziert werden, kann eine erneute Glykolyse nur stattfinden, wenn diese wieder zu NADH regeneriert werden. Dies geschieht

⁸ Quelle: Chemie und Mikrobiologie des Weines;
<http://bundesamt.weinobstklsterneuburg.at/upload/documentbox/Chemie-Mibi-3-Eder.pdf> ; letzter Zugriff am 09.07.2013

durch den metabolischen Weg der alkoholischen Gärung. In Bezug auf die Glykolyse bedient sich die alkoholische Gärung zweier zusätzlicher enzymatischer Reaktionsschritte. Zuerst erfolgt die Decarboxylierung von Pyruvat zu Acetaldehyd durch die Pyruvat-Decarboxylase. Dieser Schritt erfolgt unter Einfluss des Cofaktors Thiaminpyrophosphat (TPP). Im darauffolgenden letzten Schritt der alkoholischen Gärung wird das für den Hefemetabolismus giftige Acetaldehyd umgehend in Ethanol umgewandelt. Im Zuge dessen erfolgt über das Enzym Alkoholdehydrogenase auch die Regeneration von NADH zu NAD⁺. Nach vollständiger Regeneration aller Faktoren findet der gesamte Prozess der Glykolyse und der alkoholischen Gärung erneut statt. Dieser Zyklus schreitet solange fort, bis der im Most enthaltene Zucker in Alkohol umgewandelt ist (Ribereau-Gayon, 2006).

2.4.3 Die Hefe

Die Hefe wurde 1803 entdeckt und die Namensgebung fand durch Meyen 1837 statt. Louis Pasteur veröffentlichte in seinem Buch „Études sur le vin“ 1866, dass die Gärung durch Hefen verursacht wird; dies war ein wichtiger Durchbruch auf dem Gebiet der Gärungstheorie. Die Aufklärung des Stoffwechselweges der Glykolyse durch Gustav Emden, Otto Meyerhof und Jacob Parnas 1940 zeigte, dass Pyruvat als Endprodukt produziert wird und dass es drei Möglichkeiten für den Stoffwechselvorgang gibt:

- aerob (Bildung von Acetyl-CoA)
- anaerob (Bildung von Milchsäure)
- anaerob (Bildung von Ethanol).

Für Hefen, insbesondere *Saccharomyces cerevisiae*, ist die alkoholische Gärung ein typischer Stoffwechselweg des anaeroben Zuckerabbaus. Durch den sogenannten Pasteur-Effekt können Hefen Zucker aerob und anaerob abbauen. Beim aeroben Stoffwechselweg wird Glucose zu Kohlendioxid und Wasser veratmet und beim anaeroben Stoffwechselweg wird Glucose zu Ethanol und Kohlendioxid vergoren. *Saccharomyces cerevisiae* ist der erste eukaryontische Organismus bei dem eine komplette Genomsequenzierung erfolgreich durchgeführt wurde (Goffeau et al., 1996). Die Hefeart *Saccharomyces cerevisiae* – var. *Bayanus* gehört zur Gattung *Saccharomyces*. Die Besonderheiten dieser Art sind die Kälteunempfindlichkeit (bis zu 6°C, daher auch der Name „Kaltgärhefe“) (Kishimoto & Goto, 1995), die geringere Zuckeraufnahme und am Ende eines Gärprozesses überwiegt eine spontane Vergärung („Nachgärhefe“). Die Mosthefen und deren Prozesse sind recht gut erforscht (Beech & Davenport, 1970) und auch genetisch identifiziert (Naumov et al., 2001).

Reinzuchthefen werden heute vorwiegend für den Gärprozess eingesetzt; sie sind das Produkt jahrelanger Selektionsarbeit. Die erwünschten Eigenschaften wie rasche Angärung, Kältetoleranz, gute Ausbeute an Alkohol, geringe Nährstoffansprüche und geringe Farbverluste werden durch Selektion erhalten. Durch Reinzuchthefen treten kaum Gärprobleme auf und die Gärung verläuft schneller.

2.5 Aromastoffe

Das charakteristische Aroma eines Nahrungsmittels setzt sich aus einer Vielzahl chemischer, flüchtiger Verbindungen, den Aromastoffen, zusammen.

Aromastoffe werden mit den Geruchsrezeptoren wahrgenommen, da sie flüchtige Verbindungen sind. Sie erreichen die Rezeptoren beim Einziehen durch die Nase (orthonasale Wahrnehmung) und über den Rachenraum, nachdem sie beim Kauen freigesetzt worden sind (retronasale Wahrnehmung) (Belitz et al., 2009). Die Menge der in einem Lebensmittel vorkommenden flüchtigen Verbindungen ist sehr gering (ca. 10-50 mg/kg). Im Allgemeinen besteht sie jedoch aus einer Vielzahl von Komponenten. Es kommen diejenigen Verbindungen in Betracht, deren Konzentrationen im Lebensmittel höher liegen als die Geruchsschwellen. Es können Verbindungen niedriger Konzentrationen einen größeren Einfluss auf das Aroma haben, als Verbindungen in höheren Konzentrationen. Doch können auch Verbindungen, die in höheren Konzentrationen vorliegen, nicht geruchsaktiv sein.

Es gibt sogenannte Schlüsselaromastoffe („character impact compounds“), die diejenigen Verbindungen bezeichnen, die allein das charakteristische Aroma eines Lebensmittels prägen können; jedoch wird in den meisten Fällen eine Mischung von vielen Aromastoffen zum typischen Aroma beitragen. Als Geruchs- oder Erkennungsschwelle einer Verbindung wird die Konzentration bezeichnet, die gerade noch zur Erkennung des Geruchs ausreicht. Niedriger liegt die Wahrnehmungsschwelle, eine Konzentration, bei der die Verbindung wahrzunehmen ist, aber bei der nicht die Aromaqualität eindeutig festgestellt werden kann (Belitz et al., 2009).

Die Aromastoffe des Apfels sind für seine Akzeptanz beim Verbraucher wichtig. Die Aromastoffzusammensetzung ist abhängig von Sorte, Klima, Lage, Reifegrad, und Lagerbedingungen.

Das für den Apfel und den Apfelsaft typische Aroma wird geprägt durch verschiedene Alkohole, Ester und Aldehyde. Die Verbindungen (*E*)-2-Hexenal, Hexanal, Ethyl-2-methylbutanoat, Ethylbutanoat und Propylbutanoat spielen eine wichtige Rolle (Duerr, 1981). Bereits 1970 wurde durch Daepf versucht, die wichtigsten Qualitätskriterien von Apfelsäften mit analytischen und sensorischen Methoden zu ermitteln. In dieser Arbeit wurde auch die Bedeutung des Aromas für die Qualitätsbeurteilung untersucht und geklärt. Es konnte gezeigt werden, dass die leichtflüchtigen Anteile des Apfelaromas eine wesentliche Rolle spielen. Nach Daepf sollen sie einerseits wesentlich an der Bildung des charakteristischen Geruchseindrucks beteiligt sein und andererseits aber auch geschmackswirksam (durch sensorische Methoden wie Rangordnungsmethode geprüft) und sie beeinflussen die Geschmacksbeurteilung. Das Aroma ist ein wichtiger Parameter zur Unterscheidung und zur Qualitätsbeurteilung der sortenreinen Apfelsäfte (Hey, Kürbel, Hopf, & Dietrich, 2007). Die meisten Aromastoffe des Apfelsaftes werden erst während der Herstellung gebildet (Pour Nikfardjam & Maier, 2010).

2.5.1 Entstehung von Aromastoffen

Unter primären Aromastoffen werden jene Aromastoffe verstanden, die durch biologische und enzymatische Prozesse im Rohprodukt entstehen (Eisenbrand & Schreier, 2006). Die Bildung von aliphatischen, unverzweigten Alkoholen, Estern, Aldehyden und Säuren kann über den Fettsäurestoffwechsel erfolgen. Aus dem Aminosäurestoffwechsel stammen aliphatische, verzweigte Verbindungen. Weitere Verbindungen können im Zimtsäure-

Metabolismus entstehen (Reineccius 2006; Christensen et al. 2007). Abbildung 2 gibt eine Übersicht der wichtigsten Wege der Aromastoffbildung.

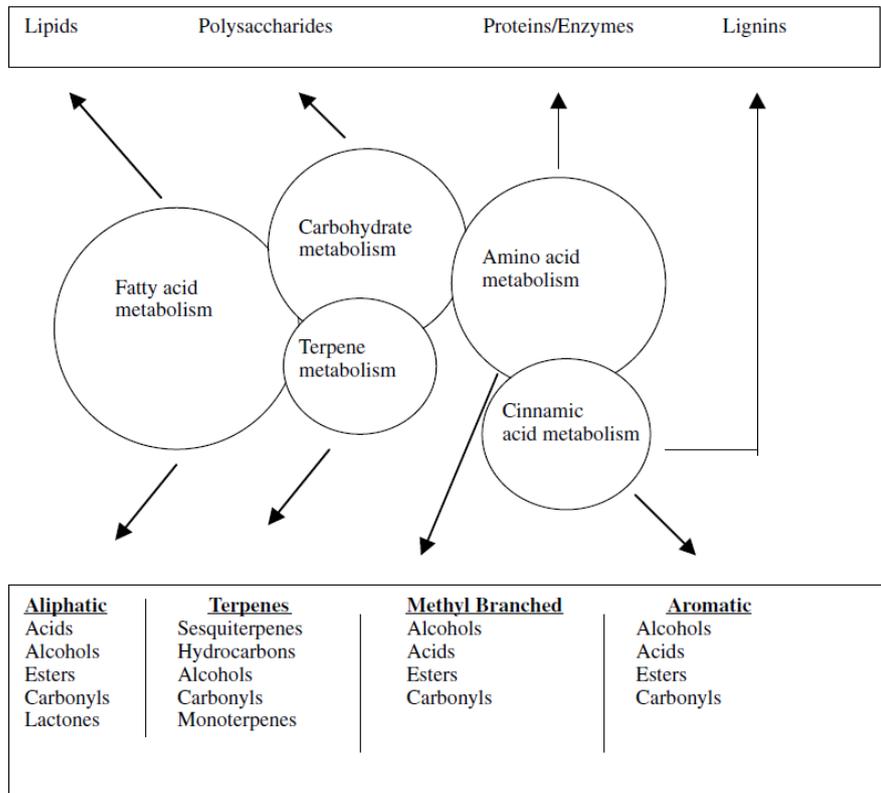


Abbildung 2: Übersicht der Bildung von Aromastoffen (Quelle: „Flavor Formation in Fruits and Vegetables“ Seite 75, Reineccius 2006)

Aromastoffe, die während der Produktion und Verarbeitung von Lebensmitteln entstehen, werden als sekundäre Aromastoffe bezeichnet (Plutowska & Wardencki, 2007). Dazu zählt die durch Enzyme katalysierte Aromastoffbildung bei der mechanischen Behandlung des Lebensmittels, durch thermische Behandlung, durch mikrobielle Umsetzungen oder aber auch durch Verderb während der Lagerung. Aufgrund der Zerstörung des pflanzlichen Gewebes durch mechanische Behandlung kann es zum Ablauf enzymatischer Reaktionen kommen, die im intakten Zellverband nicht stattfinden würden (Reineccius, 2006).

2.5.2 Entstehung von Aromastoffen während der Apfelsaftherstellung

Der Begriff Apfelaroma wird für die Bezeichnung des Aromas der unversehrten Frucht und für die Bezeichnung des Aromas von Apfelsäften verwendet (Hey et al., 2007). Doch gibt es Unterschiede, da durch Zerstörung des Zellverbandes enzymatische Reaktionen stattfinden und die durch diesen Vorgang gebildeten Aromastoffe in der unversehrten Frucht kaum vorkommen. Es wurden über 300 verschiedene Aromastoffe im Aromaprofil von Äpfeln gefunden (Dixon & Hewett, 2000). Durch mehrere Studien und Arbeiten wurde die Bildung von Aromastoffen in Äpfeln beobachtet und identifiziert (Paillard 1990; Takeoka et al. 1996; Rowan et al. 1996).

Es gibt zwei verschiedene Wege, wie Aromastoffe sich bilden können:

1. Bildung und Wirkung von Ethylen während des Reifeprozesses (Yahia 1994; Wild & Schmitt 2012): Die Reifung von Äpfeln ist ein durch Phytohormone gesteuerter Prozess, der vor allem durch das Phytohormon Ethylen gefördert wird (Abbildung 3). Es werden mehrere Stoffwechselfvorgänge in Gang gesetzt, wie zum Beispiel das Weichwerden der Äpfel, die Farbänderungen, der Stärkeabbau und die Aromastoffbildung. Ethylen entsteht als Abbauprodukt aus der Aminosäure L-Methionin. Durch Anbindung von Ethylen an Membranrezeptoren in der Frucht, wird eine Reihe von genetischen Reaktionen in der Frucht ausgelöst. Ethylen beschleunigt nicht nur den Reifungsprozess, sondern gleichzeitig auch die Ethylen-Synthese selbst. Durch die hohe Ethylenkonzentration steigt auch die Aktivität der Enzyme, die bei der Reifung der Frucht notwendig sind. Durch den Reifeprozess können die Aromastoffe wie Dimethylsulfid oder Methional entstehen.



Abbildung 3: Bildung und Wirkung von Ethylen im Apfel; Ethylen wird als Abbauprodukt von der Aminosäure Methionin gebildet, durch Anbindung an spezifische Ethylen-Rezeptoren werden eine Reihe von genetischen Reaktionen in der Frucht ausgelöst und die Enzyme, die für die Reifung der Frucht notwendig sind, werden exprimiert. [Quelle: RG Berger „Flavours and Fragrance“]

2. Enzymatisch katalysierte Prozesse durch den Metabolismus (Yahia 1994; Reineccius 2006; Belitz et al. 2009): Aromastoffe können direkt als Produkte eines Stoffwechselweges entstehen oder durch Interaktionen verschiedener Stoffwechselforgänge. Abbildung 4 zeigt mögliche Bildungsvorgänge von Aromastoffen im Apfel. Die wichtigsten Stoffwechselforgänge sind der Fettsäurestoffwechsel (β -Oxidation oder Oxidation mit Lipoxygenase Enzymen), der Aminosäure-, Kohlenhydrat-, Terpen- und der Zimtsäure-Metabolismus. Werden Äpfel geschnitten oder gemahlen, tritt eine Zerstörung des Gewebeverbandes ein und es bilden sich Aromastoffe durch enzymatische Reaktionen. Die Verbindung β -Damascenon wird erst durch die Zerstörung der Zellwände gebildet (durch oxidative Spaltung).

Die primären Aromastoffe entstehen durch die enzymatisch kontrollierten Stoffwechselforgänge und sind wichtig für das Aroma der unversehrten Äpfel. Sekundäre Aromastoffe werden bei unkontrollierten enzymatischen Bedingungen durch Vorgänge wie Schneiden/Mahlen der Äpfel oder durch Erhitzung gebildet und spielen eine wichtige Rolle bei der Aromabildung des Apfelsaftes.

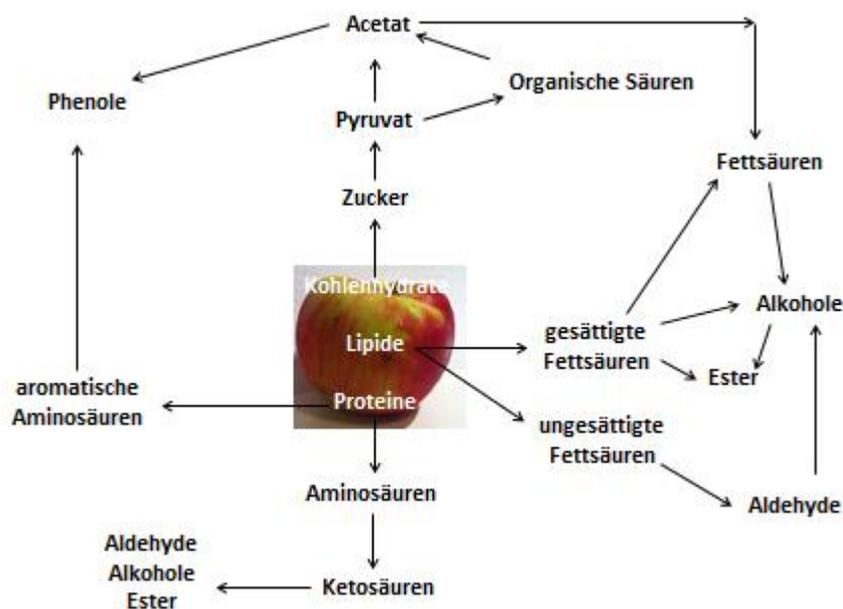


Abbildung 4: Mögliche Bildungsvorgänge von Aromastoffen im Apfel (angelehnt an Yahia 1994, Seite 208)

Die Tabelle 2 zeigt einen kurzen Überblick der Ausgangsstoffe und den daraus gebildeten Aromastoffen.

Tabelle 2: Überblick der Ausgangsstoffe mit den daraus gebildeten Aromastoffen:

Ausgangsstoff	Aromastoff
Kohlenhydrate (Glucose, Fructose, Sucrose)	Organische Säuren, Ester (wie Pyruvat, Acetat), Alkohole (wie Ethanol, Propanol), Aldehyde (wie Acetaldehyd, Propanal), Terpene (wie Linalool, Limonen)
Aminosäure (Alanin, Valin, Leucin, Isoleucin)	Isopropanal, 3-Methylbutanol, 2-Methylbutanol, Benzaldehyd
Fettsäure (Linolsäure, Linolensäure)	Hexanal, (<i>E</i>)-2-Hexenol, (<i>E</i>)-2-Hexenal, Hexansäure

Beispiele zur Bildung von Aromastoffen (Yahia 1994; Rowan et al. 1996; Belitz et al. 2009):

Über den Fettsäuremetabolismus können sich durch kontrollierte enzymatische Reaktionen (via β -Oxidation) die primären Aromastoffe wie die Alkohole Butanol oder Hexanol bilden. Unter der Bildung von sekundären Aromastoffen, zum Beispiel die Aldehyde Hexanal und (*E*)-2-Hexenal, werden die Linol- und Linolensäure durch das Enzym Lipoxygenase (LOX) oder in Kombination mit einer Hydroperoxid-Lyase oxidativ gespalten. Diese Aldehyde und die daraus sich ableitenden Alkohole werden meist erst gebildet, wenn bei Zerkleinerung Sauerstoff in das Gewebe eindringen kann. Die Umsetzung von Aldehyden zu Alkoholen wird über das Enzym Alkoholdehydrogenase (ADH) katalysiert, dieses Enzym katalysiert einerseits die Oxidation von Alkoholen und andererseits die Reduktion von Aldehyden mit dem Co-Faktor NAD/NADH.

Ein anderer Bildungsvorgang von Aromastoffen ist der über den Aminosäuremetabolismus; hierbei werden einige Aromastoffe durch Zwischenstufen oder als Nebenprodukte gebildet. Aus dem Stoffwechsel des Leucins und Isoleucins stammen unter anderem die methylverzweigten Ester, die während der Apfelsaftherstellung durch Hydrolasen gespalten werden. Die metabolische Bildung der Aromastoffe 2-Methylbutansäure und die daraus resultierenden Ester basieren auf dem Ausgangsstoff Isoleucin, der wird zuerst zu 2-Methylbutansäure metabolisiert mit nachfolgender Reduktion zu 2-Methylbutanol kompetitiv mit der direkten Veresterung zu 2-Methylbutanoat Estern.

3 Methoden

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Geräte, deren Aufbau und Verwendung beschrieben. Außerdem wird auf die Probenvorbereitung und die sensorischen Analysen genauer eingegangen. Die verwendeten Methoden und Geräte werden zusätzlich beschrieben. Im Zuge dieser Arbeit erfolgte die analytische Trennung der flüchtigen Verbindungen durch gaschromatographische Methoden. Die Verbindungen wurden direkt im Injektor des Gaschromatographen thermodesorbiert und nach der GC-MS Trennung mittels EI ionisiert.

3.1 Probenvorbereitung

Aromastoffe sind flüchtige Verbindungen, die vor einer gaschromatographischen Bestimmung aus der Probe isoliert werden müssen. In der Aromastoffanalytik ist es wichtig, dass es im Zuge einer Probenvorbereitung zu möglichst keiner Veränderung des Aromas kommen darf (Wilkes et al., 2000). Ein weiteres Problem stellen die unterschiedlichen chemischen Eigenschaften der aromaaktiven Analyten dar; sie können große Unterschiede bezüglich des pH-Wertes, der Polarität, der Löslichkeit und der Flüchtigkeit aufweisen. Zusätzlich können die Aromastoffe chemisch instabil sein und während der Probenvorbereitung zu Abbau- und Oxidationsreaktionen führen. Bei der Auswahl der Probenvorbereitung sollten diese Schwierigkeiten berücksichtigt werden.

Eine sehr häufig eingesetzte Technik in der Aromastoffanalytik ist die Festphasenmikroextraktion („solid phase microextraction“, SPME). Diese Technik ist noch eine relativ junge Methode der Probenvorbereitung. Die ersten Arbeiten stammen aus dem Jahr 1990 (Arthur & Pawliszyn, 1990) und sie hatten das Ziel, die Probenvorbereitung zu beschleunigen und zu vereinfachen. Das Prinzip dieser Methode besteht darin, die flüchtigen Komponenten an eine beschichtete Faser anzureichern, danach die angereicherten Analyten in ein analytisches Messgerät mittels Desorption zu transferieren. Die Vorrichtung einer SPME setzt sich aus einer Stahlnadel befestigten Quarzfaser aus fused silica zusammen, die mit unterschiedlichen Polymermaterialien beschichtet ist (pro Faser ein Material), welche die stationäre Phase bildet. Es gibt unterschiedliche Beschichtungsmaterialien wie Polydimethylsiloxan (PDMS), Polyacrylat (PA), Carbowax (CWX), Divinylbenzen (DVB) oder Carboxen, die auch in Kombinationen eingesetzt werden; dadurch ergeben sich unterschiedliche Polaritäten der Faserbeschichtung. Die Faserauswahl hängt von der Polarität und auch von der Anreicherung ab (ob es sich um Ad- oder Absorption handelt). PDMS Faserbeschichtungen werden für kleine und/oder flüchtige Moleküle verwendet, in Kombination mit Carboxen werden sie meist für die Spurenanalyse leichtflüchtiger Stoffe eingesetzt. Außerdem gibt es auch Beschichtungsmaterialkombinationen wie PDMS/DVB, die auch für die HPLC (Hochleistungsflüssigkeitschromatographie) geeignet sind; sie werden für polare, flüchtige Substanzen wie Alkohole und Amine verwendet. Eine weitere Vorrichtung der SPME Faser ist die Variante als Portable Field Sampler (PFS), eine Probenahme mittels tragbaren SPME-Feld-Samplern. Die Probenahme mittels PFS kann an unterschiedlichen Orten stattfinden, da die PFS nach Einzug der Fasern durch ein Septum verschlossen werden können. Die Messungen mit der exponierten Faser sollten bei konstanten Bedingungen (Temperatur) durchgeführt werden (Diaconu, 2011). Es können Absorptions-, Adsorptions- oder Desorptionsvorgänge auftreten; diese hängen vom Beschichtungsmaterial der Faser und den gewählten experimentellen Bedingungen ab. Die Festphasenmikroextraktion (SPME) ist gekoppelt mit Gaschromatographie Methoden.

Die sehr häufig angewandte Technik der Extraktion mittels SPME ist die sogenannte Headspace-SPME (HS-SPME) (Pawliszyn, 2011); sie wird meist in der Aromastoffanalytik eingesetzt. Bei der HS-SPME wird die Faser über der zu untersuchenden Probe für einen bestimmten Zeitraum exponiert, während der Exposition der Faser stellt sich ein Gleichgewicht zwischen der Probe, dem Dampfraum und der stationären Phase ein. Nach Anreicherung der Analyten wird die Faser in den Injektor eines Gaschromatographen transferiert, wo durch Thermodesorption die angereicherten Analyten von der Faser direkt auf die Säule gebracht werden. Direkt im Anschluss erfolgt eine gaschromatographische Analyse. Um eine schnellere Gleichgewichtseinstellung und einen besseren Stofftransport zu bekommen werden die Proben mit einem Magnetrührstab versetzt.

In Abbildung 5 wird eine SPME Vorrichtung gezeigt. Die Vorteile der SPME Technik ist das lösungsmittelfreie und schnelle Arbeiten. Man erreicht eine saubere Trennung von Analyten (die in entsprechender Menge in den Gasraum übergehen) und Matrix und eine einfache Detektion, da bei Verwendung eines Lösungsmittels, die leicht flüchtigen Verbindungen unter dem Peak liegen würden.

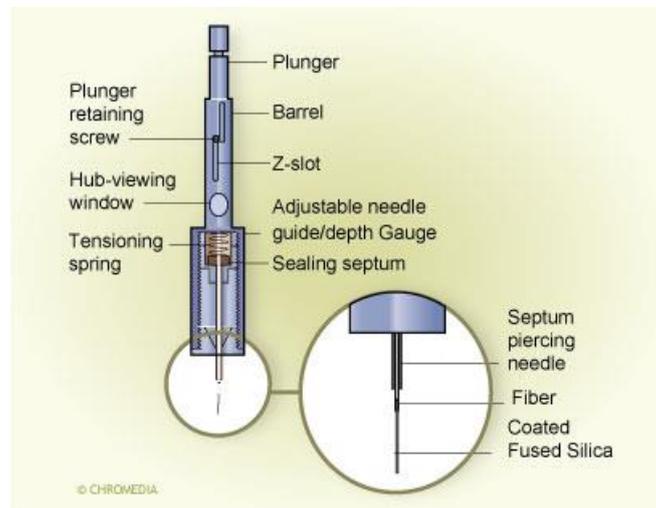


Abbildung 5: Skizze einer SPME Vorrichtung⁹

3.2 Gaschromatographie

Zur Identifizierung der Aromastoffe werden Techniken der instrumentell analytischen Aromastoffanalytik eingesetzt. Dabei wird das komplexe Gemisch einer Vielzahl flüchtiger Verbindungen in ihre Einzelbestandteile aufgetrennt und mit geeigneten Detektionssystemen identifiziert und (semi-)quantifiziert. Zur Auftrennung und Identifizierung der flüchtigen Verbindungen wird die Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS) eingesetzt. Zur Identifizierung von aromaaktiven Verbindungen kommt die Gaschromatographie-Olfaktometrie (GC-O) zum Einsatz, bei der die menschliche Nase als zusätzlicher höchst empfindlicher Detektor für geruchsaktive Verbindungen dient.

Die häufig verwendete Technik der Gaschromatographie ist anwendbar für gasförmige oder flüchtige Komponenten; die GC trennt diese von einem Gemisch in die einzelnen chemischen Verbindungen auf (McNair & Miller, 2011). Die Auftrennung der Probe erfolgt durch die Verteilung der einzelnen Substanzen zwischen zwei Phasen, der stationären

⁹ Quelle: Chromatography Knowledge Base

<http://www.chromedia.org/chromedia?waxtrapp=ujuiDpHqOxmOIIcCpBmFrF&subNav=abffyDsHqnOxmOIIcCpBmFrFH>

Phase (flüssig) und der mobilen Phase (gasförmig - Trägergas). Mit Hilfe des Trägergases (meist Helium eingesetzt) wird die verdampfte Probe durch die Trennsäule gedrückt. Die Trennsäule ist innen mit der stationären Phase ausgekleidet. Die unterschiedliche Verteilung der Analyten erfolgt durch ihre divergierenden Strukturen und relativen Dampfdrücke.

Vorteile der Gaschromatographie sind die hohe Trennleistung und aufgrund der hohen Zahl an flüchtigen Verbindungen ist sie wichtig in der Aromastoffanalytik; weiters kann die GC gekoppelt werden mit Massenspektrometern (und vielen anderen Detektoren) und Probenvorbereitungsmethoden wie zum Beispiel die Festphasenmikroextraktion.

3.2.1 Aufbau eines Gaschromatographen

Die wichtigsten Geräteteile eines Gaschromatographen sind die Gasversorgung mit Druck- und Flussregelventil, der Injektor, die Trennsäule im GC-Ofen und der Detektor, sowie eine entsprechende Auswertungssoftware, wie in Abbildung 6 dargestellt.

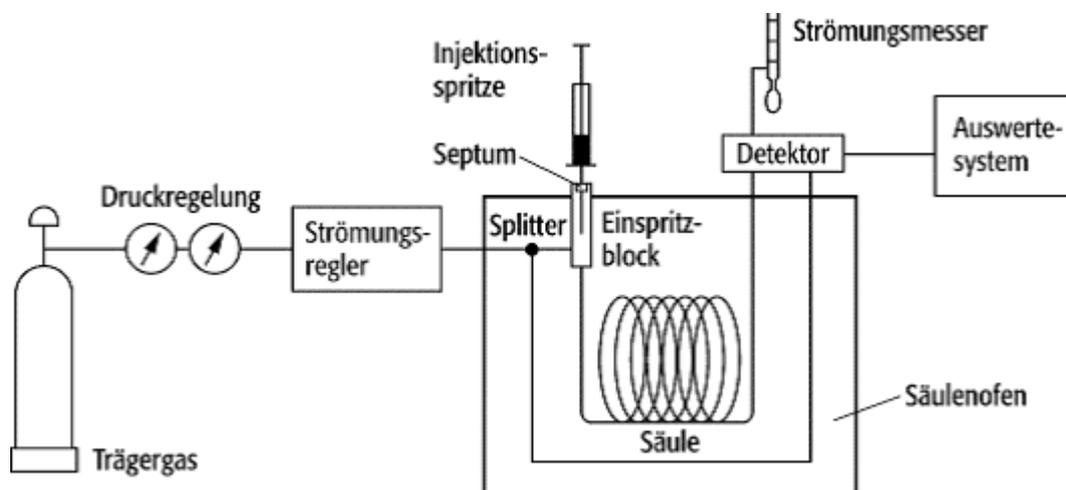


Abbildung 6: Aufbau eines Gaschromatographen mit den wichtigsten Bestandteilen¹⁰

Eine kontinuierliche Gasversorgung sollte immer vorhanden sein, auch wenn keine Probe aufgegeben wird. Anforderungen an die mobile Phase sind die Inertheit gegenüber den Analyten, den Bestandteilen der stationären Phase und des Detektors und die absolute Reinheit. Diese ist nötig, um Verunreinigungen von Sauerstoff und Wasser zu vermeiden, da diese das Säulenmaterial angreifen können. Die Wahl des Trägergases hängt von der Art des Detektors und von der Inertheit des Gases gegenüber den zu trennenden Analyten ab (McNair & Miller, 2011).

Der Injektor dient der Aufgabe der zu untersuchenden Probe auf die Trennsäule und stellt die Verbindung zwischen dem Probeneinlass, der Trennsäule und dem Trägergasstrom dar. Es gibt verschiedene Arten um die Probe auf die Säule aufzutragen, einerseits kann die Probe direkt auf die Säule injiziert werden (on-column Injektion) oder andererseits erfolgt die Aufgabe über Verdampfungsinjektoren. Hier wird die Probe zuerst verdampft, bevor sie auf die Säule aufgetragen wird. Man unterscheidet zwischen Split- und Splitlessinjektion. Je nach Art der Injektion kommen unterschiedliche Liner zur Verwendung. Mit Hilfe einer Spritze wird die Probe durch das Septum hindurch aufgetragen. Danach wird die Probe im heißen Liner verdampft und mit Hilfe des Trägergases auf die Säule gespült. Im Splitbetrieb wird nur ein Teil der Probe auf die Säule gespült, der andere Teil des Gasstromes wird über das

¹⁰ Quelle: <http://www.techniklexikon.net/d/gaschromatographie/gaschromatographie.htm>

Splitausgangsventil nach außen geleitet. Im Splitlessbetrieb wird die gesamte Probe auf die Säule geleitet. In der Praxis wird meist ein Split/Splitlessinjektor gewählt, bei dem man zwischen den beiden Injektionen wählen kann.

Die Trennsäule befindet sich im Säulenofen, ein thermostatisierbarer Raum, der die Ofentemperatur steuert. Die Temperatursteuerung ist notwendig, da die Flüchtigkeit der Analyten durch die Temperatur beeinflusst wird. Bei den Trennsäulen unterscheidet man zwischen zwei Säulentypen: gepackten Säulen und Kapillarsäulen. Gepackte Säulen wurden früher eingesetzt; sie waren die ersten GC-Säulen die kommerziell erhältlich waren. Heute sind sie gar nicht mehr relevant in der GC. In der heutigen Zeit kommen meist die Kapillarsäulen zum Einsatz, sie bestehen aus einem offenen Rohr, welches innenliegend mit einer dünnen stationären Phase überzogen ist. Die Kapillarsäulen werden in lange (60 bis 100 m), mittellange (25 bis 30 m) und kurze (5 bis 10 m) Säulen eingeteilt. Je länger die Säule, desto besser die Auflösung und desto länger die Analysendauer. Säuleninnendurchmesser von Kapillarsäulen liegen zwischen 100 und 530 μm . Die Filmdicken der stationären Phase liegen zwischen 0,1 und 5 μm . Vorteile der Kapillarsäulen gegenüber gepackten Säulen sind die bessere Trennleistung, kürzere Analysendauer und ein geringerer Druckabfall entlang der Säule. Der Nachteil ist allerdings, dass man nur geringe Probenvolumina aufgeben kann, da es sonst zu einer Überladung der Säule kommt (McNair & Miller, 2011).

Mit Hilfe eines Detektors werden am Säulenende die getrennten Substanzen detektiert und in Abhängigkeit von der Retentionszeit graphisch dargestellt. Detektoren sollten eine möglichst hohe Empfindlichkeit (niedrige Nachweisgrenze), ein hohes Signal-Rausch-Verhältnis und eine hohe Selektivität aufweisen. Die Nachweisgrenze ist abhängig von der Struktur der Verbindungen. Bei den Detektoren unterscheidet man zwischen universellen (sprechen auf nahezu alle Verbindungen die eluiert werden an) und selektiven (sprechen auf bestimmte Eigenschaften oder Strukturen an) Detektoren. Als universelle Detektoren werden der Wärmeleitfähigkeitsdetektor (TCD), der Flammenionisationsdetektor (FID) und das Massenspektrometer (MS) eingesetzt, bei denen es zu einer Ionisation der Verbindungen kommt. Im MS kommt es auch zu einer strukturspezifischen Fragmentierung der Ionen, dies kann zur Identifizierung der Verbindungen genutzt werden.

3.2.2 Gaschromatographie-Massenspektrometrie

Bei der Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS) kommt es zu einer direkten Kopplung des Gaschromatographen mit einem Massenspektrometer. Der Aufbau eines MS besteht aus einem Probeneinlasssystem, einer Ionisationsquelle, einem Massenanalysator und einem Detektor. Die eluierenden Verbindungen von der GC-Säule werden in das MS eingeleitet, danach erfolgt in der Ionenquelle die Ionisation des Analyten. Grundsätzlich erfolgt die Ionisation der Substanzen durch Elektronenstoßionisation (EI), positive oder negative chemische Ionisation (CI), Photoionisation (PI), Feldionisation (FI), Matrix-unterstützte Laser-Desorption/Ionisation (MALDI) und Elektronenspray-Ionisation (ESI). Im Massenanalysator werden die Ionen nach ihrem Masse-zu-Ladung-Verhältnis (m/z -Verhältnis) getrennt. Es gibt grundsätzlich unterschiedliche Methoden, wie die Massentrennung erfolgen kann: Quadrupolmassenspektrometer (in der GC-MS verwendet), Magnetfeld-Sektorgeräte, doppelfokussierende Massenspektrometer und Flugzeitmassenspektrometer (in der GC-MS verwendet). Im häufig verwendeten Quadrupolmassenspektrometer werden die erzeugten Ionen durch ein statisches, elektronisches Feld beschleunigt. Die erzeugten Ionen durchfliegen zentral vier parallel

liegende Stabelektroden, deren Schnittpunkte mit einer Ebene senkrecht zur Zylinderachse ein Quadrat bilden. Zwischen den Quadrupol-Stäben durchlaufen nur Teilchen mit einer definierten Masse das Feld. Die separierten Ionen werden in einem Detektor erfasst. Als Detektoren können Photomultiplier, Sekundärelektronenvervielfacher, Faraday-Auffänger, Mikrokanalplatten oder Channeltrons eingesetzt werden.

3.2.3 Gaschromatographie-Olfaktometrie

Zur Bestimmung von flüchtigen, geruchsaktiven Verbindungen wird die Methode Gaschromatographie-Olfaktometrie (GC-O) herangezogen (Delahunty, Eyres, & Dufour, 2006). Hier dient die menschliche Nase als zusätzlicher empfindlicher Detektor zur Detektion von geruchsaktiven Verbindungen. Das Prinzip der GC-O ist es, den von der GC-Säule eluierenden Gasstrom zu splitten, wobei ein Teil zum (FID oder NPD)-Detektor und der andere Teil zum sogenannten „Sniffing Port“ (Glaskonus) gelangt, an dem eine sensorisch geschulte oder ungeschulte Person sitzt (abhängig von der eingesetzten Methode), die den Gasstrom abschnüffelt (wie in Abbildung 7 dargestellt) und die aromaaktiven Verbindungen detektiert (Siegmond, 2008). Der Vorgang wird solange durchgeführt, bis keine geruchsaktiven Verbindungen mehr wahrgenommen werden können im GC Lauf. Das Ergebnis der beiden unterschiedlichen Detektionsmethoden zeigt, bei welchem Retentionsbereich Geruchsaktivität vorliegt. Es wurden verschiedene Methoden entwickelt, um die einzelnen, geruchsaktiven Verbindungen festzustellen, welche den größten sensorischen Einfluss haben. Es gibt Methoden der Verdünnungstechniken, die Aromaextraktverdünnungsanalyse AEVA von Werner Grosch 1993 oder die CharmAnalyse™ (Combined Hedonic Aroma Response Measurement) von Acree & Barnard 1994, die Detection Frequency, die „direct intensity“ Methode, die Osme Methode und die „finger span“ Methode (Delahunty et al., 2006). Bei den Verdünnungstechniken (Aromaextraktverdünnungsanalyse AEVA und CharmAnalyse™) werden die Aromaextrakte schrittweise verdünnt und jeder Verdünnungsschritt abgerochen bis kein signifikanter Geruch mehr wahrgenommen werden kann. Der Unterschied der beiden Techniken besteht darin, dass bei der CharmAnalyse™ zusätzlich die Dauer des Geruchseindrucks noch miteinbezogen wird.



Abbildung 7: Mit dem sogenannten Sniffing Port schnüffelt eine sensorisch geschulte (oder auch ungeschulte) Person einen Teil des Gasstromes ab und detektiert so die aromaaktiven Verbindungen

In unserem Fall wurde eine Kombination der Techniken der Detection Frequency (Delahunty et al., 2006) und der AEVA angewandt, bei der eine Gruppe von sensorisch geschulten Personen die gleichen Aromaextrakte abschnüffelt. Die Aromaextrakte werden schrittweise verdünnt. Das Ergebnis jedes Runs liefert von jeder Prüfperson eine Aufzeichnung der Dauer und eine Beschreibung jedes wahrgenommenen Geruchseindrucks. Mit der Geruchsintensität und der Anzahl der Personen, die den Geruch detektiert, wird eine Detection Frequency erstellt.

3.2.4 Identifizierung der Verbindungen

Die eindeutige Identifizierung der Verbindungen wird durch drei Punkte erreicht (Siegmond, 2008):

- das Massenspektrum der relevanten Verbindung stimmt mit der entsprechenden Referenzsubstanz, der Literatur oder Massenspektrendatenbanken überein
- die Retentionsindizes stimmen mit den Daten aus einer geeigneten Datenbank oder entsprechenden Referenzsubstanzen überein (die Retentionsindizes sollten mindestens auf zwei Säulen unterschiedlicher Polarität bestimmt werden)
- die Geruchsqualität der relevanten Verbindung stimmt mit einer Referenzsubstanz, der Literatur oder der Datenbanken überein

Der Retentionsindex hilft bei der eindeutigen Identifizierung von Verbindungen, die in sehr geringen Konzentrationen vorkommen oder ähnliche Massenspektren aufweisen. Trotz der Verwendung von guten GC-MS Systemen, kann bei vielen Verbindungen keine eindeutige Identifizierung stattfinden. Die linear temperaturprogrammierten Retentionsindices (RI) wurden anhand von Referenzsubstanzen ermittelt, die anhand einer Gleichung von van den Dool und Kratz berechnet wurden (van Den Dool & Dec. Kratz, 1963):

$$RI = 100 * \frac{T_x - T_z}{T_{z+1} - T_z} + 100x$$

36

T_x	Retentionszeit der Komponente x
T_z, T_{z+1}	Retentionszeiten der n-Alkane zwischen denen die Komponente x eluiert
$Z, z+1$	Anzahl der C-Atome der n-Alkane z bzw. z+1

Als Standardreferenzen dient die homologe Reihe von n-Alkanen, wobei jedem dieser n-Alkane eine Zahl zugeordnet wird, die dem hundertfachen der Anzahl ihrer C-Atome entspricht. Anforderung für die Gültigkeit der Gleichung von van den Dool und Kratz ist die Gewährleistung eines linearen Temperaturprogrammes, da die Retentionszeiten der homologen Alkanreihe nahezu linear mit der Anzahl der Kohlenstoffatome ansteigen. Eine gute Reproduzierbarkeit erreicht man, wenn ähnliche Voraussetzungen bezüglich der Säulendimensionen und der Flussgeschwindigkeit des Trägergases herrschen und Gleichheit bei der Polarität der stationären Phase vorliegen. Die Identifizierung der Verbindungen erfolgt über Datenbanken, die eine Vielzahl von verschiedenen RI's für unterschiedliche Säulen enthalten, sowie dem Vergleich der RI's mit denen von Referenzsubstanzen (experimentell bestimmt).

3.3 Sensorische Analysen

Die sensorischen Analysen werden kombiniert mit den analytischen Untersuchungen dieser Arbeit und werden in diesem Kapitel erklärt. Zuerst wird auf die Sinnesphysiologie des Menschen eingegangen, bevor dann die sensorischen Analysen kurz erläutert werden.

3.3.1 Sinnesphysiologie

Die Wahrnehmung von sensorischen Eigenschaften wird durch ein Zusammenspiel von Geruchs- und Geschmackssinn ermöglicht. Der Geruchssinn reagiert auf geruchswirksame, chemische und flüchtige Substanzen, die über die Atemluft die Rezeptorzellen des Riechepithels erreichen (Derndorfer 2010). Der Nasenraum setzt sich aus der äußeren Nase und der Nasenhöhle (Cavum nasi) zusammen. Die Nasenhöhle ist mit einer Schleimhaut ausgekleidet, welche sich in zwei Abschnitte unterteilt: die respiratorische Schleimhaut (Regio respiratoria) ohne Riechzellen und die Riechschleimhaut (Regio olfactoria) mit Riechzellen. Riechzellen sind primäre Sinneszellen, deren Axone durch die Siebbeinplatte zu den Nervenzellen des Riechkolben (Bulbus olfactorius) ziehen (Fanghänel et al. 2009). Der Hauptteil der Axone der Nervenzellen endet im sogenannten Riechhirn, von wo aus die Geruchsinformation zur weiteren Verarbeitung über den Thalamus an die Neokortex zur Geruchswahrnehmung weitergeleitet wird (Klinke & Silbernagl 2003). Wenn ein Riechstoff in ausreichender Konzentration mit einem Rezeptor der Riechschleimhaut in Kontakt tritt, dann erfolgt eine Signalkaskade, die letztendlich zu einer Depolarisation der Riechzellen (Rezeptorpotential) führt. Eine Änderung der Rezeptorpotentiale in Aktionspotentiale erfolgt am Übergang zum Axon und die Aktionspotentiale werden über die Riechbahn weitergeleitet. Geruchsempfindungen können durch direktes Riechen oder während des Verzehrs eines Lebensmittels (retronasal) ausgelöst werden.

Die Geschmackswahrnehmung findet im Mundraum statt, wo Papillen für alle fünf Grundgeschmacksarten über den gesamten Zungenbereich verteilt sind. Geschmackssinneszellen sind sekundäre Sinneszellen, sie verfügen selbst über keine direkte Nervenbindung. Sie werden von afferenten Hirnnervenfasern versorgt. Diese leiten die Informationen zur Medulla oblongata (verlängertes Rückenmark) weiter, von dort werden die Informationen zum Großhirn und dem Hypothalamus weitergeleitet (Klinke & Silbernagl 2003).

3.3.2 Die sensorische Prüfung

Die Lebensmittelsensorik beschäftigt sich mit der objektiven Bewertung von Lebensmitteln durch menschliche Sinnesorgane. Es gibt zwei grundlegende Arten von Prüfgruppen (Panels): die Konsumenten- und den Expertenpanels. Wobei Konsumentenpanels (ungeschulte Prüfer) meist in der Marktforschung und Konsumentenwissenschaften eingesetzt werden, um beispielsweise neue Produkte zu testen. Die Expertenpanels sind geschulte Prüfpersonen (Schulung festgelegt in DIN 10961), die in regelmäßigen Schulungen unter standardisierten Bedingungen im Prüflabor unterschiedliche Fragestellungen lösen. Die Lebensmittelsensorik ist noch eine relativ junge wissenschaftliche Methode, doch genauso wie chemische oder physikalische Untersuchungsmethoden eine eigenständige analytische Untersuchung. Bei der sensorischen Analyse von Lebensmitteln werden alle menschlichen Sinne eingesetzt. Sie dient vor allem der Produkt- und Qualitätssicherung von Lebensmitteln und es können Rückschlüsse auf die Qualität der verwendeten Rohstoffe gezogen werden (Hildebrandt, 2008). Die schnelle Verfügbarkeit und die Sensibilität der Sinnesorgane machen den Menschen zu einem geeigneten Messinstrument.

Um für alle Prüfpersonen idente Prüfbedingungen zu garantieren, sind DIN-Normen festgelegt worden bezüglich Prüfverfahren (oder Prüfmethoden), Prüflabor (störungsfreie Atmosphäre, Einzelkabinen) sowie Probenvorbereitung (um objektive Ergebnisse zu bekommen, sollten die Proben in einheitlichen Mengen und einheitlichen Gebinden dargereicht werden). In der Probenvorbereitung sollte auch darauf geachtet werden, dass die Proben codiert und randomisiert dargereicht werden um eine Beeinflussung der Prüfpersonen zu vermeiden.

3.3.3 Sensorische Prüfverfahren

Die eingesetzten Prüfverfahren sollten eine statistische Auswertung erlauben und so gewählt werden, dass sie aussagekräftige Informationen über die Lebensmittel geben können. Bei den Prüfverfahren unterscheidet man zwischen hedonischer (für Konsumentenpanel) und analytischer (für Expertenpanel) Prüfung. Die hedonische Prüfung ist eine subjektive Aussage, wobei die persönliche Meinung gegenüber einem Produkt im Vordergrund steht. Bei der analytischen Prüfung erfolgt ein standardisierter Ablauf, wo unterschiedliche Prüftechniken eingesetzt werden und der Schulungsaufwand für das Expertenpanel produktabhängig ist. Es gibt mehrere verschiedene Prüfverfahren (Hildebrandt 2008; Lawless & Heymann 2010):

- Erkennungs- und Schwellenwertprüfungen (DIN 10959, 10961): stellen die Empfindlichkeit der Sinnesorgane fest und werden in Prüfpersonenschulungen und Prüfpersonenauswahl eingesetzt. Dieses Prüfverfahren umfasst die Unterschieds- und Sättigungsschwelle.
- Unterschiedsprüfungen (Diskriminierungsprüfungen): es sollen Unterschiede oder Ähnlichkeiten zwischen zwei Proben/Produkten festgestellt werden. Genormte Prüfungen sind die Dreiecksprüfung (DIN/ISO 4120), Duo-Trio-Prüfung (DIN/ISO 10399), „A“- „nicht A“ Prüfung (DIN 10972), In-/Out-Prüfung (DIN 10973), Paarweise Vergleichsprüfung (DIN/ISO 5495) und die Rangordnungsprüfung (DIN 10963/ ISO 8587)
- Beschreibende Prüfungen: dienen der Beschreibung von Merkmalseigenschaften (Farbe, Form, Geruch, Geschmack, Textur) eines Lebensmittels im Detail. Hier wird vor allem die beschreibende Prüfung (DIN 10964) eingesetzt. Wenn man neben der

qualitativen Beschreibung noch eine quantitative Beschreibung (Bewertung der Intensität der sensorischen Eigenschaften) benötigt, wird die Profilprüfung eingesetzt. Genormte Prüfungen sind die Quantitative Deskriptive Analyse (DIN 10967-1), Konsensprofil (DIN 10967-2), Free Choice Profiling (DIN 10967-3), Time Intensity Profil (DIN 10970), Texturprofil (ISO 11036)

In Zuge dieser Arbeit wurden folgende sensorische Prüfmethode eingesetzt, die hier kurz beschrieben werden (Hildebrandt 2008; Siegmund 2008; Lawless & Heymann 2010):

- Triangeltest: Die Dreiecksprüfung oder Triangeltest ist die am häufigsten eingesetzte Prüfmethode, hier werden drei codierte Proben gereicht, wobei zwei ident und eine Probe abweichend ist.
- Rangordnungsprüfung: Diese Methode wird herangezogen, wenn mehr als zwei Proben miteinander verglichen werden. Die Reihungskriterien werden unterschiedlich gewählt, entweder durch die persönliche Bevorzugung oder durch verschiedene sensorische Attribute.
- Beschreibende (deskriptive) Prüfung: Durch möglichst genaue Beschreibung mit entsprechenden Worten zu Textur, Farbe, Geruch und Geschmack, erfolgt eine qualitative Beschreibung eines Lebensmittels. Der Wortschatz eines Sensorikpanels spielt hier eine große Rolle, da ein Produkt exakt beschrieben werden soll. Durch gezieltes Training wird das Vokabular eines Panels trainiert und abgestimmt.
- Profilprüfung und Quantitative Deskriptive Analyse (QDA): Nach der qualitativen Beschreibung durch die beschreibende Prüfung, erfolgt zur quantitativen Beurteilung meist eine Profilprüfung oder QDA. Hier werden bestimmte Attribute festgelegt und die Intensität der einzelnen Attribute auf einer 10 cm Skala erfasst. Für diese Prüfmethode ist ein hoher Schulungsgrad erforderlich, da die Prüfer lernen müssen, die festgelegten Attribute in ihrer Intensität zu erfassen und dadurch Produkten mit denselben qualitativen Begriffen, eine unterschiedliche Charakterisierung zu geben.
- Eine günstige und schnelle Prüfmethode ist das Projective Mapping (Napping), diese Methode wurde ursprünglich erst in den 1990er von Risvik eingeführt für die hedonische Sensorik (Risvik et al. 1994). Bei dieser Prüfung entscheidet der Prüfer selbst wie er die Proben unterscheidet, entweder Unterscheidung von Ähnlichkeiten oder Unterschiede der Produkte untereinander. Die Proben werden auf einem weißen Blatt Papier nach Ähnlichkeiten oder Unterschieden angeordnet und anschließend die Koordinaten (X/Y) von jeder Probe in das Statistikprogramm Unscrambler® eingegeben. Diese statistische Auswertung der Datensätze beruht auf einer Hauptkomponentenanalyse (Principle Component Analysis PCA). Das Prinzip einer PCA beruht auf einer Koordinatentransformation, hierbei stellen die Hauptkomponenten ein orthogonales Koordinatensystem dar, das nach Wichtigkeit angeordnet ist. Die Datensätze werden zu Clustern zusammengefasst, wobei Datensätze mit großer Ähnlichkeit nahe beieinander liegen und Datensätze mit signifikanten Unterschieden eine räumliche Distanz aufweisen. Mit Hilfe des Statistikprogrammes bekommt man eine sichtbare klare Darstellung mittels einer Grafik.

4 Untersuchte Proben

Die fünf verschiedenen Apfelsorten wurden von der Landwirtschaftskammer Steiermark bereitgestellt und die Apfelsaft-/Mostherstellung fand in der landwirtschaftlichen Versuchsanstalt des Landes Steiermark Haidegg statt. Die einzelnen verwendeten Apfelsorten werden in diesem Kapitel kurz erläutert.

4.1 Die Streuobstsorten: die alten Apfelsorten

Der Bohnapfel, in Abbildung 8 linkes Bild, ist eine zu den Winteräpfeln zählende alte Sorte des Kulturapfels. Er wurde als Zufallssämling zwischen 1750 und 1800 am Mittelrhein entdeckt. Die Bäume des Bohnapfels können sehr alt werden und bilden großvolumige, breitkugelige Kronen aus. Erst nach einigen Jahren tragen die Bäume Äpfel. Die saftig säuerlichen Äpfel reifen Mitte Oktober bis Anfang November und sind ab Februar genussreif. Sie sind bis Juni haltbar. Sofern die Äpfel am Baum völlig ausreifen können, ist der Bohnapfel eine der besten Apfelsorten für die Verwertung.



Abbildung 8: Die Streuobstsorten; Bohnapfel (linkes Bild); Kronprinz Rudolf (mittleres Bild); Maschanzker (rechtes Bild)

Der Kronprinz Rudolf stammt aus der Steiermark, er ist ein Winterapfel, der ebenfalls zu den alten Sorten zählt. 1881 wurde der Kronprinz Rudolf durch Prof. R. Stoll in der Zeitschrift „Der Obstgarten“, später von W. Lauche im ersten Ergänzungsband zum „Illustrierten Handbuch der Obstkunde“ beschrieben. In Österreich findet diese Apfelsorte spezielle Standortbedingungen vor, vor allem in der Steiermark. Außerhalb Österreichs hat die Sorte keine Bedeutung erlangt, trotz mehreren Anpflanzungsversuchen¹¹.

Der Maschanzker, eine Sorte des Kulturapfels, ist in den „Pomologischen Monatsheften“ aus 1877 als erster schriftlicher Nachweis zu finden. Der Winterapfel wird im Oktober geerntet und von Dezember weg, nach einer gewissen Lagerzeit, beginnt die Genussreife. Der „Steirische Maschanzker“ wurde außerhalb der Steiermark und Kärnten niemals verbreitet kultiviert. Vor Beginn des 20. Jahrhunderts bis gegen 1960 war der Steirische Maschanzker eine bedeutende Apfel-Landsorte auf den Märkten. Doch dann verschwand er allmählich aus den Gärten. Erst in den letzten Jahren wird er wieder vermehrt angebaut¹².

¹¹ Quelle: Arche Noah (Gesellschaft zur Erhaltung und Verbreitung der Kulturpflanzenvielfalt) http://www.arche-noah.at/etomite/assets/downloads/Bibliothek/Obstsortenblaetter/Apfel/Kronprinz_Rudolf.pdf; Zugriff auf die Website am 04.07.2013

¹² Quelle: Arche Noah (Gesellschaft zur Erhaltung und Verbreitung der Kulturpflanzenvielfalt); http://www.arche-noah.at/etomite/assets/downloads/Bibliothek/Obstsortenblaetter/Apfel/Steirischer_Maschanzker.pdf; Zugriff auf die Website am 04.07.2013

4.2 Die Plantageanbausorten

Die Apfelsorte Braeburn, ein Winterapfel, ist 1952 als Zufallssämling in einer Obstplantage in der Nähe der Stadt Nelson, Neuseeland, entdeckt worden (Gardiner, Bassett, Madie, & Noiton, 1996). Braeburn ist eine der wichtigsten Exportapfelsorten in Neuseeland, aber auch in Europa steigen die Anbauggebiete. Elternsorten sind die Sorten Lady Hamilton und Cox-Orange, die durch eine Kombination aus RAPD (Randomly Amplified Polymorphic DNA) und RFLP (Restriction Fragment-length Polymorphism) Marker Analysen identifiziert wurden (Gardiner et al., 1996).



Abbildung 9: Die Plantageanbausorten; Braeburn (linkes Bild); Golden Delicious (rechtes Bild)

Die Apfelsorte Golden Delicious wurde als Zufallssämling um 1890 in West Virginia/USA entdeckt (Fischer, 2007). Der Winterapfel kann im Oktober geerntet werden und erreicht ab Dezember die Genussreife. Die Sorte ist weltweit sehr verbreitet und zeichnet sich durch hohe Fruchtbarkeit und unproblematische Lagerfähigkeit aus. Die guten Eigenschaften von Golden Delicious lassen sich auch an seiner zentralen Bedeutung in der Sortenzüchtung erkennen, da er Elternsorte von Jonagold, Gala und vielen weiteren Sorten ist.

5 Experimenteller Teil

In diesem Kapitel wird die Durchführung der Arbeiten wie die Herstellung des Apfelsaftes/ -mostes, die Probenvorbereitungen, die Messparameter der GC-MS und der GC-O sowie die sensorischen Untersuchungen erläutert.

5.1 Herstellung des Apfelsaftes und Apfelmestes

Die Herstellung des Apfelsaftes und auch des Apfelmestes wurde in den Räumlichkeiten der landwirtschaftlichen Versuchsanstalt des Landes Steiermark Haidegg durchgeführt. Die einzelnen Bearbeitungsschritte des Apfelsaftes mit den Probeentnahmen sind in einem Fließdiagramm (Diagramm 1) schematisch dargestellt.

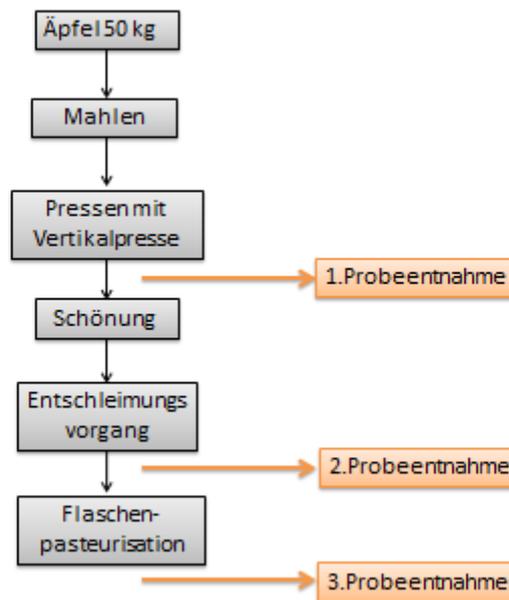


Diagramm 1: Herstellung von sortenreinem Apfelsaft mit den Probeentnahmezeitpunkten

Von jeder Apfelsorte wurden 50 kg in Kisten bereitgestellt, die dann bis auf einen kleinen Teil weiterverarbeitet wurden. Jeweils eine halbe Kiste pro Sorte wurde von den unversehrten Äpfeln noch für die sensorischen Prüfungen verwendet.

Nach dem Waschen und Sortieren der Äpfel, wurde eine hydraulische Presse mit Vertikalbetrieb für den Pressvorgang verwendet. Nach dem Pressvorgang wurden vom Rohsaft die ersten Proben entnommen und für spätere Messungen eingefroren (Abbildung 10). Um klaren Apfelsaft herzustellen erfolgte im Anschluss die Schönung. Für die Schönung wurde eine Rapidase (2 g/L), Bentonit (2 g/L) und Gelatine (Abbildung 11) verwendet. Bentonit der Firma Erbslöh (Abbildung 11) wurde zuerst 15 min mit Wasser gequollen bis es dann dem Rohsaft beigemischt wurde. Die Dosierung der Mostgelatine ist mit 50-200 mL je 100 Liter Most oder 100 kg Maische angegeben. Die Ansätze wurden 24 Stunden inkubiert.

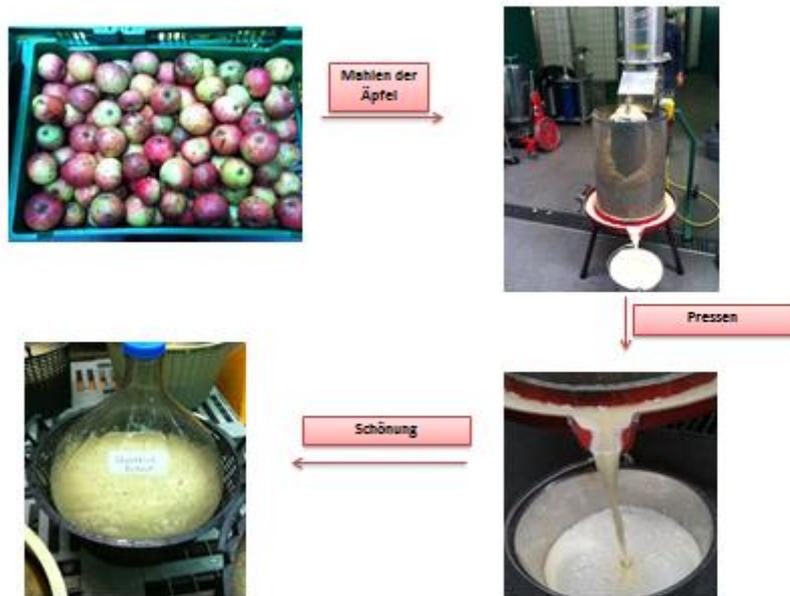


Abbildung 10: Apfelsaftherstellung: Zuerst wurden die Äpfel sortiert, dann gemahlen und danach gepresst. Der Rohsaft wurde einer Schönung unterzogen und über Nacht inkubiert.



Abbildung 11: Zur Schönung eingesetzt: Bentonit der Firma Erbslöh (linkes Bild) und Most-Gelatine der Max F. Keller GmbH (rechtes Bild)

Nach 24-stündiger Inkubationszeit wurden die Ansätze durch Abheben des klaren Saftes entschleimt und in großen Flaschen abgefüllt. Direkt nach dem Entschleimungsvorgang wurde die zweite Probeentnahme durchgeführt (Abbildung 12). Anschließend wurde der klare Saft in Flaschen abgefüllt. Für die Pasteurisation wurden die Flaschen in einen Heißluftofen der Firma Krefft gestellt (Temperatur 130°C für 12-13 min; Dampf 75°C).

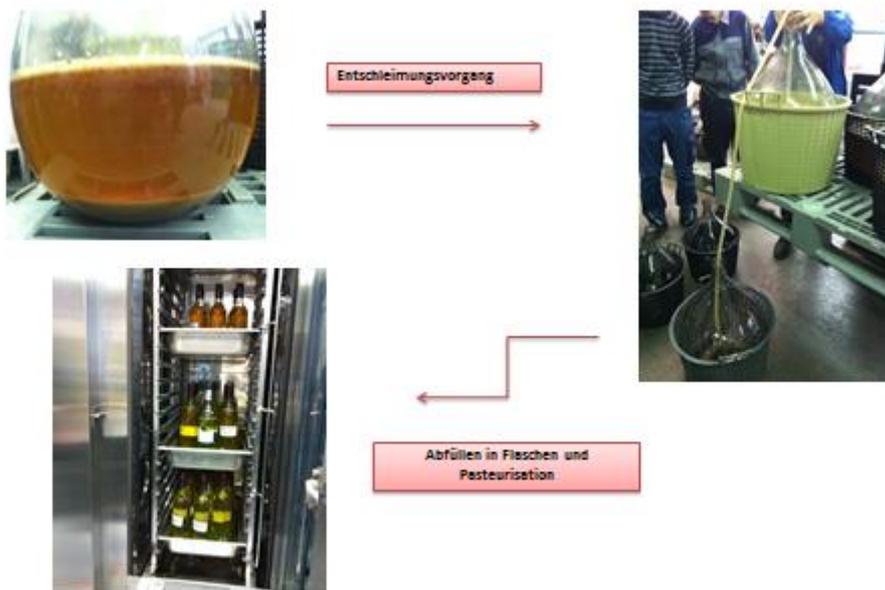


Abbildung 12: Apfelsaftherstellung: Nach dem Entschleimungsvorgang wurde der Saft in Flaschen abgefüllt und in einem Heißluftofen der Firma Krefft pasteurisiert.

Die Mostherstellung wurde gleich an die Bearbeitungsschritte der Saftherstellung angereiht. Nach dem Entschleimungsvorgang wurden von jeder Sorte 5 Liter entnommen und über eine Mikrofermentation zu Most weiterverarbeitet. Für die Schwefelung wurde 75 mg SO₂/Liter zur Farbstabilität zugesetzt, doch konnte mit diesem Schritt auch Acetaldehyd gebunden werden. Zusätzlich wurde vor der Gärung noch Kaliumpyrosulfit (15 g für 100 Liter) eingerührt. Nach der Gärung sollte nur noch ein Drittel der Schwefelmenge enthalten sein.

Es wurden Hefe und Hefenährsalz hinzugefügt und unter kontrollierten Bedingungen wurde der Gärungsprozess gestartet (Abbildung 13). Die Reinzuchtheife *Saccharomyces cerevisiae* (var. *Bayanus*), von der Firma Erbslöh, Produktname Oenoferm Freddo 3 (trocken, Restfeuchte 8%) ist für den Einsatz von aromafördernder Kaltgärung bestimmt. Mit dieser Hefe ist es möglich auch bei sehr kalten Mosten eine schnelle Angärung zu erreichen; dadurch erzielt man eine langsamere Gärung und auch die CO₂-Entwicklung wird reduziert¹³.

¹³ Quelle: Datenblatt der Firma Erbslöh Geisenheim AG;
http://www.erbsloeh.com/product_datasheets/de/PMB_OenofermFreddoF3Wein_D_001.pdf letzter Zugriff auf die Homepage: 20.07.2013;



Abbildung 13: Mostherstellung: Der Saft wurde mit Hefe und Hefenährsalz versetzt und unter kontrollierten Bedingungen wurde der Gärungsprozess durchgeführt.

Der Mostansatz wurde mit 60 Liter Gesamtmenge angenommen und die dafür notwendigen Hefe und Hefenährsalzmengen berechnet. Die Reinzuchthefer wurde mit Wasser (Wassertemperatur 40,7°C) verrührt und mit Hefenährsalz versetzt. Die genaue Zugabemenge von Reinzuchthefer und Hefenährsalz ist der Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3: Übersicht über die Zugabemenge von Hefe und Hefenährsalz zu den unterschiedlichen Ansätzen

Apfelsorte	Hefe eingesetzt [mL]	Gesamtvolumen [L]	Nährsalz eingesetzt [g]
Maschanzker	100	10	2
Braeburn	200	20	4
Golden	100	10	2
Bohnapfel	100	10	2
Kronprinz	100	10	2

Zu Gärende hin, nach fünf Wochen Inkubation, wurden Proben entnommen und eingefroren. Die Abschwefelung fand nach der Gärung statt. Der Most wurde in Flaschen abgefüllt und für weitere Messungen kühl gelagert.

5.2 Analyse von Zucker- und Säuregehalt

Bei der Apfelsaftherstellung wurde von den frisch entschleimten Apfelsaftproben die Zucker- und Säuregehalte bestimmt. Für die Dichtemessung wurde ein Density Meter von Anton Paar verwendet. Aus der Dichtemessung kann man dann direkt auf den Zuckergehalt schließen.

Für die Säuregehaltsmessung wurde von den Apfelsaftproben jeweils 10 mL entnommen. Zu den Apfelsaftproben wurde langsam blaue Lauge¹⁴ titriert (Abbildung 14), bis ein Farbumschlag von hell auf grün-blau erfolgte. Durch die Titrationsmenge (1 mL Blaulauge = 1 g/L Gesamtsäure) konnte man feststellen, welche Menge an Säure im Saft vorhanden ist.

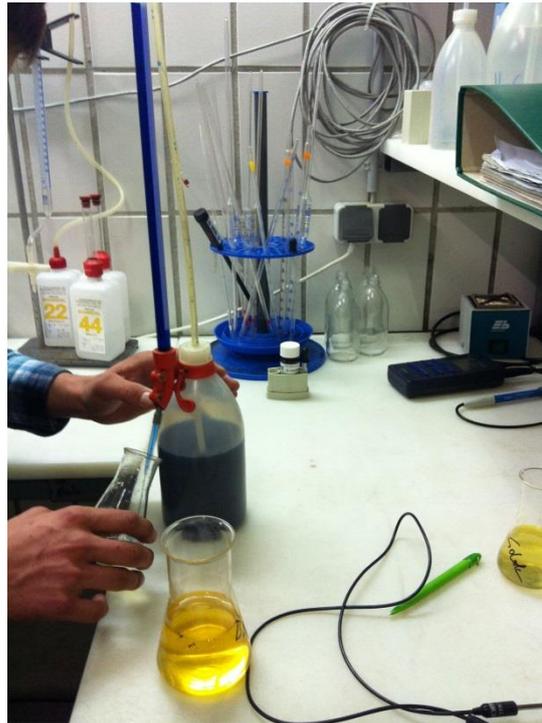


Abbildung 14: Säuregehaltsmessungen der Apfelsaftproben mittels Titration

5.3 Untersuchung der Mostproben mittels Alcolyzer®

Der Alcolyzer® ist ein von der Firma Anton Paar patentiertes NIR-Spektrometer zur Messung des Alkoholgehaltes. In Kombination mit einem Dichtemessgerät nach Biegeschwingprinzip (DMA 4500 Density Meter von der Firma Anton Paar) können mittels Alcolyzer® die relevanten Parameter ermittelt werden. Das Messprinzip des Alcolyzers® beruht auf Absorption im nahen Infrarot. Die Mostproben wurden nach Kalibrierung und Justierung des Gerätes laut Betriebsanleitung unvorbereitet in die Messzelle gesaugt und vermessen. Die Formeln und Grundlagen der Berechnungen wurden der Betriebsanleitung entnommen¹⁵.

Alkohol (% v/v) = Alkohol in Volumsprozent: Die Berechnung erfolgt nach einer speziellen Funktion der Absorptionsintensität der NIR-Bande von Ethanol. Der ermittelte Wert ist temperaturabhängig und somit nur für die angegebene Temperatur gültig (20°C).

¹⁴ Blaue Lauge ist eine 0,53%-ige NaOH-Lösung mit Indikator und wird zur Säurebestimmung in Weinen und Mosten verwendet

¹⁵Quelle: Firma Anton Paar; http://www.anton-paar.com/Alcolyzer-Wine-M-ME-Weinanalyseger%C3%A4t/Alkoholmessger%C3%A4t/60_Corporate_de?product_id=456#Funktionalit%C3%A4t; letzter Zugriff am 05.07.2013

5.4 Probenvorbereitung mittels SPME und GC-MS für die Flüssigproben

Für die Probenvorbereitung mittels Headspace-Festphasenextraktion (HS-SPME) wurden die SPME-Vials mit einem Glasmagnetrührer versehen und der Tray auf 10°C gekühlt. Für die Proben von Rohsaft und von entschleimtem Saft wurden je 50 mg Natriumchlorid (NaCl) in den Vials vorgelegt und mit je 50 µL Probe versetzt. Die Zugabe von NaCl und der gekühlte Tray verhindern die Vergärung von Rohsaft und entschleimtem Saft während der Messung. Für die pasteurisierten Saftproben (Probenmenge 100 µL) und den Mostproben (Probenmenge 100 µL) wurde kein NaCl vorgelegt. Danach wurden die Vials mittels Headspace-Verschlusskappen fest verschlossen. Anschließend erfolgte eine Headspace SPME GC-MS Messung von jeder Probe mit einer Fünffachbestimmung in randomisierter Reihenfolge. Als Blindwert wurde ein leeres Vial mit einem Glasmagnetrührer vermessen. Für die Extraktion wurde eine Supelco 50/30 µm DVB/Carboxen/PDMS Stable Flex Faser mit einer Länge von 2 cm verwendet, die bei einer Extraktionstemperatur von 40°C bei 20 min Extraktionszeit in Headspace der Probe exponiert wurde.

Zur Identifizierung der relevanten Aromastoffe wurden sowohl die Proben von Rohsaft, entschleimtem Saft, pasteurisiertem Saft und von Most mittels GC-MS vermessen. Für die Proben von Rohsaft, entschleimtem Saft, pasteurisierten Saft und Most sind in der Tabelle 4 die GC-MS Parameter aufgelistet.

Tabelle 4: GC-MS Parameter für die Messung der Proben von Rohsaft, entschleimtem Saft, pasteurisiertem Saft und Most

GC-MS Parameter	
Geräteparameter	
Gaschromatograph	Agilent Technologies 5975C VLMSD
Detektor	MSD, Triple-Axis Detector, EI
Säulenparameter	
Säule	HP-5
Säulenlänge	30 m
Säulendurchmesser	250 µm
Schichtdicke	1 µm
Trägergas	Helium
Methodenparameter	
Injektortemperatur	270°C
Detektortemperatur	280°C
Injektionsmodus	Splitless
Mode	Constant flow
Massenbereich	20-250 amu
Messmodus	scan
Flussrate	31 cm/s
Solvent Delay (Saft)	5 min
Solvent Delay (Most)	6 min
Temperaturprogramm	
-10°C (1 min) - 8°C/min - 280°C	

5.5 Probenvorbereitung mittels PFS und GC-MS für die unversehrten Äpfel

Die unversehrten Äpfel wurden zuerst abgewogen (Tabelle 5) und in 2 L-Rexglas gegeben. Die Gläser wurden vorher gewaschen, mit Aceton gespült und eine Stunde im 100°C Trockenschrank gelagert, bevor die abgewogenen Äpfel reingestapelt wurden.

Tabelle 5: Das Gewicht der abgewogenen Apfelsorten:

Apfelsorte	Gewicht [kg]
Bohnapfel	1,56
Braeburn	1,52
Golden Delicious	1,52
Kronprinz Rudolf	1,63
Maschankker	1,55

Für die Probenvorbereitung wurden Portable Field Sampler SPME Supelco 50/30 μm DVB/Carboxen/PDMS Fasern mit einer Länge von 1 cm verwendet. Jedes Glas bekam einen weißen Teflondeckel, der von den vier Portable Field Sampler SPME Fasern durchstochen wurde, wie in Abbildung 15 dargestellt. Die Fasern wurden eine Stunde in den großen, verschlossenen 2 L Gläsern exponiert, die in einem gut durchlüfteten, geruchsneutralen Raum gelagert waren.



Abbildung 15: Vier Portable Field Sampler SPME Fasern wurden eine Stunde lang exponiert in einem mit Äpfeln gefüllten Glas

Anschließend erfolgte manuelle Injektion der Fasern in den GC. Die Parameter der Methode sind in Tabelle 6 aufgelistet.

Tabelle 6: GC-MS Parameter für die manuelle Messung der unversehrten Äpfel

GC-MS Parameter	
Geräteparameter	
Gaschromatograph	Agilent Technologies 5975C VLMSD
Detektor	MSD, Triple-Axis Detector, EI
Säulenparameter	
Säule	HP-5
Säulenlänge	30 m
Säulendurchmesser	250 µm
Schichtdicke	1 µm
Trägergas	Helium
Methodenparameter	
Injektortemperatur	270°C
Detektortemperatur	280°C
Injektionsmodus	Splitless
Mode	Constant flow
Massenbereich	20-250 amu
Flussrate	31 cm/s
Messmodus	scan
Solvent Delay	0 min
Temperaturprogramm	
-10°C (1 min) - 8°C/min - 280°C	

5.6 GC-O und Detection Frequency von den Streuobstsorten

Um die geruchsaktiven Verbindungen der Streuobstsorten zu identifizieren, erfolgte eine Messung mittels Gaschromatographie-Olfaktometrie. Die eingesetzte Methode, eine Kombination von Detection Frequency und der AEVA, erforderte ein geschultes Panel von fünf Personen. Zuerst wurden die drei pasteurisierten Apfelsäfte (Bohnapfel, Kronprinz Rudolf und Maschanzker) in unterschiedlichen Mengen (500 µL, 250 µL und 50 µL) in Vials vorgelegt. Zur Probenvorbereitung wurde eine SPME Faser verwendet, die 20 min bei 40°C im Vial über der Probe exponiert wurde. Es wurde von der Firma Gerstel ein Sniffing Port verwendet, dieses wird mit einer beheizten Transferleitung bis zum Glaskonus mit dem GC-Raum verbunden. Die beheizte Transferleitung vermeidet Kondensation der Analyten auf dem Weg zum Sniffing Port. Außerdem wird im Glaskonus die Luft zur Schonung der Nasenschleimhäute befeuchtet. Die Analyse erfolgte anhand der in Tabelle 7 aufgelisteten Parameter. Die Identifikation der geruchsaktiven Verbindungen erfolgte über die Ermittlung der Retentionsindices.

Tabelle 7: GC-O Parameter für die Messung der Flüssigextrakte

GC-O Parameter	
Geräteparameter	
Gaschromatograph	Hewlett-Packard 5890 II
Detektor	FID
Sniffing Port	Gerstel ODP
Splitverhältnis FID/ODP	1:1
Säulenparameter	
Säule	HP-5
Säulenlänge	30 m
Säulendurchmesser	320 µm
Schichtdicke	0,25 µm
Trärgas	Helium
Methodenparameter	
Injektortemperatur	270°C
Detektortemperatur	300°C
Injektionsmodus	Splitless
Temperaturprogramm	
35°C (1 min) - 10°C/min - 270°C	

5.7 Sensorische Untersuchungen

Um die unterschiedlichen Apfelsorten auf ihre sensorischen Eigenschaften zu analysieren, wurde ein trainiertes Sensorikpanel eingesetzt, welches durch regelmäßige Schulung Unterschiede und Produkteigenschaften definieren und quantifizieren kann. Alle sensorischen Beurteilungen wurden in einem nach DIN 10962 genormten Prüflabor (Abbildung 16) unter standardisierten Bedingungen durchgeführt. Zu Beginn der Arbeit wurden die PrüferInnen mit dem Thema Apfelsaft vertraut gemacht. Es wurden dabei produktspezifische Schulungen durchgeführt. Zuerst wurden Geruchsstandards jener Verbindungen hergestellt, die in wissenschaftlichen Untersuchungen beschrieben wurden (Duerr 1981; Pour Nikfardjam & Maier 2010). Die Geruchsstandards wurden durch den Gebrauch von Riechstreifen abgerochen und durch Wiederholungen der Geruchsschulung wurden die Gerüche eingepägt.



Abbildung 16: Einzelkabine des DIN genormten Prüflabors

Eine Übersicht der durchgeführten Verkostungen ist in Tabelle 8 aufgelistet.

Tabelle 8: Übersicht der durchgeführten Verkostungen

Verkostungsart	Datum
Riechstreifentest (mit Geruchsstandards)	31.10.2012
Riechstreifentest (mit Geruchsstandards)	07.11.2012
Rangordnungsprüfung	14.11.2012
Triangeltest	21.11.2012
Triangeltest	28.11.2012
Apfel unversehrt riechen	13.12.2012 (mit 6 Prüfern)
Apfel unversehrt riechen/verkosten	19.12.2012
Riechstreifentest (mit Geruchsstandards)	23.01.2013
Riechstreifentest (mit Geruchsstandards)	31.01.2013
Triangeltest Apfelsaft	07.02.2013
Rangordnungsprüfung	14.02.2013
Rangordnungsprüfung	20.02.2013
Deskriptive Beschreibung	27.02.2013
Deskriptive Beschreibung	06.03.2013
Profilprüfung	13.03.2013
Riechstreifentest (mit Geruchsstandards)	20.03.2013
Profilprüfung	27.03.2013
Profilprüfung	04.04.2013
Riechstreifentest (mit Geruchsstandards)	11.04.2013
Deskriptive Beschreibung	17.04.2012
Mapping von den sortenreinen Apfelsäften	29.04.2013
QDA sortenreiner Apfelsaft	15.05.2013
Deskriptive Beschreibung vom sortenreinem Most	22.05.2013
Napping/Mapping Most	29.05.2013
Zuordnung Most/Saft	05.06.2013

5.8 Sensorische Untersuchungen der unversehrten Äpfel

Die sensorische Untersuchung der unversehrten Äpfel wurde mittels deskriptiver Beurteilung durchgeführt. Die Apfelsorten wurden in großen, geruchsneutralen 2 L Gläsern gegeben und anschließend vom Expertenpanel abgerochen (Abbildung 17). Darauffolgend wurden die Äpfel in einer zweiten Verkostung auf Geschmack und Geruch deskriptiv beurteilt. Die Äpfel wurden halbiert und neben dem entsprechenden Glas zur Verkostung aufgelegt.



Abbildung 17: Deskriptive Beurteilung von unversehrten Äpfeln

5.9 Sensorische Untersuchungen der Säfte

Bevor die eigentlichen Apfelsaftproben zur sensorischen Prüfung eingesetzt wurden, wurden die Prüfpersonen in mehrwöchigen produktbezogenen Prüfungen auf das Thema Apfelsaft geschult. Zuerst wurden Riechstreifen eingesetzt, die mit Geruchsstandards (ausgewählte Verbindungen, die in der Literatur gefunden wurden zum Thema Apfelaroma) versetzt waren (Tabelle 9). Danach wurden Triangeltests und Rangordnungsprüfungen (Tabelle 10) mit unterschiedlichen Zucker- und Säurekonzentrationen in Apfelsaft durchgeführt. Außerdem wurden Profilprüfungen durchgeführt, einerseits mit unterschiedlichen sortenreinen/gemischten Apfelsäften (Tabelle 11) und andererseits mit Zugabe von Aromastoffen. Im Anhang finden sich Beispiele für verwendete Prüfprotokolle.

Tabelle 9: Geruchsstandards mit eingesetzter Konzentration [%]

Substanz	Konzentration [%]
β-Damascenon	1
Diacetyl (2,3-Butandion)	1
(E)-2-Hexenal	1
(Z)-3-Hexenol	1
1-Hexanal	1
Ethyl-2-methylbutanoat	1
Hexylacetat	0,1
1-Heptanol	1
(E)-2-Hexenylacetat	1
Butylbutanoat	1
1-Octanol	1
(E)-2-Hexenol	1
(Z)-3-Hexenal	1
Hexanol	1
Ethylbutanoat	1
1-Butanol	1
(E)-2-Octenal	ca. 1
(E)-2-Decenal	1
Methylhexanoat	ca. 1,5
Ethylhexanoat	ca. 1,5
2-Methylhexansäure	1
Octanal	1
(Z)-3-Hexenylacetat	1
3-Methyl-1-butanol (i-pentanol)	1
Butylacetat	2
2-Methyl-1-butanol	1
Propylbutanoat	1
Propylacetat	2
Ethylpropanoat	1
Butylhexanoat	1
2,4 Hexadienal	1

Tabelle 10: Durchgeführte Triangeltests und Rangordnungsprüfungen für die Schulung des Panels:

Rangordnungsprüfungen mit Apfelsaft (Happy Day)	zugesezte Konzentration [g/L] an Zucker	Zugesezte Konzentration [g/L] an Zitronensäure
1	0,5	
2	3	
3	6	
4	9	
5		0,1
6		0,25
7		0,5
8		0,75
Triangeltests mit Apfelsaft (Pfanner)	zugesezte Konzentration [g/L] an Zucker	Zugesezte Konzentration [g/L] an Zitronensäure
1	0,5	
	15	
	0,5	
2		0,2
		1,5
		0,2

Tabelle 11: Durchgeführte Profilprüfungen für die Schulung des Panels:

Profilprüfung 1	Apfelsaftsorte(Firma/Hersteller)	Zusatz und Konzentration
	Topaz (Kaufmann)	
	Golden Delicious (Dietrich)	
	Apfelsaft (Pfanner)	
	Jonagold (Knaller)	
	Golden Delicious (Schneeflock)	
Profilprüfung 2	Direkt gepresster Apfelsaft (Ja Natürlich)	(E)-2-Hexenal 5 mg/L
	Direkt gepresster Apfelsaft (Ja Natürlich)	Zitronensäure 0,5 g/L
	Direkt gepresster Apfelsaft (Ja Natürlich)	Ethyl-2-Methylbutanoat 5 mg/L
	Direkt gepresster Apfelsaft (Ja Natürlich)	Zucker 2 g/L
	Direkt gepresster Apfelsaft (Ja Natürlich)	β -Damascenon 0,7 mg/L
	Direkt gepresster Apfelsaft (Ja Natürlich)	Ohne Zusatz
Profilprüfung 3	Haidegger Apfelsaft	Ethylpropanoat 5 mg/L
	Haidegger Apfelsaft	Zitronensäure 0,5 g/L
	Haidegger Apfelsaft	Ohne Zusatz
	Haidegger Apfelsaft	Zucker 2 g/L
	Haidegger Apfelsaft	Butylacetat 5 mg/L
	Haidegger Apfelsaft	(Z)3-Hexenol 5 mg/L

Die pasteurisierten, sortenreinen Apfelsäfte wurden im Kühlraum gelagert und einen Tag vor den stattfindenden Prüfungen bei Raumtemperatur aufbewahrt. Die eingesetzten Proben wurden codiert in Kostgläsern unter Weißlicht geprüft. Zuerst wurde ein Projective Mapping mit deskriptiver Beurteilung (Abbildung 18) durchgeführt. Bei dieser Methode wurden von jeder Prüfperson die fünf Proben dem persönlichen Empfinden nach verglichen. Anschließend wurden die Stellen markiert, an denen die Gläser standen. Damit die x- und die y- Koordinaten der Punkte ermittelt werden konnten, wurden die Mittelpunkte der markierten Stellen herangezogen. Die Koordinaten wurden anschließend in ein Statistikprogramm eingetragen, mit welchem eine Analyse in mehreren Dimensionen und eine graphische Darstellung der eingegebenen Daten durchgeführt wurde.

Bei der anschließenden Verkostung wurde dann mittels QDA eine Bewertung von Merkmalseigenschaften der einzelnen Proben vorgenommen. Die Attribute (süß, sauer, floral, grün, beerig, Koch(honig)noten, Apfelreife) die eingesetzt wurden, dienten zur quantitativen Beurteilung. Die Auswahl der Attribute erfolgte nach Auswertung der deskriptiven Beurteilung und die meist genannten wurden ausgewählt.



Abbildung 18: Durchführung eines Projective Mapping: ein großes, weißes Blatt Papier, auf denen die Proben von jedem Prüfer auf seine eigenen Unterscheidungen/Ähnlichkeiten aufgestellt werden

5.10 Sensorische Untersuchungen der Moste

Die sensorische Untersuchung der Moste erfolgte zuerst mittels einer deskriptiven Beurteilung des Geruchs und Geschmackes. Darauffolgend wurde ein Projective Mapping mit einer deskriptiven Beurteilung durchgeführt. Zum Abschluss der sensorischen Prüfverfahren wurde eine Zuordnung von Apfelsaft zu Apfelmost probiert; hierbei wurden die fünf codierten Apfelsaftproben gegenüber den fünf codierten Apfelmostproben aufgestellt. Die Prüfpersonen mussten anhand Geruch und Geschmack eine Zuordnung durchführen und die Sorte erkennen.

6 Ergebnisse und Diskussion der Messungen

Im Rahmen dieses Kapitels werden die umfangreichen Ergebnisse dieser Arbeit präsentiert und diskutiert.

6.1 Messungen von Basisparametern

Für die Zucker-/Säuregehaltsmessungen wurden von den sortenreinen Apfelsäften Proben entnommen. Nach dem Abfüllen der Säfte in Flaschen brachte die unterschiedliche Farbe der Apfelsäfte eine Überraschung, dargestellt in Abbildung 19. Die Sorte Bohnapfel hatte eine sehr dunkle Einfärbung, im Gegensatz zu den Sorten Kronprinz Rudolf und Golden Delicious, die sehr hell gefärbt waren.



Abbildung 19: Deutliche Farbunterschiede der jeweiligen Apfelsorte sind erkennbar

6.1.1 Ergebnisse der Zucker- und Säuregehaltsmessungen

Von den sortenreinen Apfelsaftproben wurden die Zucker- und Säuregehalte bestimmt. Für die Dichtemessung wurde ein Density Meter verwendet; die Ergebnisse sind Tabelle 12 zu entnehmen. Aus der Dichtemessung kann man direkt auf den Zuckergehalt schließen. Die KMW (unter 2.3 Apfelsaftherstellung) wurden abgelesen und mit einer Umrechnungstabelle in Zucker [g/L] angegeben.

Tabelle 12: Zucker- und Säuregehalt der untersuchten Proben:

Apfelsorte	KMW	Zucker [g/L]	Säuregehalt [g/L]
Bohnapfel	12,2	158,6	7,2
Braeburn	11,3	146	8,8
Golden Delicious	10,4	135,2	3,8
Kronprinz Rudolf	10,3	133	4,5
Maschanzker	12,3	159	5,7

Die Vergleiche der Zuckergehalte der unterschiedlichen Apfelsaftproben zeigen, dass die Sorte Maschankker (159 g/L) und die Sorte Bohnapfel (158,6 g/L) gleich hohe Werte aufweisen (Abbildung 20). Die niedrigeren Zuckergehalte haben die Sorte Kronprinz Rudolf (133 g/L) und die Sorte Golden Delicious (135,2 g/L). Die Sorte Braeburn liegt in der Mitte der vier anderen Sorten mit einem Zuckergehalt von 146 g/L.

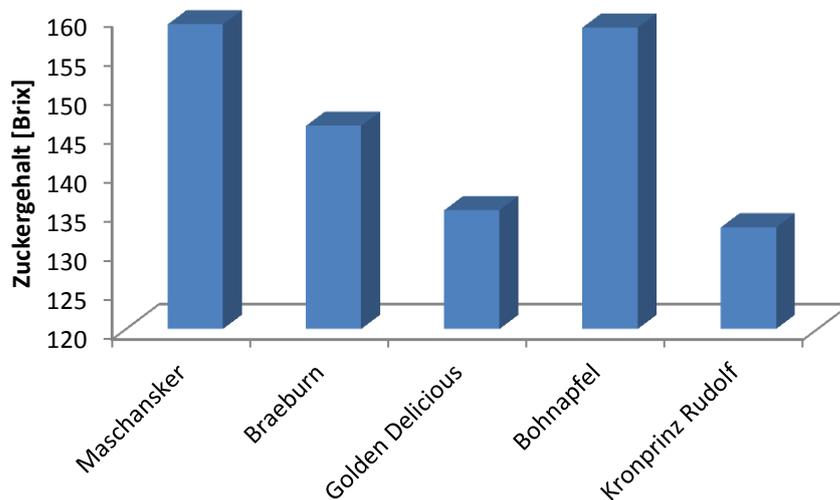


Abbildung 20: Vergleich der Zuckergehalte der unterschiedlichen Apfelsaftsorten

Der Gesamtsäuregehalt wurde mit einer Titrationsmessung mit Blaulauge durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 dargestellt. Der Vergleich der Säuregehalte zeigt, dass die Sorte Braeburn den höchsten Wert mit 8,8 g/L aufweist und die Sorte Golden Delicious mit 3,8 g/L den niedrigsten Wert.

6.1.2 Ergebnisse der Alkohol- und Dichtemessungen

Es wurden mit den Mostproben Alkohol- und Dichtemessungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 dargestellt. Der Vergleich der sortenreinen Apfelmustproben zeigt kleine Unterschiede der Alkoholgehaltsmessungen: alle Mostproben liegen zwischen 6,8 und 7,7 % v/v bei einer Temperatur von 20°C.

Tabelle 13: Ergebnisse der Alkoholgehalts- und Dichtemessungen:

Sorte	% v/v bei Temp 20°C	Dichte
Bohnapfel	6,81	0,96
Braeburn	7,20	0,95
Golden	6,97	0,98
Kronprinz	7,76	0,99
Maschankker	7,34	0,99

6.2 Sensorische Untersuchungen von Apfelaromen

Die Ergebnisse der sensorischen Untersuchungen von Apfelaromen werden in diesem Kapitel beschrieben und diskutiert.

6.2.1 Sensorische Untersuchungen – Schulungsergebnisse

Die Ergebnisse der Beschreibungen der einzelnen Geruchsstandards sind in Tabelle 14 aufgelistet.

Tabelle 14: Beschreibungen der Geruchsstandards

Substanz	Geruchsbeschreibungen
β -Damascenon	leicht stechend, ein wenig Gewürznelke, „süßlich“, Apfelkompott, Gemüsenote, Lauch, leicht scharf, Rose, Thymian, floral, Eukalyptus, grün, holzig, mentholisch, holzig, Desinfektionsmittel
Diacetyl (2,3-Butandion)	sauer, vergoren, Butter, saure Milch, käsig, Joghurt
(E)-2-Hexenal	reife Frucht, Banane, grüner Apfel, „süß“, fruchtig, Beere, Zuckerl, blumig, reif
(Z)-3-Hexenol	frisch, grün, Gras, unreif, Apfel, Erbsen, blumig, „süß“, fruchtig
1-Hexanal	grün, grasig, fettig, erdig, würzig, fruchtig, blumig, käsig, Gemüse, „süßlich“, grün,
Ethyl-2-methylbutanoat	„süß“, fruchtig, etwas schwächer, Himbeere, Apfel, frisch, künstlich, rotbeerig, überreifer Apfel, gärig,
Hexylacetat	sehr „süß“, fruchtig, Zuckerl, Johannisbeere, künstlich, Twinni-Eis, birnenartig, frisch, leichte Note "Gletscherzuckerl", Birne
1-Heptanol	„süß“, fruchtig, grün, kokosähnlich, fettig, seifig, künstlich, stechend
(E)-2-Hexenylacetat	grün, kräftig, fruchtig, schwach, „süß“, Schokobanane
Butylbutanoat	sehr „süß“, fruchtig, schwach, Apfelkompott, Zitrus, Orangensaft, grün mit leichter Fruchtnote, Kaugummi, käsig, milchig, sauer, faulig
1-Octanol	stechend, staubig, kalkig, frisch, Lösungsmittel, Putzmittel, grün, fettig, fruchtig, dumpf, künstlich, stechend
(E)-2-Hexenol	Apfel, grün, Blatt, fruchtig, holzig
(Z)-3-Hexenal	stinkig, Gemüse, fettig, unreife grüne Banane, dumpf, aldehydig, herb, leicht verbrannt, würzig
Hexanol	medizinisch, ätherisch, „süß“, modrig, blumig, Lösungsmittel, reif, schwer
Ethylbutanoat	fruchtig, leicht ölig, „süß“, vollreif, streng, Buttersäure, saure Milch, aufdringlich, käsig
1-Butanol	stechend, „süßlich“, fruchtig, künstliches Apfelaroma, käsige Note, alte Socke, intensive alkoholische/fuselölartige Note, faules/gäriges Obst, org Lösungsmittel
(E)-2-Octenal	intensiv, Essig, Kräuter, Paprika, blumig, citrus, stechend, scharf, kantig, holzig
(E)-2-Decenal	stechend, schimmelig, staubig, grün, fettig, frisch, „süß“, citrus, Koriander, seifig, fruchtig, metallisch
Methylhexanoat	fruchtig, „süß“, Haribo Fruchtgummi, aufdringlich, grün, exotische Frucht, unangenehm, Gärnoten, reife Ananas, faulig, käsig, ranzig, grün

Ethylhexanoat	schwach, würzig, fruchtig, Zuckerl, reife Frucht, „süß“
2-Methylhexansäure	schwach „süßlich“, fruchtig, leicht Rose, grün, gewürzig, modrig, Keller, stechend, staubig, schimmelig, käsig
Octanal	abgestanden, schweissig, frisch grün, chemisch, leicht citrus, floral, „süß“, unreife Frucht, grün, fettig, seifig, aldehydartig
Ethylbutanoat	„süßlich“-würzig, frisch, citrus, Putzmittel, grün, fettig, stechend, Sandelholz, aldehydig, ölig, ranzig
(Z)-3-Hexenylacetat	„süßlich“, Kochgeruch, grün, grasig, Nadel, reif, fruchtig, Pfirsicharoma, "Gletscherzuckerl", Apfel-Karotten-Saft, Banane, fruchtig, blättrig
3-Methyl-1-butanol (i-pentanol)	leicht stechend, „süßlich“, käsig, abgestanden, dumpf, fuselalkohol-ähnlich, ranzig, schokoladig, Karamell, eingekochtes Obst, org. Lösungsmittel
Butylacetat	Birne, „süß“, fruchtig, Apfelmus, stechend, muffig, Klebstoff
2-Methyl-1-butanol	leicht modrig, Waldboden, leicht grün, Apfeltrestar, Essigstich, nussig, ölig, holzig, rauchig, Lösungsmittel
Propylbutanoat	Keller, leicht käsig, „süß“, buttrig, schweißig, vergoren, überreif,
Propylacetat	Schwammerl, „süß“, fruchtig, Apfelmus
Ethylpropanoat	Lösungsmittel, Kleber, „süß“, fruchtig, Apfel, frisch, Zuckerl, Bratapfel, leicht faulig
Butylhexanoat	fruchtig, blumig, grün, Apfel, „süß“, künstlich, stechend, Birne, würzig, schwach, citrus
2,4 Hexadienal	stechend, verbrannt, Liebstöckel, staubig

6.2.2 Sensorische Untersuchungen der unversehrten Äpfel

Die unversehrten Äpfel wurden mit deskriptiven Prüfverfahren auf Geruch und Geschmack geprüft. Die Ergebnisse sind in Tabelle 15 aufgelistet.

Tabelle 15: Deskriptive Beurteilung der unversehrten Äpfel

Apfelsorte	Geruch	Geschmack
Bohnapfel	kräftiger Apfelduft, „süß“, reif, leicht würzige Note, fruchtig, leichte grüne Blattnote, leicht säuerlich, Banane, leicht dumpf, alter Keller	mehlig, trocken, wenig Säure, „süß“, fruchtig, reif, schwache Apfelfruchtigkeit
Braeburn	kein Apfelaroma, leichte fruchtigen Noten, „süß“, leichte Keksnote, säuerlich, Apfeltee, würzige Note, holzartig, stängelig, modrig	säurebetont, frisch, fruchtig, grüne Apfelnoten, leicht knackig, saftig, angenehme Fruchtigkeit, wenig mehlig
Golden Delicious	sehr „süß“, leicht grün, reif, leicht Vanille, etwas Birne/Banane, frisch, zitronig, leicht stechend, mehlig, wenig sauer	etwas weich, mehlig, kaum fruchtig, fad, wenig Säure, „süßlich“
Kronprinz Rudolf	stark duftig-floral, leichte grüne Note, säuerlich, grasig, leicht „süßlich“-holzartig, reifer, alter Cognac, Holzfaß	weich, wenig Säure, leicht mehlig, reif, „süß“, fruchtig, frisch, angenehme Säure
Maschanzker	„süße“, überreife Apfelfruchtigkeit, leicht grün/grasiger Note, dumpf, würzig, leicht stechend, gärig, reif	mehlig, keine Säure, kaum Apfelfruchtigkeit, gärig, weniger süß als Geruch, reif, alt

Die Ergebnisse der deskriptiven Beurteilungen zeigen, dass es deutliche sortenabhängige Unterschiede gibt. Der Bohnapfel überraschte mit einem kräftig-würzig-stark-fruchtigen Apfelduft, wohingegen die Sorte Braeburn kaum Apfelgeruch aufwies (Geruch: holzartig, stängelig, modrig). Jedoch wurde bei der Sorte Braeburn der „Geschmack“ als knackig, saftig, säurebetont, fruchtig und frisch empfunden, im Gegensatz zur Sorte Bohnapfel, hier wurde der „Geschmack“ als mehlig, trocken und mit schwacher Apfelfruchtigkeit beschrieben. Die Sorte Maschanzker entwickelte an der Luft eine „süße“, überreife Apfelfruchtigkeit mit leicht grün/grasiger Note, doch der „Geschmack“ wurde als kaum fruchtig, mehlig bzw. gärig beschrieben. Die Sorte Golden Delicious wurde bei der Geruchsbeschreibung als sehr „süß“, leicht grün, mehlig und wenig sauer empfunden, jedoch bei der Geschmacksbeschreibung als etwas weich, mehlig, fad und kaum fruchtig. Im Vergleich dazu wurde in der Arbeit von Karlsen et al. 1999 die Sorte Golden Delicious sensorisch mit den Attributen: Honignoten, fruchtig, „süß“, schwach grün und sauer bzw. leicht bitter beschrieben.

In Abbildung 21 sind die einzelnen Attribute der Geruchsbeschreibungen mit der Häufigkeit der Nennungen der einzelnen Prüfpersonen dargestellt. Von 7 Prüfpersonen beschreiben 6 Personen die Sorte Bohnapfel als „süßen“ Duft und 4 Prüfer die Sorte Kronprinz Rudolf als floral. In Abbildung 22 sind die einzelnen Attribute der Geschmacksbeschreibungen mit der Häufigkeit der Nennungen der einzelnen Prüfpersonen dargestellt. Die Sorte Braeburn wird von 6 Prüfpersonen als fruchtig und sauer empfunden, wobei die Sorte Golden Delicious von 5 Prüfern als fad beschrieben wurde.

Sämtliche unversehrten Äpfel, die geprüft wurde, waren bereits in einem sehr reifen Zustand. Vor diesem Hintergrund sollte berücksichtigt werden, dass der Reifeprozess schon im vollen Gange war und es dadurch zu Aromaveränderungen gekommen sein könnte.

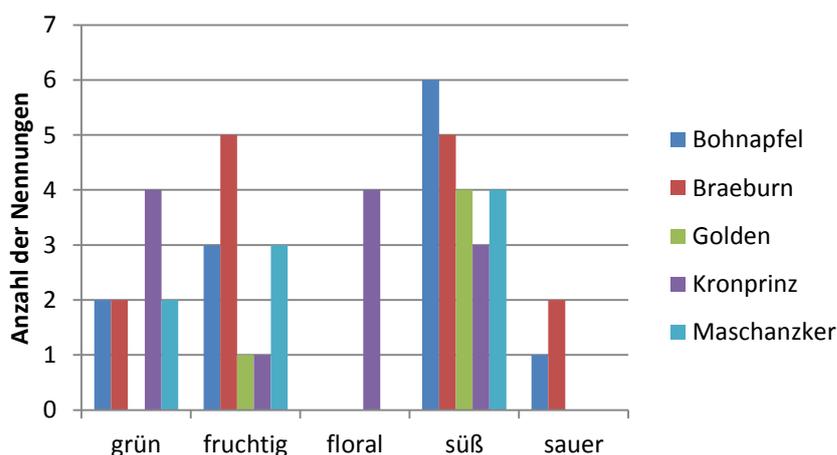


Abbildung 21: Anzahl der Nennungen der wichtigsten Attribute zur Geruchsbeschreibungen durch einzelne Prüfpersonen.

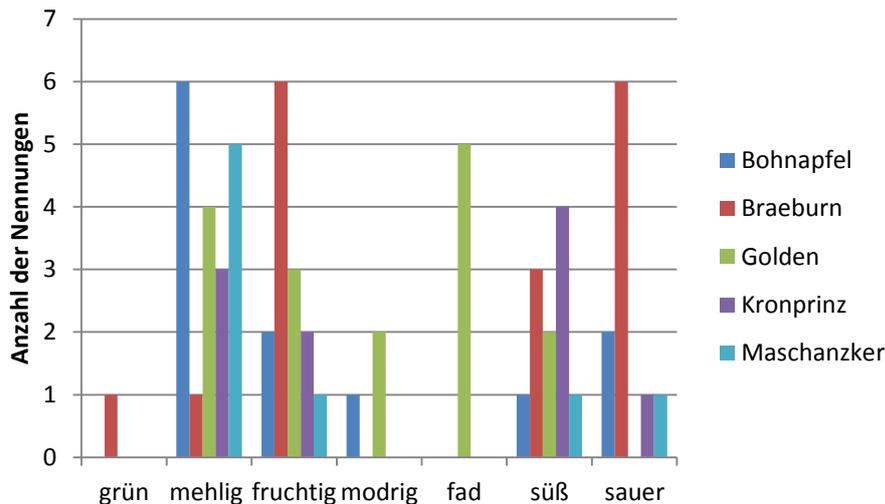


Abbildung 22: Anzahl der Nennungen der wichtigsten Eindrücke beim Verkosten

6.2.3 Sensorische Untersuchungen der Säfte

In den regelmäßigen sensorischen Schulungen wurde auf die unterschiedlichsten Prüfmethode zurückgegriffen um die Prüfpersonen mit dem Thema Apfelsaft vertraut zu machen. Das anfängliche Problem, dass die Prüfpersonen bei den Schulungsproben die geringen Säuregehalte der Apfelsäfte kaum zu unterscheiden vermochten, ist bei den sortenreinen, eigenen Proben nicht aufgetreten, da hier die Unterschiede nicht so gering waren. Mit dem Einsatz des entaromatisierten Apfelsaftes im Rahmen der Schulungen und den unterschiedlichen Zugaben von Aromastoffen, konnten die Prüfpersonen Aromaveränderungen in den Säften erkennen.

Die Methode Projective Mapping wurde zu Beginn der sensorischen Analysen eingesetzt, um die fünf pasteurisierten, sortenreinen Apfelsaftproben von jeder Prüfperson nach dem persönlichen Empfinden anzuordnen (Abbildung 23 zeigt drei unterschiedliche Anordnungen von Prüfpersonen). Durch Einsatz eines Statistikprogrammes, wurde eine graphische Darstellung der eingegebenen Daten erstellt.



Abbildung 23: Projective Mapping: Jede Prüfperson verglich die Proben nach ihrem persönlichen Empfinden. Aus diesem Grund auch die unterschiedlichen Anordnungen

Zusätzlich zur eingesetzten Methode des Projective Mappings, wurde eine deskriptive Beurteilung der Apfelsäfte durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Deskriptive Beurteilungen der Apfelsaftproben

Apfelsorte	Geruch	Geschmack
Bohnapfel	reif, fruchtig, „süß“, etwas Birne, leichte florale Noten, Kochnoten, leichte Honignoten, Apfelkompott, grün, leicht gärig, säuerlich	grün, „süß“ mit angenehmer Säure, harmonisch, kräftige Apfelfrucht
Braeburn	wenig „süß“, herb, holzig, strohig, kräftig, deutliche Apfelfruchtigkeit, mit grünen Noten, leicht erdig	fruchtig, grün (unreif), „süß“ im Nachgeschmack, starke/spitze Säure, eher unharmonisch
Golden Delicious	wenig fruchtig, rauchig, etwas chemisch, zitrusartig, Apfelkompott, grün, Zuckerl	„süß“, keine Säure, nichtssagend am Gaumen, fad
Kronprinz Rudolf	„süß“, fruchtig, vollreif, beerig, Erdbeernote, frisch, grünlich	„süß“, wenig Säure, weiße Apfelfruchtigkeit, fruchtig, rund, reif
Maschanzker	Apfelmaische, „süß“, dumpf, wenig fruchtig, rauchig, etwas chemisch, zitrusartig	etwas fruchtig, herb, fades Aroma, „süß“, wenig Säure

Der Einsatz der schnellen und effizienten Methode des Projective Mappings zeigte einen Zusammenhang zwischen den Apfelsaftproben bei der Ausbildung der Apfelfruchtigkeit, der Säure und der Beerennoten, wie in Abbildung 24 dargestellt. Die Daten wurden mit dem Statistikprogramm Unscrambler® (Hauptkomponentenanalyse) ausgewertet und mit den deskriptiven Beschreibungen verglichen. Die Sorte Braeburn wurde von allen Prüfpersonen als sehr sauer beschrieben, im Gegensatz zur Sorte Golden Delicious, welche als fad und keine Säure enthaltend beschrieben wurde. Die Auswertung der deskriptiven Beschreibungen und des Projective Mappings bestätigt die Messung des Gesamtsäuregehaltes (wie in Kapitel 6.1.1 bereits diskutiert).

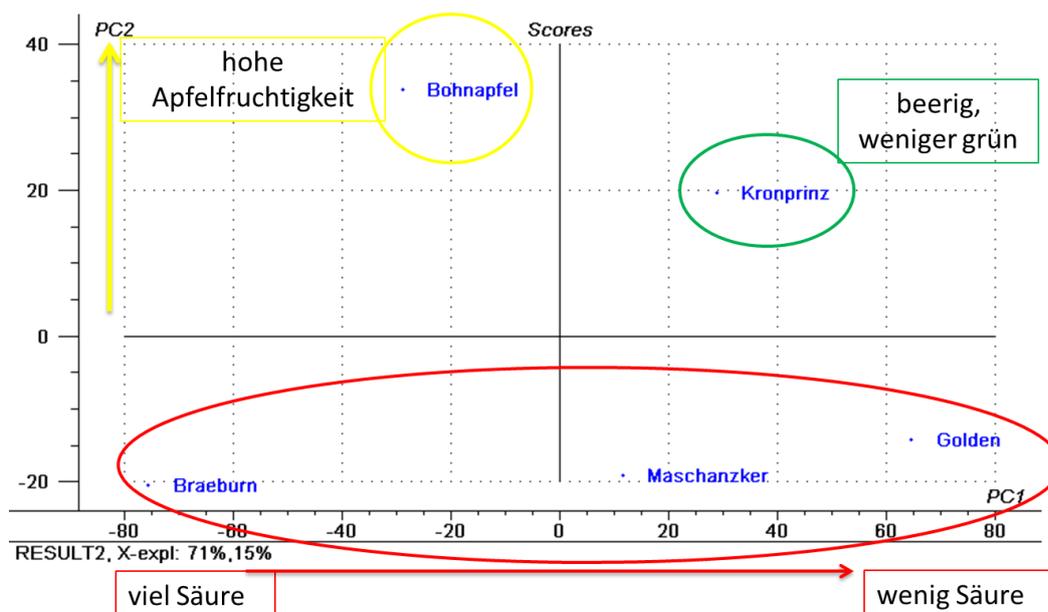


Abbildung 24: Projective Mapping: Die deskriptive Beurteilung und die erhaltenen Daten des Statistikprogrammes sind hier dargestellt

Die sortenreinen Apfelsaftproben wurden einer quantitativ-deskriptiven Prüfung (QDA) unterzogen. Bei diesem Prüfverfahren werden die Intensitäten einzelner Attribute bewertet um dadurch ein besseres Aromaprofil zu erhalten. Die Apfelsaftproben wurden codiert in Kostgläser unter Weißlicht geprüft. Die einzelnen Attribute wurden durch die deskriptiven Beurteilungen festgelegt und am Prüfprotokoll mit einer Markierung auf einer 10 cm Skala (schwach bis stark ausgeprägt) deren Intensitäten ermittelt. Der Nullpunkt wurde als schwach ausgeprägt und der Punkt bei 10 cm als stark ausgeprägt definiert. Von den Ergebnissen wurden der Mittelwert und die Standardabweichung berechnet und anschließend in einem Spinnendiagramm (Abbildung 25) graphisch dargestellt. Wie im Spinnendiagramm ersichtlich, wurde die Sorte Kronprinz mit der höchsten beerigen und floralen Intensität und die Sorte Braeburn mit der höchsten sauren Intensität angegeben. Die Sorte Golden Delicious wurde dagegen mit der niedrigsten sauren Intensität angegeben. Die einzelnen Intensitäten der Sorten Maschanzker und Bohnapfel sind bei allen Attributen im Mittelfeld angegeben. Trotz der wahrgenommenen unterschiedlichen Intensitäten durch die Prüfpersonen sind die Ergebnisse der durchgeführten Prüfverfahren miteinander vergleichbar.

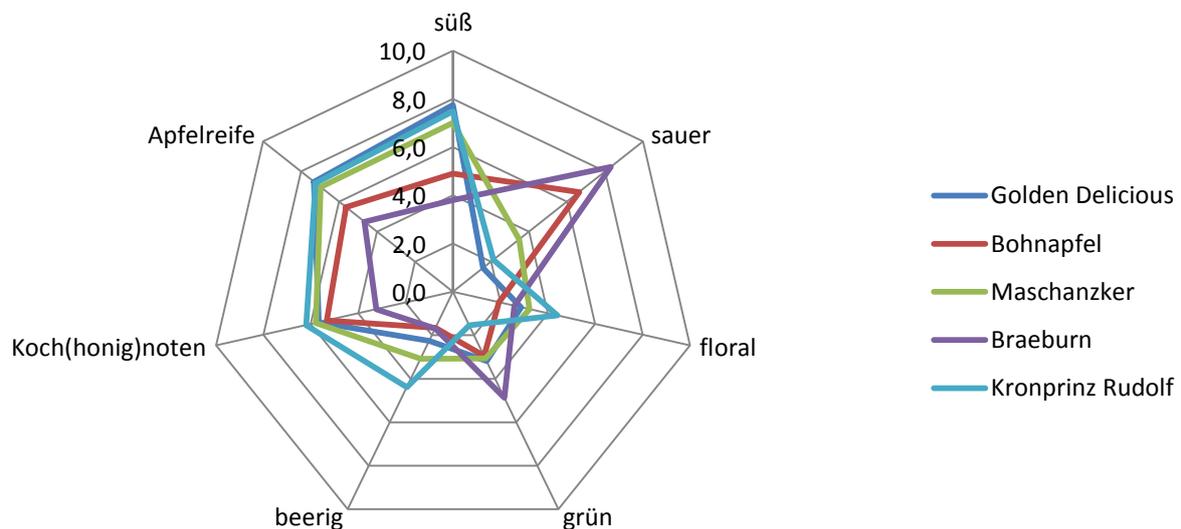


Abbildung 25: Spinnendiagramm-Ergebnis der QDA: Der Mittelwert der Intensitätseindrücke der Prüfpersonen wurde berechnet und mit den Attributen graphisch dargestellt

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass für Prüfpersonen die fünf Apfelsorten differenzierbar sind und deutliche Unterschiede wahrgenommen werden können. Außerdem können die Ergebnisse der sensorischen Analysen mit den Zuckergehalts- und Gesamtsäuregehaltsmessungen verglichen werden. Es gibt Übereinstimmungen bei der sauren Intensität der Sorte Braeburn (stark ausgeprägt) und der Sorte Golden Delicious (schwach ausgeprägt) mit der Gesamtsäuregehaltsmessung. Auffallend ist, dass die Sorte Kronprinz Rudolf bei allen Prüfmethode nicht mit den anderen Apfelsorten vergleichbar ist, da die (erd-)beerige und florale Note sehr stark ausgeprägt ist im Gegensatz zu den grünen Apfelnoten, die kaum vorhanden sind.

Um die Gründe für die Ausbildung der charakteristischen, sortenabhängigen Merkmale auf molekularer Ebene zu identifizieren, müssen die sensorischen Ergebnisse mit den Ergebnissen der analytischen Messung korreliert werden (beschrieben in 6.4).

6.2.4 Sensorische Untersuchungen der Moste

Die sortenreinen Apfelmustproben wurden zuerst mittels deskriptiver Beschreibung und danach mittels der Projective Mapping Methode in Kombination mit einer deskriptiven Beschreibung geprüft. Zum Schluss der sensorischen Analysen wurde eine Zuordnung der sortenreinen Apfelsaftproben zu den jeweiligen Apfelmustproben ausprobiert.

Die deskriptiven Beschreibungen sind in Tabelle 17 aufgelistet. Die Sorte Kronprinz Rudolf überrascht auch im Apfelmust mit beerigen - und floralen Noten bei der Beschreibung des Geruchs, wohingegen im Geschmack andere Attribute wie herb oder holzig hervorgehoben wurden. Bei der Sorte Maschanzker wurde der Apfelmustgeruch als staubig-grüner-rauchiger-birniger-kaum fruchtiger Apfelduft beschrieben, wohingegen der Geschmack als sauer, unreifer Apfel, adstringierend, unharmonisch und fruchtig wahrgenommen wurde. Die Apfelmustprobe der Sorte Braeburn wurde als saftiger, „süßer“, fruchtiger, saurer Apfelduft beschrieben und der Geschmack als fruchtig, apfelig, frisch, holzig und „süßlich“. Die Apfelmustprobe der Sorte Golden Delicious wurde vom Geruch her als leicht modrig, stechend, vergoren, „süßlich“ und überreif wahrgenommen, wohingegen der Geschmack als wässrig, hefig, muffig, fad und leer beschrieben wurde. Der Vergleich zu den Apfelsäften zeigt, dass sich die floralen und beerigen Noten der Sorte Kronprinz Rudolf von Saft bis zum Most durchziehen und charakteristisch sind für diese alte Apfelsorte. Weitere Ähnlichkeiten bei den Geruchsbeschreibungen zwischen Apfelsaft und Apfelmust gibt es bei der Sorte Maschanzker, sie wird als kaum fruchtig und rauchig beschrieben, jedoch wird der Geschmack des Apfelmustes als fruchtig und frisch wahrgenommen, hingegen der Apfelsaft mit einem herben und faden Aroma auffiel. Die Sorte Braeburn wurde in beiden Proben (Saft und Most) als sehr sauer empfunden in den Geschmacksbeschreibungen, aber doch auch mit fruchtigen, „süßen“ und aromatischen Noten in Geruch- und Geschmack. Übereinstimmend sind auch die Beschreibungen der Sorte Bohnapfel von Apfelsaft und Apfelmustproben, sie fällt in beiden Proben mit einem leicht gärrigen-säuerlichen-stechenden Apfelduft auf, jedoch wird der Geschmack als „süß“, fruchtig, apfelig und mit angenehmer Säure wahrgenommen. Die Beschreibungen der Geruchs- und Geschmackseindrücke der Sorte Golden Delicious zeigen, dass sie in beiden Proben als fad, nichtssagend, wässrig und mit kaum Apfel Fruchtigkeit beschrieben wurde.

Tabelle 17: Deskriptive Beschreibungen der Apfelmustproben

Apfelsorte	Geruch	Geschmack
Bohnapfel	„staubig“, Keller, gärrig, Nelke, Bratapfel, leicht Essig, Kompott, leicht stechend, „süßlich“	fruchtig, leichte Säure, apfelig, frisch, holzig, bitter, „süßlich“
Braeburn	saftig, saurer Apfel, grün, „süßlich“, Apfelschale, Honignoten, fruchtig,	fruchtig, aromatisch, leicht modrig, sauer, spritzig, leicht adstringierend
Golden Delicious	kaum Säure, fruchtig, leicht modrig, „süßlich“, überreifer Apfel, stechend, vergoren	kaum Säure, wässrig, holzig, leicht nach Essig, hefig, muffig, abgestanden, fad, leer
Kronprinz Rudolf	frisch, fruchtig, leicht sauer, aromatisch, Beerennote, alkoholisch, floral, Nelke, holzig,	herb, sauer, holzig, wenig Säure, frisch, grün, wenig Fruchtigkeit
Maschanzker	„staubig“, grün, etwas Essig, stechend, rauchig, „süßlich“, kaum fruchtig, Birne	sauer, unreifer Apfel, birnig, frisch, adstringierend, leicht fruchtig, unharmonisch

Die Methode des Projective Mappings wurde auch bei den sortenreinen Apfelmustproben durchgeführt. Die Ergebnisse wurden mittels des Statistikprogrammes Unscrambler® (Hauptkomponentenanalyse) in Abbildung 26 visualisiert. Die Daten korrelieren mit den deskriptiven Beurteilungen aber nur sehr vage. Die Sorte Braeburn und Maschanzker wurden als sauer bezeichnet, im Gegensatz zum Bohnapfel, welcher als „süß“ empfunden wurde. Außerdem erkennt man, dass die Sorte Golden Delicious mit den Attributen holzig, wässrig und fad in der räumlichen Distanz weiter entfernt angeordnet ist und die Sorte Kronprinz Rudolf mit den frischen, beerigen Beschreibungen auch distanziert liegt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die beerigen Noten nur bei der Sorte Kronprinz Rudolf und das fade, wässrige Aroma nur bei der Sorte Golden Delicious zu finden sind und sie deshalb nicht vergleichbar sind mit den anderen Sorten.

Der Vergleich der zwei durchgeführten Projective Mappings mit deskriptiver Beurteilung mittels Unscrambler® in Apfelsaft und Apfelmust zeigt, dass sich sortentypische Eigenschaften in den sensorischen Analysen vom Saft in den Most übertragbar sein können. Es werden meist die gleichen Attribute bei den Geschmacks- und Geruchseindrücken bei jeder Sorte vermerkt.

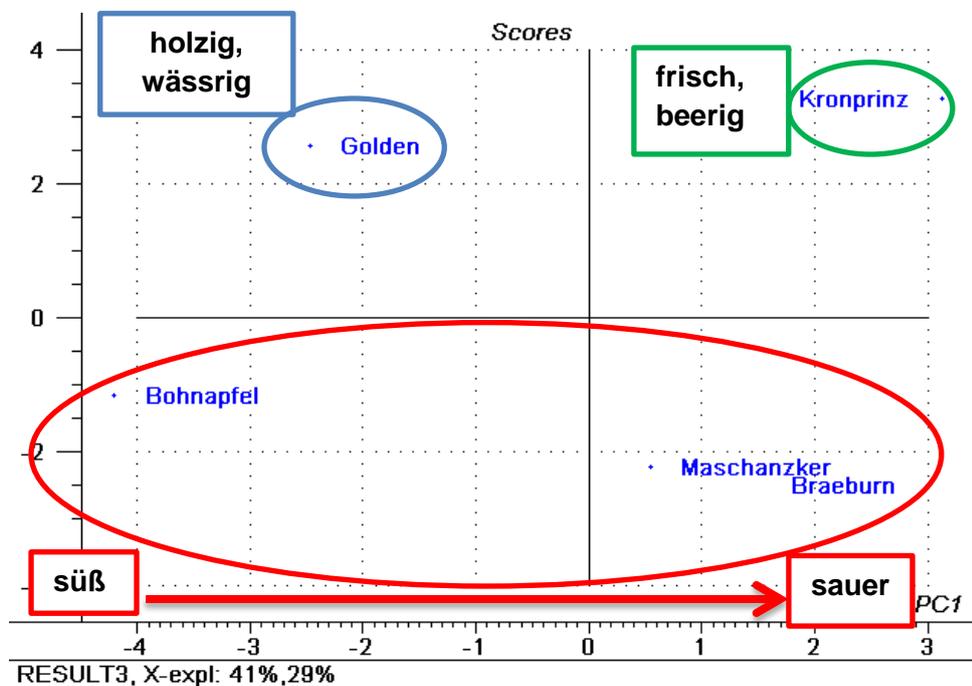


Abbildung 26: Daten des Projective Mappings wurden mittels des Statistikprogrammes Unscrambler® visualisiert

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass aufgrund der durchgeführten sensorischen Analysen eindeutige sortenrelevante Unterschiede erkennbar sind. Um diese sortenrelevanten Merkmale genau zu ermitteln, wurden noch Aromaprofile mittels GC-MS und GC-O Messungen mit den sensorischen Analysen kombiniert.

6.3 Aromastoffanalytik

Es ist eine Differenzierung zwischen Aroma des unversehrten Apfels und dem Aroma von Apfelsäften notwendig, da Aromaveränderungen bei der Zerstörung des Zellverbandes durch enzymatische Hydrolyse- oder Oxidationsvorgänge eintreten können (Hey et al. 2007). In unterschiedlichen Arbeiten wurden die Aromastoffe von Äpfeln, klaren Apfelsäften und naturtrüben Apfelsäften und die Bildung von Aromastoffen untersucht (Duerr 1981; Yahia 1994; Dixon & Hewett 2000; Hey et al. 2007; Pour Nikfardjam & Koppmann 2010). Die sensorischen und analytischen Analysen von Äpfeln und Apfelsäften/-moste von alten Sorten sind in der Literatur nicht wirklich beschrieben, jedoch gibt es viele Untersuchungen zu Plantagebausorten, wie beispielsweise von der Sorte Golden Delicious (Rizzolo et al. 1989; Paillard 1990; Karlsen et al. 1999; Musetti & Fava 2012).

Es wurden die charakteristischen, sortenabhängigen Aromastoffe jeder untersuchten Apfelsorte ermittelt. Dabei wurden im Zuge dieser Arbeit alle Schritte beginnend vom unversehrten Apfel zum Rohsaft, über den enzymatisch katalysierten Entschleimungsvorgang bis zum pasteurisierten Saft und der jeweilige Apfelmost hinsichtlich des Aromas verfolgt. Die erhaltenen Aromaprofile der Rohsäfte, der Säfte nach dem Entschleimungsvorgang und der pasteurisierten Säfte wurden miteinander verglichen um in weiterer Folge mit den großen GC-MS Datensätzen eine Hauptkomponentenanalyse (PCA = Principle Component Analysis) mittels MaStat® durchzuführen.

6.3.1 Unversehrte Äpfel

Am Beginn der Arbeit wurden die unversehrten Äpfel mittels PFS-SPME in einem geruchsneutralen Raum gemessen und die Faser manuell in den GC-MS injiziert. Der Vergleich der Aromaprofile aller fünf unversehrten Apfelsorten ist in Abbildung 27 dargestellt.

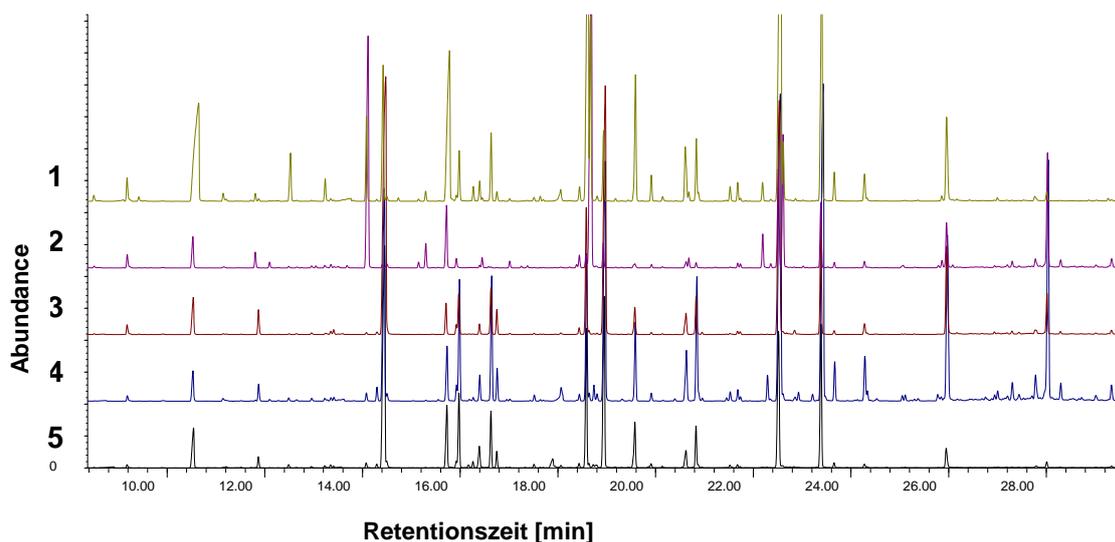


Abbildung 27: Überlagerung der Aromaprofile der unversehrten Äpfel (1 = Maschankker; 2 = Kronprinz Rudolf; 3 = Golden Delicious; 4 = Braeburn; 5 = Bohnapfel)

Die Überlagerungen aller fünf Aromaprofile zeigen, dass es signifikante Unterschiede bei der Zusammensetzung der Aromastoffe gibt. Die Verbindungen, die in allen fünf Aromaprofilen in unterschiedlich hohen Konzentrationen vorkommen, sind in Tabelle 18 aufgelistet. Nicht alle in Tabelle 18 erwähnten Verbindungen sind geruchsaktiv und haben Auswirkungen auf die Aromausprägung des Apfelaromas, jedoch stellen wahrscheinlich einige Aromastoffe aromarelevante Verbindungen dar. Es wurden in allen Apfelsorten hauptsächlich Alkohole und Ester gefunden, jedoch gibt es größere Unterschiede zwischen den Sorten bei den Peakflächen. Fünf ausgewählte Verbindungen (es wurden Verbindungen gewählt, die einen Überblick über die unterschiedlich hohen/niedrigen Flächen geben) und deren Peakflächen sind in Abbildung 28 abgebildet.

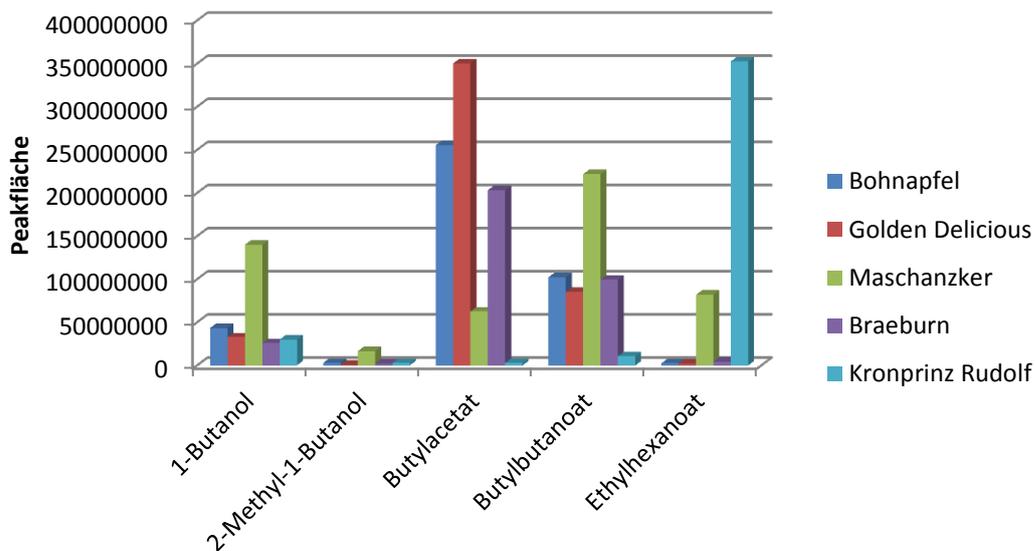


Abbildung 28: Vergleich von fünf ausgewählten Verbindungen, die in allen untersuchten Apfelsorten vorkommen, mit deren Flächen

Tabelle 18: Vergleich der relativen Konzentrationen der flüchtigen Verbindungen in unversehrten Äpfeln (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 4)

Verbindung	Golden				Kronprinz
	Bohnapfel	Delicious	Maschankker	Braeburn	Rudolf
1-Propanol	826412	594914	1706654	717709	492454
Butanal	436461	613530	3036220	323261	1680602
Ethylacetat	2184619	7622722	12224244	4467756	12425745
1-Butanol	43300883	32691917	139849315	25886070	29881144
2-Methyl-1-Butanol	2749976	668486	16388553	2202126	2705786
1-Pentanol	2177226	1240547	8968658	1734802	2111390
Ethylbutanoat	6226778	1379154	32040130	4873133	285338914
Butylacetat	255283620	350250791	62551827	203217251	2840755
1-Hexanol	49865862	18274970	147697894	37607123	59942321
Propylbutanoat	33376110	6768166	6300830	15185322	2543092
Butylpropanat	40508184	28117619	25822736	85559296	833029
Propyl-2-Methylbutanoat	2998487	924428	1923834	2370354	1067104
Butylbutanoat	102381740	85215744	221897686	99415325	10637234
Ethylhexanoat	2510587	2248256	82027671	4303192	352599370
Hexylacetat	157171622	247155617	36313888	216421261	19516613
Butyl-2-Methylbutanoat	42519150	21262940	15822304	52017779	5157228
2-Ethylhexanol	940810	1487394	1190616	1686120	1093947
1-Octanol	1123575	618286	3137256	533398	1195861
Butylhexanoat	101239822	189858310	401819907	375063164	80535709
Hexyl-2-Methylbutanoat	89525902	62098114	199362790	352828538	40837017
Hexylhexanoat	16959527	44781965	145510878	132514339	23137533
α -Farnesen	4579661	14452994	29278797	216203691	41559225

Die einzelnen untersuchten Apfelsorten zeigen signifikante quantitative Unterschiede bei vielen identifizierten Verbindungen. In Tabelle 19 sind die Verbindungen aufgelistet, die in der Sorte Bohnapfel detektiert wurden. Die Verbindungen sind mit der Retentionszeit, der Peakfläche und dem Retentionsindex (RI) angegeben. Die Verbindungen, die in der Sorte Golden Delicious gefunden wurden sind, sind in Tabelle 20 aufgelistet und die der Sorte Maschankker in Tabelle 21. Des Weiteren sind in Tabelle 22 die Verbindungen der Sorte Braeburn und in der Tabelle 23 die Verbindungen der Sorte Kronprinz Rudolf aufgelistet.

Tabelle 19: Auflistung aller Verbindungen, die bei der Sorte Bohnapfel identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 4)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
1-Propanol	7,62	588,4	826412
Diacetyl	8,43	579,7	115407
Butanal	8,50	598,6	436461
Ethylacetat	9,18	620,3	2184619
1-Butanol	10,55	670,2	43300883
Ethylpropanoat	11,80	716,3	242261
Propylacetat	11,91	719,0	6727464
2-Methyl-1-Butanol	12,49	742,8	2749976
1-Pentanol	13,23	771,2	2177226
2-Methylpropylethanoat	13,41	778,1	819730
Butansäure	13,61	785,9	1610149
Ethylbutanoat	14,07	803,9	6226778
Propylpropanoat	14,29	812,9	2838305
Butylacetat	14,46	819,8	255283620
Ethyl-2-Methylbutanoat	15,29	854,3	634557
1-Hexanol	15,74	873,0	49865862
2-Methylbutylacetat	15,98	882,9	62251274
Propylbutanoat	16,40	900,4	33376110
Butylpropanat	16,63	910,8	40508184
Propyl-2-Methylbutanoat	17,51	950,4	2998487
Hexansäure	17,97	970,1	1042585
Butylbutanoat	18,58	998,7	102381740
Ethylhexanoat	18,64	1001,1	2510587
Hexylacetat	18,96	1016,6	157171622
Butyl-2-Methylbutanoat	19,58	1046,8	42519150
2-Ethylhexanol	19,30	1033,4	940810
Propylhexanoat	20,62	1097,5	16932768
Hexylisobutanoat	21,67	1152,1	1751278
Butylhexanoat	22,51	1195,5	101239822
Hexyl-2-Methylbutanoat	23,39	1239,0	89525902
Hexylhexanoat	25,95	1379,0	16959527
α -Farnesen	28,01	1500,0	4579661

Tabelle 20: Auflistung aller Verbindungen, die bei der Sorte Golden Delicious identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 4)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
1-Propanol	7,62	588,5	594914
Butanal	8,50	598,7	613530
Ethylacetat	9,18	620,5	7622722
1-Butanol	10,53	669,6	32691917
Propylacetat	11,87	719,1	15585956
2-Methyl-1-Butanol	12,49	743,0	668486
1-Pentanol	13,24	771,5	1240547
2-Methylpropylethanoat	13,31	778,1	3040253
Butansäure	13,59	785,8	875632
Ethylbutanoat	14,07	804,0	1379154
Propylpropanoat	14,29	813,0	1846728
Butylacetat	14,47	820,5	350250791
1-Hexanol	15,71	871,7	18274970
2-Methylbutylacetat	15,97	882,5	32549919
Propylbutanoat	16,39	900,2	6768166
Butylpropanat	16,63	910,7	28117619
Propyl-2-Methylbutanoat	17,51	950,3	924428
Butylisobutanoat	17,64	956,1	317607
Isobutylbutanoat	17,67	958,8	268357
Hexansäure	17,95	970,2	211972
Butylbutanoat	18,58	998,6	85215744
Ethylhexanoat	18,63	1001,1	2248256
Hexylacetat	18,97	1017,6	247155617
Butyl-2-Methylbutanoat	19,57	1046,8	21262940
2-Ethylhexanol	19,30	1033,5	1487394
Propylhexanoat	20,62	1097,6	16769197
Hexylpropanoat	20,83	1108,1	22615082
Heptylacetat	20,95	1114,4	1190533
Hexylisobutanoat	21,68	1152,2	1778490
Butylhexanoat	22,53	1196,4	189858310
Hexyl-2-Methylbutanoat	23,38	1239,0	62098114
Hexylhexanoat	25,95	1379,0	44781965
α -Farnesen	28,01	1500,0	14452994

Tabelle 21: Auflistung aller Verbindungen, die bei der Sorte Maschanzker identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 4)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
1-Propanol	7,62	588,4	1706654
Butanal	8,45	598,6	3036220
Ethylacetat	9,18	620,4	12224244
1-Butanol	10,61	672,3	139849315
Ethylpropanoat	11,80	716,5	2849979
Methylbutanoat	11,87	719,1	878990
2-Methyl-1-Butanol	12,51	743,4	16388553
1-Pentanol	13,22	771,1	8968658
Ethylbutanoat	14,07	804,4	32040130
Propylpropanoat	14,29	812,8	824633
Butylacetat	14,41	817,9	62551827
Ethyl-2-Methylbutanoat	15,29	854,4	3472882
1-Hexanol	15,75	873,6	147697894
2-Methylbutylacetat	15,97	882,6	13026707
Propylbutanoat	16,39	900,3	6300830
Butylpropanat	16,63	910,7	25822736
Pentylacetat	16,75	916,2	3454610
Methylhexanoat	17,01	927,9	1175100
Propyl-2-Methylbutanoat	17,51	950,4	1923834
Butylisobutanoat	17,64	956,0	1076212
Hexansäure	18,02	973,5	10865147
Butylbutanoat	18,59	999,4	221897686
Ethylhexanoat	18,65	1002,2	82027671
Hexylacetat	18,93	1015,3	36313888
Butyl-2-Methylbutanoat	19,57	1046,7	15822304
2-Ethylhexanol	19,30	1033,4	1190616
Hexylisobutanoat	21,67	1152,2	3504765
Butylhexanoat	22,56	1198,3	401819907
Hexyl-2-Methylbutanoat	23,41	1239,0	199362790
Hexylhexanoat	25,97	1379,0	145510878
α -Farnesen	28,01	1500,0	29278797

Tabelle 22: Auflistung aller Verbindungen, die bei der Sorte Braeburn identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 4)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
1-Propanol	7,63	588,5	717709
Butanal	8,50	598,8	323261
Ethylacetat	9,18	620,6	4467756
Methylpropanoat	9,64	637,3	356117
1-Butanol	10,53	669,6	25886070
Ethylpropanoat	11,80	716,5	594453
Propylacetat	11,87	719,2	17504595
Methylbutanoat	12,09	727,7	1795555
2-Methyl-1-Butanol	12,48	742,8	2202126
1-Pentanol	13,22	771,1	1734802
Ethylbutanoat	14,08	804,1	4873133
Propylpropanoat	14,29	813,2	8598142
Butylacetat	14,44	819,3	203217251
Ethyl-2-Methylbutanoat	15,29	854,6	529057
1-Hexanol	15,73	872,6	37607123
2-Methylbutylacetat	15,98	883,1	85836623
Propylbutanoat	16,40	900,4	15185322
Butylbutanoat	16,40	900,5	24079179
Butylpropanat	16,64	911,5	85559296
Methylhexanoat	17,01	928,1	1646290
Propyl-2-Methylbutanoat	17,51	950,6	2370354
Butylbutanoat	18,58	998,6	99415325
Ethylhexanoat	18,64	1001,4	4303192
Hexylacetat	18,96	1017,3	216421261
Butyl-2-Methylbutanoat	19,58	1047,6	52017779
2-Ethylhexanol	19,31	1033,9	1686120
Propylhexanoat	20,63	1097,9	41670297
Propylhexanoat	20,63	1098,1	58858067
Hexylpropanoat	20,84	1109,2	112281400
Heptylacetat	20,95	1114,8	2226985
Butylhexanoat	22,55	1197,8	375063164
Hexyl-2-Methylbutanoat	23,43	1239,0	352828538
Hexylhexanoat	25,97	1379,0	132514339
α -Farnesen	28,04	1500,0	216203691

Tabelle 23: Auflistung aller Verbindungen, die bei der Sorte Kronprinz Rudolf identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 4)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
1-Propanol	7,63	588,6	492454
Butanal	8,50	598,7	1680602
Ethylacetat	9,18	620,6	12425745
1-Butanol	10,55	669,6	29881144
Ethylpropanoat	11,80	716,6	15597050
Methylbutanoat	12,09	727,8	5470477
2-Methyl-1-Butanol	12,49	743,1	2705786
1-Pentanol	13,24	771,5	2111390
Ethylbutanoat	14,11	806,1	285338914
Butylacetat	14,40	817,6	2840755
Ethyl-2-Methylbutanoat	15,29	854,7	26603963
1-Hexanol	15,73	872,6	59942321
Propylbutanoat	16,39	900,3	2543092
Butylpropanat	16,62	910,6	833029
Propyl-2-Methylbutanoat	17,51	956,2	1067104
Butylbutanoat	18,57	998,3	10637234
Ethylhexanoat	18,69	1003,9	352599370
Hexylacetat	18,93	1015,4	19516613
Butyl-2-Methylbutanoat	19,57	1046,7	5157228
2-Ethylhexanol	19,30	1036,8	1093947
Propylhexanoat	20,62	1097,7	4794905
Hexylpropanoat	20,83	1108,2	5875847
Hexylisobutanoat	21,68	1152,5	5676504
Butylhexanoat	22,51	1195,5	80535709
Hexyl-2-Methylbutanoat	23,38	1239,0	40837017
Hexylhexanoat	25,95	1379,0	23137533
α -Farnesen	28,02	1500,0	41559225

Die multivariate Datenauswertung (Hauptkomponentenanalyse) der Daten wurde mittels MasStat® durchgeführt. Die Abbildung 29 zeigt, dass sich die Sorte Kronprinz Rudolf deutlich von den anderen Sorten unterscheidet, sowie dass sich die Sorten Bohnapfel und Golden Delicious sehr ähnlich zu einander sind.

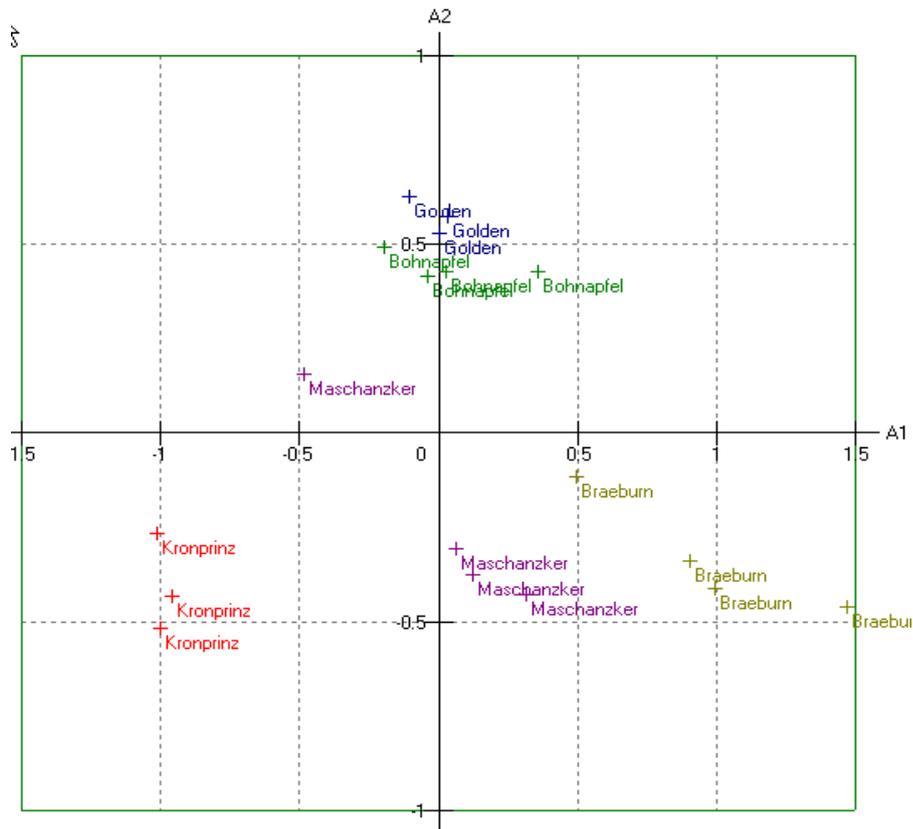


Abbildung 29: Multivariate Datenauswertung der unversehrten Äpfel mittels MasStat®

6.3.2 Aromastoffanalyse: vom Rohsaft bis zum pasteurisierten Saft

Um die Aromastoffanalysen genauer betrachten zu können, wurden die Aromaprofile von Rohsaft, von Saft nach dem enzymatisch-katalysierten Entschleimungsvorgang und von pasteurisiertem Saft bestimmt und miteinander verglichen.

Im Anschluss an die GC-MS Messungen wurde eine multivariate Datenauswertung mittels MasStat® durchgeführt, um statistische Aussagen anhand der MS-Rohdaten treffen zu können. Diese Clusteranalyse kann durch die zweidimensionale Darstellung der Datensätze Ähnlichkeiten besser zuordnen. Dadurch werden Datensätze, die sich signifikant voneinander unterscheiden mit großer Distanz angeordnet. Zusätzlich kann durch die Erstellung der Clusteranalyse auch gezeigt werden, wie groß die Unterschiede der Aromastoffzusammensetzungen zwischen den Herstellungsschritten des Apfelsaftes sind.

Der Vergleich der Aromaprofile der Rohsaftproben (Abbildung 30) zeigt signifikante Unterschiede der flüchtigen Verbindungen in Abhängigkeit der Apfelsorte, doch ist auch erkennbar, dass viele Aromastoffe in allen fünf Rohsaftproben der fünf Apfelsorten auftreten können. Eine Auflistung der gemeinsamen Aromastoffe ist der zu Tabelle 24 entnehmen.

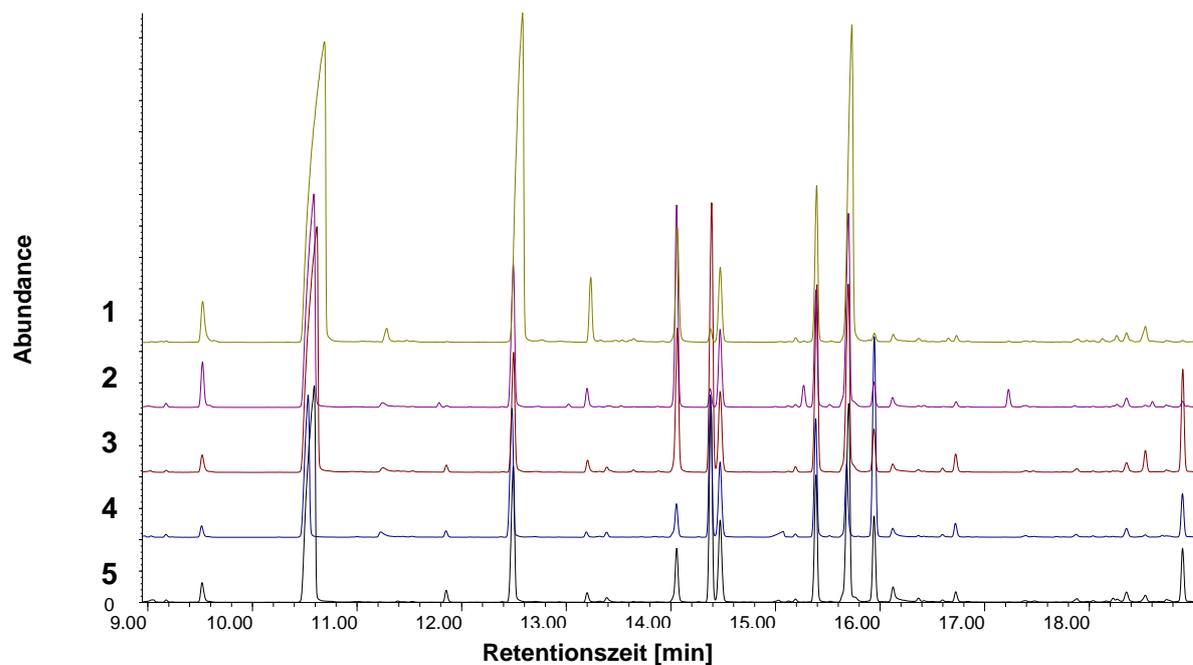


Abbildung 30: Überlagerte Aromaprofile von fünf Rohsaftproben (1 = Maschanzker; 2 = Kronprinz; 3 = Golden Delicious; 4 = Braeburn; 5 = Bohnapfel)

Tabelle 24: Auflistung der Verbindungen, die in allen Rohsaftproben der fünf Apfelsorten identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Bohnapfel	Braeburn	Golden Delicious	Kronprinz Rudolf	Maschanzker
2-Propanol	1113502	713554	528944	550381	919048
Dimethylsulfid	106397	183839	82275	92797	85841
1-Propanol	7467299	1351943	3388508	3105925	9369616
Diacetyl	262117	102742	122748	1084196	473155
Butanal	1519359	1047471	4187399	3433158	7810627
2-Methyl-1-propanol	6976774	3343008	5745607	14462502	15874740
1-Butanol	188953643	63560426	226981724	158847032	407745305
2-Methyl-1-Butanol	54305538	42956247	39498643	50725456	226913414
1-Pentanol	3569231	1468212	3752648	5773225	14926667
Butylacetat	70063580	47255270	85368794	5016895	3436553
(<i>E</i>)-2-Hexenal	40578147	33251359	57707511	33598307	43676102
5-Hexen-1-ol	480746	518782	298092	947272	581537
1-Hexanol	85971060	22389235	67793660	73989380	149057483
2-Methylbutylacetat	30624930	71676019	12302594	7616523	2756061
Butylpropanoat	891258	1158949	1457423	439795	663196
1-Heptanol	371520	222333	235987	231061	757708
Benzaldehyd	3255960	537208	445200	333603	635021
Butylbutanoat	17263056	979828	5901607	720119	5932838
Hexylacetat	429804	13737090	28907594	1716905	597411
2-Ethylhexanol	257022	535890	383175	448301	302483
Cymol	408029	224678	310200	358046	411246
Limonen	257022	457897	533213	472149	884130
Butyl-2-Methylbutanoat	408029	809695	1272210	394032	1082908

Bei Vergleich der Aromaprofile der unversehrten Äpfel und der Rohsaftproben konnten deutliche Unterschiede erkannt werden, die auf die unterschiedlichen Aromastoffbildungswege zurückzuführen sind. Die Aromastoffe Hexanal und (*E*)-2-Hexenal sind im unversehrten Apfel gar nicht vorhanden, jedoch konnten diese in den Rohsaftproben nachgewiesen werden. Abbildung 31 zeigt als Beispiel HS-SPME GC-MS Chromatogramme der Sorte Bohnapfel; die sekundären Aromastoffe (Hexanal und (*E*)-2-Hexenal) werden erst gebildet, wenn die Linol- und Linolensäure im Zuge der Verarbeitung vom Enzym LOX oxidativ gespalten werden. Die Verbindung β - Damascenon wurde in den unversehrten Äpfeln nicht gefunden, jedoch in der Rohsaftprobe der Sorte Kronprinz Rudolf; dieser Aromastoff wird erst durch die Zerstörung der Zellwände gebildet. Wiederum andere Aromastoffe sind nur im unversehrten Apfel nachzuweisen und im Rohsaft nicht mehr vorhanden, sowie die Aromastoffe Ethylbutanoat und Propylpropanoat. Aber es gibt einige Verbindungen, die in beiden Proben vorhanden sind, allerdings in unterschiedlichen Konzentrationen. Außerdem werden in der Abbildung 31 noch die Aromastoffe Butylacetat (1), 1-Hexanol (2) und 2-Methylbutylacetat dargestellt, diese sind in beiden Proben vorhanden.

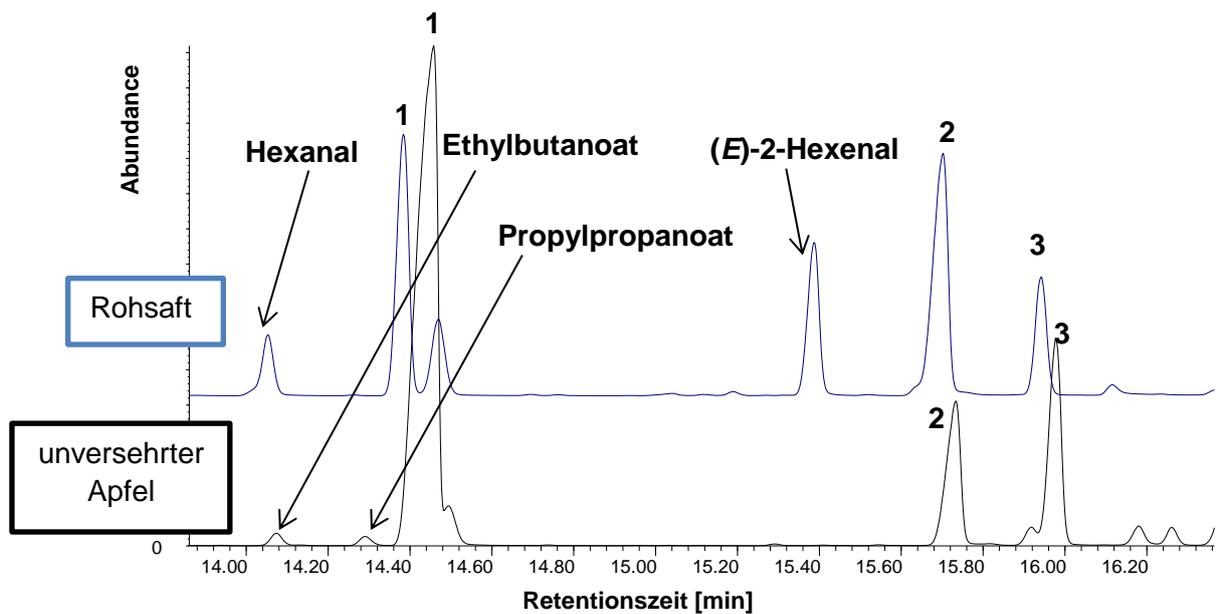


Abbildung 31: Die Aromastoffe Hexanal und (*E*)-2-Hexenal sind im unversehrten Apfel noch nicht vorhanden, jedoch in den Rohsaftproben nachzuweisen; umgekehrt sind die Aromastoffe Ethylbutanoat und Propylpropanoat nur in den unversehrten Äpfeln nachzuweisen (die Sorte Bohnapfel wurde als Beispiel verwendet)

Eine Auflistung aller Aromastoffe, die in den Rohsaftproben der Sorte Bohnapfel gefunden wurden, ist in Tabelle 25 mit der jeweiligen Retentionszeit, der Peakfläche und dem RI dargestellt. Eine Übersicht über die flüchtigen Verbindungen der Sorte Kronprinz Rudolf ist Tabelle 26 zu entnehmen, der Sorte Braeburn Tabelle 27, der Sorte Golden Delicious Tabelle 28 und der Sorte Maschanzker Tabelle 29.

Tabelle 25: Auflistung aller Verbindungen, die bei der Sorte Bohnapfel in den Rohsaftproben identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
2-Propanol	5,93	568,5	1113502
Dimethylsulfid	6,44	574,3	106397
2-Methyl-Propanal	7,56	587,4	73887
1-Propanol	7,64	588,2	7467299
Diacetyl	8,42	597,2	262117
Butanal	8,49	598,1	1519359
2-Methyl-1-propanol	9,52	630,8	6976774
1-Butanol	10,59	669,6	188953642
Propylacetat	11,85	715,7	3713783
Methylbutanoat	12,08	724,5	81416
3-Methylbutanol	12,38	736,2	250244
2-Methyl-1-Butanol	12,49	740,3	54305538
1-Pentanol	13,20	767,2	3569231
2,3-Butanediol	13,53	779,9	283569
Hexanal	14,05	799,9	17375290
Butylacetat	14,38	813,6	70063580
2-Methylbutansäure	15,03	840,6	1027626
(E)-2-Hexenal	15,38	855,5	40578147
5-Hexen-1-ol	15,52	861,1	480746
1-Hexanol	15,70	868,6	85971060
2-Methylbutylacetat	15,94	878,7	30624930
Propylbutanoat	16,37	896,6	1692252
Butylpropanoat	16,60	906,4	891258
Methional	16,65	906,7	297039
2,4-Hexadienal	16,72	911,5	2981130
Heptanal	17,78	959,6	307141
Hexansäure	17,89	964,5	1772247
1-Heptanol	17,98	968,5	371520
Benzaldehyd	18,03	971,4	536917
Methionol	18,27	980,9	2126084
Butylbutanoat	18,53	993,8	3255960
Hexylacetat	18,89	1010,7	17263056
2-Ethylhexanol	19,27	1029,2	429804
Cymol	19,40	1034,9	257022
Limonen	19,52	1041,0	408029
Butyl-2-Methylbutanoat	19,54	1042,3	1373568
1-Octanol	20,11	1070,2	1533832
Hexylbutanoat	22,45	1190,9	3232301
4-Terpineol	22,89	1196,4	1043776
Hexyl-2-Methylbutanoat	23,34	1238,3	2948233
α - Farnesen	27,90	1499,4	765417

Tabelle 26: Auflistung aller Verbindungen, die bei der Sorte Kronprinz Rudolf in den Rohsaftproben identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
2-Propanol	5,90	568,7	550381
Dimethylsulfid	6,40	574,3	92797
2-Methyl-Propanal	7,56	587,3	119944
1-Propanol	7,60	588,2	3105925
Diacetyl	8,42	597,2	1084196
Butanal	8,50	598,0	3433158
2-Methyl-1-propanol	9,50	630,9	14462502
1-Butanol	10,50	669,2	158847032
Ethylpropanoat	11,80	713,1	1331605
3-Methylbutanol	12,38	736,1	299165
2-Methyl-1-Butanol	12,49	740,1	50725456
Isobutansäure	12,73	749,4	733739
Ethylisobutanoat	13,02	760,5	1086037
1-Pentanol	13,20	767,1	5773225
Butansäure	13,41	775,5	951067
2,3-Butanediol	13,52	779,6	629826
Ethylbutanoat	14,05	799,8	60706190
Butylacetat	14,37	813,2	5016895
2-Methylbutansäure	15,01	839,4	401592
Ethyl-2-Methylbutanoat	15,26	850,6	6426415
(E)-2-Hexenal	15,38	855,4	33598307
5-Hexen-1-ol	15,51	860,9	947272
1-Hexanol	15,69	868,4	73989380
2-Methylbutylacetat	15,94	878,6	7616523
Propylbutanoat	16,37	896,6	671773
Butylpropanoat	16,61	906,9	439795
Methional	16,65	908,9	246109
2,4-Hexadienal	16,73	912,3	1729360
Hexansäure	17,87	963,5	731004
1-Heptanol	17,90	968,0	231061
Benzaldehyd	18,04	970,8	333603
Methionol	18,26	981,2	967293
Butylbutanoat	18,53	993,9	720119
Ethylhexanoat	18,60	996,9	1806175
Hexylacetat	18,89	1010,6	1716905
2-Ethylhexanol	19,27	1029,1	448301
Cymol	19,40	1035,3	358046
Limonen	19,52	1040,8	472149
Butyl-2-Methylbutanoat	19,53	1041,7	394032
1-Octanol	20,11	1069,8	766829
Hexyl-2-Methylbutanoat	20,11	1238,3	967536
β-Damascenon	26,24	1406,5	99139
α-Farnesen	27,97	1499,1	122517

Tabelle 27: Auflistung aller Verbindungen, die bei der Sorte Braeburn in den Rohsaftproben identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
2-Propanol	5,92	568,5	713554
Dimethylsulfid	6,44	574,3	183839,2
1-Propanol	7,63	588,1	1351943
Diacetyl	8,42	597,2	102742
Butanal	8,49	598,1	1047471
2-Methyl-1-propanol	9,51	630,7	3343008
1-Butanol	10,53	667,2	63560426
Propylacetat	11,82	715,7	2186769
2-Methyl-1-Butanol	12,49	739,7	42956247
1-Pentanol	13,19	766,9	1468212
2-Methylpropylethanoat	13,39	774,4	1726826
Hexanal	14,05	799,8	10800957
Butylacetat	14,38	813,5	47255270
2-Methylbutansäure	15,03	840,9	2174327
(<i>E</i>)-2-Hexenal	15,38	855,4	33251359
5-Hexen-1-ol	15,52	860,9	518782
1-Hexanol	15,68	867,8	22389235
2-Methylbutylacetat	15,95	878,8	71676019
Propylbutanoat	16,37	896,6	729228
Butylpropanoat	16,59	906,5	1158949
Pentylacetat	16,72	912,2	4746672
Hexansäure	17,70	963,5	746828
1-Heptanol	17,90	965,2	222333
Benzaldehyd	18,03	971,3	537208
Butylbutanoat	18,54	993,9	979828
Hexylacetat	18,89	1010,7	13737090
2-Ethylhexanol	19,27	1029,1	535890
Cymol	19,40	1035,4	224678
Limonen	19,51	1041,2	457897
Butyl-2-Methylbutanoat	19,53	1042,2	809695
Hexylbutanoat	22,46	1190,5	395143
Hexyl-2-Methylbutanoat	23,33	1238,0	747267

Tabelle 28: Auflistung aller Verbindungen, die bei der Sorte Golden Delicious in den Rohsaftproben identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
2-Propanol	5,94	568,6	528944
Dimethylsulfid	6,44	574,3	82275
1-Propanol	7,63	588,1	3388508
Diacetyl	8,42	597,2	122748
Butanal	8,49	598,0	4187399
2-Methyl-1-propanol	9,52	630,8	5745607
1-Butanol	10,61	670,1	226981724
Propylacetat	11,85	715,9	2113697
3-Methyl-1-Butanol	12,39	736,4	261048
2-Methyl-1-Butanol	12,49	740,2	39498643
1-Pentanol	13,20	767,2	3752648
Butansäure	13,41	775,3	621167
Hexanal	14,06	800,1	44991757
Butylacetat	14,39	813,8	85368794
2-Methylbutansäure	14,98	838,8	297927
(<i>E</i>)-2-Hexenal	15,39	855,8	57707511
5-Hexen-1-ol	15,52	861,0	298092
1-Hexanol	15,69	868,3	67793660
2-Methylbutylacetat	15,94	878,6	12302594
Propylbutanoat	16,36	896,4	1118605
Butylpropanoat	16,59	906,6	1457423
2,4-Hexadienal	16,72	912,1	5184673
Pentylacetat	16,84	917,6	322886
Hexansäure	17,88	964,5	1771033
1-Heptanol	17,97	968,6	235987
Benzaldehyd	18,03	971,4	445200
Methionol	18,26	981,2	485399
Butylbutanoat	18,53	993,9	5901607
Hexylacetat	18,89	1010,7	28907594
2-Ethylhexanol	19,27	1028,9	383175
Cymol	19,40	1034,2	310200
Limonen	19,51	1039,8	533213
Butyl-2-Methylbutanoat	19,54	1042,3	1272210
1-Octanol	20,11	1070,0	772501
Hexylbutanoat	22,47	1190,9	7483992
Hexylhexanoat	25,91	1386,7	903210
α - Farnesen	27,97	1499,1	614255

Tabelle 29: Auflistung aller Verbindungen, die bei der Sorte Maschanzker in den Rohsaftproben identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
2-Propanol	5,93	568,5	919048
Dimethylsulfid	6,44	574,3	85841
1-Propanol	7,64	588,2	9369616
Diacetyl	8,41	597,2	473155
Butanal	8,48	598,0	7810627
2-Methyl-1-propanol	9,52	631,0	15874740
1-Butanol	10,68	672,6	407745305
Ethylpropanoat	11,79	713,3	158053
2-Methyl-1-Butanol	12,58	743,2	226913414
1-Pentanol	13,23	769,1	14926667
Butansäure	13,39	774,7	387533
Hexanal	14,06	800,1	35680549
Butylacetat	14,37	813,4	3436553
2-Methylbutansäure	15,05	841,6	552409
(E)-2-Hexenal	15,39	855,7	43676102
5-Hexen-1-ol	15,53	861,4	581537
1-Hexanol	15,73	869,6	149057483
2-Methylbutylacetat	15,94	878,7	2756061
Butylpropanoat	16,60	906,8	663196
2,4-Hexadienal	16,73	912,5	2015306
Hexansäure	17,88	964,7	1860529
1-Heptanol	17,99	968,6	757708
Benzaldehyd	18,03	971,4	635021
Methionol	18,26	981,4	2769972
Butylbutanoat	18,53	993,9	5932838
Hexylacetat	18,89	1010,7	597411
2-Ethylhexanol	19,27	1029,9	302483
Cymol	19,40	1035,9	411246
Limonen	19,51	1040,7	884130
Butyl-2-Methylbutanoat	19,53	1042,2	1082908
1-Octanol	20,11	1069,9	702745
Hexylbutanoat	22,47	1190,7	2902138
4-Terpineol	22,57	1196,1	869127
Hexyl-2-Methylbutanoat	23,34	1238,4	2046730
Hexylhexanoat	25,91	1386,8	1249267
α -Farnesen	27,97	1499,1	3698618

Die multivariate Datenauswertung (Hauptkomponentenanalyse) der Rohsaftdaten wurde mittels MasStat® durchgeführt. Die Abbildung 32 zeigt, dass sich die Sorte Kronprinz Rudolf deutlich von den anderen Sorten unterscheidet, sowie dass die Sorten Bohnapfel und Golden Delicious sehr ähnlich zu einander sind. Die Sorte Braeburn zeigt höhere Ähnlichkeiten zu den Sorten Bohnapfel und Golden Delicious als die Sorte Maschanzker.

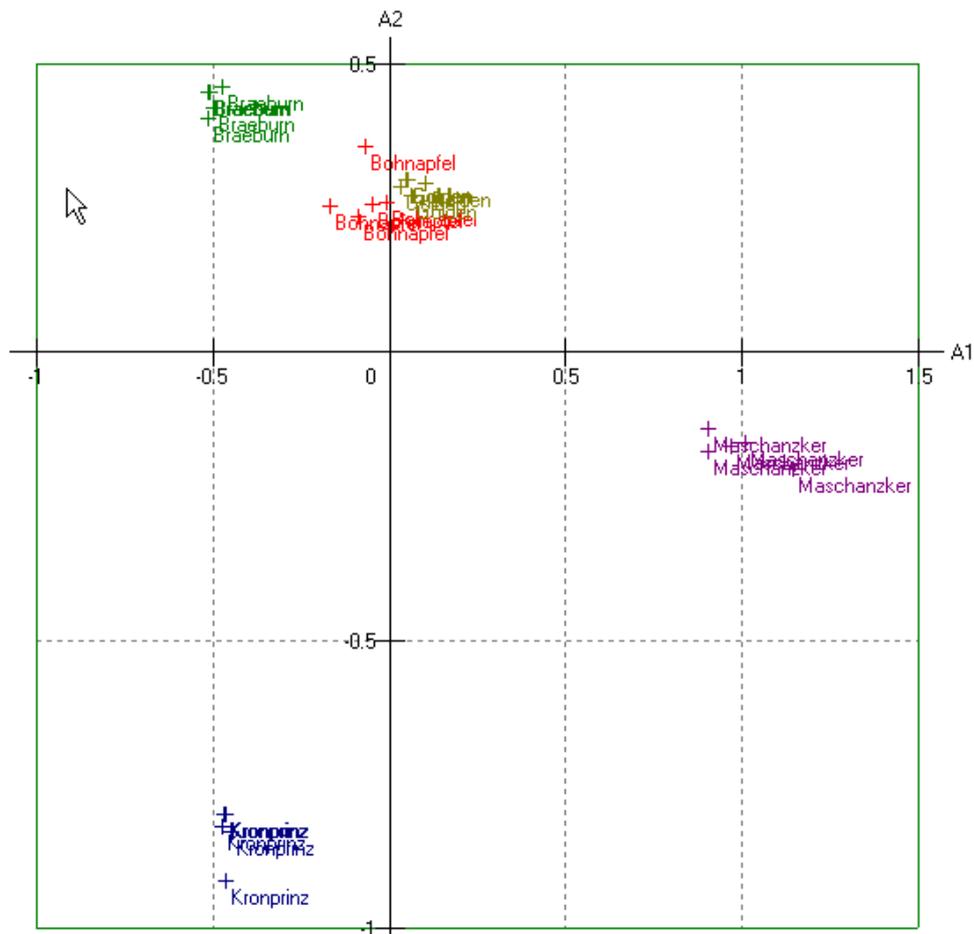


Abbildung 32: Multivariate Datenauswertung der Rohsaftproben mittels MasStat®

Nach den Rohsaftproben wurden jene Proben gemessen, die im Anschluss an den enzymatisch-katalysierten Entschleimungsvorgang entnommen wurden. Diese wurden ebenfalls mit NaCl versetzt und in einen gekühlten Tray gestellt um eine vorzeitige Gärung während der Messung zu verhindern. Die Verbindungen, die in allen fünf Sorten gefunden wurden, sind in Tabelle 30 aufgelistet.

Tabelle 30: Auflistung aller Verbindungen, die in allen fünf Apfelsorten identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Bohnapfel	Golden	Kronprinz	Braeburn	Maschanzker
2-Propanol	1123042	655915	647443	916952	882606
Dimethylsulfid	61569	60779	71244	143068	52705
1-Propanol	7281411	2943850	2764140	1215190	8276333
Diacetyl	289990	153604	1005918	168989	465750
Butanal	1695086	2665573	2802418	1799655	6495245
1-Butanol	170423927	213514864	159803518	60033198	389436860
2-Methyl-1-Butanol	51011126	37080915	49029144	39756892	211993254
1-Pentanol	2902277	2802447	5482885	1363003	16490489
Butylacetat	65114470	82007840	3826403	42325310	2896770
(E)-2-Hexenal	40373977	41381216	32475102	38132134	38306517
5-Hexen-1-ol	371254	183451	845124	465418	487269
1-Hexanol	75870226	58989592	70721781	23427480	136761615
2-Methylbutylacetat	26164535	10621898	5423429	61600693	2261649
1-Heptanol	257033	155861	217584	137815	614457
Benzaldehyd	493168	543790	527321	485165	689554
Methionol	1375359	636414	941026	176790	2434019
Butylbutanoat	2269221	4985583	670712	931781	4418938
Hexylacetat	11035167	22638970	1376565	10574253	428666
2-Ethylhexanol	318951	355473	587936	315212	698558
Cymol	167157	223116	437294	189103	280345
Limonen	206261	329628	274054	267041	515816
Butyl-2-Methylbutanoat	861331	588382	240016	485034	629357
4-Terpineol	645682	493054	672130	402367	791441

Eine Auflistung aller gefundenen Verbindungen in den entschleimten Säften, die die Sorte Bohnapfel beinhaltet, sind in der Tabelle 31 aufgelistet, der Sorte Golden Delicious in Tabelle 32, der Sorte Kronprinz Rudolf in Tabelle 33, der Sorte Braeburn in Tabelle 34 und der Sorte Maschanzker in Tabelle 35.

Tabelle 31: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Saftproben der Sorte Bohnapfel nach dem Entschleimungsvorgang (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
2-Propanol	5,93	568,4	1123042
Dimethylsulfid	6,44	574,3	61569
1-Propanol	7,64	588,1	7281411
Diacetyl	8,43	597,1	289990
Butanal	8,49	598,0	1695086
2-Methyl-1-propanol	9,52	630,4	7872199
1-Butanol	10,59	669,1	170423927
Propylacetat	11,86	715,9	4162972
2-Methyl-1-Butanol	12,49	740,2	51011126
1-Pentanol	13,20	767,1	2902277
2-Methylpropylacetat	13,39	774,4	1663395
2,3-Butanediol	13,53	779,7	232794
Hexanal	14,05	799,7	14220147
Propylpropanoat	14,27	808,7	262228
Butylacetat	14,38	813,5	65114470
2-Methylbutansäure	15,00	839,3	254272
(<i>E</i>)-2-Hexenal	15,39	855,5	40373977
5-Hexen-1-ol	15,52	861,1	371254
1-Hexanol	15,70	868,5	75870226
2-Methylbutylacetat	15,94	878,7	26164535
Propylbutanoat	16,37	896,7	1405849
Butylpropanoat	16,60	906,8	661593
2,4-Hexadienal	16,72	912,3	3040211
1-Heptanol	17,98	968,6	257033
Benzaldehyd	18,01	971,5	493168
Methionol	18,26	981,5	1375359
Butylbutanoat	18,54	993,9	2269221
Hexylacetat	18,89	1010,7	11035167
2-Ethylhexanol	19,28	1029,3	318951
Cymol	19,40	1035,9	167157
Limonen	19,52	1041,0	206261
Butyl-2-Methylbutanoat	19,54	1042,6	861331
1-Octanol	20,11	1070,1	563403
Hexylbutanoat	22,48	1191,0	646047
4-Terpineol	22,58	1196,5	645682
Hexyl-2-Methylbutanoat	23,34	1238,5	411024
β -Damascenon	26,24	1406,8	95677

Tabelle 32: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Saftproben der Sorte Golden Delicious nach dem Entschleimungsvorgang (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
2-Propanol	5,94	568,5	655915
Dimethylsulfid	6,44	574,3	60779
1-Propanol	7,63	588,0	2943850
Diacetyl	8,43	597,1	153604
Butanal	8,49	597,9	2665573
2-Methyl-1-propanol	9,52	630,4	6486369
1-Butanol	10,61	669,8	213514864
Propylacetat	11,86	715,9	1903619
3-Methyl-1-Butanol	12,39	736,3	254276
2-Methyl-1-Butanol	12,49	740,0	37080915
1-Pentanol	13,20	768,0	2802447
2-Methylpropylacetat	13,39	774,4	1358959
Hexanal	14,06	799,9	32118313
Butylacetat	14,39	813,6	82007840
(E)-2-Hexenal	15,39	855,6	41381216
5-Hexen-1-ol	15,65	860,8	183451
1-Hexanol	15,69	868,2	58989592
2-Methylbutylacetat	15,94	878,6	10621898
Propylbutanoat	16,37	896,6	737422
Heptanal	16,51	902,7	215225
Butylpropanoat	16,60	906,7	918456
2,4-Hexadienal	16,72	912,2	3982809
1-Heptanol	17,97	968,7	155861
Benzaldehyd	18,04	971,5	543790
Methionol	18,27	981,7	636414
Butylbutanoat	18,54	993,9	4985583
Hexylacetat	18,89	1010,8	22638970
2-Ethylhexanol	19,27	1029,2	355473
Cymol	19,40	1035,5	223116
Limonen	19,51	1041,0	329628
Butyl-2-Methylbutanoat	19,54	1042,5	588382
1-Octanol	20,10	1069,7	256888
Hexylbutanoat	22,48	1191,1	1798746
4-Terpineol	22,58	1196,6	493054
Hexyl-2-Methylbutanoat	23,34	1238,5	378648

Tabelle 33: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Saftproben der Sorte Kronprinz Rudolf nach dem Entschleimungsvorgang (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
2-Propanol	5,95	568,7	647443
Dimethylsulfid	6,44	574,3	71244
1-Propanol	7,64	588,1	2764140
Diacetyl	8,42	597,1	1005918
Butanal	8,49	597,9	2802418
2-Methyl-1-propanol	9,52	630,6	14468671
1-Butanol	10,58	669,0	159803518
Ethylpropanoat	11,78	713,1	1260720
Methylbutanoat	12,08	724,4	203156
3-Methyl-1-Butanol	12,39	736,3	283983
2-Methyl-1-Butanol	12,49	740,1	49029144
1-Pentanol	13,20	767,0	5482885
2,3-Butanediol	13,52	779,4	471244
Ethylbutanoat	14,05	799,7	59456854
Butylacetat	14,38	813,1	3826403
2-Methylbutansäure	15,01	839,3	271235
Ethyl-2-Methylbutanoat	15,27	850,5	5498447
(E)-2-Hexenal	15,39	855,4	32475102
5-Hexen-1-ol	15,52	860,9	845124
1-Hexanol	15,70	868,4	70721781
2-Methylbutylacetat	15,95	878,6	5423429
Propylbutanoat	16,37	896,7	437108
Methional	16,63	908,2	210162
2,4-Hexadienal	16,73	912,4	1526531
Hexansäure	17,86	963,6	519864
1-Heptanol	17,98	968,6	217584
Benzaldehyd	18,04	971,5	527321
Methionol	18,26	981,6	941026
Butylbutanoat	18,54	994,0	670712
Ethylhexanoat	18,60	997,2	1351718
Hexylacetat	18,89	1010,7	1376565
2-Ethylhexanol	19,27	1029,1	587936
Cymol	19,40	1035,3	437294
Limonen	19,50	1041,0	274054
Butyl-2-Methylbutanoat	19,53	1042,0	240016
4-Terpineol	22,87	1196,4	672130
β-Damascenon	26,24	1406,9	103759

Tabelle 34: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Saftproben der Sorte Braeburn nach dem Entschleimungsvorgang (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
2-Propanol	5,94	568,4	916952
Dimethylsulfid	6,44	574,3	143068
1-Propanol	7,63	588,0	1215190
Diacetyl	8,43	597,1	168989
Butanal	8,49	597,9	1799655
1-Butanol	10,53	667,0	60033198
Propylacetat	11,85	715,9	1728941
3-Methyl-1-Butanol	12,37	735,8	226431
2-Methyl-1-Butanol	12,48	739,6	39756892
1-Pentanol	13,19	766,8	1363003
2-Methylpropylethanoat	13,39	774,4	1326184
Hexanal	14,06	799,7	19182948
Butylacetat	14,38	813,3	42325310
2-Methylbutansäure	14,99	838,9	601243
(<i>E</i>)-2-Hexenal	15,39	855,5	38132134
5-Hexen-1-ol	15,64	860,8	465418
1-Hexanol	15,68	867,8	23427480
2-Methylbutylacetat	15,95	878,8	61600693
Propylbutanoat	16,37	896,7	504668
Heptanal	16,51	902,6	239022
Butylpropanoat	16,60	906,7	704326
1-Heptanol	17,97	968,5	137815
Benzaldehyd	18,04	971,5	485165
Methionol	18,28	982,1	176790
Butylbutanoat	18,54	994,0	931781
Hexylacetat	18,89	1010,7	10574253
2-Ethylhexanol	19,28	1029,3	315212
Cymol	19,40	1035,5	189103
Limonen	19,52	1041,0	267041
Butyl-2-Methylbutanoat	19,54	1042,5	485034
Hexylbutanoat	22,46	1190,0	227753
4-Terpineol	22,61	1197,3	402367
β-Damascenon	26,24	1406,8	89412

Tabelle 35: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Saftproben der Sorte Maschankzer nach dem Entschleimungsvorgang (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
2-Propanol	5,94	568,5	882606
Dimethylsulfid	6,44	574,3	52705
1-Propanol	7,65	588,1	8276333
Diacetyl	8,42	597,1	465750
Butanal	8,49	597,9	6495245
2-Methyl-1-propanol	9,53	630,6	15276829
1-Butanol	10,67	672,2	389436860
2-Methyl-1-Butanol	12,57	742,8	211993254
1-Pentanol	13,22	768,0	16490489
2,3-Butanediol	13,53	779,8	750133
Hexanal	14,06	798,6	25124202
Butylacetat	14,38	813,3	2896770
Ethyl-2-Methylbutanoat	15,27	850,7	359460
(E)-2-Hexenal	15,39	855,5	38306517
5-Hexen-1-ol	15,53	861,2	487269
1-Hexanol	15,72	869,4	136761615
2-Methylbutylacetat	15,94	878,7	2261649
2,4-Hexadienal	16,73	912,5	1619896
Hexansäure	17,86	963,3	230883
1-Heptanol	17,97	968,6	614457
Benzaldehyd	18,04	971,5	689554
Methionol	18,26	981,5	2434019
Butylbutanoat	18,54	993,9	4418938
Hexylacetat	18,89	1011,4	428666
2-Ethylhexanol	19,27	1029,1	698558
Cymol	19,40	1035,5	280345
Limonen	19,51	1040,7	515816
Butyl-2-Methylbutanoat	19,54	1042,4	629357
1-Octanol	20,11	1070,1	310277
Hexylbutanoat	22,47	1190,8	838062
4-Terpineol	22,58	1196,4	791441

Die multivariate Datenauswertung mittels MasStat® zeigt (Abbildung 33), dass die Sorten Bohnapfel, Golden Delicious und Braeburn größere Ähnlichkeiten zueinander aufweisen als noch die zugehörigen Rohsaftproben. Außerdem sind die räumlichen Distanzen, und somit die Unterschiede in den Aromaprofilen, der Sorten Maschankzer und Kronprinz Rudolf zu den anderen drei Sorten größer geworden. In Abbildung 34 werden die Daten der Rohsaftproben und die entschleimten Saftproben mittels MasStat® angeordnet.

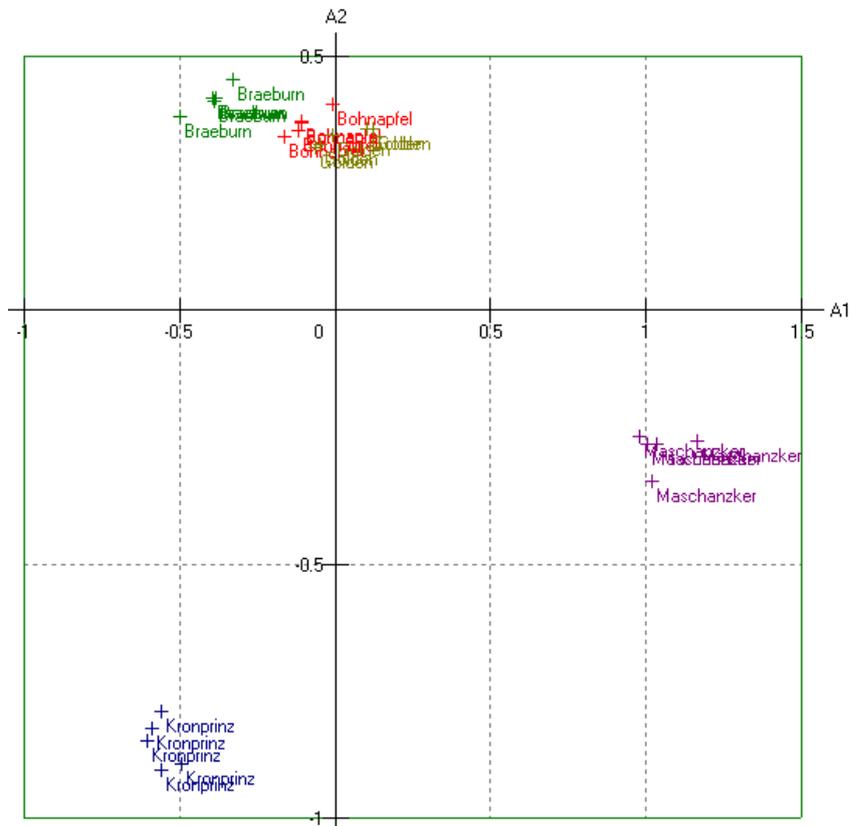


Abbildung 33: Multivariate Datenauswertung der entschleimten Saftproben mittels MasStat®

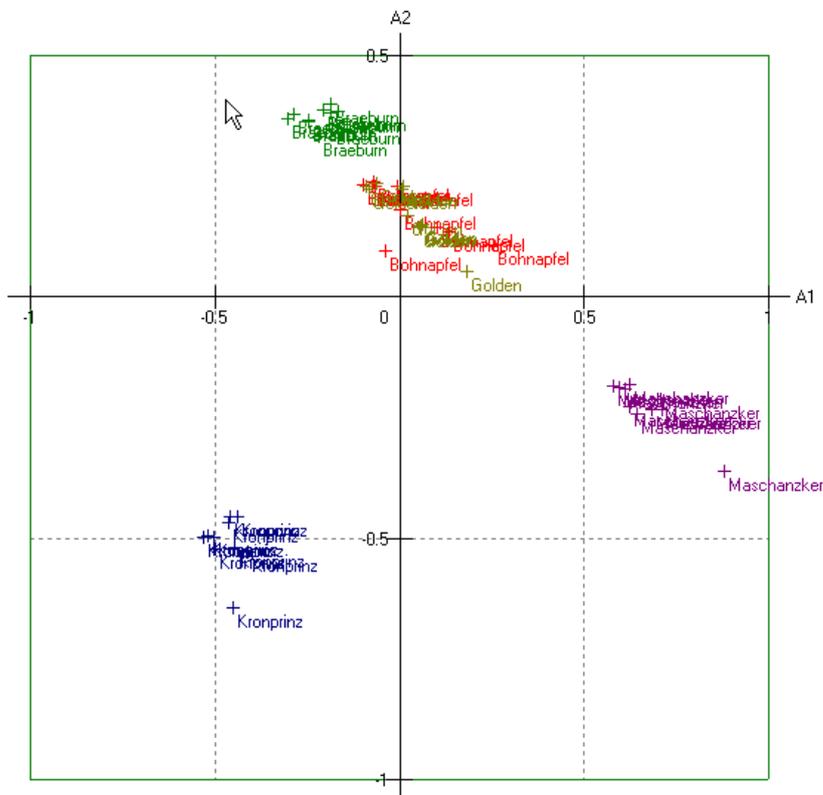


Abbildung 34: Multivariate Datenauswertung der Rohsaftproben und der entschleimten Saftproben mittels MasStat®

Nach dem enzymatisch-katalysierten Entschleimungsvorgang wurden die Apfelsäfte einer Flaschenpasteurisation unterzogen. Die Aromaprofile der fünf Apfelsorten zeigten deutliche Unterschiede, jedoch gibt es eine Vielzahl an Verbindungen, die in allen Sorten vorkommen. Von jeder Probe wurde eine Fünffachbestimmung in randomisierter Reihenfolge durchgeführt; dadurch wurden die Peakflächen, die RI's und die Retentionszeiten gemittelt. Die Tabelle 36 zeigt eine Auflistung aller Verbindungen mit den jeweiligen Peakflächen, die in den pasteurisierten Säften gefunden wurden.

Tabelle 36: Auflistung aller Verbindungen, die in den pasteurisierten Säften identifiziert wurden (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Bohnapfel	Braeburn	Golden Delicious	Kronprinz Rudolf	Maschanzker
1-Propanol	1035676	285816	379197	352093	1983306
Butanal	390784	337081	1387032	1359375	3335148
2-Methyl-1-propanol	1165474	632298	993024	2429695	2580943
1-Butanol	53390740	20645169	69275084	56829750	142903488
Propylacetat	699168	1421900	923156	74520	76401
2-methyl-1-Butanol	21428615	22545098	17087682	25615403	106839226
1-Pentanol	1354830	779342	1571822	3135696	8698829
Butylacetat	12791338	43063007	76148505	3596062	2806349
(E)-2-Hexenal	18889161	64055817	48229392	42305173	44552011
1-Hexanol	48251930	20446737	48606249	62091957	119911461
2-Methylbutylacetat	3019313	67389018	10210538	5422614	1848816
Propylbutanoat	243902	409994	307016	163852	460208
2,4 Hexadienal	991215	5283386	4251216	2157918	2357252
1-Heptanol	95188	49386	68021	102570	418723
Benzaldehyd	163562	413016	296918	235380	499907
Hexylacetat	923336	11517968	21655159	1045970	406498
β-Damascenon	479148	990079	984748	1223869	755712

Eine Auflistung aller gefundenen Verbindungen in den pasteurisierten Säften, die die Sorte Bohnapfel beinhaltet, sind in der Tabelle 37 aufgelistet, der Sorte Braeburn in Tabelle 38, der Golden Delicious in Tabelle 39, der Sorte Kronprinz Rudolf in Tabelle 40 und der Sorte Maschanzker in Tabelle 41.

Tabelle 37: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Bohnapfel in den pasteurisierten Saftproben (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
2-Propanol	5,89	568,4	111548
1-Propanol	7,57	587,9	1035676
Diacetyl	8,36	597,5	69815
Butanal	8,44	598,0	390784
2-Methyl-1-propanol	9,46	631,1	1165474
1-Butanol	10,47	667,9	53390740
Propylacetat	11,79	716,1	699168
2-methyl-1-Butanol	12,42	740,4	21428615
1-Pentanol	13,13	768,8	1354830
2-Methylpropylethanoat	13,28	775,0	193897
Hexanal	13,99	800,9	3418041
Butylacetat	14,32	814,4	12791338
(E)-2-Hexenal	15,32	857,2	18889161
5-Hexen-1-ol	15,45	861,6	77903
1-Hexanol	15,63	869,2	48251930
2-Methylbutylacetat	15,88	881,2	3019313
Propylbutanoat	16,30	899,8	243902
Propionsäure	16,53	906,6	90229
2,4 Hexadienal	16,66	912,9	991215
1-Heptanol	17,91	969,1	95188
Benzaldehyd	18,01	971,8	163562
Methionol	18,21	982,3	131753
Hexylacetat	18,83	1011,3	923336
2-Ethylhexanol	19,21	1029,5	64304
β-Damascenon	26,18	1410,0	479148

Tabelle 38: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Braeburn in den pasteurisierten Saftproben (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
Dimethylsulfid	6,38	574,2	199300
1-Propanol	7,58	588,0	285816
Butanal	8,43	597,9	337081
2-Methyl-1-propanol	9,48	631,3	632298
1-Butanol	10,44	666,8	20645169
Propylacetat	11,79	716,0	1421900
2-Methyl-1-Butanol	12,41	740,4	22545098
1-Pentanol	13,13	767,9	779342
2-Methylpropylethanoat	13,36	774,9	1013824
Hexanal	13,99	801,1	17541041
Butylacetat	14,32	814,7	43063007
(E)-2-Hexenal	15,34	857,0	64055817
(E)-2-Hexen-1-ol	15,58	866,4	2676645
1-Hexanol	15,63	868,9	20446737
2-Methylbutylacetat	15,89	879,8	67389018
Propylbutanoat	16,30	986,5	409994
Propionsäure	16,53	906,6	737044
2,4 Hexadienal	16,66	912,9	5283386
Hexansäure	17,79	963,1	51003
1-Heptanol	17,91	968,8	49386
Benzaldehyd	18,00	971,8	413016
Hexylacetat	18,83	1011,4	11517968
2-Ethylhexanol	19,22	1029,9	144341
β-Damascenon	26,18	1411,0	990079

Tabelle 39: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Golden Delicious in den pasteurisierten Saftproben (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
Dimethylsulfid	6,39	574,5	42180
1-Propanol	7,57	587,9	379197
Butanal	8,43	597,9	1387032
2-Methyl-1-propanol	9,46	631,0	993024
1-Butanol	10,48	668,3	69275084
Propylacetat	11,79	716,1	923156
2-Methyl-1-Butanol	12,42	740,4	17087682
1-Pentanol	13,13	768,0	1571822
2-Methylpropylethanoat	13,32	774,8	591656
Hexanal	13,99	801,3	34721916
Butylacetat	14,32	814,9	76148505
(<i>E</i>)-2-Hexenal	15,33	861,2	48229392
1-Hexanol	15,63	869,1	48606249
2-Methylbutylacetat	15,88	879,5	10210538
Propylbutanoat	16,30	896,4	307016
Heptanal	16,43	902,2	32862
Butylpropanoat	16,53	906,6	615957
2,4 Hexadienal	16,66	912,9	4251216
Hexansäure	17,82	964,4	226703
1-Heptanol	17,93	969,2	68021
Benzaldehyd	17,97	971,8	296918
Butylbutanoat	18,48	994,7	4932621
Hexylacetat	18,84	1011,5	21655159
β-Damascenon	26,18	1411,0	984748

Tabelle 40: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Kronprinz Rudolf in den pasteurisierten Saftproben (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
Dimethylsulfid	6,38	574,1	113702
1-Propanol	7,58	588,0	352093
Diacetyl	8,36	597,2	268036
Butanal	8,44	597,9	1359375
2-Methyl-1-propanol	9,46	630,9	2429695
1-Butanol	10,48	668,0	56829750
Ethylpropanoat	11,73	714,0	792356
Propylacetat	11,79	716,2	74520
Methylbutanoat	12,01	724,7	102466
2-Methyl-1-Butanol	12,42	740,6	25615403
Ethylisobutanoat	12,96	761,0	635217
1-Pentanol	13,13	767,9	3135696
Ethylbutanoat	13,97	801,2	59908730
Butylacetat	14,32	814,4	3596062
Ethyl-2-Methylbutanoat	15,21	851,6	6045387
(E)-2-Hexenal	15,33	856,6	42305173
5-Hexen-1-ol	15,45	861,8	247039
1-Hexanol	15,64	869,4	62091957
2-Methylbutylacetat	15,88	879,4	5422614
Propylbutanoat	16,31	896,6	163852
2,4 Hexadienal	16,67	913,0	2157918
1-Heptanol	17,91	969,0	102570
Benzaldehyd	17,98	971,8	235380
Butylbutanoat	18,49	994,7	360593
Hexylacetat	18,84	1011,4	1045970
2-Ethylhexanol	19,21	1029,9	156253
β-Damascenon	26,19	1410,0	1223869

Tabelle 41: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Maschanzker in den pasteurisierten Saftproben (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
Dimethylsulfid	6,4	574,1	91021
1-Propanol	7,6	587,9	1983306
Diacetyl	8,3	597,2	142109
Butanal	8,4	597,8	3335148
2-Methyl-1-propanol	9,5	630,9	2580943
1-Butanol	10,5	670,0	142903488
Ethylpropanoat	11,8	714,4	50511
Propylacetat	11,8	716,9	76401
2-Methyl-1-Butanol	12,5	742,5	106839226
1-Pentanol	13,2	768,7	8698829
2-Methylpropylethanoat	13,3	775,2	90813
Hexanal	14,0	801,2	27944781
Butylacetat	14,3	814,5	2806349
Ethyl-2-Methylbutanoat	15,2	851,5	219772
(<i>E</i>)-2-Hexenal	15,3	856,7	44552011
5-Hexen-1-ol	15,5	862,0	139655
1-Hexanol	15,7	870,4	119911461
2-Methylbutylacetat	15,9	879,5	1848816
Propylbutanoat	16,3	896,5	460208
Butylpropanoat	16,5	906,7	234130
2,4 Hexadienal	16,7	913,0	2357252
1-Heptanol	17,9	969,1	418723
Benzaldehyd	18,0	971,9	499907
Methionol	18,2	982,4	207243
Butylbutanoat	18,5	994,3	4258718
Hexylacetat	18,8	1011,3	406498
Butyl-2-Methylbutanoat	19,8	1056,3	4132732
1-Octanol	20,1	1069,8	604990
β-Damascenon	26,2	1411,0	755712

Die Ergebnisse zeigen, dass der Schritt der Pasteurisation einen wesentlichen Einfluss auf die Zusammensetzung des Aromas der Apfelsäfte mit sich bringt. Der Einfluss der Pasteurisation auf das Gesamtaroma ist deutlich höher als beispielsweise der des Entschleimungsvorganges. Einige Aromastoffe können nach dem Pasteurisationsschritt nicht mehr nachgewiesen werden, wie zum Beispiel bei der Sorte Bohnapfel die Verbindungen Dimethylsulfid, 3-Methyl-1-butanol, 2,3-Butanediol, Methional, Heptanal, Butylbutanoat, Cymol, Limonen und α -Farnesen. Die meisten anderen Aromastoffe zeigen deutliche Verluste bedingt durch den Pasteurisationsschritt. Abbildung 35 zeigt die multivariate Datenauswertung der pasteurisierten Saftproben. Die Sorten sind nahe beieinander angeordnet, doch kann man eine klare Sortentrennung erkennen. Die einzelnen RI's der Saftproben wurden mit denen in der Literatur und in den Datenbanken verglichen und es gibt keine größeren Abweichungen zu den gemessenen RI's; beispielsweise liegt der RI von Hexanal bei 800 und bei den gemessenen RI's bei 801.

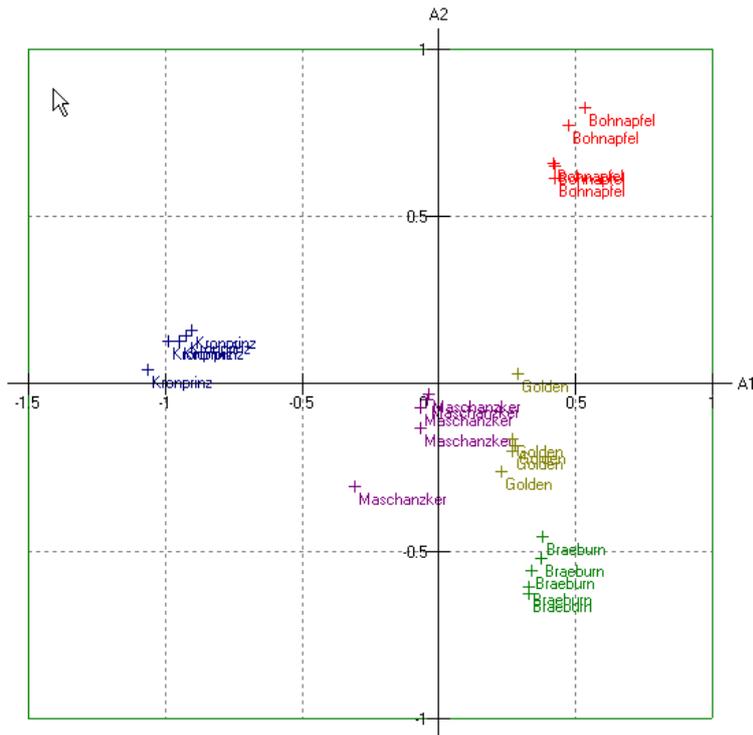


Abbildung 35: Multivariate Datenauswertung der pasteurisierten Saftproben mittels MasStat®

Der Vergleich der Aromaprofile der unversehrten Äpfel, der Rohsaftproben, der Proben nach dem enzymatisch-katalysierten Entschleimungsvorgang und der pasteurisierten Proben zeigt, dass es Verbindungen gibt, die in den Proben aller Sorten in allen Verarbeitungsschritten identifiziert werden konnten (Tabelle 42). Einige Verbindungen werden erst gebildet, wenn der Reifeprozess der Äpfel und/oder die enzymatischen Stoffwechselfvorgänge eingesetzt haben. Verbindungen wie beispielsweise Hexanal, (*E*)-2-Hexenal, β -Damascenon, Methionol konnten erst in den Rohsaftproben, den Proben nach dem enzymatisch-katalysierten Entschleimungsvorgang und den pasteurisierten Proben gefunden werden. Und es gibt Verbindungen, die nur bei einer Sorte in höheren Konzentrationen zu identifizieren sind, beispielsweise werden die Verbindungen Ethylbutanoat und Ethyl-2-methylbutanoat in den Saftproben nur in der Sorte Kronprinz Rudolf gebildet. Daraus kann man schließen, dass diese charakteristisch sind für das typische Aroma eines Kronprinz Rudolfs. Die Sorte Braeburn hat hohe sortencharakteristische Konzentrationen von den Aromastoffen (*E*)-2-Hexen-1-ol, 2-Methylbutylacetat und 2,4-Hexadienal. Weiters lassen sich in der Sorte Maschanzker hohe Konzentrationen von den Aromastoffen 2-Methyl-1-propanol, 1-Pentanol und Hexanal messen. Die Aromastoffe Butylacetat und Hexylacetat sind vor allem in den pasteurisierten Säften in der Sorte Golden Delicious in hohen Konzentrationen vorhanden.

Tabelle 42: Auflistung der Verbindungen, die in den Proben aller Sorten in allen Verarbeitungsschritten identifiziert werden konnten (die graue Markierung zeigt gleiche Verbindungen an)

unversehrte Äpfel	Rohsaft	entschleimter Saft	pasteurisierter Saft
1-Propanol	2-Propanol	2-Propanol	1-Propanol
Butanal	Dimethylsulfid	Dimethylsulfid	Butanal
Ethylacetat	1-Propanol	1-Propanol	2-Methyl-1-propanol
1-Butanol	Diacetyl	Diacetyl	1-Butanol
2-Methyl-1-Butanol	Butanal	Butanal	Propylacetat
1-Pentanol	2-Methyl-1-propanol	1-Butanol	2-Methyl-1-Butanol
Ethylbutanoat	1-Butanol	2-Methyl-1-Butanol	1-Pentanol
Butylacetat	2-Methyl-1-Butanol	1-Pentanol	Butylacetat
1-Hexanol	1-Pentanol	Butylacetat	(E)-2-Hexenal
Propylbutanoat	Butylacetat	(E)-2-Hexenal	1-Hexanol
Butylpropanat	(E)-2-Hexenal	5-Hexen-1-ol	2-Methylbutylacetat
Propyl-2-Methylbutanoat	5-Hexen-1-ol	1-Hexanol	Propylbutanoat
Butylbutanoat	1-Hexanol	2-Methylbutylacetat	2,4 Hexadienal
Ethylhexanoat	2-Methylbutylacetat	1-Heptanol	1-Heptanol
Hexylacetat	Butylpropanoat	Benzaldehyd	Benzaldehyd
Butyl-2-Methylbutanoat	1-Heptanol	Methionol	Hexylacetat
2-Ethylhexanol	Benzaldehyd	Butylbutanoat	β-Damascenon
1-Octanol	Butylbutanoat	Hexylacetat	
Butylhexanoat	Hexylacetat	2-Ethylhexanol	
Hexyl-2-Methylbutanoat	2-Ethylhexanol	Cymol	
Hexylhexanoat	Cymol	Limonen	
α-Farnesen	Limonen	Butyl-2-Methylbutanoat	
	Butyl-2-Methylbutanoat	4-Terpineol	

Die multivariate Datenauswertung aller Saftproben mittels MasStat® ist in Abbildung 36 dargestellt.

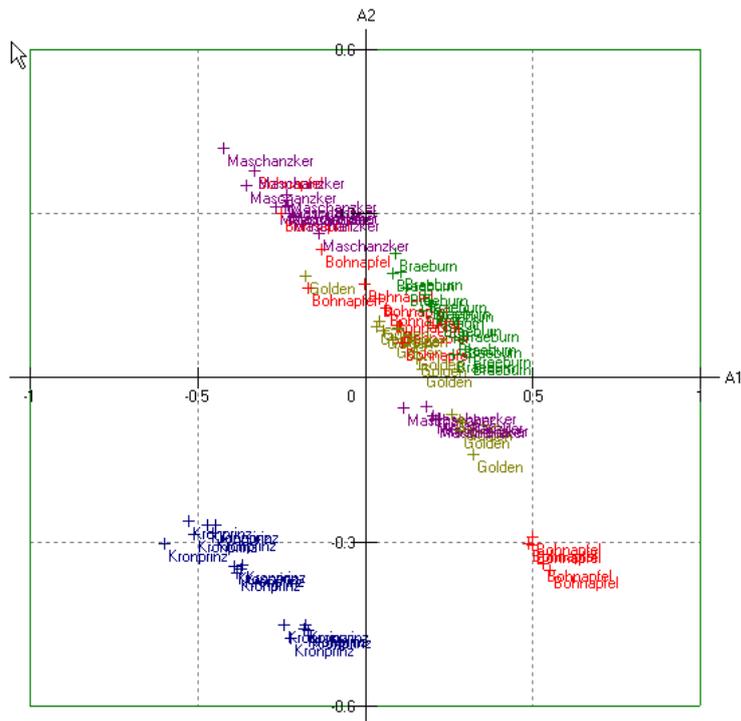


Abbildung 36: Multivariate Datenauswertung aller Saftproben mittels MasStat®

Die alte Sorte Kronprinz Rudolf wurde mit der Plantagebausorte Braeburn mittels MasStat® verglichen, wie Abbildung 37 zeigt. Der Unterschied der beiden Sorten ist recht deutlich ausgeprägt, sie sind von der unversehrten Frucht (rot markiert) bis zur Pasteurisation (orange markiert) immer im nahezu gleichbleibenden Abstand angeordnet. Die Proben der Sorte Kronprinz Rudolf sind nur in den oberen Clustern zu finden, die der Sorte Braeburn nur in den unteren. Diese Abbildung veranschaulicht sehr deutlich, dass die größten Veränderungen im Aroma im Zuge des Pressvorganges und der damit verbundenen Reaktionen, die im Zuge der Zellverletzung und Sauerstoffzutritt ablaufen. Die Zusammensetzung der Aromaprofile von den Rohsäften und den entschleimten Säften (grün markiert) verändert sich in relativ geringem Ausmaß, wohingegen der Schritt Pasteurisation eine weitere signifikante Veränderung mit sich bringt.

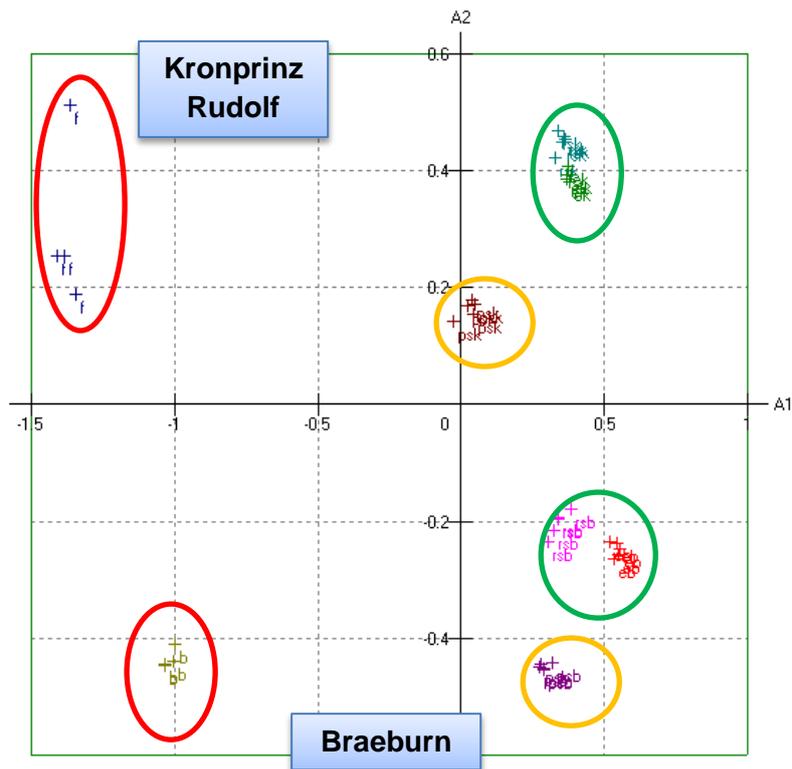


Abbildung 37: Multivariate Datenauswertung aller Proben (rot = unversehrte Frucht; grün = Rohsaft/Entschleimt; orange = past. Säfte) der Sorten Braeburn und Kronprinz Rudolf mittels MasStat®

Interessant ist, dass die Vorgänge in Hinblick auf die flüchtigen Verbindungen von unversehrtem Apfel bis zum fertigen abgefüllten Produkt – unabhängig von der eingesetzten Sorte – parallel verlaufen. Dieser Befund lässt darauf schließen, dass die Verarbeitungsschritte und die damit verbundenen chemischen und physikalischen Abläufe im Produkt zwar einen großen Einfluss auf das Aroma des Endproduktes haben. Das Aroma der unversehrten Frucht bestimmt hingegen die Position aller Zwischen- und Endprodukte in den Hauptkomponenten und stellt somit die bestimmende Komponente für das Aroma des Endproduktes dar.

Der Vergleich aller Datensätze, von unversehrtem Apfel bis zum fertig abgefüllten Saft, mittels MasStat® (multivariater Datenauswertung) zeigt, dass die Sorte das Bestimmende ist. Abbildung 38 stellt eine deutliche sortenrelevante Unterscheidung zwischen den Sorten dar. Außerdem kann man feststellen, dass die meisten flüchtigen Verbindungen in der Sorte Kronprinz Rudolf zu identifizieren sind und am wenigsten in der Sorte Braeburn. Abbildung 39 zeigt den Vergleich der beiden Sorten in ihrer Anzahl an flüchtigen Verbindungen vom Rohsaft bis zum pasteurisierten Saft.

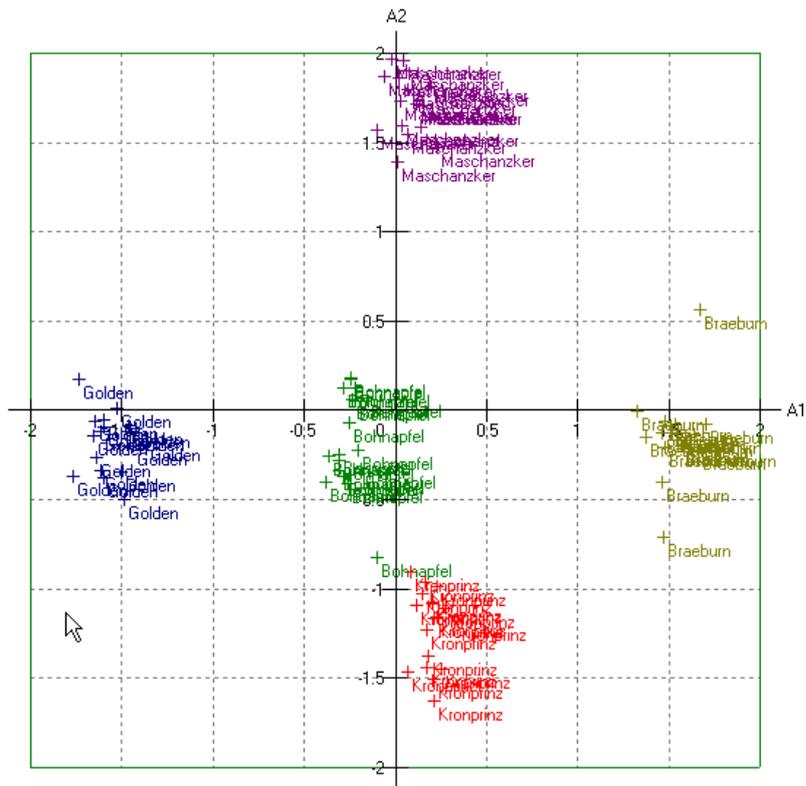


Abbildung 38: Multivariate Datenauswertung aller Proben mittels MasStat®

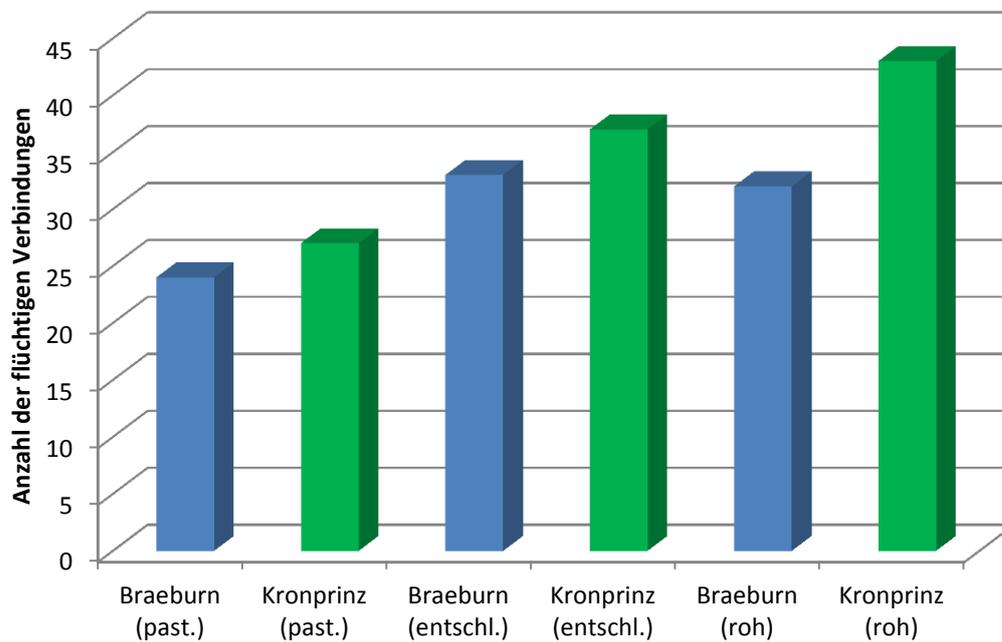


Abbildung 39: Vergleich der Anzahl an flüchtigen Verbindungen von den Sorten Braeburn und Kronprinz Rudolf

6.3.3 Aromastoffanalyse der Apfelmoste

Durch Messungen mit GC-MS wurden Aromaprofile der sortenreinen Apfelmoste bestimmt. Die Apfelmostproben wurden jeweils mit einer Fünffachbestimmung in randomisierter Reihenfolge gemessen. Es wurden Proben von den Apfelmosten vor der Abschwefelung genommen und mit dem fertigen Most verglichen. Anschließend wurde eine multivariate Datenausarbeitung mittels MasStat® durchgeführt, um eine statistische Auswertung zu bekommen.

Die Apfelmostproben vor der Abschwefelung unterscheiden sich kaum bei der Aromastoffzusammensetzung der einzelnen Sorten, wie in Abbildung 40 ersichtlich, hier sind die überlagerten Aromaprofile der fünf Apfelmostproben dargestellt. Die Aromaprofile weisen kaum Unterschiede auf, dass darauf schließen lässt, dass durch die Wirkung der Gärung die gleichen Aromastoffe gebildet werden und die relevanten Saftaromastoffe nicht mehr vorhanden sind.

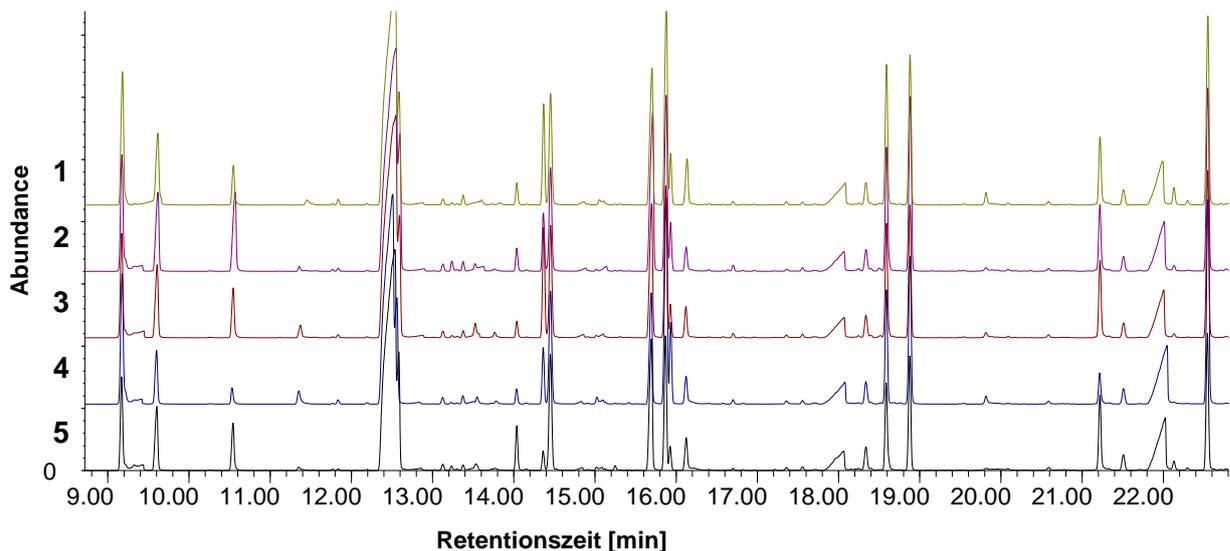


Abbildung 40: Überlagerte Aromaprofile von fünf Apfelmostproben vor der Abschwefelung (Maschanzker = 1; Kronprinz Rudolf = 2; Golden Delicious = 3; Braeburn = 4; Bohnapfel = 5)

Eine Auflistung aller Aromastoffe, die in den Apfelmostproben vor der Abschwefelung der Sorte Bohnapfel gefunden wurden, ist in Tabelle 43 mit der jeweiligen Retentionszeit, der Peakfläche und dem RI dargestellt. Von der Sorte Braeburn ist die Auflistung aller Verbindungen in Tabelle 44 dargestellt, von der Sorte Golden Delicious in Tabelle 45, von der Sorte Kronprinz Rudolf in Tabelle 46 und von der Sorte Maschanzker in Tabelle 47.

Tabelle 43: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Bohnapfel in den Apfelmostproben vor der Abschweifung (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
1-Propanol	7,81	590,0	5574896
2-Methyl-1-propanol	9,60	633,5	50846212
1-Butanol	10,54	667,5	34803537
Propionsäure	11,54	703,9	653821
Ethylpropanoat	11,76	712,5	859310
Propylacetat	11,83	715,1	987978
3-Methyl-1-Butanol	12,53	741,8	605083854
2-Methyl-1-Butanol	12,58	743,6	75765178
Isobutansäure	12,86	754,2	5026755
Ethyl-2-Methylpropanoat	13,01	760,0	603441
1-Pentanol	13,23	767,6	3181748
2-Methylpropylacetat	13,37	773,8	3565080
2,3-Butanediol	13,80	790,3	3108980
Ethylbutanoat	14,01	799,0	27908245
Butylacetat	14,36	812,6	11771942
3-Methylbutansäure	14,84	832,6	3557613
2-Methylbutansäure	15,13	844,6	1143226
Ethyl-2-Methylbutanoat	15,24	849,6	3165608
(Z)-3-Hexenol	15,42	856,8	685568
5-Hexen-1-ol	15,51	860,7	487400
1-Hexanol	15,69	868,3	110801710
3-Methylbutylacetat	15,87	875,7	93269185
2-Methylbutylacetat	15,93	878,0	14420904
Pentylacetat	16,70	911,2	1368631
Methylhexanoat	16,96	923,0	308428
Hexansäure	18,06	972,5	39881820
Methionol	18,24	981,0	1873195
Ethylhexanoat	18,58	996,2	59922449
Hexylacetat	18,87	1010,0	75619650
1-Octanol	20,08	1068,8	1608313
Octansäure	22,02	1167,3	66985136
Ethylactanoat	22,54	1194,5	88125380
Decansäure	25,36	1355,8	7048532

Tabelle 44: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Braeburn in den Apfelmostproben vor der Abschweifung (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
1-Propanol	7,82	590,2	9538062
2-Methyl-1-propanol	9,60	633,5	38549743
1-Butanol	10,53	667,1	11019765
Ethylpropanoat	11,77	712,5	456352
Propylacetat	11,83	715,1	2796320
3-Methyl-1-Butanol	12,51	740,8	481311649
2-Methyl-1-Butanol	12,56	742,7	77997030
Isobutansäure	12,84	753,4	3730298
1-Pentanol	13,22	768,1	1147468
2-Methylpropylacetat	13,37	773,7	5787590
Butansäure	13,51	779,0	9086211
2,3-Butanediol	13,78	789,3	3940742
Ethylbutanoat	14,04	798,9	9935347
Butylacetat	14,36	812,6	36448661
3-Methylbutansäure	14,83	832,2	2836483
2-Methylbutansäure	15,01	843,4	4508639
Ethyl-2-Methylbutanoat	15,25	849,6	628068
(Z)-3-Hexenol	15,42	856,6	1088322
5-Hexen-1-ol	15,51	860,8	312397
1-Hexanol	16,69	868,4	88317622
3-Methylbutylacetat	15,87	876,2	171706255
2-Methylbutylacetat	15,93	878,4	52977692
Butylpropanoat	16,57	905,7	635322
Pentylacetat	16,70	911,3	2846659
Hexansäure	18,08	973,3	57472745
Ethylhexanoat	18,59	996,3	80622313
Hexylacetat	18,88	1010,2	109579068
Ethyl-2-Hexenoat	19,55	1042,6	602876
1-Octanol	20,09	1068,8	947842
Octansäure	22,05	1168,4	147840293
Ethyl-octanoat	22,55	1194,7	154719099
Decansäure	25,39	1356,3	13439989

Tabelle 45: Auflistung aller Verbindungen der Sorte Golden Delicious in den Apfelmustproben vor der Abschweifung (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
1-Propanol	7,81	590,1	5696773
2-Methyl-1-propanol	9,60	633,7	66156909
1-Butanol	10,54	667,6	36150044
Propionsäure	11,56	704,7	703122
Ethylpropanoat	11,76	712,5	617939
Propylacetat	11,83	715,1	1847837
3-Methyl-1-Butanol	12,54	742,3	620455433
2-Methyl-1-Butanol	12,59	743,9	80610316
Isobutansäure	12,88	754,9	5610196
Ethyl-2-Methylpropanoat	13,02	760,1	363790
1-Pentanol	13,24	768,6	1555596
2-Methylpropylacetat	13,37	773,9	4226218
Butansäure	13,53	779,6	16631239
2,3-Butanediol	13,76	788,7	6497984
Ethylbutanoat	14,04	799,0	9992040
Butylacetat	14,37	812,9	71668467
3-Methylbutansäure	14,86	833,2	4109729
2-Methylbutansäure	15,10	843,4	3208298
Ethyl-2-Methylbutanoat	15,23	849,9	425803
(Z)-3-Hexenol	15,30	852,0	600354
1-Hexanol	15,69	868,5	114474042
3-Methylbutylacetat	15,87	875,8	105332702
2-Methylbutylacetat	15,93	878,1	19041662
Butylpropanoat	16,57	905,7	689535
Pentylacetat	16,70	911,3	2782634
Methylhexanoat	16,96	923,1	513547
Hexansäure	18,07	972,9	51978939
Methionol	18,24	980,8	1578220
Butylbutanoat	18,51	992,9	1780839
Ethylhexanoat	18,59	996,3	76143039
Hexylacetat	18,88	1010,1	87905783
Limonen	19,49	1039,7	280222
Ethyl-2-Hexenoat	19,55	1042,5	946139
1-Octanol	20,09	1068,9	1382397
Octansäure	22,00	1166,3	102963594
Ethyl-octanoat	22,54	1194,6	115138540
Decansäure	25,37	1355,0	4747232

Tabelle 46: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Kronprinz Rudolf in den Apfelmostproben vor der Abschweifung (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
1-Propanol	7,82	590,2	8370723
2-Methyl-1-propanol	9,62	634,1	69106152
1-Butanol	10,57	668,5	72640098
Propionsäure	11,57	705,0	817098
Ethylpropanoat	11,76	712,5	1043180
Propylacetat	11,83	715,1	1951691
3-Methyl-1-Butanol	12,55	742,3	628811685
2-Methyl-1-Butanol	12,59	744,1	99179425
Isobutansäure	12,89	755,5	5650604
1-Pentanol	13,24	768,6	5650604
2-Methylpropylacetat	13,38	773,9	5777791
Butansäure	13,63	783,4	5616631
2,3-Butanediol	13,76	788,6	4951596
Ethylbutanoat	14,04	799,0	13956252
Butylacetat	14,37	812,7	35584964
3-Methylbutansäure	14,88	834,5	4054616
2-Methylbutansäure	15,14	845,2	6058910
Ethyl-2-Methylbutanoat	15,25	849,7	628687
(Z)-3-Hexenol	15,42	857,0	335306
1-Hexanol	15,71	869,1	156220546
3-Methylbutylacetat	15,87	876,0	129170143
2-Methylbutylacetat	15,93	878,3	28412940
Butylpropanoat	16,58	905,6	359747
Pentylacetat	16,70	911,3	3827580
Methylhexanoat	16,96	923,1	622801
Hexansäure	18,06	972,6	49364344
Methionol	18,25	980,8	2147555
Ethylhexanoat	18,59	996,3	86918081
Hexylacetat	18,88	1010,4	125250602
Limonen	19,49	1039,7	469905
Ethyl-2-Hexenoat	19,55	1042,6	777622
1-Octanol	20,09	1068,8	1844816
Octansäure	22,01	1166,7	112571551
Ethyl-octanoat	22,55	1194,7	128846998
Decansäure	25,38	1355,0	5796265

Tabelle 47: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Maschanzker in den Apfelmustproben vor der Abschwefelung (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
1-Propanol	7,83	590,3	6576040
2-Methyl-1-propanol	9,61	634,0	62828289
3-Methylbutanal	10,28	657,9	254278
1-Butanol	10,55	667,7	28751441
Propionsäure	11,45	700,5	6808576
Ethylpropanoat	11,77	712,5	723567
Propylacetat	11,84	715,1	3451778
3-Methyl-1-Butanol	12,54	742,0	601483962
2-Methyl-1-Butanol	12,58	743,7	79143129
Isobutansäure	12,87	754,8	4522341
Ethylisobutanoat	13,01	760,0	370065
1-Pentanol	13,24	768,5	1432693
2-Methylpropylacetat	13,37	773,8	6022093
Butansäure	13,57	781,4	5985529
2,3-Butanediol	13,83	791,1	1745701
Ethylbutanoat	14,04	798,9	13318113
Butylacetat	14,37	812,8	62959547
3-Methylbutansäure	14,87	833,7	3686584
2-Methylbutansäure	15,11	843,7	3254036
Ethyl-2-Methylbutanoat	15,25	849,7	645697
(Z)-3-Hexenol	15,42	856,9	438068
1-Hexanol	15,70	868,7	115653301
3-Methylbutylacetat	15,88	876,1	152015174
2-Methylbutylacetat	15,93	878,3	29174411
Butylpropanoat	16,57	905,7	573047
Pentylacetat	16,70	911,2	2148779
Methylhexanoat	16,96	923,1	535738
Hexansäure	18,09	973,5	54909079
Methionol	18,25	981,1	1542577
Ethylhexanoat	18,59	996,1	92866196
Hexylacetat	18,88	1010,2	99302766
2-Ethylhexanol	19,25	1028,1	249250
Limonen	19,49	1040,1	214353
Ethyl-2-Hexenoat	19,55	1042,6	855234
1-Octanol	20,08	1068,8	1529233
Octansäure	21,99	1165,7	91304066
Ethyl-octanoat	22,55	1194,7	129302586
Decansäure	25,37	1354,9	3421927

Die abgeschwefelten, fertigen Mostproben wurden ebenfalls mit einer Fünffachbestimmung in randomisierter Reihenfolge mittels GC-MS gemessen. Die Aromaprofile der fünf untersuchten Apfelsorten unterscheiden sich kaum voneinander, wie in Abbildung 41 dargestellt.

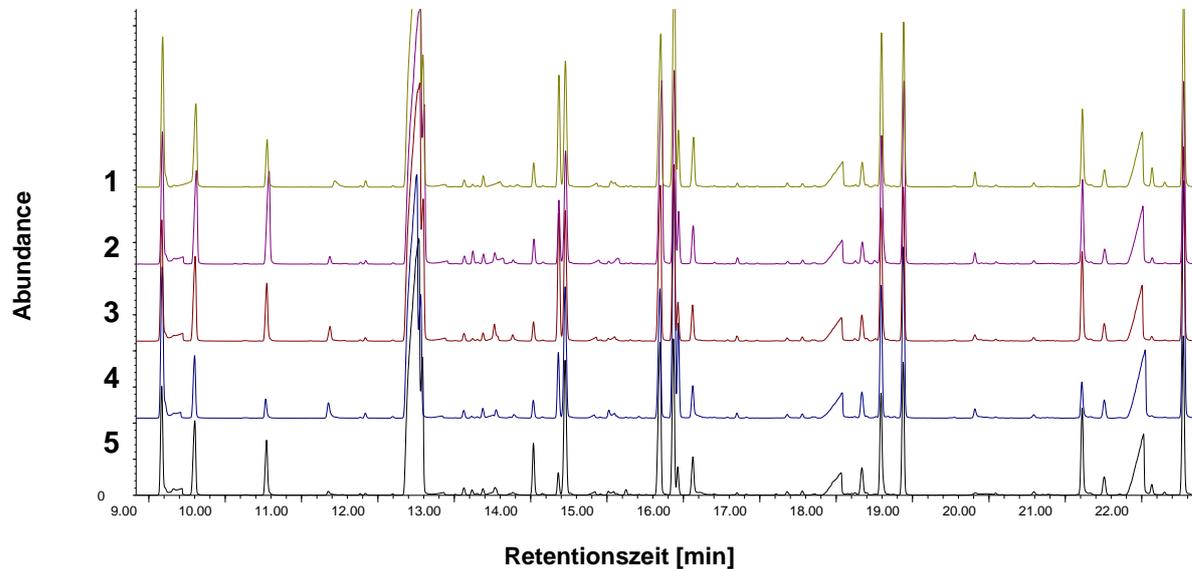


Abbildung 41: Überlagerte Aromaprofile von den fünf fertigen Apfelmustproben (Maschanzker = 1; Kronprinz Rudolf = 2; Golden Delicious = 3; Braeburn = 4; Bohnapfel = 5)

Eine Auflistung aller Aromastoffe, die in den Apfelmustproben der Sorte Bohnapfel gefunden wurden, ist in Tabelle 48 mit der jeweiligen Retentionszeit, der Peakfläche und dem RI dargestellt. Von der Sorte Braeburn ist die Auflistung aller Verbindungen in Tabelle 49 dargestellt, von der Sorte Golden Delicious in Tabelle 50, von der Sorte Kronprinz Rudolf in Tabelle 51 und von der Sorte Maschanzker in Tabelle 52.

Tabelle 48: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Bohnapfel in den Apfelmustproben (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
1-Propanol	7,77	589,6	5202793
2-Methyl-1-propanol	9,57	632,5	49042994
1-Butanol	10,51	666,5	33126999
Ethylpropanoat	11,74	711,6	590730
Propylacetat	11,81	714,3	728179
3-Methyl-1-Butanol	12,51	740,6	602982505
2-Methyl-1-Butanol	12,55	742,5	88263436
1-Pentanol	13,21	767,4	2612701
Butansäure	13,52	779,7	6824708
2,3-Butanediol	13,76	788,5	2549683
Ethylbutanoat	14,01	798,0	21696351
Butylacetat	14,30	815,0	8184689
3-Methylbutansäure	14,82	834,7	4515275
2-Methylbutansäure	15,06	843,6	2526824
Ethyl-2-Methylbutanoat	15,22	867,4	2474010
5-Hexen-1ol	15,49	870,0	398603
1-Hexanol	15,67	874,7	115049895
3-Methylbutylacetat	15,85	877,1	75709951
2-Methylbutylacetat	15,90	885,9	10628087
Hexansäure	18,04	975,7	48757335
Methionol	18,23	984,0	1620396
Ethylhexanoat	18,56	1009,0	50131457
Hexylacetat	18,56	1055,0	68853183
Limonen	19,46	1038,0	693110
1-Octanol	20,06	1070,0	1390693
Octansäure	21,99	1172,0	147754847
Ethyl-octanoat	22,52	1216,1	55267732
Decansäure	25,37	1355,1	24123656

Tabelle 49: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Braeburn in den Apfelmustproben (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
1-Propanol	7,80	589,9	9282131
2-Methyl-1-propanol	9,58	632,8	37947373
1-Butanol	10,51	666,5	10533167
Ethylpropanoat	11,75	712,0	516757
Propylacetat	11,82	714,6	3001869
3-Methyl-1-Butanol	12,49	740,2	483471294
2-Methyl-1-Butanol	12,54	742,1	83333552
1-Pentanol	13,21	767,5	1032665
Butansäure	13,50	778,6	4224613
2,3-Butanediol	13,55	779,0	4827900
Ethylbutanoat	14,02	798,3	11603087
Butylacetat	14,53	812,1	40477349
3-Methylbutansäure	14,83	834,2	3316054
2-Methylbutansäure	15,11	843,7	5687268
Ethyl-2-Methylbutanoat	15,23	849,2	728283
(Z)-3-Hexenol	15,40	856,2	1150581
1-Hexanol	15,68	868,0	99263919
3-Methylbutylacetat	15,87	875,7	193263833
2-Methylbutylacetat	15,92	877,9	58198209
Heptanal	16,47	901,2	428738
Hexansäure	18,07	973,2	63529729
Ethylhexanoat	18,57	995,8	80692706
Hexylacetat	18,87	1009,8	123036448
Limonen	19,47	1039,1	830484
Ethyl-2-Hexanoat	19,53	1041,9	703441
1-Octanol	20,07	1067,0	1413004
Octansäure	22,06	1169,5	179443649
Ethyl-octanoat	22,30	1181,8	50904162
Decansäure	25,40	1356,6	19926131

Tabelle 50: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Golden Delicious in den Apfelmostproben (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
1-Propanol	7,77	589,6	5438513
2-Methyl-1-propanol	9,57	632,5	60303709
1-Butanol	10,51	666,7	36396238
Ethylpropanoat	11,74	711,7	559152
Propylacetat	11,81	714,3	1659192
3-Methyl-1-Butanol	12,51	740,9	629455913
2-Methyl-1-Butanol	12,56	742,8	90845417
Isobutansäure	12,87	754,6	6379325
1-Pentanol	13,21	767,5	1400384
Butansäure	13,58	781,7	7522657
Ethylbutanoat	14,01	798,0	9624533
Butylacetat	14,34	811,9	69571001
3-Methylbutansäure	14,83	832,4	4561105
2-Methylbutansäure	15,07	842,4	4665664
(Z)-3-Hexenol	15,29	851,4	910167
1-Hexanol	15,67	867,6	122458409
3-Methylbutylacetat	15,85	874,8	102825212
2-Methylbutylacetat	15,90	877,2	17980967
Hexansäure	18,04	971,9	38926774
Methionol	18,24	980,5	1065828
Ethylhexanoat	18,49	992,0	34676119
Hexylacetat	18,57	995,4	78415051
Limonen	19,46	1038,6	1647721
Ethyl-2-Hexanoat	19,52	1041,5	842693
1-Octanol	20,06	1067,7	1805468
Octansäure	22,03	1167,8	156828681
Ethyl-octanoat	22,53	1193,6	56926529
Decansäure	25,39	1356,0	26898712

Tabelle 51: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Kronprinz Rudolf in den Apfelmostproben (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
1-Propanol	7,79	589,9	7767882
2-Methyl-1-propanol	9,59	633,2	70516684
1-Butanol	10,55	667,7	71341734
Ethylpropanoat	11,75	711,8	814837
Propylacetat	11,82	714,5	1506677
3-Methyl-1-Butanol	12,52	741,4	600220721
2-Methyl-1-Butanol	12,57	743,2	104064046
Isobutansäure	12,88	755,0	6446305
1-Pentanol	13,22	767,7	6279575
Butansäure	13,63	783,4	12677299
Ethylbutanoat	14,02	798,3	11573257
Butylacetat	14,44	815,7	74549019
3-Methylbutansäure	14,87	833,7	5219500
2-Methylbutansäure	15,14	845,1	7104954
Ethyl-2-Methylbutanoat	15,23	849,0	626495
(Z)-3-Hexenol	15,29	851,6	1022788
1-Hexanol	15,69	868,2	159070950
3-Methylbutylacetat	15,86	875,2	107034024
2-Methylbutylacetat	15,92	877,6	21509695
Hexansäure	18,06	972,6	44564962
Methionol	18,24	980,6	1570824
Ethylhexanoat	18,57	995,6	65972919
Hexylacetat	18,86	1009,5	103609622
Limonen	19,47	1039,0	1128881
1-Octanol	20,57	1092,4	3932050
Octansäure	22,04	1168,4	162858598
Ethyl-octanoat	22,53	1193,7	68898048
Decansäure	25,39	1356,1	29345642

Tabelle 52: Auflistung aller identifizierten Verbindungen der Sorte Maschanzker in den Apfelmustproben (dargestellt als Flächen aus den HS-SPME GC-MS Chromatogramm, TIC, n = 5)

Verbindung	Retentionszeit	RI	Area
1-Propanol	7,79	589,9	6522488
2-Methyl-1-propanol	9,58	632,8	60518350
1-Butanol	10,52	666,7	30021495
Ethylpropanoat	11,74	711,6	557794
Propylacetat	11,81	714,3	2589013
3-Methyl-1-Butanol	12,51	740,8	611142948
2-Methyl-1-Butanol	12,55	742,6	82925316
Isobutansäure	12,84	753,6	5321379
1-Pentanol	13,21	767,6	1357880
Butansäure	13,54	780,1	8422487
Ethylbutanoat	14,02	798,0	10335564
Butylacetat	14,34	811,8	50397653
3-Methylbutansäure	14,82	831,9	4370938
2-Methylbutansäure	15,07	842,2	1607585
(Z)-3-Hexenol	15,28	851,2	978221
1-Hexanol	15,67	867,4	118664004
3-Methylbutylacetat	15,85	874,9	120205874
2-Methylbutylacetat	15,90	877,2	21120964
Hexansäure	18,04	971,5	48204967
Methionol	18,25	984,1	28393890
Ethylhexanoat	18,57	995,3	71676262
Hexylacetat	18,58	1009,1	81559152
Limonen	19,47	1038,9	816899
1-Octanol	20,07	1067,9	2188605
Octansäure	22,02	1167,4	150015406
Ethylactanoat	22,25	1193,4	75884499
Decansäure	25,38	1355,4	16693534

Die multivariate Datenauswertung der Apfelmustdaten wurde mittels MasStat® durchgeführt. Die Abbildung 42 zeigt, dass die Sorte Braeburn sich räumlich distanziert von den anderen Sorten in den fertigen Mostproben und in den Proben vor der Abschwefelung anordnet, dies lässt auf Änderungen bei der Aromastoffzusammensetzung schließen. Die Sorten Kronprinz Rudolf, Golden Delicious, Bohnapfel und Maschanzker sind dicht aneinander angeordnet. Die Aromaprofile der Mostproben bestätigen, dass es Unterschiede bei der Zusammensetzung und bei den Konzentrationen der flüchtigen Verbindungen gibt.

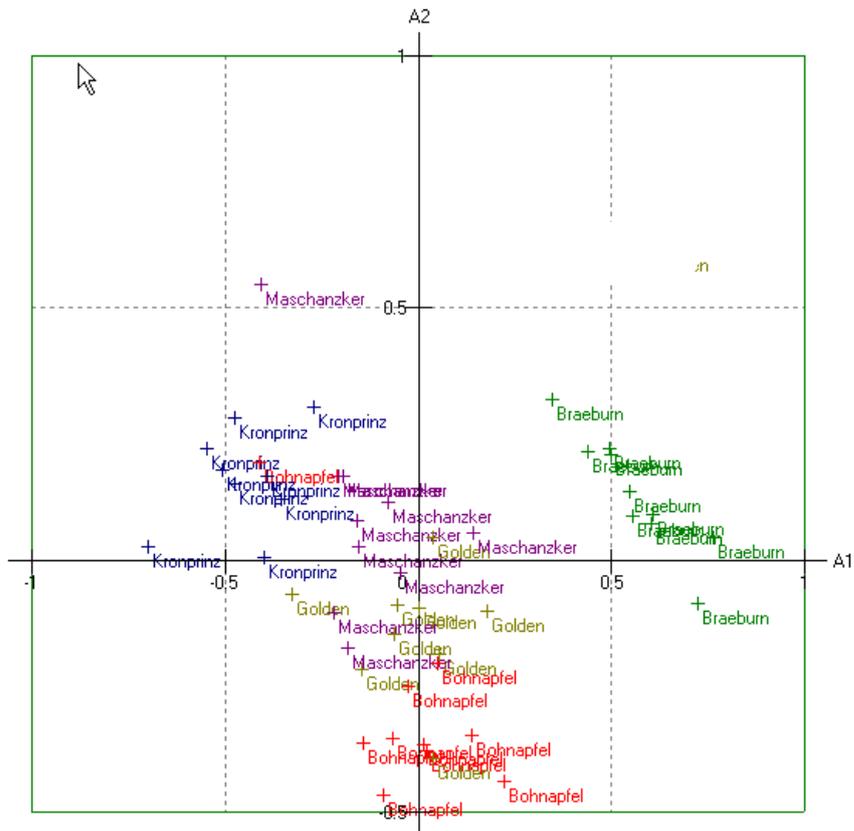


Abbildung 42: Multivariate Datenauswertung der Mostproben mittels MasStat®

6.4 GC-O und Detection Frequency der Streuobstsorten

Um die aromarelevanten, flüchtigen Verbindungen zu bestimmen, wurden die pasteurisierten Apfelsaftproben der alten Streuobstsorten (Bohnapfel, Kronprinz Rudolf und Maschankker) mittels GC-O untersucht. Diese Methode bietet einen zusätzlichen Detektor für geruchsaktive Verbindungen, die menschliche Nase. Es wurde eine Kombination von den beiden Techniken, Detection Frequency und AEVA, eingesetzt.

In Tabelle 53 sind die geruchsaktiven, identifizierten Verbindungen der Sorte Bohnapfel aufgelistet:

Tabelle 53: Auflistung der geruchsaktiven Verbindungen der Sorte Bohnapfel

Verbindung	RI [HP 5]	Geruchseindrücke
Hexanal	800	grün, frisch geschnittenes Gras
nicht identifiziert	804	Apfel Frucht, grün
Butylacetat	810	fruchtig, grüner Apfel, „süß“
Hexanol	853	„süß“, grün, künstlich
(E)-2-Hexenal	855	fruchtig, reifer Apfel, „süß“
2-Methylbutylacetat	882	fruchtig, leicht apfelig
nicht identifiziert	884	Plastiknote, Marzipan
Methional	913	gekochte Kartoffeln, Brot
nicht identifiziert	954	künstlich, „süß“, pickig
Heptanol	962	Kaugummi, „süßlich“, Gras
nicht identifiziert	982	Pilze, alter Kleiderschrank, Schwammerl
nicht identifiziert	989	Waldboden, Schimmel, feucht
Methylhexanoat	999	fruchtig, orange, würzig
Octanal	1007	modrig, erdig, „süßlich“
nicht identifiziert	1142	„süßlich“, fruchtig, leicht floral
Hexylbutanoat	1185	leicht fruchtig, floral
Butylhexanoat	1192	fruchtig, „süß“, künstlich
Ethyl octanoat	1196	süßlich, faul
nicht identifiziert	1217	floral, blumig, citrus
Hexylhexanoat	1371	Apfelmus, floral
β-Damascenon	1385	Apfelmus, „süß“, blumig, Honig
Ethyldecanoat	1403	Zuckerl, „süß“, blumig, künstlich

Ein Olfaktogramm wird mittels der erhaltenen Datensätze ermittelt und dieses der Sorte Bohnapfel ist in Abbildung 43 dargestellt. Die ODP Datensätze der einzelnen Prüfer wurden anhand eines miteinander kombiniert und anschließend daraus die Diagramme erstellt. Die Retentionsindices der Verbindungen, die wesentlich zum Aromaprofil des Apfelsaftes beitragen, lassen sich mit dieser Art bestimmen.

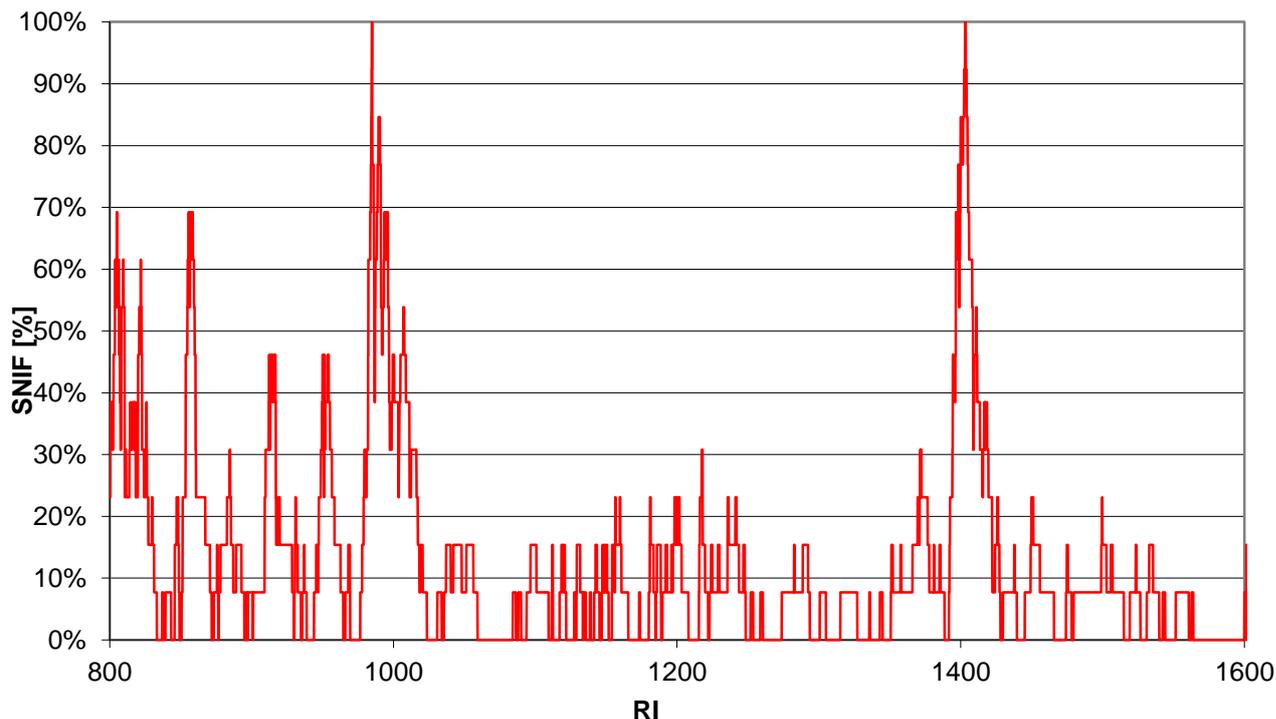


Abbildung 43: GC-Olfaktogramm von der Sorte Bohnapfel

Weiters wurde auch die Sorte Maschanzker auf ihre geruchsaktiven Verbindungen untersucht, die identifizierten Verbindungen sind in Tabelle 54 aufgelistet.

Tabelle 54: Auflistung der geruchsaktiven Verbindungen der Sorte Maschanzker

Verbindung	RI [HP 5]	Geruchseindrücke
Hexanal	801	Brennessel, grasig, grüner Apfel
nicht identifiziert	806	fruchtig, „süß“
Butylacetat	810	fruchtig, grüner Apfel, „süß“
(E)-2-Hexenal	844	grüner Apfel, fruchtig
Hexanol	851	fruchtig, grüner Apfel, „süß“
2-Hexenal	855	„süß“, künstlich, Apfel, Marille
(Z)-3-Hexenol	859	Gras, grün
2-Methylbutylacetat	880	Marzipan, leicht apfelig, honigartig, „süß“
Heptanal	903	verbrannt, Plastiknote, modrig
Methional	912	gekochte Kartoffeln, Brot, modrig
nicht identifiziert	983	Pilze, alter Kleiderschrank, Schwammerl
nicht identifiziert	988	Waldboden, Schimmel, feucht
nicht identifiziert	1061	fruchtig, „süßlich“
nicht identifiziert	1103	Suppe, Schokonoten
nicht identifiziert	1121	„süß“, honigartig
nicht identifiziert	1144	„süßlich“, blumig, floral, Veilchen
nicht identifiziert	1237	stechend, verbrannt
Hexylhexanoat	1381	Apfel, floral, „süßlich“
Ethyldecanoat	1400	„süß“, frisch, Orange, Apfelmus
1-Decanol	1403	Birne, grasig, grün, floral, fruchtig, „süß“

Zusätzlich wurde ein Olfaktogramm (Abbildung 44) der Sorte Maschanzker erstellt.

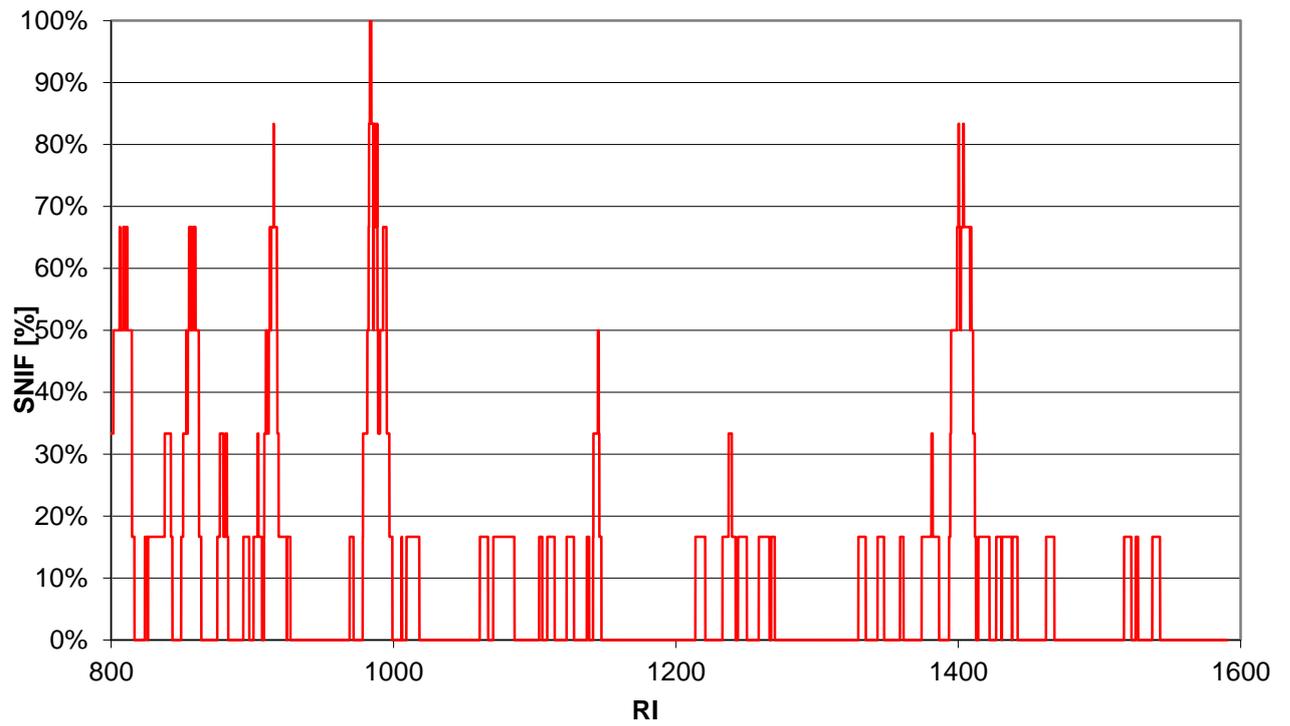


Abbildung 44: GC-Olfaktogramm von der Sorte Maschanzker

Zum Abschluss der GC-O Messungen wurden die geruchsaktiven Verbindungen der Sorte Kronprinz Rudolf ermittelt. Tabelle 55 listet die ermittelten Verbindungen auf.

Tabelle 55: Auflistung der geruchsaktiven Verbindungen der Sorte Kronprinz Rudolf

Verbindung	RI [HP 5]	Geruchseindrücke
Ethylbutanoat	804	Gras, grüner Apfel
nicht identifiziert	807	fruchtig, „süß“, künstlich
Butylacetat	812	fruchtig, „süß“, Kronprinz
Butansäure	818	modrig, „süß“, grün, künstlich
Ethyl-2-methylbutanoat	850	Apfel, beerig- Erdbeere, Brombeere, „süß“
Hexanol	852	fruchtig, grüner Apfel, „süß“
(E)-2-Hexenal	855	„süß“, künstlich, Apfel, Marzipan
nicht identifiziert	869	„süßlich“, Brotteig
Isoamylacetat	873	„süß“, fruchtig
2-Methylbutylacetat	882	Apfel, „süß“, grün
nicht identifiziert	898	modrig, alter Kleiderschrank
Heptanal	903	citral, herb, unangenehm
Methional	910	gekochte Kartoffeln, Brot, modrig
Benzaldehyd	955	„süß“, fruchtig
Methionol	980	erdig, staubig
nicht identifiziert	981	Pilze, alter Kleiderschrank, Schwammerl
nicht identifiziert	986	Waldboden, Schimmel, Most, erdig
nicht identifiziert	999	Schimmel, nass, leicht modrig, metallisch
Ethylhexanoat	1003	„süßlich“, fruchtig, künstlich
Hexylacetat	1014	Anis, „süß“, faul, würzig
nicht identifiziert	1064	Holunder, angebrannt, stechend
nicht identifiziert	1124	Papier, trocken, staubig, verbrannt
nicht identifiziert	1144	Kräuterextrakt, Almdudler, „süß“
nicht identifiziert	1196	Most, schwefelig
Decanal	1211	schwach grün, „süß“
nicht identifiziert	1215	floral, „süß“, leicht Plastik
Hexylmethylbutanoat	1235	überreifer Apfel
Benzothiazol	1238	stechend, verbrannt
Hexylhexanoat	1381	Apfel, floral, „süßlich“
Ethylphenylacetat	1253	„süßlich“, cremig
Decadienal	1293	leicht schweißig
nicht identifiziert	1347	„süßlich“, künstlich
Hexylhexanoat	1377	Orange, „süß“
Butyloctanoat	1391	Marmelade, fruchtig, traubenartig
Ethyldecanoat	1400	„süß“, Orange, Apfelmus
1-Decanol	1403	Birne, grasig, grün, floral, fruchtig, „süß“
β- Damascenon	1418	Honignote, Apfelmus, „süß“

Ein Olfaktogramm (Abbildung 45) wurde ebenfalls von der Sorte Kronprinz Rudolf erstellt.

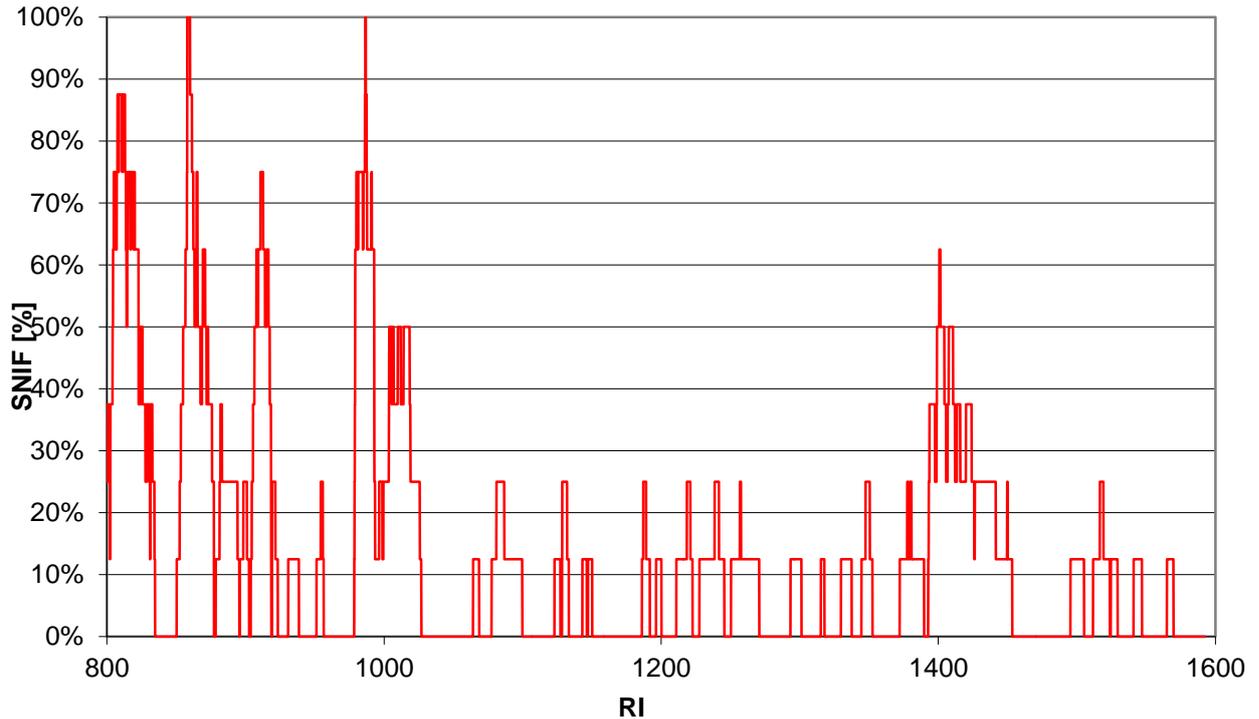


Abbildung 45: GC-Olfaktogramm von der Sorte Kronprinz Rudolf

Die Verbindungen, die am häufigsten wahrgenommen wurden, wurden herangezogen zur Erstellung eines Aromabaumes. Die olfaktorischen Eigenschaften dieser Verbindungen und die chemischen Namen wurden miteinbezogen, um einen Charakter des Apfelsaftes der alten Streuobstapfelsorten (Abbildung 46) zu erhalten.

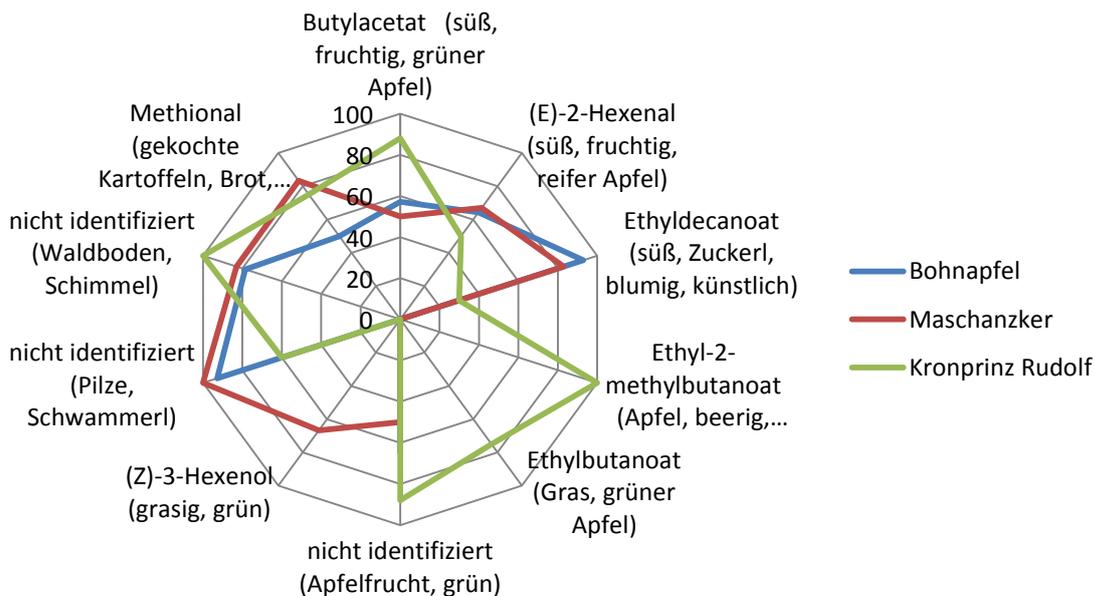


Abbildung 46: Aromabaum aller drei alten Streuobstsorten

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Sorte Maschanzker (20) am wenigsten und dass die Sorte Kronprinz Rudolf (37) die meisten geruchsaktive Verbindungen aufweisen. Die Sorte Bohnapfel beinhaltet 22 geruchsaktive Verbindungen.

Der Vergleich der identifizierten, geruchsaktiven Verbindungen mit den massenspektrometrischen Analysen zeigt, dass es sortentypische Verbindungen gibt, beispielsweise wird die Sorte Kronprinz Rudolf von den Verbindungen Ethyl-2-methylbutanoat und Ethylbutanoat geprägt. Diese Verbindungen sind auch mit der sensorischen Analyse bestätigt worden, da hier die Sorte mit einem beerigen, apfelartigen Aroma beschrieben wurde. Auch bei den anderen zwei alten Streuobstsorten korrelieren die Ergebnisse der geruchsaktiven, identifizierten Verbindungen mit den sensorischen Analysen; beispielsweise wurde für die Sorte Maschanzker bei den GC-MS Analysen hohe Konzentrationen von 2-Methylbutylacetat nachgewiesen und der Vergleich mit den GC-O Ergebnissen zeigt, dass diese Verbindung auch als geruchsaktiv identifiziert wurde.

7 Zusammenfassung

Die Identifizierung der Aromastoffe der untersuchten, alten Apfelsorten und der Vergleich mit den Plantagebausorten waren ein Ziel dieser Arbeit. Da die alten Apfelsorten und die daraus hergestellten Produkte wieder mehr an Bedeutung gewinnen, dient diese Arbeit zur Basischarakterisierung der unterschiedlichen Apfelaromen und eine Grundlage für weiterführende Arbeiten.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigten, dass es signifikante sortenabhängige Unterschiede bei den Aromastoffen gibt. Es gibt Verbindungen (wie 1-Hexanol, 1-Butanol, 2-Methyl-1-butanol, Butylacetat, Hexylacetat), die als relevant für das Aroma erachtet werden und in unterschiedlichen Mengen in allen Apfel(-säften) vorliegen. Doch auch Verbindungen mit niedrigem Aroma können zum Aroma der Saftproben beitragen, beispielsweise die Verbindung β -Damascenon. Außerdem konnten Verbindungen ermittelt werden, die deutlich zum Aroma in den Saftproben beitragen, doch im unversehrten Apfel noch nicht nachweisbar sind; wie die Aromastoffe Hexanal und (*E*)-Hexenal.

Die geruchsaktiven Verbindungen der alten Streuobstsorten, die mittels GC-O Messungen, festgestellt wurden, korrelieren mit den massenspektrometrischen und sensorischen Analysen. So konnte das typische Aroma der Sorte Kronprinz Rudolf auf Konzentrationen von fruchtig, beerig riechenden Estern wie Ethylbutanoat und Ethyl-2-methylbutanoat ermittelt werden. Da diese Ester in den anderen sortenreinen Säften nicht oder nur in sehr geringen Konzentrationen gefunden wurden, sind sie charakteristisch für die Sorte Kronprinz Rudolf. Die Sorte Maschanzker bekommt ihre fruchtigen-grasig-grünen-wenig sauren Noten von den Aromastoffen Hexanal, Methional, (*Z*)-Hexenol und (*E*)-Hexenal.

Weiters konnte gezeigt werden, dass im Zuge der Saftverarbeitung der Pressvorgang die größten Veränderungen im Aroma bewirkt. In relativ geringem Ausmaß verändern sich die Aromaprofile von den Rohsäften und den entschleimten Säften, wohingegen der Schritt Pasteurisation eine weitere deutliche Aromaveränderung mit sich bringt. Der Vergleich aller Aromaprofile, von unversehrtem Apfel bis zum pasteurisierten Saft, zeigt, dass das Aroma der unversehrten Frucht die bestimmende Komponente für das Aroma des Endproduktes darstellt.

8 Literaturverzeichnis

- AIJN. (2012). *AIJN Fruit Report 2012*. B-1040 Brussels.
- Acree, T. E., & Barnard, J. (1994). Gas Chromatography-Olfactometry and Charm Analysis. In H. Maarse & D. G. van der Heij (Eds.), *Trends in Flavour Research* (pp. 211–220). Elsevier, England.
- Arthur, C. L., & Pawliszyn, J. (1990). Solid phase microextraction with thermal desorption using fused silica optical fibers. *Anal. Chem.*, 62(19), 2145–2148.
- Ashurst, P. R. (1995). Production and Packaging of Non-carbonated Fruit Juices and Fruit Beverages. *Blackie Academic & Professional: Glasgow*.
- Beech, F. W., & Davenport, R. R. (1970). *The role of yeast in cidermaking*. (A. H. Rose & I. S. Harrison, Eds.) (pp. 73–146). London: Academic Press.
- Belitz, H.-D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry* (4th ed., p. 1070). Springer Verlag .
- Christensen, L. P., Edelenbos, M., & Kreutzmann, S. (2007). Fruits and Vegetables of moderate climate. In R. G. Berger (Ed.), *Flavours and Fragrances Chemistry, Bioprocessing and Sustainability* (pp. 135–188). Springer Verlag.
- Daepf, H.-U. (1970). Beitrag zur analytischen und sensorischen Qualitäts-Bestimmung von Apfelsäften. Eidg. Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau.
- Delahunty, C. M., Eyres, G., & Dufour, J.-P. (2006). Gas chromatography-olfactometry. *Journal of Separation Science*, 29(14), 2107–2125. doi:10.1002/jssc.200500509
- Diaconu, M. (2011). *Sensorisches Labor Wien: urbane Haptik- und Geruchsforschung* (p. 668). LIT Verlag Münster.
- Dixon, J., & Hewett, E. W. (2000). Factors affecting apple aroma/flavour volatile concentration: A Review. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 28(3), 155–173.
- Duerr, P. (1981). *The composition of apple juice aroma and its correlation to Sensory Data, in Criteria of Food Acceptance* (pp. 365–369). Zürich: Forster Verlag AG.
- EC. (2003). *European Commission Regulation 1425/2003 amending Regulation (EC) No 466/2001 as regards patulin* (p. L203/3).
- Eisenbrand, G., & Schreier, P. (2006). *Römpp-Lexikon Lebensmittelchemie*.
- Fischer, M. (2007). Streuobst – Betreiberkonzepte und Sortenempfehlung. *Erwerbs-Obstbau*, 49(4), 141–147.
- Gardiner, S. E., Bassett, H. C. M., Madie, C., & Noiton, D. A. M. (1996). Isozyme, Randomly Amplified Polymorphic DNA (RAPD), and Restriction Fragment-length Polymorphism (RFLP) Markers Used to Deduce a Putative Parent for the 'Braeburn' Apple. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 121(6), 996–1001.

- Goffeau, A., Barrell, B. G., Bussey, H., Davis, R. W., Dujon, B., Feldmann, H., Galibert, F., et al. (1996). Life with 6000 Genes. *Science*, 274(5287), 546–567. doi:10.1126/science.274.5287.546
- Grosch, W. (1993). Detection of potent odorants in foods by aroma extract dilution analysis. *Trends in Food Science & Technology*, 4(3), 68–73. doi:10.1016/0924-2244(93)90187-F
- Herzog, F. (1998). Streuobst: a traditional agroforestry system as a model for agroforestry development in temperate Europe. *Agroforestry Systems*, 42(1), 61–80.
- Hey, M., Kürbel, P., Hopf, I., & Dietrich, H. (2007). Untersuchung sortenreiner Apfelsaftaromen. *Flüssiges Obst*, 02, 62–67.
- Hildebrandt, G. (2008). *Geschmackswelten: Grundlagen der Lebensmittelsensorik* (p. 244).
- Huber, J., & Suske, W. (2012). *Erarbeitung von Auswertungen, Schlussfolgerungen und konkreten Maßnahmenvorschlägen zu „SLK“ und „Streuobst“ für das Programm Ländliche Entwicklung 2014+* (p. 73). Wien.
- Junker, R., Prinz, C., & Hagemann, S. (2011). Saftige Neuigkeiten. *Flüssiges Obst*, 5, 178–181.
- Kajtna, B., & Holler, C. (2012). Streuobstbestände und Bewirtschaftung in Österreich - Evaluierung und Bewertung der Streuobstförderung. *Obstbau*.
- Karlsen, A. M., Aaby, K., Sivertsen, H., Baardseth, P., & Ellekjør, M. R. (1999). Instrumental and sensory analysis of fresh Norwegian and imported apples. *Food Quality and Preference*, 10, 305–314.
- Kern, R. (2006). *Bedeutung und Wirtschaftlichkeit des Streuobstbaus in Österreich*. Universität für Bodenkultur Wien.
- Kishimoto, M., & Goto, S. (1995). Growth temperatures and electrophoretic karyotyping as tools for practical discrimination of *Saccharomyces bayanus* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of General and Applied Microbiology*, 41(3), 239–247.
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). *Sensory Evaluation of food- Principles and practices* (Second.). Springer Verlag.
- Lucke, R. (1992). *Obstbäume in der Landwirtschaft* (p. 300). Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- McNair, H. M., & Miller, J. M. (2011). *Basic Gas Chromatography*.
- Musetti, A., & Fava, P. (2012). Sensory effects of hexanal vapor on fresh-cut slices of golden delicious apples. *Journal of food science*, 77(9), S314–8. doi:10.1111/j.1750-3841.2012.02836.x
- März, L. (2011). *Das Apfelhandbuch: Wissenswertes rund um den Apfel* (p. 176). Diplomica Verlag.
- Naumov, G. ., Nguyen, H.-V., Naumova, E. ., Michel, A., Aigle, M., & Gaillardin, C. (2001). Genetic identification of *Saccharomyces bayanus* var. *uvarum*, a cider-fermenting yeast. *Int. J. Food Microbiol.*, 65(3), 163–171.

- Nelson, D., & Cox, M. (2011). *Lehninger Biochemie* (p. 1668). Springer.
- Paillard, N. M. M. (1990). *The flavour of apples, pears and quinces*. (A. J. MacLeod, Ed.) (pp. 1–41). Amsterdam: Elsevier Science Publishing Company Inc. .
- Pawliszyn, J. (2011). *Handbook of Solid Phase Microextraction*. Elsevier.
- Plutowska, B., & Wardencki, W. (2007). Aromagrams – Aromatic profiles in the appreciation of food quality. *Food Chemistry*, *101*(2), 845–872.
- Pour Nikfardjam, M., & Koppmann, T. (2010). Apfelsaftaroma: Trüber Saft is klarem überlegen. *Flüssiges Obst*, *12*, 510–515.
- Pour Nikfardjam, M., & Maier, D. (2010). Aromastoffe in Apfelsäften und ihre Bedeutung für die Sensorik. *Flüssiges Obst*, *3*, 118–121.
- Reineccius, G. (2006). Flavor Formation in Fruits and Vegetables . *Flavor Chemistry and Technology, Second Edition* (pp. 73–101). Taylor & Francis Group, LLC.
- Ribereau-Gayon, P. (2006). *Handbook of Enology: The Chemistry of Wine : Stabilization and Treatments* (p. 451).
- Rizzolo, A., Polesello, A., & Teleky-Vámosy, G. (1989). CGC/Sensory analysis of volatile compounds developed from ripening apple fruit. *Journal of High Resolution Chromatography*, *12*(12), 824–827. doi:10.1002/jhrc.1240121214
- Rowan, D. D., Lane, H. P., Allen, J. M., Fielder, S., & Hunt, M. B. (1996). Biosynthesis of 2-Methylbutyl, 2-Methyl-2-butenyl, and 2-Methylbutanoate Esters in Red Delicious and Granny Smith Apples using Deuterium-labeled Substrates. *J.Agric.Food Chem.*, *44*, 3276–3285.
- Schobinger, U. (2001). *Frucht- und Gemüsesäfte*. Ulmer: Stuttgart, 2001.
- Schobinger, U., & Dürr, P. (1974). Oxidationserscheinungen bei der Enzymatisierung von Apfelmaische. *Flüss. Obst* , *41*, 454–459.
- Siegmund, B. (2008). *Die sensorische Qualität von Fruchtsäften und -nektaren*. Technische Universität.
- Stallmann, J., & Jahner, W. (2003). *Geräte zur Qualitätskontrolle*. Geisenheim.
- Statistik Austria. (2012). *Obsternte 2012- Endgültiges Ergebnis*. Wien.
- Steiermark, L. (2007). Pressemitteilung- Obstbau in der Steiermark. Retrieved July 3, 2013, from http://www.politik.steiermark.at/cms/dokumente/11622059_70169934/a7160ddd/Zahlen_und_Fakten_Obstbau_28102011.pdf
- Takeoka, G., Buttery, R. G., & Ling, L. (1996). Odour Thresholds of Various Branched and Straight Chain Acetates. *LWT - Food Science and Technology*, *29*(7), 677–680.
- Tressler, D. K. . J., M. A.,. (1983). *Fruit and Vegetable Juice Processing Technology*. Publishing Company: Westport, Connecticut.

- Versari, A., Parpinello, G. P., & Mattioli, A. U. (2007). Survey of Patulin Contamination in Italian Apple Juices from Organic and Conventional Agriculture. *J. Food Technol.*, 5(2), 143–146.
- Wild, A., & Schmitt, V. (2012). *Biochemische und Physiologische Versuche Mit Pflanzen: Für Studium und Unterricht Im Fach Biologie* (p. 443). Springer DE.
- Wilkes, J. G., Conte, E. D., Kim, Y., Holcomb, M., Sutherland, J. B., & Miller, D. W. (2000). Sample preparation for the analysis of flavors and off-flavors in foods. *Journal of chromatography. A*, 880(1-2), 3–33.
- Yahia, E. M. (1994). *Horticultural Reviews*. (J. Janick, Ed.) (16th ed., pp. 197–233). Oxford, UK: John Wiley & Sons, Inc.
- van Den Dool, H., & Dec. Kratz, P. (1963). A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas—liquid partition chromatography. *Journal of Chromatography A*, 11(null), 463–471. doi:10.1016/S0021-9673(01)80947-X

9 Anhang

Profilprüfung

Prüfaufgabe:

Auf Ihrem Prüfplatz finden *Apfelsaftproben*.

Prüfanleitung:

Verkosten Sie die Proben nacheinander und versuchen Sie, die Proben hinsichtlich der unten beschriebenen Attribute quantitativ zu beurteilen. Tragen Sie Ihr Urteil zu jeder Probe auf der entsprechenden Skala ein. Benutzen Sie dazu bitte mehr als nur den mittleren Bereich der Skala!

Probe 317:

süß:

schwach stark

fruchtig-reif:

schwach stark

sauer:

schwach stark

floral:

schwach stark

apfelig- grün:

schwach stark

adstringierend:

schwach stark

Abbildung 47: Beispiel- Protokoll für eine Profilprüfung

Quantitative deskriptive Analyse

Name:	
Prüfer Nr.:	

Prüfaufgabe: Auf Ihrem Prüfplatz finden sich *Apfelsaftproben*.
Prüfanleitung: Verkosten Sie die Proben nacheinander und versuchen Sie, die Proben hinsichtlich der unten beschriebenen Attribute quantitativ zu beurteilen. Tragen Sie Ihr Urteil zu jeder Probe auf der entsprechenden Skala ein. Benutzen Sie dazu bitte mehr als nur den mittleren Bereich der Skala!

Probe 513:

süß:

schwach stark

sauer:

schwach stark

floral:

schwach stark

grün:

schwach stark

beerig:

schwach stark

Koch(Honig-)noten:

schwach stark

Apfelreife:

unreif hoch(voll-)reif

Abbildung 48: Beispiel- Protokoll für eine Quantitative Deskriptive Analyse (QDA)

Rangordnungsprüfung

Erkennen von Intensitätsunterschieden

Prüfer – Name	
Prüfer-Nr.	
Datum	

Prüfanleitung: Die Prüfproben sind nach steigender Intensität der Säure im Produkt zu ordnen. Rückkosten ist erlaubt!

<i>Fruchtsaft</i>	am schwächsten	→	→	am stärksten
Apfelsaft				

Prüfanleitung: Ordnen Sie bitte die Prüfproben nach steigendem Süßeindruck.

<i>Fruchtsaft</i>	am schwächsten	→	→	am stärksten
Apfelsaft				

Abbildung 49: Beispiel- Protokoll für eine Rangordnungsprüfung

Bestimmung von Säure- und Zuckerkonzentrationen in Apfelsaft

Name	
Prüfer-Nr.	
Datum	

Prüfanleitung: Es sind 3 Triangeltests mit je drei Proben zu prüfen. 2 Proben sind identisch und eine abweichend.

Prüffrage: Welches ist die abweichende Probe?

<i>Probennr.</i>	<i>Nummer der abweichenden Probe</i>	<i>Worin besteht der Unterschied?</i>	<i>Auswertung</i>	
			<i>Richtig</i>	<i>falsch</i>
427 388 279				
531 129 634				
590 471 742				

Abbildung 50: Beispiel- Protokoll für einen Triangeltest