



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Aromastoffe in ausgewählten alltäglichen Lebensmitteln

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Verfasserin:	Eisinger Kathrin
Matrikel-Nummer:	0202619
Studienrichtung (lt. Studienblatt):	A474, Ernährungswissenschaften
Betreuerin:	Ao. Univ. Prof. Dr. Dorota Majchrzak

Wien im

Dezember 2008

„Aber kein Genuss ist vorübergehend,
denn der Eindruck, den er hinterlässt,
ist bleibend.“

J.W. v. Goethe

Danksagung

Fr. ao. Univ. Prof. Dr. Dorota Majchrzak möchte ich für die Überlassung dieses interessanten Themas und die gute Betreuung während der Erstellung dieser Arbeit danken.

Ganz herzlich möchte ich mich bei meiner Familie, vor allem aber bei meinen Eltern Margot und Herbert Eisinger, bedanken, die mir durch finanzielle und emotionale Unterstützung dieses Studium erst ermöglicht haben.

Mein Dank gilt auch meinem Freund Klaus, der mir in jeder Situation und zu jeder Tageszeit liebevoll und motivierend, mit viel Verständnis, Rat und Tat zur Seite steht.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinen Freunden/innen, die stets ein offenes Ohr für mich haben und mir durch die mit ihnen verbrachten Stunden den nötigen Ausgleich zum Studium geschaffen haben.

Abschließend möchte ich meinen Studienkolleginnen danken, die mich durch meine Studienzeit begleitet haben und mir stets hilfreich zur Seite standen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Fragestellung	1
2. Grundlagen	3
2.1. Definitionen	3
2.1.1. Flavor	3
2.1.2. Aroma	3
2.1.2.1. Aromastoffe	4
2.1.3. Wahrnehmungsschwelle	4
2.1.4. Aromawert	5
2.1.5. Alltägliche Lebensmittel	6
2.2. Sinnensphysiologie	9
2.2.1. Geruchssinn	9
2.2.1.1. Anatomische und physiologische Grundlagen	9
2.2.1.2. Retronasale Wahrnehmung	11
2.2.1.3. Physiologische Einflüsse auf die Aromawahrnehmung.....	12
2.2.1.4. Klassifikation von Gerüchen	13
2.2.1.5. Schwellenwerte	13
2.2.1.6. Gewöhnungseffekte	14
2.2.2. Geschmackssinn	15
2.2.2.1. Anatomische und physiologische Grundlagen	15
2.2.2.2. Qualitäten des Geschmackssinns	16
2.3. Aromastoffe	17
2.3.1. Entstehung von Aromastoffen	17
2.3.1.1. Primäre Aromastoffe	17
2.3.1.2. Sekundäre Aromastoffe	17
2.3.1.2.1. Entstehung durch thermische Behandlung	18
2.3.1.2.2. Entstehung durch mechanische Behandlung.....	19
2.3.1.2.3. Entstehung durch Fermentation	20
2.3.1.2.4. Entstehung durch Lagerung	20
2.3.1.3. Aromazusätze	20
2.3.1.4. Aromafehler	21

2.4. Analytische Verfahren zur Charakterisierung von Aromen ..	23
2.4.1. Probenvorbereitung	23
2.4.1.1. Isolierung	24
2.4.1.1.1. Steam Destillation	25
2.4.1.1.2. Solvent Assisted Flavor Evaporation	26
2.4.1.1.3. Simultaneous Destillation and Extraction	26
2.4.1.1.4. Solvent Extraction	27
2.4.1.1.5. Solid Phase Extraction	27
2.4.1.1.6. Solid Phase Microextraction	28
2.4.1.1.7. Liquid-Liquid Extraction	28
2.4.1.1.8. Solid Liquid Extraction	29
2.4.1.1.9. Supercritical Fluid Extraction	29
2.4.1.1.10. Headspace-Analyse	29
2.4.1.1.11. Thermodesorption	30
2.4.1.2. Anreicherungsverfahren	31
2.4.2. Trennung	31
2.4.2.1. Chromatographische Techniken	31
2.4.2.1.1. Gaschromatographie	31
2.4.2.1.2. Liquid Chromatography	32
2.4.2.1.2.1. High Pressure Liquid Chromatography	33
2.4.2.1.3. Weitere chromatographische Techniken	33
2.4.2.2. Nicht chromatographische Techniken	34
2.4.2.2.1. Electronic nose	34
2.4.2.2.2. Elektrophorese	35
2.4.3. Detektion und Identifikation	35
2.4.3.1. Koppelung mit chromatographischen Trennmethode n	35
2.4.3.1.1. Gaschromatographie-Massenspektrometrie	36
2.4.3.1.2. Gaschromatographie-Olfaktometrie	36
2.4.4. Quantifizierung	38
2.4.4.1. Aromaextract-Dilution-Analysis	38
2.4.4.2. Combined hedonic response measurement	38
2.4.4.3. Isotope-Dilution-Assay	39

2.4.5. Authentizitätsprüfung	40
2.4.5.1. Aromamodell – Weglassversuche	40
3. Aromastoffe in ausgewählten alltäglichen Lebensmitteln	41
3.1. Obst	41
3.1.1. Kernobst	41
3.1.1.1. Apfel	41
3.1.1.2. Birne	49
3.1.2. Steinobst	52
3.1.2.1. Marille	52
3.1.2.2. Nektarine	53
3.1.2.3. Pfirsich	55
3.1.3. Beerenobst	57
3.1.3.1. Brombeere	57
3.1.3.2. Erdbeere	57
3.1.3.3. Himbeere	60
3.1.4. Zitrusfrüchte	63
3.1.4.1. Orange	63
3.1.5. Südfrüchte	65
3.1.5.1. Ananas	65
3.1.5.2. Bananen	66
3.1.5.3. Mango	68
3.2. Gemüse	72
3.2.1. Fruchtgemüse	72
3.2.1.1. Gurke	72
3.2.1.2. Paprika	73
3.2.1.3. Tomate	76
3.2.2. Wurzelgemüse	81
3.2.2.1. Karotte	81
3.2.3. Zwiebelgewächse	84
3.2.3.1. Speisezwiebel	84
3.3. Obstsft	87
3.3.1. Apfelsaft	87

3.3.2. Birnensaft	88
3.3.3. Marillensaft	89
3.3.4. Pfirsichsaft	90
3.3.5. Orangensaft	92
3.4. Milchprodukte	95
3.4.1. Milch	95
3.4.2. Butter	97
3.4.3. Joghurt	100
3.4.4. Käse	103
3.4.4.1. Gereifter Käse	103
3.4.4.1.1. Hartkäse	103
3.4.4.1.2. Schnittkäse	107
3.4.4.1.3. Halbweicher Schnittkäse	113
3.4.4.1.4. Weichkäse	115
3.4.4.2. Ungereifter Käse	117
3.5. Getreideprodukte	119
3.5.1. Brot	119
4. Schlussbetrachtung	125
5. Zusammenfassung	129
6. Summary	131
7. Literaturverzeichnis	133
8. Lebenslauf	152

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Empfehlungen der DGE zur Nahrungsmittelauswahl.....	8
Tab. 2: Beispiele für Ursachen von Aromafehlern	22
Tab. 3: Aus <i>Fuji</i> , <i>Jina</i> und <i>Huanlu</i> Äpfeln identifizierte Aromastoffe	43
Tab. 4: Aus Äpfeln identifizierte Aromastoffe	48
Tab. 5: Die wichtigsten aus <i>Yali</i> Birnen identifizierten Aromastoffe	50
Tab. 6: Aus <i>La France</i> Birnen identifizierte flüchtige Substanzen	51
Tab. 7: Aus Birnen identifizierte Aromastoffe	52
Tab. 8: Aus Marillen identifizierte Aromastoffe	53
Tab. 9: Aus Nektarinen identifizierte Aromastoffe	54
Tab. 10: Aus Pfirsichen identifizierte Aromastoffe	56
Tab. 11: Aus Brombeeren identifizierte Aromastoffe	57
Tab. 12: Aus Erdbeeren identifizierte Aromastoffe	59
Tab. 13: Aus Himbeeren identifizierte Aromastoffe	61
Tab. 14: Aus Orangen identifizierte Aromastoffe	64
Tab. 15: Aus Ananas identifizierte Aromastoffe	65
Tab. 16: Aus Bananen identifizierte Aromastoffe	67
Tab. 17: Aus Mangos identifizierte Aromastoffe	70
Tab. 18: Aus Gurken identifizierte Aromastoffe	73
Tab. 19: Aus Paprika identifizierte Aromastoffe	75
Tab. 20: Aus Tomaten identifizierte Aromastoffe	80
Tab. 21: Aus Karotten identifizierte Aromastoffe	83
Tab. 22: Aus Speisezwiebeln identifizierte Aromastoffe.....	85
Tab. 23: Aus Apfelsaft identifizierte Aromastoffe	88
Tab. 24: Aus Birnensaft identifizierte Aromastoffe	89
Tab. 25: Aus Marillensaft identifizierte Aromastoffe	90
Tab. 26: Aus Pfirsichsaft identifizierte Aromastoffe	91
Tab. 27: Aus Orangensaft identifizierte Aromastoffe	94
Tab. 28: Aus Milch identifizierte Aromastoffe	96
Tab. 29: Aus Butter identifizierte Aromastoffe	100
Tab. 30: Aus Joghurt identifizierte Aromastoffe	102

Tab. 31: Einteilung von Käse nach dem Wassergehalt in der fettfreien Käsemasse	103
Tab. 32: Aus <i>Grana Parmigiano Reggiano</i> , <i>Grana Padano</i> und <i>Pecorino</i> identifizierte Aromastoffe	106
Tab. 33: Aus <i>Emmentaler</i> identifizierte Aromastoffe	107
Tab. 34: Aus <i>Gouda</i> identifizierte Aromastoffe	110
Tab. 35: Aus <i>Cheddar</i> identifizierte Aromastoffe	112
Tab. 36: Aus <i>Blauschimmelkäse</i> identifizierte Aromastoffe	114
Tab. 37: Aus <i>Camembert</i> identifizierte Aromastoffe	116
Tab. 38: Aus ungereiftem Käse identifizierte Aromastoffe	117
Tab. 39: Aus Weizenbrotkruste identifizierte Aromastoffe	121
Tab. 40: Aus Weizenbrotkrume identifizierte Aromastoffe	122
Tab. 41: Aus getoasteten Weizenbrotscheiben identifizierte Aromastoffe	122
Tab. 42: Aus Roggenbrotkruste identifizierte Aromastoffe	122
Tab. 43: Aus Roggenbrotkrume identifizierte Aromastoffe	123
Tab. 44: Aus Roggenmehl identifizierte Aromastoffe	123
Tab. 45: Aus Roggensauerteig identifizierte Aromastoffe	124

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Zusammenwirken verschiedener Teilfaktoren bei der Ausbildung von Aroma und Flavor	3
Abb. 2: Ernährungskreis der DGE	7
Abb. 3: Dreidimensionale Ernährungspyramide der DGE	7
Abb. 4: Aufbau des Geruchsorgans	10
Abb. 5: Aufbau des Riechepithels	11
Abb. 6: Riechbahn	11
Abb. 7: Aufbau einer Geschmacksknospe	15
Abb. 8: Einflussfaktoren auf die Aromaentstehung	18
Abb. 9: Apparatur zur Destillation von Aromastoffen aus Lebensmitteln	25
Abb. 10: Apparatur für die HS-GC-O	37
Abb. 11: Chromatogramme der flüchtigen Substanzen aus unreifen, reifen und überreifen <i>La France</i> Birnen	51

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AEDA	Aromaextract-Dilution-Analysis
Akt.-Lfg.	Aktualisierungslieferung
ASE	Accelerated Solvent Extraction
AEVA	Aromaextrakt-Verdünnungsanalyse
ppb	parts per billion
°C	Grad Celsius
¹³ C	Kohlenstoffisotop 13
CHARM	Combined Hedonic Response Measurement
D-A-CH	Deutschland-Österreich-Schweiz; Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr
DAD	Photodiode array detector
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
DHS	Dynamic Headspace
DIN	Deutsches Institut für Normung
EPIC	European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition
FD	Fluorescent Detector
FID	Flame Ionisation Detector
GC	Gaschromatography
¹ H	Wasserstoffisotop 1
HPLC	High Pressure Liquid Chromatography
HS	Headspace
IDA	Isotope Dilution Assay
kg	Kilogramm
kPa	Kilopascal
l	Liter
LC	Liquid Chromatography
LLE	Liquid-Liquid Extraction
mg	Milligramm
MGC	Multidimensional Gaschromatography
ml	Milliliter

MS	Mass Spectrometry
ng	Nanogramm
NMR	Nuclear Magnetic Resonance
NP	normal phase
ÖGE	Österreichische Gesellschaft für Ernährung
PCA	Principal Component Analysis
ppm	parts per million
RP	reversed phase
SAFE	Solvent Assisted Flavor Evaporation
SBSE	Stir-Bar Sorptive Extraction
SD	Steam Destillation
SDE	Simultaneous Destillation and Extraction
SE	Solvent Extraction
SHS	Static Headspace
SLE	Solid Liquid Extraktion
SFE	Supercritical Fluid Extraction
SPE	Solid Phase Extraction
SPME	Solid Phase Microextraction
Tab.	Tabelle
TDS	Thermodesorption
µg	Mikrogramm

1. Einleitung und Fragestellung

Die sensorische Qualität von Lebensmitteln umfasst die Merkmale Aussehen, Geruch, Geschmack und Textur (BELITZ et al., 2008) und wird mit Hilfe des Gesichts-, Geruchs-, Geschmacks-, Tast- sowie des Gehörsinns beurteilt. Der Genusswert, welcher auch die Auswahl und Akzeptanz von Lebensmitteln mit beeinflusst, wird jedoch hauptsächlich durch das Aroma bestimmt (SCHREIER, 1995).

Während ursprünglich unter dem aus dem Griechischen stammenden Begriff Aroma, welcher Gewürz bedeutet, nur Geruchswahrnehmungen verstanden wurden, die von Gewürzpflanzen hervorgerufen werden (NEUMANN und MOLNÁR, 1991), bezieht sich dieser Begriff laut NEY (1987) sowie FLIEDNER und WILHELMI (1989) im täglichen Sprachgebrauch der letzten Jahrzehnte auf die gemeinsamen Sinnesempfindungen von Geruch und Geschmack.

Nach DIN 10950: 1999-04 wird als Aroma der olfaktorische und gustatorische Gesamteindruck einer Probe bezeichnet (DIN 10950-1:1999-04). Ein Unterschied zum Geruch besteht darin, dass viele der beteiligten Stoffe erst beim Kauen freigesetzt werden und über die Nasen-Rachen-Verbindung zur Empfindung des Aromas beitragen.

Das Aroma eines Nahrungsmittels setzt sich aus einer Vielzahl chemischer, flüchtiger Verbindungen, den Aromastoffen, die zum charakteristischen Geruch und Geschmack eines Lebensmittels beitragen, zusammen (EISENBRAND und SCHREIER, 2006).

Diese Komponenten können ihren Ursprung aufgrund von biologischen und enzymatischen Prozessen schon im Rohmaterial haben, können aber auch aus enzymatischen, mikrobiologischen, thermischen oder chemischen Vorgängen bei Herstellungsprozessen oder der Lagerung resultieren.

Bis heute wurde das Aromaprofil von vielen Lebensmitteln untersucht und als Ergebnis konnten tausende flüchtige Stoffe, die in unterschiedlichen Zusammensetzungen das Aroma eines Lebensmittels bestimmen, dokumentiert werden (PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007).

Durch dieses breite Spektrum an aromabildenden Substanzen ergibt sich ein umfangreiches und interessantes Forschungsgebiet, auf dem es auch künftig zu einer starken Weiterentwicklung der Untersuchungsmethoden, sowie zu einer Vielzahl aktueller Forschungsergebnisse kommen wird (PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist folglich die Erarbeitung einer Zusammenstellung, der bisher auf dem Gebiet der Aromastoffe getätigten wissenschaftlichen Studien, ausgehend von nicht aromatisierten Lebensmitteln, die im alltäglichen Verzehr vorkommen.

So sollen zu einem Lebensmittel durchgeführte Studien und deren Ergebnisse verglichen werden, um Unterschiede und Gemeinsamkeiten in Bezug auf enthaltene Aromastoffe zu erkennen.

Auf Grundlage dieser Erkenntnisse können auch die in unterschiedlichen Lebensmitteln einer Lebensmittelgruppe enthaltenen Aromastoffe verglichen werden, um so vor allem jene Substanzen zu erkennen, die für die Besonderheiten des Aromas eines Lebensmittels von Bedeutung sowie für die Differenzen zwischen den Aromen der einzelnen Lebensmittel entscheidend sind.

2. Grundlagen

2.1. Definitionen

2.1.1. Flavor

Der Begriff „Flavor“ wird in der Norm DIN 10950-1 „Sensorische Prüfung“ als Gesamtheit aller olfaktorischen, gustatorischen, thermischen sowie haptischen Eindrücke definiert, wie in Abbildung 1 ersichtlich ist (DIN 10950-1:1999-04; EISENBRAND und SCHREIER, 2006).

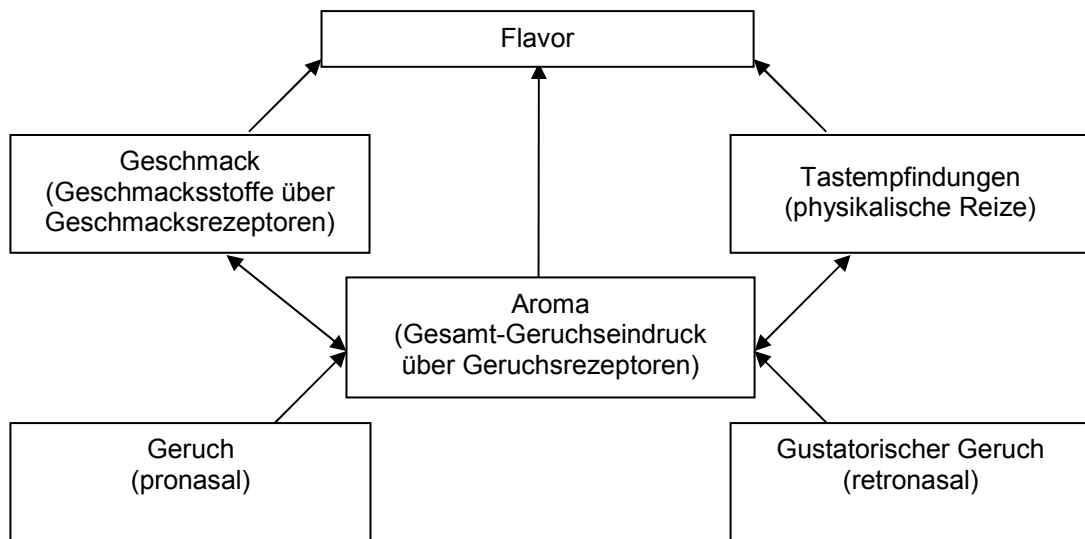


Abb. 1: Zusammenwirken verschiedener Teilfaktoren bei der Ausbildung von Aroma und Flavor (FLIEDNER und WILHELMI, 1989)

2.1.2. Aroma

Ursprünglich wurden unter dem aus dem griechischen stammenden Begriff Aroma, welcher Gewürz bedeutet, nur Geruchswahrnehmungen verstanden, die von Gewürzpflanzen hervorgerufen werden (NEUMANN und MOLNÁR, 1991). Im täglichen Sprachgebrauch der letzten Jahrzehnte hingegen bezieht sich dieser Begriff auf die gemeinsamen Sinnesempfindungen von Geruch und Geschmack (NEY, 1987; FLIEDNER und WILHELMI, 1989).

Nach DIN 10950: 1999-04 wird als Aroma der olfaktorische und gustatorische Gesamteindruck einer Probe bezeichnet. Unterschieden wird Aroma von Geruch dadurch, dass viele der daran beteiligten Stoffe erst beim Kauen

freigesetzt werden und durch die Aufnahme über die Nasen – Rachen – Verbindung zur Empfindung beitragen, was als retronasaler Geruch bezeichnet wird (EISENBRAND und SCHREIER, 2006).

2.1.2.1. Aromastoffe

Das charakteristische Aroma eines Nahrungsmittels setzt sich aus einer Vielzahl chemischer, flüchtiger Verbindungen, den Aromastoffen, zusammen. Hierbei kann eine komplexe Mischung vieler Aromastoffe vorliegen, wobei keine Substanz dominierend ist. Andererseits können einige Substanzen, die so genannten *key compounds*, oder auch nur eine Leitsubstanz, die *character impact compound*, dominieren (EISENBRAND und SCHREIER, 2006; FRICKER, 1984; SALZER et al., 2000).

Aromastoffe erreichen die Rezeptoren beim Einatmen durch die Nase über die ortho-, oder pronasale Wahrnehmung oder über den Rachenraum nachdem sie beim Kauen freigesetzt worden sind. Dabei handelt es sich um die retronasale Wahrnehmung (BELITZ et al., 2008; DERNDORFER, 2006).

Sowohl in naturbelassenen, als auch in weiterverarbeiteten Lebensmitteln kommen Aromastoffe vor, sie werden vielen Nahrungsmitteln in unterschiedlicher Form aber auch im Zuge der industriellen Verarbeitung zugesetzt (BROCKHAUS, 2001). Erstere werden als primäre, zweite als sekundäre Aromastoffe bezeichnet (PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007). Aroma und Flavor stellen eines der wichtigsten Qualitätskriterien von frischen und technologisch verarbeiteten Lebensmitteln dar. Sowohl qualitative als auch quantitative Informationen sind wichtig um aromawirksamen Komponenten zu charakterisieren (KATAOKA et al., 2000; MIELLE und MARQUIS, 1999).

2.1.3. Wahrnehmungsschwelle

Entscheidend für den Geruchs-, Geschmacks- und Aromaeindruck sind nicht nur die Konzentrationen der einzelnen Komponenten, sondern damit verbunden auch die Wahrnehmungsschwellenwerte der einzelnen Substanzen.

Darunter werden jene Konzentrationen eines Stoffes verstanden, die mit den Sinnen gerade noch wahrnehmbar sind. Unter anderem hängt die

Schwellenkonzentration eines Aromastoffes von seinem Dampfdruck ab, der sich mit der Temperatur und mit dem Medium ändert. Treten Wechselwirkungen mit anderen aromaaktiven Substanzen auf, kann dies zu einer additiven Wirkung der ausgelösten Empfindung führen (BELITZ et al., 2008).

Die Schwellenwerte der einzelnen Aromastoffe sind zum Teil sehr unterschiedlich, was besagt, dass 1 mg einer aromaintensiven Substanz genauso aromawirksam sein kann, wie 1 g eines weniger aromawirksamen Stoffes (HERRMANN, 2001).

2.1.4. Aromawert

Der Aromawert ist eine Messgröße zur Charakterisierung der sensorischen Bedeutung einzelner Komponenten eines komplexen Aromas (EISENBRAND und SCHREIER, 2006).

Der Aromawert A_x wird als das Verhältnis der Konzentration c_x der Substanz X im Lebensmittel zu deren Wahrnehmungsschwelle a_x definiert. Dabei wird die Wahrnehmungsschwelle der Substanz X gelöst in der im Lebensmittel dominierenden Substanz, Wasser, Öl oder Stärke, zu Berechnung herangezogen (BELITZ et al., 2008).

$$A_x = c_x / a_x$$

A_x ...Aromawert

c_x ...Konzentration der Substanz X

X...Substanz

a_x ...Wahrnehmungsschwelle

Die Anwendung des Aromawertes erfolgt bei der CHARM-Analyse sowie der Aromaextrakt-Verdünnungsanalyse (EISENBRAND und SCHREIER, 2006).

Um flüchtige Verbindungen beurteilen zu können, kann zusätzlich zum Aromawert auch die Abhängigkeit der Geruchsintensität von der Konzentration berücksichtigt werden. Diese wird als Empfindungsintensität E nach einem allgemein gültigen Gesetz für physiologische Reize nach STEVENS wie folgt formuliert und besagt, dass die Empfindungsstärke eines Geruchs

entsprechend der Konzentration des Duftstoffes ansteigt, sobald die Erkennungsschwelle überschritten ist.

$$E = k \times (S - S_0)^n$$

E...Empfindungsintensität

k...Konstante

S...Reizstärke (Stimulanskonzentration)

S₀ ...Schwellenreizstärke

Zum Aromawert kommen zudem schwer abschätzbare additive Effekte hinzu. So können sich die Intensitäten von Komponenten mit ähnlichen Aromanoten addieren, wobei die Intensität der Mischung meist geringer ist als die Summe der Einzelintensitäten (BELITZ et al., 2008).

2.1.5. Alltägliche Lebensmittel

Auf Basis der D-A-CH „Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr“ wurden schon von diversen Fachgesellschaften im deutschsprachigen Raum Empfehlungen für den alltäglichen Verzehr von Lebensmitteln veröffentlicht. Diese dienen dazu, die Referenzwerte für den Verbraucher auf Lebensmittelebene zu übersetzen und grafisch umzusetzen.

Aus wissenschaftlicher Sicht gibt es dazu zwei Arten der Herangehensweise, den metabolischen und den nutritiven Ansatz.

Im Zuge des ersteren werden Erkenntnisse über die Wirkung von Lebensmitteln auf ausgewählte Stoffwechselfparameter berücksichtigt. So auch bei der LOGI-Pyramide (Low Glycemic Index Pyramid), bei der der Effekt des Lebensmittels auf die Blutglukosekonzentration in einer vorgegebenen Zeitspanne als Kriterium herangezogen wird (STEHLE et al., 2005).

Beim nutritiven Ansatz erfolgt eine Umrechnung der Referenzwerte in für den Verbraucher leicht verständliche Lebensmittelmengen aufgrund derer dann wiederum Verzehrsempfehlungen gemacht werden können. Eine grafische Darstellung erfolgt vielfach in Pyramidenform (Abbildung 3), von der Deutschen Gesellschaft für Ernährung wurde auf Basis der D-A-CH-Referenzwerte sowie der „10 Regeln der DGE“ und den Empfehlungen aus der Kampagne „5 am

Tag“ auch ein Ernährungskreis (Abbildung 2) erstellt (STEHLE et al., 2005). Dieser unterteilt das Lebensmittelangebot in sieben Gruppen, wobei die Größe des jeweiligen Kreissegments für den Stellenwert steht, den diese Gruppe in der alltäglichen Ernährung einnehmen soll (DGE, 2004).

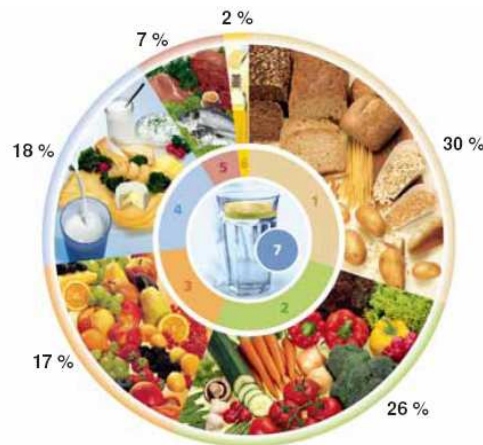


Abb. 2: Ernährungskreis der DGE
(STEHLE et al., 2005)

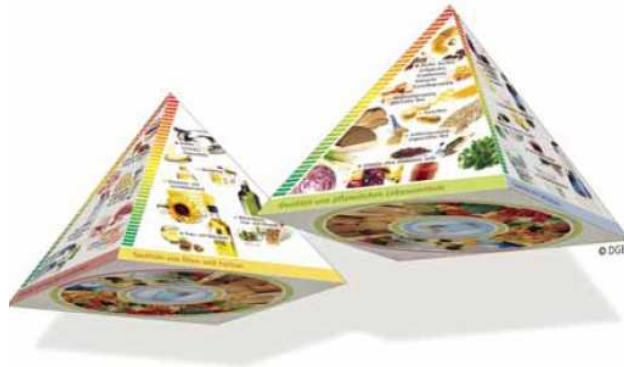


Abb. 3: Dreidimensionale Ernährungspyramide der DGE
(STEHLE et al., 2005)

Auf Basis des Ernährungskreises kam die DGE zu dem in Tabelle 1 angeführten Vorschlag für die Lebensmittelauswahl eines Erwachsenen.

Tab. 1: Empfehlungen der DGE zur Lebensmittelauswahl

Lebensmittel	Verzehrempfehlung für Erwachsene
Getreide, Getreideprodukte und Kartoffeln	Täglich 4 – 6 Scheiben Brot (ca. 200 – 300g) oder 3 – 5 Scheiben Brot und 50 – 60g Getreideflocken 1 Portion Kartoffeln (200 – 250g) oder 1 Portion Nudeln (gekocht 200 – 250g) oder 1 Portion Reis (gekocht 150 – 180g) (bevorzugt Vollkornprodukte)
Gemüse und Salat	Täglich 3 Portionen Gemüse (ca. 400g) und mehr: 300 g gegartes Gemüse + 100g Rohkost/Salat oder 200 g gegartes Gemüse + 200g Rohkost/Salat
Obst	Täglich 2 Portionen frisches Obst (250g) und mehr
Milch und Milchprodukte	Täglich 200 – 250g fettarme Milch und Milchprodukte und 2 Scheiben fettarmen Käse (50 – 60g)
Fleisch, Wurst, Fisch, Ei	Pro Woche: 1 Portion (80 – 150g) fettarmen Seefisch (z.B. Kabeljau, Seelachs) und 1 Portion (70g) fettreichen Seefisch (z.B. Makrele, Hering) sowie insgesamt ca. 300 – 600g Fleisch und Wurst und bis zu 3 Eier (inkl. verarbeitete Eier)
Fette und Öle	Täglich 15 – 30g Butter oder Margarine und 10 – 15g Öl (z.B. Raps-, Soja- oder Walnussöl)
Getränke	Täglich mind. 1,5 Liter Flüssigkeit; bevorzugt energiearme Getränke

(DGE, 2004)

2.2. Sinnensphysiologie

Die Wahrnehmung von Aromastoffen wird durch ein Zusammenspiel von Geruchs- und Geschmackssinn ermöglicht, wobei Geruchsstoffe auch beim Verzehr eines Lebensmittels wahrgenommen werden können, indem sie, bedingt durch Kau-, Schluck- und Atemvorgänge über die Rachen-Nasenverbindung an die Geruchsrezeptoren gelangen. Hierbei spricht man von retronasalem, bzw. expiratorischem Riechen oder gustatorischem Geruch. (BÜTTNER, 2004; BÜTTNER et al., 2000; NEGOLAS et al., 2008).

2.2.1. Geruchssinn

Der Geruchssinn ist ein chemischer Fernsinn, der nicht auf physikalische Reize, sondern auf geruchswirksame, chemische und flüchtige Substanzen reagiert, die über die Atemluft die Rezeptorzellen des Riechepithels erreichen (BUSCH-STOCKFISCH, 2002; DERNDORFER, 2006). In Bezug auf die im Vergleich zu anderen Lebewesen geringe Größe der Riechschleimhaut spricht man beim Menschen von einem Mikrosomaten (THEWS et al., 1999). Auch wenn die Bedeutung des Geruchssinns für den Menschen nicht so hinlänglich untersucht wurde, wie die Bedeutung dieses Sinns für verschiedene Tiere, so ist doch bekannt, dass der Geruchssinn bei der Auswahl der Nahrungsmittel sowie in Bezug auf die Gefühlswelt von großer Bedeutung ist (GIL-CARCEDO et al., 2000). Zudem kann durch eine positive Bewertung des Lebensmittelaromas die Sekretion von Verdauungssäften und Hormonen angeregt werden (BROCKHAUS, 2001).

2.2.1.1. Anatomische und physiologische Grundlagen

Der Nasenraum setzt sich aus der äußeren Nase und der Nasenhöhle (*Cavum nasi*) zusammen.

Letztere ist mit Schleimhaut ausgekleidet, welche sich in zwei Abschnitte, die respiratorische Schleimhaut (*Regio respiratoria*) ohne Riechzellen und die Riechschleimhaut (*Regio olfactoria*) mit Riechzellen unterteilt (Abbildung 4).

Während erstere für Reinigung, Befeuchtung und Erwärmung der Atemluft von großer Bedeutung ist, stellt letztere den Sitz des Geruchsorgans dar.

Unter der Riechschleimhaut wird ein etwa 2 x 5 cm² großes Feld an der oberen Nasenmuschel und im oberen Teil der Nasenscheidewand (*Septum nasi*) verstanden. Dieses Riechepithel besteht aus drei Zelltypen, den Sinneszellen, den Stützzellen und den Basalzellen (Abbildung 5).

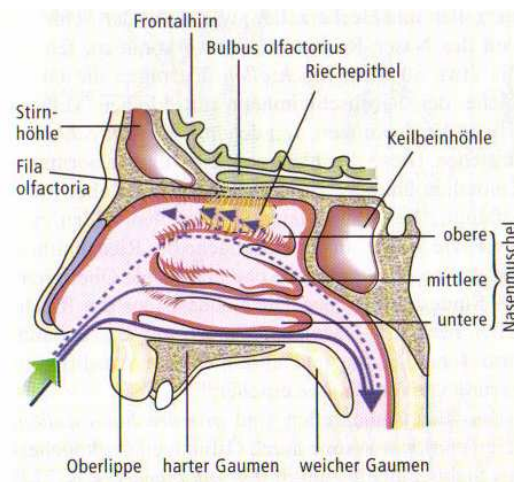


Abb. 4: Aufbau des Geruchsorgans
(THEWS et al., 1999)

Die etwa 30 Millionen Riechsinneszellen bilden kleine kolbenartige Verdickungen, von denen je 6 – 10 Riechhaare ausgehen, die die chemosensible Oberfläche des Epithels bilden. Nach 1 – 2 Monaten werden die Riechzellen durch mitotische Teilung und anschließende Ausdifferenzierung von Basalzellen erneuert. Zudem sind im Riechepithel Schleimdrüsen (Bowman-Drüsen) enthalten, deren Sekret die Riechschleimhaut mit einem dünnen Film bedeckt.

Riechzellen sind primäre Sinneszellen, deren Axone durch die Siebbeinplatte zu den Nervenzellen (Mitralzellen) des Riechkolben (*Bulbus olfactorius*) ziehen. Der Hauptteil der Axone der Mitralzellen endet, wie in Abbildung 6 dargestellt, im sogenannten Riechhirn, von wo aus die Geruchsinformation zur weiteren Verarbeitung über den Thalamus an die Neokortex zur Geruchswahrnehmung weitergeleitet wird (DERNDORFER, 2006; THEWS et al., 1999).

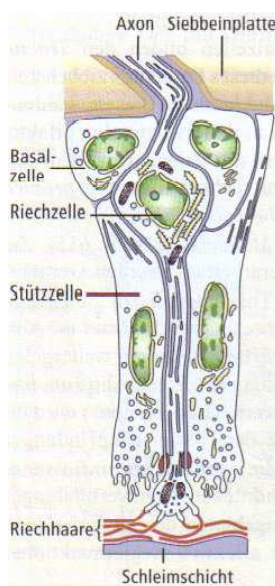


Abb. 5: Aufbau des Riechepithels
(THEWS et al., 1999)

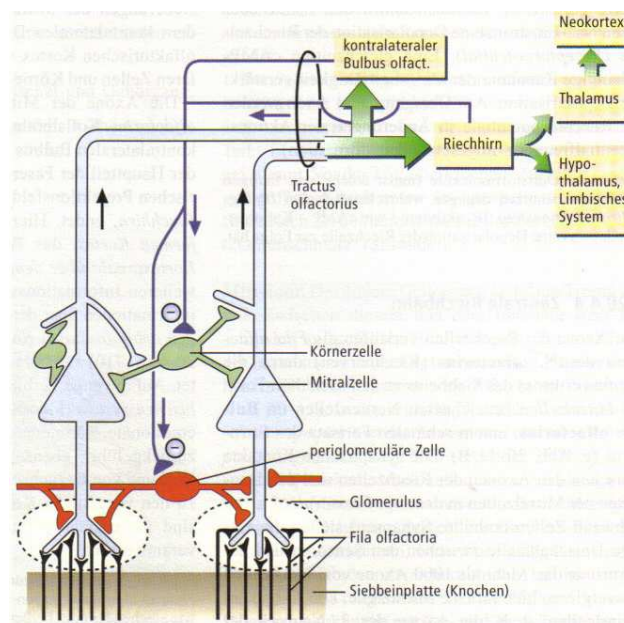


Abb. 6: Riechbahn
(THEWS et al., 1999)

Kommt ein Riechstoff in ausreichender Konzentration mit einem Rezeptor der Riechschleimhaut in Kontakt, so erfolgt die Aktivierung eines G-Proteins sowie der Adenylatzyklase, wodurch ein Signalverstärkungsmechanismus ausgelöst wird. Dieser führt letztendlich zu einer Depolarisation der Riechzellen, dem so genannten Rezeptorpotential. Am Übergang zum Axon erfolgt eine Änderung der Rezeptorpotentiale in Aktionspotentiale, welche über die oben angeführte Riechbahn weitergeleitet werden (HOLLEY, 2006; THEWS et al., 1999).

2.2.1.2. Retronasale Wahrnehmung

Geruchsempfindungen können durch direktes Riechen (pronasal), aber auch während des Verzehrs eines Lebensmittels (retronasal) ausgelöst werden.

Dafür ist ausschlaggebend, dass zwischen Mundhöhle und Nasenhöhlen eine direkte Verbindung besteht und Geruchsstoffe somit von der Mundhöhle zur Riechschleimhaut gelangen können (DERNDORFER, 2006, NEGOUAS et al., 2008).

Die Prozesse, die zu dieser Wahrnehmung führen, gestalten sich als sehr komplex und sind noch nicht vollständig aufgeklärt. Bekannt ist, dass der Aromastofftransfer bei diesem Vorgang nur zu bestimmten Zeitpunkten

ermöglicht wird. Verantwortlich dafür sind verschiedene physiologische Barriersysteme zum Schutz vor Verschlucken, die aus dem weichen Gaumen, dem so genannten Velum, der Rachen- und Pharynxwand sowie dem Kehldeckel, der Epiglottis, gebildet werden. Befindet sich ein Lebensmittel im Mundraum, so bilden Velum und Zungengrund eine stabile Barriere, die verhindert, dass Teile des Lebensmittels vor dem Schluckprozess in den Rachenraum oder in die Luftröhre gelangen. Aufgrund der erhöhten Gefahr des Verschluckens bei Getränken oder halbflüssigen Lebensmitteln, wirkt das Barriersystem in diesem Fall besonders effektiv.

Die kurzfristige Wahrnehmung eines Aromaimpulses, wie sie bereits beim Einführen des Lebensmittels in den Mund erfolgt, wird durch das Öffnen des Kiefers und die daraus resultierende Öffnung der Velum-Zungengrundbarriere ermöglicht. Schließt sich der Kiefer nach der Aufnahme des Lebensmittels, wird die überschüssige Luftmenge mit einem Teil der im Lebensmittel befindlichen Aromastoffe aus dem Mund- über den Rachenraum in die Nase transportiert.

Muss ein Lebensmittel intensiv gekaut werden, kommt es zu einem kurzfristigen Aufklappen der Barriere, die zu einer geringen Aromawahrnehmung führt.

Beim Schluckprozess werden mit dem Abschießen des Velums mit der Rachenwand, welches ein Eindringen von Lebensmittelbestandteilen in den Nasenraum verhindert und dem Verschließen der Luftröhre durch die Epiglottis, zwei Schutzmechanismen aktiviert. Somit ist während des Schluckens keine Aromawahrnehmung möglich, da der Nasen- vom Rachenraum durch die Barriere getrennt ist. Im auf das Schlucken folgenden Atemzug kann das Aroma des Lebensmittels dann empfunden werden (BÜTTNER, 2004; BÜTTNER et al., 2000).

2.2.1.3. Physiologische Einflüsse auf die Aromawahrnehmung

Die Freisetzung von Aromastoffen kann verringert und in der Folge die Wahrnehmung abgeschwächt werden, indem hocharomaaktive Stoffe, mit Speichelinhaltsstoffen interagieren.

Stoffe, die in der Gegenwart von Speichel persistent sind, werden von Speichel nicht abgebaut, sondern von der Mund- und Rachenschleimhaut adsorbiert und

nach und nach wieder freigesetzt. Durch diesen Depoteffekt lassen sich aromawirksame Substanzen über einen längeren Zeitraum wahrnehmen.

Eine besondere Form des Depoteffekts ist die Bildung eines langanhaltenden Films auf der Mundschleimhaut. Dieser coating-Effekt führt zu einer kontinuierlichen Freisetzung von Geruchsstoffen und somit zu einer längeren Aromawahrnehmung (BÜTTNER, 2004; BÜTTNER et al., 2002).

2.2.1.4. Klassifikation von Gerüchen

Um Gerüche zu klassifizieren gab es schon viele Ansätze. Während Henning 1915 ein Geruchsprisma basierend auf den sechs primären Geruchsqualitäten blumig, faulig, fruchtig, würzig, verbrannt und harzig, entwickelte, sprach Keidel 1965 von den sechs Geruchsqualitäten würzig, blumig, fruchtig, harzig, faulig. Amoore unterschied 1970 zwischen den acht Primärgerüchen ätherisch, kampferartig, moschusartig, blumig, minzig, stechend, faulig und schweißig, wobei auch dadurch die Fähigkeiten des Menschen zur Geruchswahrnehmung nur geringfügig abgedeckt werden. Köster versuchte 1971 Gerüche aufgrund ihrer Kreuzadaptionen zu klassifizieren, was sich jedoch als zu kompliziert und zeitaufwändig herausstellte (DERNDORFER, 2006; BUSCH-STOCKFISCH, 2002).

2.2.1.5. Schwellenwerte

Unter Schwellenwerten werden Grenzwerte von objektiven Empfindungen und subjektiven Wahrnehmungen verstanden, die für alle Sinne definiert werden können. In Bezug auf die Geruchswahrnehmung können die im Folgenden angeführten Schwellen unterschieden werden (GRÜB, 2002).

Als Reizschwelle, Wahrnehmungsschwelle oder Absolutschwelle wird die niedrigste Reizintensität verstanden, die gerade noch eine Empfindung hervorruft, ohne, dass die Aromaqualität schon eindeutig feststellbar ist.

Unter der Erkennungsschwelle wird die minimale Reizintensität verstanden, bei der die qualitative Erkennung einer Empfindung möglich ist (BELITZ et al., 2008; DIN 10950-1:1999-04; DERNDORFER, 2006; GRÜB, 2002).

Die Unterschiedsschwelle steht für den kleinsten wahrnehmbaren Konzentrationsunterschied zweier Proben und wird auch als „just noticeable difference“ bezeichnet.

Die Sättigungsschwelle bezeichnet die Schwelle der maximalen Empfindung, die auch durch Reizverstärkung nicht mehr erhöht werden kann (DERNDORFER, 2006; DIN 10950-1:1999-04; GRÜB, 2002).

Die Schwellenintensitäten eines Aromastoffes, anhand derer man die Aromawirksamkeit von Inhaltsstoffen eines Lebensmittels vergleichen kann, sind mitunter vom Dampfdruck des Stoffes abhängig, welcher sich mit dem Medium und der Temperatur ändert. Durch Wechselwirkungen mit anderen Geruchsstoffen kann es zu einem starken Anstieg der Geruchsschwellen kommen (BELITZ et al., 2008).

2.2.1.6. Gewöhnungseffekte

Unter Adaption und Habituation versteht man die Gewöhnung an verschiedene Gerüche, die zur Herabsetzung der Intensität von Geruchsempfindungen führen kann. Im Falle der Adaption verringert sich die empfundene Intensität trotz gleich bleibender Konzentration der Geruchssubstanz durch konstante Reizung der Rezeptoren mittels eines Duftstoffes. Dieser Gewöhnungseffekt kann schon bei einmaliger anhaltender Stimulierung ausgelöst werden. Senkt die Adaption an einen Geruchsreiz auch die Empfindlichkeit für andere Substanzen, so wird dies als Kreuzadaption bezeichnet (DERNDORFER, 2006). Unter Habituation hingegen wird ein erfahrungsabhängiger Sensibilitätsverlust verstanden, dessen Ausprägung mit der Anzahl der Assoziation mit olfaktorischen Reizcharakteristika zunimmt. Dies bedeutet, dass Habituation das Ergebnis einer Vielzahl von Stimulationen mit einem bestimmten Duftreiz darstellt (MAJCHZRAK, 2007).

2.2.2. Geschmackssinn

Beim Geschmackssinn handelt es sich um einen chemischen Nahsinn, was bedeutet, dass die geschmackswirksamen Substanzen mit den Rezeptorproteinen der Zellmembran in Kontakt treten müssen um eine Reizempfindung auszulösen (BUSCH-STOCKFISCH, 2002).

2.2.2.1. Anatomische und physiologische Grundlagen

In der Schleimhaut des Zungenrückens bilden Zungenpapillen kleine Erhebungen, die nach ihrer Form in Pilzpapillen (*Papillae fungiformes*), Blätterpapillen (*Papillae foliatae*), Wallpapillen (*Papillae vallatae*) und Fadenpapillen (*Papillae filiformes*) eingeteilt werden können. Hierbei dienen letztere der Tastempfindung, während die Epithel der anderen Papillenwände Geschmacksknospen enthalten, an deren Oberfläche sich ein flüssigkeitsgefülltes Grübchen, der so genannte Geschmacksporus, befindet (Abbildung 7). Jede der Geschmacksknospen, die sich nicht nur am Zungenrücken, sondern auch am weichen Gaumen, im Rachenraum, auf der Wangeninnenseite und in der Rachenhöhle befinden, besteht aus 50 – 100 Geschmackszellen mit hoher Regenerationsfähigkeit.

Geschmacksstoffe, die wasserlöslich sein müssen, diffundieren durch den Porus zur apikalen Membran der Chemosensoren, wo es zu einer Wechselwirkung zwischen Reizstoffen und Rezeptorproteinen der Zellmembran kommt. Unterschiedliche intrazelluläre Signalwege lösen Veränderungen aus, die zur Depolarisation der Sinneszelle führen wodurch Transmitter freigesetzt werden, die wiederum an den afferenten Nervenfasern ein Aktionspotential auslösen.

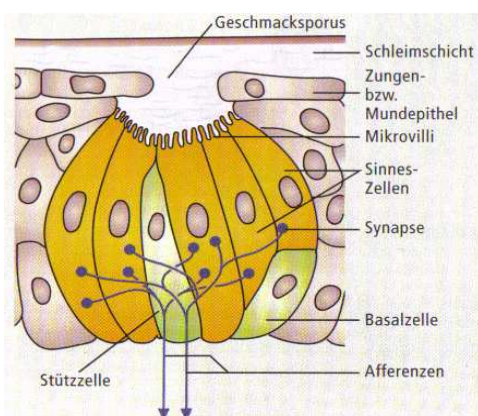


Abb. 7: Aufbau einer Geschmacksknospe (THEWS et al., 1999)

Die affektiv-emotionalen Anteile der Geschmackswahrnehmung werden dadurch vermittelt, dass Axone der drei Hirnnerven von den Geschmacksknospen zur *Medulla oblongata* führen und im *Nucleus tractus solitarii* des Hirnstamms münden. Dort erfolgt die Umschaltung auf ein weiteres Neuron der afferenten Bahn, wobei Faserteile davon zum Hypothalamus, bzw. zum limbischen System abzweigen und dort gemeinsam mit Eingängen aus dem Geruchsorgan enden. Um eine bewusste Geschmackswahrnehmung auszulösen, werden die Erregungen aus den Geschmackszellen vom *Nucleus tractus solitarii* direkt zum *Thalamus* und weiter zur Großhirnrinde geleitet, wo sich sowohl primäre als auch sekundäre Geschmacksfelder befinden (THEWS et al., 1999).

2.2.2.2. Qualitäten des Geschmackssinns

Süß, sauer, salzig, bitter werden als die Grundgeschmacksqualitäten bezeichnet, wobei es durch unterschiedliche molekulare Mechanismen zur Geschmacksempfindung kommt. Entgegen früherer fälschlicher Annahmen, dass jede Geschmacksqualität an einem bestimmten Zungenareal wahrgenommen werden kann, ist jede Papille für mehrere, meist sogar für alle Geschmacksqualitäten sensibel (THEWS et al., 1999; DERNDORFER, 2006).

Die fünfte Geschmacksqualität stellt Umami dar. Dieser Begriff steht im japanischen für „köstlich schmeckend“ und entsteht durch Substanzen, die selbst kaum einen Geschmack haben, aber den Eigengeschmack bestimmter Stoffe verstärken. So verstärkt Glutamat den Fleischgeschmack, Maltol hingegen süße Geschmacksrichtungen (BUSCH-STOCKFISCH, 2002; DERNDORFER, 2006). Untersuchungen werden auch in Bezug auf das Vorhandensein eines Fett-Rezeptors getätigt. So handelt es sich bei Glykoprotein CD36 um einen Fettsäuretransporter, der eine besondere Affinität zu langkettigen Fettsäuren zeigt und die Zunge das Fett schmecken lässt. Dieses Glykoprotein wurde bei Ratten an der Spitze der Geschmackszellen nachgewiesen und befindet sich auch in verschiedenen Geweben des menschlichen Körpers (LAUGERETTE et al., 2007; SCLAFANI et al., 2007).

2.3. Aromastoffe

Aromastoffe kommen sowohl in naturbelassenen, als auch in weiter verarbeiteten Lebensmitteln vor, werden vielen Nahrungsmitteln aber auch im Zuge der industriellen Verarbeitung zugesetzt (BROCKHAUS, 2001).

2.3.1. Entstehung von Aromastoffen

2.3.1.1. Primäre Aromastoffe

Unter primären Aromastoffen werden jene Aromastoffe verstanden, die durch biologische und enzymatische Prozesse im Rohprodukt entstehen und somit genuinen Ursprungs sind (EISENBRAND und SCHREIER, 2006; PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007).

Dabei kann eine Entstehung über den Fettsäurestoffwechsel erfolgen, wie im Fall von aliphatischen, unverzweigten Alkoholen, Estern, Aldehyden, Säuren, Ketonen und Lactonen. Aliphatische, verzweigte Verbindungen stammen aus dem Aminosäurestoffwechsel. Zudem können aromaaktive Mono- und Sesquiterpenverbindungen Produkte des Terpenstoffwechsels sein. Weitere Verbindungen können im Zimtsäure-Metabolismus entstehen (SCHULZ, 1997). Über diese Metabolismen können im Zuge der Fruchtreifung Terpene, Ester oder Ether entstehen (PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007).

2.3.1.2. Sekundäre Aromastoffe

Aromastoffe, die während der Produktion und Verarbeitung von Lebensmitteln entstehen werden als sekundäre Aromastoffe bezeichnet (PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007).

Dazu zählt die Aromastoffbildung durch Enzyme bei der mechanischen Behandlung des Lebensmittels, wie beim Zerkleinern von Zwiebeln oder Knoblauch, durch thermische Behandlung wie Kochen, Backen, Braten, Rösten, durch mikrobielle Umsetzungen bzw. Fermentation wie bei Milchprodukten oder Tee oder aber auch durch Verderb während der Lagerung wie im Falle von Ranzigkeit. Das Aroma eines Lebensmittels kann auch durch Rückstände von

Substanzen beeinflusst werden, die im Rahmen der Lebensmittelgewinnung angewendet werden oder durch Kontaminanten, die im Sinne der Lebensmittelgewinnung und -verarbeitung keinen Primärnutzen haben (Abbildung 8).

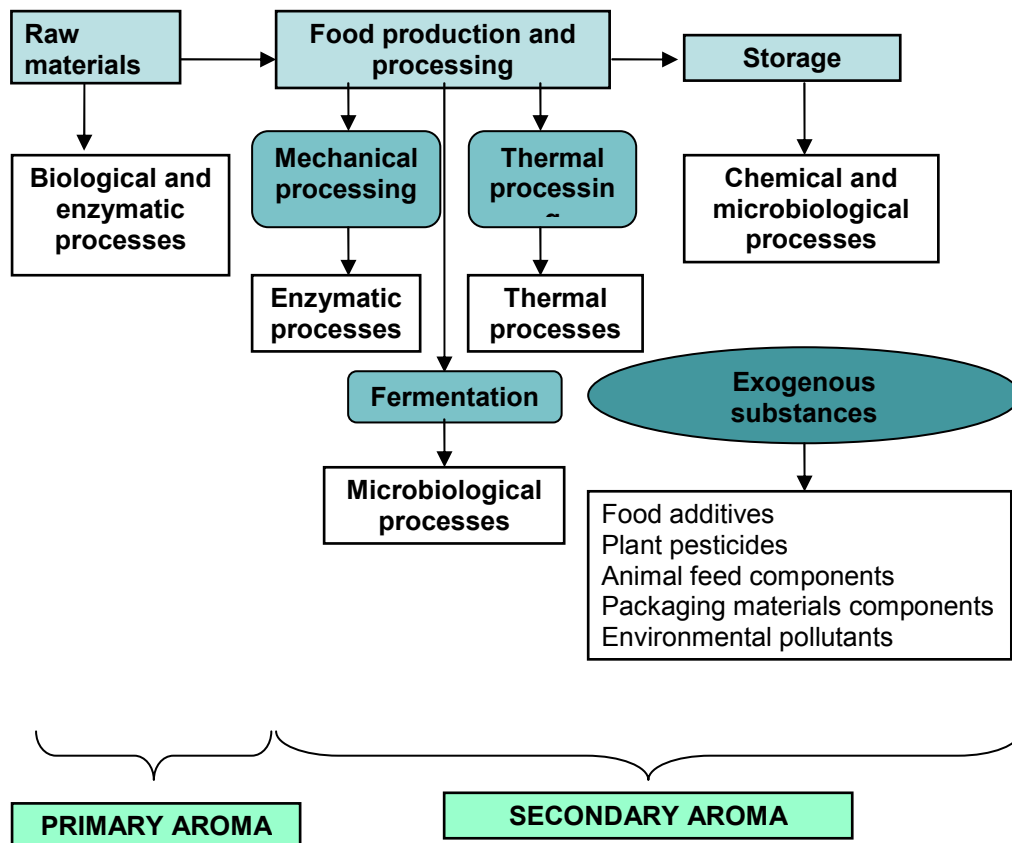


Abb. 8: Einflussfaktoren auf die Aromaentstehung (PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007)

2.3.1.2.1. Entstehung durch thermische Behandlung

Welche Arten und Mengen an Aromastoffen im Lebensmittel beim Erhitzen gebildet werden, hängt von verschiedenen Parametern wie Art und Konzentration der Ausgangssubstanzen, Temperatur, Zeit und Milieu ab. So gibt es unterschiedliche Studien, bei denen Lebensmittel bezüglich Temperatur, Lagerzeit und Milieu unter verschiedenen Lagerbedingungen aufbewahrt wurden um die Auswirkungen auf das Aromaprofil zu analysieren. GIRARD und LAU (1999) stellten fest, dass Äpfel, die bei 1°C unter kontrollierter Atmosphäre mit 1,5% O₂ und 1,5% CO₂ gelagert wurden, weniger flüchtige Substanzen produzierten, als herkömmlich aufbewahrte. Eine von CHEN et al. (2006)

durchgeführte Untersuchung an Birnen, die bei 0°C und 80-90% Luftfeuchtigkeit gelagert wurden, ergab einen Anstieg des Aromastoffgehaltes bis zum 4. Monat, woraufhin wiederum eine Abnahme erfolgte. AYALA-ZAVALA et al. (2004) stellten fest, dass in Erdbeeren, die bei höheren Temperaturen gelagert wurden, eine größere Menge an aromawirksamen Substanzen detektiert werden konnte. Im Zuge der Lagerung von Tomaten bei 25°C und 65% Luftfeuchtigkeit beobachteten ZHANG und LI (2006) einen erhöhten Gehalt an Alkoholen.

Bei der Zubereitung von Lebensmitteln können diese einer thermischen Behandlung, wie Braten, Backen, Kochen unterzogen werden, wobei es durch die höheren Temperaturen zu einer großen Vielfalt der gebildeten Aromen kommen kann. Dabei sind die Produkte der Reaktionen zwischen reduzierenden Kohlenhydraten und Aminosäuren, die bei der Maillard-Reaktion stattfinden, von großer Bedeutung. Bedeutsam ist ebenso die Degradation von Aminosäuren nach dem Strecker-Abbau (BELITZ et al., 2001, PULTOWSKA und WARDENCKI, 2007).

2.3.1.2.2. Entstehung durch mechanische Behandlung

Durch mechanische Behandlung von Lebensmitteln, insbesondere Obst und Gemüse, kann es aufgrund der Zerstörung des pflanzlichen Gewebes zum Ablauf enzymatischer Reaktionen kommen, die im intakten Zellverband nicht stattfinden würden (SCHREIER, 1995). Die Ausbildung der Aromastoffe durch die mechanische Behandlung hängt von den vorhandenen Substraten sowie den Enzymen ab. So enthält eine unbeschädigte Zwiebel schwefelhaltige Verbindungen, die aber noch weitgehend ohne Geruch oder Geschmack sind. Bei mechanischer Behandlung kann das Enzym Allinase seine spaltende Wirkung entfalten und die jeweiligen Vorstufen in aromaaktive Substanzen umwandeln (HERRMANN, 2001). Durch mechanische Behandlung kann es bei Obst und Gemüse auch zum Einsetzen der enzymatischen Bräunung kommen, wie dies bei geschnittenen Äpfeln, oder auch bei frisch gepresstem Apfelsaft der Fall ist. Dieser Vorgang, an dem das Enzym Polyphenoloxidase maßgeblich beteiligt ist, führt zu einer sensorischen Beeinflussung (KOMTHONG et al., 2006).

2.3.1.2.3. Entstehung durch Fermentation

Im Zuge der Milchsäure- und Alkoholischen Gärung werden dem zu fermentierenden Lebensmittel Mikroorganismen zugesetzt, deren Stoffwechselprodukte dann auch zum sensorischen Profil und der Aromagebung beitragen (DERNDORFER, 2002). In diesem Sinne werden bei der Joghurtherstellung zu homogenisierter und pasteurisierter Milch Bakterienkulturen, wie Milchsäurebakterien zugegeben, mit deren Hilfe die aromawirksamen Substanzen Diacetyl, Acetaldehyd, Acetoin, Ethanal, Dimethylsulfid, Essigsäure und Milchsäure entstehen (BESHKOVA et al., 2003; GARDINI et al., 1999; FRICKER, 1984).

2.3.1.2.4. Entstehung durch Lagerung

Während der Lagerung kann sich im Zuge der Nachreifung und in weiterer Folge des Verderbs, die Zusammensetzung des Aromaprofils eines Lebensmittels verändern, wobei die Konzentrationen von verschiedenen Substanzen zunehmen, während andere abnehmen (CHEN et al., 2006; LARA et al., 2003; ZHANG und LI, 2006). So wurde eine Studie durchgeführt um die Veränderung des Aromaprofils von reif geernteten Tomaten während der Lagerung zu analysieren. Das Ergebnis zeigte, dass sowohl die Intensität des Attributes „tomatenartig“, als auch jene der Empfindung „modrig“ während der Lagerung zunahm (KRUMBEIN et al., 2004).

Aromastoffe können auch bei der Lagerung von Lebensmitteln als Folge von chemischen oder biochemischen Prozessen in Anwesenheit von mikrobiellen Enzymen gebildet werden, wie dies bei gereiftem Käse und Wein der Fall ist.

Im Zuge der Lagerung kann es auch zur Lipidperoxidation kommen, wobei sekundäre Produkte dieses Vorgangs, wie Ketone, Aldehyde oder organische Säuren, sich negativ auf die sensorischen Eigenschaften des Lebensmittels auswirken (BELITZ et al., 2001; PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007).

2.3.1.3. Aromazusätze

Auch Aromastoffe, bzw. Aromen, die Lebensmitteln im Zuge der industriellen Verarbeitung zugesetzt werden, seien hier erwähnt. Dabei handelt es sich um

chemisch genau definierte, sowie gesetzlich geregelte Stoffe, die in sechs Klassen eingeteilt werden.

Natürliche Aromastoffe: Dabei handelt es sich um Einzelsubstanzen, die durch physikalische Verfahren, wie Extraktion oder Destillation, mikrobiologische oder enzymatische Verfahren aus geeigneten natürlichen Ausgangsmaterialien gewonnen werden.

Naturidente Aromastoffe: Diese Verbindungen werden mittels chemischer Synthese oder durch Isolierung mit Hilfe chemischer Verfahren hergestellt, wobei die chemische Beschaffenheit identisch mit jener eines Stoffes pflanzlichen oder tierischen Ursprungs sein muss.

Künstliche Aromastoffe: Durch chemische Synthese werden Substanzen hergestellt, die in ihrer chemischen Beschaffenheit nicht mit einem Aromastoff pflanzlichen oder tierischen Ursprungs ident sein müssen.

Aromaextrakte: Aromaextrakte sind Gemische aus natürlichen Aromastoffen, die mittels geeigneten physikalischen, mikrobiologischen oder enzymatischen Verfahren aus pflanzlichen oder tierischen Ausgangsmaterialien gewonnen werden (BROCKHAUS, 2001; BGBl. II Nr. 42/1998, Aromenverordnung).

Reaktionsaromen: Diese Klasse der Aromen wird durch Erhitzung eines Gemisches von Ausgangserzeugnissen, welches mindestens eine Aminogruppe und einen reduzierenden Zucker enthalten muss, gewonnen. Dabei darf die Erhitzungstemperatur höchstens 180°C über maximal 15 min betragen.

Raucharomen: Hierbei handelt es sich um Zubereitungen aus Rauch, die bei herkömmlichen Verfahren zum Räuchern von Lebensmitteln verwendet werden. Zusätzlich dürfen zum aromatisierten Lebensmittel Substanzen, die für die Lagerung, Verwendung, Auflösung und Verdünnung der Aromen erforderlich sind, zugesetzt werden (BGBl. II Nr. 42/1998, Aromenverordnung).

2.3.1.4. Aromafehler

Mit Aromafehler oder Off – Flavor wird ein vom charakteristischen Aroma eines Lebensmittels abweichendes Aromaprofil bezeichnet, das durch artfremde Geruchs- und Geschmacksstoffe bedingt ist und mittels chemischen Analyse

oder sensorischer Prüfung von Lebensmitteln festgestellt werden kann (DIN 10950-1:1999-04; EISENBRAND und SCHREIER, 2006; FLIEDNER und WILHELMI, 1989).

Die Entstehung von Aromafehlern, welche mit Hilfe unterschiedlicher Verfahren der instrumentellen Analytik sowie mit elektronischen Nasen identifiziert werden können, kann im Zuge der Verarbeitung von Lebensmitteln durch Fermentationsfehler, thermische Fehlbehandlung, Konservierung, Desinfektion oder die Lagerungszeit und Lagerbedingungen verursacht sein. Bei falscher Lagerung kann mikrobieller Verderb auftreten, wodurch negative Auswirkungen auf die sensorische Qualität sowie auf die Gesundheitssicherheit des Lebensmittels gegeben sind (PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007). So kann bei falscher Aufbewahrung die Reaktion von Inhaltsstoffen, wie durch die Oxidation bei Luft- oder Lichteintritt, die nicht-enzymatische Bräunung oder der Übergang aromawirksamer Verbindungen aus der Verpackung auftreten. Aromafehler können ihren Ursprung auch schon in der Produktion der Lebensmittel haben und durch Umweltkontaminanten, verwendete Biozide oder im Tierfutter vorkommende Substanzen entstehen (EISENBRAND und SCHREIER, 2006).

Eine Vielzahl von Faktoren kann die Veränderung des Aromaprofils beeinflussen, eine Auswahl daraus ist in Tabelle 2 ersichtlich.

Tab. 2: Beispiele für Ursachen von Aromafehlern

Ursache	Aromafehler	Lebensmittel
Photooxidation von Methionin zu Methional	Sonnenlichtgeschmack	Milch
Fehlfermentation durch <i>Streptococcus lactis</i> var. <i>malignes</i> ; dadurch Bildung von Phenylacetaldehyd und 2-Phenylethanol aus Phenylalanin	malzig	Milchprodukte
Oxidation oder Photooxidation von Valencen zu Nootkaton	Grapefruitnote	Orangensaft
Oxidation von δ -Limonen zu Carvon	Terpennote	Orangensaft

(BELITZ et al., 2001)

2.4. Analytische Verfahren zur Charakterisierung von Aromen

Um die qualitative und quantitative Zusammensetzung der Gesamtheit an Aromastoffen eines Rohstoffes oder Produktes und somit das Aromaprofil bestimmen zu können, sowie dadurch auf die sensorische Qualität des Prüfgutes schließen zu können, sind analytische Methoden von großer Bedeutung (PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007).

Ebenso kann aus den Ergebnissen von Aromastoffanalysen auf Veränderungen des Aromas während der Prozessführung geschlossen werden. Die Kenntnis über den natürlichen Aromastoffgehalt eines Lebensmittels bildet auch die Grundlage für den Nachweis einer unzulässigen Aromatisierung (BELITZ et al., 2008).

Die Analyse von Aromastoffen stellt eine Herausforderung dar und erfordert für repräsentative Ergebnisse, den Produkteigenschaften entsprechend die richtige Auswahl des Prüfgutes, der Methode sowie der passenden analytischen Instrumente (SALZER et al., 2005).

Bei der Analyse eines Lebensmittelaromas erfolgt im Zuge der Probenvorbereitung eine Isolierung der flüchtigen Verbindungen aus dem Prüfgut, welche daraufhin mittels verschiedener Methoden getrennt, detektiert, identifiziert und quantifiziert werden können (PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007; SALZER et al., 2005; BELITZ et al., 2008).

2.4.1. Probenvorbereitung

Um aromawirksame Substanzen analytisch zu identifizieren, erfolgt im Zuge der Probenvorbereitung meist eine Isolierung der Analyten von der komplexen Lebensmittelmatrix um störende Signale zu eliminieren oder eine Anreicherung zu erlangen (CAI et al., 2001; PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007). Der Großteil der im Ergebnis auftretenden Schwankungen und Fehler hat seinen Ursprung im Vorgang der Isolierung. Daher verringert ein automatisierter Prozessablauf die Variabilität und erhöht die Richtigkeit des Ergebnisses (REINECCIUS, 2006).

Um ein möglichst exaktes Ergebnis zu erhalten, müssen bezüglich der Auswahl der Methode, als auch der Durchführung einige Faktoren beachtet werden. So reicht das Spektrum der Einzelverbindungen von hochpolar bis lipophil und von leicht flüchtig bis schwer verdampfbar (SALZER et al., 2005).

Um auch Aromastoffe analytisch erfassen zu können, die in sehr niedrigen Konzentrationen (im µg/kg bis ng/kg Bereich) im Prüfgut vorkommen, aber dennoch einen wesentlichen Beitrag zum Aroma leisten, muss der Wahl der Menge an Ausgangsmaterial große Aufmerksamkeit geschenkt werden (BELITZ et al., 2008). Zudem kann die Lebensmittelmatrix den Aromastoffen gegenüber sehr ähnliche physikalische Eigenschaften, wie Siedepunkt oder Polarität aufweisen (SALZER et al., 2005).

2.4.1.1. Isolierung

Je nach Eigenschaften des Lebensmittels erfolgt die Wahl zwischen verschiedenen Methoden der Isolierung.

Eine direkte chromatografische Analyse erfolgt nur im Fall von Prüfgütern mit wenig komplexer Matrix, wie bei alkoholischen Getränken oder bei Proben mit sehr intensiven Aromen (APOSTOLOPOULOU et al., 2004; HERNÁNDEZ-GÓMEZ et al., 2003; HERNÁNDEZ-GÓMEZ et al., 2005; PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007).

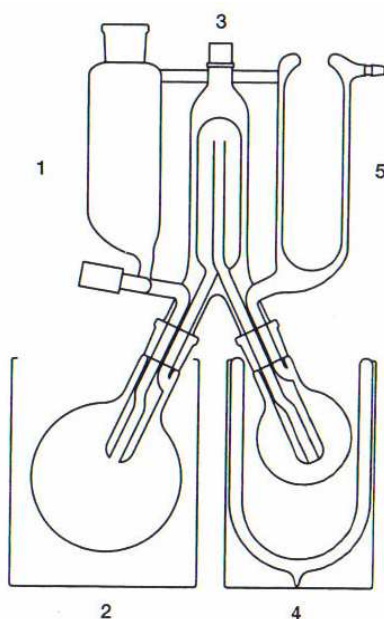
Zur Isolierung von Analyten aus der Matrix dienen Trennprinzipien basierend auf Siedepunkt, bzw. Dampfdruck wie bei einer Destillation, auf Verteilungskoeffizient oder Polarität wie bei einer Lösungsmittlextraktion oder auf der Interaktion von funktionellen Gruppen wie bei Adsorption, bzw. Desorption (SALZER et al., 2005).

Um die erwünschten Lebensmittelkomponenten zu isolieren, die aromawirksame Substanzen enthalten, welche die sensorische Qualität schon in geringen Konzentrationen beeinflussen, werden meist Destillation mit Wasserdampf, Solid Phase Microextraction (SPME) sowie statische oder dynamische Headspace-Analyse (SHS, DHS) verwendet. Verwendung finden auch Solid Phase Extraction (SPE) und Supercritical Fluid Extraction (SFE). Aufgrund geringerer Qualität der Ergebnisse sowie des erhöhten Arbeits- und

Zeitaufwandes kommen die Liquid-Liquid Extraction (LLE) sowie bei festen Produkten die Solvent Extraction (SE) zu geringerer Anwendung (PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007).

2.4.1.1.1. Steam Destillation (SD)

Bei dieser Technik erfolgt eine Isolierung der aromatischen Substanzen durch Wasserdampf. Die flüchtigen Aromastoffe von wässrig-flüssigen Lebensmitteln werden mit einem Teil des Wassers im Vakuum abdestilliert, wobei hochflüchtige Verbindungen mit gekühlten Vorlagen abgefangen werden. Eine Trennung vom Wasser sowie eine Vorfraktionierung der im Destillat enthaltenen organischen Verbindungen kann durch Extraktion oder Adsorption an einer hydrophoben Matrix sowie durch Umkehrphasenchromatographie erfolgen (BELITZ et al., 2008).



Das flüssige Lebensmittel, bzw. Extrakt tropft aus dem Trichter (1) in den Destillationskolben, der im Wasserbad (2) auf 35 – 40°C erwärmt wird. Die aufsteigenden Dämpfe werden in der Glocke (3) kondensiert und in der Vorlage (4) gekühlt aufgefangen. Durch das Dewar-Gefäß (5) wird die Vakuum-Pumpe geschützt (Abbildung 9) (BELITZ et al., 2008).

Abb. 9: Apparatur zur Destillation von Aromastoffen aus Lebensmitteln (BELITZ et al., 2008)

So kann SD auch bei Vorhandensein einer Matrix, die eine direkte Headspace-Analyse (HS) durch Binden von flüchtigen Komponenten verhindert, zur anfänglichen Extraktion der flüchtigen Substanzen verwendet werden, woraufhin eine Analyse des Extrakts mittels HS folgt.

Aufgrund der hohen Temperaturen kann SD zum thermischen Abbau von aromaaktiven Komponenten sowie zur Bildung von Artefakten führen. Dies verhindert die Verwendung der SD für Produkte, die thermisch instabile Substanzen enthalten sowie leicht oxidiert werden (SALZER et al., 2005; SIDES et al., 2000).

2.4.1.1.2. Solvent Assisted Flavor Evaporation (SAFE)

Hierbei handelt es sich um eine kompakte Form der Hochvakuumdestillation, bei der die Probe in eine fließfähige Form überführt und in manchen Fällen mit Lösungsmitteln versetzt wird. Über ein Ventil erfolgt der Einlass der Probe in einen unter Hochvakuum stehenden Kolben, wobei der verdampfbare Probenanteil in die Gasphase überführt wird und in einem tiefgekühlten Kolben kondensiert.

Geeignet ist diese zeit- und arbeitsintensive Methode zur Trennung von flüchtigen und nicht-flüchtigen Bestandteilen.

Bei höher siedenden Verbindungen kommt es zu einer geringen Wiederfindungsrate, während eine lipophile Matrix die Wiederfindung von lipophilen flüchtigen Substanzen reduziert. Da Wasseranteile der Matrix in das Destillat mit überführt werden, muss anschließend eine Abtrennung des Wassers erfolgen. Durch die darauf folgende destillative Einengung des Lösungsmittelextraktes ist der Verlust von leichtflüchtigen Substanzen begünstigt (SALZER et al., 2005).

2.4.1.1.3. Simultaneous Distillation and Extraction (SDE)

Diese Methode ermöglicht die Extraktion eines breiteren Spektrums an Analyten. Die Apparatur besteht aus zwei Kolben, wobei sich in einem die wässrige Probe befindet, im anderen ein Lösungsmittel. Durch Erhitzen der beiden Kolben bis zum Sieden kommt es zum Aufsteigen der Dämpfe, die im Mittelteil der Apparatur aufeinander treffen. Die Isolierung der Aromastoffe erfolgt nun durch Extraktion mittels der aufsteigenden Lösungsmitteldämpfe. Nach der Passage durch den Kühler erfolgt eine Trennung in zwei nicht mischbare Phasen, die in den jeweiligen Kolben zurückfließen.

Die Nachteile der SDE sind jedoch die geringe Wiederfindung von polaren Verbindungen, die starke thermische Belastung der Probe, ein möglicher Verlust von thermolabilen und hydrolyseempfindlichen Verbindungen sowie die Bildung von Artefakten aus der Matrix. Durch die destillative Einengung des Lösungsmittelextraktes kann auch der Verlust von leichtflüchtigen Substanzen erfolgen (PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007; SALZER et al., 2005).

2.4.1.1.4. Solvent Extraction (SE)

Bei dieser Methode erfolgt die Extraktion durch ein Lösungsmittel, darauf folgt eine Konzentration des Extrakts mittels Vakuumdestillation oder Destillation unter Stickstoff.

Der Vorteil der Lösungsmittelextraktion ist die Möglichkeit der Verwendung einer größeren Probenmenge und daraus resultierend die verbesserte Anreicherung der Analyten nach der Abtrennung des Lösungsmittels. Nachteile hingegen stellen die längere Analysenzeit, die mehrstufige Probenvorbereitung und damit verbunden ein größerer Verlust an Analyten sowie die geringe Selektivität der Isolierung dar. Typisch für die SE ist der im Chromatogramm auftretende Lösungsmittelpeak, der ein Anzeigen verschiedener flüchtiger Substanzen, wie Ethylacetat, verhindern kann (PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007). Zudem kann eine unerwünschte Extraktion von Komponenten der Matrix erfolgen (SIDES et al., 2000). Trotz dieser Nachteile wird eine Lösungsmittelextraktion aufgrund der zufrieden stellenden Ergebnisse vor allem bei Lebensmitteln, bei denen eine einfache Matrix gegeben ist, angewandt. Dazu zählen Obst, Gemüse oder Säfte (PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007).

2.4.1.1.5. Solid Phase Extraction (SPE)

Bei der Festphasenextraktion erfolgt aufgrund von Interaktionen funktioneller Gruppen eine Adsorption des Analyten.

Durch Vakuum oder Druck wird eine wässrige Probe durch ein speziell für die Stoffgruppe passendes Adsorptionsmaterial geführt und nachfolgend die

zurückgehaltenen Analyten mittels eines Extraktionsmittels abgespült (SALZER et al., 2005).

2.4.1.1.6. Solid Phase Microextraction (SPME)

Aufgrund von Siedepunkt und Adsorptionseffekten erfolgt bei dieser für leicht bis mittelflüchtige Substanzen geeigneten Methode eine Trennung und Anreicherung der Analyten. Die Substanzen, die sowohl an feste oder flüssige Matrices gebunden sein können, werden in relativ kurzer Zeit und mit geringem finanziellen Aufwand analysiert. Durch die milden Bedingungen während der Durchführung, wie geringe Temperaturen und Drücke sowie keine Verwendung von Lösungsmitteln, treten in der Zusammensetzung der Probe keine Veränderungen auf und die Bildung von Artefakten wird verhindert (PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007).

Dabei kann eine mit organischem Adsorptionsmaterial beschichtete Quarzfaser direkt in eine wässrige Probe eingeführt werden, was als Immersion-SPME bezeichnet wird, oder aber sie befindet sich im Kopfraum eines verschließbaren Gefäßes, welches die Probe beinhaltet. Im letzteren Fall handelt es sich um eine HS-SPME. Durch Temperierung stellt sich ein statisches Gleichgewicht der Analyten zwischen Probenmaterial, Gasraum und Adsorptionsmaterial ein, welches bei der HS-SPME schneller erreicht wird. Anschließend erfolgt eine thermische Desorption der adsorbierten Analyten im Injektorblock des GC-MS-Systems. Die Auswahl der Parameter Adsorptionsmaterial, Temperatur und Äquilibrationszeit ermöglicht eine gute Nachweisempfindlichkeit. Eine Besonderheit stellt die steigende Extraktionsrate von polaren Verbindungen bei Zugabe von Salz dar (PILLONEL et al., 2002), einen Nachteil hingegen die Diskriminierung von schwer flüchtigen Verbindungen dar (SALZER et al., 2005; SIDES et al., 2000).

2.4.1.1.7. Liquid-Liquid Extraction (LLE)

Dabei werden Aromastoffe aus wässriger Matrix mittels eines nicht mit Wasser mischbaren Lösungsmittels extrahiert. Die einfachste Form dieser Extraktion ist

die Ausschüttelung, wie dies im Scheidetrichter erfolgen kann (SALZER et al., 2005).

2.4.1.1.8. Solid Liquid Extraction (SLE)

Bei dieser Methode werden Analyten aus einer Festprobe über eine Phasenverteilung mit flüssigem Extraktionsmittel isoliert.

Typisch für diese Form der Analyse ist die Soxhlet-Apparatur, weitere Variationen sind Accelerated Solvent Extraction (beschleunigte Lösungsmittlextraktion), bei der die Lösungsmittleigenschaften mittels Druck und Temperatur optimiert werden sowie Ultraschallextraktion oder Mikrowellenextraktion, wobei der Probenaufschluss mittels Mikrowelleneinstrahlung und Druck erfolgt (SALZER et al., 2005).

2.4.1.1.9. Supercritical Fluid Extraction (SFE)

Bei der überkritischen Flüssigkeitsextraktion handelt es sich um eine relativ neue Analysenmethode (PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007). Hierbei wird mittels überkritischem Kohlendioxid extrahiert (SALZER et al., 2005). Die Extraktion kann durch die Optimierung der Extraktionstemperatur, des Druckes sowie der Zugabe von organischen Substanzen um eine Probe selektiv zu fraktionieren, beeinflusst werden. Zudem wird die Extraktion durch die verwendeten überkritischen Substanzen beschleunigt (SIDES et al., 2000). Im Vergleich mit anderen Lösungsmittelanalysetechniken ergibt sie ein reineres Extrakt. Verglichen mit der HS-Analyse bietet die SFE die Möglichkeit auch schwer flüchtige oder stark an die Matrix gebundene Komponenten zu isolieren.

2.4.1.1.10. Headspace-Analyse (HS)

Bei der HS-Analyse, die sich besonders zum Nachweis von leichtflüchtigen Verbindungen eignet, geht eine Isolierung und Anreicherung der Analyten aufgrund des Siedepunktes von statten.

Zur Durchführung wird das Prüfgut in einem verschlossenen Gefäß temperiert bis sich ein Gleichgewicht der flüchtigen Verbindungen zwischen Gasraum und Probenmaterial einstellt, wobei es sich um eine statische HS-Analyse handelt

(BELITZ et al., 2008; SALZER et al., 2005). Daraufhin erfolgt mittels Spritze der Abzug eines bestimmten Volumens aus dem Dampfraum über dem Lebensmittel und die Injektion in eine zur gaschromatographischen Analyse geeigneten Trennsäule. Die erhaltenen Extrakte sind verglichen mit anderen Techniken reiner und enthalten keine unerwünschten Komponenten. Der Wassergehalt und ein zu großes Probenvolumen mindern die Trennleistung der Gaschromatographie jedoch, wodurch nur mengenmäßig herausragende flüchtige Verbindungen vom Detektor angezeigt werden (BELITZ et al., 2008).

Eine Steigerung der Ausbeute erfolgt, wenn eine Extraktion der flüchtigen Verbindungen mit einem inerten Gas sowie ein Einfangen der Substanzen mittels festem oder flüssigem Sorptionsmittel, Kühlfalle oder Lösungsmittel durchgeführt wird (PILLONEL et al., 2002), wobei es sich um eine dynamische Headspace-Analyse handelt (BELITZ et al., 2008; SIDES et al., 2000), die auch als Purge and Trap Technik bezeichnet wird (PILLONEL et al., 2002; SIDES et al., 2000). Die eingefangenen Komponenten werden thermisch desorbiert oder mit einem Lösungsmittel eluiert (PILLONEL et al., 2002). Die Vorteile der DHS-Technik liegen in der schnellen Analyse der flüchtigen Verbindungen, ohne die Probe oder aromaaktive Komponenten zu zerstören (SIDES et al., 2000). Zudem können bei der DHS-Analyse durch die höhere Sensitivität Substanzen bis in den ppb-Bereich detektiert werden (PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007).

2.4.1.1.11. Thermodesorption (TDS)

Mittels verschiedener Varianten isoliert diese Methode die Analyten über das Prinzip der DHS-Analyse.

Dafür kann eine kleine Probenmenge in ein beheizbares Glasröhrchen gegeben werden und mittels beständigen Gasstroms erfolgt eine direkte Überführung der flüchtigen Komponenten in das Analysensystem. Gleichermäßen kann der Kopfraum einer größeren Probenmenge beständig abgeführt und über ein Adsorptionsmaterial geleitet werden, woraufhin eine thermische Desorption folgt. Ebenso kann ein mit organischem Adsorptionsmaterial überzogenes Glasstäbchen mit eingeschlossenem Rührmagnet in eine wässrige Probe

gegeben werden. Über permanentes Rühren erfolgt die Einstellung eines Gleichgewichts der Analyten zwischen wässriger Phase und Adsorptionsmaterial. Anschließend erfolgt wiederum eine thermische Desorption. Die letztgenannte Möglichkeit wird auch als Stir-Bar Sorptive Extraction bezeichnet (SALZER et al., 2005).

2.4.1.2. Anreicherungsverfahren

Liegt die Konzentration der Analyten unterhalb der Detektionsgrenze, können SLE, SPE, Gefriertrocknung oder Gelchromatographie zur Anreicherung herangezogen werden (SALZER et al., 2005).

2.4.2. Trennung

Nach Isolierung der Aromastoffe werden die Verbindungen mittels verschiedener Methoden getrennt, welche sowohl chromatographische als auch nicht-chromatographische sein können. Die Identifizierung erfolgt daraufhin durch Verwendung unterschiedlicher Detektoren (SALZER et al., 2005).

2.4.2.1. Chromatographische Techniken

Die Basis chromatographischer Techniken ist die Auftrennung der Substanzen durch unterschiedliche Verteilung in zwei Phasen. Dabei bewegt sich die mobile Phase, eine Flüssigkeit oder ein Gas, an der stationären Phase, die durch einen Feststoff oder eine Flüssigkeit dargestellt wird, vorbei und nimmt einzelne, an die stationäre Phase gebundene Komponenten unterschiedlich schnell mit.

Diese Techniken ermöglichen sowohl eine qualitative als auch eine quantitative Analyse von aromatischen Komponenten in Lebensmitteln (SALZER et al., 2005).

2.4.2.1.1. Gaschromatographie (GC)

Im Sinne der chromatographischen Methoden stellt die Gaschromatographie die Wichtigste dar. Dabei dient ein Feststoff oder eine Flüssigkeit als stationäre Phase, die mobile Phase jedoch ist gasförmig.

Die Durchführung dieser Analyse setzt voraus, dass die Probe unzersetzt verdampfbar ist sowie, dass die Analyten in einer für die Detektion ausreichenden Konzentration vorliegen.

Bei der Probenvorbereitung ist es möglich, störende Wasseranteile durch Trocknung zu entfernen, der Transfer von Matrixanteilen soll möglichst gering gehalten werden (SALZER et al., 2005).

Manche flüchtige Verbindungen sind in sehr niedriger Konzentration aromaaktiv, sodass die säulenchromatographische Trennung noch keine Identifizierung ermöglicht. Somit gelingt eine weitere Anreicherung meist mit Hilfe der multidimensionalen Gaschromatographie (MGC), wobei die Fraktion, die den unbekannten Aromastoff enthält an einer polaren Kapillare vorgetrennt wird. Das Eluat, in dem der Stoff vorkommt, wird in einer unpolaren Kapillare rechromatographiert und massenspektrometrisch analysiert (BELITZ et al., 2008).

Eine Neuentwicklung der GC stellen die Fast-GC und die Comprehensive-GC dar. Bei ersterer wird bei vergleichbarer Trennleistung eine Verkürzung der Analysenzeit durch Erhöhung der Heizrate erzielt. Anwendung findet diese Methode im Bereich von hoch siedenden Gemischen. Bei der Comprehensive- oder GC-GC wird das Eluat nach der ersten Trennung in kleine Fraktionen auf einer kurzen engen Trennsäule ein zweites Mal aufgelöst. Werden Säulen unterschiedlicher Selektivität verwendet, kann die Trennleistung deutlich erhöht werden (SALZER et al., 2005).

2.4.2.1.2. Liquid Chromatography (LC)

Im Gegensatz zur GC wird die Flüssigkeitschromatographie, bei der die mobile Phase von einer Flüssigkeit dargestellt wird, in der Aromastoffanalytik eher selten verwendet. Die zu untersuchende Substanz muss dabei in der flüssigen Phase löslich sein. Anwendung findet die LC bei thermisch instabilen Komponenten oder gering flüchtigen Substanzen sowie in der Probenvorbereitung. Flüssigkeitschromatographie wird meist mit Fluoreszenzdetektoren oder einem Photodiode Array Detector gekoppelt (PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007).

2.4.2.1.2.1. High Pressure Liquid Chromatography (HPLC)

Bei der Hochdruckflüssigkeitschromatographie ist die mobile Phase eine Flüssigkeit, die durch einen Druck von 100-200 bar durch die Trennsäule bewegt wird um so eine schnelle und hochwertige Trennung zu erreichen.

Diese Methode wird in Kombination mit diversen Detektoren auch zur Analyse von nichtflüchtigen Aromastoffen verwendet. Ebenso ist sie in Bezug auf die Bestimmung von polaren Verbindungen eine gute Alternative zur GC-MS (SALZER et al., 2005).

2.4.2.1.3. Weitere chromatographische Techniken

In geringem Ausmaß werden auch die im Folgenden erläuterten chromatographischen Methoden zur Trennung flüchtiger Substanzen verwendet.

Verteilungschromatographie in der HPLC

Diese Methode der Chromatographie wird durch die Polaritäten der mobilen und stationären Phasen in Normalphasenchromatographie (NP-Chromatographie) und Umkehrphasenchromatographie (RP-Chromatographie) unterteilt.

Bei der NP-Chromatographie ist die stationäre Phase polar, die mobile relativ unpolar. Die Retention nimmt mit steigender Polarität der Analyten zu. Bei der RP-Chromatographie hingegen ist die stationäre Phase die unpolare und die mobile die polare. Somit nimmt die Retention mit sinkender Polarität der Analyten zu (SALZER et al., 2005).

Adsorptionschromatographie

Dabei sind die unterschiedlichen Adsorptionsvorgängen am Adsorbens die Grundlage für die Retention der vornehmlich unpolaren Substanzen (SALZER et al., 2005).

Ionenchromatographie

Hierbei basiert der Trennprozess auf Austauschgleichgewichten zwischen Ionen in der mobilen Phase und gleichartigen Ionen in der unlöslichen,

hochmolekularen stationären Phase. Mit dieser Methode können vor allem anorganische Ionen analysiert werden (SALZER et al., 2005).

Ausschlusschromatographie

Das Prinzip beruht auf der Trennung von Molekülen unterschiedlicher Größe und findet vornehmlich bei hochmolekularen Substanzen Anwendung. Verwendet werden die Technik der Gelfiltrations- und Gelpermeationschromatographie, wobei erstere mit wässrigen Lösungsmitteln an hydrophilen Packungen erfolgt, letztere hingegen mit unpolaren organischen Lösungsmitteln und hydrophoben Packungen (SALZER et al., 2005).

2.4.2.2. Nicht chromatographische Techniken

2.4.2.2.1. Electronic nose

Bei dieser nicht chromatographischen Technik enthält das Analysensystem elektronische Gassensoren mit unterschiedlicher Affinität, die meist aus Metalloxiden oder organischen Polymeren bestehen (PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007; WILKES et al., 2000) sowie einer Software zur Muster-Erkennung der überprüften Substanzen (DERNDORFER, 2002). Ähnlich der menschlichen Nase registriert dieses Messinstrument charakteristische Aromen als einzelne Komponenten. Die physikalische oder chemische Interaktion von Aromastoffen mit der Matrix des Sensors führen zur Umwandlung in ein elektrisches Signal. Die Antwort des Systems gegen die Zeit ergibt ein Aromaprofil.

Der Nachteil der Electronic noses ist die hohe Sensitivität zu Matrixkomponenten wie Ethanol, Kohlendioxid oder Wasserdampf, wodurch diese Komponenten vor der Analyse aus alkoholischen oder mit Kohlensäure versetzten Getränke entfernt werden müssen (MIELLE, 1996; PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007).

2.4.2.2. Elektrophorese

Elektrophoretische Verfahren können zur Trennung von ionischen Verbindungen eingesetzt werden und basieren auf der Migration von Ionen in einem elektrischen Feld. Aufgrund verschiedener Wanderungsgeschwindigkeiten werden Trenneffekte erzielt. Da hierbei keine Verteilung des Analyten zwischen einer mobilen und einer stationären Phase erfolgt, handelt es sich um keine chromatographische Methode (SALZER et al., 2005).

2.4.3. Detektion und Identifikation

2.4.3.1. Koppelung mit chromatographischen Trennmethode

GC wird oft mit einem Flammenionisationsdetektor gekoppelt, der als Universaldetektor den Erhalt von vollständigen Aromagrammen ermöglicht.

Um Aromaprofile von Komponenten bestimmter Klassen, wie schwefelhaltigen Substanzen, zu gewinnen, können auch selektive Detektoren verwendet werden. Hierbei ist die Kombination von GC und Massenspektrometrie von großer Bedeutung, da die gleichzeitige Identifizierung verschiedener Aromakomponenten eines Lebensmittels ermöglicht wird.

Die Möglichkeit der sensorischen Analyse und der halbquantitativen Evaluierung der aromaaktiven Komponenten unter den in der Probe enthaltenen flüchtigen Substanzen ist durch den olfaktometrischen Detektor gegeben. Eine direkte olfaktorische Auswertung der aus der Säule eluierten Substanzen kann so erfolgen.

Eine Vielzahl von Trenntechniken können aber auch zu so genannten gekoppelten Analysensystemen online zugeschaltet werden. Somit wird der präparative Aufwand zur Isolierung von Komponenten vor jeder Messung reduziert und die Strukturformeln einzelner Verbindungen können direkt in einem einzelnen Analysenschritt aufgeklärt oder gegen Referenzdaten verglichen werden (SALZER et al., 2005).

2.4.3.1.1. Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS)

Bei der Detektion von Aromastoffen, die einer chromatographischen Trennung unterzogen wurden, erfolgt meist eine Kombination aus Massenspektrometrie mit vorgeschalteter Gaschromatographie, wobei ein auswertbares Spektrum entsteht. Da viele der im Chromatogramm aufscheinenden flüchtigen Substanzen nicht aromawirksam sind, muss eine genauere Erhebung der Aromakomponenten erfolgen (SIDES et al., 2000).

Bei Verfügbarkeit der entsprechenden Referenzsubstanz, basiert die Identifizierung des Aromastoffes auf der Übereinstimmung im Massenspektrum, in den Retentionsindices an mindestens zwei Kapillarsäulen unterschiedlicher Polarität oder über die Geruchsschwellen, die gaschromatographisch-olfaktometrisch verglichen werden.

Ist die entsprechende Referenzsubstanz nicht verfügbar, so wird der Aromastoff soweit angereichert, dass ein ^1H -NMR-Spektrum und gegebenenfalls auch ein ^{13}C -Spektrum gemessen werden können (BELITZ et al., 2008).

Die Koppelung GC-MS wird hauptsächlich zur Identifizierung und Quantifizierung von flüchtigen Aromastoffen verwendet. Dabei ist innerhalb eines Analysenlaufes die Bestimmung von komplexen Aromastoffgemischen aus bis zu einigen hundert Verbindungen möglich.

Den Nachteil der GC-MS stellt die Tatsache dar, dass ohne Anwendung spezieller chiraler Phasen die Trennung von optischen Isomeren üblicherweise nicht möglich ist (SALZER et al., 2005).

Wird bei der Comprehensive-GC das Eluat nach der ersten Trennung mittels Säulen unterschiedlicher Selektivität ein zweites Mal in kleine Fraktionen getrennt, so werden im erhaltenen zweidimensionalen Chromatogramm Probenkomponenten ähnlicher Natur gruppiert und können als solche identifiziert werden (SALZER et al., 2005).

2.4.3.1.2. Gaschromatographie-Olfaktometrie (GC-O)

Um aus einem Isolat jene Verbindungen zu bestimmen, die für den Aromaeindruck ausschlaggebend sind, kann die Gaschromatographie-

Olfaktometrie, bei der die instrumentelle Analyse mit dem menschlichen Geruchsinns gekoppelt wird, angewandt (SALZER et al., 2005).

Dabei wird nach dem Durchlaufen der Säule der Gasstrom gespalten, ein Teil dem Detektor zugeführt und der andere durch eine Prüfperson abgerochen. So kann festgestellt werden, ob die Substanz, die einen Peak verursacht, auch zum Aroma beiträgt. Zudem können den einzelnen Peaks definierte Gerüche zugeordnet werden (FRICKER, 1984; NEY, 1987).

Im Anschluss daran werden oftmals Weglassversuche getätigt um einen tatsächlichen Beitrag der Substanz zum Aroma zu überprüfen.

Im Zuge der Probenvorbereitung wird die GC-O oft mit einer HS-Analyse kombiniert (Abbildung 10) (BELITZ et al., 2008).

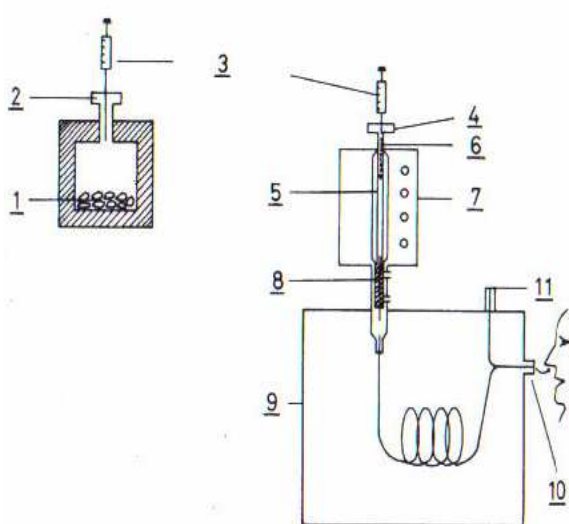


Abb. 10: Apparatur für die HS-GC-O
(BELITZ et al., 2008)

1. Probe in thermostatisiertem Glasgefäß
2. Septum
3. gasdichte Spritze
4. Injektor
5. hydrophobiertes Glasrohr
6. Trägergas
7. Purge und Trap-System
8. Kühlfalle
9. Gaschromatograph mit Kapillarsäule
10. Sniffing port
11. Flammenionisationsdetektor

Bei der GC-O werden die Aromastoffe im vollständig verdampften Zustand sensorisch beurteilt, wodurch die Geruchsschwellen wesentlich niedriger sind als in Lösung. Somit werden zur Eliminierung dieser Vereinfachungen die Aromawerte nach der Formel $A_x = c_x/a_x$ berechnet. Dabei stellt c_x die Konzentration eines Aromastoffes dar, als Geruchsschwellen a_x werden jene der Verbindungen gelöst in Wasser, Öl oder Stärke, je nachdem welcher von

diesen Stoffen im Lebensmittel dominiert, zur Berechnung herangezogen (BELITZ et al., 2008).

2.4.4. Quantifizierung

Neben der Identifizierung der Aromastoffe kann auch eine Quantifizierung erfolgen. Unter quantitativen olfaktorischen Methoden werden einerseits jene Methoden verstanden, die die Geruchsintensität der Analyten mit der Dauer des Geruchseindrucks während einer einfachen Chromatographie in Relation setzen, wie die CHARM-Analyse. Andererseits zählen dazu auch jene Analysen, bei denen Verdünnungsreihen einer Substanz erstellt und analysiert werden bis im Eluent der Säule kein Geruch mehr wahrgenommen werden kann, wie bei der AEDA (PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007).

2.4.4.1. Aromaextract-Dilution-Analysis (AEDA)

Durch eine schrittweise Verdünnung des Extraktes bis zur Wahrnehmungsschwelle und der anschließenden gaschromatographisch/olfaktorischen Analyse ergibt sich für jeden im Gaschromatogramm auftretenden Aromastoff ein Verdünnungsfaktor 2^n , wobei „n“ die Anzahl der 1:1 Verdünnungen darstellt. Dieser „flavour dilution factor“ (FD-Faktor) stellt die Differenz der Konzentration an geruchsaktiven Komponenten die zu Beginn vorherrscht, im Vergleich zu jener Konzentration in dem am meisten verdünnten Extrakt dar und gibt somit an, mit wie vielen Teilen Lösungsmittel das Aromaextrakt verdünnt werden muss bis der Aromawert auf $A_x = 1$ gesunken ist.

Das Ergebnis einer AEDA kann in einem FD-Diagramm dargestellt werden, in dem der FD-Faktor über der Retentionszeit in Form des Retentionsindex (RI) aufgetragen wird (BELITZ et al., 2008).

2.4.4.2. Combined hedonic response measurement (CHARM-Analysis)

Bei der CHARM-Analysis wird die Dauer eines Geruchseindrucks mit der Geruchsintensität des Analyten während einer einfachen GC in Verbindung gebracht. Diese CHARM-Werte sind den Aromawerten proportional. Auch die

durch Verdünnungsanalysen erhaltenen Ergebnisse in Bezug auf die Dauer jedes Geruchseindrucks können in ein spezielles Computerprogramm eingegeben werden, womit die CHARM-Werte, und somit die diesen proportionalen Aromawerte, berechnet werden (BELITZ et al., 2008; PLUTOWSKA und WARDENCKI, 2007).

2.4.4.3. Isotope-Dilution-Assay (IDA)

Um eine Quantifizierung der flüchtigen Verbindungen mittels Isotopenverdünnungsanalyse zu erlangen, werden stabile, isotopenmarkierte Standards einer jeden zu analysierenden Komponente benötigt. Da die Synthese dieser großen Anzahl an isotopenmarkierten Substanzen sehr aufwändig ist, eignet sich diese Methode speziell bei Interesse an der Quantifizierung einer geringen Anzahl an Verbindungen, wie im Fall von *key components* (REINECCIUS, 2006). Diese Technik ermöglicht auch eine Quantifizierung im Spurenbereich (SALZER et al., 2005).

Damit genaue (Standardabweichung <10%) und reproduzierbare Ergebnisse quantitativer Analysen erhalten werden, müssen die chemische und physikalische Eigenschaften des Standards jenen des Analyten sehr ähnlich sein. Verluste des Analyten bei der destillativen Gewinnung und der Aufreinigung beeinflussen das Ergebnis der IVA nicht, da der Standard dieselben Verluste erfährt.

Aus ökonomischen Gründen werden interne Standards mit Deuterium markiert und für die IDA synthetisiert. Kann im Analysengang ein Deuterium/Protium-Austausch, der das Ergebnis verfälschen könnte, stattfinden, so wird das teurere Kohlenstoffisotop-13 verwendet (BELITZ et al., 2008).

Die Analyten und ihre Standards werden daraufhin gaschromatographisch getrennt und massenspektrometrisch analysiert. Hierbei werden Massenspektrogramme für jene Ionen registriert, in denen sich der Analyt und sein Isotopomer unterscheiden. Die Auswertung erfolgt über einen Vergleich der Flächen von Analyt und Standard anhand der Massenspektrogramme (BELITZ et al., 2008).

2.4.5. Authentizitätsprüfung

Um zu eruieren, ob sich die analytisch gefundenen Aromastoffe tatsächlich im Prüfgut befinden, kann die Prüfung der Authentizität erfolgen.

2.4.5.1. Aromamodell – Weglassversuche

Um eine Authentizitätskontrolle mittels Aromamodell durchzuführen, werden die Verbindungen in den gefundenen Konzentrationen in einem geeigneten Medium gelöst, wobei dieses Lösungsmittel an das Lebensmittel angepasst werden muss. Das erhaltene Rekombinat wird als Aromamodell bezeichnet, dessen Aromaprofil dann mit dem des Lebensmittels verglichen wird.

Aromastoffe, die durch Verdünnungsanalysen identifiziert werden, berücksichtigen weder additive, noch antagonistische Effekte, da die Aromastoffe nach erfolgter gaschromatographischer Trennung einzeln abgerochen werden. Um zu erkennen, ob alle im Aromamodell enthaltenen Verbindungen an der Ausbildung des betreffenden Aromas mitwirken, werden im Modell ein oder mehrere Aromastoffe weggelassen und daraufhin ein Triangeltest durchgeführt. Dabei werden den Prüfern drei Proben (zwei vollständige, eine reduzierte Probe) in unterschiedlicher Reihenfolge angeboten und es wird geprüft, welche sich von den anderen beiden unterscheidet. Wird von einer signifikanten Anzahl an Prüfern ein Unterschied ermittelt, so ist davon auszugehen, dass der fehlende Aromastoff einen Beitrag zum Aroma leistet (BELITZ et al., 2008; REINECCIUS, 2006).

3. Aromastoffe in ausgewählten alltäglichen Lebensmitteln

3.1. Obst

Ein wichtiges Merkmal verschiedener Obstsorten wie Kern-, Stein- und Beerenobst sowie Wild-, Citrus- und Südfrüchten ist ein charakteristisches Aroma, welches sich im Allgemeinen erst in der Reifephase bildet. Fruchtaromen sind komplexe Stoffgemische, die oft aus bis zu einigen hundert identifizierten Aromastoffen bestehen und deren Gesamtheit eine Menge von 10-100 mg/kg ausmacht oder noch darunter liegt (EISENBRAND und SCHREIER, 2006; HERRMANN, 2001). Der Großteil der Verbindungen kommt im µg/kg-Bereich oder darunter vor, einige wenige Substanzen treten im mg/kg-Bereich auf (HERRMANN, 2001).

Die Konzentration des Gesamtaromas variiert ebenso wie die Zusammensetzung der Fruchtaromen je nach Sorte, Klima, Lage, Reifegrad, Erntezeitpunkt und Lagerbedingungen. Aromaveränderungen können insbesondere auch bei der Zerstörung des Zellverbandes eintreten, wenn durch enzymatische Hydrolyse- oder Oxidationsvorgänge Aromastoffe gebildet werden (EISENBRAND und SCHREIER, 2006).

3.1.1. Kernobst

3.1.1.1. Apfel

Bei Äpfeln handelt es sich um Früchte des Apfelbaumes, um Kernobstgewächse aus der Familie der Rosengewächse (*Rosaceae*). Diese Frucht ist eine Sammelbalgfrucht, wobei eine der bedeutendsten Arten der Kulturapfel (*Malus domestica*) darstellt (BERLITZ et al., 2008).

Flüchtige Substanzen sind für das Aroma von Früchten verantwortlich und stellen ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung der Qualität von Äpfeln dar. In vielen Untersuchungen von Äpfeln konnten mehr als 300 flüchtige Komponenten gefunden werden (DIXON und HEWETT, 2001).

Apfelaroma entsteht durch eine komplexe Mischung aus Alkoholen, Aldehyden, veresterten Säuren, Estragol und Terpenen. Von diesen Bestandteilen sind

aber nur 20 – 40 direkt mit dem charakteristischen Apfelaroma assoziiert, wobei die Hauptkomponenten Hexanal, Hexanol, Butylacetat, Hexylacetat, Ethyl-2-methylbutanoat, Butyl-, Hexyl-, und 3-Methylbutylhexanoat, Ethyl-, Propyl- und Hexylbutanoate sowie β -Damascenon sind (VANOLI et al., 1995).

XIAOBO und JIEWEN (2008) ermittelten die in *Fuji*, *Jina* und *Huanu* Äpfeln enthaltenen Aromastoffe anhand von SPME und GC-MS, wobei STIJN et al. (2003) zeigten, dass sich diese Technik hervorragend eignet, um die Unterschiede der Zusammensetzung der flüchtigen Substanzen in verschiedenen Apfelsorten zu messen. In *Fuji*, *Jina* und *Huanu* Äpfeln wurden 22 verschiedene Aromakomponenten gefunden, wobei nur acht davon in allen drei Sorten enthalten waren. Somit konnte gezeigt werden, dass die Zusammensetzung und der Gehalt des Aromas verschiedener Sorten variiert (Tabelle 3) (XIAOBO und JIEWEN, 2008).

Tab. 3: Aus *Fuji*, *Jina* und *Huanu* Äpfeln identifizierte Aromastoffe; Komponenten, die in allen drei Sorten auftreten, sind grau hinterlegt

Retentionszeit [min]	Komponente	Gehalt der einzelnen flüchtigen Substanzen $\bar{x} \pm \sigma$ [$\mu\text{g/L}$] *		
		<i>Jina</i>	<i>Fuji</i>	<i>Huanu</i>
1,57	Ethanol		416 $\pm$ 26	
2,67	1-Butanol	875.2 $\pm$ 83	350 $\pm$ 18	1205 $\pm$ 24
3,34	Ethylpropionat			8211 $\pm$ 35
3,81	1-Butanol, 2-methyl	54340 $\pm$ 306	19800 $\pm$ 503	3070 $\pm$ 32
5,14	Hexanal	5430 $\pm$ 167	9090 $\pm$ 95	688 $\pm$ 24
5,56	Butylacetat	533 $\pm$ 23	9700 $\pm$ 78	
6,85	2-Hexenal	41931 $\pm$ 133	6063 $\pm$ 143	3404 $\pm$ 54
7,10	1-Hexanol	407 $\pm$ 14	816 $\pm$ 76	7035 $\pm$ 485
7,39	1-Butanol, 2-Methylacetat	1961 $\pm$ 12	648 $\pm$ 106	
7,95	Propylbutanoat	17913 $\pm$ 132		
8,28	Propylacetat	20673 $\pm$ 185		
8,46	Pentylacetat	9748 $\pm$ 121	21280 $\pm$ 212	
10,92	5-Hepten-2-on-6-methyl	820 $\pm$ 45	695 $\pm$ 36	7781 $\pm$ 434
11,01	Butylbutanoat		684 $\pm$ 25	
11,56	Hexylacetat	399.8 $\pm$ 45	695 $\pm$ 54	
12,04	2-Methyl-1-hexanol	697 $\pm$ 63		
12,44	2-Methylbutylbutanoat	838.8 $\pm$ 72	3060 $\pm$ 87	
14,04	Ethylhexanoat		1769 $\pm$ 132	
16,94	Hexylbutanoat	265.3 $\pm$ 67	3312 $\pm$ 271	
18,24	2-Methylhexylbutanoat	354 $\pm$ 34	3955 $\pm$ 154	466.3 $\pm$ 34
19,35	Butylbutanoat		1975 $\pm$ 131	1663 $\pm$ 44
22,27	Hexylhexanoate	27604 $\pm$ 534	26580 $\pm$ 567	823.9 $\pm$ 45

* $\bar{x}$: Mittelwert, σ : Standardabweichung

(XIAOBO und JIEWEN, 2008)

SONG und BANGERTH (1996) stellten den Reifegrad von *Golden Delicious* Äpfeln bei der Ernte als das Aroma beeinflussenden Faktor dar. In diesem Sinne untersuchten sie die Entwicklung flüchtiger Aromakomponenten von Äpfeln, die in unterschiedlichen Reifestadien (6 Reifestadien, je nach Erntezeitpunkt) geerntet wurden, während der Nachreifung bei 20°C.

Die Entstehung der flüchtigen Komponenten wurde als stark abhängig von Reifegrad, Atmung, bzw. dem Kohlendioxid-Ausstoß und den Veränderungen

der Ethylenproduktion beschrieben. So zeigte sich bei Früchten, die 4 Wochen vor Eintritt des Klimakterium geerntet wurden, eine gering ausgeprägte Atmung, eine reduzierte Ethylenproduktion sowie eine verminderte und später einsetzende Synthese des Aromas. Letzteres aufgrund der geringeren Menge an Substanzen, die die Vorstufe für die Synthese bilden. Bezogen auf Früchte, die im fünften und sechsten Reifestadium geerntet wurden, betrug die gesamte Produktion an flüchtigen Substanzen bei den früher geernteten Äpfeln nur 10-15%.

Eine Anreicherung der flüchtigen Aromastoffe erfolgte mittels HS-SPME, die Analyse mit Hilfe der GC-FID und die Identifizierung durch GC-MS.

Von den gefundenen Komponenten konnten 36 durch GC-MS identifiziert werden. Ester und Alkohole, wie Butylacetat, Hexylacetat, 2-Methylbutylacetat, Butylbutanoat, Butylhexanoat, Hexylbutanoat und Butanol, stellten rund 80% der flüchtigen Substanzen dar. Als *character impact compounds* wurden Butylacetat, Hexylacetat, 2-Methylbutylacetat und Ethyl-2-Methylbutanoat identifiziert erachtet (SONG und BANGERTH, 1996), welche auch schon 1973 von DRAWERT et al. sowie 1986 von KAKIUCHI et al. gefunden wurden. Der Anstieg der Syntheseraten dieser Komponenten während des Reifeprozesses wurde ermittelt und als ähnlich zur Zunahme des Gesamtaromas beschrieben.

Das identifizierte 4-Methoxyallylbenzen wurde gemeinsam mit α -Farnesen als für den „grünen Geruch“ verschiedener Äpfel ausschlaggebend erachtet (SONG und BANGERTH, 1996).

α -Farnesen wurde auch von PALIYATH et al. (1997) als jene flüchtige Komponente identifiziert, die in *Red Delicious* und *McIntosh* Äpfeln hauptsächlich vorkommt und durch einen Peroxidationsvorgang bei diesen Apfelsorten vermehrt zur Lagerkrankheit Schalenbräune führt.

GIRARD und LAU (1995) untersuchten das Aromaprofil von *Jonagold* Äpfeln zu verschiedenen Erntezeitpunkten und unter unterschiedlichen Lagerbedingungen. Es wurde drei Mal, in zweiwöchigen Intervallen, beginnend zwei Wochen vor dem üblichen Zeitpunkt, geerntet. Danach wurden die Äpfel für sechs Monate an der Luft und unter kontrollierter Atmosphäre mit 1,5% O₂ und 1,5% CO₂ bei 1°C gelagert.

Unter kontrollierter Atmosphäre wird die Produktion von flüchtigen Substanzen stark verringert. So entstehen um 45-75% weniger α -Farnesen und Alkohole mit 3-6 Kohlenstoffatomen und um 75% weniger Ester.

Verglichen mit der ersten, konnte unter den jeweils gleichen Lagerbedingungen, bei der letzten Ernte eine Zunahme der flüchtigen Substanzen um 14% festgestellt werden. Dies ergibt sich aus der Zunahme von Estern und Alkoholen mit 3 – 6 Kohlenstoffatomen und dem Hydrocarbon α -Farnesen. Hexanal machte die Hälfte der Aldehyde aus, wurde aber vom Erntezeitpunkt oder den Lagerungsbedingungen nicht beeinflusst (GIRARD und LAU, 1995).

Die Auswirkung des Erntezeitpunktes auf die Zusammensetzung der flüchtigen Inhaltsstoffe von *Starkspur Golden* Äpfeln wurde von VANOLI et al. (1995) untersucht. Die Probenvorbereitung der Früchte, die 158, 172, 181 Tage nach der Hochblüte geerntet wurden, erfolgte hierbei durch die DHS-Methode, die Analyse durch GC.

Es konnten sowohl qualitative, als auch quantitative Unterschiede in der Zusammensetzung des Aromas eruiert werden. Während die 172 Tage nach der Hochblüte geernteten Früchte den höchsten Gehalt an flüchtigen Substanzen sowie die beste Zusammensetzung aufwiesen, ließ jene der früher, bzw. später geernteten Früchte auf Un-, bzw. Überreife schließen.

Äpfel, die 172 Tage nach der Hochblüte geerntet wurden, wiesen den höchsten Gehalt an den Acetatestern Pentyl- und Hexylacetat, welche für das typische *Starkspur Golden* Apfelaroma verantwortlich sind, auf.

Wurden die Früchte 158 Tage nach der Hochblüte geerntet, zeigte sich ein geringerer Gehalt an Butanoat und Alkoholen sowie einen hohen Gehalt an Acetatestern, die das typische „Golden“ Aroma charakterisieren. Unter allen geernteten Früchten, konnte nur in diesen 3-Penten-1-ol gefunden werden, welches typisch für reife Äpfel ist.

Die zum spätesten Zeitpunkt geernteten Äpfel waren durch die höchste Menge an Butanoat und einer hohen Konzentration an Alkoholen gekennzeichnet. Überreife korreliert auch mit der Summe an Ethylbutanoat, Ethylpropanoat, Ethyl-2-Methylpropanoat, Methylbutanoat, Methyl-2-Methylbutanoat, Ethyl-2-Methylbutanoat und Ethylpentanoat (VANOLI et al., 1995).

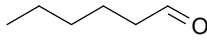
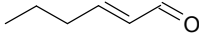
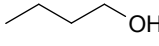
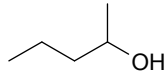
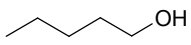
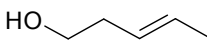
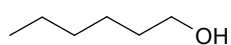
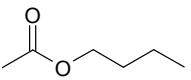
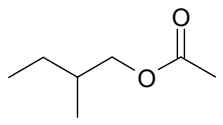
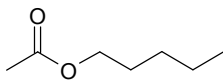
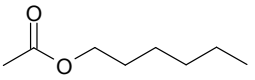
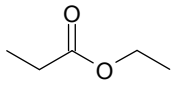
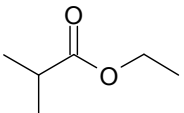
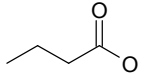
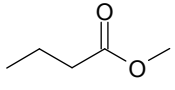
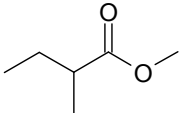
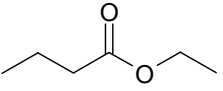
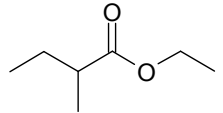
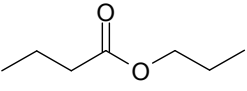
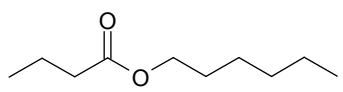
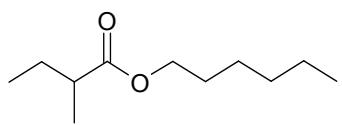
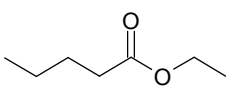
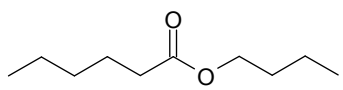
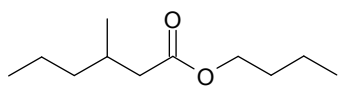
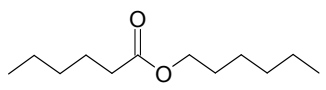
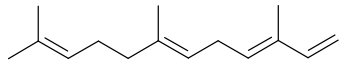
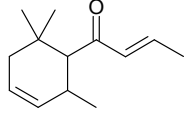
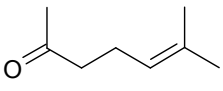
LO SCALZO et al. (2001) untersuchten die Zusammensetzung des Aromas von zwei Arten der *Annurca* Äpfel zum Zeitpunkt der Ernte und nach dem Vorgang der Rötung der Äpfel, welcher in etwa 30 Tage in Anspruch nimmt. Bei diesen zwei Arten handelt es sich um herkömmlich kultivierte *Standard* Äpfel und *Rossa del Sud* Äpfel, deren Oberfläche schon bei der Ernte einen höheren Prozentsatz an Rötung aufweist. Die flüchtigen Substanzen wurden mittels Headspace Analyse aus den intakten Früchten gewonnen und zur Trennung direkt in GC-MS- und GC-FID-Systeme eingeleitet. Die Identifikation basierte auf dem Vergleich der relativen Retentionszeiten mit jenen der Standards. Die Konzentrationen der Komponenten wurden mittels GC-FID durch den Vergleich mit Standards, kombiniert mit dem Gewicht der Frucht sowie der Luftflussrate durch die Probengefäße ermittelt. Es konnten 31 Aromakomponenten identifiziert werden, wobei sich *Standard* und *Rossa del Sud* Äpfeln hierbei vorrangig in quantitativer Hinsicht unterschieden. Während des Rötungsprozesses kommt es zu einem Anstieg des Gesamtaromas, welcher bei *Standard* Äpfeln, vermutlich aufgrund der noch geringeren Rötung zum Erntezeitpunkt, höher ist. Ester und Alkohole machten den Großteil der aromawirksamen Substanzen aus. So konnte das vermehrte Vorkommen von Butanoaten, als auch von verzweigtkettigen Estern, wie Propanoaten und Hexanoaten festgehalten werden. Zudem wurde eine, im Vergleich zu anderen kultivierten Äpfeln, hohe Menge an n-Pentanol bestimmt, welches als Besonderheit des Aromas von *Annurca* Äpfeln angesehen werden kann. Als im Apfelaroma eher unüblich vorkommende Komponente konnte δ -Octalacton identifiziert werden, wodurch das Aroma eines *Annurca* Apfels ebenfalls von anderen Äpfeln unterschieden werden kann.

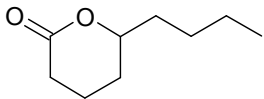
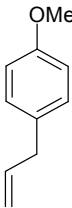
VILLATORO et al. (2008) untersuchten die Entstehung der flüchtigen Aromakomponenten während der Reifung von *Pink Lady* Äpfeln in Abhängigkeit von der Aktivität verschiedener Enzyme wie Lipoxygenase und Alkohol-o-Acyltransferase. Die Extraktion flüchtiger Aromakomponenten erfolgte mittels HS, während Identifikation und Quantifikation mit GC-FID durchgeführt wurde. Zum Nachweis der Inhaltsstoffe wurde noch ein GC-MS System verwendet und die Ergebnisse in $\mu\text{g/kg}$ angegeben.

Auch hierbei konnte eine geringere Aromastoffproduktion in vor dem Klimakterium geernteten Früchten aufgezeigt werden, die bei reifen Früchten anstieg. Es konnten 28 flüchtige Aromakomponenten identifiziert werden, wobei die Hexylester Hexylacetat, Hexyl-2-Methylbutanoat, Hexylhexanoat, Hexylbutanoat sowie die Acetatester 2-Methylbutylacetat und Butylacetat, mit bis zu 74% der flüchtigen Aromakomponenten, je nach Reifestadium, den herausragenden Teil der flüchtigen Substanzen darstellten. Somit wurden sie als wichtigen Faktor angesehen, der die Reife von Früchten definiert (VILLATORO et al., 2008). In *Pink Lady* Äpfeln, welche eine Kreuzung zwischen *Lady Williams* und *Golden Delicious* sind, können im Gegensatz zu *Golden Delicious* Äpfeln noch keine signifikanten Mengen an Butylbutanoat in der unreifen Frucht nachgewiesen werden (SONG und BANGERTH, 1996).

Der Ethanolgehalt nimmt im Zuge der Reifung ab, während der Acetaldehydgehalt steigt. Dies kann dadurch in Zusammenhang gebracht werden, dass Acetaldehyd durch enzymatische Oxidation aus Ethanol entsteht. Weitere Alkohole, die eine Vorstufe der Ester darstellen, sind erst gegen Ende der Reifung nachweisbar, da in früheren Stadien die geringen Mengen an produzierten Alkoholen von der Alkohol-o-Acyltransferase zur Synthese von Estern verwendet werden. Die Aktivität dieses Enzyms veränderte sich im Untersuchungszeitraum nur geringfügig, woraus die Schlussfolgerung gezogen werden kann, dass der Anstieg der Ester durch ein mit der Reifung ansteigendes Angebot an Substrat erfolgt. Der Gehalt an Lipxygenase hingegen stieg während des fortschreitenden Reifestadiums der Äpfel an (VILLATORO et al., 2008). Die aus Äpfeln identifizierten Aromastoffe können Tabelle 4 entnommen werden.

Tab. 4: Aus Äpfeln identifizierte Aromastoffe

Acetaldehyd 	Hexanal 	2-Hexenal 
Ethanol $\text{H}_5\text{C}_2\text{—OH}$	1-Butanol 	1-Butanol-2-methyl 
n-Pentanol 	3-Penten-1-ol 	Hexanol 
Butylacetat 	2-Methylbutylacetat 	Pentylacetat 
Hexylacetat 	Ethylpropanoat 	Ethyl-2-Methylpropanoat 
Butanoat 	Methylbutanoat 	Methyl-2-Methylbutanoat 
Ethylbutanoat 	Ethyl-2-Methylbutanoat 	Propylbutanoat 
Hexylbutanoat 	2-Methylhexylbutanoat 	Ethylpentanoat 
Butylhexanoat 	3-Methylbutylhexanoat 	Hexylhexanoat 
α-Farnesen 	β-Damascenon 	5-Hepten-2-on-6-methyl 

δ-Octalacton 	4-Methoxyallylbenzen 	
---	---	--

(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001;

www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net;
www.ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/flavouring/database; www.rdchemicals.com;
www.thegoodscentcompany.com/allprov.html)

3.1.1.2. Birne

Birnen (*Pyrus*) sind wie Äpfel Sammelbalgfrüchte und zählen zur Familie der *Rutaceae* (BELITZ et al., 2008).

HEINZ und JENNINGS stellten 1966 fest, dass Hexylacetat und (*E,Z*)-2,4-Ethyldecadienoat einen wichtigen Beitrag zum Aroma der *Bartlett* Birne leisten.

SHIOTA et al. (1981) hielten Ethyl-, Propyl-, Butyl- und Hexylester als die wichtigsten der in *La France* Birnen beinhalteten flüchtigen Komponenten fest. Dies bestätigten auch TAKEOKA et al. (1992). Hexylacetat und (*E,Z*)-2,4-Ethyldecadienoat konnten von CHEN et al. (2006) auch in *Yali* Birnen identifiziert werden.

In einer aktuellen Studie von DIBAN et al. (2007) wurden nach der Probenvorbereitung mit SPME kraft GC-MS Butylacetat, Hexylacetat sowie Methyl-2,4-decadienoat, Ethyl-2,4-decadienoat und 1,3-Dihydroxypropanon identifiziert und Methyl- sowie Ethylester der 2,4-Decadiensäure als für das Aroma wichtigste Komponenten beschrieben.

In einer von CHEN et al. (2006) angelegten Studie, wurden die Veränderungen während der Lagerung von in China geernteten *Yali* Birnen in chemischer und physikalischer Hinsicht sowie in Hinsicht auf den Gehalt der flüchtigen Komponenten untersucht (Tabelle 5). Nach der Ernte wurden die Früchte bei 0°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 80-90% gelagert. Nach 1, 2, 3, 4 und 5 Monaten Lagerung wurde der Gehalt an flüchtigen Substanzen untersucht.

Durch HS-SPME wurden die flüchtigen Komponenten isoliert und mit Hilfe von GC-MS, gekoppelt mit einem FID detektiert, bzw. identifiziert. Somit konnten 51 flüchtige Komponenten gefunden werden, wobei mittels GC-O auch die Geruchseindrücke einzelner Inhaltsstoffe von geschulten Prüfpersonen beschrieben wurden.

Diese Studie zeigte auch, dass der Gehalt an Ethylacetat, Ethylbutanoat, Ethylhexanoat, Hexylacetat und Ethanol während der Lagerung bis zum 4. Monat stieg und danach wieder abnahm. Die Menge an Hexanal und α -Farnesen sank, wohingegen (*E,Z*)-2,4-Ethyldecadienoat nur einer geringfügigen Änderung unterworfen war. Dies bestätigte auch die Erkenntnis von ZHANG und LI aus dem Jahre 1990, dass sich flüchtige Inhaltsstoffe von nachreifenden Früchten nach dem respiratorischen Klimakterium anreichern, ihr Gehalt während der weiteren Lagerung in Folge aber wieder abnimmt (CHEN et al., 2006).

Tab. 5: Die wichtigsten in *Yali* Birnen identifizierten Aromastoffe

Retentionszeit [min]	Komponente	Gehalt [%]	Geruchseindruck
30,41	α -Farnesen	15,57	Birne
29,17	(<i>E,Z</i>)-2,4-Ethyldecadienoat	0,45	
13,37	Hexylacetat	1,1	Apfel, Birne, blumig
12,87	Ethylhexanoat	26,14	fruchtig, grün, Apfel, Brandy, weinartig
5,85	Ethylbutanoat	16,62	Erdbeere, Apfel, Banane
5,75	Hexanal	6,16	grün, fruchtig
2,38	Ethylacetat	3,68	fruchtig, Ananas

(CHEN et al., 2006)

Bei Lagerung in kontrollierter Atmosphäre, d.h. bei geringem Sauerstoffgehalt, kommt es durch die verminderte Produktion an Ester-Vorstufen zu einer geringeren Produktion an flüchtigen Substanzen. Dies wiederum ist der Grund für eine geringere Aromaintensität unter Lagerung bei vermindertem Sauerstoffgehalt (LARA et al., 2003).

Auch CHERVIN et al. (2000) konnten während einer zweimonatigen Lagerung von *Packham's Triumph* Birnen, die zum handelsüblichen Erntezeitpunkt eingebracht wurden, unter kontrollierter Atmosphäre (Sauerstoffgehalt 3 kPa) einen Rückgang im Gehalt der *charakter impact compounds*, Methyl- und Ethyldecadienoat, feststellen (CHERVIN et al., 2000).

OSHITA et al. (2000) konnten in *La France* Birnen mit drei verschiedenen Reifegraden (unreif, reif, überreif) mittels GC-MS Analyse sieben verschiedene flüchtige Substanzen identifizieren (Tabelle 6; Abbildung 11).

Tab. 6: Aus *La France* Birnen identifizierte flüchtige Substanzen

Peaknummer	Komponente
1	Acetaldehyd
2	Ethanol
3	Methylacetat
4	Ethylacetat
5	Butanol
6	Butylacetat
7	Hexylacetat

(OSHITA et al., 2000)

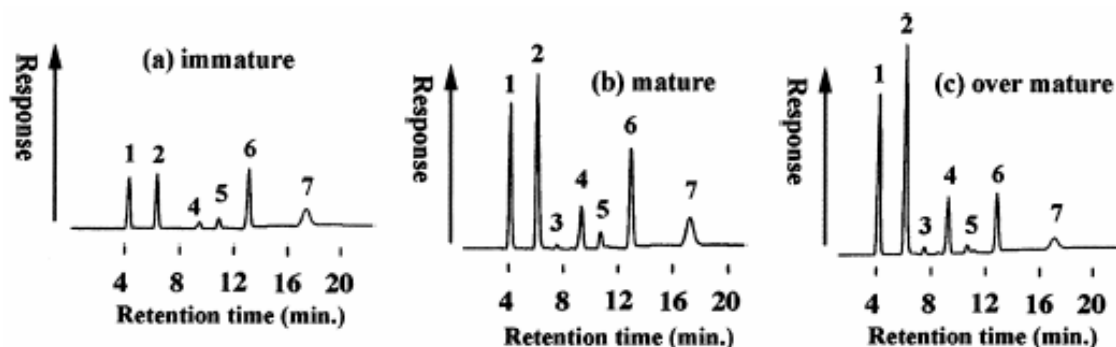
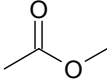
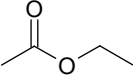
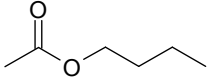
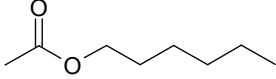
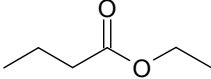
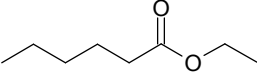
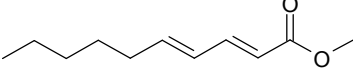
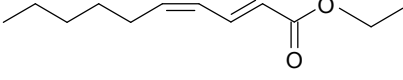
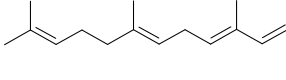
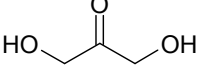
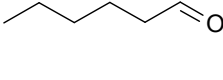
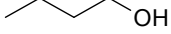


Abb. 11: Chromatogramme der flüchtigen Substanzen aus unreifen (a), reifen (b) und überreifen (c) *La France* Birnen (OSHITA et al., 2000)

Bis auf Methylacetat kommen alle gefunden flüchtigen Substanzen sowohl in unreifen, reifen als auch in überreifen Birnen vor. Die Höhe der Peaks korrespondiert mit der Menge der gefundenen Substanz und verändert sich je nach Reifzustand. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass sich während der Reifung auch das Aroma verändert.

Die aus Birnen identifizierten Aromastoffe können Tabelle 7 entnommen werden.

Tab. 7: Aus Birnen identifizierte Aromastoffe

Methylacetat 	Ethylacetat 	Butylacetat 
Hexylacetat 	Ethylbutanoat 	Ethylhexanoat 
Methyl-2,4-decadienoat 	(E,Z)-2,4-Ethyldecadienoat 	α -Farnesen 
1,3-Dihydroxypropanon 	Acetaldehyd 	Hexanal 
Ethanol $\text{H}_5\text{C}_2\text{—OH}$	Butanol 	

(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001;

www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net;
www.ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/flavouring/database; www.rdchemicals.com;
www.thegoodscentscompany.com/allprov.html)

3.1.2. Steinobst

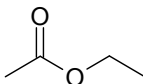
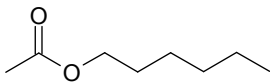
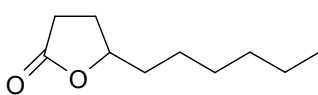
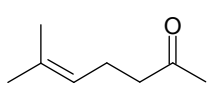
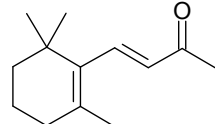
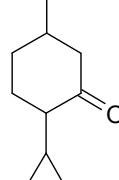
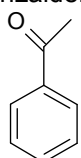
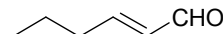
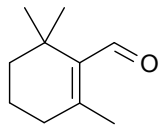
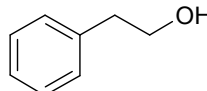
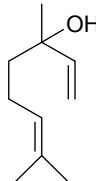
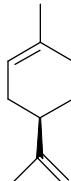
3.1.2.1. Marille

Die Marille (*Prunus armeniaca*) zählt zur Familie der *Rosaceae* und ist eine Steinfrucht (BELITZ et al., 2008).

Laut GUILLOT (2006) wurden von Chairoute und seiner Arbeitsgruppe mit β -Ionon, Linalool, Benzaldehyd, 2-Phenylethanol, γ -Decalacton und Hexylacetat schon 1981 die *character impact compounds* für das Marillenaroma identifiziert.

GUILLOT et al. (2006) untersuchten das Aromaprofil von sechs Marillensorten mit Hilfe von HS-SPME-GC-MS und identifizierte 23 flüchtige Komponenten, die in allen sechs Proben vorkamen. 2-Phenylethanol wurde jedoch nicht gefunden. Mittels HS-SPME-GC-O konnten 10 Komponenten, Ethylacetat, Hexylacetat, (*E*)-Hexen-2-al, β -Cyclocitral, γ -Decalacton, 6-Methyl-5-hepten-2-on, β -Ionon, Menthon, Linalool und Limonen als für das Marillenaroma verantwortlich dedektiert werden (Tabelle 8).

Tab. 8: Aus Marillen identifizierte Aromastoffe

Ethylacetat 	Hexylacetat 	γ -Decalacton 
6-Methyl-5-hepten-2-on 	β -Ionon 	Menthon 
Benzaldehyd 	(<i>E</i>)-Hexen-2-al 	β -Cyclocitral 
2-Phenylethanol 	Linalool 	Limonen 

(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001; www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net)

3.1.2.2. Nektarine

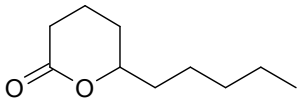
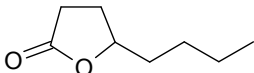
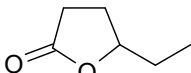
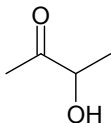
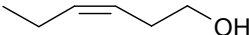
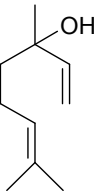
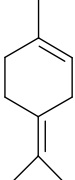
Nektarinen (*Prunus persica* var. *nucipersica*) gehören zur Familie der *Rosacea* und sind Steinfrüchte (BELITZ et al., 2008).

VISAI und VANOLI (1997) untersuchten bei Nektarinen, als auch bei Pfirsichen die Veränderungen der Komposition flüchtiger Substanzen während dem Wachstum und der Reifung der Früchte.

Die Zusammensetzung der flüchtigen Substanzen variierte in einem breiten Spektrum sowohl in quantitativer, als auch in qualitativer Hinsicht zwischen den verschiedenen Sorten und auch mit der Reifungszeit. Mit Ausnahme von Acetoin und (Z)-3-Hexenol, welche in reifen Früchten ihr Konzentrationsmaximum erreichten, nahm die Menge an Aldehyden, Alkoholen und Estern während des Wachstums ab. *Maria Laura* Nektarinen produzierten weniger flüchtige Substanzen, aber mehr Ester und Terpene, vor allem Linalool und Terpinolen, als Pfirsiche. Dies führte zu einem blumigeren und fruchtigeren Aroma von Nektarinen.

Nektarinen produzieren auch mehr γ -Hexalacton, γ -Octalacton und δ -Decalacton als Pfirsiche (Tabelle 9) (VANOLI und VISAI, 1997).

Tab. 9: Aus Nektarinen identifizierte Aromastoffe

δ -Decalactone 	γ -Octalactone 	γ -Hexalactone 
Acetoin 	(Z)-3-Hexenol 	Linalool 
Terpinolen 		

(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001; www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net)

3.1.2.3. Pfirsich

Pfirsiche (*Prunus persica*) sind Steinfrüchte und zählen zu den *Rosaceae* (BELITZ et al., 2008).

Viele flüchtige Substanzen tragen zum Pfirsicharoma bei, γ - und δ -Decalactone sowie γ - und δ -Dodecalactone stellen aber die *character impact compounds* dar, die mit vielen anderen Komponenten, wie Aldehyden, Alkoholen und Terpenen die würzig, blumig und fruchtigen Eigenschaften des Pfirsicharomas ausmachen (AUBERT et al., 2005; VANOLI und VISAI, 1997).

VANOLI und VISAI (1997) untersuchten die Veränderungen der Komposition flüchtiger Substanzen während dem Wachstum der Reifung der Früchte. Die Früchte wurden beginnend 57 Tage nach der Hochblüte, jede Woche geerntet. Die Probenvorbereitung erfolgte mittels dynamischer HS-Methode, die Analyse daraufhin mit GC-MS.

Die Zusammensetzung der flüchtigen Substanzen variierte in einem breiten Spektrum sowohl in quantitativer, als auch in qualitativer Hinsicht mit der Reifungszeit und zwischen den verschiedenen Sorten.

In unreifen Pfirsichen stellen C_6 -Aldehyde und Alkohole, wie Hexanal, (*E*)-2-Hexanal, Hexanol und (*E*)-2-Hexenol die Hauptkomponenten dar. Mit Ausnahme von Acetoin und (*Z*)-3-Hexenol, welche in reifen Früchten ihr Konzentrationsmaximum erreichten, nahm die Menge an Aldehyden, Alkoholen und Estern während des Wachstums ab. Die Menge an Lactonen, vorwiegend γ - und δ -Decalactone sowie γ - und δ -Dodecalactone, nahm in *Glohaven* Pfirsichen hingegen zu. Auch der Gehalt an Benzaldehyd und Linalool nahm signifikant zu und erreicht in reifen Früchten die höchste Konzentration.

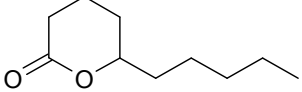
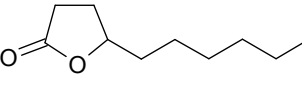
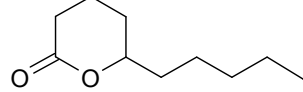
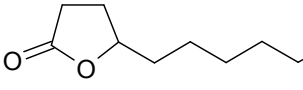
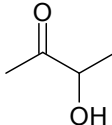
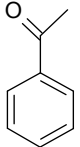
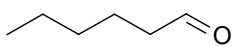
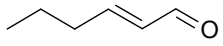
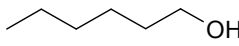
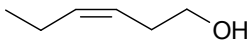
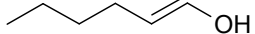
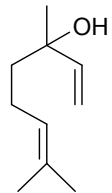
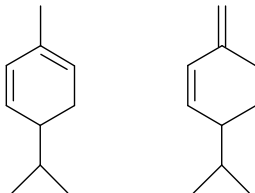
Bei Pfirsichsorten mit weißem Fruchtfleisch waren die Konzentrationen an Hexanal, (*E*)-2-Hexenal, Linalool, Phellandren sowie γ - und δ -Decalacton signifikant höher, als in Sorten mit gelbem Fruchtfleisch.

AUBERT und MILHET (2007) stellten an Pfirsichen mit weißem Fruchtfleisch fest, dass die in der Schale am meisten vorkommenden flüchtigen Substanzen Aldehyde und Alkohole mit 6 Kohlenstoffatomen sind. Lactone mit einer Kettenlänge bis zu 9 Kohlenstoffatomen sind im Fruchtfleisch vorherrschend, wohingegen jene mit 10 Kohlenstoffatomen hauptsächlich in der Schale

gefunden wurden. Bei der Analyse der Terpene stellte sich heraus, dass ihr Gehalt in der Schale zwischen 1,5-5,5-mal so hoch war, als im Fruchtfleisch. Auch die Menge an Alkoholen, Estern, Carbonylverbindungen und Alkenen war in der Schale höher.

Die aus Pfirsichen identifizierte Aromastoffe können Tabelle 10 entnommen werden.

Tab. 10: Aus Pfirsichen identifizierte Aromastoffe

δ -Decalactone  γ -Decalactone 		δ -Dodecalactone  γ -Dodecalactone 	
Acetoin 	Benzaldehyd 	Hexanal 	
(E)-2-Hexenal 	Hexanol 	(Z)-3-Hexenol 	
(E)-2-Hexenol 	Linalool 	α -Phellandren β - Phellandren 	

(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001; www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net)

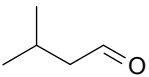
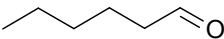
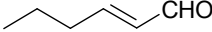
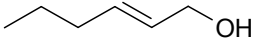
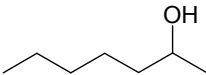
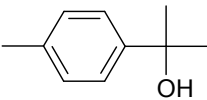
3.1.3. Beerenobst

3.1.3.1. Brombeere

Brombeeren (*Rubus fruticosus*) sind Sammelsteinfrüchte und zählen zur Familie der *Rosaceae* (BELITZ et al., 2008).

Als die wichtigsten flüchtigen Komponenten des Brombeeraromas konnten 2-Heptanol und p-Cymen-8-ol identifiziert werden, wobei diese Substanzen ein fruchtig-herbes und blumig-würziges Aroma liefern. Auch Carbonylverbindungen liefern einen großen Beitrag zum Gesamtaroma. Gefunden werden konnten auch 3-Methylbutanal, Hexanal, (*E*)-2-Hexanal, (*E*)-2-Hexen-1-ol (Tabelle 11) (IBÁÑEZ et al., 1997).

Tab. 11: Aus Brombeeren identifizierte Aromastoffe

3-Methylbutanal 	Hexanal 	(<i>E</i>)-2-Hexenal 
(<i>E</i>)-2-Hexen-1-ol 	2-Heptanol 	p-Cymen-8-ol 

(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001; www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net)

3.1.3.2. Erdbeere

Erdbeeren (*Fragaria*) sind Sammelnussfrüchte und zählen zur Familie der *Rosaceae* (BELITZ et al., 2008).

Das typische Aroma der Erdbeeren wird nicht durch eine oder mehrere *impact aroma compounds* gebildet, sondern durch in etwa 360 flüchtige Substanzen (AYALA-ZAVALA, 2004). 20-25 davon werden als die Wichtigsten für das typische Aroma angesehen (PELAYO et al., 2003). Vielfach wurden sowohl für kultivierte, als auch für Wilderdbeeren Furaneol, Methylfuran, Ethylhexanoat, Hexanal, Ethylbutanoat und Methylbutanoat als für das Aroma signifikant vorgeschlagen (PELAYO et al., 2003; LARSEN et al., 1992; WILLIAMS et al., 2005). SCHIEBERLE und HOFFMANN (1997) beschreiben nach den

Ergebnissen einer Studie die sechs Komponenten (Z)-3-Hexenal, Furaneol, Methyl- und Ethylbutanoat sowie Methyl-2-methylpropanoat und 2,3-Butandion als für das Erdbeeraroma ausschlaggebend. Dies wurde durch einen Versuch bestätigt, bei dem die 12 wichtigsten Aromakomponenten zu einer Modellmatrix hinzugefügt wurden, wobei jeweils eine Substanz fehlte. Es stellte sich eine eindeutiger Aromaunterschied heraus, wenn Furaneol, (Z)-3-Hexenal oder Methylbutanoat nicht vorhanden waren.

WILLIAMS et al. (2005) identifizierten in ganzen Früchten Methylbutanoat, Methylcinnamat, Furaneol, Linalool, Benzaldehyd, Butylacetat und Methylhexanoat. In Erdbeeren der Sorte *Adina* konnten auch 2-Methyloctylbutanoat, (Z)-3-Hexenylacetat, Methylhexanoat, Hexylacetat, Octylbutanoat und Nerolidol (3,7,11-Trimethyl-1,6,10-dodecatrien-3-ol) gefunden werden (KYRIACOU und ZABETAKIS, 2005; WILLIAMS et al., 2005). INGHAM et al. (1995) führten eine Studie durch, bei der Testpersonen Erdbeeren zu essen bekamen und während dem Kau- und Schluckvorgang nur durch die Nase ausatmen durften. Diese ausgeatmete Luft wurde auf Substanzen untersucht, die das Erdbeeraroma mitgestalten. Zudem wurde das Aroma dieser Früchte mit Hilfe der HS Methode und GC-MS identifiziert. Der Vergleich der Profile zeigte eine große Ähnlichkeit bezogen auf die enthaltenen Ester Methylacetat, Ethylacetat, Methylbutanoat, Methyl-3-methylbutanoat, Ethylbutanoat, Butylbutanoat, Methylhexanoat, Ethylhexanoat. Nur in Bezug auf Hexanal, als auch (E)-2-Hexenal konnte zwischen den Profilen ein signifikanter Unterschied im Gehalt festgestellt werden. Auch der Verlust an flüchtigen Substanzen während des Essprozesses wurde untersucht. Während dem Kaugvorgang betrug die Aromaintensität nur 40-60% der maximal wahrnehmbaren, wohingegen beim Schlucken die maximal wahrnehmbare Konzentration der flüchtigen Aromastoffe empfunden wurde. Dies wurde durch das Vorhandensein von Saft und Speichel im Mund begründet, wobei diese Flüssigkeiten dann geschluckt werden und die flüchtigen Substanzen so in die Nasehöhle und an der Riechschleimhaut vorbei in die Nase gelangen. Kurzkettige Ester, wie Methylacetat und Ethylacetat verblieben am längsten im

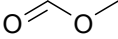
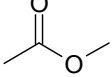
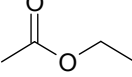
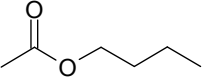
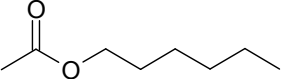
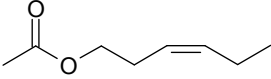
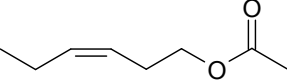
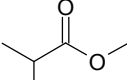
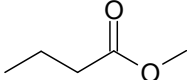
Nasenraum. Dies ist auf die unterschiedliche Polarität verschiedenlanger Ester zurückzuführen.

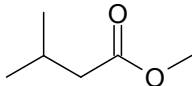
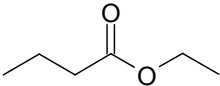
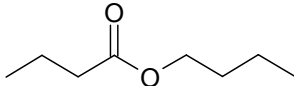
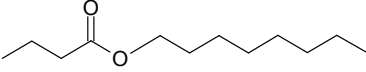
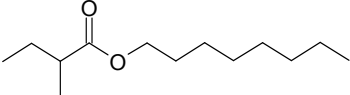
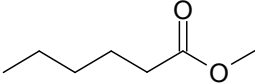
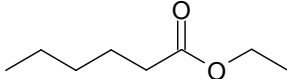
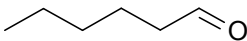
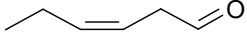
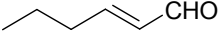
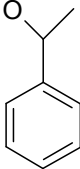
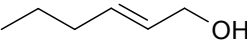
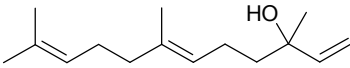
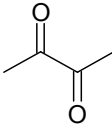
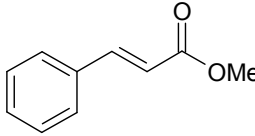
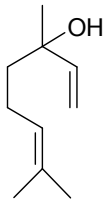
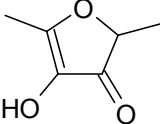
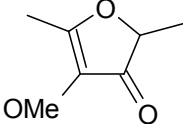
Mit Hilfe von HS-SPME und GC-MS konnten von IBÁÑEZ et al. (1997) die Ester Methylacetat, Ethylacetat, Octylacetat, Methyl-2-Methylbutanoat, Butylbutanoat, Methylhexanoat, Ethylhexanoat, Ethyloctanoat sowie (*E*)-2-Hexen-1-ol im Erdbeeraroma identifiziert werden, wobei die Ester Methylbutanoat und Butylbutanoat positiv mit dem typischen Erdbeergeruch korrelierten.

AYALA-ZAVALA et al. (2004) stellten in einer Studie fest, dass Erdbeeren, die bei einer Temperatur von 5°C oder 10°C gelagert wurden, einen höheren Gehalt der identifizierten Aromakomponenten und eine verbesserte antioxidative Kapazität hatten, als jene Früchte, die bei 0°C gelagert wurden. Die Menge an Hexylacetat und Ethylhexanoat nahm während der Lagerung bei 10°C innerhalb der ersten 7 Tage zu und danach wieder ab. Methyl- und Butylacetat nahmen bei allen drei Lagertemperaturen während der Lagerung zu. Je höher die Temperatur war, desto größer war auch der Anstieg. Methylmetanoat nahm nur in Erdbeeren zu, die bei 10°C gelagert wurden, Ethylbutanoat nahm bei 5°C, als auch bei 10°C, aber erst bei fortgeschrittener Lagerzeit zu. Methylhexanoat und 3-Hexenylacetat nahmen bei allen Temperaturen nach 5 Tagen Lagerung ab.

Die aus Erdbeeren identifizierten Aromastoffe können Tabelle 12 entnommen werden.

Tab. 12: Aus Erdbeeren identifizierte Aromastoffe

Methylmetanoat 	Methylacetat 	Ethylacetat 
Butylacetat 	Hexylacetat 	3-Hexenylacetat 
(<i>Z</i>)-3-Hexenyl-1-acetat 	Methyl-2-Methylpropanoat 	Methylbutanoat 

Methyl-3-methylbutanoat 	Ethylbutanoat 	Butylbutanoat 
Octylbutanoat 	2-Methyloctylbutanoat 	Methylhexanoat 
Ethylhexanoat 	Hexanal 	(Z)-3-Hexenal 
(E)-2-Hexenal 	Benzaldehyd 	(E)-2-Hexen-1-ol 
Nerolidol 	Diacetyl 	Methylcinnamat 
Linalool 	Furaneol 	Mesifuran 

(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001; www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net)

3.1.3.3. Himbeere

Himbeeren (*Rubus*) sind Sammelsteinfrüchte und zählen zur Familie der *Rosaceae* (BELITZ et al., 2008). In kultivierten und wilden Himbeeren wurden mehr als 200 flüchtige Stoffe gefunden, wobei 4-(4-Hydroxyphenyl)-butan-2-on, das so genannte Himbeerketon, als jene Substanz identifiziert wurde, die erheblich zum Himbeeraroma beiträgt. Auch α - und β -Ionon wurden als das Aroma dieser Früchte prägende Substanz erkannt (HERRMANN, 2001).

In einer von SHAMAILA et al. (1993) durchgeführten Studie wurden in 5 Himbeersorten 28 flüchtige Komponenten mittels dynamischer HS analysiert. 18 davon konnten durch GC-MS identifiziert werden. Den Großteil davon stellten Terpene, wie α -Pinen, Sabinen, γ -Terpinen, α - und β -Ionon sowie Caryophyllen dar. Die für das Himbeeraroma ausschlaggebenden flüchtigen Substanzen waren Benzaldehyd, α -Pinen, Ethylheptanoat, β -Myrcen und γ -Terpinen.

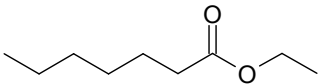
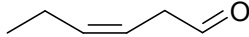
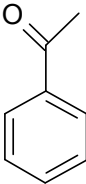
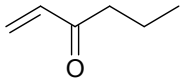
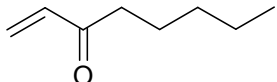
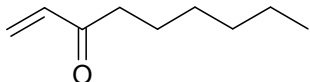
HONKANEN et al. (1980) konnten gaschromatographisch-massenspektrometrisch in wilden Himbeeren 75 Bestandteile des Aromas identifizieren, wobei 40 davon bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht in Himbeeren nachgewiesen werden konnten (HONKANEN et al., 1980)

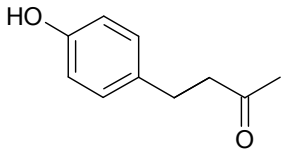
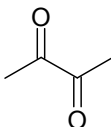
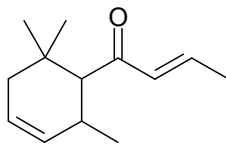
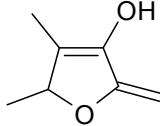
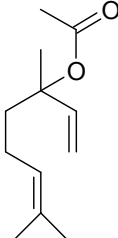
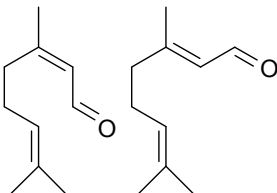
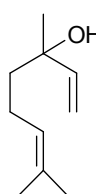
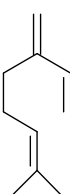
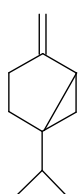
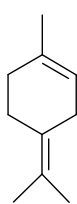
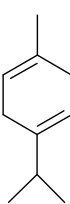
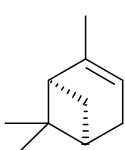
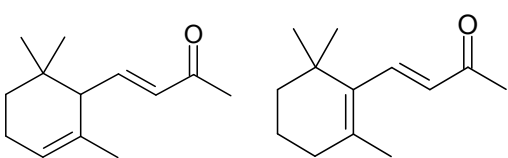
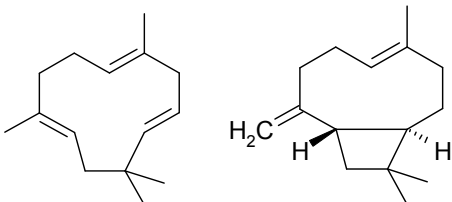
ACREE und ROBERTS (1996) untersuchten das Aroma von *Rubus idaeus*, cv. *Heritage* Himbeeren. Als hauptsächlich vorkommenden Aromakomponenten konnten β -Damascenon, Diacetyl, Sotolon, 1-Hexen-3-on, 1-Nonen-3-on, 1-Octen-3-on und (Z)-3-Hexenal identifiziert werden. Durch Erhitzung der Himbeeren auf 37°C stieg die Menge der enthaltenen Aromastoffe und auch 4-(4-Hydroxyphenyl)butan-2-on, das Himbeerketon, konnten detektiert werden.

IBÁÑEZ et al. (1997) dokumentierten Linalool, Citral, Linalylacetat, Terpinolen und β -Ionon als Komponenten des Himbeeraromas.

Die aus Himbeeren identifizierten Aromastoffe können Tabelle 13 entnommen werden.

Tab. 13: Aus Himbeeren identifizierte Aromastoffe

Ethylheptanoat 	(Z)-3-Hexenal 	Benzaldehyd 
1-Hexen-3-on 	1-Octen-3-on 	1-Nonen-3-on 

Himbeerketon 	Diacetyl 	β-Damascenon 
Sotolon 	Linalylacetat 	Citral a Citral b 
Linalool 	β-Myrcen 	Sabinen 
Terpinolen 	γ-Terpinen 	α-Pinen 
α-Ionon β-Ionon 	α-Caryophyllen β-Caryophyllen 	

(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001; www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net)

3.1.4. Zitrusfrüchte

3.1.4.1. Orange

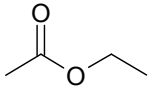
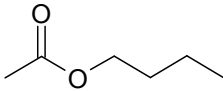
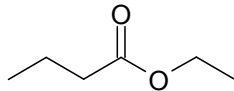
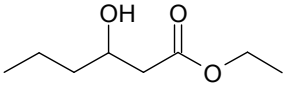
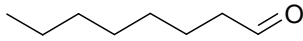
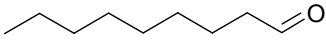
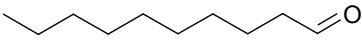
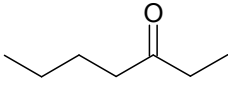
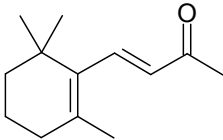
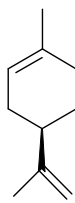
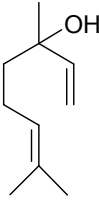
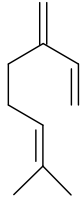
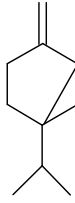
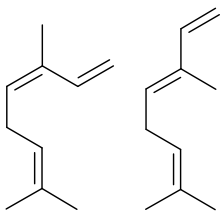
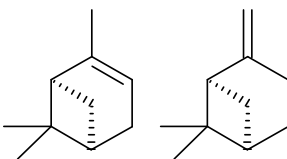
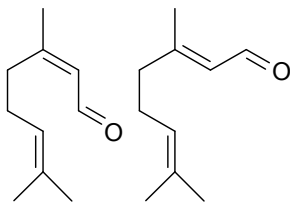
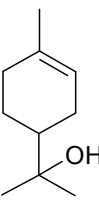
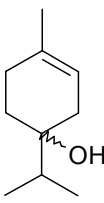
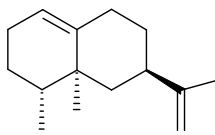
Die Orange (*Citrus sinensis*) zählt zur Familie der *Rutaceae* und ist eine Zitrusfrucht (BELITZ et al., 2008). Diese enthalten in ihren Schalenölen zu etwa 90% Monoterpene, von denen rund 60-95% auf Limonen entfallen. Die Aromastoffe des Fruchtfleisches bestehen ebenfalls zu einem beträchtlichen Teil aus Terpenkohlenwasserstoffen, wobei gegenüber den Schalenölen der Anteil an Alkoholen, Aldehyden und Estern erheblich höher ist. Aufgrund der Gehalte und Schwellenwerte dürften Ethylbutanoat, Linalool und Limonen für das Aroma von Orangen ausschlaggebend sein. Des Weiteren wurden Citral und α -Pinen als Substanzen beschrieben, die für das Aroma einen wichtigen Beitrag leisten (HERRMANN, 2001).

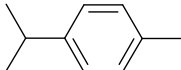
MOSHONAS und SHAW (1994) analysierten die in den Sorten *Valencia*, *Pineapple*, *Hamlin*, *Navel*, *Pera* und *Ambersweet* enthaltenen Aromastoffe. Limonen konnte dabei als die mengenmäßig herausragendste Komponente identifiziert werden. Ebenfalls nachgewiesene bedeutende Aromastoffe waren Myrcen, α -Pinen, Sabinen, Valencen, Linalool, α -Terpineol, Citral, Decanal, Nonanal, Octanal, Ethylacetat, Ethylbutanoat sowie Ethyl-3-hydroxyhexanoat.

MOUFIDA und MARZOUK (2003) analysierten mittels GC-FID die Zusammensetzung der Aromastoffe in Blut- und Süßorangen, beide Arten von *Citrus sinensis*, aus Tunesien.

In allen Proben konnten Limonen, α -Pinen, β -Pinen, p-Cymen, Methanol, Isopropanol, Linalool und α -Terpineol gefunden werden, wobei Limonen die mengenmäßig herausragendste Komponente darstellte. So betrug der Gehalt an Limonen in der Blutorange 63% des Gesamtaromas. Zudem konnten in Blutorangen auch Butylacetat, 3-Heptanon, β -Ionon, Ocimen, Valencen, Nonanol und Terpinen-4-ol identifiziert werden (Tabelle 14).

Tab. 14: Aus Orangen identifizierte Aromastoffe

Ethylacetat 	Butylacetat 	Ethylbutanoat 
Ethyl-3-hydroxyhexanoat 	Octanal 	Nonanal 
Decanal 	Methanol $\text{H}_3\text{C}-\text{OH}$	Isopropanol 
3-Heptanon 	β -Ionon 	Limonen 
Linalool 	Myrcen 	Sabinen 
cis-Ocimen trans-Ocimen 	α -Pinen β -Pinen 	Citral 
α -Terpineol 	Terpinen-4-ol 	Valencen 

p-Cymen 		
--	--	--

(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001; www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net;))

3.1.5. Südfrüchte

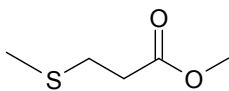
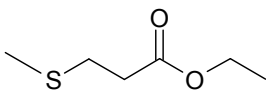
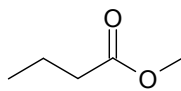
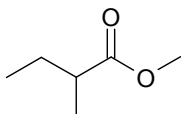
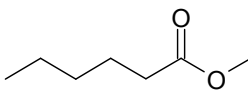
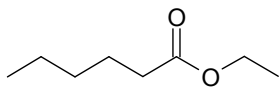
3.1.5.1. Ananas

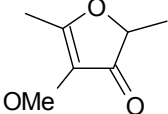
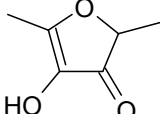
Bei dieser Frucht (*Ananas comosus*) der Ananasgewächse, welche zur Familie der *Bromeliaceae* zählen, handelt es sich um einen Beerenfruchtverband (BELITZ et al., 2008; ELSS et al., 2005).

Das charakteristische Aroma der Ananas entsteht durch wenige Schlüsselverbindungen. Furaneol (2,5-Dimethyl-4-Hydroxy-3(2H)-Furanon) und Methylbutanoat haben eine sehr niedrige Geruchsschwelle und prägen somit das Aroma der Ananas besonders (BERLITZ et al, 2008).

ELSS et al. (2005) untersuchten das Aroma von aus frischen Ananasfrüchten hergestellten Säften mittels GC-MS und es konnten mehr als 130 flüchtige Substanzen detektiert werden. Als Schlüsselverbindungen wurden Methyl-3-(Methylthio)-Propanoat, Ethyl-3-(Methylthio)-Propanoat, Methylbutanoat, Methyl-2-Methylbutanoat, Methylhexanoat, Ethylhexanoat sowie Mesifuran (2,5-Dimethyl-4-Methoxy-3(2H)-Furanon) und Furaneol genannt. Diese Ergebnisse gehen auch mit jenen von ENGEL et al. (1991) einher (Tabelle 15).

Tab. 15: Aus Ananas identifizierte Aromastoffe

Methyl-3-(Methylthio)-Propanoat 	Ethyl-3-(Methylthio)-Propanoat 	Methylbutanoat 
Methyl-2-Methylbutanoat 	Methylhexanoat 	Ethylhexanoat 

Mesifuran	Furaneol	
		

(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001; www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/flavouring/database; www.pherobase.net;))

3.1.5.2. Bananen

Bananen (*Musa*) zählen zur Familie der *Musaceae* und sind Beeren (BELITZ et al., 2008).

Laut MENG et al. (1997) wurden schon 1963 von McCarthy und seiner Arbeitsgruppe Amyl- und Isoamylester der Essig-, Propion- und Buttersäure als jene Komponenten bestimmt, die das Bananenaroma ausmachen.

BELITZ et al. (2008) beschreiben zudem Ester, die aus Butanol oder Hexanol mit Essig- oder Buttersäure gebildet werden, als Substanzen, die zum allgemein als fruchtig empfundenen Aroma beitragen. Auch Eugenol, Methyleugenol und Elemicin sollen einen wichtigen Beitrag zum Bananenaroma leisten. Indessen geben Alkohole und Carbonylverbindungen Gerüche, die mit grün, holzig oder muffig beschrieben werden können (MENG et al., 1997).

Die Farbe der Bananenschale kann herangezogen werden um den Reifegrad der Frucht zu bestimmen (MENG et al., 1997). In einer Studie von BOUDHRIQUA et al. (2003) wurden anhand der Schalenfarbe Bananen aus unterschiedlichen Anbaugebieten, die sich im selben Reifestadium befinden, ausgewählt. Daraufhin wurden die aromatischen Komponenten während der Reifung bestimmt.

Bei den verglichenen frischen Bananen mit dem Schalenfarbindex 6 auf der Chiquita® Farbanzeige wurden mittels GC mehr als 100 Aromakomponenten gefunden. Hierbei handelte es sich bei Butylacetat, Isoamylacetat, Ethylacetat, Butylbutanoat, Isoamylbutanoat, Isoamylisobutanoat, Isoamyl-2-Methylbutanoat, Isoamylvalerat, Isoamylcaproat, Isoamylalkohol, Isopropanol und Elemicin, um die 12 wichtigsten Komponenten des Bananengeruches. Ester stellten die wichtigsten Substanzen der flüchtigen Inhaltsstoffe von frischen Bananen dar

und Isoamylacetat wurde als *character impact compound* des Aromas frischer Früchte beschrieben.

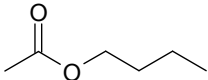
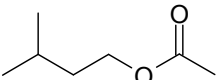
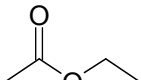
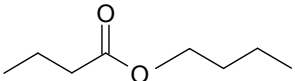
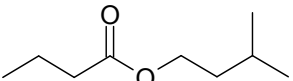
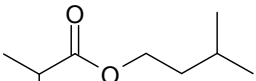
Bananen mit dem Schalenfarbindex 3 wurden während einer 7-tägigen Lagerung bei Raumtemperatur analysiert. Von den 12 wichtigsten Komponenten des Bananengeruchs konnten zu Beginn der Lagerung nur Isoamylacetat, Butylacetat und Elemicin identifiziert werden. Während der Lagerung stieg der Gehalt an Aromakomponenten, wodurch im Chromatogramm mehrere Peaks detektiert wurden und es zu einem Anstieg der Peakflächen kam. Dies war vermutlich die Folge der β -Oxidation und der Biosynthese von flüchtigen Komponenten aus Aminosäuren.

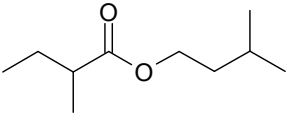
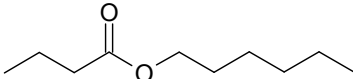
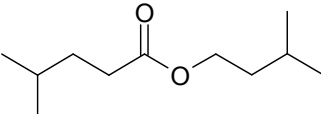
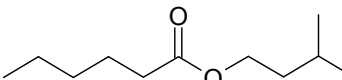
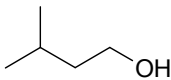
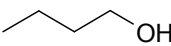
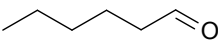
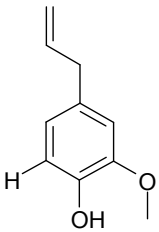
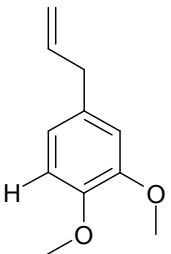
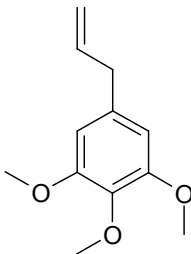
PILAR CANO et al. (1997) verglichen die morphologischen, chemischen und sensorischen Merkmale von spanischen *Enana* und Gran *Enana* Bananen mit lateinamerikanischen Bananen der Sorte *Enana*. Die Schalenfarbe aller Bananen war gelb-grün im Verhältnis 70:30. Die beinhaltenen flüchtigen Komponenten wurden mittels HS-Analyse konzentriert, mittels GC getrennt und über einen Vergleich der Spektren infolge von MS mit Standards identifiziert.

Es konnten Ethanol, 1-Butanol und Hexanal in lateinamerikanischen, nicht aber in spanischen Bananen festgestellt werden. Letzteren wurden als jene Bananen identifiziert, die den größten Anteil flüchtiger Substanzen und als einzige Hexylbutanoat, welches für das typische Bananenaroma mitverantwortlich ist, beinhalten.

Die aus Bananen identifizierten Aromasoffe können Tabelle 16 entnommen werden.

Tab. 16: Aus Bananen identifizierte Aromastoffe

Butylacetat 	Isoamylacetat 	Ethylacetat 
Butylbutanoat 	Isoamylbutanoat 	Isoamylisobutanoat 

Isoamyl-2-Methylbutanoat 	Hexylbutanoat 	Isoamylvalerat 
Isoamylcaproat 	Isoamylalkohol 	Isopropanol 
1-Butanol 	Hexanal 	
Eugenol 	Methyleugenol 	Elemicin 

(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001; www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/flavouring/database; www.pherobase.net;))

3.1.5.3. Mango

Die Mango zählt zur Familie der *Anacardiaceae* und ist eine Steinfrucht (BELITZ et al., 2008).

Monoterpene wurden schon von einigen Autoren als die Hauptkomponenten des Mangoaromas beschrieben, wobei im Aroma der reifen Mangofrucht auch Ester, Alkohole und Lactone eine große Rolle spielen (SABY JOHN et al., 1999). ANDRADE et al. (2000) analysierten mittels GC-MS 15 Mangoarten, die in Brasilien angebaut wurden. Dabei ließen sich die Ergebnisse der untersuchten Aromen in drei Gruppen einteilen. Jene, die reich an α -Terpinolen waren und zwischen 45% und 60% dieser Substanz beinhalteten, jene, die mit 57% bis 71% hauptsächlich δ -3-Caren enthielten und die dritte Gruppe, in deren Aromen zwischen 30% und 57% Myrcen vorkam. Auch die Terpene α -Pinen, Limonen, (Z)- β -Ocimen und β -Selinene, sowie die Sesquiterpene Alloaromadendren, α -Gurjunen und β -Gurjunen konnten in vielen der untersuchten Mangoaromen

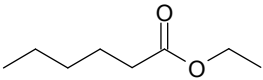
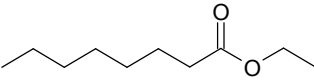
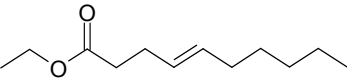
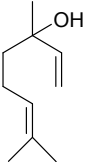
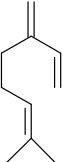
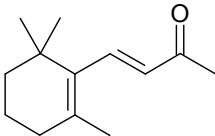
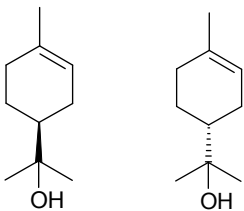
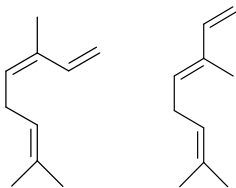
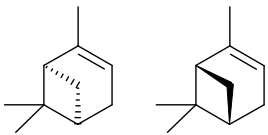
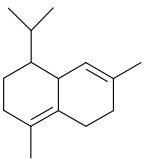
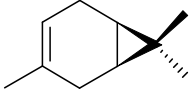
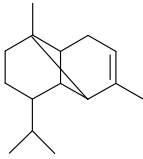
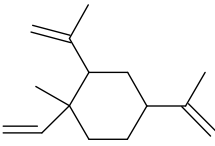
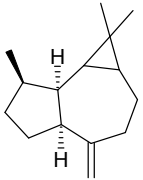
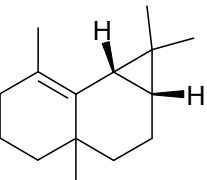
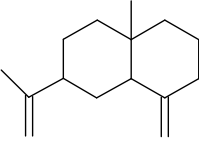
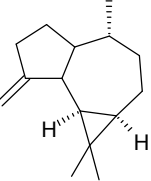
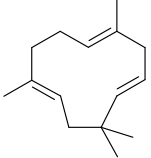
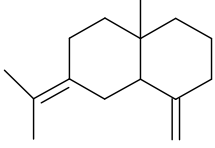
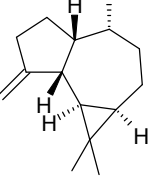
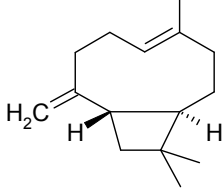
gefunden werden. β -Caryophyllen konnte sogar in allen Proben nachgewiesen werden. Neben Terpenen stellten Ester die Hauptkomponenten der untersuchten Aromen dar. In geringeren Mengen wurden auch Alkohole, Aldehyde, sowie jeweils ein Keton, Ether und eine Säure gefunden.

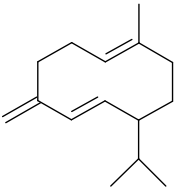
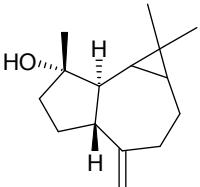
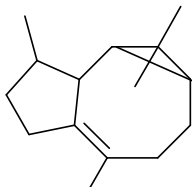
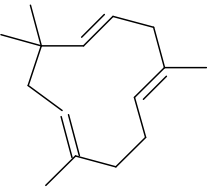
Terpene als Komponenten des HS-SPME Extraktes von Mangos wurden auch von KOULIBALY et al. (1992) identifiziert. Dabei stellte diese Arbeitsgruppe fest, dass die gefundenen Komponenten, α -Pinen, Myrcen, Linalool, Caryophyllen, α -Terpineol und β -Ionon verwendet werden können, um verschiedene Mangosorten zu klassifizieren.

LALEL et al. (2003) analysierten mittels HS-SPME und GC-FID sowie GC-MS in *Kensington Pride* Mangos enthaltene flüchtigen Substanzen, die während der Reifung entstehen. Der Reifungsprozess nach der Ernte dauert bei Umgebungstemperaturen und je nach Sorte, sowie Reife zum Erntezeitpunkt zwischen 9 und 12 Tagen. Dann sollte die Frucht weich und die Schale zu 75% gelb sein. Es konnten 61 flüchtige Aromakomponenten identifiziert werden, wobei Spathulenol und β -Maaliene zum ersten Mal in Mangos gefunden wurden. Kohlenwasserstoffe machten 59%, Ester 20%, Aldehyde und Ketone 11%, Säuren 7% und Alkohole 3% der flüchtigen Substanzen aus. In Bezug auf die enthaltenen Kohlenwasserstoffe machten Sesquiterpene 58% aus, Monoterpene hingegen nur 33%. Es konnte angenommen werden, dass die Produktion der Terpene parallel mit der Produktion von Ethylen abläuft, wohingegen jene der Ester mit der Entstehung der Fettsäuren assoziiert ist.

Während der ersten 7 Tage der Reifung stellte das Monoterpene α -Terpinolen die Hauptkomponente dar, später war dies Ethyloctanoat. Bis auf 3-Caren nahm die Konzentration der Monoterpene während der ersten 3 bis 4 Tage zu und sank danach wieder. Der Gehalt an α -Gurjunen, (*E*)-Caryophyllen, α -Copaen, Alloaromadendrene, Leden, γ -Selinen und α -Humulen stieg bis zum zweiten Tag der Reifung an, nahm danach aber wieder ab. δ -Cadinen, β -Elemen und Germacren-D erreichten ihre maximale Konzentration hingegen im Stadium der vollen Reife, danach konnte wieder eine Abnahme beobachtet werden. Die Produktion der drei wichtigsten Ester, Ethylhexanoat, Ethyloctanoat und Ethyl-(*E*)-4-decenoat nahm während der Reifung stark zu.

Tab. 17: Aus Mangos identifizierte Aromastoffe

Ethylhexanoat 	Ethyl-octanoat 	Ethyl-(E)-4-decenoat 
Linalool 	Myrcen 	β-Ionon 
(+)-α-Terpineol (-)-α-Terpineol 	(Z)-Ocimen (E)-Ocimen 	(+)-α-Pinen (-)-α-Pinen 
δ-Cadinen 	δ-3-Caren 	α-Copaen 
β-Elemen 	Alloaromadendren 	β-Maalien 
β-Selenen 	α-Gurjunen 	α-Caryophyllen 
γ-Selenen 	β-Gurjunen 	β-Caryophyllen 

Germacren-D	Spathulenol	Leden	α -Humulen
			

(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001;
www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net;
www.ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/flavouring/database; www.rdchemicals.com;
www.thegoodscentcompany.com/allprov.html)

3.2. Gemüse

Gemüse wird laut HERRMANN (2001) in Frucht-, Wurzel- und Knollengemüse, Blatt- und Stielgemüse, sowie Leguminosen, Zwiebelgewächse und Kohlgemüse eingeteilt.

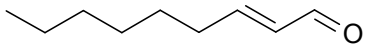
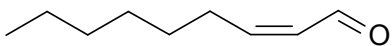
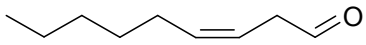
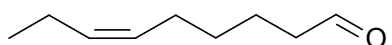
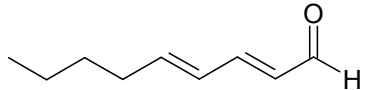
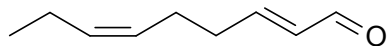
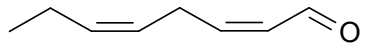
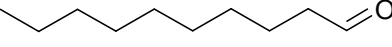
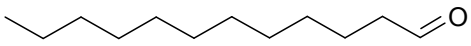
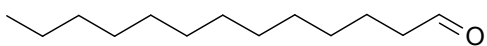
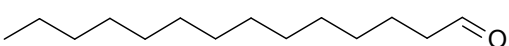
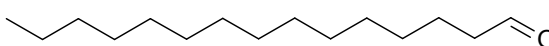
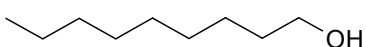
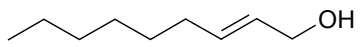
Die Vielzahl der Gemüsesorten bedingt eine große Vielfalt an Aromastoffen, die sich im Allgemeinen erst in der Reifephase bilden. Auch wenn die Gemüse zur selben Art zählen und eine ähnliche chemische Zusammensetzung aufweisen, so unterscheiden sie sich im Aroma dennoch herausragend. Ebenso variieren die Konzentrationen des Gesamtaromas je nach Sorte, Klima, Lage, Reifegrad, Erntezeitpunkt und Lagerbedingungen. Aromaveränderungen können insbesondere auch bei der Zerstörung des Zellverbandes eintreten, wenn durch enzymatische Hydrolyse- oder Oxidationsvorgänge Aromastoffe gebildet werden, wie dies bei der Zwiebel der Fall ist (EISENBRAND und SCHREIER, 2006; HERRMANN, 2001).

3.2.1. Fruchtgemüse

3.2.1.1. Gurke

Das charakteristische Aroma handelsüblicher Gurken (*Cucumis sativus*), die zur Familie der *Cucurbitaceae* zählen (BELITZ et al., 2008), entsteht durch Beschädigungen des Gewebes auf enzymatischem Wege, wie dies beim Zerkleinern der Fall ist. KOHL et al. (2000) beschreiben (*E,E*)-2,4-Nonadienal als eine der wichtigsten Komponenten des frischen Gurkenaromas. SCHIEBERLE et al. (1990) identifizierten (*E,Z*)-2,6-Nonadienal als aromaintensivsten Stoff zerkleinerter Gurken, gefolgt von (*Z*)-2-Nonenal und (*E*)-2-Nonenal. Wie HERRMANN (2001) berichtet, stellten Kemp und seine Arbeitsgruppe fest, dass Alkohole und Aldehyde mit neun Kohlenstoffatomen, wie Nonanol, (*E*)-2-Nonen-1-ol, (*Z*)-6-Nonen-1-ol, (*E,Z*)-2,6-Nonadien-1-ol, (*Z,Z*)-3,6-Nonadien-1-ol, Nonanal, (*Z*)-3-Nonenal, (*Z*)-6-Nonenal, (*Z,Z*)-3,6-Nonadienal, Decanal, Dodecanal, Tridecanal, Tetradeccanal und Pentadecanal für das Aroma wichtige Substanzen sind (Tabelle 18).

Tab. 18: Aus Gurken identifizierte Aromastoffe

(E)-2-Nonenal 	(Z)-2-Nonenal 
(Z)-3-Nonenal 	(Z)-6-Nonenal 
(E,E)-2,4-Nonadienal 	(E,Z)-2,6-Nonadienal 
(Z,Z)-3,6-Nonadienal 	Decanal 
Dodecanal 	Tridecanal 
Tetradecanal 	Pentadecanal 
Nonanol 	(E)-2-Nonen-1-ol 

(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001; www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki)

3.2.1.2. Paprika

In Gemüsepaprika (*Capsicum annuum*), zur Familie der *Solanaceae* zählend (BELITZ et al., 2008), konnten um die 100 flüchtigen Verbindungen nachgewiesen werden, wobei zwischen rotem und grünem Paprika hinsichtlich der Konzentrationen erhebliche Unterschiede zu finden sind, wodurch Auswirkungen auf das Aroma entstehen. Darüber hinaus bestehen auch Unterschiede je nach Sorte, Anbaubedingungen, Erntezeitpunkt und Lagerbedingungen. Auch Untersuchungen der Aromazusammensetzung zwischen Gemüse- und scharfem Paprika wurden angestellt.

HERRMANN (2001) berichtet von den Ergebnissen einer Studie von Wu und Liu, die herausfanden, dass in grünen Paprika β -Ocimen mengenmäßig stark

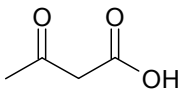
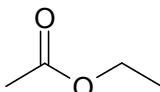
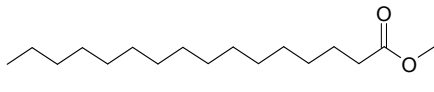
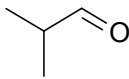
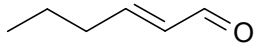
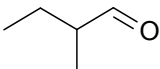
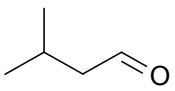
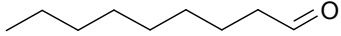
im Vordergrund steht. Zudem konnten (Z)-3-Hexenol, 2-Nonen-4-on, Benzaldehyd, Linalool, (E,Z)-2,6-Nonadienal sowie 3-Isobutyl-2-methoxypyrazin identifiziert werden. Letzteres wurde auch schon von MATEO et al. (1997) als für das charakteristische Aroma von frischen Paprikafrüchten verantwortlich bezeichnet. MATEO et al. (1997) berichten auch, dass laut Luning und dessen Arbeitsgruppe die Konzentrationen an β -Ocimen, (Z)-3-Hexenol und Nonanal beim Übergang der Paprikafarbe von rot auf grün stark abnahm, während mit 2-Hexenal und (E)-2-Hexenol die fruchtig, süßen und frischen Aromanoten des roten Gemüsepaprikas stark anstiegen.

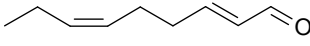
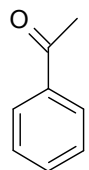
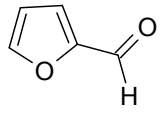
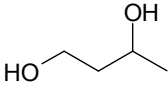
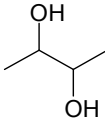
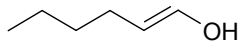
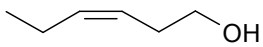
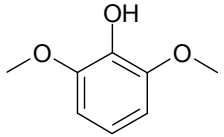
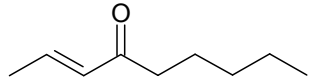
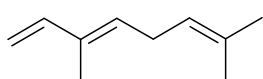
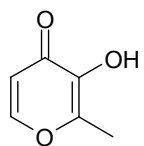
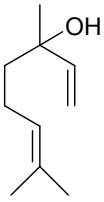
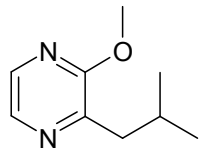
MATEO et al. (1997) untersuchten die Aromazusammensetzung von vier, getrockneten und gemahlenen Sorten spanischem Paprika (*Capsicum annuum* L.), wobei sowohl scharfe, als auch süße Sorten berücksichtigt wurden. Mittels GC-MS zeigten sich 55 flüchtige Substanzen, wobei nur 24 davon in allen vier Proben gefunden werden konnten. Quantitativ gesehen war Acetacetat, gefolgt von 1,3-Butandiol, 2,3-Butandiol, Aceton, 3-Methylbutanal, Ethylacetat und 2,6-Dimethoxyphenol, die hauptsächlich vorkommende Substanz. 2-Methoxy-3-isobutylpyrazin hingegen konnte nicht nachgewiesen werden. Auch flüchtige Aldehyde und Alkohole mit fünf oder sechs Kohlenstoffatomen, welche charakteristischerweise in frischen Paprikafrüchten aufgrund von enzymatischen Vorgängen bei der Gewebeerstörung vorkommen, konnten nicht identifiziert werden. Dies ist durch die thermische Inaktivierung der Lipxygenase und anderer Enzyme während der Trocknung zu begründen. Auch Terpene wie β -Ocimen und Limonen konnten nicht nachgewiesen werden, da diese Verbindungen während der Trocknung verdampfen. Die Komponenten 1,3-Butandiol, 2,3-Butandiol, Aceton und Ethanal wurden in den getrockneten Proben gefunden, konnten in anderen frischen oder verarbeiteten Paprika jedoch nicht nachgewiesen werden. 2-Methylpropanal, 2-Methylbutanal und 3-Methylbutanal, welche möglicherweise auf enzymatischem Wege oder durch den Streckerabbau entstehen, konnten detektiert werden. Das Vorkommen von Maltol, Furfural und Pyrazinen, welche auch in an heißer Luft getrockneten Paprika vorkommen, kann mit Maillardreaktionen in Verbindung gebracht werden.

KOCSIS et al. (2002) untersuchten die Zusammensetzung des Aromas von süßem und scharfem ungarischem, rotem Paprikapulver als Parameter von Qualität und Identität einer Sorte. In den je 13 untersuchten süßen und scharfen Proben konnten insgesamt 197 Komponenten gefunden werden, wobei scharfer Paprika reicher an Aroma war, als süßer. Ersterer wies einen höheren Gehalt an Terpenen, Sesquiterpenen und Terpendervativen auf. Methylhexadecanoat zeigte im Chromatogramm der GC-MS Analyse einen der höchsten Peaks. Die Untersuchung ergab aber auch, dass jene Komponenten, die für den „grünen Paprikageruch“ verantwortlich sind, 2-Methoxy-3-(1-methylpropyl)-pyrazin, 2-Methoxy-3-(2-mathylpropyl)-pyrazin und (Z)-3-Hexenol, nicht vorhanden waren. Dieses Ergebnis lässt darauf schließen, dass genannte Substanzen sowie Alkohole und Aldehyde mit fünf und sechs Kohlenstoffatomen primär für die frische Note des „grünen Paprikageruchs“ verantwortlich sind und nicht für den Geruch von getrocknetem, rotem Paprika. Somit konnten viele flüchtige Komponenten aus unterschiedlichen Substanzklassen identifiziert werden, die Intention „Marker“ Substanzen mit pflanzlichem Ursprung, wie Limonen, Pinen, Linalool oder Caryophyllen, zu finden, welche für eine Sorte charakteristisch sind, blieb jedoch ohne Erfolg.

Die aus Paprika identifizierten Aromastoffe können Tabelle 19 entnommen werden.

Tab. 19: Aus Paprika identifizierte Aromastoffe

Acetacetat 	Ethylacetat 	Methylhexadecanoat 
Ethanal 	2-Methylpropanal 	2-Hexenal 
2-Methylbutanal 	3-Methylbutanal 	Nonanal 

(E,Z)-2,6-Nonadienal 	Benzaldehyd 	Furfural 
1,3-Butandiol 	2,3-Butandiol 	(E)-2-Hexenol 
(Z)-3-Hexenol 	2,6-Dimethoxyphenol 	2-Nonen-4-on 
Aceton 	β-Ocimen 	Maltol 
Linalool 	3-Isobutyl-2-methoxypyrazin 	

(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001;

www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net;

www.ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/flavouring/database; www.rdchemicals.com;

www.thegoodscentscompany.com/allprov.html)

3.2.1.3. Tomate

Über 400 flüchtige Komponenten konnten in frischen Tomaten (*Lycopersicon lycopersicum*), die zur Familie der *Solanaceae* gehören (BELITZ et al., 2008), identifiziert werden, wobei nur wenige davon für das typische Aroma dieses Gemüses verantwortlich sind.

Die vorwiegend beteiligten Substanzen sind Hexanal, (Z)-3-Hexenal, 1-Octen-3-on, 1-Penten-3-on, Methional und 3-Methylbutanal (BERNA et al., 2005;

KRUMBEIN et al., 2004). TANDON et al. (2000) zählen auch Aceton, Methanol, Ethanol, 2-Methylbutanol, 3-Methylbutanol, (*E*)-2-Hexenal, (*E*)-2-Heptenal, 6-Methyl-5-hepten-2-on, (*Z*)-3-Hexenol, Geranylaceton sowie 2-Isobutylthiazol und 2-Isobutyliodon zu den für das charakteristische Tomatenaroma wichtigen Substanzen. BUTTERY et al. (1994) konnten in frischen Tomaten Furaneol in einer Größenordnung von 0,2 mg/100 g Frischgewicht detektieren.

AUBERT et al. (2005) untersuchten die in *Grape* Tomaten enthaltenen Aromastoffe und identifizierten Hexanal, (*E*)-2-Hexenal, (*Z*)-3-Hexenal und (*Z*)-3-Hexenol, Isobutylcyanid, 1-Nitro-3-Methylbutan, 2-Isobutylthiazol, 1-Nitro-2-phenylethan, Methylsalicylat und 2-Phenylethanol als für das Aroma von Tomaten wichtige Komponenten.

BERNA et al. (2005) analysierten die Aromazusammensetzung von vier Sorten Rispetomaten und loser Tomaten mittels HS-GC-MS. Identifiziert werden konnten 3-Methylbutanol, (*E*)-2-Hexenal, (*Z*)-3-Hexenal, (*Z*)-3-Hexenol, Hexanal, Hexanol, 6-Methyl-5-hepten-2-on sowie 2-Isobutylthiazol. Als eines der wenigen Terpenoide, die in frischen, reifen Tomaten gefunden werden konnten, wurde Limonen detektiert. In geringem Ausmaß konnte auch (*E*)-2-Heptenal und Nonanal nachgewiesen werden.

Auch ZHANG und LI (2006) geben Hexanal als die am meisten zum Aroma von herkömmlichen und Cherrytomaten beitragende Substanz an.

Die Autoren haben auch den Unterschied zwischen frischen und bereits bei 25°C und 65% relativer Luftfeuchtigkeit gelagerten Tomaten untersucht, wobei festgestellt werden konnte, dass in frischen Tomaten vermehrt Alkohol vorkommt. So nahm die Menge an 2-Methyl-1-butanol, 3-Hexenol und 1-Hexenol während der Lagerung ab. Bezüglich Aldehyden und Ketonen blieb der Gehalt, mit Ausnahme von Hexanal und Hexenal, gleich. Die Menge an Hexanal nahm während der Lagerung zu, während jene von Hexenal abnahm.

Die Probenvorbereitung erfolgte mittels HS-SPME, SDE und SD, die Detektion daraufhin mit GC-MS. Um die Charakteristika der Aromaprofile frischer und gelagerter Tomaten statistisch untersuchen zu können, wurde eine chemometrische Interpretation, die principal component analysis (PCA), eingesetzt. Es konnten sowohl zwischen den frischen und unterschiedlich lang

gelagerten Tomaten, als auch innerhalb der Sorten Verschiedenheiten im charakteristischen Aromaprofil gefunden werden. Die fünf, für die Differenzierung hauptverantwortlichen, flüchtigen Substanzen wurden ermittelt. Für herkömmliche Tomaten und Cherrytomaten waren dies vorwiegend Alkohole und Aldehyde mit 6 Kohlenstoffatomen. Davon wurden Hexanal und Hexenal als für die Unterschiede und das charakteristische Aroma von Tomaten entscheidende Komponenten festgelegt.

KRUMBEIN et al. (2004) untersuchten drei unterschiedliche Sorten Tomaten rot und reif geerntet, die in einem Klimaraum bei freier Konvektion, 20°C, einer relativen Luftfeuchtigkeit von 55% und einer Luftgeschwindigkeit von $< 0,1\text{ms}^{-1}$ gelagert wurden um so die Gegebenheiten eines Haushaltes zu simulieren. In allen drei Sorten nahm die Intensität des Attributs „tomatenartig“ während der Lagerung zu, aber auch jene des unerwünschten Attributes „modrig“ stieg an, wie mit einer quantitativen deskriptiven Analyse herausgefunden werden konnte. Es stellte sich heraus, dass Hexanal und 2-Isobutylthiazol mit dem Attribut „modrig“ in Verbindung standen. Das Vorkommen der flüchtigen Aromakomponenten Geranylaceton, 6-Methyl-5-Hepten-2-on, (*E*)-2-Heptenal, (*E,E*)-2,4-Decadienal und 3-Methylbutanal korrelierte positiv mit dem „tomatenartigen“ Aroma.

Zwischen dem 7. und 21. Tag nach der Ernte veränderte sich der Gehalt von 14 Aromakomponenten signifikant. So nahm der Gehalt an Hexanal, je nach untersuchter Sorte bis zum 7., bzw. 10. Tag der Lagerung zu. Die enthaltene Menge an (*E*)-2-Heptenal und (*E,E*)-2,4-Decadienal stieg bis zum 4., bzw. 10. Tag an und nahm danach wieder ab. Der Gehalt an (*Z*)-3-Hexenal nahm in der untersuchten Sorte *Mickey* bis zum 7. Tag ab, in der Sorte *Vanessa* sank der Gehalt ab dem 10. Tag der Lagerung. (*E*)-2-Hexenal und 1-Penten-3-on nahmen ab dem 10. Tag nach der Ernte ab. Die Konzentrationen an 6-Methyl-5-hepten-2-on und Geranylaceton erhöhten sich in allen drei Sorten bis zum 7. Tag. 2-Isobutylthiazol, welches aus dem Aminosäuremetabolismus stammt, stieg in allen drei Sorten bis zum 7. Tag der Lagerung an. 1-Nitro-2-phenylethan konnte nur in einer der Sorten nachgewiesen werden, in welcher ebenso ein Anstieg bis zum 7. Tag erfolgte. In ebendieser Sorte erhöhten sich während der

Lagerung auch die Konzentrationen an 3-Methylbutanal und 1-Nitro-3-methylbutan, während in den Sorten *Mickey* und *Vanessa* niedrigere Konzentrationen beobachtet werden konnten. Auch der Gehalt an Methylsalicylat sank beständig, während Geranial anstieg.

BERNA et al. (2004) untersuchten 45 Tomaten (*Lycopersicon esculentum* Mill.) der Sorte *Tradiro* und *Clotilde* wurden im roten Reifestadium, Stufe 6 nach *Breaker*, geerntet und die Veränderungen der enthaltenen flüchtigen Substanzen bei der Lagerung bei 18°C und 80% relativer Luftfeuchtigkeit an den Tagen 1, 8, 12 und 19 untersucht.

Am ersten Tag der Lagerung konnte festgestellt werden, dass Terpenoide die Hauptkomponenten des Tomatenaromas darstellten. Die Untersuchungen an Tag 8 zeigten, dass sich das Aroma des Stammes, welches in den ersten Tagen eine große Rolle spielt, verringert jenes der Tomatenfrucht an Bedeutung gewinnt. An den Tagen 12 und 19 war das Aroma durch die Komponenten 2-Methylbutanol charakterisiert.

Carotenoidabhängige für das Aroma wichtige flüchtige Substanzen wie 6-Methyl-5-hepten-2-on konnten nur in Früchten identifiziert werden, ebenso aminosäureabhängige Substanzen wie 2-Isobutylthiazol. Terpenoide wie Phellandren hingegen könnten nicht in der Frucht selbst, dafür aber in anderen Pflanzenteilen gefunden werden.

Die Produktion von 6-Methyl-5-hepten-2-on hängt von der Synthese der Vorstufe Lycopren ab, welches ein Farbpigment ist und für die rote Farbe der reifen Tomaten verantwortlich ist. Somit muss eine Veränderung der Farbe auch eine Auswirkung auf das Aroma der reifenden Tomate haben. 1-nitro-2-Phenylethan und Isobutylcyanid kommen in der Frucht direkt vor und tragen zum frischen Tomatengeruch bei, 1-Nitropentan wurde in keinem anderen Lebensmittel als Tomaten jemals identifiziert und nimmt, wie 6-Methyl-5-hepten-2-on, mit dem Reifen der Frucht an Bedeutung zu.

Ethylen ist eine in Pflanzen natürlich vorkommende Substanz, die Effekte auf das Wachstum, die Entwicklung vor der Ernte, bzw. nach der Ernte während der Lagerung ausübt. Die Biosynthese von Ethylen in Obst und Gemüse erfolgt

während der Reifung von klimakterischen Früchten und ist für die Geschmacks- und Aromaentwicklung mitverantwortlich (SALTVEIT, 1999).

SALTVEIT (1999) verglich den Aromagehalt von Tomaten, die an der Pflanze reiften mit jenem von Früchten, die vor der Reife geerntet wurden und während der Lagerung mit oder ohne zugesetztem Ethylen dem Reifeprozess ausgesetzt waren.

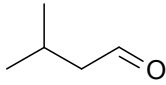
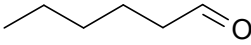
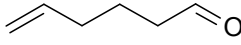
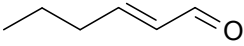
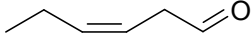
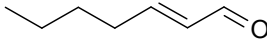
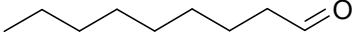
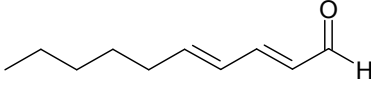
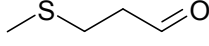
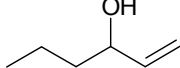
Tomaten, die grün geerntet wurden und mit Ethylen reiften, konnten den Aromagehalt von Früchten, die an der Pflanze ausreiften, nicht erreichen.

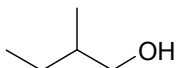
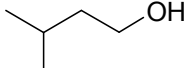
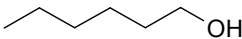
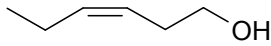
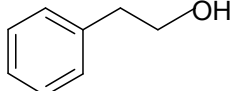
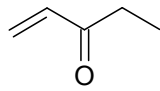
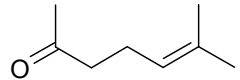
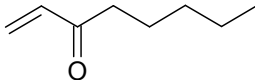
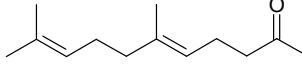
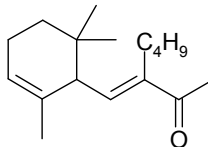
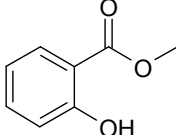
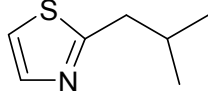
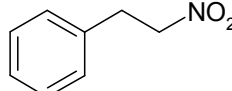
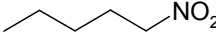
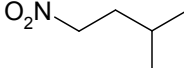
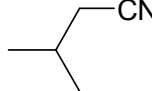
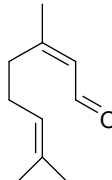
So war die wichtigste Komponente des Tomatenaromas (Z)-3-Hexenal bei schon reif geernteten Früchten zwischen 17% und 31% höher als in Tomaten, die grün geerntet wurden und mit oder ohne zugesetztem Ethylen reiften.

Das Ergebnis einer weiteren Studie zeigte auch, dass die Intensitäten des fruchtig-blumigen Aromas bei Tomaten, die schon tafelfreif geerntet wurden, höher waren, als bei jenen die schon früher eingebracht wurden. Auch der Gehalt an flüchtigen Substanzen von tafelfreif geernteten Früchten war immer höher als jener von grün geernteten Tomaten, die daraufhin noch unter unterschiedlichen Bedingungen gelagert wurden (STERN et al., 1994).

Die aus Tomaten identifizierten Aromastoffe können Tabelle 20 entnommen werden.

Tab. 20: Aus Tomaten identifizierte Aromastoffe

3-Methylbutanal 	Hexanal 	Hexenal 
(E)-2-Hexenal 	(Z)-3-Hexenal 	(E)-2-Heptenal 
Nonanal 	(E,E)-2,4-Decadienal 	Methional 
Methanol $\text{H}_3\text{C}-\text{OH}$	Ethanol $\text{H}_5\text{C}_2-\text{OH}$	Hexenol 

2-Methylbutanol 	3-Methylbutanol 	Hexanol 
(Z)-3-Hexenol 	2-Phenylethanol 	1-Penten-3-on 
6-Methyl-5-hepten-2-on 	1-Octen-3-on 	Geranylacetone 
2-Isobutylynonon 	Methylsalicylat 	2-Isobutylthiazol 
1-Nitro-2-phenylethan 	1-Nitropentan 	1-Nitro-3-Methylbutan 
Isobutyrcyanid 	Geranial 	

(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001;

www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net;
www.ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/flavouring/database; www.rdchemicals.com;
www.thegoodscentcompany.com/allprov.html)

3.2.2. Wurzelgemüse

3.2.2.1. Karotte

In Karotten (*Daucus carota*), die zur Familie der *Apiaceae* gezählt werden (BELITZ et al., 2008), wurden bisher mehr als 100 flüchtige Komponenten identifiziert. Zwischen den einzelnen Sorten bestehen weniger qualitative, als

quantitative Unterschiede. Das Aroma roher Karotten wird stark durch die genetische Variation beeinflusst, aber auch die verwendete Erde ist nicht unbedeutend (ALSALVAR et al., 1999; HERRMANN, 2001).

ALSALVAR et al. (1999) untersuchten mittels HS-GC-MS Methode die in rohen, gelagerten und gekochten Karotten sieben verschiedener Sorten vorkommenden flüchtigen Substanzen. Es konnten 35 flüchtige Komponenten identifiziert werden, wobei der Gesamtgehalt an flüchtigen Substanzen der frischen Karotte je nach Sorte von 4,59 bis 30,93 ppm, bzw. mg/kg Frischgewicht reichte.

Das charakteristische Aroma von rohen Karotten geht zu 97% auf Terpene und Sesquiterpene, wie α -Pinen, Sabinen, Myrcen, Limonen, γ -Terpinen, Terpinolen, β -Caryophyllen, γ -Bisabolen zurück. In drei der untersuchten Sorten stellte Myrcen, in zwei Sorten Caryophyllen und in je einer Sorte γ -Bisabolen und Sabinen die Hauptverbindung dar. Zudem konnten α -Thujen, Borneol, Linalylacetat, β -Citronellol, α -Santalen, α -Selinen, γ -Elemen und α -Zinigberen nachgewiesen werden, wobei diese Substanzen aufgrund ihres geringen Anteils von 1% an der Gesamtpeakfläche nicht quantifiziert wurden.

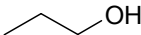
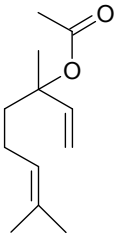
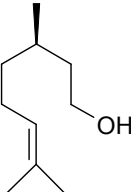
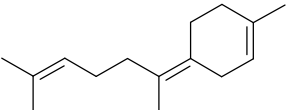
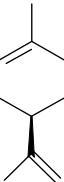
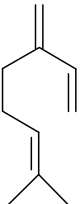
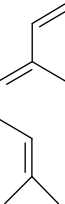
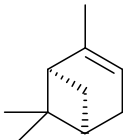
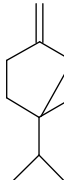
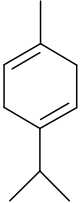
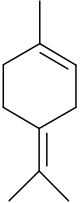
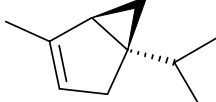
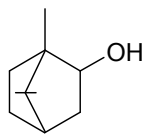
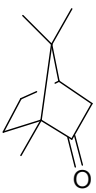
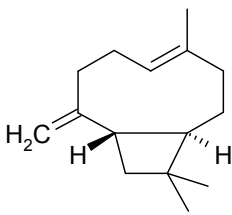
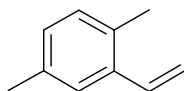
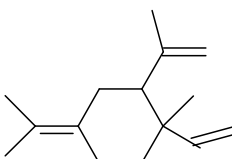
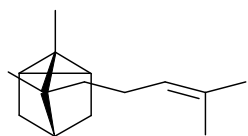
Zum ersten Mal in rohen Karotten wurden (*E*)-Ocimen, 2,5-Dimethylstyren, Camphor, Borneol, α -Santalen, α -Selinen, γ -Elemen und α -Zingberen, sowie Propanol in gekochten Karotten identifiziert (Tabelle 21).

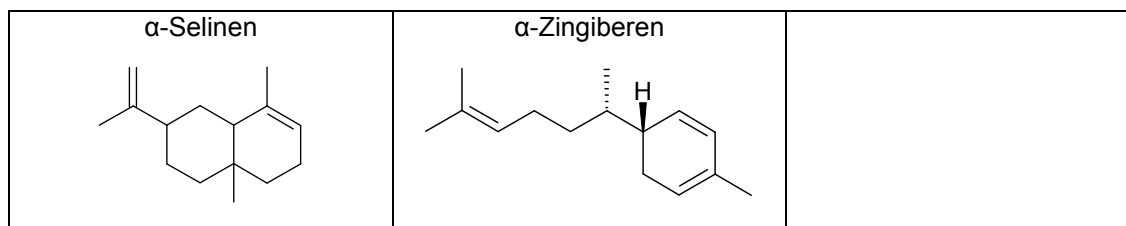
Es wurde angenommen, dass Sabinen und teilweise auch Myrcen für das „grüne“ und „erdige“ Aroma der Karotte verantwortlich ist.

Während der Lagerung von 28 Tagen bei 5, 25 und 35°C veränderte sich die Zusammensetzung der Karotten, mit Ausnahme von Propanol, welches bei höher werdenden Temperaturen aufgrund von sich ausbreitenden Fäulnisbakterien exponentiell anstieg, nicht wesentlich.

Nach einer Kochzeit der Karotten von 10, 20 und 30 Minuten, konnten Verluste der flüchtigen Substanzen von 88,0%, 93,0% und 95,5% festgestellt werden. Hierbei sind Sesquiterpene dem Kochprozess gegenüber beständiger als Monoterpene.

Tab. 21: Aus Karotten identifizierte Aromastoffe

Propanol 	Linalylacetat 	β -Citronellol 
γ -Bisabolen 	Limonen 	Myrcen 
(E)-Ocimen 	α -Pinen 	Sabinen 
γ -Terpinen 	Terpinolen 	α -Thujen 
Borneol 	Camphor 	β -Caryophyllen 
2,5-Dimethylstyren 	γ -Elemen 	α -Santalen 



(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001;

www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net;

www.thegoodscentcompany.com/allprov.html)

3.2.3. Zwiebelgewächse

3.2.3.1. Speisezwiebel

Als das in der Küche meistverwendete Gewürz, zog die Aromazusammensetzung der Speisezwiebel (*Allium cepa*), die zur Familie der *Liliaceae* gehört, die Aufmerksamkeit auf sich.

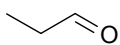
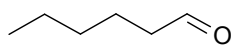
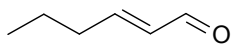
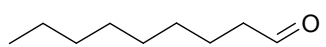
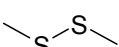
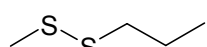
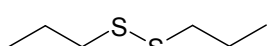
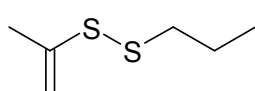
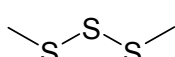
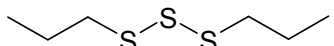
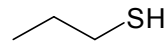
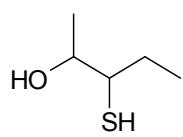
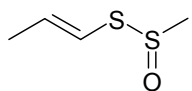
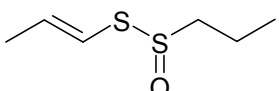
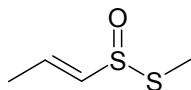
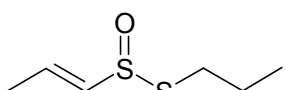
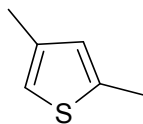
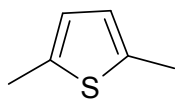
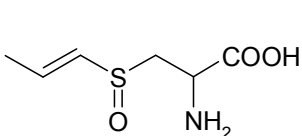
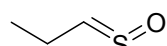
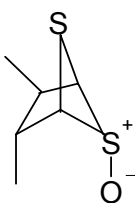
Bei der Zerstörung des Zellgewebes der Zwiebel, wie beim Zerkleinern, entsteht 3-Mercapto-2-methylpentan-1-ol, das mit einer sehr niedrigen Schwelle von 0,0016 µg/l Wasser nach Fleischbrühe und Zwiebel riecht. Für das Aroma von rohen Zwiebeln sind zudem Alkylthiosulfinate von großer Bedeutung (BELITZ et al., 2008), die nach der Zerstörung des Zellgewebes über die Bildung von hochreaktiven Sulfensäuren entstehen, wenn Vorstufen, wie S-Alkylcysteinsulfoxide in Kontakt mit dem Enzym Alliinase kommen. Zudem wird durch Alliinase aus S-1-Propenyl-L-cystein-sulfoxid der tränenreizende Faktor Propanthial-S-oxid gebildet (MONDY et al., 2002), der auch den typischen Geruch der Zwiebel ausmacht (HERRMANN, 2001).

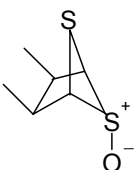
In Bezug auf die vorkommenden Thiosulfinate stehen 1-Propenylmethan- und 1-Propenylpropanthiosulfat sowie Methyl- und Propyl-(E)-1-propenthiosulfat mengenmäßig im Vordergrund. Neben den angeführten Thiosulfinaten gibt es noch weitere zu diesen Verbindungen zählende Substanzen, die als Zwiebelane bezeichnet werden (HERRMANN, 2001).

In einer Studie von ZHANG und LI (2006) konnten in zerkleinerten, frischen Zwiebeln 1-Propanthiol, Dimethyldisulfid, 2,5-Dimethylthiophen und 2-Propenylpropyldisulfid identifiziert werden. Zudem bestimmen auch 2,4-

Dimethylthiophen, Methylpropyldisulfid, Dimethyltrisulfid, Dipropyltrisulfid und Dipropyldisulfid sowie die Aldehyde Propanal, Hexanal, (*E*)-2-Hexenal und Nonanal das Aroma mit (Tabelle 22).

Tab. 22: Aus Speisezwiebeln identifizierte Aromastoffe

Propanal 	Hexanal 	(<i>E</i>)-2-Hexenal 
Nonanal 	Dimethyldisulfid 	Methylpropyldisulfid 
Dipropyldisulfid 	2-Propenylpropyldisulfid 	Dimethyltrisulfid 
Dipropyltrisulfid 	1-Propanthiol 	3-mercapto-2-methylpentan-1-ol 
1-Propenylmethanthiosulfat 	1-Propenylpropanthiosulfat 	Methyl-(<i>E</i>)-1-propenthiosulfat 
Propyl-(<i>E</i>)-1-propenthiosulfat 	2,4-Dimethylthiophen 	2,5-Dimethylthiophen 
S-1-Propenyl-L-cystein-Sulfoxid 	Propanthial-S-oxid 	(<i>E</i>)-Zwiebelan 

(Z)-Zwiebelan 		
--	--	--

(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001;

www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net;

www.thegoodscentscompany.com/allprov.html)

3.3. Obstsäfte

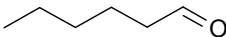
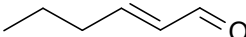
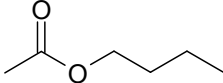
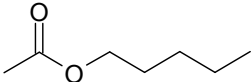
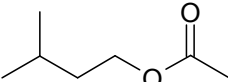
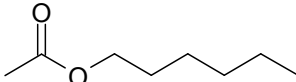
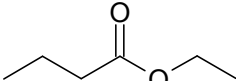
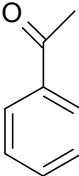
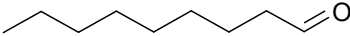
3.3.1. Apfelsaft

Apfelsaft ist einer der meistkonsumierten Säfte in der westlichen Welt sowie Japan (ZIERLER et al., 2004). Bei der Herstellung wird durch Pressen der pflanzliche Zellverband zerstört, wodurch es zum Ablaufen enzymatischer Prozesse oxidativer und hydrolytischer Art kommt. So werden Hexanal und (*E*)-2-Hexenal gebildet, wobei letzteres im Apfel selbst nur in geringen Mengen vorkommt. Der Gehalt dieser beiden Substanzen erhöht sich nach dem Pressen um ein vielfaches der ursprünglichen Konzentration (FRICKER et al., 1984). Aromastoffe, die laut SANCHÓ et al. (1997), als in Apfelsaft erwünscht gelten, sind Butyl-, Pentyl-, Isopentyl- und Hexylacetat sowie Ethylbutanoat, (*E*)-2-Hexenal, Hexanal, Benzaldehyd und Hexanol.

Bei der Untersuchung der Zusammensetzung der flüchtigen Substanzen in aus *Jonagold* Äpfeln hergestelltem Saft gleich nach dem Pressen sowie im Verlauf bis zu 6 Stunden danach um die Veränderungen während der enzymatischen Bräunungsreaktion zu erheben, konnte festgestellt werden, dass der frische, fruchtige und apfelartige Geruch in den ersten beiden Stunden der Bräunung zu-, danach aber abnimmt. Der süße Geruch des Saftes hingegen nahm während der ersten Stunde der Bräunung stark zu und blieb danach auf diesem Niveau. Diese Veränderungen des Geruchs gehen mit der Abnahme von (*E*)-2-Hexenal und der Zunahme der Acetatester einher. Bei den flüchtigen Substanzen mit den höchsten Aromawerten handelt es sich um Butylacetat, Pentylacetat, Hexylacetat und (*E*)-2-Hexenal, welche somit zum Aroma und zum Geruch des Apfelsaftes beitragen (KOMTHONG et al., 2006). Auch in Äpfeln konnten die erwähnten Acetatester nachgewiesen werden (VANOLI et al., 1995; XIAOBO und JIEWEN, 2008).

Die aus Apfelsaft identifizierten Aromastoffe können Tabelle 23 entnommen werden.

Tab. 23: Aus Apfelsaft identifizierte Aromastoffe

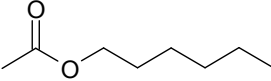
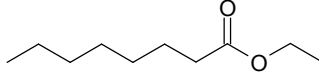
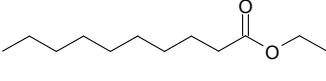
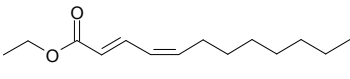
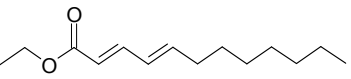
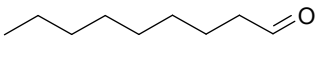
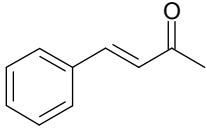
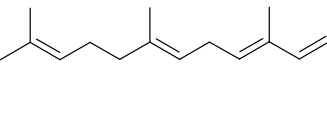
Hexanal 	(E)-2-Hexenal 	Butylacetat 
Pentylacetat 	Isopentylacetat 	Hexylacetat 
Ethylbutanoat 	Benzaldehyd 	Hexanol 

(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001; www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki)

3.3.2. Birnensaft

Die Aromazusammensetzung von elf aus Italien und Spanien stammenden, handelsüblichen Birnensäften wurde mittels HS-SPME und GC-MS von RIU-AUMATELL et al. (2004) untersucht. Es konnten 49 flüchtige Substanzen identifiziert werden, wobei Hexylacetat und Ethyl-2,4-(E,Z)-decadienoat in allen Proben gefunden wurden. Diese Substanzen wurden auch von CHEN et al. (2006) sowie DIBAN et al. (2007) als wichtige Substanzen für das Aroma von Birnen beschrieben. Ethyl-, Propyl-, Butyl- und Hexylester scheinen einen wichtigen Beitrag zum Birnenaroma zu leisten (DIBAN et al., 2007). In zehn der elf untersuchten Birnensäfte konnte zudem α -(E,E)-Farnesen nachgewiesen werden, in neun 1-Hexanol, Ethyloctanoat, Ethyldecanoat und Cinnamaldehyd. Methyl-2,4-(E,Z)-decadienoat und Ethyl-2,4-(E,E)-decadienoat wurde in 8 Proben detektiert (Tabelle 24) (RIU-AUMATELL et al., 2004).

Tab. 24: Aus Birnensaft identifizierte Aromastoffe

Hexylacetat 	Ethyloctanoat 	Ethyldecanoat 
Methyl-2,4-(E,Z)-decadienoat 	Ethyl-2,4-(E,E)-decadienoat 	Hexanol 
Cinnamaldehyd 	α -(E,E)-Farnesen 	

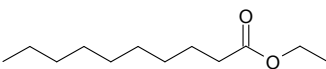
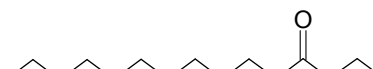
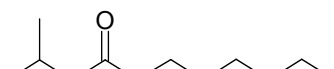
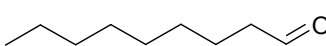
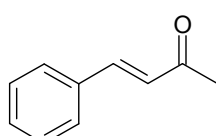
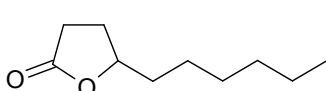
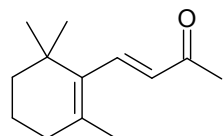
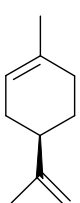
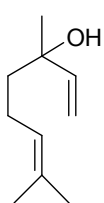
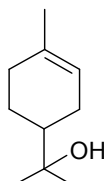
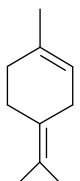
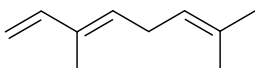
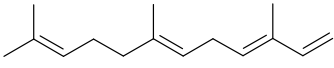
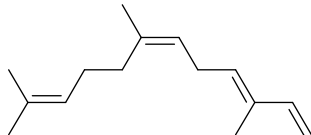
(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001;

www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net)

3.3.3. Marillensaft

RIU-AUMATELL et al. (2004) analysierten die in fünf handelsüblichen Marillensäften aus Italien vorkommenden flüchtigen Substanzen mittels HS-SPME sowie GC-MS. Es konnten 37 flüchtige Substanzen identifiziert werden, wobei α -Terpinolen, 1-Hexanol, Hexylisovalerat, Essigsäure, Linalool, Ethyldecanoat, α -Terpineol, α -(Z,E)-Farnesen, Ethyldodecanoat und Cinnamaldehyd in allen Proben identifiziert werden konnten. Limonen, β -Ocimen, α -(E,E)-Farnesen, β -Ionon und γ -Decalacton wurden in 4 von fünf Säften nachgewiesen. Die Substanzen β -Ionon, γ -Decalacton, Limonen und Linalool wurden auch in Marillen als für das Aroma ausschlaggebende Substanzen beschrieben. Wichtige für das Marillenaroma sind auch Ethyl- und Hexylester (GUILLOT et al., 2006), die auch in einigen Säften nachgewiesen werden konnten (RIU-AUMATELL et al., 2004).

Tab. 25: Aus Marillensaft identifizierte Aromastoffe

Ethyldecanoat 	Ethyldodecanoat 	Hexylisovalerat 
1-Hexanol 	Cinnamaldehyd 	γ-Decalacton 
β-Ionon 	Limonen 	Linalool 
α-Terpineol 	α-Terpinolen 	β-Ocimen 
α-(E,E)-Farnesen 	α-(Z,E)-Farnesen 	Essigsäure $\text{H}_3\text{C}-\text{COOH}$

(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001;

www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net)

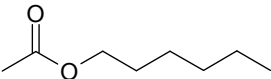
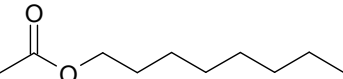
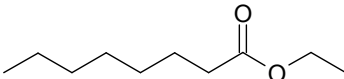
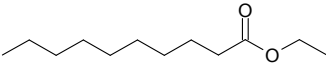
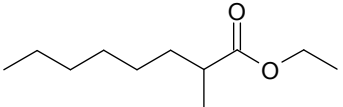
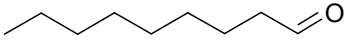
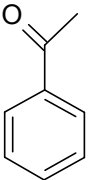
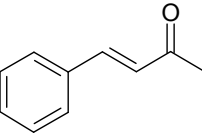
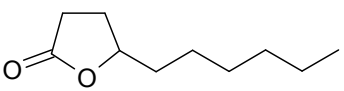
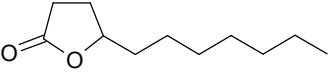
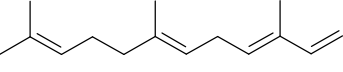
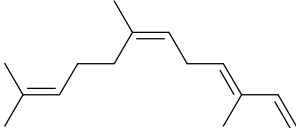
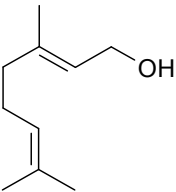
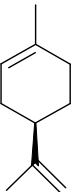
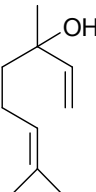
3.3.4. Pfirsichsaft

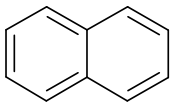
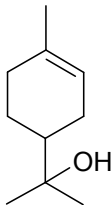
RIU-AUMATELL et al. (2004) untersuchten anhand von 17 handelsüblichen Pfirsichsäften aus Italien und Spanien die darin vorkommenden flüchtigen Substanzen mittels HS-SPME sowie GC-MS. Es konnten 60 Substanzen identifiziert werden, die zum Flavour beitragen, darunter Ester und Lactone, wobei nur γ-Decalacton in allen Proben gefunden werden konnte. In Studien, die das Aroma von Pfirsichen zum Thema hatten, werden Lactone als *character*

impact compounds bezeichnet (AUBERT et al., 2005; VANOLI und VISAI, 1997).

Cinnamaldehyd konnte in 16 Probe nachgewiesen werden, α -Terpineol in 13, Linalool und Limonen in 12, α -(*E,E*)-Farnesen und Ethyloctanoat in 11 Proben. Geraniol wurde in 8 Proben detektiert, Hexylacetat, 2-Methylethyloctanoat und Ethyldecanoat in 7, 1-Hexanol, Octylacetat, α -(*Z,E*)-Farnesen und γ -Undecalacton in 6 Proben. Das auch in reifen Pfirsichen nachgewiesene Benzaldehyd konnte in 5 Pfirsichsaftproben identifiziert werden. Erstmals wurden in Pfirsichsaft auch Naphtalenderivate festgestellt (Tabelle 26) (RIU-AUMATELL et al., 2004).

Tab. 26: Aus Pfirsichsaft identifizierte Aromastoffe

Hexylacetat 	Octylacetat 	Ethyloctanoat 
Ethyldecanoat 	2-Methylethyloctanoat 	1-Hexanol 
Benzaldehyd 	Cinnamaldehyd 	γ-Decalacton 
γ-Undecalacton 	α-(<i>E,E</i>)-Farnesen 	α-(<i>Z,E</i>)-Farnesen 
Geraniol 	Limonen 	Linalool 

Naphtalen-Grundgerüst 	α-Terpineol 	
--	--	--

(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001;

www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net)

3.3.5. Orangensaft

Limonen stellt sowohl in Orangen, als auch in Orangensaft den mengenmäßig wichtigsten Aromastoff dar (ELSS et al., 2007), ist jedoch nicht alleinig der bedeutendste für die Qualität des Aromas. Acetaldehyd, Octanal, Citral, Ethylbutanoat, Linalool und α -Pinen stellen wichtige Komponenten für das Aroma von Orangensaft dar (JIA et al., 1999; JORDÁN et al., 2003; SHAW et al., 2000). Auch 2-Methylbutanoat (ELSS et al., 2007), Hexanal, Decanal (JORDÁN et al., 2003), 4-Terpineol, Octanol, Sabinen, Myrcen, Valencen und Ethanol (JIA et al., 1999; SHAW et al., 2000; TØNDER et al., 1998) tragen wesentlich zum Aroma bei.

Unter den sauren Bedingungen des Saftes und in Abhängigkeit vom Sauerstoffgehalt wird Limonen, welches eine hohe Aromaschwelle aufweist, während der Lagerung teilweise in α -Terpineol und Carvon umgewandelt. So konnte in 54 analysierten Orangensäften ein Limonengehalt von durchschnittlich 300 mg/l festgestellt werden. In 7 untersuchten, handelsüblichen Orangensäften, die nicht aus Konzentraten hergestellt wurden, konnte ein durchschnittlicher Limonengehalt von 154 mg/l nachgewiesen werden. Bei 11 Säften aus Orangensaftkonzentrat zeigte sich ein Mittelwert des Limonengehaltes von 112 mg/l (ELSS et al., 2007).

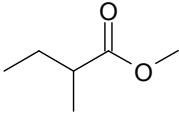
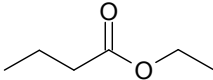
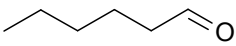
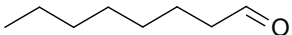
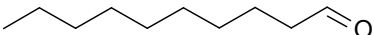
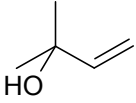
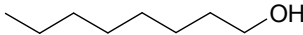
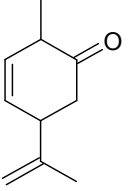
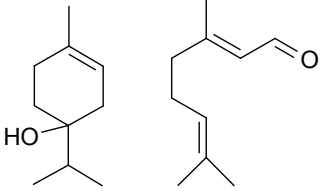
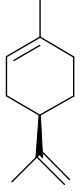
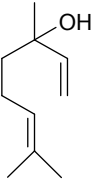
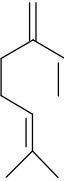
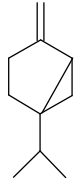
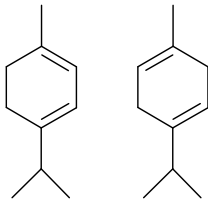
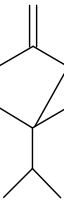
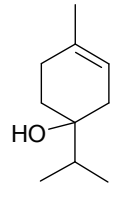
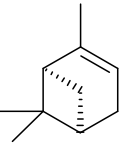
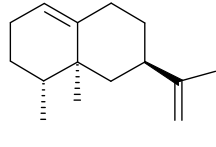
Thermische Behandlung ist eine allgemein gebräuchliche Methode zur Inaktivierung von Mikroorganismen und Enzymen in Orangensaft. Allerdings kommt es dabei zur Reduktion des Nährstoffgehaltes und der Qualität des Flavours (JIA et al., 1999).

JORDÁN et al. (2003) führten eine vergleichende Studie zwischen den Aromaprofilen von frischem, entlüftetem und pasteurisiertem Orangensaft durch. Zur Herstellung der Säfte wurden Orangen der Sorten *Berna*, *Valencia Late*, *Salustian* sowie ähnliche Sorten bei optimaler Reife verwendet. Aus den 30 Proben wurden anhand SDE Aromakonzentrate gewonnen, die mittels GC-MS analysiert wurden. Es konnten sowohl in frischen und belüfteten, als auch in pasteurisierten Säften 42 Substanzen identifiziert und quantifiziert werden. Die in Orangensaft mit durchschnittlich 772,36 mg/kg mengenmäßig dominierende Substanz war Limonen, wobei nach der Entlüftung eine signifikante Abnahme der Konzentration erfolgte. Der Gehalt von Myrcen betrug im Mittel 11,95 mg/kg. Die Konzentration dieser Substanz zeigte wie jene von α -Pinen, Sabinen, δ -3-Caren, α -Terpinen und γ -Terpinen nach der Entlüftung eine signifikante Abnahme. Auch die Aldehyde Decanal und Octanal konnten mit einer Konzentration von 2,45 mg/kg und 1,31 mg/kg in frischem Orangensaft nachgewiesen werden, nahmen im Zuge der Weiterverarbeitung jedoch ebenfalls ab. Die Alkohole Linalool, Octanol, α -Terpineol sowie Terpinen-4-ol konnten mit einem Gehalt von 7,87 mg/kg, 3,95 mg/kg, 3,69 mg/kg und 2,82 mg/kg quantifiziert werden, der im Zuge der Bearbeitung jedoch sank.

PETERSEN et al. (1996) untersuchten den Einfluss der Lagertemperatur auf die Zusammensetzung des Aromaprofils von handelsüblichem Orangensaft. Es konnte beobachtet werden, dass die sensorische Qualität des Saftes, der bei 40°C oder 50°C fünf Tage gelagert wurde, vergleichbar mit jenem war, der bei 20°C zwischen drei und sechs Monaten gelagert wurde. Gaschromatographische Analysen zeigten, dass Abnahmen der Konzentrationen von Octanal, Decanal, Linalool und α -Pinen sowie Zunahmen von α -Terpineol und 2-Methyl-3-buten-2-ol mit höherer Lagertemperatur einhergingen.

Die aus Orangensäften identifizierten Aromastoffe können Tabelle 27 entnommen werden.

Tab. 27: Aus Orangensaft identifizierte Aromastoffe

2-Methylbutanoat 	Ethylbutanoat 	Hexanal 
Octanal 	Decanal 	Acetaldehyd 
Ethanol $\text{H}_5\text{C}_2\text{—OH}$	2-Methyl-3-buten-2-ol 	Octanol 
Carvon 	α-Citral β-Citral 	Limonen 
Linalool 	Myrcen 	Sabinen 
α-Tepinen γ-Terpinen 	α-Terpineol 	4-Terpineol 
α-Pinen 	Valencen 	

(BELITZ et al., 2008; CLAUS, 2002; HERRMANN, 2001;

www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net)

3.4. Milchprodukte

3.4.1. Milch

Milch ist eine aus den Milchdrüsen weiblicher Säugetiere abgesonderte Flüssigkeit, die als ausschließliche Nahrung des heranwachsenden Lebewesens alle wichtigen Nährstoffe enthält. Heute versteht man unter Milch als Handelsware Kuhmilch, alle Milchen anderer Tiere müssen speziell gekennzeichnet sein. Eine Vielzahl von Milchtypen ist im Handel erhältlich. So ist Milch mit verschiedenen Fettstufen und Haltbarkeiten ebenso erhältlich wie laktosefreie oder mit Nährstoffen angereicherte Milch. Neben ernährungsphysiologischen Parametern unterscheiden sich diese Milchtypen auch in sensorischen Eigenschaften (DERNDORFER, 2002).

Rohe oder schonend, bei 73°C 12 Sekunden, pasteurisierte Milch hat einen milden, aber charakteristischen Geschmack, der durch eine Vielzahl an Stoffen, welche in unterschiedlichem Maße zum Aroma beitragen, zu begründen ist. Einen großen Beitrag zum Milcharoma leisten Dimethylsulfid, Diacetyl, 2-Methylbutanol, (Z)-4-Heptenal, (E)-2-Nonenal und 3-Butenylisothiocyanat. Aber auch Ethanal, 3-Methylbutanal, 2-Methylbutanal, Hexanal, Heptanal, Nonanal, Nonadienal, 4-Pentennitril, 2-Hexanon, Ethylbutanoat, 2,4-Dithiapentan, Benzonitril, 1-Octen-3-on, 1-Octen-3-ol, p-Kresol, (E,E)-2,4- δ -Decalacton und δ -Dodecalacton konnten identifiziert werden (BELITZ et al., 2008).

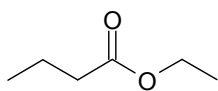
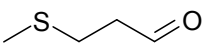
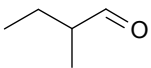
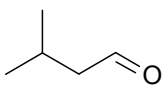
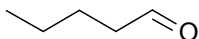
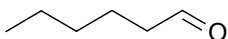
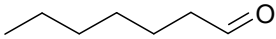
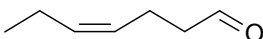
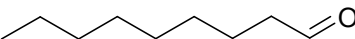
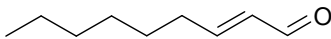
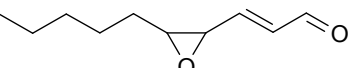
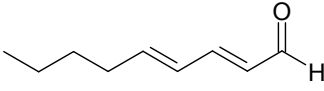
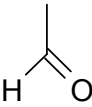
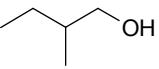
In ultrahocherhitzter Milch hingegen stellt δ -Decalacton den dominierenden Aromastoff dar, aber auch 2-Acetyl-1-pyrrolin, Methional, 2-Acetylthiazolin und 4,5-Epoxy-2-decenal tragen dazu bei.

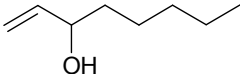
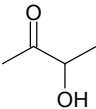
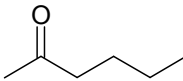
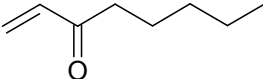
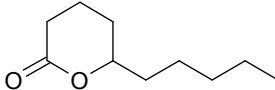
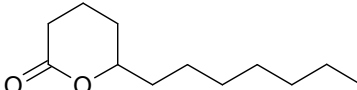
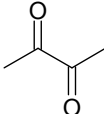
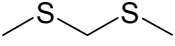
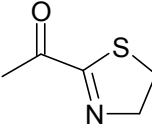
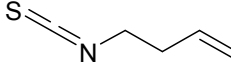
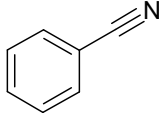
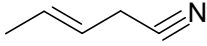
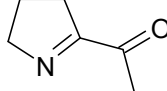
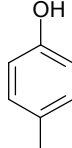
BENDALL und OLNEY (2001) untersuchten homogenisierte und pasteurisierte Milch mit 3,3% Fett. Es konnten 70 Aromakomponenten gefunden werden, die zu Aldehyden, Ketonen, Estern, Phenolen und Indolen zählen. Auch γ - und δ -Lactone sowie Acetoin und Carbonsäuren konnten identifiziert werden. Unter den gefundenen Substanzen konnte auch (Z)-4-Heptenal detektiert werden, welches einen sehr niedrigen Schwellenwert besitzt und einen wichtigen Beitrag zum typischen Milcharoma leistet.

KARATAPANIS et al. (2006) wiesen beim zunehmenden Verderb von Milch mit 3,5% Fett, welche bei 75°C 15 Sekunden pasteurisiert wurde, einen Anstieg an Dimethyldisulfid und Carbonylverbindungen wie Hexanal, Pentanal und Heptanal nach. Diese Substanzen gehen aus der lichtinduzierten Oxidation hervor und bewirken eine Veränderung des Aromas. Zudem kann es bei Milch zum Auftreten des Sonnenlichtgeschmackes kommen, der durch die Umwandlung von Methionin zu Methional im Zuge der Fotooxidation auftritt (BELITZ et al., 2008). Aromastoffe aus dem Futter oder der Luft können über den Atmungs- und Verdauungstrakt der Kuh in die Milch gelangen. Aromfehler werden auch durch eine Stoffwechselstörung des milchgebenden Tieres bedingt. (Z)-4-Heptenal, 1-Octen-3-on und Hexanal, welche in geringen Konzentrationen zum vollsahnigen Aroma von Milch beitragen, bewirken in erhöhten Konzentrationen kartonartige, metallische und grüne Aromanoten (BELITZ et al., 2008).

Die aus Milch identifizierten Aromastoffe können Tabelle 28 entnommen werden.

Tab. 28: Aus Milch identifizierte Aromastoffe

Ethylbutanoat 	Methional 	Ethanal 
2-Methylbutanal 	3-Methylbutanal 	Pentanal 
Hexanal 	Heptanal 	(Z)-4-Heptenal 
Nonanal 	(E)-2-Nonenal 	4,5-Epoxy-2-decenal 
(E,E)-2,4-Nonadienal 	Acetaldehyd 	2-Methylbutanol 

1-Octen-3-ol 	Acetoin 	2-Hexanon 
1-Octen-3-on 	δ-Decalacton 	δ-Dodecalacton 
Diacetyl 	Dimethylsulfid 	2,4-Dithiapentan 
2-Acetylthiazolin 	3-Butenylisothiocyanat 	Benzonitril 
4-Pentennitril 	2-Acetyl-1-pyrrolin 	p-Kresol 

(www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net; www.ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/flavouring/database; www.rdchemicals.com; www.thegoodscentscompany.com/allprov.html)

3.4.2. Butter

Butter ist der Sammelbegriff für Milchstreichfett und beinhaltet viele unterschiedliche Typen. So fallen darunter Süßrahm-, Sauerrahm- und gesalzene Butter sowie Tee-, Tafel-, Koch-, Molkenrahm-, Land-, Dreiviertelfett- und Halbfettbutter. Zudem sind auch Butterzubereitungen, wie Kräuterbutter, und rekombinierte Butter oder Butterfetterzeugnisse handelsüblich (DERNDORFER, 2002).

Für das typische Aroma von Butter mit guter Qualität, spielt einerseits das Rohmaterial und andererseits auch die metabolische Aktivität der Starterbakterien, wie bei Sauerrahmbutter eine wichtige Rolle. Als

Buttereikulturen sind *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* sowie *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetilactis* und *Leucostenoc* von großer Bedeutung (POVOLO und CONTARINI, 2003).

Gemeinsam mit Diacetyl stellen δ -Decalacton und Butansäure die Schlüsselaromastoffe in Butter dar (BERLITZ et al., 2008). Untersuchungen verschiedener Autoren zeigten aber auch, dass das Vorhandensein von kurzkettigen Fettsäuren, Aldehyden, Ketonen, Alkoholen, Estern, Lactonen, Terpene und schwefelhaltigen Komponenten für das Aroma von Butter eine wichtige Rolle spielt. Diacetyl wird, wie Acetoin, im Citrat-Malat-Pyruvat-Zyklus gebildet. Hierbei kann Brenztraubensäure sowohl in Essigsäure, Acetaldehyd, Ethanol, Acetoin, Diacetyl als auch in 2,3-Butandiol umgewandelt werden. (POVOLO und CONTARINI, 2003).

POVOLO und CONTARINI (2003) untersuchten die in Butter enthaltenen flüchtigen Komponenten, während diese bei unterschiedlichen Temperaturen gelagert wurde. So sollte die Qualität während der handelsüblichen Lagerfähigkeit von 90 Tagen beschrieben werden. Dabei wurde für die Extraktion sowohl die DHS-Technik, als auch die SPME-Methode verwendet.

Wird die richtige Kühltemperatur für Butter nicht eingehalten, kann das Aroma als Folge von Lipolyse und Oxidation während der Lagerung signifikanten Veränderungen unterworfen sein. Durch den Fettabbau wird ein Anstieg der flüchtigen Komponenten, besonders aber von Methylketonen, Alkoholen, Aldehyden und freien Fettsäuren veranlasst. Hierbei stellt Hexanal einen Indikator für die Fettoxidation dar.

Im Zuge der Studie wurde die erste Butterprobe einen Tag nach der Produktion untersucht, während die weiteren Proben bei 4°C, wie sie bei industrieller Kühlung oder 10°C, wie sie in Haushaltskühlschränken vorherrschen sowie bei einer Raumtemperatur von 21°C, gelagert wurden.

Jene Proben, die bei 4°C gelagert wurden, zeigten im Vergleich mit dem Aromaprofil von gleich nach der Produktion analysierten Proben während der Lagerfähigkeit von 90 Tagen keine signifikanten Veränderungen. Proben, die bei 10°C für 90 Tage, bzw. bei 21°C für 40 Tage gelagert wurden, zeigten ab diesem Zeitpunkt einen Anstieg jener flüchtigen Komponenten, die aus

oxidativen und lipolytischen Prozessen resultieren, wie Ketone und Säuren. Der Gehalt jener Substanzen, die aus dem Metabolismus der Starterbakterien stammen, wie Diacetyl und Acetoin, sank hingegen (POVOLO und CONTARINI, 2003).

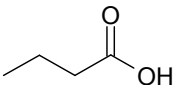
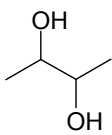
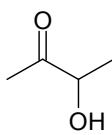
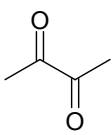
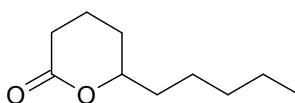
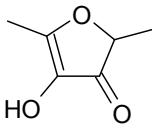
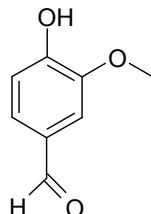
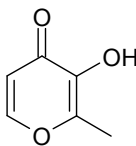
ADAHCHOUR et al. (1999) untersuchen Aromakomponenten von „Grasboter“ und „Gezouten Roomboter“ Butter mittels SPE und GC-MS vor und nach der Erhitzung der Probe auf 170°C. Durch Hitzebehandlung werden Aromakomponenten, die sich von Beginn an in der untersuchten Probe befinden, zerstört, in andere Verbindungen umgewandelt oder es bilden sich neue Substanzen.

Auf Basis der Massenspektren konnten nach der Erhitzung 20-25 Substanzen gefunden werden, die großteils zu den Fettsäuren, Methylketonen oder Alkoholen zählen. Vor dem Erhitzen wurden sowohl Vanillin als auch Spuren von Diacetyl und Maltol detektiert. Nach der Wärmebehandlung stieg der Gehalt an Maltol um das 500-1000 fache auf 15 mg/kg an und Furaneol konnte mit 4 mg/kg detektiert werden. Die Menge an Vanillin blieb im Vergleich mit der nicht erhitzten Probe auf demselben Niveau und Diacetyl konnte nicht mehr detektiert werden. In einer weiteren Studie konnte diese Arbeitsgruppe in denselben Buttersorten auch δ -Lactone identifizieren, wobei die Menge der hochflüchtigen Substanzen bei Hitzebehandlung zunahm, während jene der weniger flüchtigen dabei abnahm (ADAHCHOUR, 2005).

SCHIEBERLE et al. (1993) untersuchten fünf Sorten *Irish sour cream butter* und *Farmer sour cream butter* und konnten 19 Komponenten identifizieren. Die höchsten Aromawerte zeigten Diacetyl, δ -Decalacton und Buttersäure, welche mit Konzentrationen von 0,34 mg/kg, 4,9 mg/kg und 3,6 mg/kg detektiert wurden.

Die aus Butter identifizierten Aromastoffe können Tabelle 29 entnommen werden.

Tab. 29: Aus Butter identifizierte Aromastoffe

Essigsäure $\text{H}_3\text{C}-\text{COOH}$	Butansäure 	Ethanol $\text{H}_5\text{C}_2-\text{OH}$
2,3-Butandiol 	Acetoin 	Diacetyl 
Acetaldehyd 	δ -Decalacton 	Furaneol 
Vanillin 	Maltol 	

(www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net)

3.4.3. Joghurt

Handelsübliche Joghurts unterscheiden sich im Fettgehalt, der Textur (cremig gerührt, stichfest oder Trinkjoghurt), dem Freisein oder dem Zusatz geschmackgebender Zutaten, dem Zusatz von Ballaststoffen, Stabilisatoren oder dem Einsatz verschiedener Kulturen. Letztgenannte beeinflussen das sensorische Profil des Endproduktes maßgeblich (DERNDORFER, 2002).

Für das Aroma von großer Bedeutung sind Stoffwechselprodukte jener Bakterienkulturen, die zur homogenisierten und pasteurisierten Milch zugegeben werden. Zur Fermentation werden als Säurewecker oftmals Milchsäurebakterien verwendet, durch die Diacetyl, Ethanal, Dimethylsulfid, Essigsäure und Milchsäure entstehen. Ethanal trägt stark zum Joghurtaroma bei, wobei Konzentrationen von 13-16/ $\mu\text{g}/\text{kg}$ für qualitativ hochwertige Produkte charakteristisch sind (BELITZ et al., 2008).

Oft werden für die Produktion fermentierter Milch Mikroorganismen verwendet, die die Gesundheit des Konsumenten positiv beeinflussen sollen. Um diese probiotische Aktivität zu erreichen, werden Milchsäurebakterien, *Lactobacillus acidophilus*, verwendet, welche sich im Darmtrakt vermehren können, präventiv auf Darmkrebs wirken, den Cholesterinspiegel senken, die Mikroflora im Darm normalisieren und Darminfektionen verhindern sollen.

Aus Joghurt konnten viele Aromastoffe identifiziert werden, aber vor allem Acetaldehyd, Ethanol, Aceton, Diacetyl und 2-Butanon und hierbei auch ihr Mengenverhältnis zueinander, tragen zum charakteristischen Joghurtaroma bei. Unter diesen Substanzen spielt Acetaldehyd vermutlich die wichtigste Rolle (GARDINI et al., 1999), was auch von GÖRNER (2006) bestätigt werden konnte.

GARDINI et al. (1999) versetzten 17 Milchproben mit unterschiedlichem Fettgehalt und unterschiedlichem Gehalt fettfreier Feststoffe nach der Hitzebehandlung für 5 Minuten bei 90°C und dem Abkühlen auf 37°C mit der Joghurtkultur *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* und *S. thermophilus* sowie unterschiedlichen Mengen an *Lactobacillus acidophilus*. Die fermentierten Milchproben wurden bei 4°C fünf Wochen gelagert und sowohl gleich nach der Fermentation, als auch nach einer und fünf Wochen Lagerung mittels HS GC-FID analysiert. Als Substanzen, die wesentlich zum Aroma beitragen, konnten Acetaldehyd, Essigsäure, Diacetyl, Aceton und 2-Butanon identifiziert werden.

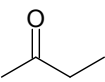
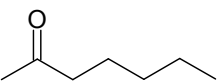
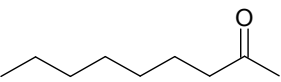
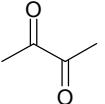
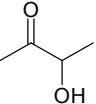
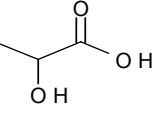
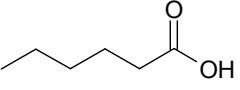
Nach einer Woche Lagerung konnte festgestellt werden, dass die Menge an *Lactobacillus acidophilus* die Acetaldehyd- und Essigsäureproduktion nicht signifikant verändert, dafür nahmen jedoch Milchfett und fettfreie Stoffe Einfluss. Die Diacetyl- und Acetonkonzentrationen wurden vom Gehalt an *Lactobacillus acidophilus* und der Wechselwirkung mit Milchfett und fettfreien Substanzen beeinflusst. Der höchste Gehalt an Diacetyl und Aceton wurde bei einer maximalen Konzentration an fettfreien Feststoffe und der geringsten Menge an *Lactobacillus acidophilus* festgestellt. Die Menge an 2-Butanon wurde vom Gehalt der probiotischen Kultur gering beeinflusst, einen positiven Effekt zeigen hingegen die fettfreien Feststoffe, während Milchfett einen negativen Effekt ausübte.

Nach einer Lagerung von fünf Wochen wirkten sich sowohl MilCHFett und fettfreie Feststoffe, als auch der Gehalt an *Lactobacillus acidophilus* auf die genannten Aromakomponenten aus. Eine Ausnahme stellte Acetaldehyd dar, welches von der probiotischen Kultur unbeeinflusst, für das Aroma aber die wichtigste Substanz blieb.

CONDUSO et al. (2008) stellten fest, dass die direkt nach der Produktion im Joghurtaroma hauptsächlich vorkommenden Verbindungen Acetoin, welches mit den Attributen cremig, fettig und buttrig in Verbindung gebracht wird, sowie 2-Heptanon, welches einen cremig, frischen Eindruck auslöst und Hexansäure, welche mit käseartig, ranzig und schweißartig zu beschreiben ist, waren. Zudem konnten Diacetyl, welches einen buttrigen und stechenden Eindruck auslöst sowie 2-Nonanon, dessen Empfindung als cremig und frisch beschrieben wird, in größeren Mengen nachgewiesen werden. Diese Substanzen, vor allem aber Acetoin, Diacetyl und 2-Ketone gehören nach BESHKOVA et al. (2003) zu den Schlüssolverbindungen des Aromas fermentierter Milch.

Die aus Joghurt identifizierten Aromastoffe können Tabelle 30 entnommen werden.

Tab. 30: In Joghurt identifizierte Aromastoffe

2-Butanon 	2-Heptanon 	2-Nonanon 
Diacetyl 	Aceton 	Acetoin 
Ethanol $\text{H}_5\text{C}_2\text{—OH}$	Ethanal 	Acetaldehyd 
Essigsäure $\text{H}_3\text{C—COOH}$	Milchsäure 	Hexansäure 

Dimethylsulfid 		
---	--	--

(www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net)

3.4.4. Käse

Käse wird in ungereifte und gereifte Käse, welche durch unterschiedliche Eigenschaften geprägt sind, unterteilt.

Ungereifte Käseerzeugnisse gehen von Milch, standardisierter -, Mager- oder Buttermilch aus und basieren auf, meist durch Milchsäurebakterien, säuregefälltem Casein. Oftmals kommt es zum MilCHFetteinschluss. Eine Fällung kann auch mit Zusatz oder ausschließlich durch Lab erfolgen. Die Molke kann in unterschiedlichem Ausmaß abgetrennt oder ausgewaschen werden. Die verbleibende Masse ist daraufhin verzehrsfertig und es entstehen charakteristische Produkte, die sich hauptsächlich im Fettgehalt, damit auch im Trockenmassegehalt sowie in der Konsistenz unterscheiden.

Gereifte Käse basieren, ausgehend von Milch, standardisierter Milch, Mager- oder Buttermilch, meist unter MilCHFetteinschluss, auf säure- oder labgefälltem Casein. Die Abscheidung der Molke wird mehr oder weniger gefördert und die verbleibende Masse wird unter Pressen geformt, gesalzen und bis zur sortentypischen Sensorik gereift, wofür vielfältige mikrobiell-enzymatische Prinzipien ausgenutzt werden (FOISSY, 2005). Zu Beginn der Käsereifung handelt es sich um eine eher geschmacksneutrale Käsemasse, die durch enzymatische Umsetzungen wie Lipolyse, Proteolyse sowie den Citrat- und Lactatmetabolismus das charakteristische Käsearoma erhält (MARILLEYA et al., 2004; PIONNIER et al., 2002; VAN LEUVEN et al., 2008). Typische Kennzeichen verschiedener Käsesorten sind auch der Wasser- und Trockenmassegehalt sowie das Casein:MilCHFett Verhältnis. Die Endprodukte können nach Art der Caseinfällung, Reifungsprozess und technologische Besonderheiten in Lab- oder Sauermilchkäse unterteilt werden. Eine Unterscheidung kann auch nach der verwendeten Milchart, der thermischen Vorbehandlung der Milch, dem Fettgehalt sowie dem Wasser- und Trockenmassegehalt gemacht werden. Spezielle Reifungsaspekte oder

unterschiedliche Zusatz- und Hilfsstoffe können weitere Differenzierungsmerkmale darstellen (FOISSY, 2005).

Wird Käse nach dem Wassergehalt in der fettfreien Käsemasse (Wff) unterschieden, so resultiert eine Einteilung wie sie in Tabelle 31 ersichtlich ist.

Tab. 31: Einteilung von Käse nach dem Wassergehalt in der fettfreien Käsemasse

Wff-Wert [%]	Käse
≤ 56	Hartkäse
52 – 60	Halbharter Schnittkäse
54 - 63	Schnittkäse
61 - 69	Halbweicher Schnittkäse
> 67	Weichkäse
60 - 73	Sauermilchkäse
>73	Frischkäse

(Österreichischer Lebensmittelcodex, B32 Käse/Anlage, 2003. Online unter URL: http://portal.wko.at/wk/format_detail.wk?angid=1&stid=327683&dstid=144&opennavid=0)

3.4.4.1. Gereifter Käse

3.4.4.1.1. Hartkäse

Grana Parmigiano Reggiano – Grana Padano – Pecorino

Eines der typischsten Produkte der italienischen Landwirtschaft und Lebensmittelindustrie stellt der *Grana* Hartkäse dar, wobei zwischen den Sorten *Grana Parmigiano-Reggiano*, welcher für die Namensgebung von *Parmesan* ausschlaggebend war, und *Grana Padano* unterschieden werden kann.

Italienischer *Grana Parmigiano-Reggiano* Hartkäse wurde von BELLESIA et al. (2003) mittels SPME sowie purge and trap Methode analysiert. Die Hälfte des untersuchten Käses wurde im Flachland in einer Höhe weniger als 90 m über dem Meeresspiegel produziert, die andere Hälfte in einer Region zwischen 90 und 600 m über dem Meeresspiegel. Es stellte sich heraus, dass die Zusammensetzung der flüchtigen Komponenten weniger von der geographischen Lage, als vielmehr von den elf unterschiedlichen

Herstellerbetrieben abhing. Durch die Reifung verstärkte sich auch der Unterschied zwischen den einzelnen Proben.

Es konnten 73 aromawirksame Substanzen identifiziert werden, wobei Essigsäure, Butansäure, Ethylhexanoat, Octansäure, Ethyloctanoat und Decansäure in allen im Flachland produzierten Proben festgestellt wurden. Hexansäure und 2-Nonanon kamen, mit einer Ausnahme, in allen Proben vor und Ethylbutanoat sowie 2-Heptanon in allen bis auf zwei Proben. Die Zusammensetzung der flüchtigen Komponenten der in größeren Höhen hergestellten Proben gleicht in Bezug auf Essigsäure, Butansäure, Ethylhexanoat, Octansäure und Decansäure den Proben aus dem Flachland. Zudem konnte in allen Proben 2-Nonanon und Hexansäure nachgewiesen werden. 8-Nonen-2-on und Ethyloctanoat wurden mit einer Ausnahme in allen Proben gefunden und 2-Heptanon in allen, bis auf 2 Proben.

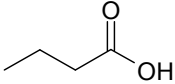
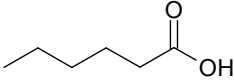
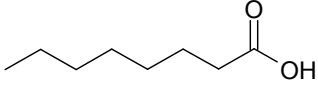
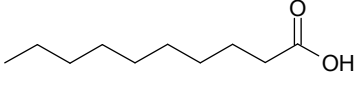
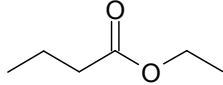
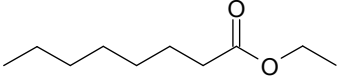
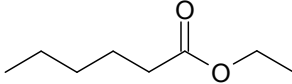
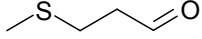
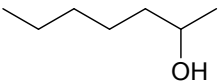
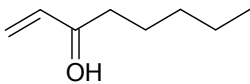
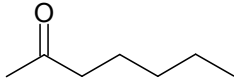
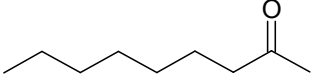
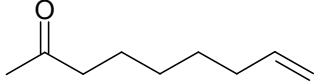
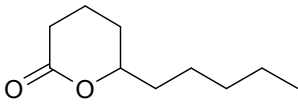
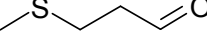
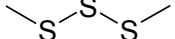
MOIO und ADDEO (1998) analysierten die Zusammensetzung der flüchtigen Fraktion von *Grana padano* Käse. 67 Komponenten wurden identifiziert, wobei Ester, insbesondere Ethylbutanoat und Ethylhexanoat, die überwiegend vorkommenden Substanzen waren. 23 Verbindungen, darunter Ethylbutanoat, 2-Heptanol, 3-Methylthiopropional, 1-Octen-3-ol, Ethylhexanoat, n-Butansäure und n-Hexansäure zählten zu den vorherrschenden und stellten die mit GC-O analysierten, geruchaktivsten Stoffe dar, die auch für das Aroma des untersuchten Käses ausschlaggebend sind. Die Konzentration der flüchtigen Komponenten war proportional zur Reifungszeit.

Drei Hartkäse, *Parmesan*, *Pecorino* und *Grana Padano* wurden von FRANK et al. (2004) mittels SPME sowie GC-MS und GC-O auf die beinhalteten Aromastoffe und deren Konzentration untersucht. Unter den identifizierten Substanzen kamen Methanthiol, Methional, Dimethyltrisulfid, Butansäure und Hexansäure in allen Proben vor.

In *Pecorino* konnten die höchsten Mengen an Butan- und Hexansäure nachgewiesen werden, während Ethylhexanoat mittels Olfaktometrie als impact compound des *Grana Padano* genannt werden konnte. In *Parmesan* und *Pecorino* Käse waren Trimethyl- und Tetramethylpyrazin in allen Aromaprofilen präsent. In *Parmesan* wurde zudem auch δ -Decalacton nachgewiesen.

Die aus *Grana Parmigiano Reggiano*, *Grana Padano* und *Pecorino* identifizierten Aromastoffe sind in Tabelle 32 ersichtlich.

Tab. 32: Aus *Grana Parmigiano Reggiano*, *Grana Padano* und *Pecorino* identifizierte Aromastoffe

Essigsäure $\text{H}_3\text{C}-\text{COOH}$	Butansäure 	Hexansäure 
Octansäure 	Decansäure 	Ethylbutanoat 
Ethyl octanoat 	Ethylhexanoat 	Methional 
2-Heptanol 	1-Octen-3-ol 	2-Heptanon 
Nonanon 	8-Nonen-2-on 	δ-Decalacton 
Methanthiol $\text{H}_3\text{C}-\text{SH}$	3-Methylthiopropional 	Dimethyltrisulfid 

(www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net; www.ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/flavouring/database; www.rdchemicals.com; www.thegoodscentscompany.com/allprov.html)

Emmentaler

Für das Aroma von *Emmentaler* Käse wurden 13 wichtige Geruchskomponenten identifiziert. Die höchsten berechneten Aromawerte, von 150 bis 660, konnten für Methional, Furaneol und Methylfuran dargelegt werden, wodurch vermutet wird, dass diese Substanzen zu den Schlüsselkomponenten für das Aroma des *Emmentalers* zählen (PREININGER und GROSCH, 1994; YVON und RIJNEN, 2001; BELITZ et al., 2008). Zudem dürften die

Komponenten Diacetyl, 3-Methylbutanal sowie die Ester Ethylpropanoat, Ethylbutanoat und Ethylhexanoat, alle mit geringerem Aromawert, auch als wichtige Komponenten für das Aroma dieses Käses gezählt werden (PREININGER und GROSCH, 1994).

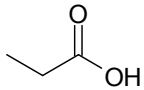
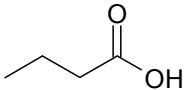
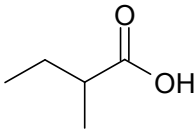
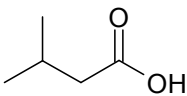
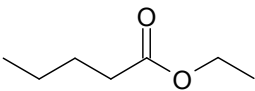
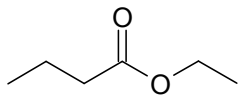
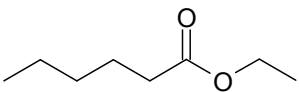
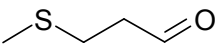
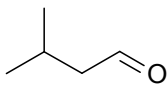
DIRINCK und DE WINNE (1999) untersuchten die Zusammensetzung des Aromas dreier *Emmentaler* Käse schweizer, französischer und österreichischer Herkunft.

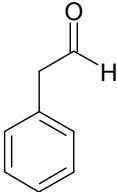
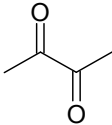
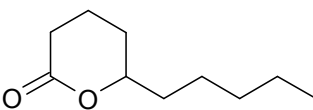
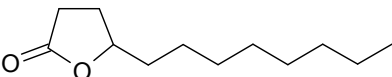
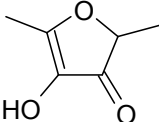
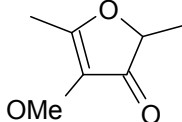
Während sich das Aroma der schweizer und französischen Proben durch einen hohen Anteil an Säuren und Methylketonen ausgezeichnet hat, war die österreichische Käseprobe durch einen hohen Gehalt an γ -Decalacton und Phenylacetaldehyd charakterisiert.

Es wurden Propionsäure, die durch die Aktivität der Propionibakterien entsteht, sowie Butansäure, welche typisch für das Aroma des *Emmentalers* ist identifiziert. Auch 2-Methylketone, die zwischen fünf und fünfzehn Kohlenstoffatome aufweisen konnten, Acetoin, δ -Decalactone sowie 3- und 2-Methylbutansäure konnten nachgewiesen werden.

Die aus *Emmentaler* Käse identifizierten Aromastoffe sind in Tabelle 33 ersichtlich.

Tab. 33: Aus *Emmentaler* identifizierte Aromastoffe

Propionsäure 	Butansäure 	2-Methylbutansäure 
3-Methylbutansäure 	Ethylpropanoat 	Ethylbutanoat 
Ethylhexanoat 	Methional 	3-Methylbutanal 

Phenylacetaldehyd 	Diacetyl 	δ-Decalacton 
γ-Dodecalacton 	Furaneol 	Mesifuran 

(www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net; www.ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/flavouring/database; www.rdchemicals.com; www.thegoodscentscompany.com/allprov.html)

3.4.4.1.2. Schnittkäse

Gouda

DIRINCK und DE WINNE (1999) untersuchten die Zusammensetzung des Aromas von drei *Gouda* Käse unterschiedlicher Produzenten, wobei Fettsäuren, Methylketone, Lactone, Aldehyde und Alkene nachgewiesen wurden und sich die Meinung, dass sich Käsearoma aus einer Vielzahl von Komponenten zusammensetzt, wobei auch deren Relation zueinander ausschlaggebend ist, bestätigte. Lactone und Acetoin stellten jene Substanzen dar, die für die buttrige Note des *Gouda* verantwortlich sind und auch 2-Methylketone, die zwischen fünf und fünfzehn Kohlenstoffatome aufweisen konnten, wurden als wichtige Aromastoffe identifiziert.

Unter den Lactonen wurden γ-Dodecalacton, δ-Decalacton und δ-Dodecalactone in allen Proben gefunden. Bezüglich der nachgewiesenen Alkene wurde vermutet, dass ihr Vorkommen nicht auf den Reifungsprozess, sondern auf die Futtermittel des milchgebenden Tieres zurückzuführen ist.

VAN LEUVEN et al. (2008) verglichen die Aromastoffzusammensetzung von *Gouda* Käse, der aus pasteurisierter Kuhmilch hergestellt wurde, mit jenem aus Rohmilch, nach einer kurzen Reifezeit. Zudem wurde die Veränderung des

Aromas des Käses aus pasteurisierter Milch während der Reifeperiode analysiert. Die Analysen wurden mittels SDE und GC-MS durchgeführt.

Nach dem Erhitzen der Rohmilch auf 37°C erfolgte die Zugabe der Starterkultur, die aus den Stämmen *Lactococcus lactis* susp. *lactis* biovar. *diacetylactis* und *Lactococcus lactis* susp *cremoris* bestand. Der Rohmilchkäse wurde für 6 Wochen bei 85-90% relativer Luftfeuchtigkeit und 13°C gelagert.

Die Proben des Käses aus pasteurisierter Milch wurden für 6 Wochen, 4 Monate und 10 Monate gereift. In den Käseproben konnten 63 flüchtige Komponenten identifiziert werden.

Während der Reifung führt der enzymatische Abbau von Aminosäuren zur Bildung von Aromastoffen. So sind Methionin, aromatische und verzweigtkettige Aminosäuren die Vorstufe zu den schwefelhaltigen Verbindungen Methional, Dimethyldisulfid und Dimethyltrisulfid, zu den aromatischen und verzweigtkettigen Aldehyden Benzaldehyd, Phenylacetaldehyd, 3-Methylbutanal, 2-Methylbutanal, 2-Methylpropanal und zu den verzweigtkettigen flüchtigen Säuren und Alkoholen 3-Methylbutansäure, 2-Methylbutansäure, 2-Methylpropansäure, 3-Methylbutanol und 2-Methylbutanol (VAN LEUVEN et al., 2008; YVON und RIJNEN, 2001). Lactose, Lactat und Citrat tragen zur Entstehung von Diacetyl, Acetoin, Ethanol und Acetat bei, wobei diese Substanzen, je nach Konzentration, wichtig für das typische Aroma des Käses sind. Auch 2-Phenylethanol, 2,4-Heptadienal und 2,4-Decadienal spielen für das Käsearoma eine bedeutende Rolle. In den Proben des Rohmilchkäses konnten auch Methylketone, lineare Aldehyde sowie γ -Dodecalacton gefunden werden. Zudem trägt die höhere Menge an 3-Methylbutanal im Rohmilchkäse zum nussigeren Aroma des Käses bei.

Der Gehalt an schwefelhaltigen Komponenten und verzweigtkettigen Säuren sowie freien Fettsäuren war hingegen im Käse aus pasteurisierter Milch höher, was für die höhere Aromaintensität dieses Käses verantwortlich sein dürfte.

Nach der sechswöchigen Reifung konnten höhere Konzentrationen an flüchtigen Substanzen gefunden werden, die aus Fetten entstanden sind. Auch der Gehalt an 3-Methylbutansäure, 2-Methylbutansäure und 2-Methylpropansäure war in Käse aus pasteurisierter Milch nach 6 Wochen

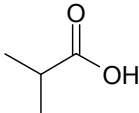
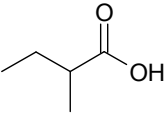
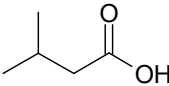
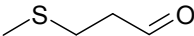
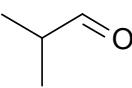
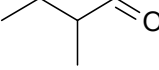
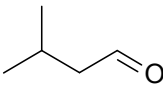
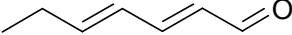
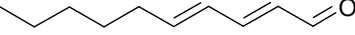
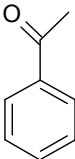
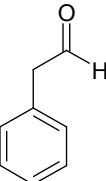
Reifung am höchsten. Acetoin, das für die buttrige Note des Käses verantwortlich ist, konnte in den letztgenannten Proben ebenfalls in höheren Konzentrationen identifiziert werden.

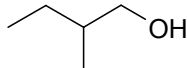
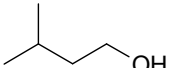
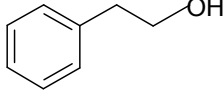
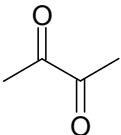
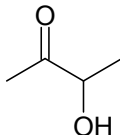
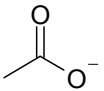
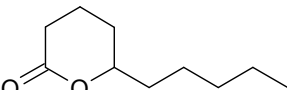
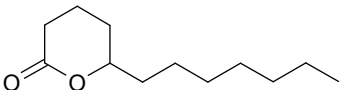
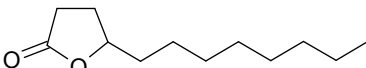
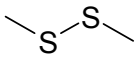
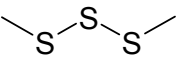
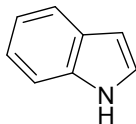
Festgestellt wurde zudem, dass Käse aus pasteurisierter Milch langsamer reift und ein weniger intensives Aroma entwickelt, als Käse aus Rohmilch. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass Milchsäurebakterien, die sich in der rohen Milch befinden, bei der Pasteurisation zerstört werden.

Im direkten Vergleich der unterschiedlich lang gereiften Käseproben aus pasteurisiertem Käse konnte kein Effekt der Reifung auf γ - und δ -Lactone festgestellt werden. Der Gehalt an 3-Methylbutanal, 2-Methylbutanal, schwefelhaltige Komponenten, Phenylacetaldehyd, 2-Phenylethanol, Benzaldehyd und Indol hingegen stieg während der Reifung von 4 und 10 Monaten an. Auch Ethylester, welche für blumige und fruchtige Noten verantwortlich sind, entstehen erst im Zuge einer längeren Reifezeit und haben einen starken Einfluss auf das Aroma des länger gereiften Käses (VAN LEUVEN et al., 2008).

Die aus *Gouda* identifizierten Aromastoffe sind in Tabelle 34 ersichtlich.

Tab. 34: Aus *Gouda* identifizierte Aromastoffe

2-Methylpropansäure 	2-Methylbutansäure 	3-Methylbutansäure 
Methional 	2-Methylpropanal 	2-Methylbutanal 
3-Methylbutanal 	2,4-Heptadienal 	2,4-Decadienal 
Benzaldehyd 	Phenylacetaldehyd 	Ethanol $\text{H}_5\text{C}_2\text{—OH}$

2-Methylbutanol 	3-Methylbutanol 	2-Phenylethanol 
Diacetyl 	Acetoin 	Acetatanion 
δ-Decalacton 	δ- Dodecalactone 	γ-Dodecalacton 
Dimethyldisulfid 	Dimethyltrisulfid 	Indol 

(www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net; www.ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/flavouring/database; www.rdchemicals.com; www.thegoodscentscompany.com/allprov.html)

Cheddar

Das Aroma des *Cheddar* Käses entsteht durch die Komponenten Methional, Methanthiol, Dimethyldisulfid, Dimethyltrisulfid und Butansäure, wobei Butansäure mit ihrem sauren, käse- und schweißartigen Geruch für das süßliche Aroma von *Cheddar* verantwortlich ist. Auch 3-Methylbutanal, Ethylbutyrat und Isovaleriansäure konnten identifiziert werden (YVON und RIJNEN, 2001).

Die in drei 12-20 Monate gereiften *Cheddar* Käse enthaltenen Aromastoffe wurden von FRANK et al. (2001) mittels SPME sowie GC-MS und GC-O Aromastoffe untersucht. Methanthiol, Methional, Dimethyltrisulfid, Butansäure, Hexansäure und δ-Decalacton, welche zum Aroma beitragen, kamen in allen Proben vor.

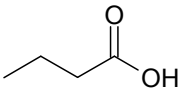
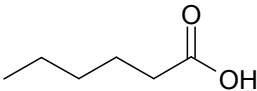
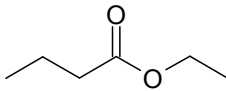
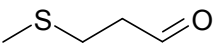
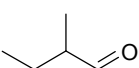
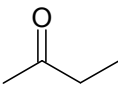
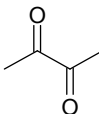
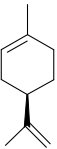
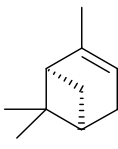
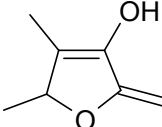
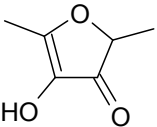
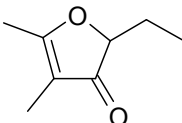
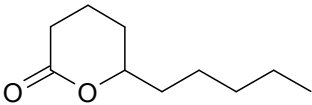
Diacetyl war für eine süßliche, butterartige Note ausschlaggebend, auch Sotolen trägt zum Aroma von Käse bei. Butan-2-on sowie 2,3-, 2,5- und 2,6-Dimethylpyrazin konnten in allen Käseproben nachgewiesen werden. In einigen Proben wurden auch Furaneol, Homofuraneol, Limonen und α-Pinen detektiert.

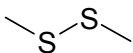
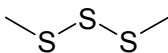
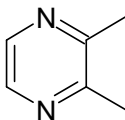
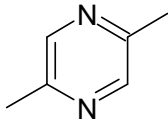
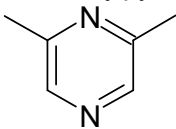
Furaneol, welches einen hohen FD-Faktor hat, und Homofuraneol wurden als wichtige Komponenten für das Aroma von *Cheddar* Käse beschrieben.

Die Aromazusammensetzung von *Cheddar*, die im Mai und im September mit zwei Sorten Starterkulturen produziert worden waren, wurden von O'RIORDAN und DELAHUNTY (2003) mittels SHS-Methode und Electronic nose analysiert.

Die Fraktion der flüchtigen Substanzen beinhaltete mehr als 200 Komponenten, wobei nicht alle davon zum Aroma beitragen. In allen Proben konnten Ethanol, Ethylbutyrat, 3-Methylbutanal, Dimethylsulfid, Dimethyldisulfid und 2-Butanon identifiziert werden. Der Gehalt der gefundenen flüchtigen Substanzen war in jenen Käseproben, die im Mai produziert worden waren, höher. Butansäure war nur in jenen Proben nachweisbar, die im September produziert wurden. In Bezug auf Dimethylsulfid konnte kein saisonaler Einfluss festgestellt werden, woraus geschlossen wurde, dass diese Komponente während der Reifung durch oxidative Reaktion aus Methanthiol gebildet wird (Tabelle 35).

Tab. 35: Aus *Cheddar* identifizierte Aromastoffe

Butansäure 	Hexansäure 	Ethylbutanoat 
Methional 	Methylbutanal 	Methanthiol $\text{H}_3\text{C}-\text{SH}$
Ethanol $\text{H}_5\text{C}_2-\text{OH}$	Butan-2-on 	Diacetyl 
Limonen 	α-Pinen 	Sotolen 
Furaneol 	Homofuraneol 	δ-Decalacton 

Dimethyldisulfid 	Dimethyltrisulfid 	2,3-Dimethylpyrazin 
2,5- Dimethylpyrazin 	2,6-Dimethylpyrazin 	

(www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net; www.ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/flavouring/database; www.rdchemicals.com; www.thegoodscentcompany.com/allprov.html)

3.4.4.1.3. Halbweicher Schnittkäse

Blauschimmelkäse

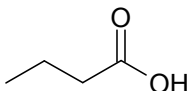
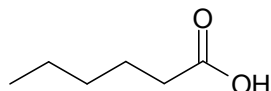
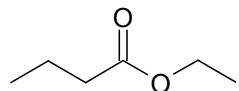
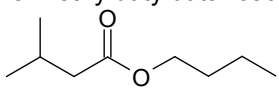
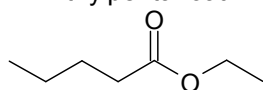
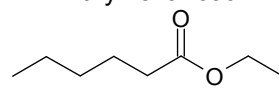
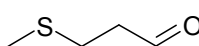
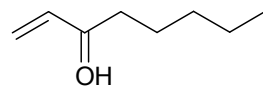
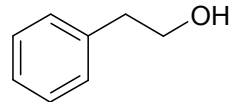
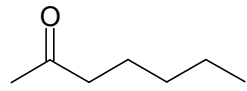
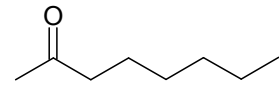
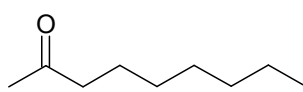
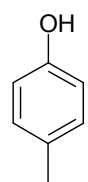
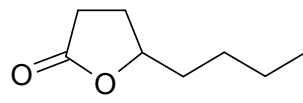
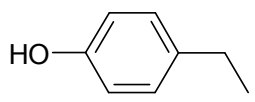
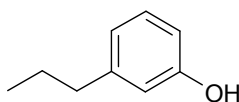
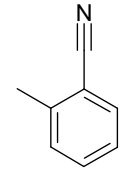
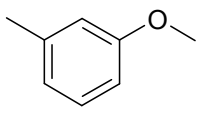
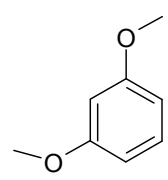
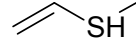
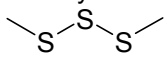
Die in drei *Blauschimmelkäse* enthaltenen Aromastoffe und deren Konzentrationen wurden mittels SPME sowie GC-MS und GC-O untersucht.

Die Konzentrationen von 2-Heptanon, 2-Nonanon und 2-Octanon, welche durch die β -Decarboxylierung der freien Fettsäuren durch *P. roqueforti* entstehen, sowie Phenylethylalkohol und höheren Alkoholen erwiesen sich als die höchsten. Als *character impact compounds* konnten hingegen 1-Phenylethylalkohol und p-Kresol beschrieben werden. Aber auch die identifizierten Substanzen Methanthiol, Methional, Dimethyltrisulfid, Butansäure und Hexansäure kamen in allen Proben vor und trugen zum Aroma bei. *Blauschimmelkäse* konnte auch hohe Konzentrationen an 1-Octen-3-ol, 2-Methyl-Anisol und 4-Methoxyanisol aufweisen

3-Methylthio-1-propen, Ethylbutanoat, Ethylpentanoat, Ethylhexanoat, mit ihren fruchtigen, apfel- und melonenartigen Noten und 3-Methylbutylbutanoat, mit einer käsig-fauligen Note, wurden als wichtige Komponenten für das milde Aroma des *Blauschimmelkäses* genannt. Ethylphenol und 3-Propylphenol sowie 2-Cyanotoluene konnten für das Raucharoma verantwortlich gemacht werden. In einem der drei *Blauschimmelkäse* zeigte sich zudem eine hohe Konzentration an γ -Octalacton (FRANK et al., 2004). Auch in *Danish Blue*

Blauschimmelkäse konnten vermehrt γ -Lactonen nachgewiesen werden (Tabelle 36) (ALEWIJN et al., 2003).

Tab. 36: Aus Blauschimmelkäse identifizierte Aromastoffe

Butansäure 	Hexansäure 	Ethylbutanoat 
3-Methylbutylbutanoat 	Ethylpentanoat 	Ethylhexanoat 
Methional 	Methanthiol $\text{H}_3\text{C}-\text{SH}$	1-Octen-3-ol 
Phenylethylalkohol 	2-Heptanon 	2-Octanon 
2-Nonanon 	p-Kresol 	γ-Octalacton 
Ethylphenol 	3-Propylphenol 	2-Cyanotoluene 
2-Methyl-Anisol 	4-Methoxyanisol 	3-Methylthio-1-propen 
Dimethyltrisulfid 		

(www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net; www.thegoodscentscompany.com/allprov.html)

3.4.4.1.4. Weichkäse

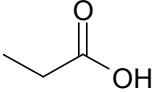
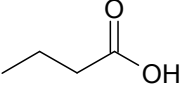
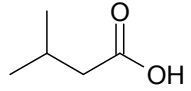
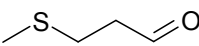
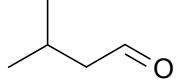
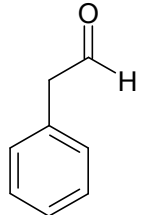
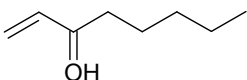
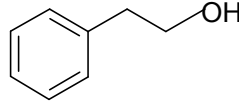
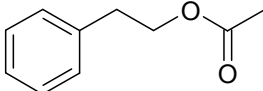
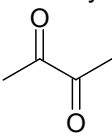
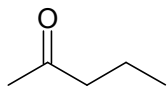
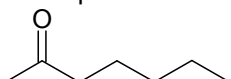
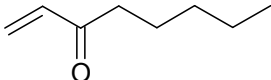
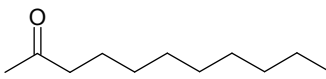
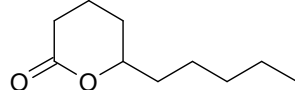
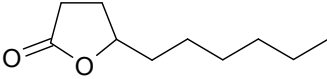
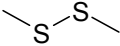
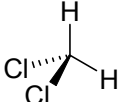
Camembert

In *Camembert* konnte 1-Octen-3-ol für die pilzartige Note verantwortlich gemacht werden, die durch 1-Octen-3-on verstärkt wird. Methanthiol, Methional und Dimethylsulfid machen die schwefelige Note aus, während Phenylethylacetat einen blumigen Eindruck verursacht (BELITZ et al., 2008).

KUBÍCKOVÁ und GROSCH (1998) identifizierten Phenylacetaldehyd, 2-Phenylethanol und Phenethylacetat als aromagebende Komponenten in *Camembert*. Zudem konnten Butansäure, Isovaleriansäure, 3-Methylbutanal, Diacetyl, 2-Undecanon und γ -Decalacton nachgewiesen. Diese Arbeitsgruppe analysierte auch die Zusammensetzung der flüchtigen Komponenten aus *Camembert* Käse, der in Frankreich aus Rohmilch hergestellt wurde. Mittels AEDA und HS GC-O wurden 42 Geruchsstoffe detektiert. Darunter konnten Diacetyl, 3-Methylbutanal, Methional, 1-Octen-3-ol, 1-Octen-3-on, Phenethylacetat, 2-Undecanon, 2-Decalacton, Butansäure und Isovaleriansäure aufgrund ihrer hohen FD-Faktoren als die wichtigsten Substanzen festgelegt werden. Mit Hilfe einer GC-O konnte die wichtige Rolle von Methanthiol und Dimethylsulfid bezüglich des Aromas bestätigt werden.

Eine andere Arbeitsgruppe, PÉRÉS et al. (2002), identifizierten Mittels SHS-Analyse und GC-MS die flüchtigen Substanzen in fünf im Handel erhältlichen Käsen vom Type *Camembert*, wobei drei aus Rohmilch und zwei aus thermisierter Milch hergestellt worden waren, identifiziert. Dabei konnten Methanthiol, Ethanol, Aceton, Methylenchlorid, Carbonsulfid, Essigsäure, Butansäure, Propionsäure, Pentan-2-on, Heptan-2-on, Dimethylsulfid und Dimethyldisulfid nachgewiesen werden, wobei die schwefelhaltigen Komponenten die am meisten vorkommenden waren (Tabelle 37).

Tab. 37: Aus Camembert identifizierte Aromastoffe

Essigsäure $\text{H}_3\text{C}-\text{COOH}$	Propionsäure 	Butansäure 
Isovaleriansäure 	Methional 	3-Methylbutanal 
Phenylacetaldehyd 	Methanthiol $\text{H}_3\text{C}-\text{SH}$	Ethanol $\text{H}_5\text{C}_2-\text{OH}$
1-Octen-3-ol 	2-Phenylethanol 	Phenylethylacetat 
Aceton 	Diacetyl 	Pentan-2-on 
Heptan-2-on 	1-Octen-3-on 	2-Undecanon 
δ-Decalacton 	γ-Decalacton 	Dimethylsulfid 
Dimethyldisulfid 	Methylenbis(methylsulfid) 	Carbonsulfid $\text{S}=\text{S}=\text{S}$
Methylenchlorid 		

(www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net;
www.thegoodscentscompany.com/allprov.html)

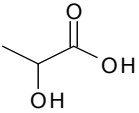
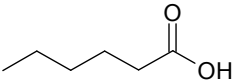
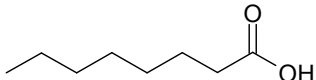
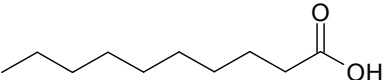
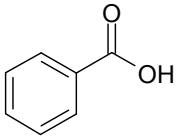
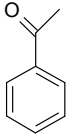
3.4.4.2. Ungereifter Käse

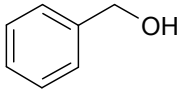
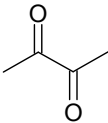
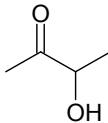
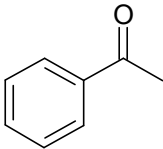
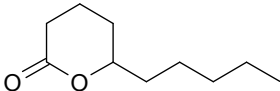
Das Aromaprofil von ungereiftem Käse, wie Mozzarella, besteht aus butterartigen, süßlichen, salzigen und sauren Noten, die vorwiegend von Diacetyl, δ -Decalacton, Natriumchlorid und Milchsäure verursacht werden (BELITZ et al., 2008).

Die Haltbarkeit von frischem Käse liegt, je nach Produktionsparametern und Verpackung, meist zwischen einer und vier Wochen bei Kühlschranktemperatur. Frischer Ziegenkäse wurde nach der Produktion bei 4°C bis zum auf der Packung aufgedruckten Ablaufdatum gelagert und die Zusammensetzung der flüchtigen Substanzen wurde von CONDURSO et al. (2008) mittels SPME GC-MS analysiert. Es konnten in jeder Probe 47 flüchtige Substanzen gefunden werden. Darunter Fettsäuren sowie die dazugehörigen Ester, Methylketone, Diacetyl, Acetoin, Acetophenon, aliphatische Aldehyde und Alkohole, Benzaldehyd, Benzylalkohol, Benzoesäure, aromatische und chlorierte Kohlenwasserstoffe, Monoterpene und Lactone. Die Hauptkomponenten des Ziegenkäses nach der Produktion, welche zum intensiven Aroma beitrugen, waren Hexansäure, Octansäure und Decansäure.

Es konnte festgestellt werden, dass ab Tag 15 der Lagerung der Gehalt der aliphatischen freien Fettsäuren anstieg und somit das käseartige und ranzige Aroma intensiviert wird. Auch die Mengen an Diacetyl und 2-Methylketonen stiegen zwischen dem 15. und 21. Tag signifikant an, während der Gehalt an aliphatischen Alkoholen, Aldehyden, Ketonen und Estern sowie jener an Terpenen und einigen Kohlenwasserstoffen abnahm (Tabelle 38).

Tab. 38: Aus ungereiftem Käse identifizierte Aromastoffe

Milchsäure 	Hexansäure 	Octansäure 
Decansäure 	Benzoesäure 	Benzaldehyd 

Benzylalkohol 	Diacetyl 	Acetoin 
Acetophenon 	δ-Decalacton 	

(www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net;
www.thegoodscentscompany.com/allprov.html)

3.5. Getreideprodukte

3.5.1. Brot

Es kann zwischen gesäuertem und ungesäuertem Brot unterschieden werden, wobei ersteres mit Hefe oder Sauerteig hergestellt wird. Dabei wird die Stärke des Mehls durch natürlich darin enthaltene Enzyme in Zuckerbausteine gespalten, welche von Pilzen oder Bakterien zu Kohlendioxid vergoren werden, wodurch der Teig aufgelockert wird (ELMADFA et al., 2003). Auch anhand der verwendeten Getreidemehlsorte kann Brot unterschieden werden. Vielfach werden auch Zutaten wie Gewürze, Samen, Nüsse, geraspeltetes Gemüse, Zwiebel, Schinken oder Speck beigegeben. Das Rezept, sowie der Herstellungsprozess und die eben angeführten Bestandteile haben eine Auswirkung auf das Aroma des Endproduktes.

Während der Herstellung ist neben dem Backprozess, der das typische Aroma des Brotes wesentlich bestimmt, auch die Sauerteigfermentation ein wichtiger Schritt in der Entwicklung des Aromas. So spielen bei der Fermentation neben den verwendeten Starterkulturen auch die Herstellungsparameter, wie Temperatur, Zeit und pH-Wert, eine Rolle.

Die Zusammensetzung der während dem Backprozess entstandenen flüchtigen Substanzen in Weizenbrot- und Roggenbrotkrusten wurde mittels GC-O und AEDA analysiert. Im Weizenbrotkrustenaroma dominierte 2-Acetyl-1-pyrrolin mit einer röstig, süßen Note, gefolgt von (*E*)-2-Nonenal mit einer grünen, talgigen und 3-Methylbutanal mit einer malzigen Note (SCHIEBERLE und GROSCH, 1987; SCHIEBERLE und GROSCH, 1987b). Selbige Substanzen wurden in der Kruste eines Baguettelaibes, einem Weizenbrot, gefunden. Zudem tragen die, wie 3-Methylbutanal aus dem *Strecker*-Abbau stammenden, Aldehyde Methylpropanal und 2-Methylbutanal sowie die Verbindung 1-Octen-3-on zum Aroma der Kruste bei (Tabelle 39) (BELITZ, 2008).

Roggenbrotkruste hingegen enthält weniger 2-Acetyl-1-pyrrolin, jedoch mehr 3-Methylbutanal, Methional und Furaneol. Auch 2-Furfurylthiol trägt nur zum Aroma der Roggenbrotkruste bei (Tabelle 42) (BELITZ et al., 2008).

In Weizenbrotkrume aus mit Hefe versetztem Teig konnten 3-Methylbutanol, 2-Phenylethanol, (*E,E*)-2,4-Decadienal und (*E*)-2-Nonenal mit den höchsten FD-Faktoren und somit als für das Aroma wichtigste Substanzen identifiziert werden (Tabelle 40) (HANSEN und SCHIEBERLE, 2005; BELITZ et al., 2008).

In einer Studie von RYCHLIK und GROSCH (1996) wurden Weizenbrotscheiben getoastet, bis sie die Bräunungsintensitäten der Referenzscheiben, zwischen 0 für ungeröstet und 10 für beinahe verbrannt, erreichten. Daraufhin erfolgten eine Probenvorbereitung anhand HS-Methode und eine Analyse mittels AEDA und GC-O. Komponenten, die hohe FD-Faktoren aufwiesen wurden quantifiziert und ihr Aromawert auf Basis der Geruchsschwelle in Stärke berechnet.

2-Acetyl-1-pyrrolin, gefolgt von (*E*)-2-Nonenal, 3-Methylbutansäure, Furaneol, Methional und Diacetyl wiesen die höchsten Aromawerte auf und wurden als für den Geruch und das Aroma von getoastetem Brot ausschlaggebend erachtet (Tabelle 41).

Im Aromagramm der Roggenbrotkruste, welches bei der Verdünnungsanalyse erhalten wurde, zeigten sich 3-Methylbutanal, 2,6-Dimethyl-3-ethylpyrazin, das eine kartoffelartige Note aufweist und (*E*)-2-Nonenal als wichtige Substanzen (SCHIEBERLE und GROSCH, 1987). Auch 2-Acetylpyridin, 5-Methyl-6,7-dihydro-5*H*-cyclopenta(*b*)pyrazin und 2-Acetyl-1,4,5,6-tetrahydropyridin, alle mit krustenartigen Aromanoten, konnten in Roggenbrotkrusten identifiziert werden, während 2-Acetylpyrazin in beiden Weizen- und Roggenbrotsorten nachgewiesen werden konnten (BÜCHI und WÜEST, 1970; SCHIEBERLE und GROSCH, 1985). Zudem sind Furaneol, (*Z*)-1,5-Octadien-3-on, 1-Furfurylthiol, (*Z*)-4-Heptenal, 2,3-Diethyl-5-methylpyrazin, Phenylacetaldehyd und (*E*)- β -Damascenon mit hohen FD-Faktoren am Aroma der Roggenbrotkruste beteiligt (Tabelle 42) (BELITZ et al., 2008).

HANSEN und SCHIEBERLE (2005) untersuchten den Einfluss von in Mehl und Teig vorkommenden flüchtigen Substanzen auf das Aroma des Brotes um festzustellen, welche Substanzen während der Sauerteigfermentation oder dem Backprozess entstehen.

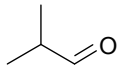
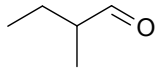
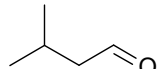
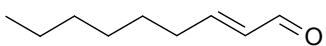
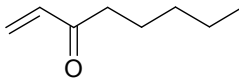
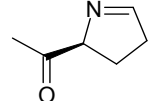
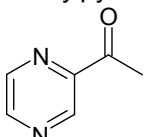
Aromaextrakte aus Roggenmehl wurden mittels AEDA analysiert und jene Substanzen mit den höchsten FD-Faktoren identifiziert. Dazu gehörten Methional, 1-Octen-3-on sowie (*E*)-2-Nonenal mit einem FD-Faktor von 128. Weitere Substanzen mit hohen FD-Faktoren waren Hexanal, Sotolon, (*E,E*)-2,4-Decadienal und (*E*)-4,5-Epoxy-(*E*)-2-decenal (Tabelle 44).

Bei den in Roggensauerteig identifizierten Komponenten handelte es sich um Methional mit einem FD-Faktor von 1024, 3-Methylbutanal mit einem FD-Faktor von 512, (*E*)-4,5-Epoxy-(*E*)-2-decenal sowie Vanillin, bei denen der FD-Faktor 128 betrug. Zudem wurden Diacetyl, Hexanal, Sotolon und 1-Octen-3-ol mit einem FD-Faktor von 64 identifiziert. Mit einem FD-Faktor von 32 konnte auch Essigsäure nachgewiesen werden (Tabelle 45).

In der Krume des Roggensauerteigbrotes konnten mit einem FD-Faktor von 2048 Sotolon und Vanillin, mit einem FD-Faktor in der Höhe von 1024 Hexanal, 3-Methylbutansäure und (*E,E*)-2,4-Decadienal und mit einem FD-Faktor von 512 Methional, 3-Methylbutanal, (*E*)-2-Nonenal, Diacetyl und Phenylacetaldehyd nachgewiesen werden. Zudem konnte Essigsäure identifiziert werden, welche einen FD-Faktor von 256 aufwies (Tabelle 43).

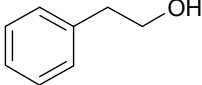
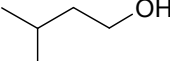
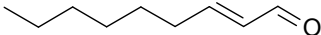
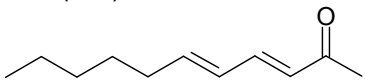
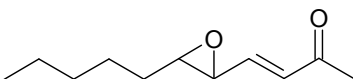
Ein Vergleich der Ergebnisse zeigte, dass Methional, Sotolon und Hexanal sowohl im untersuchten Mehl und Sauerteig, als auch in der Brotkrume gefunden werden konnten und somit wichtige Geruchs- und Aromastoffe darstellten.

Tab. 39: Aus Weizenbrotkruste identifizierte Aromastoffe

Methylpropanal 	2-Methylbutanal 	3-Methylbutanal 
(<i>E</i>)-2-Nonenal 	1-Octen-3-on 	2-Acetyl-1-pyrrolidin 
2-Acetylpyrazin 		

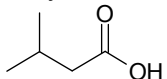
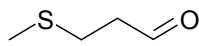
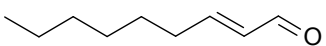
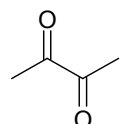
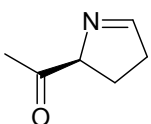
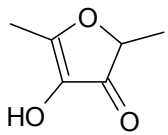
(www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net; www.ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/flavouring/database; www.rdchemicals.com)

Tab. 40: Aus Weizenbrotkrume identifizierte Aromastoffe

2-Phenylethanol 	3-Methylbutanol 	(E)-2-Nonenal 
(E,E)-2,4-Decadienal 	4,5-Epoxy-2-decenal 	

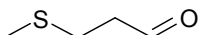
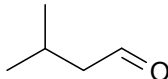
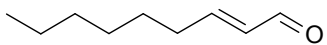
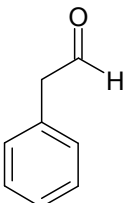
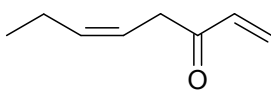
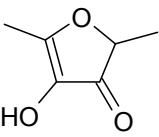
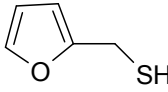
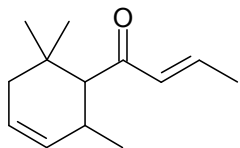
(www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.pherobase.net;
www.thegoodscentscompany.com/allprov.html)

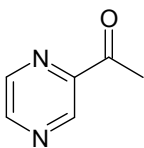
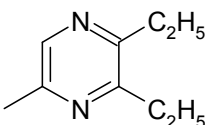
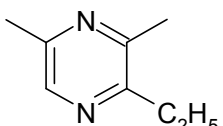
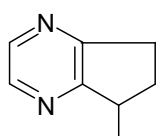
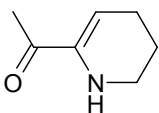
Tab. 41: Aus getoasteten Weizenbrotscheiben identifizierte Aromastoffe

3-Methylbutansäure 	Methional 	(E)-2-Nonenal 
Diacetyl 	2-Acetyl-1-pyrrolin 	Furaneol 

(www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net)

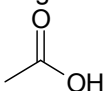
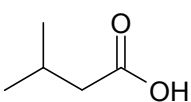
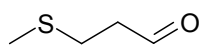
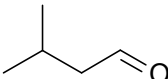
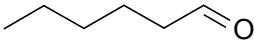
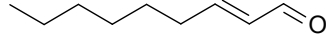
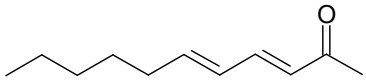
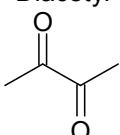
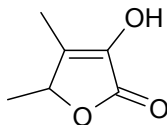
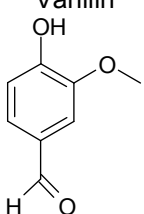
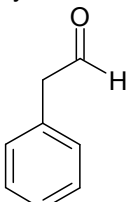
Tab. 42: Aus Roggenbrotkruste identifizierte Aromastoffe

Methional 	3-Methylbutanal 	(Z)-4-Heptenal 
(E)-2-Nonenal 	Phenylacetaldehyd 	(Z)-1,5-Octadien-3-on 
Furaneol 	1-Furfurylthiol 	(E)-β-Damascenon 

2-Acetylpyrazin 	2,3-Diethyl-5-methylpyrazin 	2,6-Dimethyl-3-ethylpyrazin 
5-Methyl-6,7-dihydro-5H-cyclopenta(b)pyrazin 	2-Acetyl-1,4,5,6-tetrahydropyridin 	

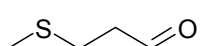
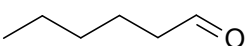
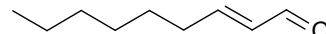
(www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net; www.ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/flavouring/database; www.rdchemicals.com; www.thegoodscentcompany.com/allprov.html)

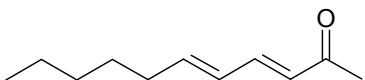
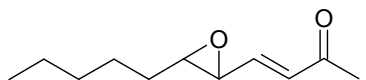
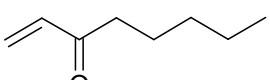
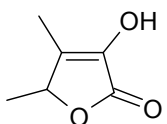
Tab. 43: Aus Roggenbrotkrume identifizierte Aromastoffe

Essigsäure 	3-Methylbutansäure 	Methional 
3-Methylbutanal 	Hexanal 	(E)-2-Nonenal 
(E,E)-2,4-Decadienal 	Diacetyl 	Sotolon 
Vanillin 	Phenylacetaldehyd 	

(www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net)

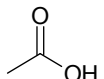
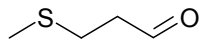
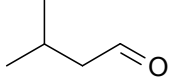
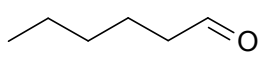
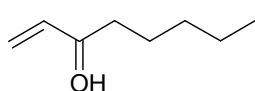
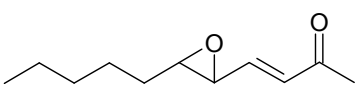
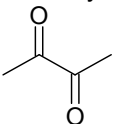
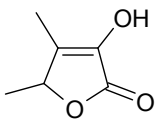
Tab. 44: Aus Roggenmehl identifizierte Aromastoffe

Methional 	Hexanal 	(E)-2-Nonenal 
--	---	--

(E,E)-2,4-Decadienal 	(E)-4,5-Epoxy-(E)-2-decenal 	1-Octen-3-on 
Sotolon 		

(www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net; www.thegoodscentscompany.com/allprov.html)

Tab. 45: Aus Roggensauerteig identifizierte Aromastoffe

Essigsäure 	Methional 	3-Methylbutanal 
Hexanal 	1-Octen-3-ol 	(E)-4,5-Epoxy-(E)-2-decenal 
Diacetyl 	Sotolon 	

(www.lb.chemie.uni-hamburg.de; www.en.wikipedia.org/wiki; www.pherobase.net; www.thegoodscentscompany.com/allprov.html)

4. Schlussbetrachtung

Jedes Lebensmittel weist ein charakteristisches Aroma auf, das sich aus einer Vielzahl an Aromastoffen in unterschiedlichen Konzentrationen zusammensetzt. In der vorliegenden Arbeit zeigt der Vergleich vieler Studien zu den Lebensmittelgruppen Obst und Gemüse einen Einfluss der Wachstumsbedingungen, des Erntezeitpunktes, des Reifegrades bei der Ernte und der Lagerbedingungen auf das Aromaprofil. Auch durch Verarbeitung, wie im Falle der Zwiebel, kann die Zusammensetzung des Aromas verändert werden. Bei Milchprodukten kann das Aromaprofil des Lebensmittels zudem durch Produktionsbedingungen und Verpackungsmaterial beeinflusst werden. Die Gegenüberstellung verschiedener Sorten einer Lebensmittelgruppe ergab einige Aromakomponenten, die in allen Proben gefunden wurden, andere wiederum nur in einzelnen Sorten. Dieses Ergebnis lässt darauf schließen, dass jene Substanzen, die nicht in allen analysierten Lebensmitteln vorkommen, gemeinsam mit Konzentration und Schwellenwert des jeweiligen Stoffes, für die Unterschiede der Aromen verantwortlich gemacht werden können.

Anhand des Vergleiches der Kernobstsorten Äpfel und Birnen ist ersichtlich, dass in beiden Früchten Hexanal, Butylacetat, Hexylacetat sowie Ethylbutanoat wesentlich zum Aroma beitragen. Hexanol, Ethyl-2-methylbutanoat, 3-Methylbutylhexanoat sowie β -Damsceon werden hingegen nur als für das Apfelaroma charakteristisch erachtet, während Methyl-2,4-decadienoat, Ethyl-2,4-decadienoat und 1,3-Dihydroxypropanon für Birnenaroma kennzeichnend sind.

Jede der Steinobstsorten Marille, Nektarine und Pfirsich beinhaltet als aromawirksame Substanzen Decalacton und Linalool. Marillen enthalten als charakteristische Verbindungen zudem Ethylacetat, Hexylacetat, (*E*)-Hexen-2-al, β -Ionon und β -Cyclocitral, Nektarinen hingegen γ -Hexalacton, γ -Octalacton sowie Terpinolen und Pfirsiche γ - und δ -Dodecalacton.

Im Brombeeraroma stellen *p*-Cymen-8-ol und Heptanol relevante Komponenten dar, aber auch die Aldehyde Hexanal, (*E*)-2-Hexanal und 3-Methylbutanal sind von Bedeutung. Wichtige Substanzen für das Aroma von Erdbeeren sind (*Z*)-3-

Hexenal, Butylacetat, Methyl- und Ethylbutanoat, Methyl- und Ethylhexanoat sowie Furaneol. Zum Himbeeraroma hingegen trägt 4-(4-Hydroxyphenyl)-butan-2-on, das Himbeerketon, erheblich bei, aber auch Ethylheptanoat und die Terpene α - und β -Ionon, α -Pinen sowie Caryophyllen sind wesentlich.

Unter den Südfrüchten können bei Ananas Methyl- und Ethyl-3-(Methylthio)-Propanoat, Methylbutanoat, Methylhexanoat, Ethylhexanoat sowie Mesifuran und Furaneol als Schlüsselsubstanzen genannt werden. Amyl- und Isoamylester der Essig-, Propion- und Buttersäure sowie Eugenol, Methyleugenol und Elemicin sind für das charakteristische Bananenaroma von Bedeutung. Die Hauptkomponenten des Mangoaromas stellen α -Terpinolen, δ -3-Caren, Myrcen, α -Pinen, Limonen, Linalool, β -Selinen und β -Caryophyllen sowie Ethylhexanoat und Ethyloctanoat dar.

Gurken, die wie Paprika und Tomaten zu den Fruchtgemüsen zählen, enthalten als relevante Aromastoffe (*E,E*)-2,4-Nonadienal, (*E,Z*)-2,6-Nonadienal, (*Z*)-2-Nonenal und (*E*)-2-Nonenal. Im Aroma des Gemüsepaprikas steht β -Ocimen mengenmäßig stark im Vordergrund, aber auch (*E,Z*)-2,6-Nonadienal, das ebenso in Gurken vorkommt, (*Z*)-3-Hexenol, 2-Hexenal, 2-Nonen-4-on, Linalool und 3-Isobutyl-2-methoxypyrazin sind wichtige aromawirksame Substanzen. Das Aroma der Tomaten wird vor allem durch Hexanal, Hexenal, (*Z*)-3-Hexenal, (*E*)-2-Hexenal, Methional, 3-Methylbutanal, 3-Methylbutanol, 1-Octen-3-on, 1-Penten-3-on, 6-Methyl-5-hepten-2-on, 2-Isobutylthiazol und 2-Isobutyliodon bestimmt.

Karotten, die zu den Wurzelgemüsen zählen, weisen ein typisches Aroma auf, das zu 97% auf Terpene und Sesquiterpene, wie α -Pinen, Sabinen, Myrcen, Limonen, γ -Terpinen, Terpinolen, β -Caryophyllen und γ -Bisabolen, zurückzuführen ist.

3-Mercapto-2-methylpentan-1-ol, Propanthial-S-oxid, 1-Propanthiol, Dimethyldisulfid, 2,5-Dimethylthiophen und 2-Propenylpropyldisulfid stellen signifikante Aromastoffe in zerkleinerten Zwiebeln dar.

Der Vergleich der bedeutensten aromawirksamen Substanzen in Äpfeln und Apfelsaft, zeigt in beiden Lebensmitteln das Vorkommen von Hexanol, Hexanal, Butyl- und Hexylacetat sowie Ethylbutanoat. Marillensaft beinhaltet, wie auch

die Ausgangsfrucht, γ -Decalacton, β -Ionon und Linalool. Als Aromastoffe in Pflirschaft sind, wie auch in Pfirsichen, γ -Decalacton und Linalool wesentlich. Sowohl in Orangen, als auch in Orangensaft wurden Limonen, Linalool und Ethylbutanoat, aber auch Citral, α -Pinen und α -Terpineol als wichtigste Substanzen detektiert.

Zum Milcharoma tragen vor allem Dimethylsulfid, Diacetyl, 2-Methylbutanol, (Z)-4-Heptenal, (E)-2-Nonenal und 3-Butenylisothiocyanat bei. Aber auch Hexanal, Heptanal und Ethylbutanoat sind unerlässlich. Diacetyl ist mit δ -Decalacton und Buttersäure zudem eine bedeutende aromagebende Substanz für Butter. Auch im Joghurtaroma konnte Diacetyl neben Acetaldehyd, Ethanal, Dimethylsulfid, 2-Butanon, Acetoin und Milchsäure detektiert werden.

Zu den Hartkäsen gehörend, zählen in *Grana Parmigiano Reggiano* Käse Butter-, Essig- und Hexansäure sowie Ethylhexanoat, Ethylbutanoat und Ethyloctanoat zu den im Aroma überwiegend vorkommenden Stoffen. Die höchsten Aromawerte in *Emmentaler* konnten für Methional, Furaneol und Mesifuran dargelegt werden, aber auch Ethylhexanoat, Ethylbutanoat, Diacetyl, 3-Methylbutanal, Buttersäure und Propionsäure sind von großer Relevanz.

Für die buttrige Note des *Gouda*, eines Schnittkäses, sind δ -Decalacton, δ -Dodecalacton, γ -Dodecalacton und Acetoin verantwortlich. Zudem stellen 2-Methylketone wichtige Aromastoffe für *Gouda* und *Cheddar* Käse dar. In letzterem wurden auch δ -Decalacton, Diacetyl, Methional, Methanthiol, Dimethyldisulfid, Dimethyltrisulfid und Buttersäure nachgewiesen.

In Blauschimmelkäse, einem halbweichen Schnittkäse, wurden p-Kresol und 1-Phenylethylalkohol als *character impact compounds* beschrieben und Methanthiol, Methional sowie Dimethyltrisulfid als wichtige Substanzen genannt. *Camembert*, ein Weichkäse, beinhaltet Phenylacetaldehyd, 2-Phenylethanol und Phenethylacetat als aromagebende Komponenten. Zudem wurden Buttersäure, Diacetyl, 3-Methylbutanal und γ -Decalacton als bedeutend beschrieben. Das Aromaprofil von ungereiftem Käse, wie Mozzarella, wird vorwiegend von Diacetyl, δ -Decalacton, Natriumchlorid und Milchsäure bestimmt.

Der Vergleich von in Weizenbrotkruste und Weizenbrotkrume enthaltenen Aromastoffen zeigt das Auftreten von 3-Methylbutanal und (*E*)-2-Nonenal in beiden Proben. Sowohl in Weizen-, als auch in Roggenbrotkruste kommen 2-Acetyl-1-pyrrolin, 3-Methylbutanal und (*E*)-2-Nonenal vor. Wie in Weizenbrotkrume konnten auch in jener von Roggensauerteigbrot 3-Methylbutanal, (*E*)-2-Nonenal und (*E,E*)-2,4-Decadienal detektiert werden.

Roggenmehl, als auch Roggensauerteig enthalten nachweislich Methional, Hexanal, Sotolon und (*E*)-4,5-Epoxy-(*E*)-2-decenal. In der Krume des Roggensauerteigbrotes sind ebenso wie im Mehl dieses Getreides Hexanal, Sotolon, (*E,E*)-2,4-Decadienal und (*E*)-2-Nonenal enthalten.

Die Ergebnisse der Analysen sind neben den charakteristischen Eigenschaften des zu untersuchenden Lebensmittels auch von der Analysenmethode und deren Dispositionen abhängig. Daher ist eine sorgfältige Auswahl einer repräsentativen Probe und der idealen Methode von größter Bedeutung.

Abschließend kann gesagt werden, dass das Forschungsgebiet der Aromastoffe ein sehr weitläufiges ist, für Wissenschaft und Forschung eine Herausforderung darstellt und von einer starken Weiterentwicklung der Untersuchungsmethoden betroffen ist. Da manche Lebensmittel Thema von einer Vielzahl an Studien sind, andere hingegen bisher weniger umfassend analysiert wurden, ergibt sich in manchen Bereichen ein noch durchaus großer Forschungsbedarf.

4. Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war die Erarbeitung einer Zusammenstellung, der bisher auf dem Gebiet der Aromastoffe getätigten Studien, ausgehend von Lebensmitteln, die im alltäglichen Verzehr vorkommen. In diesem Sinne wurden die Ergebnisse der schon an Lebensmitteln durchgeführten Studien gegenübergestellt um Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Aromaprofile zu erhalten und vor allem jene Substanzen zu erheben, die für die Besonderheiten eines Aromas von Bedeutung sind.

So ist durch den Vergleich der Kernobstsorten Äpfel und Birnen das Vorkommen von Hexanal, Butylacetat, Hexylacetat sowie Ethylbutanoat im Aroma beider Früchte ersichtlich. Jede der Steinobstsorten Marille, Nektarine und Pfirsich beinhaltet als aromawirksame Substanzen Decalactone und Linalool. In Brombeeraroma stellen p-Cymen-8-ol und Heptanol wichtige Komponenten dar, während für das Aroma von Erdbeeren (Z)-3-Hexenal, Methyl- und Ethylbutanoat, Methyl- und Ethylhexanoat sowie Furaneol von Bedeutung sind. Zum Himbeeraroma hingegen trägt das Himbeerketon erheblich bei, aber auch Terpene wie Ionon und α -Pinen sind wesentlich.

Gurken enthalten als wichtigste Aromastoffe (E,E)-2,4-Nonadienal, (Z)-2-Nonenal, (E)-2-Nonenal und (E,Z)-2,6-Nonadienal, das auch im Aroma des Gemüsepaprika vorkommt, welches mengenmäßig von β -Ocimen dominiert wird. Das Aroma der Tomaten wird vor allem durch Hexanal, Methional, 3-Methylbutanal, 3-Methylbutanol und 6-Methyl-5-hepten-2-on bestimmt.

Der Vergleich der bedeutensten aromawirksamen Substanzen in Äpfeln und Apfelsaft, zeigt in beiden Lebensmitteln das Vorkommen von Hexanol, Hexanal, Butyl- und Hexylacetat sowie Ethylbutanoat. Marillensaft beinhaltet, wie auch die Ausgangsfrucht, γ -Decalacton, β -Ionon und Linalool. Als Aromastoffe in Pfirsichsaft sind, wie auch in Pfirsichen, γ -Decalacton und Linalool relevant. Sowohl in Orangen, als auch in Orangensaft wurden Limonen, Linalool und Ethylbutanoat, aber auch Citral, α -Pinen und α -Terpineol als wichtigste Substanzen detektiert.

Zum Milcharoma tragen vor allem Dimethylsulfid, Diacetyl, (Z)-4-Heptenal und (E)-2-Nonenal bei. Diacetyl ist mit δ -Decalacton und Buttersäure zudem eine wichtige aromagebende Substanz für Butter. Auch im Joghurtaroma konnte Diacetyl detektiert werden.

In Hartkäse konnten Ethylhexanoat, Ethylbutanoat und Buttersäure nachgewiesen werden, während in Schnittkäse Decalacton, Acetoin und 2-Methylketone zur buttrigen Note beitragen. Blauschimmelkäse weist p-Kresol und 1-Phenylethylalkohol als *character impact compounds* auf. *Camembert*, ein Weichkäse beinhaltet Phenylacetaldehyd, 2-Phenylethanol und Phenethylacetat als aromagebende Komponenten, während das Aroma von ungereiftem Käse durch Diacetyl, δ -Decalacton und Milchsäure bestimmt wird.

Der Vergleich von in Weizenbrotkruste und Weizenbrotkrume enthaltenen Aromastoffen zeigt das Auftreten von 3-Methylbutanal und (E)-2-Nonenal in beiden Proben. Sowohl in Weizen-, als auch in Roggenbrotkruste kommen 2-Acetyl-1-pyrrolin, 3-Methylbutanal und (E)-2-Nonenal vor. Wie in Weizenbrotkrume konnten auch in jener von Roggensauerteigbrot 3-Methylbutanal, (E)-2-Nonenal und (E,E)-2,4-Decadienal detektiert werden.

Roggenmehl, als auch Roggensauerteig enthalten nachweislich Methional, Hexanal, Sotolon und (E)-4,5-Epoxy-(E)-2-decenal. In der Krume des Roggensauerteigbrotes sind ebenso wie im Mehl dieses Getreides Hexanal, Sotolon, (E,E)-2,4-Decadienal und (E)-2-Nonenal enthalten.

In einigen Studien zeigte sich bezüglich Obst und Gemüse ein Einfluss der Wachstumsbedingungen, des Erntezeitpunktes, des Reifegrades bei der Ernte und der Lagerbedingungen auf das Aromaprofil. Bei Milchprodukten können auch Produktionsbedingungen und Verpackungsmaterial Einfluss auf das Aromaprofil des Lebensmittels haben.

6. Summary

The aim of this work was to develop a combination of the so far studies on aroma. The topic of the used surveys should be foodstuffs, that are used in the daily consumption. In this sense, the findings of these studies have been compared to elevate the differences and similarities of the aromaprofiles, especially those substances, that are responsible for the characteristic attributes of the aroma.

The comparison of the pipfruit cultivars apple and pear showed Hexanal, Butylacetate, Hexylacetate and Ethylbutanoate occurring in the aromaprofiles of both fruits. Each of the stone fruits apricot, peach and nectarine contained Decalactone and Linalool. The most important compounds in the aroma of blackberries are *p*-Cymen-8-ol and Heptanol, those in strawberries are (*Z*)-3-Hexenal, Methyl- and Ethylbutanoate, Methyl- and Ethylhexanoate as well as Furaneol. The typical component contained in the aroma of raspberries is the raspberry ketone.

Cucumbers comprehended flavouring substances like (*E,E*)-2,4-Nonadienal, (*Z*)-2-Nonenal, (*E*)-2-Nonenal and (*E,Z*)-2,6-Nonadienal, that even occurs in capsicum, whose aroma is quantitatively dominated by β -Ocimene. The aroma of tomatoes is combined of Hexanal, Methional, 3-Methylbutanal, 3-Methylbutanol and 6-Methyl-5-hepten-2-one.

The aromaprofiles of juices made from apple, apricot, peach and orange compared to the original fruit showed some substances that occur in both foodstuffs. That are Hexanol, Hexanal, Butyl- and Hexylacetate as well as Ethylbutanoate in the case of apple juice, γ -Decalactone, β -Ionone and Linalool in apricot juice, γ -Decalactone and Linalool in peach juice and Limonene, Linalool, Ethylbutanoate, Citral, α -Pinene and α -Terpineole in the case of orange juice.

The aroma of milk is mainly composed of Dimethylsulfide, Diacetyl, (*Z*)-4-Heptenal and (*E*)-2-Nonenal. Diacetyl, δ -Decalactone as well as butanoic acid have been detected in butter and even the aroma of yoghurt contains Diacetyl.

In hard cheese Ethylhexanoate, Ethylbutanoate and butanoic acid have been detected as aroma compounds, whereas Decalactone, Acetoin and 2-Methylketones are responsible for the buttery note in semi hard cheese. The character impact compounds in *Blue mold cheese* are p-Kresol and 1-Phenylethylalcohol. *Camembert*, a soft cheese, comprises the aroma compounds Phenylacetaldehyd, 2-Phenylethanol und Phenethylacetate, whereas the aroma of unripened cheese is made of Diacetyl, δ -Decalactone and lactic acid.

The flavour components of wheat bread crust have been compared with that of wheat bread crumb and the result showed 3-Methylbutanal and (*E*)-2-Nonenal in both. Wheat bread crust as well as rye bread crust comprehend 2-Acetyl-1-pyrroline, 3-Methylbutanal and (*E*)-2-Nonenal. 3-Methylbutanal, (*E*)-2-Nonenal and (*E,E*)-2,4-Decadienal have been detected in the crumb of wheat bread and rye bread. Rye flour and rye sourdough contain Methional, Hexanal, Sotolone and (*E*)-4,5-Epoxy-(*E*)-2-decenal. In the crumb of rye sourdough bread and rye flour Hexanal, Sotolone, (*E,E*)-2,4-Decadienal and (*E*)-2-Nonenal have been verified.

Some studies showed an influence of the conditions necessary for growth, the date of harvest, the maturity at harvest and the storage parameters on the aromaprofile of fruits and vegetables. The flavours of foodstuffs like dairy products can even be influenced by the processing and the packing material.

7. Literaturverzeichnis

ACREE T.E, ROBERTS D.D. Aroma analysis of raspberry samples by retronasal simulation combined with headspace gas chromatography-olfactometry. Food Quality and Preference 1996; 7: 322.

ADAHCHOUR M, VREULS R.J.J, VAN DER HEIJDEN A, BRINKMAN U.A.T. Trace-level determination of polar flavour compounds in butter by solid-phase extraction and gas chromatography-mass spectrometry. Journal of Chromatography A 1999; 844: 295-305.

ADAHCHOUR M, WIEWEL J, VERDEL R, VREULS R.J.J, BRINKMAN U.A.T. Improved determination of flavour compounds in butter by solid-phase (micro)extraction and comprehensive two-dimensional gas chromatography. Journal of Chromatography A 2005; 1086: 99-106.

AGUDO A, ESTEVE M.G, PALLARCS C, MARTÍNEZ-BALLARIN I, FABREGAT X, MALATS N, MACHENGIS I, BADIA A, GONZÁLEZ C.A. Vegetable and fruit intake and the risk of lung cancer in women in Barcelona, Spain. European Journal of Cancer 1997; 33: 1256-1261.

ALASALVAR C, GRIGOR J.M, QUANTIC P.C. Method for the static headspace analysis of carrot volatiles. Food Chemistry 1999; 65:391-397.

ALEWIJN M, SLIWINSKI E.L, WOUTERS J.T.M. A fast and simple method for quantitative determination of fat-derived medium and low-volatile compounds in cheese. International Dairy Journal 2003; 13: 733-741.

ANDRADE E.H.A, MAIA J.G.S, ZOGHBI M.B. Aroma volatile constituents of brazilian varieties of mango fruit. Journal of Food Composition and Analysis 2000; 13: 27-33.

APOSTOLOPOULOU A.A, FLOUROS A.I, DEMERTZIS P.G, AKRIDA-DEMETZI K. Differences in concentration of principal volatile constituents in traditional Greek destillates. *Laboratory of Food Chemistry* 2004; 16: 157-164.

AUBERT C, BAUMANN S, ARGUEL H. Optimization of the analysis of flavor volatile compounds by Liquid-Liquid Microextraktion (LLME). Application to the aroma analysis of melons, peaches, grapes, strawberries and tomatoes. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 2005; 53: 8881-8895.

AUBERT C, MILHET C. Distribution of the volatile compounds in the different parts of a white-fleshed peach (*Prunus persica* L. Batsch). *Food Chemistry* 2007; 102: 375-384.

AYALA-ZAVALA J.F, WANG S.Y, WANG C.Y, GONZÁLEZ-AGUILAR A. Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* 2004; 37: 687-695.

BELLESIA F, PINETTI A, PAGNONI U.M, RINALDI R, ZUCCHI C, CAGLIOTI L, PALYIA G. Volatile components of Grana Parmigiano-Reggiano type hard cheese. *Food Chemistry* 2003; 83: 55-61.

BELITZ H.D, GROSCH W, SCHIEBERLE P. *Lehrbuch der Lebensmittelchemie*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2001; 350, 530.

BELITZ H.D, GROSCH W, SCHIEBERLE P. *Lehrbuch der Lebensmittelchemie*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2008; 346-351, 356-367, 376, 381, 390-394, 557-561, 757-761, 796-797, 813-816, 832-833, 863-867.

BENDALL J.G, OLNEY S.D. Hept-cis-4-enal: analysis and flavour contribution to fresh milk. *International Dairy Journal* 2001; 11: 855-864.

BERNA A.Z, LAMMERTYN J, SAEVELS S, DI NATALE C, NICOLAI B.M. Electronic nose systems to study shelf life and cultivar effect on tomato aroma profile. *Sensors and Actuators* 2004; 97: 324-333.

BERNA A.Z., LAMMERTYN J., BUYSSENS S., DI NATALE C., NICOLAI B.M. Mapping consumer liking of tomatoes with fast aroma profiling techniques. *Postharvest Biology and Technology* 2005; 38: 115-127.

BESHKOVA D.M, SIMOVA E.D, FRENGOVA G.I, SIMOV Z.I, DIMITROV Z.P. Production of volatile aroma compounds by kefis starter cultures. *International Dairy Journal* 2003; 13:529-535.

BGBI. II Nr. 42/1998, Verordnung der Bundesministerin für Frauenangelegenheiten und Verbraucherschutz über Aromen und deren Ausgangsstoffe (Aromenverordnung).

BGBI. I S. 1625, 1677, Aromenverordnung vom 22. Dezember 1981, geändert durch Artikel 22 der Verordnung vom 2. Mai 2006 (BGBI. I S. 1127), zuletzt geändert durch Artikel 4 der Verordnung vom 30. Januar 2008 (BGBI. I S. 132).

BOUDHRIOUA N, GIAMPAOLI P, BONAZZI C. Changes in aromatic components of banana during ripening and air-drying. *Lebensmittel-Wissenschaft & –Technologie* 2003; 36: 633-642.

BROCKHAUS ERNÄHRUNG, F.A. BROCKHAUS GmbH, Leipzig Mannheim, 2001; 44-45.

BUSCH-STOCKFISCH M. Sensorische Grundlagen. In: *Praxishandbuch Sensorik in der Produktentwicklung und Qualitätssicherung* (Busch-Stockfisch M., Hrsg.). Behr's Verlag, Hamburg, 2002, 15. Aktualisierungslieferung 12/06; 6-8.

BUTTERY R.G, TAKEOKA G.R, KRAMMER G.E, LING L.C. Identification of 2,5-Dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone (furanol) and 5-Methyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone in fresh and processed tomato. *Lebensmittel-Wissenschaft & -Technologie* 1994; 27: 592-594.

BÜCHI G, WÜEST H. Synthesis of 2-Acetyl-1,4,5,6-tetrahydropyridine, a constituent of bread aroma. *Journal of Organic Chemistry* 1971; 36: 609.

BÜTTNER A. Spaß an Essen und Trinken – Retronasale Geruchswahrnehmung. *Nachrichten aus der Chemie* 2004; 52: 540-544.

BÜTTNER A, BEER A, HANNIG C, SETTLES M, SCHIEBERLE P. Physiological and analytical studies on flavor perception dynamics as induced by the eating and swallowing process. *Food Quality and Preference* 2002; 13: 497-504.

BÜTTNER A, SCHIEBERLE P. Exhaled Odorant Measurement (EXOM) – A New Approach to Quantify the Degree of In-mouth Release of Food Aroma Compounds. *Lebensmittelwissenschaft & –Technologie* 2000; 33: 553-559.

CAI J, BAIZHAN L, QINGDE S. Comparison of simultaneous distillation extraction and solid-phase microextraction for the determination of volatile flavor components. *Journal of Chromatography A* 2001; 930: 1-7.

CANO M.P, DE ANCOS B, MATAALLANA M.C, CÁMARA M, REGLERO G, TABERA J. Differences among Spanish and Latin-American banana cultivars: morphological, chemical and sensory characteristics. *Food Chemistry* 1997; 59: 411-419.

CHEN J.L, YAN S, FENG Z, XIAO L, HU X.S. Changes in the volatile compounds and chemical and physical properties of Yali pear (*Pyrus bertschneideri* Rehd) during storage. *Food Chemistry* 2006; 97: 248-255.

CHERVIN C, SPEIRS J, LOVEYS B, PATTERSON B.D. Influence of low oxygen storage on aroma compounds of whole pears and crushed pear flesh. *Postharvest Biology and Technology* 2000; 19: 279-285.

CLAUS P. Chemie der Naturstoffe – Vorlesung für die Studienrichtung Ernährungswissenschaften, Institut für Organische Chemie, Wien, 2002; 98-104, 112.

CONDURSO C, VERZERA A, ROMEO V, ZIINO M, CONTE F. Solid-phase microextraction and gas-chromatography mass spectrometry analysis of dairy product volatiles for the determination of shelf-life. *International Dairy Journal* 2008; 18: 819-825.

DERNDORFER E. *Lebensmittelsensorik*, Facultas Universitätsverlag, Wien, 2006; 15-20, 23-24, 34.

DERNDORFER E. Sensorische Analyse von Milch und Milchprodukten. In: *Praxishandbuch Sensorik in der Produktentwicklung und Qualitätssicherung* (Busch-Stockfisch M., Hrsg.). Behr's Verlag, Hamburg, 2002, 15. Aktualisierungslieferung 12/06; 1-18.

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNG e.V. *Die Nährstoffe – Bausteine für Ihre Gesundheit*, Bonn, 2004; 71 – 73.

DGE, ÖGE, SGE, SVE. *D-A-CH-Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr*, Umschau/Braus, Frankfurt, 2000.

DIBAN N, RUIZ G, URTIAGA A, ORTIZ I. Granula activated carbon for the recovery of the main pear aroma compound: Viability and kinety modelling of ethyl-2,4-decadienoate adsorption. *Journal of Food Engeneering* 2007; 78:1259-1266.

DIN 10950-1:1999-04. Deutsches Institut für Normung e.V. Sensorische Prüfung, Beuth Verlag, Berlin.

DIRINCK P, DE WINNE A. Flavour characterisation and classification of cheeses by gas chromatographic-mass spectrometric profiling. *Journal of Chromatography A* 1999; 847: 203-208.

DIXON J, HEWITT E. Temperature of hypoxic treatment alters volatile composition of juice from „Fuji“ and „Royal Gala“ apples. *Postharvest Biology and Technology* 2001; 22: 71-83.

EISENBRAND G, SCHREIER P. RÖMPP Lexikon Lebensmittelchemie, Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, 2006; 71-77, 392-394.

ELMADFA I, FREISLING H, KÖNIG J., BLACHFELNER J., CVITKOVICH-STEINER H., GENSER D., GROSSGUT R., HASSAN-HAUSER C., KICHLER R., KUNZE M., MAJCHRZAK D., MANAFI M., RUST P., SCHINDLER K., VOJIR F., WALLNER S., ZILBERSZAC A. Österreichischer Ernährungsbericht 2003, 1. Auflage, Wien, 2003; 222, 232.

ELSS S, KLEINHENZ S, SCHREIER P. Odor and taste thresholds of potential carry-over/off-flavor compounds in orange and apple juice. *Lebensmittel-Wissenschaft & -Technologie* 2007; 40: 1826-1831.

ELSS S, PRESTON C, HERTZIG C, HECKEL F, RICHLING E, SCHREIER P. Aroma profiles of pineapple fruit (*Ananas comosus* [L.] Merr.) and pineapple products. *Lebensmittel-Wissenschaft & -Technologie* 2005; 38: 263-274.

FLIEDNER I, WILHELMI F. Grundlagen und Prüfverfahren der Lebensmittelsensorik, Behr's Verlag, Hamburg, 1989; 19.

FRANK D.C, OWEN C.M, PATTERSON J. Solid phase microextraction (SPME) combined with gas-chromatography and olfactometry-mass spectrometry for characterization of cheese aroma compounds. *Lebensmittel-Wissenschaft & -Technologie* 2004; 37: 139-154.

FRICKER A. *Lebensmittel – mit allen Sinnen prüfen!* Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1984; 56, 59, 70.

FOISSY H. *Milchtechnologie*. IMB-Verlag, Wien, 2005; 85, 91-92.

GARDINI F, LANCIOTTI R, GUERZONI M.E, TORRIANI S. Evaluation of aroma production and survival of *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Lactobacillus acidophilus* in fermented milks. *International Dairy Journal* 1999. 9: 125-134.

GIL-CARCEDO L.M, VALLEJO L.A, GIL-CARCEDO E. Structure of the principal olfactory tract. *Otolaryngology – Head and Neck Surgery* 2000; 122: 129-138.

GIRARD B, LAU O.L. Effect of maturity and storage on quality and volatile production of “Jonagold” apples. *Food Research International* 1995; 28: 465-471.

GONZALEZ C.A, RIBOLI E. Diet and cancer prevention: where we are, where we are going. *Nutrition and Cancer* 2006; 56: 225-231.

GÖRNER F. Aroma von Sauermilchprodukten. *Food* 2006; 24: 63-69.

GRÜB H. Ermitteln von Geschmacks- und Geruchsschwellen. In: *Praxishandbuch Sensorik in der Produktentwicklung und Qualitätssicherung* (Busch-Stockfisch M., Hrsg.). Behr's Verlag, Hamburg, 2002, 15. Aktualisierungslieferung 12/06; 1-2.

GUILLOT S, PEYTAVI L, BUREAU S, BOULANGER R, LEPOUTRE J.-P, CROUZET J, SCHORR-GALINDO S. Aroma characterisation of various apricot varieties using headspace-solid phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry and gas chromatography-olfactometry. Food Chemistry 2006; 96: 147-155.

HANSEN A, SCHIEBERLE P. Generation of aroma compounds during sourdough fermentation: applied and fundamental aspects. Trends in Food Science & Technology 2005; 16: 85-94.

HERNÁNDEZ-GÓMEZ L.F, ÚBEDA J, BRIONES A. Melon fruit distillates: comparison of different distillation methods. Food Chemistry 2003; 64: 539-543.

HERNÁNDEZ-GÓMEZ L.F, ÚBEDA-IRANZO J, GARCIA-ROMERO E, BRIONES-PÉREZ A. Comparative production of different melon distillates: chemical and sensory analyses. Food Chemistry 2005; 90: 115-125.

HERRMANN K. Inhaltsstoffe von Obst und Gemüse, Ulmer, Stuttgart, 2001; 6-7, 12, 29-30, 38-39, 68, 83, 85, 105-106, 157-158.

HOLLEY A. Processing information about flavour. In: Flavour in food (Vailley A., Hrsg). Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2006; 37.

HONKANEN E, PYYSALO T, HIRVI T. The aroma of Finnish wild raspberries, *Rubus idaeus*, L. Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -forschung 1980; 171: 180-182.

IBÁÑEZ E, LÓPEZ-SEBASTIÁN S, RAMOS S, TABERA J, REGLERO G. Analysis of volatile fruit components by headspace solid-phase microextraction. Food Chemistry 1998; 63: 281-286.

INGHAM K.E, LINFORTH R.S.T, TAYLOR A.J. The effect of eating on aroma release from strawberries. Food Chemistry 1995; 54: 283-288.

JIA M, ZHANG H, MIN D.B. Pulsed electric field processing effects on flavour compounds and microorganisms of orange juice. Food Chemistry 1999; 65: 445-451.

JORDÁN M.J, GOODNER K.L, LAENCINA J. Deaeration and pasteurization effects of the orange juice aromatic fraction. Lebensmittel-Wissenschaft & -Technologie 2003; 36: 391-396.

KARATAPANIS A.E, BADEKA A.V, RIGANAKOS K.A, SAVVAIDIS I.N, KONTOMINAS M.G. Changes in flavour volatiles of whole pasteurized milk as affected by packaging material and storage time. International Dairy Journal 2006; 16: 750-761.

KATAOKA H, LORD H.L, PAWLISZYN J. Applications of solid-phase microextraction in food analysis. Journal of Chromatography A 2000; 880: 35-62.

KOCSIS N, AMTMANN M, MEDNYÁNSZKY Z, KORÁNY K. GC-MS Investigation of the aroma compounds of Hungarian Red Paprika (*Capsicum annuum*) cultivars. Journal of Food Composition and Analysis 2002; 15: 295-203.

KOHL D, HEINERT L, BOCK J, HOFMANN T, SCHIEBERLE P. Systematic studies on responses of metal-oxide sensor surfaces to straight chain alkanes, alcohols, aldehydes, ketones, acids and esters using the SOMMSA approach. Sensors and Actuators 2000; 70: 43-50.

KOMTHONG P, KATOH T, IGURA N, SHIMODA M. Changes in the odours of apple juice during enzymatic browning. Food Quality and Preference 2006; 17: 497-504.

KOULIBALY A, SAKHO M, CROUZET J. Variability of free and bound volatile terpenic compounds in Mango. *Lebensmittel-Wissenschaft &-Technologie* 1992; 4:374-379.

KRUMBEIN A, PETERS P, BRÜCKNER B. Flavour compounds and a quantitative descriptive analysis of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) of different cultivars in short-term storage. *Postharvest Biology and Technology* 2004; 32:15-28.

KUBÍCKOVÁ J, GROSCH W. Evaluation of flavour compounds of Camembert cheese. *International Dairy Journal*, 1998; 8: 11-16.

KUBÍCKOVÁ J, GROSCH W. Evaluation of potent odorant of Camembert cheese by dilution and concentration techniques. *International Dairy Journal* 1997; 7:65-70.

KYRIACOU A, ZABETAKIS I. The biosynthesis of furanones in strawberry: Are the plant cells all alone? In: *Food Flavor and Chemistry* (Spanier A.M., Shahidi F., Parliment T.H., Mussinan C., Ho C.-T., Tratras Contis E., Hrsg). The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2005; 219.

LALEL H.J.D, SINGH Z, CHYE TAN S. Aroma volatiles production during fruit ripening of "Kensington Pride" mango. *Postharvest Biology and Technology* 2003; 27: 323-336.

LARA I, MIRÓ R.M, FUENTES T, SAYEZ G, GRAELL J, LÓPEZ M.L. Biosynthesis of volatile aroma compounds in pear fruit stored under long-term controlled atmosphere condition. *Postharvest Biology and Technology* 2003; 29: 29-39.

LARSEN M, POLL L, OLSEN C.E. Evaluation of the aroma composition of some strawberry (*Fragraria ananassa* Duch) cultivars by use of odour threshold values. Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und –forschung 1992; 195: 536-539.

LAUGERETTE F, GAILLARD D, PASSILLY-DEGRACE P, NIOT I, BESNARD P. Do we taste fat? Biochimie 2007; 89: 265-269.

LO SCALZO R, TESTONI A, GENNA A. “Annurca” apple fruit, a southern Italy apple cultivar: textural properties and aroma composition. Food Chemistry 2001; 73: 333-343.

MAJCHZRAC D. Vorlesung „Methoden der sensorischen Analyse“, Universität Wien, WS 2007/08.

MARILLEA L, AMPUEROA S, ZESIGERB T, CASEYA M.G. Screening of aroma-producing lactic acid bacteria with an electronic nose. International Dairy Journal 2004; 14: 849-856.

MATEO J, AGUIRREZÁBAL M, DOMÍNGUEZ C, ZUMALACÁRREGUI J.M. Volatile compounds in Spanish paprika. Journal of Food Composition and Analysis 1997; 10: 225-232.

MENG L.I, SLAUGHTER D.C, THOMPSON J.E. Optical chlorophyll sensing system for banana ripening. Post Harvest Biological Technology 1997; 12: 273-283.

MIELLE P. Electronic noses': Towards the objective instrumental characterization of food aroma. Trends in Food Science & Technology 1996; 7: 432-438.

MIELLE P, MARQUIS F. An alternative way to improve the sensitivity of electronic olfactometers. *Sensors and Actuators* 1999; 58: 526-535.

MOIO L, ADDEO F. Grana Padano cheese aroma. *Journal of Dairy Research*, 1998; 65: 317-333.

MONDY N, DUPLAT D, CHRISTIDES J.P, ARNAULT I, AUGE J. Aroma analysis of fresh and preserved onions and leek by dual solid-phase microextraktion-liquid extraction and gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 2002; 963: 89-93.

MOSHONAS M.G, SHAW P.E. Fresh orange juice flavor: A quantitative and qualitative determination of the volatile constituents. *Developments in Food Science* 1995; 37: 1479-1492.

MOUFIDA S, MARZOUK B. Biochemical characterization of blood orange, sweet orange, lemon, bergamot and bitter orange. *Phytochemistry* 2003; 62: 1284-1289.

NEGOIAS S, VISSCHERS R, BOELRIJK A, HUMMEL T. New ways to understand aroma perception. *Food Chemistry* 2008; 108: 1247-1254.

NEUMANN R, MOLNÁR P. *Sensorische Lebensmitteluntersuchung*, Fachbuchverlag, Leipzig, 1991.

NEY K.H. *Lebensmittelaromen*, Behr's Verlag, Hamburg, 1987; 24, 29, 33.

O'RIORDAN P.J, DELAHUNTY C.M. Characterisation of commercial Cheddar cheese flavour. 2: study of Cheddar discrimination by composition, volatile compounds and descriptive flavour assessment. *International Dairy Journal* 2003; 13: 371-389.

OSHITA S, SHIMA K, HARUTA T, SEO Y, KAWAGOE Y, NAKAYAMA S., TAKAHARA H. Discrimination of odors emanating from “La France” pear by semi-conducting polymer sensors. *Computers and Electronics in Agriculture* 2000; 26: 209-216.

Österreichischer Lebensmittelcodex, B32 Käse/Anlage, 2003. Online unter URL: http://portal.wko.at/wk/format_detail.wk?angid=1&stid=327683&dstid=144&openavid=0/

PALIYATH G, WHITING M.D, STASIAK M.A, MURR D.P, CLEGG B.S. Volatile production and fruit quality of superficial scald in Red Delicious apples. *Food Research International* 1997; 30: 95-103.

PELAYO C, EBELER S.E, KADER A.A. Postharvest life and flavor quality of three strawberry cultivars kept at 5°C in air or air+20 kPa CO₂. *Postharvest Biology and Technology* 2003; 27: 171-183.

PÉRÉS C, BEGNAUD F, BERDAGUE J.-L. Fast characterisation of Camembert cheeses by static headspace-mass spectrometry. *Sensors and Actuators B* 2002; 87: 491-497.

PETERSEN M.A, TØNDER D, POLL L. Influence of storage and temperature on aroma of orange juice. *Food Quality and Preference* 1996; 7:339.

PILLONEL L, BOSSET J.O, TABACCHI R. Rapid preconcentration and enrichment techniques for the analysis of food volatile. A review. *Lebensmittel-Wissenschaft und –Technologie* 2002; 35: 1-14.

PIONNIER E, ENGEL E, SALLES C, LE QUÉRÉ J.L. Interactions between non-volatile water-soluble molecules and aroma compounds in Camembert cheese. *Food Chemistry* 2002; 76: 13-20.

PLUTOWSKA B, WARDENCKI W. Aromagrams – Aromatic profiles in the appreciation of food quality. Food Chemistry 2007; 101: 845-872.

POVOLO M, CONTARINI G. Comparison of solid-phase microextraction and purge-and-trap methods for the analysis of the volatile fraction of butter. Journal of Chromatography A 2003; 985: 117-125.

PREININGER M, GROSCH W. Evaluation of key odorants of the neutral volatiles of Emmentaler cheese by the calculation of odour activity values. Lebensmittel-Wissenschaft & -Technologie 1994; 27:237-244.

REINECCIUS G. Choosing the correct analytical technique in aroma analysis. In: Flavour of food (Voilley A., Hrsg). Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2006; 81-87.

RIOS J.J, FERNÁNDEZ-GRACÍA E, MÍNGUEZ-MOSQUERA M.I, PÉREZ-GÁLVEZ A. Description of volatile compounds generated by the degradation of carotenoids in paprika, tomato and marigold oleoresins. Food Chemistry 2008; 106: 1145-1153.

RIU-AUMATELL M, CASTELLARI M, LÓPEZ-TAMAMES E, GALASSI S, BUXADERS S. Characterisation of volatile compounds of fruit juices and nectars by HS/SPME and GC/MS. Food Chemistry 2004; 87: 627-637.

RYCHLIK M, GROSCH W. Identification and quantification of potent odorants formed by toasting of wheat bread. Lebensmittel-Wissenschaft & -Technologie 1996; 29: 515-525.

SABY JOHN K, JAGAN MOHAN RAO L, BHAT S.G, PRASADA RAO U.J.S. Characterisation of aroma components of sap from different Indian mango varieties. Phytochemistry 1999; 52: 891-894.

SALTVEIT M.E. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. Postharvest Biology and Technology 1999; 15: 279-292.

SALZER U.-J, SIEWEK F, GERHARDT U. (Hrsg.). Handbuch der Aromen und Gewürze. Behr's Verlag, Hamburg, 2000; 4.Aktualisierungs-Lieferung 11/00.

SALZER U.-J, SIEWEK F, GERHARDT U. (Hrsg.). Handbuch der Aromen und Gewürze. Behr's Verlag, Hamburg, 2005; 18.Aktualisierungs-Lieferung 05/05.

SANCHO M.F, RAO M.A, DOWNING D.L. Infinite dilution activity coefficients of apple juice aroma compounds. Journal of Food Engineering 1997; 34: 145-158.

SCHIEBERLE P, GASSENMEIER K, GUTH H, SEN A, GROSCH W. Character impact odour compounds of different kinds of butter. Lebensmittel-Wissenschaft & –Technologie 1993; 26: 347-356.

SCHIEBERLE P, GROSCH W. Evaluation of the flavour of wheat and rye bread crusts by aroma extract dilution analysis. Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und –Forschung A 1987a; 185:111-113.

SCHIEBERLE P, GROSCH W. Identification of the volatile flavour compounds of wheat bread crust – comparison with rye bread crust. Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und –Forschung A 1985; 180: 474-478.

SCHIEBERLE P, GROSCH W. Quantification of aroma compounds in wheat and rye bread crusts using a stable isotope dilution assay. Journal of Agriculture and Food Chemistry 1987b; 35: 252-257.

SCHIEBERLE P, HOFMANN T. Evaluation of the character impact odorants in fresh strawberry juice by quantitative measurements and sensory studies on model mixtures. Journal of Agricultural and Food Chemistry 1997, 45: 227-232.

SCHIEBERLE P, OFNER S, GROSCH W. Evaluation of potent odorants in cucumbers (*Cucumis sativus*) and muskmelons (*Cucumis melo*) by aroma extract dilution analysis. Journal of Food Science 1990; 55: 193-195.

SCHREIER P. Aromaforschung aktuell. In: Naturwissenschaften (Autrum H., Hrsg.). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1995; 82: 21-27.

SCHULZ H. Geschmack bei Obst und Gemüse – Eine neue Herausforderung für die Züchtung. Forschungsreport 1997; 2: 4-7.

SCLAFANI A, ACKROFF N. Fat preference and acceptance in the CD36 knockout mice. Appetite 2007; 49: 329.

SHAMAILA M, SKURA B, DAUBENY H, ANDERSON A. Sensory, chemical and gas chromatographic evaluation of five raspberry cultivars. Food Research International 1993; 26: 443-449.

SHAW P.E, ROUSE R.L, GOODNER K.L, BAZEMORE R, NORDBY H.E, WIDMER W.W. Comparison of Headspace GC and Electronic Sensor Techniques for classification of processed orange juices. Lebensmittel-Wissenschaft & -Technologie 2000; 33: 331-334.

SIDES A, ROBARDS K, HELLIWELL S. Developments in extraction techniques and their application to analysis of volatiles in foods. Trends in Analytical Chemistry 2000; 19: 322-329.

SONG J, BANGERTH F. The effect of harvest date on aroma compound production from “Golden Delicious” apple fruit and relationship to respiration and ethylene production. Postharvest Biology and Technology 1996; 8: 259-269.

STEHLE P, OBERRITTER H, BÜNING-FESEL M, HESEKER H. Grafische Umsetzung von Ernährungsrichtlinien – traditionelle und aktuelle Ansätze. Ernährungsumschau 2005; 52: 128-135.

STIJN S, LAMMERTYN J, BERNARD A.Z, VERAVERBEKE E.A, DI NATALE C, NICOLAI B.M. Electronic nose as a non-destructive tool to evaluate the optimal harvest date of apples. Postharvest Biology and Technology 2003, 30: 3-14.

STERN D.J, BUTTERY R.G, TERANISHI R, LING L. Effect of storage and ripening on fresh tomato quality. Food Chemistry 1994; 49: 225-231.

TANDON K.S, BALDWIN E.A, SHEWFELT R.L. Aroma perception of individual volatile compounds in fresh tomatoes (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) as affected by the medium of evaluation. Postharvest Biology and Technology 2000; 20: 261-268.

THEWS G, MUTSCHLER E, VAUPEL P. Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart, 1999; 707-715.

TØNDER D, PETERSEN M.A, POLL L, OLSEN C.E. Discrimination between freshly made and stored reconstituted orange juice using GC odour profiling and aroma values. Food Chemistry 1998; 61: 223-229.

VAN LEUVEN I, VAN CAELENBERG T, DIRINCK P. Aroma characterisation of Gouda-type cheeses. International Dairy Journal 2008; 18: 790-800.

VANOLI M, VISAI C. Volatile compound production during growth and ripening of peaches and nectarines. Scientia Horticulturae 1997; 70: 15-24.

VANOLI M, VISAI C, RIZZOLO A. The influence of harvest date on the volatile composition of "Starkspur Golden" apples. *Postharvest Biology and Technology* 1995; 6:225-234.

VILLATORO C, ALTISENT R, ECHEVERRÍA G, GRAELL J, LÓPEZ M.L, LARA I. Changes in biosynthesis of aroma compounds during on-tree maturation of "Pink Lady" apples. *Postharvest Biology and Technology* 2008; 47:286-295.

WILKES J. G, CONTE E. D, KIM Y, HOLCOMB M, SUTHERLAND J. B, MILLER D. W. Sample preparation for the analysis of flavors and off-flavors in foods. *Journal of Chromatography A* 2000; 880: 3-33.

WILLIAMS A, RYAN D, GUASCA A.O, MARRIOTT P, PANG E. Analysis of strawberry volatiles using comprehensive two-dimensional gas chromatography with headspace solid-phase microextraction. *Journal of Chromatography* 2005; 817: 97-107.

www.ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/flavouring/database/ FLAVORING SUBSTANCES (Zugriff am 26./27.08.2008; 2./3./15./20./ 22./29./30.09.2008).

www.thegoodscentscompany.com/allprov.html THE GOOD SCENTS COMPANY (Zugriff am 26./27.08.2008; 3./20./29./30.09.2008).

www.lb.chemie.uni-hamburg.de/ LANDOLT-BÖRNSTEIN (2008): Landolt-Börnstein Substance/Property Index (Zugriff am 26./27.08.2008; 2./3./8./20./ 22./29./30.09.2008).

www.pherobase.net/ THE PHEROBASE (Zugriff am 26./27.08.2008; 2./3./20./ 22./29./30.09.2008; 2.10.2008)

www.portal.wko.at/wk/format_detail.wk?angid=1&stid=327683&dstid=144&open_navid=0/ Österreichischer Lebensmittelcodex, B32 Käse/Anlage, 2003.

www.rdchemicals.com/ R&D CHEMICALS (28./30.09.2008).

www.en.wikipedia.org/wiki/ WIKIPEDIA (Zugriff am 26./27.08.2008; 2./3./20./22./21./29./30.09.2008; 2.10.2008)

XIAOBO Z, JIEWEN Z. Comparative analysis of apple aroma by a tin-oxide gas sensor array device and GC/MS. Food Chemistry 2008; 107: 120-128.

YVON M, RIJNEN L. Cheese flavour formation by amino acid catabolism. International Dairy Journal 2001; 11: 185-201.

ZHANG Z.-M, LI G.-K. A preliminary study of plant aroma profile characteristics by combination sampling method coupled with GC-MS. Microchemical Journal 2006; article in press.

ZIERLER B, SIEGMUND B, PFANNHAUSER W. Determination of off-flavour compounds in apple juice caused by microorganisms using headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry. Analytica Chimica Acta 2004; 520: 3-11.

Lebenslauf



Persönliche Daten

Name	Eisinger Kathrin Verena
Anschrift	Hangweg 1a 4210 Gallneukirchen
Telefonnummer	0650/5604133
e-mail	eisinger_k@hotmail.com
Geburtsdatum	6. 10. 1983
Geburtsort	Linz
Eltern	Eisinger Herbert, Bankangestellter Eisinger Margot, Volksschullehrerin
Geschwister	Eisinger Thomas, Schüler

Ausbildung

1990 – 1994	Volksschule Gallneukirchen
1994 – 2002	Europagymnasium Linz – Auhof mit naturwissenschaftlichem Schwerpunkt; Matura im Juni 2002
Seit Oktober 2002	Studium der Ernährungswissenschaften an der Universität Wien
Oktober 2007 – Juni 2008	Ausbildung zum Gesund- und Vitalcoach am Universitätssportinstitut Wien

Berufserfahrung – Praktika

Oktober 2002 – Juni 2006	geringfügig beschäftigte Mitarbeiterin der Firma GVO (Gesellschaft für Veranstaltung und Organisation)
Oktober 2006 – April 2007	geringfügig beschäftigte Mitarbeiterin im Sport-Therapie-Center „Vitalsport“
Februar 2005	4-wöchiges Praktikum in der Abteilung für Ernährungsmedizin (Leiter Prof. Dr. Kurt Widhalm) am Krankenhaus für Kinder- und Jugendheilkunde in Wien
April 2006	4-wöchiges Praktikum bei der Österreichischen Gesellschaft für Ernährung
August 2006	4-wöchiges Praktikum im Qualitätslabor der Firma „Josef Manner & Comp. AG“
Juli 2007	Betreuerin bei den Diätferien des Kärntner Jugendrotkreuz

Sonstige Kenntnisse

Fremdsprachenkenntnisse	Englisch und Italienisch
Computerkenntnisse	Microsoft office (Word, Excel, Power Point, Outlook), Internet

Wien, am _____

Eisinger Kathrin