

DIPLOMARBEIT

Analytik von Aromen typischer Wiener Einrichtungen II

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Verfasserin:	Brigitte Schaupp
Matrikel-Nummer:	0300900
Studienrichtung:	Ernährungswissenschaften (A474)
Betreuer:	Univ.-Prof. Mag. Dr. Gerhard Buchbauer Department für Klinische Pharmazie und Diagnostik

Wien, im Juni 2009

Bedanken möchte ich mich bei ...

... Herrn Univ.-Prof. Mag. Dr. Gerhard Buchbauer für die überaus freundliche und kompetente Betreuung meiner Diplomarbeit sowie für die Möglichkeit an diesem Projekt mitzuwirken.

... Herrn Univ.-Prof. Dr. Ibrahim Elmadfa für die Genehmigung dieses Diplomarbeitsthemas, da es aus ernährungswissenschaftlicher Sichtweise doch ein eher untypisches Themengebiet umfasst.

... meiner Diplomarbeitspartnerin Elisabeth Feuerstein für die tolle Zusammenarbeit – mit dir haben die vielen Stunden, die wir beim „Sammeln der Düfte“ und Auswerten der Daten miteinander verbracht haben richtig Spaß gemacht ;) !

... René Klucky, der uns immer wieder mit Rat und Tat bei Problemen während der Arbeit mit dem Gaschromatographen zur Seite gestanden ist. An dieser Stelle möchte ich mich auch bei Patricia Pauzenberger bedanken, die uns gerade zu Beginn der Arbeiten, mit ihren Erfahrungen und Tipps, die sie während ihrer Arbeit mit dem Gaschromatograph sammelte, hilfreich unterstützte.

... meiner Schwester Elke, die mich an Motivationstiefpunkten immer wieder aufbaute und mich mit ihrem fröhlichen Wesen wieder zum Lachen brachte. Zusätzlich möchte ich mich bei ihr für das Korrekturlesen der Diplomarbeit bedanken.

... meiner Familie – danke, für die jahrelange emotionale und finanzielle Unterstützung!

... - last but not least - meinen Freunden – danke, für die tolle Studienzeit mit euch in Wien!

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG.....	1
2	LITERATURÜBERBLICK	5
2.1	Brot.....	5
2.1.1	Die Bedeutung von Brot - früher und heute	5
2.1.2	Das Bäckertum in Wien	6
2.1.3	Ernährungsphysiologische Aspekte von Brot	7
2.1.4	Brotherstellung und Backprozess - vom Mehl zum Brot	9
2.1.5	Die Maillard-Reaktion	12
2.1.6	Aromastoffe in Brot.....	16
2.2	Flieder.....	20
2.2.1	Allgemeines über den Flieder – Botanik und Geschichte	20
2.2.2	Der Flieder und Wien.....	22
2.2.3	Der Fliederduft.....	24
2.2.3.1	Chemie der Terpene	25
2.2.3.2	Terpenbiosynthese	26
2.2.3.3	Fliederaledehyd und Fliederalkohol	29
2.3	Opernpassage	31
2.3.1	Daten und Fakten über die Opernpassage.....	31
2.3.2	Der Geruch öffentlicher Plätze.....	32
3	MATERIAL UND METHODEN	33
3.1	Voruntersuchungen und Methodenfindung für die Analyse von Aromen typischer Wiener Einrichtungen.....	33
3.2	Analysenorte und -bedingungen	35
3.2.1	Fliederduftanalyse im Volksgarten.....	35
3.2.2	Brotaromaanalysen in den Bäckereien „Der Mann“ und „Linsbichler“	37
3.2.3	Geruchsanalysen in der Opernpassage	39
3.3	Probenvorbereitung und Durchführung mittels GC/MS-Methode	40
3.4	Analytische Bedingungen	42
3.5	Auswertung der GC-MS-Chromatogramme.....	43
4	ERGEBNISSE UND DISKUSSION	44
4.1	Das Brotaroma – Auswertung und Interpretation.....	44
4.1.1	Bäckerei „Der Mann“	45
4.1.1.1	Ergebnisse 6-Stunden-Probe: Produktionsstätte Bäckerei „Der Mann“	45
4.1.1.2	Diskussion 6-Stunden-Probe: Produktionsstätte Bäckerei „Der Mann“	48
4.1.1.2.1	Interpretation der Brotaromen.....	48
4.1.1.2.2	Interpretation anderer flüchtiger Bestandteile in der Raumluft	54
4.1.2	Bäckerei „Linsbichler“ - Backstube	56

4.1.2.1	Ergebnisse 6-Stunden-Probe: Backstube Bäckerei „Linsbichler“	56
4.1.2.2	Diskussion 6-Stunden-Probe: Backstube Bäckerei „Linsbichler“	59
4.1.2.2.1	Interpretation der Brotaromen.....	59
4.1.2.2.2	Interpretation anderer flüchtiger Bestandteile in der Raumluft	61
4.1.3	Bäckerei „Linsbichler“ - Verkaufsraum.....	64
4.1.3.1	Ergebnisse 6-Stunden-Probe: Verkaufsraum Bäckerei „Linsbichler“	64
4.1.3.2	Diskussion 6-Stunden-Probe: Verkaufsraum Bäckerei „Linsbichler“	67
4.1.3.2.1	Vergleich der Aromakomponenten zwischen Backstube und Verkaufsraum	67
4.2	Der Fliederduft – Auswertung und Interpretation	70
4.2.1	Ergebnisse 6-Stunden-Probe: Wiener Volksgarten, Fliederstrauch	70
4.2.2	Diskussion 6-Stunden-Probe: Wiener Volksgarten, Fliederstrauch	73
4.2.3	Ergebnisse 6-Stunden-Probe: Wiener Volksgarten, Parkbank	83
4.2.4	Diskussion 6-Stunden-Probe: Wiener Volksgarten, Parkbank.....	85
4.3	Die Opernpassage – Auswertung und Interpretation	88
4.3.1	Ergebnisse 6-Stunden-Probe: Opernpassage	88
4.3.2	Diskussion 6-Stunden-Probe: Opernpassage	90
5	SCHLUSSBETRACHTUNG	96
6	ZUSAMMENFASSUNG.....	99
7	SUMMARY	100
8	LITERATUR	101
9	LEBENS LAUF.....	123

TABELLENVERZEICHNIS

Tab 1.: Nährwerttabelle verschiedener Brotsorten	7
Tab. 2.: Strecker-Aldehyde und deren Aroma	13
Tab. 3.: Flüchtige Aromaverbindungen in Roggenbrot	16
Tab. 4.: Flüchtige Verbindungen in der Roggenbrotkrume	18
Tab. 5.: Flüchtige Verbindungen in der Roggenbrotkruste	18
Tab. 6.: Einteilung der Terpene	25
Tab. 7.: Auswertung 6-Stunden-Probe Bäckerei „Der Mann“ 1	46
Tab. 8.: Auswertung 6-Stunden-Probe Bäckerei „Der Mann“ 2	47
Tab. 9.: Auswertung 6-Stunden-Probe Backstube Bäckerei „Linsbichler“ 1	57
Tab. 10.: Auswertung 6-Stunden-Probe Backstube, Bäckerei „Linsbichler“ 2	58
Tab. 11.: Auswertung 6-Stunden-Probe Verkaufsraum Bäckerei „Linsbichler“ 1	65
Tab. 12.: Auswertung 6-Stunden-Probe Verkaufsraum Bäckerei „Linsbichler“ 2	66
Tab. 13.: Auswertung 6-Stunden-Probe Wiener Volksgarten, Fliederstrauch	72/73
Tab. 14.: Auswertung 6-Stunden-Probe Wiener Volksgarten, Parkbank	84
Tab. 15.: Auswertung 6-Stunden-Probe Opernpassage	89/90

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1.: Werbeplakat aus dem Jahr 1953 [WIENBIBLIOTHEK, 2000]	2
Abb. 2.: Roggenbrotherstellung, modifiziert nach Kirchhoff, 2000	9
Abb. 3.: Reaktionsablauf Strecker-Abbau [NURSTEN, 2005]	13
Abb. 4.: Streckerabbau von Leucin	14
Abb. 5.: Bildungswege von Schlüsselaromastoffen in der Maillardreaktion [O'BRIAN et al., 1998]	15
Abb 6.: Weiße Fliederdolden	20
Abb. 7.: Terpengrundgerüst	25
Abb 8.: Terpenbiosythesewege in der Pflanze [BOUVIER et al., 2005]	27
Abb 9.: Bildung von Monoterpenen mittels Cyclisierung von GDP [BOHLMANN et al., 1998]	28
Abb. 10.: Bildung von Fliederaldehyd und Fliederalkohol in <i>S. vulgaris</i> L. [KRECK et al., 2003]	30
Abb. 11.: Grundriss der Kärntner- , Opern- und Westpassage [TEAM FOCUS, 2005]	31
Abb. 12.: Opernpassagerondeau mit Bäckereifiliale	32
Abb. 13.: Imbissläden in der Opernpassage	32
Abb. 14.: Fliedersträucher im Volksgarten	35
Abb. 15 und 16.: Probennahme am Fliederstrauch und bei Parkbank	36

Abb. 17 und 18.: Laufband mit frischgebackenem Tirolerbrot und Probennahme	37
Abb. 19 und 20.: Probennahme Verkaufsregal Bäckerei „Linsbichler“	38
Abb. 21.: Chromatogramm 6-Stunden-Probe Bäckerei „Der Mann“	45
Abb. 22.: 5-Hydroxymethyl-2-Furfural [Römpp Enzyklopädie Online, 2007] ..	51
Abb. 23.: Chromatogramm 6-Stunden-Probe Backstube der Bäckerei „Linsbichler“	56
Abb. 24.: Chromatogramm 6-Stunden-Probe Verkaufsraum Bäckerei „Linsbichler“	64
Abb. 25.: SPME-Messgerät an der Fliederblüte	70
Abb. 26.: Chromatogramm 6-Stunden-Probe Wiener Volksgarten, Fliederstrauch	71
Abb. 27.: Chromatogramm 6-Stunden-Probe Wiener Volksgarten, Parkbank	83
Abb. 28.: Chromatogramm 6-Stunden-Probe Opernpassage	88

1 EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

Diese Arbeit beschäftigt sich, im Rahmen des WWTF-Forschungsprojektes „Tast- und Duftdesign. Ressourcen für die Creative Industries in Wien 2007 - 2010“, mit der chemischen Identifizierung von Düften und Gerüchen bestimmter Wiener Einrichtungen. Das vom Wiener Wissenschafts-, Forschungs- und Technologiefonds (WWTF) geförderte und unter der Leitung von Univ.-Doz. Dr. Mădălina Diaconu vom Wiener Institut für Philosophie stehende Projekt, hat es sich unter anderem zum Ziel gesetzt, herauszufinden, welche Gerüche spezifische Sinnenslandschaften von Wien ausmachen. Verbunden werden kann diese Aufgabe zugleich auch mit der Frage: Gibt es Gerüche, die als typisch wienisch angesehen werden können? Zur Realisierung des Projektes wurde ein achtköpfiges interdisziplinäres Forschungsteam von Kunstphilosophen, Botanikern, Designern, Kunstpädagogen und Chemikern beauftragt [DIRTL, 2007¹]. Der letzten Gruppe - unter Leitung von Univ.-Prof. Mag. Dr. Gerhard Buchbauer – können Inhalt und Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zugeordnet werden, war es doch Aufgabe, Duftanalysen in ausgewählten Wiener Einrichtungen durchzuführen, um dem Projekt somit auch chemische Daten und Fakten zu liefern.

Der Geruch einer Stadt gehört zu einem der wesentlichsten Elemente, was eine urbane Atmosphäre ausmacht [BÖHME, 1998]. Heinz Janisch beschreibt in diesem Zusammenhang Gerüche folgendermaßen: *„Sie sind ein Bestandteil dieser anderen Geographie der Städte, einer Geographie, die auf keiner Landkarte festzumachen ist.“* [JANISCH, 1992, S 16]. So können typische Düfte von Orten unser Unterbewusstsein anregen, Geist und Sinne stimulieren sowie Erinnerungen und Emotionen heraufbeschwören [OHLOFF, 2004]. Gerüche machen es außerdem möglich, Orte zu identifizieren und sich mit diesen auch zu identifizieren [BÖHME, 1998].

Bevor mit den chemischen Analysen begonnen werden konnte, musste sich die Forschungsgruppe also darüber Gedanken machen, welche Gerüche nun ty-

¹ vgl. <http://www.dieuniversitaet-online.at/beitraege/news/der-richtige-wiener-riecher/10.html>, Zugriff: 30.04.2009

pisch für Wien sein könnten und sowohl Touristen und Touristinnen, aber auch der Wiener Stadtbevölkerung im Gedächtnis bleiben. Unter Berücksichtigung der, von der Forschungsgruppe rund um Univ.-Doz. Dr. Mădălina Diaconu gewünschten Untersuchungsorte, entschied man sich, den Flieder- und Rosenduft im Wiener Volksgarten, den Schokoladen- und Lebkuchenduft in der Süßwarenfabrik Josef Manner & Co, den Brotduft in den Bäckereien „Der Mann“ und „Linsbichler“ und den Geruch in der Opernpassage zu analysieren. Vorliegende Arbeit präsentiert die Ergebnisse der Analysen des Fliederduftes, des Brotaromas, sowie des Geruchs in der Opernpassage. Die Ergebnisse der Untersuchungen an der Rosenblüte und in der Manner Fabrik sind Gegenstand der Diplomarbeit von Elisabeth Feuerstein [FEUERSTEIN, 2009].

In weiterer Folge soll kurz erwähnt werden, warum man sich für diese, in der vorliegenden Arbeit, behandelten Forschungsobjekte entschied.

Der Volksgarten - als „Wohlfühloase“ mitten in der Stadt – zieht sowohl Touristen und Touristinnen, als auch die Wiener Bevölkerung an. In den Monaten April und Mai blüht dort der Flieder in vollster Pracht und verströmt seinen Duft. Befragt man Personen nach Gerüchen, die sie mit der Stadt Wien verbinden, findet der Fliederduft als Antwort öfters Erwähnung [DORRER, 2007²].

Brot wurde aus zweierlei Gründen in die Analyse miteinbezogen. Erstens erfreut es sich bei der Wiener Bevölkerung schon immer großer Beliebtheit – was auch folgender Werbespruch aus den 50er-Jahren zeigt:



Abb. 1.: Werbeplakat aus dem Jahr 1953
[WIENBIBLIOTHEK, 2000]

² vgl. <http://www.urbanpilgrims.org/Wien/archiv#q5>, Zugriff: 20.04.09

Zweitens zeichnet sich frischgebackenes Brot nicht nur durch seinen Geschmack, sondern auch durch seinen charakteristischen Geruch aus. Betritt man eine Bäckerei, wird man unwillkürlich mit diesem Duft konfrontiert, gerade beim Besuch solcher Bäckereien, die ihr Brot noch vor Ort backen, wie es z.B. auch die im Zuge für diese Arbeit aufgesuchte Bäckerei „Linsbichler“ in Pötzleinsdorf ist. Betrachtet man also die Geruchslandschaft der Stadt Wien, gehört der Brotduft ohne Frage dazu.

Ziel des Projektes ist es auch, den Geruch bzw. die „Atmosphäre“ öffentlicher Plätze zu charakterisieren. Die Opernpassage, als hoch frequentierter Ort in Wien, eignet sich für dieses Vorhaben sehr gut und wurde daher in die Duft- und Geruchsanalysen typischer Wiener Einrichtungen miteinbezogen.

Das Sammeln der Düfte und Gerüche geschah mithilfe von SPME-Samplern, die Analyse selbst wurde mittels GC-MS-Methode durchgeführt. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte unter Anwendung der zwei Datenbanken NIST und Wiley.

Vorliegende Diplomarbeit soll nun Antworten auf folgende Fragen liefern:

- 1) Welche flüchtigen Duft- und Geruchskomponenten können an ausgewählten Wiener Einrichtungen chemisch nachgewiesen werden? Konkret lassen sich die Fragen wie folgt formulieren:
 - Welche Duftverbindungen des Flieders lassen sich während seiner Blüte im Wiener Volksgarten identifizieren?
 - Können diese Duftkomponenten auch aus weiterer Ferne, bei nicht unmittelbarer Nähe der SPME-Messgeräte an der Geruchsquelle, nachgewiesen werden?
 - Welche Brotaromaverbindungen werden an Orten, wo Brot gebacken wird, angezeigt?
 - Können solche typischen Brotaromaverbindungen auch im Verkaufsraum einer Bäckerei nachgewiesen werden?

- Welche Gerüche werden in der chemischen Analyse der Luft in der Opernpassage identifiziert und bestimmen so die „Atmosphäre“ in eben dieser mit?
- 2) Welche zusätzlichen flüchtigen Verbindungen befinden sich in der Luft der untersuchten Einrichtungen und vervollständigen so das Geruchsprofil dieser Orte?

Die Ergebnisse der durchgeführten Analysen werden in Kapitel 4 „Ergebnisse und Diskussion“ angeführt. Im nun anschließenden Literaturüberblick wird ein Einblick in die völlig unterschiedlichen Themengebiete Brot, Flieder und Opernpassage gegeben. Dieser Teil der Arbeit soll den theoretischen Background liefern und die praktischen Ergebnisse unterstützen.

2 LITERATURÜBERBLICK

2.1 Brot

2.1.1 Die Bedeutung von Brot - früher und heute

Brot gehört seit Jahrtausenden zu den wichtigsten Lebensmitteln überhaupt. Die ersten Brote wurden bereits 10 000 Jahre vor Christus hergestellt [MONDAL und DATTA, 2008]. Die Bedeutung und Funktion von Brot hat sich seither aber drastisch gewandelt. So hatte, der im alten Ägypten getätigte Ausspruch „Wir verdienen unser Brot“ tatsächlich einen realen Sinn, denn damals wurden Leistungen noch mit Brot und anderen Lebensmitteln bezahlt [VON PACZENSKY und DÜNNEBIER, 1999]. Als Zahlungsmittel dient Brot heute nicht mehr, aber für lange Zeit galt es als das Grundnahrungsmittel schlechthin – so auch im Mittelalter. Dort wurde Brot als Sozialhilfe an das arme Volk abgegeben, als arm galt, wer kein Brot zur Verfügung hatte, also brotlos war [EISELEN H, 1995].

Heute stellt Brot ein Grundnahrungsmittel, aber auch ein Genussmittel dar. Es muss nicht mehr gegessen werden um überleben zu können, trotzdem hat Brot seine Bedeutung in der heutigen menschlichen Ernährung noch nicht verloren. Eine Studie des Vereins für Konsumenteninformation (VKI) im Jahr 2000 ergab, dass 58 % der Befragten mehrmals täglich Brot oder Gebäck essen und 31 % (fast) täglich [ELMADFA et al., 2005].

Zu den bevorzugten Brotsorten der Österreicher und Österreicherinnen zählen vor allem Mischbrote gefolgt von Vollkornbrot [SIMONS, 2003]. Das zeigt, dass in Österreich dunkle Brotsorten immer noch lieber gegessen werden, als weiße. Generell variieren die Präferenzen für verschiedene Brotsorten von Land zu Land. In Österreich und Deutschland sind die bevorzugten Brotgetreide Weizen und Roggen, wobei vor allem der Roggen das klassische Brotgetreide darstellt. In diesen Ländern gibt es mehr als 300 verschiedene Brotsorten. Das vielfältige Angebot verdankt man vor allem dem Roggen, der eine individuelle und einfallsreiche Arbeitsweise möglich macht [VREDEN et al., 2008].

In südlichen Gegenden wie zum Beispiel in Spanien oder Frankreich stehen in der Beliebtheitsskala vor allem weiße Brotsorten, wie Baguette, ganz vorne.

2.1.2 Das Bäckertum in Wien

Das Bäckertum kann in Wien auf eine lange Zeit zurückblicken. Die erste dokumentierte, urkundliche Erwähnung der Wiener Bäcker stammt aus dem Jahr 1227. Im Mittelalter gehörten die Bäckermeister zu den wirtschaftlich und sozial besser gestellten Handwerkern, da sie als Funktion die Versorgung der Bevölkerung mit dem wichtigsten Grundnahrungsmittel innehatten. Die Wiener Bäcker genießen ihren guten Ruf in der ganzen Welt seit dem Wiener Kongress. Damals wurde es den Bäckern, durch die Fortschritte im Müllereiwesen und später zusätzlich durch die Erfindung der Presshefe (Mitte 19. Jhdt.) ermöglicht, hochwertige Produkte herzustellen. Die Wiener Bäcker hoben sich vor allem durch ihre Sortenvielfalt von den Bäckern in anderen Großstädten ab. Ende des 19. Jahrhunderts kam es zu den ersten technologischen Fortschritten, die ersten Misch- und Knetmaschinen wurden eingeführt. Ebenso wurde der Holzofen vom Dampfbackofen abgelöst, die Leistungsfähigkeit konnte somit gesteigert werden. Dieses Ereignis geht auch einher mit der Entwicklung der ersten hochtechnisierten Fabriken, die größere Produktionskapazitäten als kleine Bäckereibetriebe erreichen konnten [GRADWOHL; 2002].

Heute gibt es in Wien vier Bäckereigroßbetriebe: „Ankerbrot“, „Der Mann“, „Ferber“ und „Ströck“. Die Anzahl der kleinen Bäckereien ist seit den 50er Jahren stark gesunken - gab es damals noch 700 Bäckereien in der ganzen Stadt, waren es im Jahr 2003 nur mehr 120 [Stadtzeitung „Falter“, 2003³].

Wo die Wiener und Wienerinnen ihr Brot einkaufen ist unterschiedlich. So ergab eine Befragung, dass die meisten (46 %) dieses in einer der Filialen einer Großbäckerei kaufen. 32 % besorgen ihr Brot im Supermarkt, 14 % in einer lokalen Bäckerei [DWORAK, 2003].

³ vgl. Onlineartikel „Krachende Kaisersemmel“: http://www.falter.at/print/F2003_17_3.php, Zugriff: 23.01.09

2.1.3 Ernährungsphysiologische Aspekte von Brot

Aus ernährungsphysiologischer Sicht kann Brot, vor allem Vollkornbrot, als sehr hochwertig angesehen werden. Grundsätzlich führen Mehle mit einem hohen Ausmahlungsgrad zu ernährungsphysiologisch besseren und hochwertigeren Produkten. Grund dafür ist der erhöhte Gehalt an Ballaststoffen, Vitaminen (z.B. *B₁*, *B₂*, *B₆*, *Niacin*) und Mineralstoffen (z.B. *Kalium*, *Calcium*, *Magnesium*). Ein hoher Ausmahlungsgrad liegt dann vor, wenn das ganze Korn (inkl. Schale und Randschicht) vermahlen wird.

Nachstehende Tabelle zeigt einen Vergleich der Nährwertdaten zwischen Roggenmischbrot, Roggenvollkornbrot und Weißbrot.

<i>Lebensmittel je 100 g verzehrbarer Anteil</i>	Roggenmischbrot	Roggenvollkornbrot	Weißbrot
Energie (kcal)	212	195	236
Protein (g)	6,9	7,3	8,2
Fett (g)	1,1	1,2	1,2
Kohlenhydrate (g)	43,7	38,8	48,0
Ballaststoffe (g)	6,2	8,1	3,0
Magnesium (mg)	30	54	24
Kalium (mg)	185	291	130
Thiamin (B ₁) (mg)	0,18	0,18	0,09
Pyridoxin (B ₆) (mg)	0,12	0,30	0,02

Tab 1.: Nährwerttabelle verschiedener Brotsorten [ELMADFA et al., 2001, S 10]

Der durchschnittliche Brotverzehr liegt in Österreich mit 119 g Brot und Gebäck pro Kopf und Tag unter den Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung. Diese empfiehlt täglich 200 – 300 g Brot (5 – 7 Scheiben) zu sich zu nehmen [ELMADFA et al., 2003]. Mit dieser Menge könnten auch die Empfehlungen für die täglich gewünschte Ballaststoffaufnahme (= 30 g/d) leichter erreicht werden. Ballaststoffe sind nicht verdauliche Nahrungsbestandteile, wegen deren positiven Wirkungen auf den menschlichen Körper ein durchaus höherer Verzehr wünschenswert wäre.

Funktionen von Ballaststoffen:

- Längeres Sättigungsgefühl
- Positive Auswirkungen auf den Gastrointestinaltrakt, denn durch die erhöhte Darmtätigkeit kommt es zu einer Verkürzung der Transitzeit im Dickdarm, kanzerogene Substanzen können so nur kurz auf die Darmschleimhaut wirken. Dies zeigt die antikanzerogene Wirkung von Ballaststoffen an.
- Cholesterinsenkende Wirkung
[ELMADFA und LEITZMANN, 2003]

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Brot eine überaus wichtige Rolle in der menschlichen Ernährung innehat. Es fungiert als Energieträger, Stärke-, Ballaststoff- und Proteinlieferant, ist aber zugleich auch eine wichtige Vitamin- und Mineralstoffquelle [ELMADFA et al., 2005].

2.1.4 Brotherstellung und Backprozess - vom Mehl zum Brot

Die Herstellung von Brot wird anhand des Beispiels Roggenbrot veranschaulicht. Folgende Abbildung gibt einen Überblick über die wichtigsten Schritte, die vom Rohstoff Mehl zum fertigen Lebensmittel Brot führen.

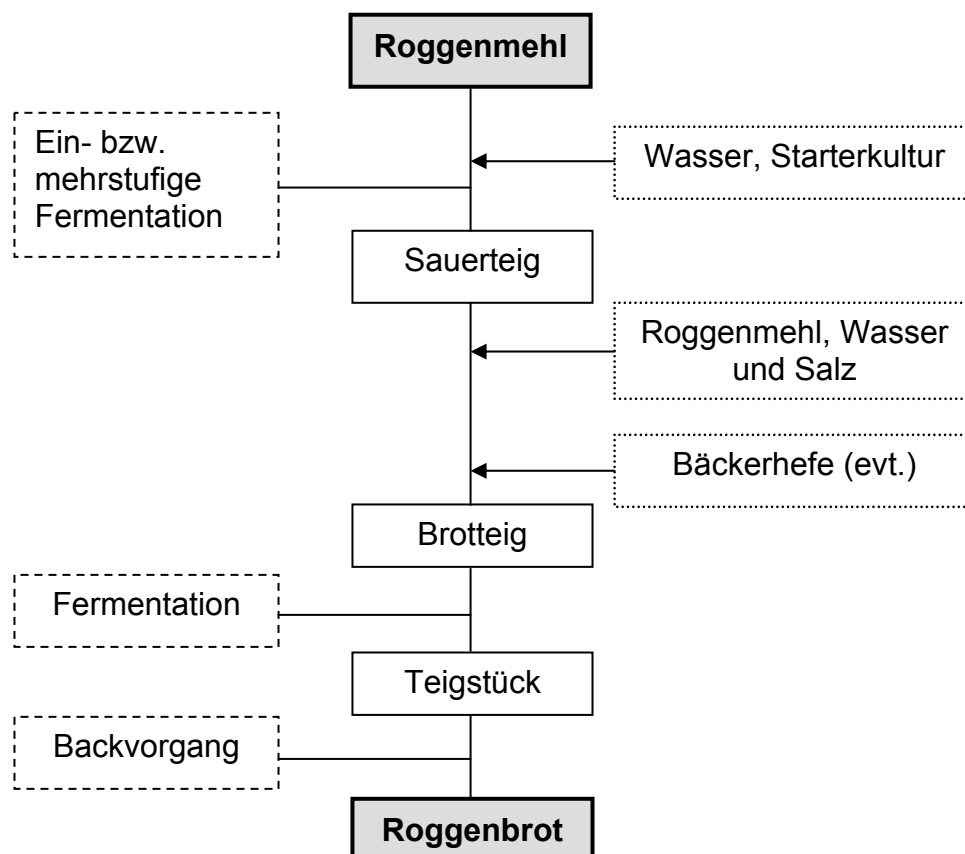


Abb. 2.: Roggenbrotherstellung, modifiziert nach KIRCHHOFF, 2000, S 3

Bei der Verwendung von Roggenmehl wird zwischen Roggenbrot und Roggenmischbrot unterschieden. Bei ersterem ist der Anteil von Roggenmehl 90 % hoch, während bei zweiterem der Gehalt zwischen 50 – 90 % liegt. Den restlichen Anteil bildet Weizenmehl. Um einwandfreie Brote herstellen zu können, müssen bei Roggenmahlerzeugnissen Sauerteig oder Säuerungsmittel verwendet werden [SOBRANEK, 1998]. Grund für diese Notwendigkeit ist die Tatsache, dass sich in Roggenmehl Amylasen befinden, die die Stärke abbauen würden. Die Säuerung führt zu einer Hemmung dieser Enzyme und die Krume kann sich normal ausbilden [SCHÜNEMANN und TREU, 2002].

Sauerteig aus Wasser und Mehl enthält zusätzlich Mikroorganismen, wie Milchsäurebakterien und Hefen, die durch Fermentation Milch- und Essigsäure bilden. Die Bakterien beeinflussen durch ihre Stoffwechselprodukte das Brotaroma auf charakteristische Weise [SOBRANEK, 1998]. Durch den Sauerteig erreicht man daher neben der Lockerung auch die Ausbildung eines säuerlich-aromatischen Geschmacks des Brotes [MEUSER et al., 1995].

Das Verhältnis von Milch- und Essigsäure sollte bei 80:20 liegen [BELITZ et al., 2008⁴]. Es bestimmt den Charakter eines Brotes, stellt aber nur einen Richtwert dar. Roggenbrot kann so zum Beispiel mehr Essigsäure enthalten, um seinen typischen rustikalen Geschmack zu erhalten [LUBIG, o.J.⁵].

Das Brotaroma wird außerdem, von der Art und Weise wie man den Sauerteig führt, beeinflusst, wobei zwischen der ein-, zwei- und dreistufigen Führung unterschieden wird. Letztere dauert zwischen 16 und 24 Stunden und berücksichtigt die unterschiedlichen Anforderungen von Hefe und Bakterien an Temperatur (ca. 26°C bzw. 35°C) und Feuchtigkeit. Die zwei- und einstufigen Führungen sind nur für die Säuerung des Teiges bestimmt [Römpp Enzyklopädie Online, 2007⁶]. Es gilt als bewiesen, dass das Aroma von Roggenbrot intensiver ist, wenn der Sauerteig in drei Stufen geführt wird [SCHIEBERLE und GROSCH, 1987].

⁴ vgl. Kapitel 15.4.2.2. Sauerteigführung in „Lehrbuch der Lebensmittelchemie“, S 709

⁵ vgl. <http://www.lubig.com/index.php?pageID=20060406095135&subpageID=20060406045110>, Zugriff: 03.02.09

⁶ vgl. Abschnitt Sauerteig

Sauerteigfermentation und Backprozess sind die entscheidenden Schritte für die Ausbildung eines charakteristischen Brotaromas [SCHIEBERLE, 1996]. Welche chemischen Vorgänge finden nun während der Bildung von Krume und Kruste statt? Wenn im Backofen Temperaturen von 50°C herrschen, produziert die Hefe CO₂ und Ethanol, wodurch sich aufgrund der Gasentwicklung das Volumen des Teiges um ca. 40 % erhöht. Die Oberfläche nimmt um ca. 10 % zu. Für die Krumenbildung sind zwei Hauptprozesse verantwortlich – Stärkeverkleisterung und Proteingerinnung. Die Verkleisterung der Stärke geschieht mithilfe von Amylasen, deren Enzymaktivität bei Temperaturen zwischen 60 und 70°C am höchsten ist. Zur Verkleisterung wird Wasser benötigt, das bei der Verwendung von Roggenmehl aus den Pentosanen stammt. Bei der Gerinnung des Proteins wird ebenso Wasser frei, das ebenfalls für die Verkleisterung zur Verfügung steht. Die Proteingerinnung selbst stellt den zweiten Hauptprozess bei der Krumenbildung dar. Das Eiweiß gerinnt bei Temperaturen zwischen 60 und 80°C. Wenn in der Krume schließlich die Wasserdampftemperatur (100°C) erreicht wird, kommt es zum Verdampfen des Teigwassers. Am Rand des Teiges verdampft das Wasser schneller, da hier höhere Backtemperaturen als im Inneren des Brotes einwirken. Nun setzen Reaktionen ein, die zur Ausbildung der Brotkruste führen. So kommt es bei Temperaturen über 100°C zum Ablauf der so genannten nichtenzymatischen Bräunungsreaktion (= *Maillard Reaktion*⁷). Weiters setzen bei Temperaturen über 150°C Karamellisierungsreaktionen ein, die Einfluss auf Farbe und Aroma des Brotes haben, ab 180°C entstehen schließlich dunkle Farbstoffe und Röstbitterstoffe. Ein gutes aromareiches Brot sollte mindestens eine 5 mm starke Kruste aufweisen, da sich gerade in der Kruste die meisten und intensivsten Aromastoffe bilden. Weiters ist das erste Drittel des Backprozesses besonders entscheidend, denn hohe Anbacktemperaturen lassen die Teigoberfläche rasch abtrocknen und sind Voraussetzung für ein gutes Backergebnis [Römpf Enzyklopädie Online, 2007⁸; SCHÜNEMANN und TREU, 2002; SKOBRANEK, 1998].

⁷ näheres dazu in Kapitel 2.1.5

⁸ vgl. Abschnitt Backprozess

2.1.5 Die Maillard-Reaktion

Für die Bräunung und Krustenbildung des Brotes während des Backens und der damit verbundenen Aromenbildung ist die so genannte Maillard-Reaktion (=nichtenzymatische Bräunung) verantwortlich. Namensgebend ist dessen Entdecker Louis-Camille Maillard, der erstmals 1912 über diesen komplexen Reaktionsprozess berichtete. Man weiß, dass diese Reaktion in erhitzten, getrockneten und gelagerten Lebensmitteln auftritt und zu Veränderungen in der Farbe, in Geschmack und Geruch und im Nährwert des Lebensmittels führt [FAY und BREVARD, 2004]. Diese Auswirkungen können positiver Natur sein, wie z.B. die Bildung von Röstaromen während des Backprozesses, aber sie können sich auch negativ z.B. durch Bildung von Fehlaromen bei der Lagerung von Lebensmitteln auswirken. Die Komplexität der Reaktion ergibt sich aus der Vielzahl von Verbindungen, die im Zuge der Maillard-Reaktion gebildet werden. Dazu zählen auch viele flüchtige Aromastoffe, die sich auf folgende Stoffklassen aufteilen lassen: Carbonylverbindungen, Pyranone, Furanone, Thiole, Thioether, Di- und Trisulfide, Thiazole, Pyrrole, Pyridine, Pyrazine, Amine und Phenole [BELITZ et al., 2008⁹].

Die Maillard-Reaktion wird eingeleitet, wenn man protein- und kohlenhydrathaltige Lebensmittel erhitzt. Reduzierende Zucker reagieren dann mit stickstoffhaltigen Verbindungen wie zum Beispiel Aminosäuren. Es folgt eine Vielzahl von Reaktionsschritten, die in drei Phasen - Initialstadium, Intermediärstadium und Finalstadium - eingeteilt werden [NURSTEN, 2005].

Im Initialstadium kommt es zur Bildung von *Glykosylamin*. Dieses entsteht unter Wasserabspaltung, wenn die Carbonylgruppe des reduzierenden Zuckers mit einer Aminogruppe reagiert. Aufgrund der hohen Instabilität von Aldosylaminen (Ausgangsprodukt: D-Glucose) kommt es zu einer raschen intramolekularen Umwandlung, auch Amadori-Umlagerung genannt, dabei entstehen relativ stabile *Aminoketos*en. Analog dazu wird die Umwandlung von Ketosylaminen

⁹ vgl. Kapitel 5.3.1 Nichtenzymatische Reaktionen in „Lehrbuch der Lebensmittelchemie“, S 366 - 382

(Ausgangsprodukt: D-Fructose) in *Aminoaldosen* als Heyns-Umlagerung bezeichnet.

In der fortgeschrittenen Phase oder im Intermediärstadium bilden sich aus den Amadori-Produkten durch Enolisierung α -Dicarbonylverbindungen. Diese reagieren unter anderem mit Aminosäuren weiter. Im Rahmen dieses Reaktionsschrittes, der auch **Strecker-Abbau** genannt wird, entstehen reaktive Aldehyde (= Strecker-Aldehyde), die aromaaktive Eigenschaften besitzen:

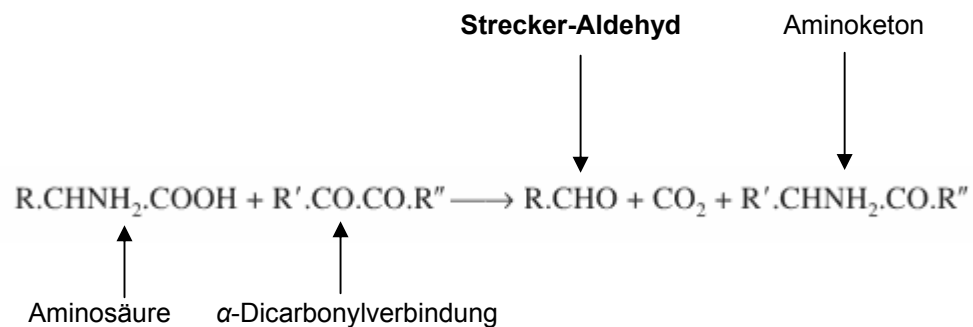


Abb. 3.: Reaktionsablauf Strecker-Abbau [NURSTEN, 2005]

Aminosäure	Strecker-Aldehyd	Aroma
Glycin	Formaldehyd	Mäuseurin, esterartig
Alanin	Acetaldehyd	stechend, fruchtig
Valin	2-Methylpropanal	malzig
Leucin	3-Methylbutanal	malzig
Isoleucin	2-Methylbutanal	malzig
Phenylalanin	Phenylacetaldehyd	honigartig, blumig

Tab. 2.: Strecker-Aldehyde und deren Aroma [Römpp Enzyklopädie Online, 2007¹⁰, BELITZ et al., 2008¹¹]

¹⁰ vgl. Abschnitt Maillard-Reaktion

¹¹ vgl. Tab. 5.16. in „Lehrbuch der Lebensmittelchemie“, S 367

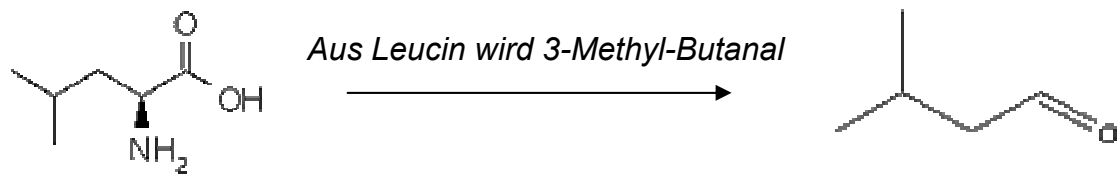


Abb. 4.: Streckerabbau von Leucin¹²

Ein weiteres Produkt des Strecker-Abbaus ist ein *Aminoketon*, das durch Cyclisierungsreaktionen zu aromaaktiven Heterocyclen wie *Furanen*, *Pyrazinen* und *Imidazolen* weiterreagieren kann [ROUSSEV, 2003]. So weisen in etwa Pyrazine extrem niedrige Geruchsschwellen auf und leisten daher einen großen Beitrag für das Aromaprofil eines Lebensmittels [Römpp Enzyklopädie Online, 2007¹³]. Des Weiteren können sich aus den Amadori-Verbindungen *Hydroxymethylfurfural* oder *Furfural* bilden, die als Indikatoren für die thermische Behandlung von Lebensmitteln dienen [AIT AMEUR et al., 2008].

In der letzten Phase, im Finalstadium, kommt es durch Kondensations- und Polymerisationsreaktionen zur Ausbildung von hochmolekularen Verbindungen, den *Melanoidinen*. Diese braun gefärbten Polymere sind für die, während des Backens entstehende Färbung des Brotes, verantwortlich.

Die Maillard-Reaktion kann durch Variation der Parameter Zeit, Temperatur, Wassergehalt oder pH-Wert gezielt gesteuert werden [ROUSSEV, 2003].

Nachfolgende Grafik (Abb. 4) soll die verschiedenen Bildungswege der zahlreichen flüchtigen Aromakomponenten, die im Zuge der Maillard-Reaktion entstehen, veranschaulichen.

¹² Grafikquellen: Leucin: <http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/bio/aminoacid/leucin.html>, Zugriff: 18.02.09, 3-Methyl-Butanal:

http://chemfinder.cambridgesoft.com/result.asp?mol_rel_id=590-86-3, Zugriff: 18.02.09

¹³ vgl. Abschnitt Maillard-Reaktion

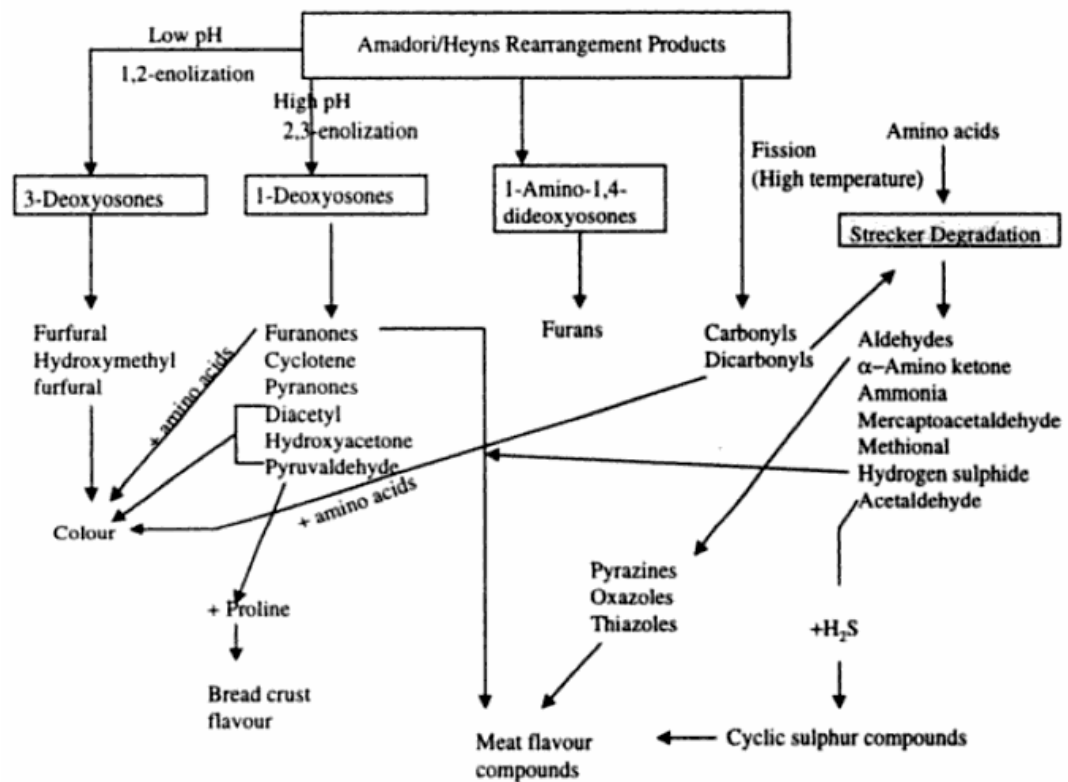


Abb. 5.: Bildungswege von Schlüsselaromastoffen in der Maillardreaktion [O'BRIAN et al., 1998]

2.1.6 Aromastoffe in Brot

Aromastoffe sind flüchtige Verbindungen, die sowohl nasal als auch retronasal wahrgenommen werden können. Die nasale Wahrnehmung kennzeichnet sich durch das Riechen mit der Nase, während retronasale Wahrnehmung während des Essens und Trinkens über den Rachenraum geschieht. Zusammen mit nicht flüchtigen Geschmacksstoffen, wie beispielsweise Salz und Milchsäure tragen sie in Lebensmitteln, wie Brot zum sensorischen Gesamteindruck [„Flavo(u)r“] bei [Römpp Enzyklopädie Online, 2007¹⁴].

Seit nun mehr als 40 Jahren beschäftigt man sich mit der Erforschung jener Aromaverbindungen, die für das charakteristische Aroma von Brot verantwortlich sind. Hunderte von flüchtigen Bestandteilen konnten bereits identifiziert werden, wobei sich diese je nach Brotsorte unterscheiden können [HANSEN und SCHIEBERLE, 2005]. Im Folgenden wird näher auf die charakteristischen Aromastoffe von Roggenbrot eingegangen. In der Roggenbrotkrume und -kruste wurden laut der Datensammlung von Nijssen et al. bisher 99 Verbindungen nachgewiesen.

Substanzklasse	Anzahl Verbindungen
Aldehyde/Carbonyle	17
Säuren	16
Alkohole	15
Basen	14
Ester	10
Furane	9
Ketone	7
Laktone	3
Schwefelverbindungen	3
Phenole	2
Sonstige Verbindungen ¹⁵	3

Tab. 3.: Flüchtige Aromaverbindungen in Roggenbrot [NIJSSEN et al., 1996]

¹⁴ vgl. Abschnitt Aromastoffe

¹⁵ Kohenwasserstoffe, Epoxide, Pyrane

Das Aromaprofil von Brot wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. So haben bereits die verwendete Mehltypen und andere Zutaten, aber auch Fermentationstyp und Produktionsprozess Einfluss darauf [QUÍLEZ et al., 2006].

Im Roggenmehl (Typ 1150) können mittels Isotopenverdünnungsanalyse flüchtige Geruchsstoffe mit hohen FD-Faktoren (= Flavour Dilution; Verdünnungsfaktor) nachgewiesen werden, wie beispielsweise *1-Octen-3-on*, *Methional* und *E-2-Nonenal* [KIRCHHOFF und SCHIEBERLE, 2002].

Während der Sauerteigfermentation bilden sich vor allem die für die Brotkrume charakteristischen Geruchsverbindungen aus. Dabei hat die Aktivität der Milchsäurebakterien und der Hefe im Sauerteig, beeinflusst durch Temperatur und Wassergehalt, einen entscheidenden Einfluss darauf. Bei hoher Aktivität werden viele Aromavorstufen, wie freie Aminosäuren freigesetzt, dies beweist der signifikante Anstieg von freien Aminosäuren während der Sauerteigfermentation. Diese Aminosäuren reagieren im Rahmen der Aminosäuregärung („*Ehrlich pathway*“) weiter zu geruchsaktiven Aldehyden oder den entsprechenden Alkoholen [HANSEN und SCHIEBERLE, 2005].

Eine quantitative Analyse von Aromastoffen in Roggensauerteig (Roggenmehl Typ 1150) zeigt, dass während der Fermentation vor allem die Konzentrationen von *3-Methylbutanal*, *3-Methylbutanol*, *2,3-Butandion* (= *Diacetyl*) und *Essigsäure* stark ansteigen, wobei die ersten zwei Verbindungen dem Ehrlich-Mechanismus zugeordnet werden können [KIRCHHOFF und SCHIEBERLE, 2002]. Die zwei letzteren Verbindungen sind Fermentationsprodukte der Mikroorganismenflora [KIRCHHOFF, 2000].

Untersuchungen an der Roggenbrotkrume selbst zeigen, dass manche der geruchsaktiven Verbindungen während des Backprozesses mehr, andere wieder weniger werden. So ist zum Beispiel der Gehalt von Essigsäure in der Krume um 60 % niedriger, als im fermentierten Brotteig. Im Gegensatz dazu steigt der Gehalt von *Methional* während des Backens noch weiter an, Grund dafür ist der währenddessen stattfindende Strecker-Abbau¹⁶ [HANSEN und SCHIEBERLE, 2005].

¹⁶ Siehe dazu Kapitel 2.1.5

Folgende Tabelle zeigt die wichtigsten Verbindungen, die zum Krumenaroma von Roggenbrot beitragen.

Verbindungen	Geruchseigenschaft
3 – Methylbutanal	malzig
(E)-2-Nonenal	grün, fettig
(E,E)-2,4-Decadienal	fettig, wachsig
Hexanal	grün
Essigsäure	sauer, stechend
Phenylacetaldehyd	honigartig
Methional	gekochte Kartoffel
Vanillin	Vanille
2,3-Butandion	buttrig
3-Hydroxy-4,5-dimethyl-2(5H)-furanon	würzig
2- und 3-Methylbutansäure	schweißig

Tab. 4.: Flüchtige Verbindungen in der Roggenbrotkrume [KIRCHHOFF und SCHIEBERLE, 2001]

80 % des Brotaromas werden der Brotkruste zugeschrieben [CAUVAIN, 2007].

Aromastoffe mit hohen FD-Faktoren in der Roggenbrotkruste sind:

Verbindungen	Geruchseigenschaft
Methional	gekochte Kartoffel
2-/3-Methylbutanal	malzig
Phenylacetaldehyd	honigartig
2-Furanmethanthiol	röstig, kaffeeartig
(Z)-4-Heptenal	bisquitartig, fettig
2,3-Diethyl-5-methylpyrazin	kartoffelartig
Dimethyltrisulfid	faulig, schimmelig
Furaneol	karamellartig
1-Octen-3-on	pilzig
(Z)-1,5-Octadien-3-on	Geranie
(E)- β -Damascenon	Bratapfel, blumig, Rose

Tab. 5.: Flüchtige Verbindungen in der Roggenbrotkruste [KIRCHHOFF, 2000]

In der Kruste können Verbindungen nachgewiesen werden, die im Zuge von Maillard-Reaktion und Karamellisierungsreaktionen entstehen, dazu zählen etwa *2-Furanmethanthiol* und *Furaneol*. Ebenso kommt es in der Kruste - verglichen zur Krume - zu einer signifikanten Erhöhung der Streckeraldehyde *Methional*, *2-/3-Methylbutanal* und *Phenylacetaldehyd* [KIRCHHOFF, 2000].

2.2 Flieder

2.2.1 Allgemeines über den Flieder – Botanik und Geschichte

Die Pflanzengattung Flieder (*Syringa*) wird in die Familie der Ölbaumgewächse (*Oleaceae*) eingeordnet und enthält ca. 20 verschiedene Arten [YEON OH, 2008]. Zu der bekanntesten und ältesten Art zählt der Gemeine Flieder (*Syringa vulgaris*), der schon vor mehr als 500 Jahren kultiviert wurde [FIALA und VRUGTMAN, 2008¹⁷].

Die Blütenfarbe von „*Syringa vulgaris*“ war ursprünglich helllila, durch spätere Züchtungen entstanden aber auch Sorten mit anderen Farben, wie weiß, hellrosa bis –blau, und dunkellila. Wie die unten stehende Abbildung zu erkennen gibt, stehen die einzelnen Blüten dicht beieinander und ergeben bis zu ca. 30 cm lange Rispen [Institut für Veterinärpharmakologie und -toxikologie, o.J.¹⁸].



Abb 6.: Weiße Fliederdolden [SCHAUPP, 2008]

¹⁷ vgl. Kapitel 1 In: Lilacs – A Gardener's Encyclopedia, S 21

¹⁸ vgl. http://www.vetpharm.uzh.ch/reloader.htm?giftdb/pflanzen/0189_bot.htm?inhalt_c.htm,
Zugriff: 05.03.09

Flieder kann als buschartiger Strauch bis zu sechs Meter hoch werden, es gibt aber auch einige kleinere Baumzüchtungen. Neben den doldenartigen Blütenständen trägt er viele oval- bis herzförmige Blätter [Schweizer Blumenbörse, 2004¹⁹].

Die Blühzeit von Flieder variiert von Sorte zu Sorte, so sind die Angaben in der Literatur auch unterschiedlich. Als Hauptblühzeiten können aber die Monate April, Mai und Juni angesehen werden. In dieser Arbeit wurde mit den Analysearbeiten Ende April begonnen, da der Flieder zu dieser Zeit (Frühjahr 2008) schon in voller Blüte stand.

Die Ursprünge von Flieder liegen sowohl in Europa, als auch in Asien. Zur Heimat von „*Syringa vulgaris*“ zählen vor allem die südöstlichen Regionen von Europa, wie etwa einige Balkanstaaten z.B. des ehemaligen Jugoslawiens (Serbien, Mazedonien) oder Moldawien [FIALA und VRUGTMAN, 2008²⁰]. Ein osmanischer Ursprung lässt sich auch sprachhistorisch belegen, denn der Name „leylac“ weist auf türkisch-arbische und der Name „argovan“ auf persische Wurzeln hin [Freie Universität Berlin, 2002²¹].

Seinen Weg nach Mitteleuropa, fand der Flieder im 16. Jahrhundert. Ein Botschafter von Ferdinand I., damaliger Kaiser des Heiligen Römischen Reiches, beschenkte seinen Vorgesetzten mit einer Fliederpflanze, die er von seinem Aufenthalt in Istanbul aus dem Garten des Sultans mitbrachte. Die weitere Verbreitung des Flieders in den Gärten Mitteleuropas wurde durch mehrere Vorteile, wie dem Aussehen, dem Duft und die leichten Fortpflanzungsmöglichkeiten, begünstigt [FIALA und VRUGTMAN, 2008²²].

Ende des 19. Jahrhunderts begann der französische Pflanzenzüchter Victor Lemoine mit der Züchtung neuer Fliedersorten. Zu den ersten dieser Züchtun-

¹⁹ vgl. <http://www.blumenboersen.ch/archiv/monatspflanze-flieder.htm>, Zugriff: 05.03.09

²⁰ vgl. Kapitel 2 In: Lilacs – A Gardener's Encyclopedia, S 37

²¹ vgl. <http://www.uni-protokolle.de/nachrichten/id/1376/>, Zugriff: 05.03.09

²² vgl. Kapitel 2 In: Lilacs – A Gardener's Encyclopedia, S 38

gen zählt der Hybride „*Syringa hybrida hyacinthiflora plena*“ – eine Kreuzung von *S. vulgaris* „*Azurea plena*“ und *S. oblata*. In weiterer Folge entstanden ca. 2000 zusätzliche Sorten, die von „*Syringa vulgaris*“ abstammen. Diese unterscheiden sich z.B. in Farbe, Blütenform und Wachstumseigenschaften [FIALA und VRUGTMAN, 2008²³].

Einigen Fliedersorten wird eine antimikrobielle, antipyretische und antiviruelle Wirkungsweise zugesprochen, was man sich auch in der Medizin zu Nutze macht. Ebenso wird eine positive Wirkung auf Leber und Gallenblase beschrieben [ZHAO et al., 2005].

2.2.2 Der Flieder und Wien

Wie oben erwähnt, gelangte der Flieder von Istanbul zuerst nach Wien - schon rein historisch, kann daher eine enge Verbundenheit mit Wien gesehen werden. Aber auch in der klassischen Musik werden der Flieder und Wien thematisiert – so bringt der Wiener Komponist Johann Strauß in seiner Komposition „*Draußen in Sievering blüht schon der Flieder*“ diesen, mit dem im 19. Bezirk gelegenen Wiener Stadtteil, wie folgt in Zusammenhang:

*„Draußen in Sievering blüht schon der Flieder,
merkst du's, spürst du's, hast du's gesehn?
So eine Frühlingsnacht kommt nicht bald wieder,
heute fühl' ich, muss was geschehn.“*
[STRAUSS nach OHLOFF, 2004²⁴]

²³ vgl. Kapitel 1, 2 und 10 In: Lilacs – A Gardener's Encyclopedia, S 22, 42 und 271

²⁴ vgl. Kapitel 4 In: Düfte – Signale der Gefühlswelt, S 76

In den Monaten April und Mai kann man sich auch selbst ein Bild über den Flieger in Wien machen. So blüht er in vielen Gärten und Parkanlagen Wiens, wie zum Beispiel im Volksgarten, der durch seine zentrale Lage am Ring von vielen Touristen besucht wird. Dass den Besuchern und Besucherinnen der diversen Gärten in Wien der Fliegerduft in Erinnerung bleibt, zeigt auch eine Befragung auf der Homepage „urbanpilgrims.org“. Dieses Online-Archiv untersucht, welche Orte, Bilder und Momente mit einer Stadt verbunden werden. So wird unter anderem folgende Frage gestellt: *„Gibt es für Dich einen bestimmten Geruch oder einen Geschmack in Verbindung mit Wien, an den Du Dich intensiv erinnerst? Wenn ein Ort damit verknüpft ist, nenne ihn.“* Als Antwort auf diese Frage wird mehrmals der Fliegerduft (zB im Stadtpark oder am Heldenplatz) genannt [DORRER, 2007²⁵].

Wie jede Stadt, versucht auch Wien, typische Stadtgerüche durch gezielte Geruchsumwandlungen zu ändern. So werden etwa Mülldeponien mit Bäumen und Sträuchern bepflanzt oder Friedhöfe wie Parkanlagen angelegt. Bei der Neugestaltung von Parkanlagen wird auf eine ausreichende Bepflanzung, die auch olfaktorische Sinneseindrücke hinterlassen soll, Acht gegeben. Ein Beispiel dafür ist der Umbau des Urban-Loritz-Platzes, wo im angrenzenden Park mehrere Kräuterbeete angelegt wurden [PAYER, 2007].

Ein gutes Beispiel für eine Geruchsveränderung mit Hilfe von Fliegerpflanzen ist der im 3. Bezirk gelegene St. Marxer Friedhof. An keinem anderen Ort in Wien blüht der Flieger auf so engem Raum wie hier. Durch den Fliegerduft wird der Besuch des Friedhofes zu einem olfaktorischen Erlebnis [Wiener Stadtgärten, o.J.²⁶].

²⁵ vgl. <http://www.urbanpilgrims.org/Wien/archiv#q5>, Zugriff: 09.03.09

²⁶ vgl. <http://www.wien.gv.at/umwelt/parks/anlagen/friedhof-st-marx.html>, Zugriff: 09.03.09

2.2.3 Der Fliederduft

Eine Besonderheit des Flieders ist sein charakteristischer Duft. Damit dieser auch wahrgenommen werden kann, müssen die Duftmoleküle bestimmte Eigenschaften aufweisen – dazu zählen etwa ein geringes Molekulargewicht, sowie ein hoher Dampfdruck [KNUDSEN und GERSHENZON, 2006].

Allgemein werden dem Blütenduft spezielle Funktionen zugewiesen. So tritt er, zusammen mit der Färbung der Blüte, als Hauptsignal für Insekten auf, um diese für die Bestäubung anzulocken. Die chemische Zusammensetzung der flüchtigen Duftbestandteile bestimmt auch, welche Insekten angelockt werden [DA SILVA et al., 1999]. Untersuchungen ergaben außerdem, dass die flüchtigen Duftkomponenten, die Blume auch vor Fressfeinden schützt, was auf antipathogene Eigenschaften einiger flüchtiger Verbindungen zurückgeführt wird [LI et al., 2006].

Der Blumenduft setzt sich aus einer Reihe verschiedener chemischer Komponenten zusammen, so sind bis dato mehr als 1700 verschiedene, für den Blütenduft verantwortliche, Verbindungen bekannt. Analysen ergaben, dass die Duftkomponenten vor allem drei chemischen Gruppen zugeordnet werden können – den Terpenen, den aliphatischen Verbindungen sowie den Benzenen. Die größte Gruppe davon sind die Terpene und Terpenderivate - denn bisher wurden insgesamt 556 Terpene, die im Blütenduft eine Rolle spielen, identifiziert [KNUDSEN und GERSHENZON, 2006]. Auch der Fliederduft enthält eine Reihe dieser Substanzen, wie etwa *α -Pinen*, *β -Pinen*, *Sabinen*, *Myrcen*, *Limonen*, *Eucalyptol*, *cis-Ocimen*, *Terpinolen*, *Linalool*, *α -Terpineol*, *Fliederaldehyd(+ Isomere)*, *Fliederalkohol (+ Isomere)*, *α -Farnesen* [LI et al., 2006].

Aufgrund ihrer hohen Präsenz im Blütenduft, wird im Folgenden nun näher auf die Chemie der Terpene eingegangen.

2.2.3.1 Chemie der Terpene

Terpene bestehen aus mindestens zwei oder mehr Isopreneinheiten (= 2-Methyl-1,3-Butadien), die durch Kopf-Schwanz-Verknüpfung miteinander verbunden sind.

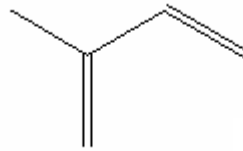


Abb. 7.: Terpengrundgerüst

Die Einteilung der Terpene erfolgt nach ihrer Molekülgröße, also nach der Anzahl ihrer Isopreneinheiten.

Verbindung	Isopreneinheiten	C-Atome
Monoterpene	2	10
Sesquiterpene	3	15
Diterpene	4	20
Sesterterpene	5	25
Triterpene	6	30
Tetraterpene	8	40

Tab. 6.: Einteilung der Terpene

Weiters werden die Terpene nach ihren Cyclisierungsgrad (acyclisch oder mono-, bi-, tricyclisch) und ihrer angehängten funktionellen Gruppe eingeteilt.

Zu den Duft- und Riechstoffen von Pflanzen zählen vor allem Mono- und Sesquiterpene. Bei ersteren treten neben acyclischen Verbindungen (zB Linalool, E-β-Ocimen) auch monocyclische (zB Limonen), und bicyclische Monoterpene (zB α-Pinen) auf. Ein mögliches Sesquiterpen – auch hier gibt es cyclische und

acyclische Vertreter - ist α -Farnesen, das auch im Fliederduft nachgewiesen werden kann.

In der Natur treten Terpene als Kohlenwasserstoffe, Alkohole, Ether, Aldehyde, Ketone, Carbonsäuren und Ester auf [BREITMAIER, 2006; CROTEAU, 1987; SCHWAB et al., 2008].

2.2.3.2 Terpenbiosynthese

Die Hauptbildungsorte für flüchtige Terpene in der Pflanze sind die Plastiden und das Cytosol. Es wird zwischen zwei Biosynthesewegen unterschieden, dem Mevalonsäureweg („MVA-pathway“) und dem 2C-Methyl-D-erythritol-4-Phosphat-Weg („MEP-pathway“). Der „MVA-pathway“ läuft vor allem im Cytosol ab und wird nach seiner, im Zuge der Terpenbiosynthese auftretenden Zwischenstufe Mevalonsäure, benannt. Dieser Bildungsweg ist bereits über 50 Jahre bekannt. Der in den Plastiden ablaufende alternative Terpenbiosyntheseweg - „MEP-pathway“ - wurde erstmals Mitte der 90er-Jahre beschrieben²⁷ [BOUVIER et al., 2005; PHILLIPS et al., 2008].

Ausgangspunkt für den Mevalonsäureweg sind zwei *Acetyl-CoA* Einheiten, die miteinander kondensieren. An das dabei entstehende *Acetoacetyl-CoA* wird nun durch „Aldol-Kondensation“ eine weitere *Acetyl-CoA* Einheit angehängt, wobei als erste Zwischenstufe *β -Hydroxy- β -methylglutaryl-CoA* entsteht. Nun erfolgt die Reduktion zu *Mevalonsäure* - aus der sich in weiterer Folge *Isopentenylidiphosphat (IDP)* – eine wichtige Vorstufe aller isoprenoiden Produkte (auch „aktives Isopren“ genannt) - bildet. Aus IDP wird danach durch Isomerisierung *Dimethylallyldiphosphat (DMADP)*, und durch Verknüpfung dieser beiden Isomere, erfolgt die Bildung der Stammverbindung aller Monoterpene – *Geranyldiphosphat (GDP)*. Durch Anhängen eines weiteren IDP's, entsteht die

²⁷ Für den alternativen Biosyntheseweg werden in der Literatur verschiedene Bezeichnungen angegeben – so ist zB „DXP-pathway“ (das für 1-Deoxy-D-Xylulose-5-Phosphat steht) eine weitere mögliche Benennung.

Stammverbindung der Sesquiterpene – *Farnesyldiphosphat (FDP)* [BREITMAIER, 2006].

Im alternativen Biosyntheseweg von Terpenen („MEP-pathway“) sind die Ausgangsverbindungen *Glyceraldehyd-3-Phosphat* und *Pyruvat*. Auch hier entsteht schlussendlich IDP, aus dem sich in weiterer Folge wieder GDP und FDP bilden können [PHILLIPS et al., 2008; BOUVIER et al., 2005].

Folgende Abbildung soll die in der Pflanze möglichen, stattfindenden Terpenbiosynthesewege veranschaulichen. Es zeigt auch den möglichen Austausch von IPP zwischen den zwei Kompartimenten an (= „metabolic crosstalk“) [SCHUHR et al., 2003].

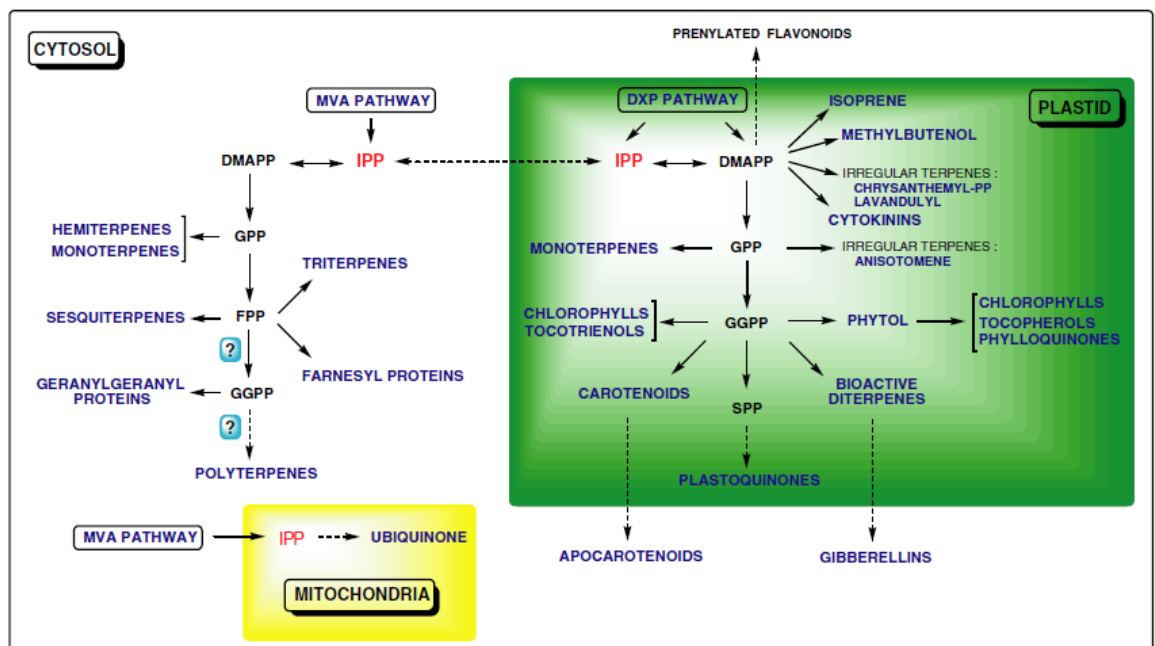


Fig. 1. Overview of isoprenoid biosynthesis and compartmentation in plants. *Abbreviations.* DMAPP, dimethylallyl diphosphate, DXP, 1-deoxy-D-xylulose-5-phosphate; FPP, farnesyl diphosphate; GGPP, geranylgeranyl diphosphate; GPP, geranyl diphosphate; IPP, isopentenyl diphosphate; MVA, mevalonate and SPP, solanesyl diphosphate.

Abb 8.: Terpenbiosyntheseweg in der Pflanze [BOUVIER et al., 2005]

Die Cyclisierung der Terpene geschieht mithilfe von Terpen-Synthasen. Aufgrund ihrer meist cyclischen Produkte, werden sie auch Terpen-Cyclasen genannt. Eine gemeinsame, besondere Eigenschaft dieser verschiedenen Synthasen, ist die Tendenz, aus einem einzigen Substrat mehrere verschiedene Produkte zu bilden [DUDAREVA und PICHERSKY, 2006]. Auch physikalische und chemische Ähnlichkeiten, wie Metallionen als Cofaktoren (zB Mg^{2+} oder Mn^{2+}) oder die Cyclisierungsreaktion mittels elektrophilem Angriff, sind zu sehen [TRAPP und CROTEAU, 2001; BOHLMANN et al., 1998]. Die Forschung ist in diesem Bereich noch nicht stark fortgeschritten. Das erste isolierte Gen war die Linalool-Synthase (LIS) aus „*Clarkia breweri*“ (= Feenfächer-Clarkie), welches den acyclischen Monoterpen-Alkohol Linalool, bildet. Weitere, aus verschiedenen Blumensorten isolierte Terpen-Synthasen, sind die Germacren-D-Synthase, die (E)- β -Ocimen-Synthase (OCI), zwei β -Myrcen-Synthasen (MYR) und die 1,8-Cineol-Synthase (CIN) [ROEDER et al., 2007].

Folgende Abbildung veranschaulicht den Cyclisierungsprozess von Terpenen mittels elektrophilem Angriff.

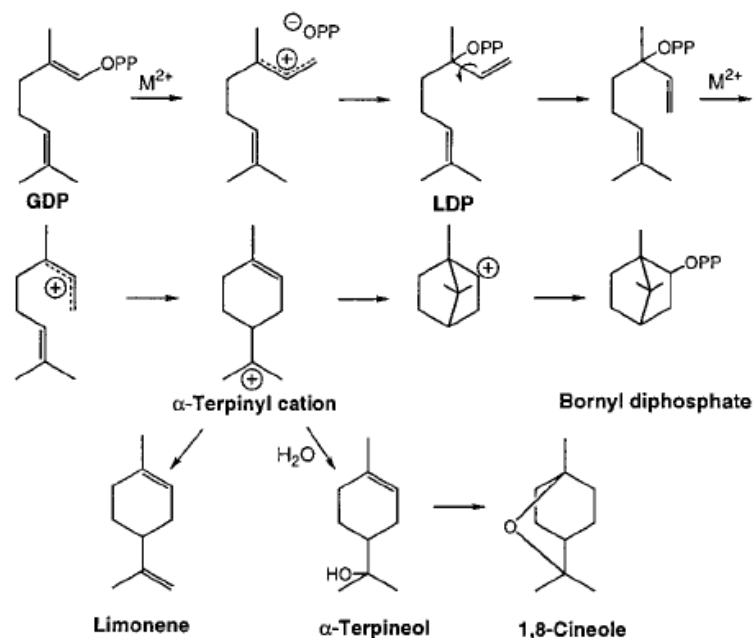


Abb 9.: Bildung von Monoterpenen mittels Cyclisierung von GDP [BOHLMANN et al., 1998]

2.2.3.3 Fliederaldehyd und Fliederalkohol

Die für den Fliederduft charakteristischen Monoterpenverbindungen sind **Fliederaldehyd** (= 2-(1'-Formyl)-ethyl-5-methyl-5-vinyl-tetrahydrofuran) und **Fliederalkohol** (= 2-(1'-Hydroxymethyl)-ethyl-5-methyl-5-vinyl-tetrahydrofuran), sowie ihre jeweiligen Isomere [OH et al., 2008]. Die Isomerie ergibt sich aufgrund der Tatsache, dass beide Moleküle drei stereogene Zentren aufweisen, die dazu führen, dass insgesamt acht verschiedene Stereoisomere gebildet werden können. Diese treten auch alle in der Natur auf [DÖTTERL et al., 2006].

Eine wichtige Vorstufe von Fliederaldehyd und Fliederalkohol ist Linalool. Eine Studie von Kreck et al. zeigt, dass die Biogenese von Fliederaldehyd, mit der Bildung von IPP und DMAPP, die über den plastidischen MEP-Weg gebildet werden, beginnt. Im nächsten Schritt bildet sich (S)-Linalool. Nach Hydroxylierung und Oxidation kommt es zur Cyclisierung der (5'S)-konfigurierten Fliederaldehydstereoisomere (1-4). Durch enzymatische Reduktion bilden sich die vier (5'S)-konfigurierten Fliederalkoholstereoisomere (5-8) aus. Abb. 2.4. auf der nächsten Seite veranschaulicht diese Reaktion. Die Studie beweist zudem, dass Blütenstände bzw. Blütenblätter des Flieders zu einer *de novo* Biosynthese von flüchtigen Duftstoffen fähig sind [KRECK et al., 2003].

Ebenfalls scheint es als gesichert, dass Fliederaldehyd eine essentielle Duftverbindung für das Anlocken von Bestäubern ist. Vor allem nachtaktive Pflanzenarten geben hohe Mengen dieses Duftstoffes ab, um damit nachtaktive Schmetterlinge anzulocken [DÖTTERL et al., 2006].

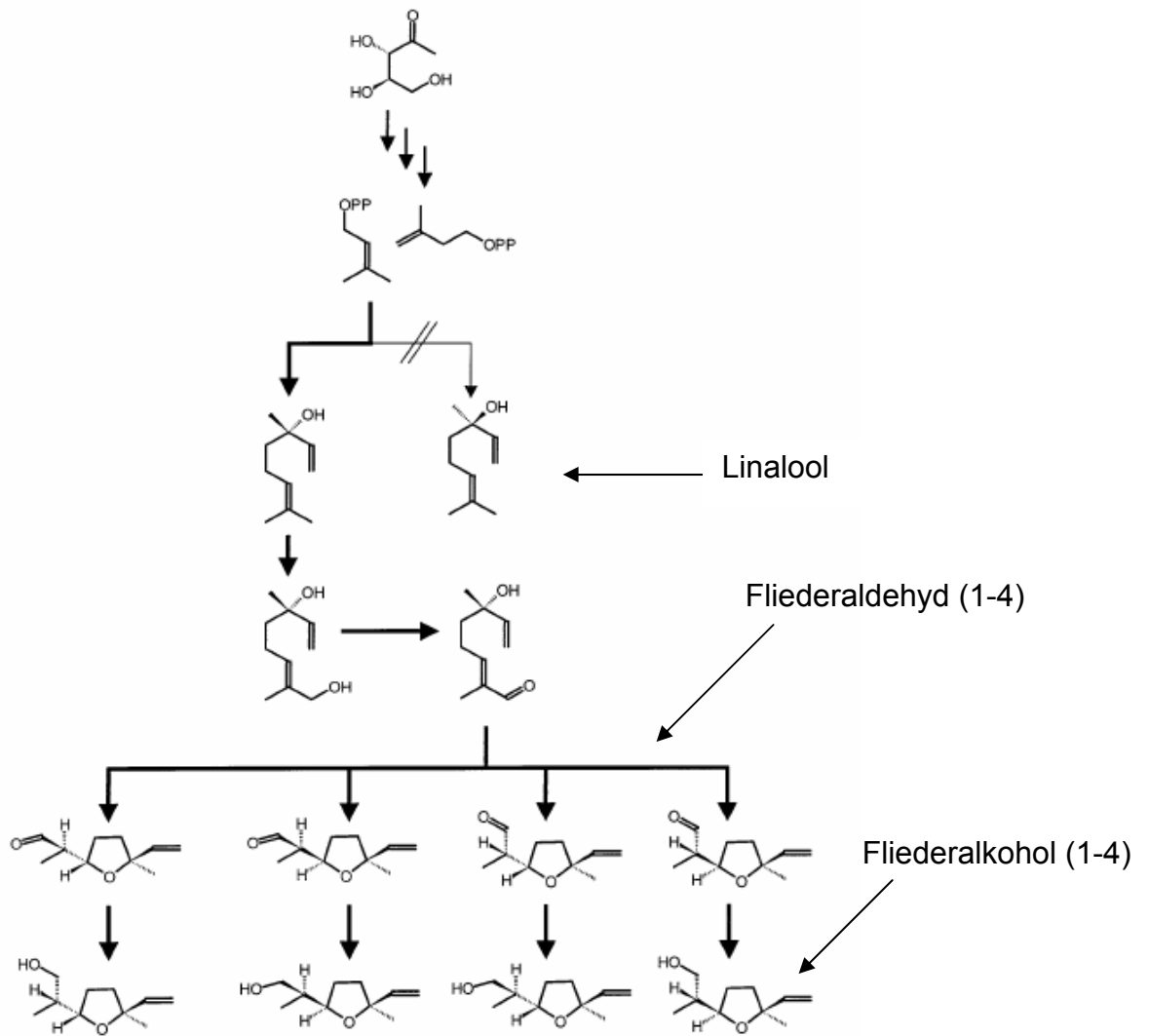


Abb. 10.: Bildung von Fliederaldehyd und Fliederalkohol in *S. vulgaris* L. [KRECK et al., 2003]

In der Riechstoffindustrie werden für das Imitieren des Fliederduftes synthetische Mischungen verwendet, wobei hier die zwei furanoiden Ether keine Verwendung finden [KRECK, 2003].

2.3 Opernpassage

Ziel des Projektes „Tast- und Duftdesign – Ressourcen für die Creative Industries in Wien“ ist es auch, den Geruch öffentlicher Plätze zu charakterisieren. Als stark frequentierter Knotenpunkt bot sich für dieses Unternehmen, die Wiener Opernpassage an, denn sie wird sowohl von Touristen und Touristinnen als auch von der Wiener Bevölkerung stark benutzt.

2.3.1 Daten und Fakten über die Opernpassage

Die Opernpassage -Teil der Karlsplatzpassage – befindet sich im Zentrum von Wien und verbindet den Karlsplatz mit der Oper. Täglich wird sie von etwa 200 000 Menschen frequentiert, was unter anderem auf die drei U-Bahn-Linien (U1, U2 und U4) zurückgeführt werden kann. Aber auch die Umgebung über der Passage macht sie zu einem wichtigen Verkehrsknotenpunkt in Wien, denn die darüber liegende Oper oder die Kärntnerstraße werden von vielen Menschen aufgesucht. Eröffnet wurde die Passage im November 1955 und seither bietet sie Platz für eine Reihe von Geschäften und Lokalen. Ab dem Jahr 2010 werden Umbauarbeiten durchgeführt, um die in die Jahre gekommene Opernpassage zu modernisieren. Der Charakter der denkmalgeschützten Opernpassage soll dabei aber so weit wie möglich erhalten bleiben [WIENHOLDING, 2007²⁸; MAGISTRAT WIEN, o.J.²⁹].

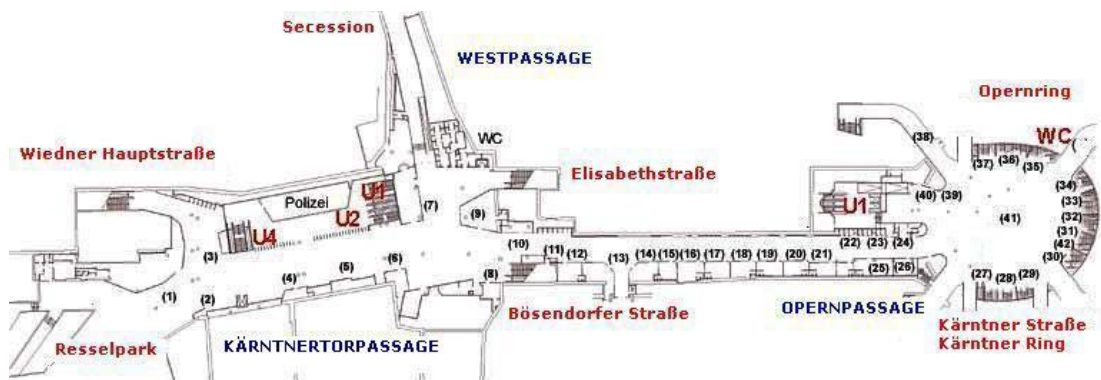


Abb. 11.: Grundriss der Kärntner-, Opern- und Westpassage [TEAM FOCUS, 2004]

²⁸ vgl. <http://www.wienholding.at/event/mediaroom-news/id/2963>, Zugriff: 09.04.2009

²⁹ vgl. <http://www.wien.gv.at/ma53/45jahre/1955/1155.htm>, Zugriff: 09.04.2009

2.3.2 Der Geruch öffentlicher Plätze

Welche Gerüche vor allem an öffentlichen Plätzen dominieren, führt Payer im Kapitel „Wie riecht Wien?“ aus dem Buch „Blick über Wien“ folgendermaßen aus: *„Beträchtliche olfaktorische Auswirkungen hat die auch in Wien in den letzten Jahren zunehmende kommerzielle Nutzung des öffentlichen und halböffentlichen Raumes, als dessen Folge vor allem Essensdüfte zum immer häufigeren Begleiter durch die Stadt werden.“* [PAYER, 2007, S 72]

Er gibt weiter an, dass sich diese Entwicklung vor allem in den Unterführungen abzeichnet, wo es zu einer Vermischung der Düfte von Backwaren, Pizza, Kebab oder Kaffee kommt [PAYER, 2007].

Auch die Opernpassage bietet Platz für eine Reihe von Verpflegungsstätten. So befinden sich im Rondeau der Opernpassage eine größere Bäckereifiliale, sowie mehrere Imbissläden.



Abb. 12.: Opernpassage-
rondeau mit Bäckereifiliale
[SCHAUPP, 2009]



Abb. 13.: Imbissläden in
der Opernpassage
[SCHAUPP, 2009]

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 Voruntersuchungen und Methodenfindung für die Analyse von Aromen typischer Wiener Einrichtungen

Die Studiengruppe begann mit der Analyse des Fliederduftes im Volksgarten, da der Flieder nur für kurze Zeit blüht und er zu Beginn der Arbeiten (Mitte April 2008) gerade in voller Blüte stand. Für dieses Vorhaben wurden zu allererst Probemessungen durchgeführt, erstens um herauszufinden, welche Methode sich am besten eignet, zweitens, um Sicherheit im Umgang mit der Nadel und den Versuchsbedingungen zu erlangen. Für diese Probemessungen wurde ein Fliederbusch im Pharmaziegarten (dieser liegt zwischen Geo- und Biozentrum des Universitätsgebäudes in der Althanstraße) ausgewählt. Die Dauer lag bei einer bzw. zwei Stunden, die SPME-Fasernadel wurde dazu direkt an die Blüte des Fliederstrauches gehalten. Zur Auswertung mittels GC/MS wurden verschiedene Methoden ausprobiert, die sich in Parametern wie Gesamtdauer, Aufheizrate usw. unterschieden. Damit wollte man herausfinden, welche Methode die besten Ergebnisse zeigt, d.h. bei welcher die meisten Fliederduftstoffe angezeigt werden. Die Zuordnung dieser Verbindungen erfolgte unter anderem mit dem Vergleich anderer Fliederduftstudien, beispielsweise von LI et al. und OH et al. [LI et al., 2006; OH et al., 2008].

Im Zuge dieser Vorproben wurde auch die Methode „rmp2“ ausprobiert. Diese Methode wurde im Rahmen der, vor dieser Arbeit stattfindenden, Kaffeehaus-Raumluftmessungen entwickelt. Die Entwickler dieser Methode führten unter anderem Probeläufe mit fünf Kaffeearoma-Reinsubstanzen der Firma Sigma-Aldrich durch - 2-Methoxy-3(1-methylpropyl)-pyrazin, 2,5-Dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanon (=Erdbeerfuranon), Damascenon, Guajacol (2-Methoxyphenol) und 2-Methoxy-4-vinylphenol – und testeten so, ob mit der besagten Methode, die im Kaffeearoma enthaltenen Substanzen, nachgewiesen werden können [PAUZENBERGER, 2009; PESTITSCHKEK, 2008]. Mit der „rmp2“-Methode konnten schlussendlich, auch im Rahmen der Voruntersuchungen für diese Arbeit, die besten Ergebnisse erzielt werden, was durch das Auftreten wichtiger

Fliederduftkomponenten – wie etwa den Fliederaldehydisomeren – angezeigt wurde. Um die Eignung der „rmp2“-Methode zu bestätigen, wurde zusätzlich ein Vial mit frischen Fliederblüten befüllt, und die SPME-Fasernadel für zwei Stunden hineingegeben. Auch diese Ergebnisse waren zufriedenstellend und bestätigten somit die Verwendung der „rmp2“-Methode.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden an verschiedenen Wiener Plätzen Geruchs- bzw. Duftanalysen durchgeführt. Trotz unterschiedlicher Messbedingungen lieferten die Messungen an allen Versuchsorten (Volksgarten, Bäckereien, Opernpassage) übersichtliche Chromatogramme, was die Studiengruppe dazu veranlasste, die „rmp2“-Methode von der Vorgängergruppe zu übernehmen und sie ohne Abänderungen über den gesamten Analysezeitraum beizubehalten. Aber aufgrund leicht unterschiedlicher Messbedingungen sollte erwähnt werden, dass einzelne RT-Werte (= Retentionszeiten) bestimmter Substanzen geringfügig voneinander abweichen können.

Nach der Methodenfindung konnte mit den Analysen direkt an den gewählten Forschungsorten begonnen werden. In weiterer Folge werden nun die Versuchsbedingungen erläutert, wobei mit den Fliederduftanalysen im Volksgarten begonnen wird, da auch im Zuge der Analysearbeiten mit diesen gestartet wurde.

3.2 Analysenorte und -bedingungen

3.2.1 Fliederduftanalyse im Volksgarten

1. Tag

Datum: 28.04.2008

Wetter: sonnig, wolkenlos, 21 °C, teilweise leichte Windböen

Standort: Zwei SPME-Messgeräte wurden unter dem Fliederbusch („*Syringa vulgaris*“), ein weiteres neben einer Parkbank platziert.

Dauer der Messungen: Fliederbusch - 2 + 4 Stunden, Parkbank - 4 Stunden

2. Tag

Datum: 08.05.2008

Wetter: sonnig, etwas wolkig, teilweise leichte Windböen

Standort: Ein SPME-Messgerät wurde unter dem Flieder, ein weiteres bei der Parkbank platziert.

Dauer der Messungen: in beiden Fällen 6 Stunden



Abb. 14.: Fliedersträucher im Volksgarten [SCHAUPP, 2008]

Um einen Vergleich zwischen dem Fliederduft direkt bei den Blüten und jenem Duft, der vom Parkbesucher wahrgenommen wird, machen zu können, wurden zwei verschiedene Standorte für die SPME-Sampler ausgewählt – der Fliederbusch und eine Parkbank. Da die Probensammlungen zudem unter Freiluft stattfanden, musste außerdem auf gute Wetterverhältnisse geachtet werden, so sollte es etwa nicht regnen und möglichst windstille Verhältnisse herrschen. An beiden Tagen herrschten vergleichbare Wetterverhältnisse. Weiters wurde notiert, welche Gerüche, zusätzlich zum Flieder, während der Messungen auftraten (wie z.B. ein besonders intensives Parfum eines Parkbesuchers) um eine mögliche Identifizierungen solcher Duftkomponenten im Rahmen der Analyse zu erleichtern. Für die Studiengruppe war es außerdem wichtig zu beachten, nicht selbst Quelle solcher Gerüche zu sein.



Abb. 15 und 16.: Probennahme am Fliederstrauch und bei Parkbank [SCHAUPP, 2008]

3.2.2 Brotaromaanalysen in den Bäckereien „Der Mann“ und „Linsbichler“

1. Tag

Datum: 09.09.2008 – 10.09.2008

Ort: Produktionsgebäude Bäckerei „Der Mann“, Perfektastraße 100, 1230 Wien

Standort: Drei SPME-Messgeräte wurden direkt neben dem Laufband, im Bereich des Ofens für das „Tiroler Brot“ platziert.

Dauer der Messungen: 2, 4 und 6 Stunden

Temperatur im Produktionsgebäude: ca. 35 °C



Abb. 17 und 18.: Laufband mit frischgebackenem Tirolerbrot und Probennahme [SCHAUPP, 2008]

2. Tag

Datum: 06.10.2008

Ort: Bäckerei „Linsbichler“, Pötzleinsdorfer Straße 89, 1180 Wien

Standort: Drei SPME-Messgeräte wurden im Verkaufsraum, auf der höchsten Stellage eines Regals platziert, ein weiteres in der Backstube.

Dauer der Messungen: 2, 4 und 6 Stunden, bzw. 6 Stunden in der Backstube

Temperatur im Verkaufsraum: ca. 20 °C

Bei den Geruchsanalysen im Produktionsgebäude der Bäckerei „Der Mann“ musste beachtet werden, dass die Messgeräte dort platziert werden, wo sie den gleichzeitig stattfindenden Produktionsbetrieb nicht stören, aber sich trotzdem so nahe wie möglich an einer guten Geruchsquelle befinden. Als Platz wurde schlussendlich ein höher liegendes Laufband, das frischgebackenes „Tiroler Brot“ beförderte, ausgewählt – die SPME-Sampler wurden neben diesem Laufband in Plastikbechern aufgestellt, um so eine problemlose Probennahme zu schaffen.

Um einen Vergleich anstellen zu können, welche Duftkomponenten frischen Brotes vom Kunden noch wahrgenommen werden können und welche nicht, wurden auch Duftproben im Verkaufsraum der Bäckerei „Linsbichler“ gesammelt. Die drei SPME-Geräte befanden sich auf der höchsten Stellage eines Regales im Verkaufsraum. Dieser ist nur durch einen kleinen Zwischenraum von der Backstube abgetrennt, weiters grenzt an den Verkaufsraum ein kleiner Cafebetrieb an. Ein viertes SPME-Messgerät wurde in der Backstube der Bäckerei platziert. Aufgrund der kleinen Größe der Backstube in der Bäckerei „Linsbichler“ erhoffte man sich, eine Reihe von Brotduftverbindungen nachweisen zu können. Diese sollten helfen, die flüchtigen Verbindungen im Verkaufsraum besser zuordnen zu können und insgesamt ein detailliertes Gesamtbild über das Brotaroma zu schaffen.

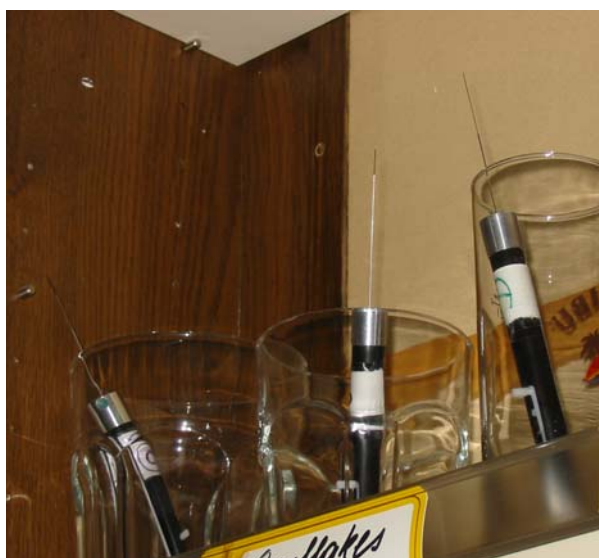


Abb. 19 und 20.: Probennahme Verkaufsregal Bäckerei „Linsbichler“ [SCHAUPP, 2008]

3.2.3 Geruchsanalysen in der Opernpassage

Datum: 27.10.2008

Ort: Opernpassage-Rondeau

Standort: Zwei SPME-Messgeräte wurden in einem Schaltkasten platziert.

Dauer der Messungen: 2 und 4 Stunden

Bei der Auswahl eines geeigneten Platzes für die Messungen in der Opernpassage musste beachtet werden, dass die Geräte von Passanten weder angegriffen noch entwendet werden konnten. Die Entscheidung fiel schlussendlich auf einen absperrbaren Schaltkasten der MA 28, der sich bei einer Rolltreppe im „Rondeau“ der Opernpassage befindet. In diesem wurden die zwei SPME-Sampler aufgestellt und eingesperrt. Dieses „Versteck“ machte eine problemlose Messung, ohne Aufsehen zu erregen, erst möglich.

3.3 Probenvorbereitung und Durchführung mittels GC/MS-Methode

Die Probenvorbereitung geschah mithilfe von SPME-Samplern (Supelco). SPME steht für „solid phase mikroextraction“ (= Festphasenmikroextraktion) und macht es möglich, flüchtige Verbindungen aus der Luft zu sammeln. Dies geschieht über eine ausziehbare Quarzfaser, die (im Falle dieser Arbeit) mit einer Carboxen/Polydimethylsiloxane-Schicht (CAR/PDMS-Schicht) überzogen ist - auf dieser Phase extrahieren die Duftstoffe.

Die Auftrennung der gesammelten Duftstoffe erfolgte mittels GC-MS-Methode, in der Regel geschah dies ein bis drei Stunden nach der Probennahme. Eine Ausnahme wurde bei der Probensammlung des Brotaromas gemacht – hier begann man mit der Analyse, aufgrund der notwendigen Nacharbeit, erst ca. 12 Stunden nach der Probenvorbereitung. Während dieser Zeit wurden die SPME-Sampler bei ca. 7 °C (+/- 2°C) im Kühlschrank gelagert, um den Verlust von flüchtigen Verbindungen möglichst gering zu halten.

Zur Trennung der Analyte auf der SMPE-Faser müssen diese in den Gas-Chromatographen (GC) injiziert werden. Die Detektion der flüchtigen Verbindungen übernimmt ein Massenspektrometer (MS), wobei es über Ionisierung (Elektronenstoßverfahren) und anschließender Fragmentierung der Moleküle zur Strukturaufklärung kommt. Während des Probendurchlaufs werden die Verbindungen elektrisch erfasst und über eine Chromatogramm sichtbar gemacht.

Nach jeder Injektion war es notwendig, die SPME-Sampler auszuheizen, um sie für die nächste Probenvorbereitung wieder nutzbar zu machen. Bei Auslassen dieses Schrittes könnten Rückstände auf den Fasern verbleiben, die zu verfälschten Ergebnissen beim nächsten Probendurchgang führen würden. Die SPME-Fasern wurden dazu über die gesamte Laufzeit des Programmes im Injektorblock belassen – also insgesamt für 55.33 Minuten bei 250 °C. Anhand der dabei erhaltenen Chromatogramme konnte man außerdem prüfen, ob sich noch Verunreinigungen oder Restbestandteile auf der Trennsäule des GC-

Gerätes befanden. War dies der Fall, wurde ein zusätzlicher Leerlauf (zu gleichen Bedingungen) gestartet.

3.4 Analytische Bedingungen

Probennahme:

SPME:	Portable Field Sampler (Artikelnr. 534831), SUPELCO (Sigma-Aldrich®); Faserbeschichtung: Carboxen/Polydimethylsiloxan (PDMS); Dicke: 75 µm; Länge 1 cm
Ausheizzeit im Injektor:	2 min Desorption time (T)
Splitratio:	splitless

Gaschromatographie:

Gerät:	TRACE GC Ultra (Thermo Electron Corporation)
Trägergas:	UN1046 Helium, verdichtet
Trägergasgeschwindigkeit:	1 ml/min; Flow Mode: constant flow
Trennsäule:	60 m (TR-5MS GC Column; Artikelnr. 260F154P); Innendurchmesser: 0.25 mm ID; Filmdicke: 0.25 µm
Injektorsystem:	split/splitless Injector; Temperatur: 250 °C; ausgestattet mit Inlet-Liner für SMPE; 0.75 mmID (Thermo Artikelnr. 45352083, SUPELCO)

Temperaturprogramm:

Ausgangstemperatur:	40 °C (2 min konstant gehalten)
Aufheizrate:	3 °C/min bis 250 °C
Gesamtdauer:	55.33 min
Maximale Temperatur:	350 °C

Massenspektrometer:

Gerät:	DSQ II (Thermo Electron Corporation), direkte Kopplung
Transferline-Temperatur:	250 °C
Ionenquelle:	200 °C
Elektronenenergie:	electron impact (EI)-mode 70 eV
Scan-Bereich:	40-400 amu/0.35 sec ; Full scan ; Total Ion Current (TIC)

3.5 Auswertung der GC-MS-Chromatogramme

Die elektronische Datenerfassung und die Auswertung der erhaltenen Chromatogramme wurde mit Hilfe der Software Xcalibur des GC-MS-Herstellers Thermo Electron Corporation durchgeführt. Folgende Spektrenbibliotheken standen bei der Auswertung zur Verfügung:

- US national Institute of Standards and Technology (NIST)/EPA/NIH Mass Spectral Library: MS Search 2.0d (match factors > 850)
- Wiley Registry of Mass Spectral Data, 8th Edition

Für jeden Peak werden Verbindungen vorgeschlagen, die nach ihrer Wahrscheinlichkeit, tatsächlich diese Substanz zu sein, gereiht werden. Dies dient als Hilfestellung für die korrekte Identifizierung der Peaks und für die richtige Zuordnung der Verbindungen. Anzumerken ist, dass diese zwei Datenbanken zwar die Auswertungen vereinfachen, sie aber nur zu einer annähernd qualitativen Identifizierung der vorhandenen Verbindungen führen.

4 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

4.1 Das Brotaroma – Auswertung und Interpretation

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Duftmessungen in den Bäckereien „Der Mann“ und „Linsbichler“ präsentiert. Dazu werden jeweils die 6-Stunden-Proben herangezogen, da diese die besten Ergebnisse, sichtbar an den einzelnen Konzentrationen der Aromakomponenten, zeigen. Zu Anfang jeder Probe wird das Ergebnis mithilfe des erhaltenenen Chromatogramms veranschaulicht. Danach gibt eine Tabelle Auskunft über die wichtigsten identifizierten Aromaverbindungen in der Luft. Zur besseren Übersicht wird die Tabelle in zwei Teile aufgeteilt – erste enthält jene Verbindungen, die dem Brotaroma zugeschrieben werden können, zweite jene Komponenten, die aus anderen Geruchsquellen stammen. Die Zuordnung der jeweiligen Aromaverbindungen geschah vor allem mithilfe der Übersicht flüchtiger Roggenbrotverbindungen von Nijssen et al. [NIJSEN et al., 1996] und weiteren Studien [RUIZ et al., 2003; KIRCHHOFF und SCHIEBERLE, 2001; SEITZ et al., 1998].

Danach folgt eine Interpretation der Ergebnisse, mit zusätzlichen Erklärungen der einzelnen Geruchsverbindungen.

Bei der Interpretation der Ergebnisse der 6-Stunden-Probe in der Backstube der Bäckerei „Linsbichler“ wird zudem auf die Ergebnisunterschiede zwischen den beiden Bäckereien „Der Mann“ und „Linsbichler“ eingegangen, und mögliche Gründe dafür aufgezeigt.

Außerdem wird ein Vergleich zwischen den Aromakomponenten der Backstube und dem Verkaufsraum der Bäckerei „Linsbichler“ angestellt – dieser Vergleich soll zeigen, welche flüchtigen Verbindungen für den Geruchseindruck, den ein Besucher/eine Besucherin in der Bäckerei „Linsbichler“ gewinnt, verantwortlich sind.

4.1.1 Bäckerei „Der Mann“

4.1.1.1 Ergebnisse 6-Stunden-Probe: Produktionsstätte Bäckerei „Der Mann“

Die Abbildung auf dieser Seite zeigt das erhaltene Chromatogramm der 6-Stunden-Probe in der Bäckerei „Der Mann“.

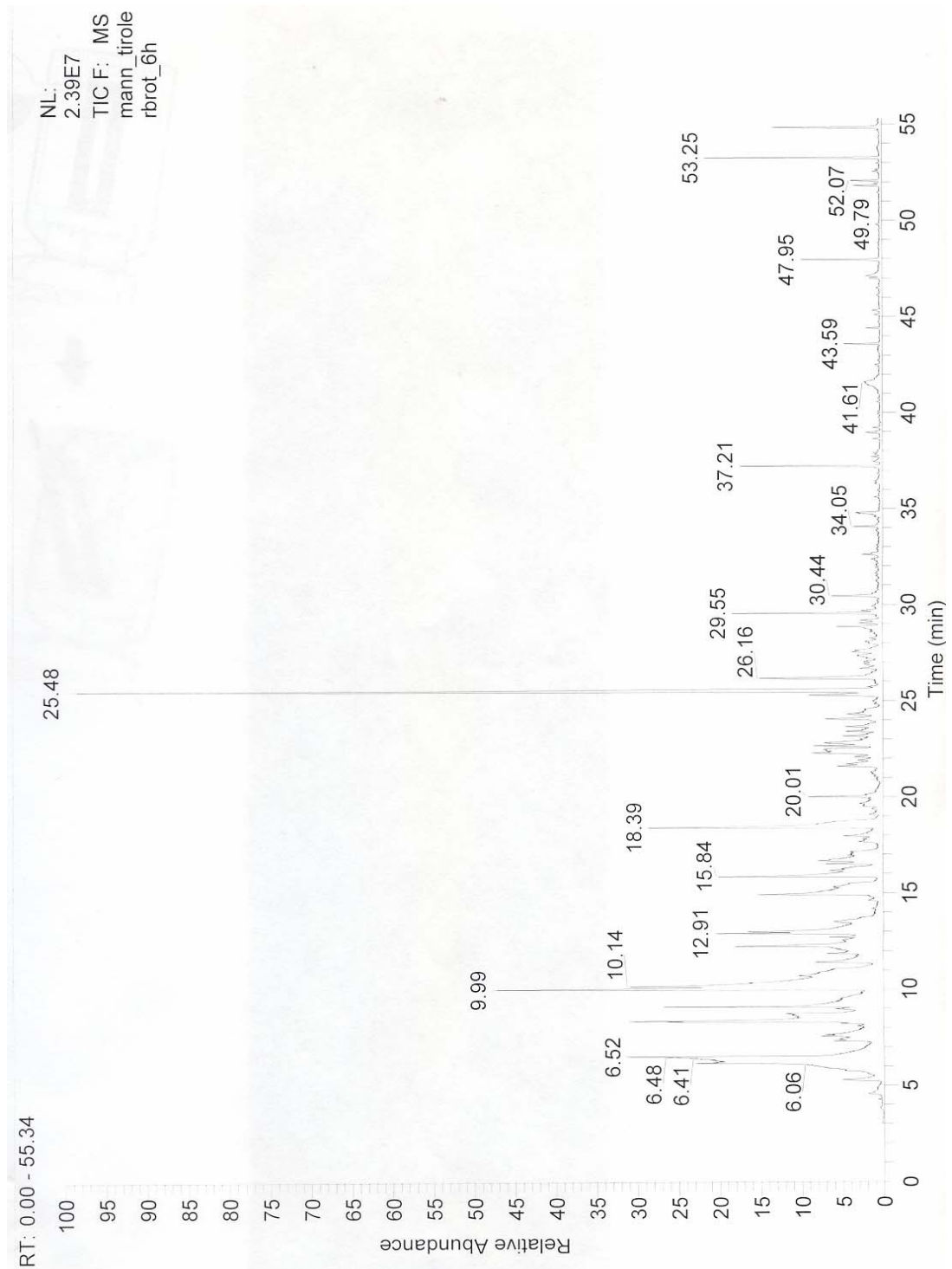


Abb. 21.: Chromatogramm 6-Stunden-Probe Bäckerei „Der Mann“

Folgende Tabelle zeigt, welche flüchtigen Verbindungen in der 6-stündigen Probe der Bäckerei „Der Mann“ dem Brotaroma zugeschrieben werden können:

RT (min)	Substanz		RT (min)	Substanz
6.16	Essigsäureethylester		17.20	Pentansäure
6.52	2-Methyl-1-propanol		19.52	4-Hydroxybuttersäurelacton
7.31	3-Methylbutanal		22.05	5-Methylfurfural
7.62	2-Methylbutanal		22.28	Benzaldehyd
8.06	Pentenol		22.42	Hexansäure
8.59	Propansäure		22.97	Methylisohexenylketon
9.08	3-Hydroxy-2-butanon		23.16	2-Pentylfuran
10.14	3-Methyl-1-butanol		23.54	Hexansäureethylester
10.21	2-Methyl-1-butanol		24.03	Octanal
12.18	Butansäure		26.16	Benzylalkohol
12.24	2,3-Butandiol		27.20	E-2-Octenal
12.99	Hexanal		27.61	1-Octanol
13.52	Essigsäure-n-butylester		28.22	2-Ethyl-3,5-dimethylpyrazin
14.60	2-Methylpyrazin		29.55	Nonanal
14.80	3-Methylbutansäure		30.44	2-Phenylethanol
14.92	2-Furancarboxaldehyd		32.60	Octansäure
15.38	2-Methylbutansäure		36.29	5-Hydroxymethyl-2-furfural
15.84	2-Furanmethanol		37.45	Nonansäure
16.49	1-Hexanol		40.55	(E,E)-2,4-Decadienal

Tab. 7.: Auswertung 6-Stunden-Probe Bäckerei „Der Mann“ 1

Die nachstehende Tabelle zeigt jene Geruchsverbindungen an, die nicht dem Brotaroma zugeordnet werden können, sondern andere flüchtige Bestandteile in der Raumluft darstellen.

RT (min)	Substanz
9.99	1,1-Dimethylcyclopropan
11.41	Toluol
16.15	Ethylbenzol
16.62	o-Xylol
16.64	m-Xylol
16.71	p-Xylol
18.39	2-Butoxyethanol
20.01	α -Pinen
22.64	β -Pinen
23.63	1,2,3-Trimethylbenzol
24.28	(+)-3-Caren
25.48	(+)-Limonen
29.04	Fenchon
29.19	(+)-Linalool
37.21	Carvon

Tab. 8.: Auswertung 6-Stunden-Probe Bäckerei „Der Mann“ 2

4.1.1.2 Diskussion 6-Stunden-Probe: Produktionsstätte Bäckerei „Der Mann“

4.1.1.2.1 Interpretation der Brotaromen

In der Raumluft der Produktionsstätte der Bäckerei „Der Mann“ wurden 39 Verbindungen, die eindeutig dem Brotduft zugeschrieben werden, nachgewiesen. Sie lassen sich in folgende chemische Gruppen einteilen: Alkohole (9)³⁰, Säuren (8), Aldehyde (8), Furanverbindungen (5), Ester (3), Ketone (2), Pyrazine (2), Laktone (1).

Im Folgenden wird auf die einzelnen Gruppen und deren identifizierten Verbindungen eingegangen.

Der Alkohol **2-Methyl-1-propanol**, detektiert bei einer RT von 6.52, und wird betreffs Geruchseigenschaft als bitter beschrieben [FERREIRA et. al, 2001]. In einer Studie von Seitz et al. konnte diese Alkoholverbindung in allen untersuchten Brotsorten aufgefunden werden, vor allem Roggenbrot enthielt hohe Konzentrationen [SEITZ et al., 1998].

Auch **Pentenol**, das bei einer RT von 8.06 angezeigt wird, konnte in zwei Studien, das Brotaroma betreffend, nachgewiesen werden [SEITZ et al., 1998; HANSEN et al., 1989]. Weiter gilt es als flüchtiger Bestandteil von Olivenöl. Die Geruchseigenschaft wird als buttrig, grün beschrieben [LUNA et al., 2006].

Die bei einer RT von 10.14 und 10.21 auftretenden Verbindungen **3-Methyl-1-butanol** und **2-Methyl-1-butanol** entstehen vor allem während der Sauerteigfermentation. Im Sauerteigbrot selbst ist der Gehalt dieser Verbindungen eher niedriger, denn während des Backens kann ein Teil davon verdampfen [HANSEN und SCHIEBERLE, 2005]. Der Geruch dieser zwei Verbindungen wird als malzig beschrieben [KIRCHHOFF und SCHIEBERLE, 2002].

Der Geruch von **2,3-Butandiol** (auch als Diacetyl bekannt), das bei einer RT von 12.24 auftritt, wird als zwiebelartig beschrieben [JORDÁN et al., 2003].

³⁰ Zahl, gibt die Gesamtzahl, der in der Probe aufgefundenen Verbindungen an.

Das bei RT 16.49 detektierte **1-Hexanol** gilt in der Natur als weit verbreiteter Aromastoff, sein Geruch wird als fruchtig-fettig beschrieben [Römpp Enzyklopädie Online, 2007³¹].

Der Geruch, des bei RT 26.16 angezeigten **Benzylalkohols** wird als süß und blumig angegeben [Acree und Arn, 2004³²]. In der Literatur wird er unter jenen Alkoholen aufgelistet, die am Aroma der Brotkrume beteiligt sind [RUIZ et al., 2003].

Bei einer RT von 27.61 wird **1-Octanol** angezeigt, dass in ätherischen Ölen mehrerer Pflanzenarten vorkommt. Zudem tritt dieser Alkohol auch als Aromastoff in Lebensmitteln auf [Römpp Enzyklopädie Online, 2007³³]. Eine Studie von RUIZ et al. erwähnt diese Verbindung ebenfalls in der Brotkrume [RUIZ et al., 2003].

2-Phenylethanol wird bei einer RT von 30.44 detektiert. Diese Alkoholverbindung ist Hauptbestandteil von Rosen-Absolue und Rosenwasser. Weiters kann sie in kleineren Mengen als Aromastoff in Brot, Bier, Tee und Kakao sowie in ätherischen Ölen wie Geranium- und Ylang-Ylang-Öl nachgewiesen werden [Römpp Enzyklopädie Online, 2007³⁴]. Die Geruchsqualität wird als blumig beschrieben [KIRCHHOFF und SCHIEBERLE, 2001].

In der vorliegenden Arbeit konnten 8 Säuren dem Brotaroma zugeordnet werden. **Propionsäure** (RT=8.59), **Butansäure** (RT=12.18), **3- und 2-Methylbutansäure** (RT=14.80 und 15.38) und **Hexansäure** (RT=22.42) entstehen vor allem während des Fermentationsprozesses im Brotteig [DAIGLE et al., 1999]. Die Geruchseigenschaft von Säuren wird meist als schweißig angegeben, auch jene von **Pentansäure**, die bei einer RT von 17.20 detektiert wird. Alle diese nun erwähnten Verbindungen (außer Propionsäure) werden auch in einer Studie von Kirchhoff und Schieberle zu den geruchsaktivsten Säuren in der Roggenbrotkrume gezählt [KIRCHHOFF und SCHIEBERLE, 2001].

³¹ vgl. Abschnitt Hexan-1-ol

³² vgl. <http://www.flavornet.org/info/100-51-6.html>, Zugriff: 02.02.09

³³ vgl. Abschnitt Octanole

³⁴ vgl. Abschnitt 2-Phenylethanol

Im letzteren Drittel des ausgewerteten Chromatogramms erkennt man **Octansäure** (RT=32.60) und **Nonansäure** (RT= 37.45). Diese mit acht bzw. neun C-Atomen ausgestatteten gesättigten Fettsäuren zeichnen sich unter anderem durch einen unangenehmen ranzigen Geruch aus und treten vor allem in Lebensmitteln, die mit Hilfe von Mikroorganismen hergestellt wurden, auf [BELITZ et al., 2008³⁵].

Die im Zuge der Maillard-Reaktion entstehenden Strecker-Aldehyde **3- und 2-Methylbutanal** werden bei einer RT von 7.31 und 7.62 nachgewiesen. Der Geruch beider Verbindungen wird als malzig beschrieben [KIRCHHOFF und SCHIEBERLE, 2002]. Vor allem 3-Methylbutanal trägt zum Gesamtaroma von Brot stark bei. Seine Geruchsschwellenkonzentration liegt bei 0.4 µg/kg, was eine sehr hohe Aromawirksamkeit anzeigt [KIRCHHOFF und SCHIEBERLE, 2001].

Das bei einer RT von 12.99 auftretende **Hexanal** entsteht durch Lipidperoxidation. Eine Studie belegt, dass nach 48- und 72-stündiger Autooxidation von Linolsäure dieser Aromastoff zu jenen Verbindungen gehört, der in der höchsten Konzentration vorliegt [ULLRICH und GROSCH, 1987].

Bei einer RT von 22.28 wird **Benzaldehyd** detektiert, dessen Geruch als bittermandelartig beschrieben wird. Der in vielen Lebensmitteln und ätherischen Ölen vorkommende Aromastoff ist mit 90 % Hauptbestandteil des Bittermandelöles [Römpp Enzyklopädie Online, 2007³⁶].

Der Aldehyd **Octanal** wird bei RT 24.03 nachgewiesen. Der Geruch wird in der Literatur als fruchtig, seifig beschrieben [KIRCHHOFF und SCHIEBERLE, 2001]. In Bezug auf Brotaromastoffe konnte er vor allem in Studien nachgewiesen werden, die sich mit flüchtigen Verbindungen in Roggenmehl, Roggensauerteig [KIRCHHOFF und SCHIEBERLE, 2002] bzw. Weizensauerteig [DAMIANI et al., 1996] und der Roggenbrotkrume [KIRCHHOFF und SCHIEBERLE, 2001] beschäftigten.

Das bei 27.20 auftretende **E-2-Octenal** ist ein Geruchsstoff der beim Abbau von Fettsäuren, genauer gesagt bei der Oxidation von Linolsäure entsteht [BELITZ

³⁵ vgl. Kapitel 3.2.1.1 Gesättigte Fettsäuren in "Lehrbuch der Lebensmittelchemie", S 162 + 163

³⁶ vgl. Abschnitt Bittermandelöl

et al., 2008³⁷]. Die Geruchsqualität wird als fettig, wachsig beschrieben [KIRCHHOFF und SCHIEBERLE, 2002].

Der bei RT 29.55 detektierte aliphatische Aldehyd **Nonanal** entsteht besonders zu Beginn des Backens durch Oxidation von Lipiden. Dasselbe gilt für **(E,E)-2,4-Decadienal**, das bei RT 40.55 angezeigt wird [AIT AMEUR et al., 2008]. Die Geruchsqualität der ersten Verbindung wird als fruchtig, seifig eingestuft, jene der zweiten als fettig, wachsig bezeichnet [KIRCHHOFF und SCHIEBERLE, 2001]. (E,E)-2,4-Decadienal gilt als einer der Schlüsselaromastoffe von Pommes frites [WAGNER und GROSCH, 1998]. Aber auch in der Brotaromaforschung wird es zu jenen Verbindungen gezählt, die einen wichtigen Beitrag zum Gesamtaroma von Brot beitragen. In der Brotkrume zählt es aufgrund seines hohen FD-Faktors zu den potentesten Geruchsstoffen [GROSCH und SCHIEBERLE, 1997].

In weiterer Folge findet man Furanverbindungen, deren Ursprung die Maillard-Reaktion ist. So kann bei einer RT von 14.92 **2-Furancarboxaldehyd** (Furfural), bei RT 15.84 **2-Furanmethanol** (Furfurol) und bei RT 22.05 **5-Methylfurfural** nachgewiesen werden. Den ersten beiden Verbindungen wird ein süßer, karamelliger Duft zugeschrieben [AFOAKWA et al., 2008]. Auch die dritte Verbindung kann in diese Geruchskategorie eingeordnet werden [VALIM et al., 2003]. Furfural und 5-Methylfurfural gelten als Abbauprodukte von **5-Hydroxymethyl-2-furfural** (HMF) [AIT AMEUR et al., 2008]. Diese Verbindung detektiert bei einer RT von 36.29.

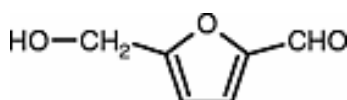


Abb. 22.: 5-Hydroxymethyl-2-Furfural
[Römp Enzyklopädie Online, 2007]

³⁷ vgl. Tab. 3.31. Bei der Autooxidation ungesättigter Fettsäuren entstehende flüchtige Verbindungen in „Lehrbuch der Lebensmittelchemie“, S 207

Vor allem HMF, aber auch Furfural und 5-Methylfurfural werden als Indikatoren für die Maillard-Reaktion und der damit verbundenen Bräunungsreaktion herangezogen [AIT AMEUR L et al., 2008]. Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Krustenbräune und der Konzentration dieser Verbindungen. So geht eine Erhöhung der Krustenbräune einher mit einer Erhöhung der Verbindungen Furfural und HMF [LINKO und JOHNSON, 1963].

Bei RT 23.16 wird **2-Pentylfuran** detektiert. In der Literatur wird dessen Geruchseigenschaft als nach grünen Bohnen und Gemüse riechend, beschrieben [JØRGENSEN U et al., 2000]. Diese Verbindung entsteht bei der Autooxidation von Linolsäure [MANDIN et al., 1999].

In der 6-Stunden-Probe der Bäckerei „Der Mann“ konnten drei Ester nachgewiesen werden. Bei einer RT von 6.16 wurde **Ethylacetat** (= Essigsäureethylester) detektiert. Dieser Ester tritt vor allem als flüchtiger Bestandteil im Sauerteig auf, da er während des Fermentationsprozesses von Milchsäurebakterien gebildet wird. Die gebildete Menge hängt unter anderem von den verwendeten Stämmen der Milchsäurebakterien ab. So bewirkt die Verwendung von heterofermentativen Milchsäurebakterien höhere Konzentrationen als jene von homofermentativen Stämmen [DAMIANI et al., 1996]. Ein von Hansen und Schieberle veröffentlichter Review gibt an, dass auch die in den Chromatogrammen dieser Studie angezeigten Verbindungen **Essigsäure-n-butylester** (RT=13.52) und **Hexansäureethylester** (RT=23.54) in einer bestimmten Art von Sauerteig (Fermentation mit Starterkulturen und Hefen) gefunden werden können [HANSEN und SCHIEBERLE, 2005]. Aber auch in Untersuchungen, die Roggenbrotkruste und -krume betreffend, konnten alle drei Verbindungen als flüchtige aromaaktive Substanzen nachgewiesen werden [SCHIEBERLE und GROSCH, 1984; HANSEN et al., 1989]. Alle drei Ester kann man in die Gruppe der so genannten Fruchtester einordnen und ihnen somit einen fruchtigen Geruch zuweisen. Essigsäureethylester kommt ubiquitär in allen Früchten vor, Essigsäure-n-butylester vor allem in Apfel, Marille und Birne. Hexansäureethylester lässt sich

vor allem in Gärungsgetränken und dessen Destillaten als Fruchtaroma nachweisen [Römpp Enzyklopädie Online, 2007³⁸].

Bei einer RT von 9.08 wird **3-Hydroxy-2-butanon** angezeigt. Das von Hefen und Milchsäurebakterien gebildete Stoffwechselprodukt ist ein wichtiger Bestandteil des Butteraromas [Römpp Enzyklopädie Online, 2007³⁹]. Als solches kommt es auch während der Fermentation von Brotteig zu einem Anstieg der Konzentration des als fettig beschriebenen 3-Hydroxy-2-butanons [QUÍLEZ et al., 2006; FERREIRA et al., 2001].

Der Geruch, des bei einer RT von 22.97 detektierte **Methylisohexenylketons** wird als pilzartig und erdig beschrieben [BUTTERY et al., 1987].

In der 6-Stunden-Probe der Bäckerei Mann konnten zwei Pyrazine nachgewiesen werden, nämlich bei RT 14.60 **2-Methylpyrazin** und bei RT 28.22 **2-Ethyl-3,5-dimethylpyrazin**. Allgemein kann gesagt werden, dass Pyrazine eine Substanzklasse sind, die vor allem beim Erhitzen von Lebensmitteln entstehen [BELITZ et al., 2008⁴⁰]. Die Geruchseigenschaft der ersten Verbindung wird unter anderem als muffig, nussig, röstig und kakaoartig beschrieben [ZVIELY, 2005]. Auch der Geruch der zweiten Verbindung wird ähnlich, als nussig-röstig angegeben [AKIYAMA et al., 2003]. 2-Methylpyrazin ist zwar in der Übersicht von Nijssen et al. nicht aufgelistet, diese Arbeit teilt es trotzdem den Brotaromaverbindungen zu, da Pyrazine, wie oben erwähnt, während des Erhitzungsprozesses (hier Backprozess) entstehen können.

4-Hydroxybuttersäurelacton wird bei RT 19.52 angezeigt. Sein Geruch wird als karamellartig und süß beschrieben [Acree und Arn, 2004⁴¹].

³⁸ vgl. Abschnitt Fruchtester

³⁹ vgl. Abschnitt Acetoin

⁴⁰ vgl. Kapitel 5.3.1.7 Pyrazine in „Lehrbuch der Lebensmittelchemie“, S 378

⁴¹ vgl. <http://www.flavornet.org/info/96-48-0>, Zugriff: 05.02.09

4.1.1.2.2 Interpretation anderer flüchtiger Bestandteile in der Raumluft

Da die Untersuchungen in einem offenen Raum, und nicht in einem abgeschlossenen System durchgeführt wurden, ist es nicht verwunderlich, dass neben den aufgefundenen flüchtigen Brotaromen auch Verbindungen im Chromatogramm angezeigt werden, die nicht direkt dem Brotduft zugeordnet werden können. Tab. 4.2 zeigt diese Verbindungen an. Die teilweise sehr hohen Peaks der flüchtigen Aromakomponenten bestätigen jedoch deren Anwesenheit im Produktionsgebäude der Bäckerei „Der Mann“. Vor allem der Peak bei einer RT von 25.48 sticht hier hervor - dabei handelt es sich um **(+)-Limonen**. Diese Verbindung weist einen charakteristischen orange-citrusartigen Geruch auf und ist vor allem flüchtiger Bestandteil der Argrumenöle und von Gewürzen wie Pfeffer, Kümmel, Macis und Cardamom [BELITZ et al., 2008⁴²]. Auch die bei einer RT von 20.01 und 22.64 detektierten Terpene **α -Pinen** und **β -Pinen** sind Gewürzbestandteile, so sind sie wichtige Aromastoffe im weißen und schwarzen Pfeffer [Römpp Enzyklopädie Online, 2007⁴³]. Die weiteren angezeigten Monoterpene und -terpenoide, **(+)-3-Caren** (RT=24.28), **Fenchon** (RT=29.04), **(+)-Linalool** (RT=29.19) und **Carvon** (RT =37.21) stellen weitere Gewürzaromabestandteile dar.

All diese Verbindungen zeigen an, dass die Bäckerei Mann Gewürze in ihren Rezepturen verwendet - was das Produktsortiment auch beweist. So werden z.B. Spezialbrote mit Gewürzzusätzen wie Kümmel, Fenchel oder Anis angeboten, aber auch einige Kleingebäcke enthalten diese Gewürze [Der Mann, 2009⁴⁴]. Auch in einer Studie von Seitz et al. finden sich einige Terpenverbindungen, vor allem Limonen und Carvon, hauptsächlich im Roggenbrot. Die Studiengruppe gab den Zusatz von Gewürzen in den Broten als Grund dafür an [Seitz et al., 1998].

⁴² vgl. Tab. 22.3. Flüchtige Verbindungen von Gewürzen in „Lehrbuch der Lebensmittelchemie“, S 1007

⁴³ vgl. Abschnitt Pinene

⁴⁴ vgl. http://www.dermann.at/site_neu/files/DerMannFibel.pdf, Zugriff: 24.02.09

Weiter werden im Chromatogramm auch einige aromatische Kohlenwasserstoffe angezeigt: **Toluol** (RT=11.41), **Ethylbenzol** (RT=16.15), **o-Xylol** (RT=16.62), **m-Xylol** (RT=16.64), **p-Xylol** (RT=16.71) und **1,2,3-Trimethylbenzol** (RT=23.63). All diese Verbindungen gehören zur Gruppe der Alkylbenzole und entstehen bei der unvollständigen Verbrennung organischer Verbindungen [HOLLENDER et al, 2002]. Das Vorkommen dieser flüchtigen Bestandteile in der Raumluft kann, aufgrund der vielen Maschinen, die im Produktionsgebäude der Bäckerei Mann in Betrieb sind, erklärt werden.

Das bei einer RT von 18.39 detektierte **2-Butoxyethanol** ist ebenfalls eine Verbindung, die in der Luft nachgewiesen werden kann. Verwendung findet diese chemische Substanz meist als Lösungsmittel in Reinigungsprodukten [PAATSCH, 2006⁴⁵]. Sein Vorkommen in Reinigungsmitteln kann auch sein Auffinden in der Raumluft im Produktionsgebäude der Bäckerei Mann erklären.

Der bei RT 9.99 auftretende Peak konnte nicht eindeutig identifiziert werden. Als mögliche Verbindung wurde unter anderem 1,1-Dimethylcycopropan angegeben. Über diese Verbindung, als flüchtiger Bestandteil in der Luft lässt sich aber in der Literatur keine erwähnenswerte Information finden.

⁴⁵ vgl. <http://www.enius.de/schadstoffe/butylglykol.html>, Zugriff: 05.02.2009

4.1.2 Bäckerei „Linsbichler“ - Backstube

4.1.2.1 Ergebnisse 6-Stunden-Probe: Backstube Bäckerei „Linsbichler“

Diese Abbildung zeigt das erhaltene Chromatogramm der 6-Stunden-Probe in der Backstube der Bäckerei „Linsbichler“.

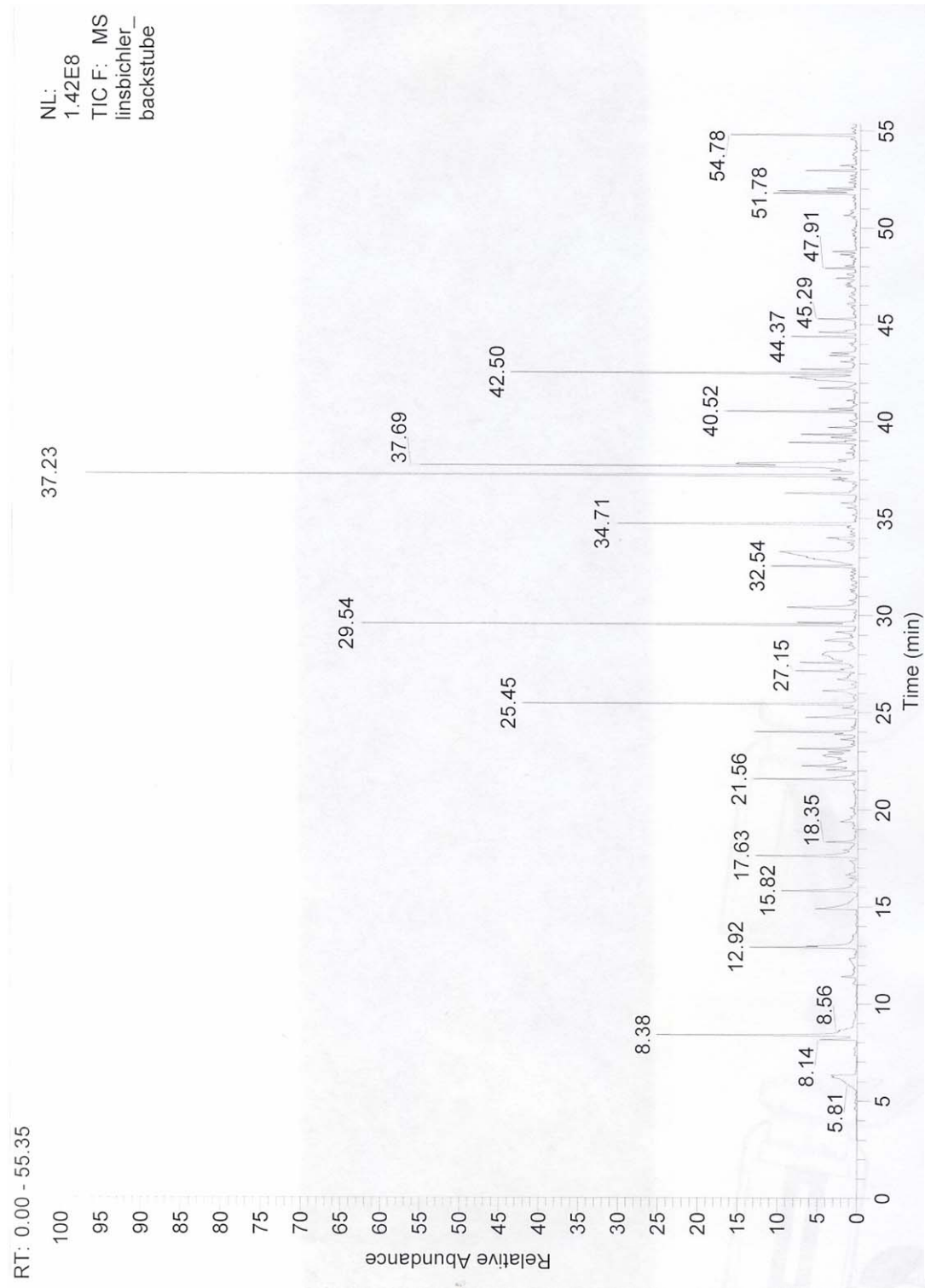


Abb. 23.: Chromatogramm 6-Stunden-Probe Backstube der Bäckerei „Linsbichler“

Folgende Tabelle soll zeigen, welche flüchtigen Verbindungen in der Backstube der Bäckerei „Linsbichler“ dem Brotaroma zugeschrieben werden können:

RT (min)	Substanz		RT (min)	Substanz
6.21	Essigsäureethylester		22.40	Hexansäure
6.30	Essigsäure		22.59	1-Octen-3-ol
7.54	1-Butanol		23.12	2-Pentylfuran
8.57	Propansäure		24.00	Octanal
10.05	1-Pentanol		26.13	Benzylalkohol
10.20	2-Methyl-1-butanol		26.23	5-Ethyl-2(5H)-furanon
12.17	Butansäure		27.15	E-2-Octenal
12.98	Hexanal		27.58	1-Octanol
14.60	2-Methylpyrazin		29.54	Nonanal
14.78	3-Methylbutansäure		30.42	2-Phenylethanol
14.90	2-Furancarboxaldehyd		32.84	Octansäure
15.82	2-Furanmethanol		34.01	Octansäureethylester
16.48	1-Hexanol		35.54	2,4-(E,E)-Nonadienal
17.23	Pentansäure		36.30	5-Hydroxymethyl-2-furfural
19.50	4-Hydroxybuttersäurelacton		42.30	Decansäure
22.25	Benzaldehyd		40.52	2,4-(E,E)-Decadienal

Tab. 9.: Auswertung 6-Stunden-Probe Backstube Bäckerei „Linsbichler“ 1

Die auf der nächsten Seite stehende Tabelle, zeigt jene Geruchsverbindungen an, die weitere flüchtige Bestandteile in der Raumluft darstellen, aber nicht dem Brotaroma zugeordnet werden können.

RT (min)	Substanz
11.42	Toluol
16.14	Ethylbenzol
16.63	p-Xylol
16.65	m-Xylol
16.73	o-Xylol
18.35	Heptanal
22.97	β -Myrcen
23.88	2,4-(E,E)-Heptadienal
23.62	1,2,3-Trimethylbenzol
24.27	(+)-3-Caren
25.45	(+)-Limonen
29.15	(+)-Linalool
31.95	2,3-Dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4H-pyran-4-on
32.54	6-(Z)-Nonenal
34.42	2,4-Nonadienal
34.71	Estragol
37.22	Carvon
37.69	2-(E)-Decenal
37.99	α -Citral (=Geranial)
38.02	p-Anisaldehyd
39.18	(E)-Anethol
39.55	Thymol
42.50	2-Undecenal
44.37	Dodecanal

Tab. 10.: Auswertung 6-Stunden-Probe Backstube, Bäckerei „Linsbichler“ 2

4.1.2.2 Diskussion 6-Stunden-Probe: Backstube Bäckerei „Linsbichler“

In der Backstube der Bäckerei „Linsbichler“ konnten 32 Verbindungen nachgewiesen werden, die dem Brotaroma zugeordnet werden können. 25 von diesen detektierten auch schon in der sechsstündigen Probe der Bäckerei „Der Mann“. Da im vorangegangenen Kapitel über diese Brotaromaverbindungen schon ausführlich diskutiert wurde, wird auf eine weitere Erklärung im Folgenden verzichtet, sondern auf die restlichen sieben Verbindungen *Essigsäure*, *1-Butanol*, *1-Pentanol*, *1-Octen-3-ol*, *5-Ethyl-2(5H)-furanon*, *Octansäureethylester* und *2,4-(E,E)-Nonadienal*, näher eingegangen.

Ein weiterer Punkt in dieser Diskussion wird sein, aufzuzeigen, welche Unterschiede sich zwischen der Probe der Bäckerei „Der Mann“ und jener der Bäckerei „Linsbichler“ ergeben.

4.1.2.2.1 Interpretation der Brotaromen

Bei einer RT von 6.30 detektiert **Essigsäure**. Es ist eine Verbindung die in vielen Studien, das Brotaroma betreffend, bereits nachgewiesen werden konnte [KIRCHHOFF und SCHIEBERLE, 2001; RUIZ et al., 2003; SEITZ et al., 1998]. Am Beispiel Essigsäure ist gut ersichtlich, wie sich die Konzentrationen von flüchtigen Verbindungen während der Zubereitung von Brot ändern können. Hansen und Schieberle bringen dies in einem ihrer Reviews an. So enthält Sauerteig allein die höchsten Konzentrationen an Essigsäure, gibt man Mehl hinzu, sinkt die Konzentration im Brotteig rapide, da sich im Mehl geringere Mengen davon befinden. Im fermentierten Brotteig kommt es wieder zu einem starken Anstieg, was die Bildung von Essigsäure während der Fermentation anzeigt. Während des Backens sinkt die Konzentration im Brot wieder [HANSEN und SCHIEBERLE, 2005]. Die Geruchseigenschaft wird als stechend, sauer beschrieben [KIRCHHOFF und SCHIEBERLE, 2001].

Der aliphatische Alkohol **1-Butanol** wird bei einer RT von 7.54 angezeigt. Sein Auftreten in fermentierten Sauerteigen weist auf eine Bildung während des

Fermentationsprozesses hin [HANSEN und SCHIEBERLE, 2005]. Sein Geruch wird als süß, nach Fuselöl riechend beschrieben [JØRGENSEN et al., 2000].

Ein weiterer Alkohol ist **1-Pentanol**, der bei einer RT von 10.05 detektiert wird. Seine Bildung wird mit der Lipidoxidation in Verbindung gebracht, wo er neben Hexanal und anderen Verbindungen bei der Oxidation von Linolsäure entsteht [MARTÍNEZ-ANAYA, 1996]. Der Geruch wird als fruchtig und grün beschrieben [DREHER et al., 2003].

Bei RT 22.59 wird die Alkoholverbindung **1-Octen-3-ol** angezeigt. Sie ist als Character-Impact-Verbindung vor allem im Champignon- und Camembertaroma enthalten [Römpp Enzyklopädie Online, 2007⁴⁶]. 1-Octen-3-ol gilt daher als jene Verbindung, die für einen charakteristischen pilzartigen Geruch verantwortlich ist [BELTRAN-GARCIA et al., 1997]. Die Aromaverbindung entsteht durch Oxidation von Linolsäure [Römpp Enzyklopädie Online, 2007⁴⁷]. Eine Untersuchung an verschiedenen Brotsorten ergab, dass sich die höchsten Konzentrationen von 1-Octen-3-ol in Sauerteigbrot befinden [SEITZ et al., 1998].

Die Verbindung **5-Ethyl-2(5H)-furanon** wird bei einer RT von 26.23 detektiert. Furane haben, wie bereits oben erwähnt, ihren Ursprung meist in der Maillard-Reaktion. Der Geruch dieser Verbindung wird als süßlich, cumarinartig beschrieben [SCHIEBERLE und GROSCH, 1984].

Bei RT 34.01 wird **Octansäureethylester** angezeigt. Der Geruch, dieser zu den Fruchtestern gehörenden Verbindung, wird als fruchtig beschrieben [ZEHENTBAUER und REINECCIUS, 2002]. Weiter kommt es vor allem in Gärungsgetränken und deren Destillaten vor [Römpp Enzyklopädie Online, 2007⁴⁸]. Die in der Probe der Bäckerei Mann aufgefundenen Fruchtester⁴⁹ werden in dieser Probe nicht angezeigt.

Bei einer RT von 35.54 wird **2,4-(E,E)-Nonadienal** detektiert, das wiederum ein Linolsäureoxidaionsprodukt ist [GROSCH und SCHIEBERLE, 1991]. Diese

⁴⁶ vgl. Abschnitt (-)-(R)-Oct-1-en-3-ol

⁴⁷ vgl. Abschnitt (-)-(R)-Oct-1-en-3-ol

⁴⁸ vgl. Abschnitt Fruchtester

⁴⁹ siehe dazu Kapitel 4.1.1.2.1

Verbindung wird auch in der Liste von Nijssen et al. als Aromaverbindung von Roggenbrot angeführt [NIJSSEN et al., 1996],

4.1.2.2.2 Interpretation anderer flüchtiger Bestandteile in der Raumluft

Im Unterschied zur sechsstündigen Probe der Bäckerei Mann wurden in dieser Probe mehr flüchtige Verbindungen angezeigt, die nicht direkt dem Brotaroma zugewiesen werden können. Hier stechen vor allem zwei Gruppen hervor: Aldehyde, deren Ursprung die Lipidoxidation ist, sowie Aldehyd- und Alkoholverbindungen, die vor allem flüchtige Gewürzbestandteile sind.

Folgende Verbindungen, die in der Backstube der Bäckerei Linsbichler nachgewiesen werden konnten, entstehen während der Oxidation verschiedener ungesättigter Fettsäuren: *Heptanal* (RT=18.35), *2,4-(E,E)-Heptadienal* (RT=23.88), *6-(Z)-Nonenal* (RT=32.54), *2,4-Nonadienal* (RT=34.42), *2-(E)-Decenal* (RT=37.69) und *2-Undecenal* (RT=42.50).

Heptanal kann aus Rizinusöl gewonnen werden und hat einen intensiv fruchtartigen Geruch [Römpp Enzyklopädie Online, 2007⁵⁰]. **2,4-(E,E)-Heptadienal** entsteht bei der Autooxidation von Linolensäure und weist einen fettig, öligen Geruch auf [BELITZ et al., 2008⁵¹]. **6-Z-Nonenal** ist Bestandteil des Gurken-, Melonen- und Fischaromas [Römpp Enzyklopädie Online, 2007⁵²]. **2,4-Nonadienal** ist ein Autooxidationsprodukt von Linolsäure [PARADISO et al., 2009]. Auch **2-(E)-Decenal** ist ein Oxidationsprodukt von Linolsäure, und weist einen talgig, orangenartigen Geruch auf [BELITZ et al., 2008⁵³]. **2-Undecenal** ist ein wichtiger Aromastoff in gekochtem Hühnerfleisch und Hühnerbrühe [TÄUFEL et al., 1993⁵⁴].

⁵⁰ vgl. Abschnitt Heptanal

⁵¹ vgl. Tab. 3.31. und Tab. 3.32. in „Lehrbuch der Lebensmittelchemie“, S 207 + 208

⁵² vgl. Abschnitt Alken-1-ale

⁵³ vgl. Tab. 3.31. und Tab. 3.32. in „Lehrbuch der Lebensmittelchemie“, S 207 + 208

⁵⁴ vgl. Lebensmittel-Lexikon 1 A – K: S 651 Tab.: Aromawirksame Substanzen in gekochtem (und gebratenem) Geflügelfleisch

Viele Gewürzverbindungen, die in der Produktionsstätte der Bäckerei „Der Mann“ nachgewiesen werden können, werden auch in der Backstube der Bäckerei „Linsbichler“ angezeigt. In der analysierten Raumlufte der Backstube werden jedoch noch zusätzliche flüchtige Gewürzverbindungen detektiert: β -Myrcen (RT=22.97), Estragol (RT=34.71), α -Citral (RT=37.99), *p*-Anisaldehyd (RT=38.02), (*E*)-Anethol (RT=39.18), Thymol (RT=39.55) und Dodecanal (RT=44.37). Eine mögliche Erklärung, warum in der Backstube der Bäckerei „Linsbichler“ mehr Gewürzverbindungen angezeigt werden, als in der Produktionsstätte der Bäckerei „Der Mann“, ist der Größenunterschied der beiden. Die um ein vielfaches kleinere Backstube der Bäckerei „Linsbichler“ macht es einfacher, flüchtige Verbindungen zu sammeln, als im großen Produktionsraum der Bäckerei „Der Mann“, in der sich Düfte besser verteilen.

Das Monoterpen **β -Myrcen** - Bestandteil vieler ätherischer Pflanzenöle - ist vor allem ein wichtiger Aromastoff in Petersilie [BELITZ et al., 2008⁵⁵]. **Estragol** ist mit 60 bis 75 Prozent Anteil Hauptbestandteil von Estragonöl, ist aber auch in vielen anderen ätherischen Ölen, wie Basilikum-, Fenchel-, Sternanis- und Anisöl enthalten. Der Geruch wird als süß-krautig und anis-fenchelartig beschrieben [Römpp Enzyklopädie Online, 2007⁵⁶].

α -Citral bzw. Geranial verfügt über ein zitronenartiges Aroma und kommt zum Beispiel gemeinsam mit seinem Z-Isomer Neral als Mischung in Lemongrasöl vor [Römpp Enzyklopädie Online, 2007⁵⁷].

p*-Anisaldehyd**, mit seinem cumarinähnlichen Geruch kommt in vielen ätherischen Ölen vor und konnte auch schon in einigen Lebensmitteln, wie in Marillen, schwarzen Johannisbeeren oder Tomaten als Aromastoff identifiziert werden. In Anis- und Sternanisöl tritt es gemeinsam mit (E***)-Anethol auf, das auch in der vorliegenden Analyse detektiert wurde [Römpp Enzyklopädie Online, 2007⁵⁸]. Im Anisgewürz ist letzteres mit 80 bis 95 Prozent Hauptbestandteil, und gibt diesem so den charakteristischen Anisgeruch [BELITZ et al., 2008⁵⁹].

⁵⁵ vgl. Kapitel 22.1.1.2.9 Petersilie in „Lehrbuch der Lebensmittelchemie“, S 1011

⁵⁶ vgl. Abschnitt Estragol

⁵⁷ vgl. Abschnitt Citrale

⁵⁸ vgl. Abschnitt *p*-Anisaldehyd

⁵⁹ vgl. Tab. 22.3. in "Lehrbuch der Lebensmittelchemie", S 1007

Thymol ist ein Monoterpen-Alkohol, der Hauptinhaltsstoff des Thymianöls ist. Dieses kann aus dem echten (*Thymus vulgaris*) und dem spanischen Thymian (*Thymus zygis*) gewonnen werden [Römpp Enzyklopädie Online, 2007⁶⁰].

Dodecanal, ein C₁₂-Aldehyd, ist Bestandteil des ätherischen Öls von vietnamesischem Koriander⁶¹, ist aber auch in Rosen- und Citrusölen⁶² enthalten [TÄUFEL et al., 1993]. Der Geruch von Dodecanal wird als fettig-citrusartig beschrieben [HÖGNADÓTTIR und ROUSEFF, 2003].

Weiter kann noch folgende Verbindung in der Raumluft nachgewiesen werden: **2,3-Dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4H-pyran-4-on** (RT = 31.95). Die Ketonverbindung, ein Reaktionsprodukt der Maillard-Reaktion, gilt als typischer Marker für die 2,3-Enolisierung im Initialstadium [DAVIDEK et al., 2003] und ist Vorstufe von Maltol. Es gilt als Schlüsselaromastoff in Getreideprodukten [AIT AMEUR, 2008].

⁶⁰ vgl. Abschnitt Thymol und Thymianöl

⁶¹ vgl. Lebensmittel-Lexikon 2 L – Z: S 1968 Vietnamesischer Koriander

⁶² vgl. Lebensmittel-Lexikon 1 A – K: S 28 Tab.: In Lebensmitteln vorkommende Aldehyde

4.1.3 Bäckerei „Linsbichler“ - Verkaufsraum

4.1.3.1 Ergebnisse 6-Stunden-Probe: Verkaufsraum Bäckerei „Linsbichler“

Folgendes Chromatogramm wurde nach den Analysen im Verkaufsraum der Bäckerei „Linsbichler“ erhalten.



Abb. 24.: Chromatogramm 6-Stunden-Probe Verkaufsraum Bäckerei „Linsbichler“

Nachstehende Tabelle zeigt jene Aromakomponenten im Verkaufsraum an, die dem Brotduft zugeordnet werden können.

RT (min)	Substanz		RT (min)	Substanz
6.32	Essigsäure		22.25	Benzaldehyd
6.54	2-Methyl-1-propanol		22.45	Hexansäure
8.55	Propansäure		23.15	2-Pentylfuran
10.16	2-Methyl-1-butanol		24.01	Octanal
12.16	Butansäure		26.16	Benzylalkohol
12.22	2,3-Butandiol		27.19	2-E-Octenal
12.99	Hexanal		27.60	1-Octanol
14.61	Methylpyrazin		29.53	Nonanal
14.92	2-Furancarboxaldehyd		30.42	2-Phenylethanol
15.83	2-Furanmethanol		32.65	Octansäure
16.49	1-Hexanol		36.36	5-Hydroxymethyl-2-furfural
17.21	Pentansäure		37.43	Nonansäure
19.49	4-Hydroxybuttersäurelacton		40.54	2,4-(E,E)-Decadienal

Tab. 11.: Auswertung 6-Stunden-Probe Verkaufsraum Bäckerei „Linsbichler“ 1

Andere flüchtige Verbindungen in der Raumluft sind:

RT (min)	Substanz
11.42	Toluol
16.14	Etyhlbenzol
16.65	p-Xylol
16.66	m-Xylol
16.71	o-Xylol
20.00	α -Pinen
22.64	β -Pinen
23.62	1,2,3-Trimethylbenzol
23.90	2,4-(E,E)-Heptadienal
24.27	(+)-3-Caren
25.46	(+)-Limonen
29.16	(+)-Linalool
37.20	Carvon
37.68	2-(E)-Decenal

Tab. 12.: Auswertung 6-Stunden-Probe Verkaufsraum Bäckerei „Linsbichler“ 2

4.1.3.2 Diskussion 6-Stunden-Probe: Verkaufsraum Bäckerei „Linsbichler“

Allgemein kann gesagt werden, dass auch im Verkaufsraum der Bäckerei Linsbichler viele Verbindungen nachgewiesen werden, die dem Brotduft zugeordnet werden können. Ein Großteil davon – 21 Verbindungen – decken sich auch mit jenen, die in der Backstube der Bäckerei Linsbichler detektiert wurden. Da der Verkaufsraum mit der Backstube nur durch einen kleinen Zwischenraum getrennt ist, scheint dies nicht verwunderlich.

Im Folgenden wird nun ein Vergleich der Aromakomponenten zwischen der Backstube der Bäckerei „Linsbichler“ und deren Verkaufsraum angeführt. Es soll zeigen, welche Verbindungen für den charakteristischen Geruch in einer Bäckerei verantwortlich sind und was der Kunde beim Bäckerbesuch (in diesem Fall der Bäckerei „Linsbichler“ in Pötzleinsdorf) riechen kann.

4.1.3.2.1 Vergleich der Aromakomponenten zwischen Backstube und Verkaufsraum

Fünf Verbindungen werden im Verkaufsraum, aber nicht in der Backstube detektiert: *2-Methyl-1-propanol*, *2,3-Butandiol*, *Pentansäure*, *2-E-Octenal* und *Nonansäure*. Eine mögliche Erklärung hierfür, könnte sein, dass in der Backstube einige Geruchsverbindungen durch hohe Konzentrationen anderer Geruchskomponenten überlagert werden, so sind zum Beispiel in der Raumluft der Backstube sehr hohe Mengen an Gewürzaromen zu finden. Im Verkaufsraum selbst, sind von diesen Gewürzverbindungen nur mehr wenige und wenn, diese zu wesentlich geringeren Konzentrationen nachzuweisen, zum Beispiel Carvon, bei einer Retentionszeit von 37.20. Diese Tatsache führt auch zum nächsten sichtbaren Unterschied in den Chromatogrammen: Im Verkaufsraum werden durch die wesentlich geringeren Konzentrationen der flüchtigen Verbindungen in der Raumluft, kleinere Peaks detektiert, als im Vergleich zur Backstube. Der größte Peak scheint bei einer Retentionszeit von 25.47 auf – Limonen. Diese

Verbindung mit ihrem orange-artigen Geruch, wird häufig als Duftstoff in Reinigungsmitteln verwendet. Es kann davon ausgegangen werden, dass in Verkaufsräumen, die auf Hygiene Acht geben müssen, häufig Reinigungsmittel verwendet werden, die auch Limonen als Duftzusatz enthalten haben. Eine italienische Studie zeigt in ihren Untersuchungen der Innenraumluft verschiedener Standorte, dass vor allem Orte, die einen hohen Hygienestandard vorweisen müssen, wie Coffeeshops, Restaurants, Friseursalons und Supermärkte, hohe Limonenlevels in der Raumluft enthalten haben [BRUNO et al., 2008].

Fünf Verbindungen, das Brotaroma betreffend, können zwar in der Backstube, aber nicht mehr im Verkaufsraum nachgewiesen werden: *1-Butanol*, *3-Methylbutansäure*, *5-Ethyl-2(5H)-furanon*, *Octansäureethylester* und *Decansäure*. Die in der Raumluft der Backstube detektierten flüchtigen Lipidoxidsationsprodukte (Bsp.: Heptanal, 2-E-Decenal usw.) können im Verkaufsraum ebenfalls nicht mehr nachgewiesen werden.

Zusammenfassend kann über den Vergleich der flüchtigen Verbindungen der Backstube mit dem Verkaufsraum der Bäckerei „Linsbichler“ folgendes gesagt werden:

- Ein Großteil der in der Backstube detektierten Brotaromen ist auch im Verkaufsraum nachweisbar, wenn auch in geringeren Konzentrationen, was an der „relativen Menge“ im Chromatogramm abgelesen werden kann.
- Die in der Backstube nachgewiesenen Gewürzaromen, sind im Verkaufsraum nicht mehr präsent (Ausnahme: Carvon). Dasselbe gilt für die in der Backstube detektierten flüchtigen Lipidoxidsationsprodukte.
- Der höchste Peak im Chromatogramm des Verkaufsraumes ist Limonen - dies kann auf Hygienemaßnahmen, die in einem öffentlichen Betrieb gesetzt werden müssen, zurückgeführt werden.

Abschließend kann gesagt werden, dass die chemischen Analysen zeigen, dass für die Besucher und Besucherinnen der Bäckerei „Linsbichler“ der typische Brotduft sehr wohl noch riechbar ist, da auch im Verkaufsraum viele flüchtige Verbindungen gefunden werden konnten, die eindeutig dem Brotaroma zugeordnet werden können.

4.2 Der Fliederduft – Auswertung und Interpretation

Für die Analyse des Fliederduftes wird das Chromatogramm der sechsstündigen Probensammlung im Volksgarten verwendet. Grund dafür ist, dass hier die meisten Verbindungen, die dem Fliederduft zugeordnet werden können, angezeigt werden. Die unten stehende Tabelle (Tab. 13.) beinhaltet sowohl Fliederduftkomponenten, als auch andere flüchtigen Verbindungen, die generell durch ihr Vorkommen in der Luft angezeigt werden. In weiterer Folge werden diese Verbindungen diskutiert und interpretiert.

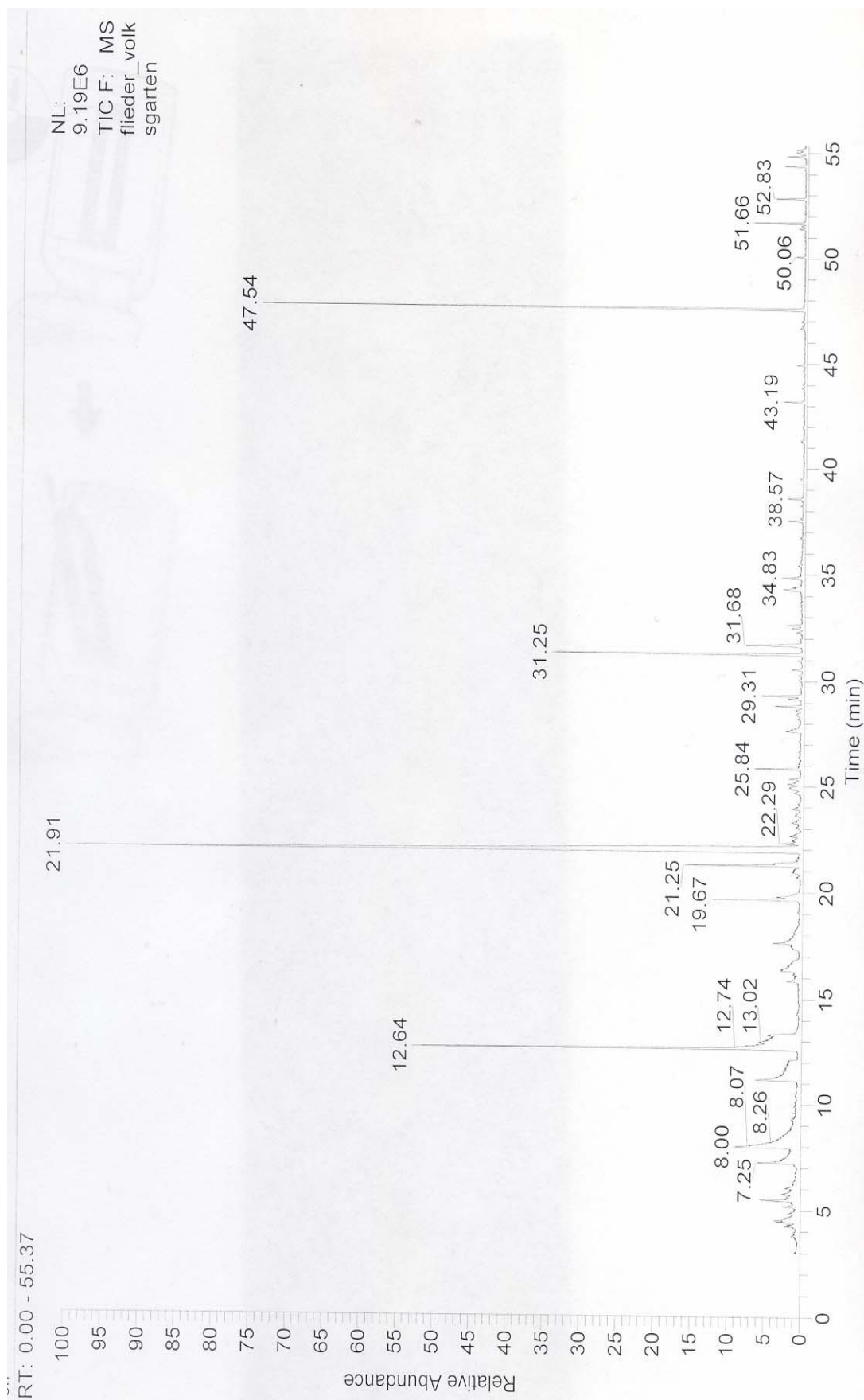
Von Interesse dieser Arbeit war es auch, herauszufinden, ob der Duft des Flieders für den Parkbesucher/die Parkbesucherin auch noch wahrnehmbar ist, wenn man sich nicht direkt neben der Fliederblüte aufhält. Für dieses Vorhaben wurde ein SPME-Messgerät unter eine Parkbank gestellt, die sich etwa zwei Meter entfernt vom Fliederstrauch befand – die chemische Analyse dieser Probe soll Aufschluss darüber geben, welche Fliederduftkomponenten auch aus weiterer Ferne noch angezeigt werden.

4.2.1 Ergebnisse 6-Stunden-Probe: Wiener Volksgarten, Fliederstrauch

Beim Sammeln des Fliederduftes wurden die SPME-Messgeräte unter einem Fliederstrauch platziert – was auf Abb. 25. veranschaulicht wird.



Abb. 25.: SPME-Messgerät an der Fliederblüte [SCHAUPP, 2008]

**Abb. 26.:** Chromatogramm 6-Stunden-Probe Wiener Volksgarten, Fliederstrauch

Folgende Tabelle zeigt die wichtigsten, identifizierten flüchtigen Verbindungen, die in der Nähe der Fliederblüte gesammelt wurden, an. Sie beinhaltet einerseits Verbindungen, die mit dem Fliederduft in Zusammenhang gebracht werden und andererseits solche, die sich zusätzlich in der Luft befinden. Die fett markierten Retentionszeiten zeigen jene Verbindungen an, die aufgrund des Vergleiches mit verschiedenen Fliederduft-Studien, als Fliederduftkomponenten bewertet werden können [LI et al., 2006; OH et al., 2008].

RT (min)	Substanz		RT (min)	Substanz
4.24	2-Methylbutan		22.29	β -Pinen
4.49	Propanal		22.31	β -Myrcen
4.53	Isopren		22.61	Methylisohexenylketon
5.45	Essigsäure		23.28	1,2,3-Trimethylbenzol
5.78	2-Butanon		23.31	1,3,5-Trimethylbenzol
6.09	Essigsäurepentylester		23.32	1,2,4-Trimethylbenzol
7.31	Benzol		23.60	Essigsäure-(Z)-3-hexenylester
7.93	Propionsäure		23.63	(Z)-3-Hexen-1-ol-formiat
11.17	Toluol		23.69	Essigsäure-(E)-2-hexenylester
16.37	o-Xylol		23.92	γ -Terpinen
16.39	m-Xylol		24.64	Nicotinaldehyd
16.46	p-Xylol		24.93	p-Cymol
16.58	Essigsäuremethylbutylester		25.10	(+)-R-Limonen
18.12	Heptanal		25.23	α -Thujen
19.67	α -Pinen		25.36	1,8-Cineol
20.69	Camphen		25.84	(+)-3-Caren
21.91	Benzaldehyd		28.83	Linalool
22.27	Sabinen		30.30	cis- β -Ocimen

31.25	Fliederaldehyd A ⁶³		37.67	p-Anisaldehyd
31.68	Fliederaldehyd B		39.49	1H-Indol
31.73	Fliederaldehyd C		43.19	Tetradecan
32.48	Fliederaldehyd D		43.83	Eugenolmethylether
34.25	Salicylsäuremethylester		47.54	Pentadecan
34.87	1-Terpinen-4-ol			

Tab. 13.: Auswertung 6-Stunden-Probe Wiener Volksgarten, Fliederstrauch

4.2.2 Diskussion 6-Stunden-Probe: Wiener Volksgarten, Fliederstrauch

Generell können die in dieser Analyse detektierten Verbindungen in zwei Gruppen eingeteilt werden. Eine große Gruppe davon sind die Terpenverbindungen, die eine wichtige Verbindungsklasse im Blütenduft darstellen. Zur zweiten Gruppe zählen die so genannten „volatile organic compound's“ (VOC's), die auf anthropogene Quellen zurückgeführt werden. Das Auftreten dieser VOC's ist erklärbar, da die Messungen zur Analyse des Fliederduftes unter freiem Himmel durchgeführt wurden. Die in der Luft befindlichen Monoterpenverbindungen, die in dieser Arbeit mit hoher Wahrscheinlichkeit dem Fliederduft zugeordnet werden können, werden in der Literatur auch in die Gruppe der „biogenic VOC's“ eingeordnet [KESSELMAIER und STAUDT, 1999]. Der erste Teil dieser Diskussion widmet sich diesen biogenen flüchtigen organischen Verbindungen. Im zweiten Teil erfolgt eine Aufzählung und Diskussion jener Komponenten, die aus anthropogenen Quellen stammen.

Folgende aus dem Chromatogramm identifizierte Verbindungen können den Monoterpenen zugeordnet werden: *α-Pinen*, *Camphen*, *Sabinen*, *β-Pinen*, *β-Myrcen*, *γ-Terpinen*, *p-Cymol*, *(+)-R-Limonen*, *α-Thujen*, *1,8-Cineol*, *(+)-3-Caren*, *Linalool*, *cis-β-Ocimen*, *Fliederaldehyd A-D* und *1-Terpinen-4-ol*. Außer den Verbindungen *(+)-3-Caren* und *1-Terpinen-4-ol* konnten alle restli-

⁶³ A-D kennzeichnet die verschiedenen Fliederaldehyd-Isomere.

chen Terpene in Studien, die die Zusammensetzung des Fliederduftes untersuchten, nachgewiesen werden [LI et al., 2006; OH et al., 2008]. Daher wird der Ursprung dieser Riechstoffe auch auf den, über dem Analysegerät befindlichen, Fliederstrauch zurückgeführt.

Der bei einer RT von 19.67 auftretende bicyclische Monoterpen-Kohlenwasserstoff ist **α -Pinen**. Diese Verbindung befindet sich im Blütenduft vieler verschiedener Pflanzenfamilien, so kann es in 67 % aller untersuchten Pflanzenfamilien nachgewiesen werden [KNUDSEN et al., 2006]. Zudem ist es Hauptbestandteil von Fichten- und Kiefernadelölen [Römpp Enzyklopädie Online, 2007⁶⁴]. Eine Studie, die die Emissionen eines Kieferwaldes untersuchte, zeigte, dass α -Pinen zu den am meisten emittierten Monoterpenen gehört – so wurde es bei Luftmessungen, aber auch bei der Extraktion von Kiefernadeln nachgewiesen [RÄISÄNEN et al., 2009]. Sein Geruch wird auch als Kiefernadel-ähnlich beschrieben [JIROVETZ et al., 2002]. Terpentinöl, dass aus Kieferbäumen gewonnen wird, enthält ebenfalls eine hohe Menge an α -Pinen (> 70 %). Einen Anteil von 20 % dieses Öles werden der isomeren Verbindung **β -Pinen** zugeordnet [BREITMAIER, 2006]. Diese werden in der sechsstündigen Analyse des Fliederduftes im Volksgarten bei RT 22.29 angezeigt. Dass diese Monoterpenverbindung auch im Blütenduft eine Rolle spielt, zeigt der Umstand, dass sie in 59 % aller untersuchten Pflanzenarten nachgewiesen werden kann [KNUDSEN et al., 2006].

Ein weiteres bicyclisches Monoterpen stellt **Camphen** dar, das bei einer Retentionszeit von 20.69 detektiert. Diese Verbindung weist einen campherartigen Geruch auf [JIROVETZ et al., 2002]. Camphen ist Bestandteil vieler ätherischer Öle – wenn auch meist nur in geringer Konzentration. Beispiele für camphen-hältige Öle sind etwa Bergamott-, Zitronen-, Zypressen- und Neroliöl [SCHWEDT, 2008]. In dieser Arbeit wird Camphen dem Fliederduft zugeordnet, da er auch in einer Fliederduft-Studie von Oh et al. angeführt wird [OH et al., 2008].

⁶⁴ vgl. Abschnitt Fichten- und Kiefernadelöle

Bei einer RT von 22.27 detektiert das bicyclische Monoterpen **Sabinen**. Diese Verbindung konnte bereits im Duft frischer Fliederblüten nachgewiesen werden [LI et al., 2006]. Seine Geruchseigenschaft wird als pfefferartig beschrieben [JIROVETZ et al., 2002]. Neben α - und β -Pinen kann Sabinen zu jenen biogenen organischen flüchtigen Verbindungen (BVOC's) gezählt werden, die die längste chemische Lebensdauer (am Tag zwei bis drei Stunden) vorweisen [KESSELMEIER und STAUDT, 1999].

Das bei einer RT von 22.31 auftretende **β -Myrcen** - ein acyclisches Monoterpen - ist ebenfalls wichtiger Bestandteil vieler Blütendüfte, so konnte es bereits in vielen verschiedenen Pflanzengattungen nachgewiesen werden [KNUDSEN et al., 2006]. Des Weiteren ist es Komponente vieler ätherischer Öle, wie Kümmel-, Grapefruit-, Litsea cubeba-, Orangenschalen- und Pfefferminzöl [MARGETTS, 2005]. Die Geruchqualität von β -Myrcen wird in der Literatur verschieden beschrieben - so wird ihm zum Beispiel eine balsamische Duftnote zugeschrieben [JIROVETZ et al., 2002], aber auch eine hopfen- und geraniu-mähnliche [FISCHER et al., 2008].

Ein weiteres cyclisches Monoterpen stellt **γ -Terpinen** dar, das in dieser Analyse bei einer RT von 23.92 auftritt. Auch diese Verbindung kann in vielen ätherischen Ölen nachgewiesen werden. So enthält ätherisches Öl, gewonnen aus Zitrusfrüchten, wie zum Beispiel der Kaffernlimette (*Citrus hystrix*) γ -Terpinen [Hongratanaworakit und Buchbauer, 2007]. Es ist aber auch Bestandteil ätherischer Gewürzöle, wie etwa in Kümmel- und Kreuzkümmelöl [JALALI-HERAVI et al., 2007]. Auch in der Pflanzenwelt scheint es eine wichtige Komponente zu sein, was Blumenduftanalysen an vielen Pflanzenfamilien bereits bewiesen haben [KNUDSEN et al., 2006].

Das bei RT 24.93 auftretende **p-Cymol**, ist ein in der Pflanzenwelt weit verbreitetes aromatisches Monoterpen. So kann es, als Inhaltsstoff von ätherischen Ölen unter anderem aus den Blättern und Früchten von Zimt, Eukalyptus und Koriander gewonnen werden [SCHWEDT, 2008]. Ätherische Öle verfügen oftmals über eine antimikrobielle Wirkung – was vor allem auf gewisse Monoterpene zurückgeführt wird. So wurde z.B. bei p-Cymol eine antibakterielle Wir-

kung gegenüber gram-negativen *Escherichia coli*-Bakterien nachgewiesen [CHRISTANI et al., 2007].

Das Monoterpen **Limonen** wird bei einer RT von 25.10 detektiert. In der Natur existieren davon zwei Enantiomere – (+)-R-Limonen und (-)-S-Limonen, die beide Unterschiede im Geruch zeigen. In der vorliegenden Analyse konnte nur (+)-R-Limonen mit höherer Wahrscheinlichkeit nachgewiesen werden. Dieses verfügt über einen orangenartigen Geruch, wohingegen das S-Enantiomer terpenartig riecht [DEMIRCI et al., 2002]. (+)-R-Limonen ist mit bis zu 90% Anteil unter anderem Bestandteil von Pomeranzen-, Kümmel-, Dill- und Zitronenöl [Römpp Enzyklopädie Online, 2007⁶⁵]. Im Orangenschalenöl ist es mit 92 % Hauptbestandteil [SCHWEDT, 2008]. Generell kann gesagt werden, das Limonen ein überaus wichtiger Bestandteil des Blütenduftes ist, denn die Verbindung konnte schon in 71 % aller untersuchten Pflanzenfamilien nachgewiesen werden [KNUDSEN et al., 2006].

α -Thujen, ein bicyclisches Monoterpen, detektiert bei RT 25.23. Auch dieses ist flüchtiger Duftbestandteil mehrerer Pflanzenarten [KNUDSEN et al., 2006]. Weiters kommt es unter anderem in Eukalyptus-, Thymian- und im Zitruschalenöl vor [SCHWEDT, 2008].

Ein weiteres in dieser Analyse angezeigtes Terpen ist **1,8 Cineol** (RT = 25.36), welches auch unter der Bezeichnung „Eucalyptol“ bekannt ist. Große Mengen von 1,8-Cineol befinden sich in Eucalyptosöl (65 – 85 %). Cineol-reiches Eucalyptosöl zeichnet sich durch einen charakteristischen frisch-camphrigen Geruch aus [Römpp Enzyklopädie Online, 2007]. In Studien, die die Komponenten des Fliederduftes untersuchten, konnte 1,8-Cineol in höheren Konzentrationen nachgewiesen werden [LI et al., 2006; OH et al., 2008].

Bei RT 25.84 wird **(+)-3-Caren** angezeigt, ein bicyclisches Monoterpen, dass in der Natur vor allem von Bäumen wie Kiefern emittiert wird [RÄISÄNEN et al., 2009]. So ist es auch Bestandteil von Fichten- und Kiefernadelölen [Römpp Enzyklopädie Online, 2007⁶⁶]. Die Verbindung kommt aber auch im Blütenduft einiger Pflanzenfamilien vor, was der Review von Knudsen et al. zeigt [KNUDSEN et al., 2006].

⁶⁵ vgl. Abschnitt Limonen

⁶⁶ vgl. Abschnitt Fichten- und Kiefernadelöle

In weiterer Folge tritt bei einer RT von 28.83 **Linalool** auf. Dieser acyclische Monoterpen-Alkohol hat einen süßen, angenehmen Geruch und trägt allgemein einen großen Beitrag zum Blumenduft bei, denn in mehr als 70 % aller bereits untersuchten Pflanzenfamilien wurde Linalool nachgewiesen [KNUDSEN et al., 2006]. Er tritt in einer Reihe von ätherischen Ölen als Bestandteil auf, so etwa in Bergamott-, Zimt-, Zitronen-, Orangenschalen- und Ylang Ylang-Öl [MARGETTS, 2005]. Linalool gilt zudem als Vorstufe der Fliederaldehyde [KRECK et al., 2003].

Bei RT 30.30 wird ein weiteres, für den Blumenduft wichtiges Monoterpen angezeigt – **cis- β -Ocimen**. Oh et al. sowie Li et al. konnten diese Verbindung als Komponente im Fliederduft nachweisen, aber auch Duftanalysen anderer Pflanzenfamilien zeigten cis- β -Ocimen an [OH et al., 2008; LI et al., 2006; KNUDSEN et al., 2006]. Sein Geruch wird in der Literatur unterschiedlich beschrieben, die Angaben reichen von süß-blumig bis nach Kräuter riechend [Jørgensen et al., 2000; JIROVETZ et al., 2002]. cis- β -Ocimen ist z.B. im ätherischen Öl der Studentenblume (*Tagetes minuta*, Asteraceae) oder in Basilikumöl enthalten [SENATORE und DE FEO, 1999; CHALCHAT und ÖZCAN, 2008].

In der vorliegenden Arbeit detektieren vier Isomere des **Fliederaldehyds** (diese werden mit den Buchstaben A – D gekennzeichnet). Sie treten bei RT 31.25 (A), 31.68 (B), 31.73 (C) und 32.48 (D) auf. Die für den Fliederduft essentiellen Verbindungen kommen auch im Duft anderer Pflanzenfamilien vor, so kann es zum Beispiel in „*Funastrum cynanchoides*“ in höheren Mengen nachgewiesen werden [KNUDSEN et al., 2006; JUERGENS et al., 2009]. Die Geruchsqualität des Fliederaldehyds wird als blumig beschrieben [KRECK, 2003].

Das in diesem Chromatogramm letzte angezeigte Monoterpen ist **1-Terpinen-4-ol** bei RT 34.87. Dieser Alkohol ist ebenfalls Bestandteil vieler ätherischer Öle und es kommt besonders in Essenzen von Pinus-, Eucalyptus- und Teebaumölen vor. Sein Geruchsprofil hat würzige, erdige, muskatnussähnliche und holzige Noten. Ferner ist auch eine fliederartige Komponente auszumachen, und daher wird 1-Terpinen-4-ol auch zur Abrundung von Lavendel- und Fliederduftkompositionen verwendet [RAU, 1999]. Auch wenn diese Verbindung in Untersuchungen des Fliederdufts noch nicht nachgewiesen werden konnte, wurde es

bei Analysen anderer Pflanzenfamilien bereits als Blütenduftkomponente angezeigt – daher wird in dieser Arbeit der Ursprung von 1-Terpinen-4-ol dem Flieger zugeordnet.

Es folgt nun eine Aufzählung jener Verbindungen, die auch dem Fliederduft zugeordnet werden können, aber nicht in die chemische Klasse der Monoterpene fallen: *Benzaldehyd*, *p-Anisaldehyd*, *1H-Indol*, *Tetradecan* und *Pentadecan*.

Der im Chromatogramm am höchsten aufscheinende Peak bei einer RT von 21.91 ist **Benzaldehyd**. Dieser aromatische Aldehyd - typisch nach Bittermandeln riechend – ist eine wichtige Duftkomponente von Blumen. So kann er in 64 % aller untersuchten Pflanzenfamilien nachgewiesen werden [KNUDSEN et al., 2006]. Die hohe Präsenz in dieser Analyse deckt sich mit den Ergebnissen anderer Studien, denn auch Oh et al. konnte diese Verbindung in allen untersuchten Fliedersorten (*S. vulgaris variginata* + *S. dilatata*) mit hoher Konzentration nachweisen [OH et al., 2008]. Es wird vermutet, dass Benzaldehyd, wie Fliederldehyd zum Anlocken von Bestäubern wie z.B. von Bienen dient [JÜRGENS et al., 2009].

Bei einer RT von 37.67 wird **p-Anisaldehyd** angezeigt. Er ist Duftbestandteil einiger Blumenarten und bewirkt bei diesen ebenfalls die Anlockung von Bienen und Schmetterlingen [KNUDSEN et al., 2006; JÜRGENS et al., 2009].

Bei RT 39.49 wird der aromatische Heterocyclus **1H-Indol** angezeigt. Spuren davon sind in ätherischen Blütenölen wie z.B. Jasmin, Neroli, Goldlack und falscher Akazie enthalten [Römpp Enzyklopädie Online, 2007⁶⁷]. In sehr geringen Konzentrationen weist diese Verbindung eine angenehme blumige Duftnote auf, in höheren Konzentrationen erinnert 1H-Indol jedoch an den Gestank von Fäkalien [VAINSTEIN et al., 2001]. Ohloff beschreibt diese Verbindung auch als den „Todesduft“ in der Natur, der sich etwa beim zunehmenden Welkprozess von Blüten anreichert [OHLOFF, 2004].

Im letzten Drittel des Chromatogramms kann man die Alkane **Tetradecan** (RT= 43.19) und **Pentadecan** (RT= 47.54) erkennen. In der Literatur werden sie als

⁶⁷ vgl. Abschnitt Indol

Biomarker von lebenden Blumen bezeichnet, da sie bisher nur bei Untersuchungen an der noch in der Erde befindlichen Pflanze und nicht bei abgeschnittenen Blüten nachgewiesen wurden [LI et al., 2006; SHANG et al., 2002; DENG et al., 2004]. Beide Verbindungen konnten bereits in einer Reihe von Pflanzenfamilien nachgewiesen werden [KNUDSEN et al., 2006]. Die Alkane sind auch Bestandteil einiger ätherischer Öle [Römpp Enzyklopädie Online, 2007⁶⁸].

Neben der großen Gruppe der Monoterpene können noch weitere Verbindungen, den biogenen VOC's zugeordnet werden, die in der vorliegenden Analyse auch angezeigt werden: **Propanal** (RT= 4.49), **Isopren** (RT= 4.53), **Essigsäure** (RT= 5.45), **2-Butanon** (RT= 5.78) und **Heptanal** (RT= 18.12). Kesselmeier und Staudt führen diese in ihrer Übersichtsarbeit über Emission, Physiologie und Ökologie von biogenen VOC's an [KESSELMEIER und STAUDT, 1999]. Biogene VOC's sind Verbindungen, die im Rahmen verschiedener Vegetationsprozesse in der Natur entstehen [STEINER und GOLDSTEIN, 2007]. Mittlerweile sind mehr als 40 000 Verbindungen als biogene VOC's identifiziert worden, wobei deren Vorkommen und Verteilung innerhalb einiger hundert Pflanzen stark variieren kann. Wälder stellen eine der wichtigsten Quellen von biogenen VOC's dar, und der Duft „gesunder Waldluft“ kann diesen Verbindungen zugeschrieben werden [FABIAN, 2002]. Die Vorstufe der Terpenverbindungen, das Hemiterpen Isopren (=2-Methyl-1,3-butadien) ist die am häufigsten untersuchte und charakterisierte Substanz, die in der Natur von verschiedenen Vegetationsarten emittiert wird [STEINER und GOLDSTEIN, 2007]. Alle fünf Verbindungen werden auch in der Liste, der bereits identifizierten Verbindungen im Blütenduft verschiedener Pflanzenfamilien angeführt [KNUDSEN et al., 2006].

In der vorliegenden Untersuchung detektieren fünf Ester. Bei RT 6.09 wird **Essigsäurepentylester** angezeigt, dessen Geruch als birnen- und bananenartig beschrieben wird [Römpp Enzyklopädie Online, 2007⁶⁹]. Er wird ebenfalls als flüchtiger Riechstoff in Äpfeln angeführt [RIZZOLO et al., 2006]. In der Liste von Knudsen et al. wird er zudem als Duftkomponente verschiedener Pflanzen angeführt [KNUDSEN et al., 2006].

⁶⁸ vgl. Abschnitt Pentadecan + Tetradecan

⁶⁹ vgl. Abschnitt Essigsäurepentylester

Bei RT 16.58 zeigt sich **Essigsäuremethylbutylester**, der ebenfalls als Aromastoff in Früchten wie Äpfeln, aber auch im Blumenduft nachgewiesen werden kann [RIZZOLO et al., 2006; KNUDSEN et al., 2006].

Ein weiterer angezeigter Ester ist **Essigsäure-(Z)-3-hexenylester** (RT = 23.60). Dieser wird häufig von Blättern emittiert, wobei die Menge je nach Pflanzengattung stark variiert [KESSELMAIER und STAUDT, 2006]. Zu diesen so genannten „green leaf volatiles“ (GLV's) gehört auch die Alkoholverbindung 3-Hexen-1-ol, dass in dieser Analyse nicht nachgewiesen werden konnte. Die Konzentrationen von GLV's in der Luft steigen zum Beispiel bei der Anwesenheit von frisch gemähten Gras an [HAMILTON et al., 2009; KIRSTINE und GALBALLY, 2004]. Essigsäure-(Z)-3-hexenylester wird zu den Fruchtestern gezählt, seine Geruchsqualität wird auch als fruchtig beschrieben [JØRGENSEN et al., 2000]. Dieser Gruppe der Fruchtester gehört auch **Essigsäure-(E)-2-hexenylester** an, der in dieser Analyse bei RT 23.69 detektiert. Beide Ester werden in der Literatur auch als Blumenduftkomponenten angeführt, wobei vor allem erstere Verbindung in einer Vielzahl von Pflanzenfamilien nachgewiesen werden konnte [KNUDSEN et al., 2006]. Weiters wird angenommen, dass Pflanzen Essigsäure-(Z)-3-hexenylester für die Abwehr von Fressfeinden benötigen [PARÉ und TUMLINSON, 1999].

Ein weiterer, in diesem Chromatogramm angezeigter Ester, ist **(Z)-3-Hexen-1-ol-formiat** bei RT 23.63. Bisher konnte dieser Ester als Blütenduftstoff nur in der Pflanzengattung „*Orchidaceae*“ nachgewiesen werden [KNUDSEN et al., 2006]. Sein Geruch wird als grün, fruchtig und süß charakterisiert. In der Parfümerie findet er Verwendung um fruchtig-grüne Duftnoten zu schaffen [DJOPUTRO und ISMADJI, 2005].

Bei RT 34.25 kann man die Verbindung **Salicylsäuremethylester** erkennen, das mit 99 % Hauptbestandteil des Wintergrünöls ist. Dieses Öl wird aus den Blättern, des in Nordamerika und Kanada beheimateten, immergrünen Strauches „*Wintergrün*“ (*Gaultheria procumbens*, Ericaceae) gewonnen. In der Parfümerie findet das Öl Verwendung in blumigen Duftnoten [Römpf Enzyklopädie Online, 2007⁷⁰]. Im Blütenduft wurde Salicylsäuremethylester in

⁷⁰ vgl. Abschnitt Wintergrünöl

57 % aller untersuchten Pflanzenfamilien nachgewiesen [KNUDSEN et al., 2006].

In der Analyse konnte neben Essigsäure eine weitere Säure nachgewiesen werden – **Propionsäure** (RT= 7.93). Sie wird unter anderem beim thermischen Abbau von pflanzlichen und tierischen Materialien gebildet [Römpp Enzyklopädie Online, 2007⁷¹]. Ihr Geruch wird als unangenehm und ranzig beschrieben [JIROVETZ et al., 2002]. Als Blumenduftkomponente wird sie bei zwei Pflanzenfamilien angeführt („*Araceae*“ und „*Orchidaceae*“) [KNUDSEN et al., 2006]. Das Vorkommen von Propionsäure in dieser Analyse könnte auf absterbendes Pflanzenmaterial in der direkten Umgebung des Analyseortes zurückgeführt werden.

Bei RT 22.61 detektiert die Verbindung Methylisohexenylketon, das ein überaus wichtiger Duftbestandteil von Blumen ist, denn in 52 % aller untersuchten Pflanzenfamilien konnte es nachgewiesen werden [KNUDSEN et al., 2006]. Sein Geruch wird unter anderem als pilzartig und erdig beschrieben [JORDÁN et al., 2002].

Bei einer RT von 24.64 detektiert Nicotinaldehyd, eine Verbindung die flüchtiger Bestandteil von Zigarettenrauch ist, aber auch schon im Blumenduft verschiedener Pflanzengattungen („*Fumariaceae*“, „*Apiaceae*“ und „*Rosaceae*“) nachgewiesen wurde [PERFETTI und RODGMAN, 2009; KNUDSEN et al., 2006]. Sein Auftreten in dieser Analyse könnte auf rauchende Parkbesucher, die sich in der Nähe der SPME-Analysegeräte aufhielten, zurückgeführt werden. Aber auch Pflanzenemissionen könnten ein möglicher Grund für sein Vorkommen sein.

Im späteren Teil des Chromatogramms detektiert bei einer RT von 43.83 **Eugenolmethylether** (= Methyleugenol). Diese Verbindung ist Bestandteil vieler ätherischer Öle wie Zimt-, Sternanis-, Basilikum- und Fenchelöl [Römpp Enzyklopädie Online, 2007⁷²]. Der Ether wurde auch als flüchtiger Bestandteil in Pfeffer nachgewiesen, seine Geruchseigenschaft wird als würzig

⁷¹ vgl. Abschnitt Propionsäure

⁷² vgl. Abschnitt Eugenolmethylether

beschrieben [JIROVETZ et al., 2002]. In Pflanzen konnte Eugenolmethylether schon in mehreren Familien nachgewiesen werden [KNUDSEN et al., 2006].

Wie bereits erwähnt, können VOC's aus biologischen, aber auch aus technischen Prozessen, wie Auto- und/oder Industrieabgasen stammen [DERWENT, 1995]. VOC's aus biogenen Quellen wurden soeben im vorderen Teil dieser Diskussion behandelt, es folgt nun eine Aufzählung und Diskussion jener Komponenten, die aus anthropogenen Quellen stammen.

In dieser Arbeit können die aromatischen Kohlenwasserstoffe **Benzol** (RT= 7.31), **Toluol** (RT= 11.17), **o-, m- und p-Xylol** (RT= 16.37, 16.39, 16.46) und **1,2,3-, 1,3,5- und 1,2,4-Trimethylbenzol** (RT= 23.28, 23.31, 23.32) nachgewiesen werden. Sie sind wichtige Komponenten fossiler Brennstoffe und werden daher unter anderem im Straßenverkehr emittiert [REIMANN und LEWIS, 2007]. Da in der Stadt Wien auch in den inneren Bezirken ein hohes Verkehrsaufkommen herrscht, ist das Auftreten dieser Verbindungen in der vorliegenden Analyse erklärbar. Eine in Wien Ende der 80er-Jahre durchgeführte Studie zeigte, dass Toluol, die Isomere des Xylols und Benzol, zu jenen Verbindungen gehören, die mit den höchsten Konzentrationen in der Wiener Stadtluft auftreten [LANZERSTORFER und PUXBAUM, 1990].

Bei einer RT von 4.24 tritt **2-Methylbutan** (=Isopentan) auf, das unter anderem flüchtiger Bestandteil von Benzin ist [KAPLAN et al., 1997].

4.2.3 Ergebnisse 6-Stunden-Probe: Wiener Volksgarten, Parkbank

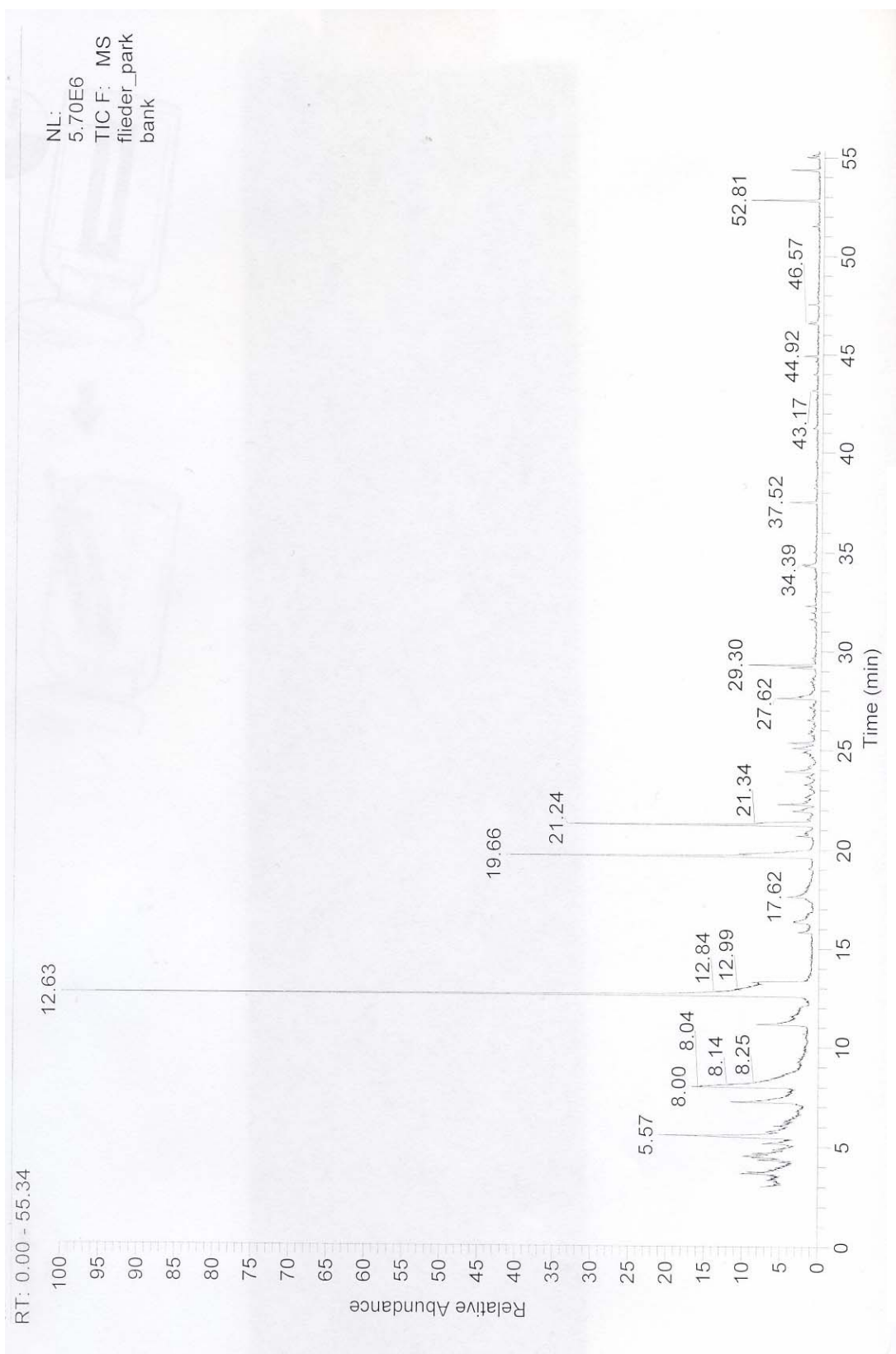


Abb. 27.: Chromatogramm 6-Stunden-Probe Wiener Volksgarten, Parkbank

Tabelle 14. beinhaltet jene flüchtigen Verbindungen, die im Chromatogramm der sechsstündigen Messung bei der Parkbank angezeigt werden. Alle hier aufgelisteten Komponenten, außer Ethylbenzol, Octanal und Decanal, konnten auch bei den Messungen am Fliederstrauch nachgewiesen werden. Auch hier sind jene Retentionszeiten, die dem Fliederduft zugeordnet werden können fett hervorgehoben.

RT (min)	Substanz		RT (min)	Substanz
4.45	Propanal		22.33	β -Myrcen
4.55	Isopren		22.62	Methylisohexenylketon
7.33	Benzol		23.27	1,2,3-Trimethylbenzol
11.16	Toluol		23.30	1,3,5-Trimethylbenzol
15.83	Ethylbenzol		23.32	1,2,4-Trimethylbenzol
16.33	o-Xylol		23.60	Essigsäure-(Z)-3-hexenylester
16.36	m-Xylol		23.67	Octanal
16.42	p-Xylol		23.92	γ -Terpinen
19.66	α -Pinen		25.15	(+)-R-Limonen
20.69	Camphen		25.33	1,8-Cineol
21.93	Benzaldehyd		34.40	Decanal
22.28	β -Pinen			

Tab. 14.: Auswertung 6-Stunden-Probe Wiener Volksgarten, Parkbank

4.2.4 Diskussion 6-Stunden-Probe: Wiener Volksgarten, Parkbank

Beim Vergleich der Ergebnisse, der an verschiedenen Standorten (Fliederstrauch und Parkbank) erhaltenen Chromatogramme, kann festgestellt werden, dass 20 gleiche Verbindungen angezeigt werden. Neben Benzaldehyd sind sieben Monoterpene aufgelistet, die dem Fliederduft zugeschrieben werden können. Beim Rest handelt es sich vorwiegend um VOC's, deren Quelle der Straßenverkehr ist. Das Vorkommen flüchtiger Blumenduftverbindungen in diesem Chromatogramm zeigt, dass es für einen Parkbesucher/eine Parkbesucherin sehr gut möglich ist, den Flieder zu riechen, auch wenn man sich nicht direkt neben der Blüte befindet. Deshalb soll an dieser Stelle eine kurze Diskussion über die Verbreitung und Wahrnehmung von Duftstoffen, wie es etwa Monoterpene sind, erfolgen.

Die Emission von Monoterpenen ist von verschiedenen Faktoren, wie Temperatur und Tageszeit abhängig. So steigt die Emission mit der Temperatur, wobei Maximalwerte um die Mittagszeit herum erreicht werden [KESSELMEIER und STAUDT; 1999]. Im ländlichen Raum können Duftmoleküle eine Strecke bis etwa 1000 Meter zurücklegen, in Gegenden mit höherer Luftverschmutzung wird dies nicht mehr erreicht. Hier wird der Radius, den ein Duftmolekül zurücklegt, auf 200 bis 300 Meter geschätzt. Schadstoffe wie Ozon, Hydroxy- und Nitratradikale reagieren mit den Duftstoffen der Blumen, wodurch es zum Abbau der Aromakomponenten kommt. Durch diese Begebenheit werden Auswirkungen auf die Bestäubungsgewohnheiten und Populationszahlen von z.B. Bienen befürchtet, da durch diesen Umstand deren Nahrungssuche eingeschränkt wird [MC FREDERICK et al., 2008]. In dieser Analyse befand sich das SPME-Messgerät unter einer ca. zwei Meter vom Fliederstrauch entfernten Parkbank, was einer Weite innerhalb dieses Radius (200 – 300 m) entspricht.

Generell kann gesagt werden, dass Menschen Gerüche schlechter wahrnehmen als z.B. Tiere oder Insekten, die über ca. 1200 funktionierende Geruchsrezeptorgene verfügen [STOCKHORST und PIETROWSKY, 2004]. Ob ein Duft wahrgenommen wird, hängt unter anderem von der Geruchsschwellenkonzent-

ration der flüchtigen Verbindungen ab. Manche Aromakomponenten sind auch in höchster Verdünnung immer noch riechbar, wodurch geringste Mengen ausreichen, um trotzdem einen Aromabeitrag leisten zu können [VAINSTEIN et al., 2001]. So kann etwa, der für den Fliederduft essentielle Fliederaldehyd, auch noch in geringen Konzentrationen gerochen werden, denn mit 0.2 – 20 ppb (10^{-9}) weist er eine sehr geringe Geruchsschwelle auf [CASTRO-VÁZQUEZ et al., 2007].

Wenn man die Ergebnisse der sechsständigen Parkbank-Probe mit jener der vierständigen Probe vergleicht, kann man erkennen, dass es zu Unterschieden bei der Detektion bestimmter Verbindungen kommt. Ein Beispiel dafür sind die Fliederaldehyd-Isomere, diese konnten in der vierständigen Parkbank-Probe nachgewiesen werden, bei der an einem anderen Tag durchgeführten sechsständigen Probe detektierten jedoch keine Fliederaldehyd-Isomere. Ein möglicher Grund für diesen Unterschied könnte der Umstand sein, dass am Tag der sechsständigen Probensammlung andere Windverhältnisse herrschten, als am Tag der vierständigen, was dazu führte, dass weniger Duftstoffe, die dem Flieder zugeordnet werden können, angezeigt wurden.

Weitere in diesem Chromatogramm angezeigte flüchtige Verbindungen sind, *Ethylbenzol* (RT = 15.83), *Octanal* (RT = 23.67) und *Decanal* (RT = 34.40). Ethylbenzol fällt in die Gruppe der BTEX-Verbindungen, zu denen auch Benzol, Toluol und die Xylol-Isomere zählen. Ethylbenzol entsteht, wie die anderen Verbindungen, bei der unvollständigen Verbrennung organischer Verbindungen – als Emissionsquelle kann daher der Straßenverkehr angesehen werden, was für die Detektion in dieser Analyse auch der Grund sein dürfte [HOLLENDER et al., 2002]. Das Vorkommen solcher BTEX-Verbindungen in der Stadtluft konnte bereits durch mehrere Studien, die die Konzentrationen solcher flüchtigen organischen Verbindungen in der Luft analysierte, bewiesen werden [MOSCHONAS und GLAVAS, 1995⁷³].

⁷³ vgl. MOSCHONAS und GLAVAS, 1995, Table 1, S 2770

Weiters werden in dieser Analyse zwei Aldehyde - Octanal und Decanal - angezeigt. Als biogene flüchtige organische Verbindungen (BVOC's) wird ihre Herkunft in der Natur vor allem Vegetationsprozessen zugeschrieben. Bei Octanal werden zusätzlich mikrobielle Prozesse angeführt [KESSELMEIER und STAUDT, 1999].

Bei genauerer Betrachtung des Chromatogramms stechen drei Peaks besonders hervor. Leider können die bei RT 12.63 und 21.24 auftretenden Peaks nur der GC-Säule zugeordnet werden. Sie werden auf eine Verunreinigung der Säule zurückgeführt, da diese Verbindungen auch in allen anderen Chromatogrammen angezeigt werden. Die bei RT 19.66 auftretenden α -Pinen werden im vorderen Teil dieser Diskussion genauer beschrieben.

Abschließend kann gesagt werden, dass sich in dieser Probe sehr wohl Blütenduftkomponenten auffinden lassen, denen wahrscheinlich der Flieder als Quelle zugeordnet werden kann. Es zeigt, dass die Duftmoleküle auch noch aus weiterer Ferne, und nicht nur bei der direkten Duftquelle nachgewiesen werden können. Ob der Parkbesucher/die Parkbesucherin den Fliederduft dann aber auch wirklich wahrnehmen kann, hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie z.B. den Konzentrationen in der Luft und den Windverhältnissen.

4.3 Die Opernpassage – Auswertung und Interpretation

4.3.1 Ergebnisse 6-Stunden-Probe: Opernpassage

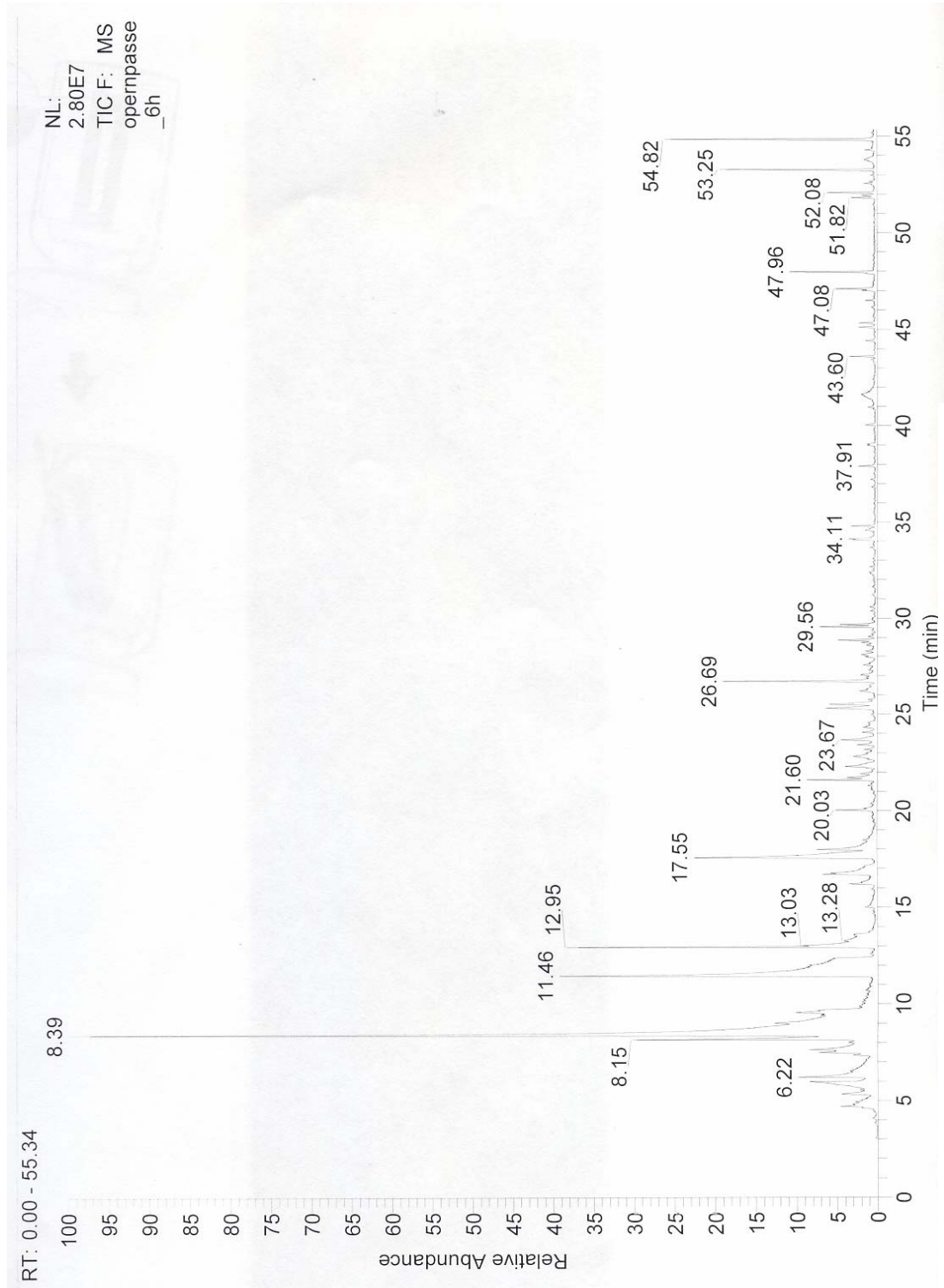


Abb. 28.: Chromatogramm 6-Stunden-Probe Opernpassage

RT (min)	Substanz		RT (min)	Substanz
4.93	Essigsäuremethylester		23.42	Decan
5.33	Undecanal, Dimethylacetal		23.67	1,3,5-Trimethylbenzol
6.22	Essigsäureethylester		23.71	1,2,3-Trimethylbenzol
7.47	Benzol		24.04	Octanal
7.63	3-Methylhexan		24.30	(+)-3-Caren
8.39	Heptan		25.49	(+)-Limonen
9.54	Methylcyclohexan		25.74	1,8-Cineol
11.46	Toluol		26.12	(E)- β -Methylstyrol
15.00	2-Furancarboxaldehyd		26.18	Benzylalkohol
15.95	2-Furanmethanol		26.48	1,2-Diethylbenzol
16.18	Ethylbenzol		27.03	1,4-Diethylbenzol
16.67	p-Xylol		28.26	p-Cymol
16.69	m-Xylol		28.61	1,2,3,4-Tetramethylbenzol
16.87	o-Xylol		28.87	Undecan
18.48	2-Butoxyethanol		29.06	2-Methyl-1-Propenylbenzol
20.03	α -Pinen		29.56	Nonanal
20.36	1-Butoxy-2-Propanol		30.58	1,2,4,5-Tetramethylbenzol
22.22	1,2,4-Trimethylbenzol		31.13	Pentylcyclohexan
22.30	Benzaldehyd		31.57	3,5-Dimethylcumol
22.65	β -Pinen		32.36	(+)-Campher
22.68	β -Myrcen		33.59	Borneol
22.84	Phenol		34.08	Dodecan
22.99	Methylisohexenylketon		34.58	Naphthalin
23.17	2-Pentylfuran		34.80	Decanal

37.22	1-Carvon		44.41	Dodecanal
38.98	Tridecan		47.96	Pentadecan
39.05	Essigsäurebornylester		52.08	Hexadecan
43.60	Tetradecan			

Tab. 15.: Auswertung 6-Stunden-Probe Opernpassage

4.3.2 Diskussion 6-Stunden-Probe: Opernpassage

Wenn man die in der Tabelle vorhandenen Verbindungen analysiert, kann festgestellt werden, dass ein Großteil davon flüchtige organische Verbindungen (VOC's) sind, deren Ursprung der Straßenverkehr ist. So detektieren etwa eine Reihe von Kohlenwasserstoffen, wie z.B. die auch schon in den vorangegangenen Analysen (Brot und Flieder) angezeigten BTEX-Verbindungen *Benzol* (RT=7.47), *Toluol* (RT=11.46), *Ethylbenzol* (RT=16.18) und *p*-, *m*-, *o*-Xylol (RT=16.67, 16.69, 16.87). Ihr Vorhandensein in der Luft wird vor allem auf den Kraftfahrzeugverkehr zurückgeführt [HOLLENDER et al., 2002]. Die in der Passage befindliche Luft kann weder als reine Innenluft, noch als reine Außenluft gesehen werden, vielmehr eine Mischung davon, denn in der Opernpassage befinden sich mehrere offene Aufgänge, die ein Hereinströmen von Außenluft und somit dieser BTEX-Verbindungen ermöglichen. Dass in Innenräumen erhöhte BTEX-Konzentrationen auftreten können, beweisen auch in der Vergangenheit durchgeführte Studien [LARROQUE et al., 2006]. Die Belastung von Innenräumen wird unter anderem dadurch beeinflusst, wie sich die Verkehrsverhältnisse in der Umgebung gestalten, aber auch andere anthropogene Quellen, wie Zigarettenrauch, kann die BTEX-Konzentrationen in Räumen ansteigen lassen [HOLLENDER et al., 2002].

In dieser Analyse werden außer den BTEX-Verbindungen weitere aromatische Kohlenwasserstoffe angezeigt - *1,2,4-Trimethylbenzol* (RT=22.22), *Phenol* (RT=22.84), *1,3,5-Trimethylbenzol* (RT=23.67), *1,2,3-Trimethylbenzol*

(RT=23.71), *E*- β -Methylstyrol (RT=26.12), 1,2-Diethylbenzol (RT=26.48), 1,4-Diethylbenzol (RT=27.03), 1,2,3,4-Tetramethylbenzol (RT=28.61), 2-Methyl-1-Propenylbenzol (RT=29.06), 1,2,4,5-Tetramethylbenzol (RT=30.58), 3,5-Dimethylcumol (RT=31.57) und Naphthalin (RT =34.58). Auch diese Kohlenwasserstoffe kann man den Straßenverkehrsemissionen zuordnen, denn die Zusammensetzung von Benzin wird in der Literatur folgendermaßen beschrieben – „ (...) ein Gemisch von ca. 150 Kohlenwasserstoffen mit 5–12 C-Atomen, in dem neben Alkanen auch noch wechselnde Mengen von Alkenen, Cycloalkanen u. -alkenen (...) sowie Aromaten enthalten sein können.“ [Römpf Enzyklopädie Online, 2007⁷⁴] Diese oben genannte Beschreibung lässt es auch zu, das bei 9.54 angezeigte *Methylcyclohexan* und das bei 31.12 detektierte *Pentylcyclohexan* den flüchtigen Bestandteilen von Treibstoffen, und somit dem Straßenverkehr zuzuordnen.

Im Chromatogramm werden auch mehrere Decane angezeigt - *Decan* (RT=23.42), *Undecan* (RT=28.87), *Dodecan* (RT=34.08), *Tridecan* (RT=38.98), *Tetradecan* (RT=43.60), *Pentadecan* (RT=47.96) und *Hexadecan* (RT=52.08). Diese zu den Alkanen zählenden Verbindungen sind ebenfalls Bestandteile von Erdöl und können somit auch in dessen Produkten wie Heizöl, Benzin oder Lösungsmittel aufgefunden werden - was auch das Vorkommen in dieser Analyse erklärt [PAATSCH, 2006⁷⁵].

Ein weiteres angezeigtes Alkan ist *Heptan*. Diese Verbindung konnte in der vorliegenden Analyse bei RT 8.39 mit der höchsten Konzentration nachgewiesen werden. Heptan ist sowohl Bestandteil von Erdöl und Benzin, wird aber auch als Lösemittel für schnell trocknende Klebstoffe und Lacke verwendet [Römpf Enzyklopädie Online, 2007⁷⁶]. Auch hier könnte der Straßenverkehr als mögliche Emissionsquelle in Frage kommen, aber auch die Baumaterialien des Schaltkastens, indem sich die SPME-Messgeräte befanden⁷⁷, könnten eine mögliche Geruchsquelle darstellen.

⁷⁴ vgl. Abschnitt Benzin

⁷⁵ vgl. <http://enius.de/schadstoffe/alkane-alkene.html>, Zugriff: 15.04.2009

⁷⁶ vgl. Abschnitt Heptan

⁷⁷ Der Grund für diesen Standort, wird im Rahmen dieser Diskussion noch erwähnt werden.

Bei RT 7.63 tritt das Heptanisomer *3-Methylhexan* auf, das ebenfalls Bestandteil von Benzin ist, und somit durch den Autoverkehr in die Luft gelangen kann [SCHAUER et al., 2002].

Die bisherige Analyse zeigt, dass viele der, in der Tabelle aufgelisteten Verbindungen, den Emissionen des Straßenverkehrs zugeordnet werden können. Payer meint dazu im Kapitel „Wie riecht Wien?“ aus dem Buch „Blick über Wien“, dass die nach dem Zweiten Weltkrieg rasant zunehmende Motorisierung dafür verantwortlich ist, dass die von den Kraftfahrzeugen emittierten Abgase schließlich zum markantesten Geruch in der Stadt wurden [PAYER, 2007⁷⁸].

Wie oben kurz erwähnt, war der Standort der SPME-Messgeräte ein abgeschlossener Schaltkasten im Rondeau der Opernpassage, dies war aufgrund von Sicherheitsgründen notwendig. Es kann davon ausgegangen werden, dass auch von diesem, z.B. durch Baumaterialien, Gerüche emittiert werden. Mögliche flüchtige Verbindungen, die aus der unmittelbaren Umgebung des Schaltkastens stammen können, werden in weiterer Folge diskutiert.

Bei RT 18.48 detektiert etwa die Verbindung *2-Butoxyethanol*, das in verschiedenen Baumaterialien wie Farben und Lacke, sowie in Glasreinigungsmitteln vorkommt [COUTALIDES, 2008⁷⁹]. Das Vorkommen in dieser Analyse könnte z.B. auch auf evt. Reinigungstätigkeiten im Bereich des Schaltkastens zurückgeführt werden.

Der bei RT 20.36 angezeigte Glykolether *1-Butoxy-2-propanol* wird als flüchtige Komponente in Innenräumen angeführt [AGÖF, 2008⁸⁰]. Er findet Verwendung als Lösungsmittel unter anderem in Farben, Lacken, Glas- und Oberflächenreinigern [COGLIANO et al., 2005].

Weiters wird auch die in dieser Analyse detektierte Verbindung *Essigsäurebornylester* (RT = 39.05) als flüchtige Verbindung in der Raumluft angegeben [AGÖF, 2008]. Der Ester des Terpenalkohols Borneol kommt in ätherischen Ölen

⁷⁸ vgl. Payer, 2007, S 67

⁷⁹ vgl. <http://www.raumlufthygiene.ch/download/LIWOTEV-Schlussbericht.pdf>,

Zugriff: 16.04.2009

⁸⁰ vgl. http://agoef.de/oewerte/photoarchiv/pdfs/AGOEF_Orientwerte, Zugriff: 16.04.2009

vor und wird bei der Herstellung von Badesalzen, Seifen und Sprays verwendet [Römpp Enzyklopädie Online, 2007⁸¹]. Der Grund für das Auftreten in dieser Analyse lässt sich nur unzureichend beantworten.

Das soeben erwähnte *Borneol* wird in dieser Analyse bei RT 33.59 angezeigt. Weitere in dieser Analyse angezeigte Terpenverbindungen sind α -*Pinen* (RT = 20.03), β -*Pinen* (RT = 22.65), β -*Myrcen* (RT = 22.68), (+)-*Campher* (RT = 32.36), (+)-3-*Caren* (RT = 24.30), (+)-*Limonen* (RT = 25.49), 1,8-*Cineol* (RT = 25.74), *p*-*Cymol* (RT = 28.26) und 1-*Carvon* (RT=37.22). Ihr Auftreten in der vorliegenden Analyse könnte in Zusammenhang mit der im Rondeau der Opernpassage befindlichen Bäckerei, und/oder den dort vorhandenen Imbissläden stehen. Denn als flüchtige Komponenten von Gewürzen könnten sie bei Verwendung dieser in die Luft der Opernpassage gelangen. Ein Großteil dieser Verbindungen wird auch in einer Auflistung von relevanten VOC's in der Innenraumlufte angeführt [AGÖF, 2008]. Ein Beispiel dafür sind die Terpene α -Pinen und (+)-3-Caren, die in Innenräumen öfters nachgewiesen werden, was sie durch ihr Vorkommen in Holzwerkstoffen erklärbar ist [COUTALIDES, 2008].

Die bei RT 34.80 und 44.41 angezeigten Aldehyde *Decanal* und *Dodecanal* kommen in vielen ätherischen Ölen vor [Römpp Enzyklopädie Online, 2007⁸²]. So sind beide Verbindungen z.B. im ätherischen Öl von vietnamesischen Koriander enthalten [TÄUFEL et al., 1993⁸³]. Eine mögliche primäre Quelle dieser Duftkomponenten könnten somit die in der Opernpassage vorhandene Bäckerei und/oder die Imbissläden sein.

Eine weitere Möglichkeit ist, dass diese Verbindungen, vor allem Decanal, als sekundäre Reaktionsprodukte auftreten. Eine Studie, die dem unangenehmen Geruch in einem Bürogebäude auf den Grund gehen wollte, fand heraus, dass vor allem die Aldehyde Decanal und Nonanal in höheren Konzentrationen in der betroffenen Raumlufte vorhanden waren. Die Studiengruppe zog den Schluss, dass der schlechte Geruch in diesen Räumen auf die Verbindungen Decanal und Nonanal zurückgeführt werden kann. Als Erklärung für ihr Auftreten wird

⁸¹ vgl. Abschnitt Bornylacetat

⁸² vgl. Abschnitt Alkanale

⁸³ vgl. Lebensmittel-Lexikon 2 L – Z: S 1968 Vietnamesischer Koriander

vermutet, dass sie als sekundäre Reaktionsprodukte von in Baustoffen und Materialien enthaltenen Substanzen gebildet werden. So entstehen sie z.B. aus Produkten die Leinöl enthalten, wie dem Baumaterial Linoleum, oder ölhältigen Imprägnierungen [PENG et al., 2009]. Dies könnte auch ein möglicher Grund für das Auftreten in dieser Analyse sein.

Das bei RT 5.33 detektierte *Undecanal*, *Dimethylacetal* wird beim Abbau von Ölsäure gebildet [AGRIGOROAIE et al., 2007]. Auch diese Verbindung könnte ein sekundäres Reaktionsprodukt von im Schaltkasten befindlichen Baustoffen bzw. Materialien sein.

Generell gestaltet es sich schwer, den Ursprung, der in der Tabelle enthaltenen Verbindungen, richtig zuzuordnen, denn für einen Großteil dieser ist eine ganze Reihe von verschiedenen Quellen möglich. Aber vor allem durch die Anhäufung mehrerer Imbissläden, sowie einer größerer Bäckereifiliale in der Opernpassage, kann vermutet werden, dass einige flüchtige Verbindungen diesen Quellen zugeschrieben werden können. Das Chromatogramm der sechsstündigen Probe in der Opernpassage zeigt dies auch an, denn so werden einige Aromakomponenten identifiziert, die man z.B. dem Brotduft zuordnen kann. Diese Zuordnung geschah mit Hilfe der Übersicht von Njissen et al. (1996) und weiter durch einen Vergleich mit, der in dieser Arbeit bereits erhaltenen Ergebnisse⁸⁴. So können neun Verbindungen dem Brotduft, der in der Opernpassage, durch das Vorhandensein einer größeren Bäckereifiliale wahrgenommen werden kann, zugeordnet werden: *Essigsäuremethylester* (RT=4.93), *Essigsäureethylester* (RT=6.22), *2-Furancarboxaldehyd* (RT=15.00), *2-Furanmethanol* (RT=15.95), *Benzaldehyd* (RT=22.30), *Methylisohexenylketon* (RT=22.99), *2-Pentylfuran* (RT=23.17), *Octanal* (RT=24.04), *Benzylalkohol* (RT=26.18) und *Nonanal* (RT=29.56). Anzumerken gilt, dass alle hier angeführten Verbindungen auch flüchtige Komponenten anderer Quellen sein können, so können sie z.B auch mit dem Tabakrauch in Zusammenhang gebracht werden [PERFETTI und RODGMAN, 2008].

⁸⁴ vgl. Kapitel 4.1 Das Brotaroma – Auswertung und Interpretation (Tab. 7., 9., 11.)

Bei genauerer Betrachtung des Chromatogramms treten mehrere Peaks stärker hervor, darunter Heptan bei RT 8.39 und Toluol bei RT 11.46. Bei RT 12.95, 17.55 und 26.69 folgen weitere höhere Peaks, wobei die ersten beiden eindeutig der GC-Säule zugeschrieben werden können. Bei RT 26.69 wird die Verbindung *5-(4,5-Dihydro-4,4-dimethyl-2-oxazolyl)-2-thiophenethanol* angezeigt. Substituierte Thiophene bilden eine Stoffklasse, die in der Materialwissenschaft Bedeutung haben, aber auch in der Aromastoffchemie eine wichtige Verbindungsklasse darstellen. So entstehen sie z.B. im Zuge der Maillard-Reaktion und spielen vor allem beim Aroma gekochter Lebensmittel eine Rolle [Römpf Enzyklopädie Online, 2007⁸⁵]. Die Verbindung *5-(4,5-Dihydro-4,4-dimethyl-2-oxazolyl)-2-thiophenethanol* konnte im Zuge der Literaturrecherche nicht aufgefunden werden. Somit kann auch kein gesicherter Zusammenhang zwischen den in der Opernpassage vorhandenen Essensgerüchen, und dem Auftreten in dieser Analyse hergestellt werden.

Abschließend kann gesagt werden, dass das Geruchsprofil bzw. die „Atmosphäre“ in der Opernpassage, nicht durch **einen** spezifischen Geruch bestimmt wird, sondern vielmehr ein Gemisch aus vielen Gerüchen darstellt – dies zeigt auch die vorliegende Analyse. So treten neben vielen aromatischen Kohlenwasserstoffen und Alkanen, die dem Straßenverkehr zugeordnet werden können, auch Terpene, Ester, Aldehyde, Furane usw. auf, die man eher auf das Vorhandensein von Imbissläden und einer Bäckerei in der Opernpassage zurückführen kann.

⁸⁵ vgl. Abschnitt Thiophene

5 SCHLUSSBETRACHTUNG

Ziel dieser Arbeit, die im Rahmen des Projektes „Tast- und Duftdesign. Ressourcen für die Creative Industries in Wien 2007 – 2010“ durchgeführt wurde, war die chemische Identifizierung von Gerüchen und Düften typischer Wiener Einrichtungen. Konkret wurde der Fliederduft im Volksgarten, das Brotaroma in den Bäckereien „Der Mann“ und „Linsbichler“ sowie der Geruch in der Opernpassage analysiert. In allen durchgeführten Untersuchungen konnten flüchtige Verbindungen nachgewiesen werden, die auf typische Geruchsquellen der Stadt Wien zurückgeführt werden können.

So wurden bei den ersten Analysen, die während der Fliederblüte im Volksgarten stattfanden, auch charakteristische Duftkomponenten des Flieders angezeigt, wie z.B. die Fliederaldehydisomere. Weiters stellte man fest, dass die Duftverbindungen auch noch aus weiterer Ferne nachgewiesen werden können. Dies zeigt, dass es für einen Parkbesucher / eine Parkbesucherin, chemisch gesehen, auf jeden Fall möglich ist, den Flieder zu riechen, auch wenn man sich nicht direkt beim Strauch befindet. Bestimmte Bedingungen, wie z.B. Windverhältnisse oder die Konzentration in der Luft üben aber zusätzlichen Einfluss darauf aus.

Bei den Analysen in den Bäckereien detektierten eine Reihe von Brotaromenverbindungen, so konnte man im Produktionsgebäude der Bäckerei „Der Mann“ insgesamt 39 flüchtige Verbindungen nachweisen, die dem Brotaroma zugeschrieben werden können. In der kleineren Backstube der Bäckerei „Linsbichler“ detektierte neben einem Teil dieser Brotaromen zusätzlich auch eine Reihe von Gewürzverbindungen in höheren Konzentrationen – was durch die Verwendung von Gewürzen in den Broten auch erklärbar ist. Analysen im Verkaufsraum der Bäckerei Linsbichler zeigten außerdem, dass sich einiger dieser, für das Brotaroma wichtigen Verbindungen, auch dort nachweisen lassen, wo sich normalerweise der Kunde/die Kundin aufhält. Es zeigt, dass die BesucherInnen der Bäckerei „Linsbichler“ den Brotduft, durch das Auftreten von Brot-

aromenverbindungen im Verkaufsraum, wahrnehmen können. Weiters wurde dort die Verbindung Limonen in der höchsten Konzentration nachgewiesen. Das Auftreten dieser Substanz kann auf Hygienemaßnahmen zurückgeführt werden, da dieser Stoff öfters als Duftzusatz in Putzmitteln Verwendung findet.

Die letzten Geruchsanalysen führte man in der Opernpassage im ersten Wiener Gemeindebezirk durch. Dabei konnte festgestellt werden, dass die „Atmosphäre“ in der Passage nicht durch einen bestimmten Geruch charakterisiert wird, sondern durch das Zusammenspiel mehrerer Gerüche aus verschiedenen Quellen bestimmt ist. Als wichtige Geruchsquellen konnten die im Opernrondeau befindliche Bäckereifiliale und mehrere Imbissläden identifiziert werden, da einige flüchtige Gewürzverbindungen, aber auch manche im Brotaroma vorkommenden Verbindungen nachgewiesen werden konnten.

An allen drei Untersuchungsorten, aber vor allem bei den Analysen im Volksgarten und in der Opernpassage, detektierte eine Reihe von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC's). Die Zuordnung dieser Verbindungen gestaltete sich oft schwer, es kann aber vermutet werden, dass der Straßenverkehr eine wichtige Quelle darstellt. Vor allem die BTEX-Verbindungen (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylolisomere), die bei unvollständigen Verbrennungsprozessen organischen Materials entstehen, wurden in fast allen erhaltenen Chromatogrammen nachgewiesen, was ein ubiquitäres Vorkommen anzeigt.

Zur Auswertung der Chromatogramme wurden meist jene mit der sechsständigen Messdauer ausgewählt, da diese die höchsten Konzentrationen von wichtigen Verbindungen enthielten (was durch die relative Peakhöhe abgelesen werden konnte). Eine Ausnahme stellt das Chromatogramm in der Opernpassage dar, hier führte man nur eine zwei- und eine vierständige Messung durch – wobei man zur Auswertung dann das Chromatogramm mit der vierständigen Messdauer verwendete. Generell halfen die Ergebnisse der kürzeren Probenahmen aber bei der richtigen Zuordnung mancher Verbindungen.

Die Auswertung der Chromatogramme gestaltete sich oftmals schwerer als zuvor vermutet – so kam es durch die Detektion mehrerer flüchtiger Verbindungen zur selben Zeit zu Überlappungen von Peaks, was die richtige Identifizierung enorm erschwerte. Zudem war die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten mancher Verbindungen zu gering, um eine richtige Zuordnung zu gewährleisten. Auf jeden Fall sollte angemerkt werden, dass die Ergebnisse dieser Untersuchungen nur rein qualitativer Natur sind. Für eine quantitative Auswertung wäre eine zusätzliche genaue Kalibrierung unumgänglich gewesen [OUYANG und PAWLISZYN, 2008]. Aufgrund der relativen Peakhöhe konnten jedoch Vermutungen über die vorhandenen Konzentrationen in der Probe gesetzt werden.

Abschließend kann gesagt werden, dass die Ergebnisse der Untersuchungen helfen, die Geruchseindrücke bzw. sensorischen Wahrnehmungen, die Touristen oder die Wiener Bevölkerung in Wien haben können, chemisch zu bestätigen und zu bekräftigen.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Vorliegende Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Analyse von Aromen typischer Wiener Einrichtungen. Die dazu notwendigen Arbeiten fanden im Rahmen des vom WWTF geförderten Projektes „Tast- und Duftdesign. Ressourcen für die Creative Industries in Wien 2007 – 2010“ zwischen April und Oktober 2008 statt. Konkrete Aufgabenstellung war die chemische Identifizierung typischer Wiener Gerüche – wobei im Rahmen dieser Arbeit der Fliederduft im Volksgarten, das Brotaroma in den Bäckereien „Der Mann“ und „Linsbichler“ sowie der Geruch bzw. die „Atmosphäre“ in der Opernpassage behandelt werden.

Die Probennahme wurde mittels SPME-Methode (solid phase microextraction) für jeweils 2, 4 und 6 Stunden durchgeführt (Ausnahme Opernpassage: 2 und 4 Stunden). Die Auftrennung und Analyse der Duft- und Geruchskomponenten geschah über GC-MS-Kopplung. Die Auswertung der erhaltenen Chromatogramme erfolgte mit den Datenbanken NIST und Wiley.

Die durchgeführten Messungen zeigen, dass auftretende flüchtige Verbindungen in der Luft von bestimmten Orten, auf typische Geruchsquellen von Wien zurückgeführt werden können. So detektieren z.B. im Volksgarten während der Fliederblüte (April – Mai 2008) neben anderen flüchtigen Verbindungen wichtige Duftkomponenten des Fliederstrauches (z.B. Fliederaldehydisomere). Die Geruchsanalysen am Produktionsort zweier Bäckereien zeigen wichtige Brotaromaverbindungen an, wobei diese, was Messungen in der Bäckerei „Linsbichler“ zeigen, auch teilweise im Verkaufsraum auftreten. Das Geruchsprofil bzw. die „Atmosphäre“ in der Opernpassage wird unter anderem von Essensgerüchen beeinflusst, was durch das Auftreten von Brotaromaverbindungen und Gewürzverbindungen deutlich wird. Anzumerken gilt, dass die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit rein qualitativer Natur sind, sie aber dabei helfen können, die sensorische Wahrnehmung von Personen, die sich an jenen Orten aufhalten, chemisch zu bekräftigen bzw. zu bestätigen.

7 SUMMARY

This master thesis deals with the analysis of the odour of typical facilities and places of Vienna. The necessary work in order to develop this thesis took place within the WWTF-funded project “Tast- und Duftdesign. Ressourcen für die Creative Industries in Wien 2007 – 2010” between April and October 2008. Central task was the chemical identification of typical odours of Vienna. In this work, the fragrance of lilac in the Volksgarten, the flavour of bread in the bakeries “Der Mann” und “Linsbichler” as well as the odour or “atmosphere” in the Opernpassage will be discussed.

The sampling was performed with the SPME-methode (solid phase microextraction) for 2, 4 and 6 hours in each case (except Opernpassage: 2 and 4 hours). Separation and analysis of the fragrance- and odour compounds have been done with GC-MS-coupling. The analysis of the obtained chromatograms was made by using the databases NIST and Wiley.

The measurements show that detected volatile compounds in the air of certain places can be traced back to typical odour sources in Vienna. In the Volksgarten, for example there are important fragrance components from the lilac bush (e.g. lilac aldehyde isomers) among other volatile compounds during lilac-blossom (April – May 2008). The odour analyses at the production facilities of two bakeries show important bread aroma components. Some of these components also occurred in the salesroom of the bakery “Linsbichler”. The odour-profile respectively the “atmosphere” in the Opernpassage is, among other things, also affected by food smells, as the occurrence of bread aroma- and spice-components shows. It has to be noticed that the results of the present work are only of qualitative nature, but they can help to confirm the sensory cognition of persons who stay in these places.

8 LITERATUR

AFOAKWA E O, PATERSON A, FOWLER M, RYAN A. Matrix effects on flavour volatiles release in dark chocolates varying in particle size distribution and fat content using GC-mass spectrometry and GC-olfactometry (published 2008). Food Chemistry, 2009; **113**: 208-215.

AGRIGOROAIE G, LUPEA A X, HĂDĂRUGĂ D, HĂDĂRUGĂ N. Synthesis of some complexes based on fatty acid and amino acids and β -Cyclodextrin, 2007, Series of Chemistry **16**(4): 1-6.

AIT AMEUR L, REGA B, GIAMPAOLI P, TRYSTRAM G, BIRLOUEZ-ARAGON I. The fate of furfurals and other volatile markers during the baking process of a model cookie. Food Chemistry, 2008; **111**: 758-763.

AKIYAMA M, MURAKAMI K, OHTANI N, IWATSUKI K, SOTOYAMA K, WADA A, TOKUNO K, IWABUCHI H, TANAKA K. Analysis of volatile compounds released during the grinding of roasted coffee beans using solid-phase microextraction. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003; **51**(7): 1961-1969.

BELITZ H - D, GROSCH W, SCHIEBERLE P. Kapitel 22.1 Gewürze. In: Lehrbuch der Lebensmittelchemie. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2008; 1004-1018.

BELITZ H - D, GROSCH W, SCHIEBERLE P. Lipide. In: Lehrbuch der Lebensmittelchemie, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2008; 161-248.

BELITZ H - D, GROSCH W, SCHIEBERLE P. Kapitel 5.3 Einzelne Aromastoffe. In: Lehrbuch der Lebensmittelchemie. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2008; 366-396.

BELITZ H - D, GROSCH W, SCHIEBERLE P. Kapitel 15.4 Backwaren. In: Lehrbuch der Lebensmittelchemie. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2008; 696-726.

BELTRAN-GARCIA M J, ESTARRON-ESPINOSA M, OGURA T. Volatile compounds secreted by the oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) and their antibacterial activities. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997; **45**(10): 4049-4052.

BREITMAIER E.. Terpenes – Flavors, Fragrances, Pharmaca, Pheromones. WILEY-VCH Verlag, Weinheim, 2006, 1-9, 10-23.

BRUNO P, CASELLI M, DE GENNARO G, IACOBELLIS S, TUTINO M. Monitoring of volatile organic compounds in non-residential indoor environments. Indoor Air, 2008; **18**: 250-256.

BOHLMANN J, MEYER-GAUEN G, CROTEAU R. Plant terpenoid synthases: Molecular biology and phylogenetic analysis. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1998; **95**: 4126-4133.

BÖHME G. Die Atmosphäre einer Stadt. In: Breuer, G (Hrsg). Neue Stadträume. Zwischen Musealisierung, Medialisierung und Gestaltlosigkeit. Stroemfeld, Frankfurt/Main, Basel, 1998; 149-162.

BOUVIER F, RAHIER A, CAMARA B. Biogenesis, molecular regulation and function of plant isoprenoids. Progress in Lipid Research, 2005; **44**: 357-429.

BUTTERY R G, TERANISHI R, LING L C. Fresh tomato aroma volatiles: a quantitative study. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1987; **35**(4): 540-544.

CASTRO-VÁZQUEZ L, DÍAZ-MAROTO M C, PÉREZ-COELLO M S. Aroma composition and new chemical markers of spanish citrus honeys. Food Chemistry, 2007; **103**: 601-606.

CAUVAIN S P. Bread – The Product. In: Technology of Breadmaking Second Edition (Cauvain S P, Young L S, Hrsg). Springer, New York, 2007; 1-18.

CHALCHAT J-C, ÖZCAN M M. Comparative essential oil composition of flowers, leaves and stems of basil (*Ocimum basilicum* L.) used as herb. Food Chemistry, 2008; **110**: 501-503.

CHRISTANI M, D'ARRIGO M, MANDALARI G, CASTELLI F, SARPIETRO M G, MICIELI D, VENUTI V, BISIGNANO G, SAIJA A, TROMBETTA D. Interaction of Four Monoterpenes contained in Essential Oils with Model Membranes: Implications for their Antibacterial Activity. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007; **55**(15): 6300-6308.

COGLIANO V J, GROSSE Y, BAAN R A, STRAIF K, SECRETAN M B, GHIS-SASSI F E. and the Working Group for Volume 88. Meeting Report: Summary of IARC Monographs on Formaldehyde, 2-Butoxyethanol, and 1-tert-Butoxy-2-Propanol. Environmental Health Perspectives, 2005; **113**(9): 1205-1208.

CROTEAU R. Biosynthesis and catabolism of monoterpenoids. Chemical Reviews, 1987; **5**: 929-954.

DAIGLE P, GÉLINAS P, LEBLANC D, MORINA. Production of aroma compounds by *geotrichum candidum* on waste bread crumb. Food Microbiology, 1999; **16**: 517-522.

DAMIANI P, GOBBETTI M, COSSIGNANI L, CORSETTI A, SIMONETTI M A, ROSSI J. The sourdough microflora. Characterization of hetero- and homofermentative lactic acid bacteria, yeasts and their interactions on the basis of the

volatile compounds produced. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie*, 1996; **29**: 63-70.

DA SILVA U F, BORBA E L, SEMIR J, MARSAIOLI A J. A simple solid injection device for the analyses of *Bulbophyllum* (Orchidaceae) volatiles. *Phytochemistry*, 1999; **50**: 31-34.

DAVIDEK T, CLETY N, DEVAUD S, ROBERT F, BLANK I. Simultaneous quantitative analysis of Maillard reaction precursors and products by high-performance anion exchange chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003; **51**(25): 7259-7265.

DENG C, SONG G, HU Y. Rapid determination of volatile compounds emitted from *Chimonanthus praecox* flowers by HS-SPME-GC-MS. *Zeitschrift für Naturforschung*, 2004; **59c**: 636-640.

DEMIRCI B, TABANCA N, CAN BASER K H. Enantiomeric distribution of some monoterpenes in the essential oils of some *Salvia* species. *Flavour and Fragrance Journal*, 2002; **17**: 54-58.

DERWENT R G. Sources, Distributions, and Fates of VOCs in the Atmosphere. In: *Volatile Organic Compounds in the Atmosphere* (Issues in Environmental Science & Technology Series, No. 4) (Hester R E und Harrison R M, Hrsg.), Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1995; 1 – 16.

DJOJOPUTRO H und ISMADIJI S. Density and viscosity correlation for several common fragrance and flavour esters. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 2005; **50**(2): 727-731.

DÖTTERL S, BURKHARDT D, WEISSBECKER B, JÜRGENS A, SCHÜTZ S, MOSANDL A. Linalool and lilac aldehyde/alcohol in flower scents *Electrophysio-*

logical detection of lilac aldehyde stereoisomers by a moth. *Journal of Chromatography A*, 2006; **1113**: 232-238.

DÖTTERL S, JÜRGENS A, SEIFERT K, LAUBE T, WEISSBECKER B, SCHÜTZ S. Nursery pollination by a moth in *Silene latifolia*: the role of odours in eliciting antennal and behavioural responses. *New Phytologist*, 2006; **169**(4): 707-718.

DREHER J G, ROUSEFF R L, NAIM M. GC-Olfactometric characterization of aroma volatiles from the thermal degradation of thiamin in model orange juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003; **51**(10): 3097-3102.

DUDAVERA N, PICHERSKY E. Floral scent metabolic pathways: Their regulation and evolution. In: *Biology of floral scent* (Dudareva N und Pichersky E, Hrsg.), Taylor & Francis Group, New York, 2006, 55-78.

DWORAK B. Der Stellenwert von Brot in der Ernährung der Österreicher. Diplomarbeit am Institut für Ernährungswissenschaften, Universität Wien, 2003.

EISELEN H. Brot als Sozialhilfe. In: *Brotkultur* (Eiselen H, Hrsg). DuMont Buchverlag, Köln, 1995; 148.

ELMADFA I, AIGN W, MUSKAT E, FRITZSCHE D. Die große GU Nährwert Kalorien Tabelle. Gräfe und Unzer Verlag GmbH, München, 2001; 10.

ELMADFA I, FREISLING H, KÖNIG J, et al. Brot und Getreideprodukte. In: *Österreichischer Ernährungsbericht 2003*, 1. Auflage, Wien, 2003; 222-227.

ELMADFA I, LEITZMANN C. Kohlenhydrate und Ballaststoffe. In: *Ernährung des Menschen*. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 2003; 146-168.

ELMADFA I, BLACHFELNER J, FREISLING H. Unser tägliches Brot – Einstellung und Konsumgewohnheiten der Wiener/innen. In: 2. Wiener Ernährungsbericht 2004. Bereichsleitung für Sozial- und Gesundheitsplanung sowie Finanzmanagement, Wien, 2005; 188-194.

FABIAN P. Spurengase aus biogenen Quellen. In: Leben im Treibhaus. Unser Klimasystem und was wir daraus machen. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 2002; 100-110.

FAY L B, BREVARD H. Contribution of mass spectrometry to the study of the maillard reaction in food. Mass Spectrometry Reviews 2005, **24**: 487-507.

FAYLE S E, GERRARD J A. What is the Maillard Reaction? In: The Maillard Reaction (Belton P S, Hrsg.). The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2002; 1-8.

FERREIRA V, AZNAR M, LOPEZ R, CACHO J. Quantitative gas chromatography-olfactometry carried out at different dilutions of an extract key differences in the odor profiles of four high-quality spanish aged red wines. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001; **49**: 4818-4824.

FEUERSTEIN E. Analytik von Aromen typischer Wiener Einrichtungen I. Diplomarbeit, Universität Wien, 2009.

FIALA J L, VRUGTMAN F. Lilacs – A Gardener's Encyclopedia, Timber Press, Portland, London, 2008, 17-33, 37-47, 267-346.

FISCHER A, GRAB W, SCHIEBERLE P. Characterisation of the most odour-active compounds in a peel oil extract from Pontianak oranges (*Citrus nobilis* var. Lour. microcarpa Hassk.) European Food Research and Technology, 2008; **227**: 735-744.

GLÖSL S. Antioxidative und gentoxische Effekte von Röstprodukten isoliert aus Brotkruste. Dissertation, Universität Wien, 2005.

GRADWOHL J. Die Wiener und ihr Brot - Ein Museumsprojekt und seine Geschichte. Diplomarbeit an der Geistes- und Kulturwissenschaftlichen Fakultät, Universität Wien, 2002.

GROSCH W, SCHIEBERLE P. Bread. In: MARRSE, H (Hrsg.), Volatile Compounds in Foods and Beverages, Marcel Dekker Inc, New York, 1991; 41-77.

GROSCH W, SCHIEBERLE P. Flavor of cereal products – a review. Cereal Chemistry, 1997; **74** (2): 91-97.

HAMILTON J F, LEWIS A C, CAREY T J, WENGER J C, BORRÁS I GARCIA E, MUÑOZ A. Reactive oxidation products promote secondary organic aerosol formation from green leaf volatiles. Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, 2009; **9**: 3921-3943.

HANSEN A, LUND B, LEWIS M J. Flavour of Sourdough Rye Bread Crumb. Lebensmittel-Wissenschaft und –Technologie, 1989; **22**: 141-144.

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

HÖGNADÓTTIR A, ROUSEFF R L. Identification of aroma active compounds in orange essence oil using gas chromatography-olfactometry and gas chromatography-mass spectrometry. Journal of Chromatography A, 2003; **998** (1-2): 201-211

HOLLENDER J, FÄRBER H, SCHÖLER H F. Aromatische nicht halogenierte Kohlenwasserstoffe. In: Lehrbuch der Umweltmedizin (Dott W, Merk H H, Neu-

ser J, Osieka R, Hrsg). Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 2002; 213-220.

HONGRATANAWORAKIT T, BUCHBAUER G. Chemical composition and stimulating effect of *Citrus hystrix* oil on humans. *Flavour and Fragrance Journal*, 2007; **22**: 443-449.

JALALI-HERAVI M, ZEKAVAT B, SERESHTI H. Use of gas chromatography-mass spectrometry combined with resolution methods to characterize the essential oil components of Iranian cumin and caraway. *Journal of Chromatography A*, 2007; **1143**: 215-225.

JANISCH H. „Gerüche sind wie Katzen“. In: Janisch, H (Hrsg). *Salbei & Brot - Gerüche der Kindheit*. Verlag Austria Press, Wien, 1992; 13-22.

JIROVETZ L, BUCHBAUER G, NGASSOUM M B, GEISLER M. Aroma compound analysis of *Piper nigrum* and *Piper guineense* essential oils from Cameroon using solid-phase microextraction-gas chromatography, solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry and olfactometry. *Journal of Chromatography A*, 2002; **976**: 265-275.

JORDÁN M J, MARGARÍA C A, SHAW P E, GOODNER K L. Volatile components and aroma active compounds in aqueous essence and fresh pink guava fruit puree (*psidium guajave* L.) by GC-MS and multidimensional GC/GC-O. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003; **51**: 1421-1426.

JØRGENSEN U, HANSEN M, CHRISTENSEN L P, JENSEN K, KAACK K. Olfactory and quantitative analysis of aroma compounds in elder flower (*Sambucus nigra* L.) drink processed from five cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000; **48**: 2376-2383.

JÜRGENS A, DÖTTERL S, LIEDE-SCHUMANN S, MEVE U. Chemical diversity of floral volatiles in Asclepiadoideae-Asclepiadeae (Apocynaceae). *Biochemical Systematics and Ecology*, 2009; **36**: 842-852.

KAPLAN I R, GALPERIN Y, LU S-T, LEE R-P. Forensic Environmental Geochemistry: differentiation of fuel-types, their sources and release time. *Organic Geochemistry*, 1997; **27**(5/6): 289-317.

KESSELMEIER J und STAUDT M. Biogenic Volatile Organic Compounds (VOC): An Overview on Emission, Physiology and Ecology. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 1999; **33**: 23-88.

KIRCHHOFF E K. Charakterisierung von Schlüsselaromastoffen in Roggenbrot - Untersuchungen zum Einfluss des Herstellungsverfahrens und der Teigrezeptur. Dissertation, Verlag Dr. Hut, München, 2000.

KIRCHHOFF E K, SCHIEBERLE P. Determination of Key Aroma Compounds in the Crumb of a Three-Stage Sourdough Rye Bread by Stable Isotope Dilution Assays and Sensory Studies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2001; **49**: 4304–4311.

KIRCHHOFF E K, SCHIEBERLE P. Quantitation of Odor-Active Compounds in Rye Flour and Rye Sourdough Using Stable Isotope Dilution Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2002; **50**: 5378-5385.

KIRSTINE W V, GALBALLY I E. A simple model for estimating emissions of volatile organic compounds from grass and cut grass in urban airsheds and its application to two australien cities. *Journal of the Air & Waste Management Association* 2004; **54**: 1299-1311.

KNUDSEN J T, ERIKSSON R, GERSHENZON J. Diversity and Distribution of Floral Scent. *The Botanical Review*, 2006; **72**(1): 1-120.

KNUDSEN J T, GERSHENZON J. The chemical diversity of floral scent. In: Biology of floral scent (Dudareva N und Pichersky E, Hrsg.), Taylor & Francis Group, New York, 2006, 27-52.

KRECK M, PÜSCHEL S, WÜST M, MOSANDL A. Biogenetic Studies in *Syringa vulgaris* L.: Synthesis and Bioconversion of Deuterium-Labeled Precursors into Lilac Aldehydes and Lilac Alcohols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003; **51**: 463-469.

KRECK M. Natürliche Duft- und Aromastoffe – Authentizitätsbewertung und Biogenesestudien mit neuen Online-Methoden. Dissertation, Frankfurt am Main, 2003, Der Andere Verlag, Osnabrück, 2003.

LANZERSTORFER C, PUXBAUM H. Volatile hydrocarbons in and around Vienna, Austria. *Water, Air and Soil Pollution*, 1990; **51**: 345-355.

LARROQUE V, DESAUZIERS V, MOCHO P. Development of a solid phase microextraction (SPME) method for the sampling of VOC traces in indoor air. *Journal of Environmental Monitoring*, 2006; **8**: 106-111.

LI Z-G, LEE M-R, SHEN D-L. Analysis of volatile compounds emitted from fresh *Syringa oblata* flowers in different florescence by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 2006; **576**: 43-49.

LINKO Y, JOHNSON J A. Changes in Amino Acids and Formation of Carbonyl Compounds during Baking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1963; **11** (2): 150-152.

LUNA G, MORALES M T, APARICIO R. Characterisation of 39 varietal virgin olive oils by their volatile compositions. *Food Chemistry*, 2006; **98**: 243-252.

MANDIN O, DUCKHAM S C, AMES J M. Volatile compounds from potato-like model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1999; **47**(6):2355-2359.

MARGETTS J. Aroma Chemicals V: Natural Aroma Chemicals. In: *Chemistry and Technology of Flavors and Fragrances* (Rowe D J, Hrsg.). Blackwell Publishing Ltd., Oxford und Victoria, 2005; 169-198.

MARTÍNEZ-ANAYA M A. Enzymes and Bread Flavor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1996; **44**(9): 2469-2480.

MC FREDERICK Q S, KATHILANKAL J C, FUENTES J D. Air pollution modifies floral scent trails. *Atmospheric Environment*, 2008; **42**: 2336 – 2348.

MEUSER F, SEIBEL W, SPICHER G. Zur Biotechnologie der Brotherstellung. In: *Brotkultur* (Eiselen H, Hrsg). DuMont Buchverlag, Köln, 1995; 52-77.

MLOTKIEWICZ J A. The role of the maillard reaction in the food industry. In: *The maillard reaction in foods and medicine* (O'Brian J, Nursten H E, Crabbe H J C, Ames J E, Hrsg). Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1998; 19-26.

MONDAL A, DATTA A K. Bread baking – A review. *Journal of Food Engineering* 2008; **86**: 465-474.

MOSCHONAS N, GLAVAS S. C₃-C₁₀ Hydrocarbons in the atmosphere of Athens, Greece. *Atmospheric Environment*, 1996; **30**(15): 2769-2772.

NIJSSEN L M, VISSCHER C A, MAARSE H, WILLEMSSENS L C, BOELEN M H. TNO Nutrition and Food Research Institute, *Volatile Compounds in Food, Qualitative and Quantitative Data: Bread & Cereals*, Seventh Edition, 1996

NURSTEN H E. The Maillard Reaction. In: The Maillard reaction – chemistry, biochemistry and implications. Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2005; 2

OH S Y, SHIN H D, KIM S J, HONG J. Rapid determination of floral aroma compounds of lilac blossom by fast gas chromatography combined with surface acoustic wave sensor. Journal of Chromatography A, 2008; **1183**: 170-178.

OHLOFF G. Düfte – Signale der Gefühlswelt. Verlag Helvetica Chimica Acta, Zürich, 2004, 65, 93.

OUYANG G, PAWLISZYN J. A critical review in calibration methods for solid-phase microextraction. Analytica Chimica Acta, 2008; **627**: 184-197.

PARADISO V M, SUMMO C, PASQUALONE A, CAPONIO F. Evaluation of different natural antioxidants as affecting volatile lipid oxidation products related to off-flavours in corn flakes. Food Chemistry, 2009; **113**: 543-549.

PARÉ P W, TUMLINSON J H. Plant volatiles as a defense against insect herbivores. Plant Physiology, 1999; **121**: 325-331.

PAUZENBERGER P. Kaffeeröstaromastoffe und Duft im Klassischen Wiener Kaffeehaus: Analyse mittels HS-SPME-GC-MS. Diplomarbeit, Universität Wien, 2009

PAYER P. Wie riecht Wien? In: Blick auf Wien. Czernin Verlag, Wien, 2007, 64-73.

PENG C-Y, LAN C-H, WU T-J. Investigation of indoor chemical pollutants and perceived odor in an area with complaints of unpleasant odors. Building and Environment, 2009; 1-8.

PERFETTI T A und RODGMAN A. The Chemical Component of Tobacco and Tobacco Smoke, CRC-Press, Boca-Raton, 2009

PESTITSCHEK M. Untersuchungen zum Duft Wiener Kaffeehäuser. Diplomarbeit, Universität Wien, 2008.

PHILLIPS M A, LEÓN P, BORONAT A, RODRÍGUEZ-CONCEPCIÓN M. The plastidial MEP pathway: unified nomenclature and resources. Trends in Plant Science, 2008; **13**(12): 619-623.

POINOT P, ARVISENET G, GRUA-PRIOL J, COLAS D, FILLONNEAU C, LE BAIL A, PROST C. Influence of formulation and process on the aromatic profile and physical characteristics of bread. Journal of Cereal Science, 2008; **48**: 686-697.

QUÍLEZ J, RUIZ J A, ROMERO M P. Relationships between sensory flavor evaluation and volatile and nonvolatile compounds in commercial wheat bread type baguette. Journal of Food Science, 2006; **71**(6): 423-427.

RÄISÄNEN T, RYYPÖ A, KELLOMÄKI S. Monoterpene emission of a boreal Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest. Agricultural and Forest Meteorology, 2009; **149**: 808-819.

REIMANN S, LEWIS A C. Anthropogenic VOCs. In: Volatile Organic Compounds in the Atmosphere (Koppmann R, Hrsg.), Blackwell Publishing Ltd, Oxford, Iowa und Victoria, 2007; 33-81.

RIZZOLO A, GRASSI M, ZERBINI P E. Influence of postharvest ripening on changes in quality and volatile compounds of "Golden Orange" and "Golden Lasa" scab-resistant apple cultivars. Journal of Food Quality, 2006; **29**: 353-373.

ROEDER S, HARTMANN A-M, EFFMERT U, PIECHULLA B. Regulation of simultaneous synthesis of floral scent terpenoids by the 1,8-cineole synthase of *Nicotiana suaveolens*. *Plant Molecular Biology*, 2007; **65**: 107-124.

ROUSSEV M. Nichtenzymatische Bräunungsreaktionen von D-Glucose und D-Fructose – Bildung und Nachweis von α -Dicarbonylverbindungen in Modellsystemen und Lebensmitteln. Dissertation, Logos Verlag, Berlin, 2003.

ROTHER M: Bedeutung thermisch gebildeter Aromastoffe für das Brotaroma. *Die Nahrung*, 1980; **24**(2): 185-195.

RUIZ J A, QUILEZ J, MESTRES M, GUASCH J. Solid-phase microextraction method for headspace analyses of volatile compounds in bread crumb. *Cereal Chemistry*, 2003; **80**(3): 255-259.

SCHAUER J J, KLEEMAN M J, CASS G R, SIMONEIT B R T. Measurement of emissions from air pollution sources. 5. C_1 - C_{32} organic compounds from gasoline-powered motor vehicles. *Environmental Science & Technology*, 2002; **36**(6): 1169-1180.

SCHIEBERLE P. Intense aroma compounds – useful tools to monitor the influence of processing and storage on bread aroma. *Advanced Food Science* 1996; **18** (5/6): 237-244.

SCHIEBERLE P, GROSCH W. Untersuchungen über Aromastoffe der Roggenbrotkruste. *Getreide, Mehl und Brot*, 1984; **38**(3): 76-77.

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

SCHUHR C A, RADYKEWICZ T, SAGNER S, LATZEL C, ZENK M H, ARIGONI D, BACHER A, ROHDICH F, EISENREICH W. Quantitative assessment of crosstalk between the two isoprenoid biosynthesis pathways in plants by NMR spectroscopy. *Phytochemistry Reviews*, 2003; **2**: 3-16.

SCHÜNEMANN C, TREU G. Die Herstellung von roggenhaltigen Gebäcken. In: *Technologie der Backwarenherstellung, Fachkundiges Lehrbuch für Bäcker und Bäckerinnen*. 8. Auflage, Gildebuchverlag, Alfeld/Leine, 2002; 114-218.

SCHWAB W, DAVIDOVICH-RIKANATI R, LEWINSOHN E. Biosynthesis of plant-derived flavor compounds. *The Plant Journal*, 2008; **54**: 712-732.

SCHWEDT G. Betörende Düfte, sinnliche Aromen, WILEY-VCH Verlag, Weinheim, 2008; 66 – 74.

SEITZ L M, CHUNG O K, RENGARAJAN R. Volatiles in selected commercial breads. *Cereal Chemistry*, 1998; **75**(6): 847-853.

SENATORE F, DE FEO V. Chemical composition of the essential oil from *Tagetes mandonii* Sch. Bip. (Asteraceae). *Flavour and Fragrance Journal*, 1999; **14**: 32-34.

SHANG C, HU Y, DENG C, HU K. Rapid determination of volatile constituents of *Mechelia alba* flowers by gas chromatography-mass spectrometry with solid-phase microextraction. *Journal of Chromatography A*, 2002; **942**: 283-288.

SIMONS M. Brot in der Ernährung der Erwachsenen in Österreich. Diplomarbeit am Institut für Ernährungswissenschaften, Universität Wien, 2003.

SKOBRANEK H. Bäckerei Technologie. 3. Auflage, Dr. Felix Büchner Handwerk und Technik, Hamburg, 1998; 149–175, 212-239

STEINER A H und GOLDSTEIN A L. Biogenic VOCs. In: Volatile Organic Compounds in the Atmosphere (Koppmann R, Hrsg.), Blackwell Publishing Ltd, Oxford, Iowa und Victoria, 2007; 82-128.

STOCKHORST U, PIETROWSKY R. Olfactory perception, communication, and the nose-to-brain pathway. *Physiology & Behavior*, 2004; **83**: 3-11.

TÄUFEL A (Hrsg.), TERNES W, TUNGER L, ZOBEL M. Lebensmittel-Lexikon 1 A - K. 3. Auflage, Behrs-Verlag, Hamburg, 2003.

TÄUFEL A (Hrsg.), TERNES W, TUNGER L, ZOBEL M. Lebensmittel-Lexikon 2 L - Z. 3. Auflage, Behrs-Verlag, Hamburg, 2003.

TRAPP S C, CROTEAU R B. Geonomic organization of plant terpene synthases and molecular evolutionary implications. *Genetics*, 2001; **158**: 811-832.

ULLRICH F, GROSCH W. Identification of the most intense volatile flavour compounds formed during autoxidation of linoleic acid. *Z Lebensm Unters Forsch*, 1987; **184**: 277-282.

VAINSTEIN A, LEWINSOHN E, PICHERSKY E, WEISS D. Floral fragrance. New inroads into an old Commodity. *Plant Physiology*, 2001; **127**: 1383-1389.

VALIM M F, ROUSEFF R L, LIN J. Gas chromatographic-olfactometric characterization of aroma compounds in two types of cashew apple nectar. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003; **51**(4): 1010–1015.

VON PACZENSKY G, DÜNNEBIER A. Brot. In: Kulturgeschichte des Essens und Trinkens. Genehmigte Sonderausgabe, Orbis Verlag für Publizistik, München, 1999; 77-86.

VREDEN N, SCHENKER D, STURM W, JOSST G, BLACHNIK C, VOLLMER G. Getreide, Backwaren und Knabbererzeugnisse. In: Lebensmittelführer-Inhalte, Zusätze, Rückstände. 3. Auflage, WILEY-VCH Verlag, Weinheim, 2008; 145-212.

WAGNER R K, GROSCH W. Key odorants of French fries. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1998; **75**(10): 1385-1392

ZEHENTBAUER G, REINECCIUS G A. Determination of key aroma components of cheddar cheese using dynamic headspace dilution assay. Flavour and Fragrance Journal, 2002; **17**(4): 300-305.

ZVIELY M. Aroma Chemicals II: Heterocycles. In: Rowe D J (Hrsg.) Chemistry and Technology of Flavors and Fragrances, Blackwell Publishing Ltd, Oxford and Victoria, 2005: 85-114.

ZHAO C-X, LIANG Y-Z, FANG H-Z, LI X-N. Temperature-programmed retention indices for gas chromatography-mass spectroscopy analysis of plant essential oils. Journal of Chromatography A, 2005; **1096**: 76-85.

Internet

Acree T E, Arn H. Flavornet, © Datu Inc., 2004: <http://www.flavornet.org>, Abschnitt: <http://www.flavornet.org/info/100-51-6.html>, Zugriff: 02.02.2009

Acree T E, Arn H. Flavornet, © Datu Inc., 2004: <http://www.flavornet.org>, Abschnitt: <http://www.flavornet.org/info/96-48-0.html>, Zugriff: 05.02.2009

AGÖF (Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V.). AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft, Springe-Eldagsen, 2008. Internet:

http://agoef.de/oewerte/photoarchiv/pdfs/AGOEF_Orientwerte, Zugriff:
16.04.2009

Bäckerei "Der Mann": Produktfibel. Internet:
http://www.dermann.at/site_neu/files/DerMannFibel.pdf, Zugriff: 24.02.2009

BAUMANN R, BOOS R, DAMBERGER B et al. Bewertung der Innenraumluft –
Flüchtige organische Verbindungen (VOC). Allgemeiner Teil. Lebensministeri-
um, Wien, 2007. Internet:
<http://umwelt.lebensministerium.at/article/articleview/27941/1/7277/>, Zugriff:
16.04.2009

LUBIG, Biologische Bäckerei. Lexikon: Sauerteig. Internet:
<http://www.lubig.com/index.php?pageID=20060406095135&subpageID=20060406045110> Zugriff: 03.02.09.

COUTALIDES R. LIWOTEV – Luftqualität in Wohnbauten mit tiefem Energie-
verbrauch. Bau- und Umweltchemie Beratungen + Messungen AG, Zürich,
2008. Internet: <http://www.raumlufthygiene.ch/download/LIWOTEV-Schlussbericht.pdf>, Zugriff: 16.04.2009

DIRTL T., Der richtige Wiener Riecher, 10.05.2007. Internet:
<http://www.dieuniversitaet-online.at/beitraege/news/der-richtige-wiener-riecher/10.html>, Zugriff: 30.04.2009

DORRER A. Urban Pilgrims Vienna 2007. Internet:
<http://www.urbanpilgrims.org/Wien/archiv#g5>, Zugriff: 09.03.09

[Institut für Veterinärpharmakologie und -toxikologie](#): Clinitox Giftpflanzen – Sy-
ringa vulgaris – Botanik. Internet:
http://www.vetpharm.uzh.ch/reloader.htm?giftdb/pflanzen/0189_bot.htm?inhalt_c.htm, Zugriff: 05.03.09

MAGISTRAT WIEN. Wien 1955, Berichte vom November 1955. Internet:
<http://www.wien.gv.at/ma53/45jahre/1955/1155.htm>, Zugriff: 09.04.2009

ORTNER J, WURMDOBLER C. Krachende Kaisersemmel. In: Stadtzeitung Falter, Ausgabe 17/03, 23.04.2003, Internet:
http://www.falter.at/print/F2003_17_3.php, Zugriff: 23.01.2009

PAATSCH T. Schadstoffinformation – Alkane-Alkene, 2006. Internet:
<http://enius.de/schadstoffe/alkane-alkene.html>, Zugriff: 15.04.2009

PAATSCH T. Schadstoffinformationen – Butylglykol, 2006: Internet:
<http://www.enius.de/schadstoffe/butylglykol.html>, Zugriff: 05.02.2009

POEPLAU Z. Botaniker der Freien Universität Berlin weist die Herkunftsgeschichte des Flieders nach. Freie Universität Berlin, 13.05.2002: Internet:
<http://www.uni-protokolle.de/nachrichten/id/1376/>, Zugriff: 05.03.09

Schweizer Blumenbörse: Monatspflanze Juni 04 – Flieder. Internet:
<http://www.blumenboersen.ch/archiv/monatspflanze-flieder.htm>, Zugriff: 05.03.09

WIEN HOLDING GMBH. Wien erhält „Kunstpassage Karlsplatz“, 2007. Internet:
<http://www.wienholding.at/event/mediaroom-news/id/2963>, Zugriff: 09.04.2009

Wiener Stadtgärten. Der St. Marxer Friedhof. Internet:
<http://www.wien.gv.at/umwelt/parks/anlagen/friedhof-st-marx.html>, Zugriff: 09.03.09

Römpp Enzyklopädie Online⁸⁶, Thieme Verlag, Stuttgart, 2007:
<http://www.roempp.com>:

⁸⁶ Zugriff über das Datenbankservice der Universität Wien

Bearbeiterin: Jenny Hartmann-Schreier

Abschnitt Alkanale, Stand: Dezember 2007, Zugriff: 16.04.2009

Abschnitt Alken-1-ale, Stand: März 2003; Zugriff: 11.02.2009

Abschnitt Aromastoffe, Stand: März 2003; Zugriff: 02.12.2008

Abschnitt Bittermandelöl, Stand: März 2003; Zugriff: 29.01.2009

Abschnitt Citral, Stand: März 2003; Zugriff: 11.02.2009

Abschnitt Eucalyptosöle, Stand: September 2003, Zugriff: 24.03.2009

Abschnitt Estragol, Stand: September 2003; Zugriff: 11.02.2009

Abschnitt Fichten- und Kiefernadelöle, Stand: September 2003, Zugriff:
23.03.2009

Abschnitt Fruchtester, Stand: Dezember 2007; Zugriff: 04.02.2009

Abschnitt Hexan-1-ol, Stand: September 2003; Zugriff: 02.02.2009

Abschnitt Indol, Stand: September 2003, Zugriff: 27.03.2009

Abschnitt p-Anisaldehyd, Stand: März 2003; Zugriff: 11.02.2009

Abschnitt Propionsäure, Stand Mai 2004, Zugriff: 31.03.2009

Abschnitt Wintergrünöl, Stand: November 2005, Zugriff: 31.03.2009

Bearbeiter: Gerhard Krammer

Abschnitt 2-Phenylethanol, Stand: Januar 2004; Zugriff: 02.02.2009

Abschnitt (-)-(R)-Oct-1-en-3-ol, Stand: Juni 2003; Zugriff: 10.02.2009

Abschnitt Bornylacetat, Stand: August 2004, Zugriff: 17.04.2009

Abschnitt Maillard-Reaktion, Stand: Januar 2003; Zugriff: 16.12.2008

Abschnitt Pinene, Stand: Oktober 2002; Zugriff: 06.02.2009

Abschnitt Thymianöl und Thymol, Stand: März 2005; Zugriff: 11.02.2009,

Bearbeiter: Stefan Gräber

Abschnitt Backprozess, Stand: Januar 2003; Zugriff: 20.01.09:

Abschnitt Sauerteig, Stand: Mai 2005; Zugriff: 19.01.09

Bearbeiter: Ullrich Jahn

Abschnitt 2-Methylbutan, Stand: November 2005, Zugriff: 31.03.2009

Abschnitt Octanole, Stand: Dezember 2007; Zugriff: 02.02.2009

Abschnitt Pentadecan, Stand: März 2006, Zugriff: 31.03.2009

Abschnitt Tetradecan, Stand: Juli 2007, Zugriff: 31.03.2009

Bearbeiter: Michael Gänzle

Abschnitt Acetoin, Stand: Oktober 2002; Zugriff: 05.02.2009

Bearbeiter: Sonja Locher und Gerhard Krammer

Abschnitt Limonen, Stand: August 2008, Zugriff: 24.03.2009

Bearbeiter: Michael Menzel und Jenny Hartmann-Schreier

Abschnitt Eugenolmethylether, Stand: November 2008, Zugriff: 01.04.2009

Bearbeiter: Andreas Schmidt und Gerhard Krammer

Abschnitt Thiohene, Stand: November 2008, Zugriff: 17.04.2009

Bearbeiter: Römpp-Auter

Abschnitt Benzin, Stand: März 2002, Zugriff: 15.04.2009

Abschnitt Essigsäurepentylester, Stand: März 2002, Zugriff: 31.03.2009

Abschnitt Heptanal, Stand: März 2002; Zugriff: 11.02.2009

Grafikquellen

Werbespruch „Worauf freut sich der Wiener (...)“: Wienbibliothek Rathaus, 1999-2004. Plakatkatalog. Internet:

<http://www.katalog.wienbibliothek.at/ps1/TITSrc>, Zugriff 21.04.2009

Reaktionsablauf Strecker-Abbau: NURSTEN H E. The Maillard Reaction. In: The Maillard reaction – chemistry, biochemistry and implications. Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2005; 18

Leucin: Freie Universität Berlin. <http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/bio/aminoacid/leucin.html>, Zugriff: 18.02.2009

3-Methyl-Butanal: ChemFinder.com, Database and Internet Searching
http://chemfinder.cambridgesoft.com/result.asp?mol_rel_id=590-86-3, Zugriff:
18.02.2009

Bildungswege von Schlüsselaromastoffen in der Maillard-Reaktion:

O'BRIAN J, NURSTEN H E, CRABBE H J C, AMES J E. The Maillard Reaction in Foods and Medicine. Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1998; 20

Terpenbiosynthesewege in der Pflanze: BOUVIER F, RAHIER A, CAMARA B. Biogenesis, molecular regulation and function of plant isoprenoids. Progress in Lipid Research, 2005; **44**: 363

Bildung von Monoterpenen mittels Cyclisierung von GDP: BOHLMANN J, MEYER-GAUEN G, CROTEAU R. Plant terpenoid synthases: Molecular biology and phylogenetic analysis. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1998; **95**: 4127

Bildung von Fliederaldehyd und Fliederalkohol in *S. vulgaris* L.: KRECK M, PÜSCHEL S, WÜST M, MOSANDL A. Biogenetic Studies in *Syringa vulgaris* L.: Synthesis and Bioconversion of Deuterium-Labeled Precursors into Lilac Aldehydes and Lilac Alcohols. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003; **51**: 468

Grundriss der Kärntner- , Opern- und Westpassage: TEAM FOCUS. Bericht 1.-4. Bezirk Karlsplatz, Wien, 2005, S 10. Internet:
http://www.fsw.at/export/sites/fsw/fswportal/downloads/satzung_berichte/teamfocus/2005_TEAM_FOCUS_Bericht_1und4-Bez_Karlsplatz.pdf,
Zugriff: 16.04.2009

5-Hydroxymethyl-2-Furfural: Römpp Enzyklopädie Online, Abschnitt: 5-
(Hydroxymethyl)furfural, <http://www.roempp.com>, Zugriff: 29.01.2009

9 LEBENS LAUF

Name	SCHAUPP Brigitte
Geburtsdatum u. -ort	13.01.1984, Steyr (OÖ)
Staatsangehörigkeit	Österreich
Schul- und Berufsbildung	
seit 10/2003	Studium an der Universität Wien: Ernährungswissenschaften, Ausbildungsschwerpunkt: Ernährungsökonomie
09/1998 – 06/2003	Handelsakademie Steyr
09/1994 – 07/1998	Privathauptschule Rudigier Steyr
09/1990 – 07/1994	Volksschule Maria Neustift
Berufserfahrung und studienrelevante Praktika	
02/2007 – 08/2008	Verlag Inge Hanreich, Wien; geringfügige Beschäftigung
06/2007 – 08/2007	Onlinediätportal Schlanker Leben, Wien
09/2007	Amt der OÖ. Landesregierung Abteilung Landessanitätsdirektion, Linz
08/2006	Verlag Inge Hanreich, Wien
Ferialpraktika	
08/2003	Oberbank Steyr
07/2003	Stadtwerke Steyr - Gaswerk
07/2002	Magistrat Steyr Personenstands- und Staatsbürgerschaftsangelegenheiten
07/2001	Stadtwerke Steyr - Gaswerk
08/2000	Magistrat Steyr – Stadtbücherei
Besondere Kenntnisse	
sehr gute MS-Office-Kenntnisse	
Englisch fließend in Wort und Schrift	
Spanisch Grundkenntnisse	

Wien, im Juni 2009