

Chemische Zusammensetzung des ätherischen Öls von
***Eriocephalus tenuifolius* DC.**
(Cape Chamomile Oil)

Ein Vergleich von Handelsölen
mit Ölen aus Wildpflanzen und Stecklingskulturen

Dissertation

zur Erlangung des naturwissenschaftlichen Doktorgrades
des Fachbereiches Chemie der
Universität Hamburg

vorgelegt von
Hanco-Gisbert Mierendorff
aus Hamburg

Hamburg 2006



„Cape Chamomile“
Eriosephalus tenuifolius DC.
in den Drakensbergen, Südafrika

Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeit vom
Oktober 1999 bis Juni 2006
am Institut für Pharmazie,
Abteilung für Pharmazeutische Biologie und Mikrobiologie
der Universität Hamburg unter der Leitung von
Frau Prof. Dr. Elisabeth Stahl-Biskup durchgeführt.

1. Gutachter: Prof. Dr. E. Stahl-Biskup
2. Gutachter: Prof. Dr. K.-H. Kubeczka

Tag der Disputation: 17.11.2006

Meinen Eltern

„Du weißt nie, was Du kannst,
bevor Du es versuchst.“

N.N.

Danksagungen

- **Frau Professor Dr. Elisabeth Stahl-Biskup** danke ich herzlich für die Überlassung des Themas, die Betreuung und die Unterstützung bei dieser Arbeit.
- **Professor Dr. ...** danke ich für die freundliche Übernahme des Koreferates.
- **Herrn Professor Dr. W. A. König**, Institut für Organische Chemie an der Universität Hamburg, danke ich für die Bereitstellung der Massenspektrometer, an denen freundlicherweise durch seine Mitarbeiter **M. Preusse** und **A. Meiners**, denen mein Dank ebenfalls gilt, die für diese Arbeit notwendigen Messungen durchgeführt wurden,.
- Weiterhin gilt mein Dank **Herrn H. Müggenburg**, der die anfängliche Finanzierung dieses Projektes ermöglicht hat.
- Der Graduiertenförderung der Universität Hamburg gilt mein Dank für die Gewährung eines Stipendiums.
- Der Firma **Grassroots Natural Products, Gouda, Südafrika**, mit allen Mitarbeitern danke ich für die zur Verfügung gestellten Öle und für die Mithilfe bei der Organisation der Forschungsreise.
- **Herrn Professor E. H. Graven**, Gouda, Südafrika, danke ich nicht nur sehr herzlich für die Gastfreundschaft, die mir einen Aufenthalt auf seiner Farm ermöglichte, sondern auch für die interessanten Gespräche, die mir das Land Südafrika nahe gebracht haben.
- Darüber hinaus möchte ich mich bei unseren ehemaligen technischen Assistentinnen **Frau Kerstin Blum** und **Frau Yvonne Gland** bedanken, die mir mit ihrer chemisch-technischen und analytischen Mithilfe zur Seite gestanden haben.
- Besonderer Dank gilt **Frau Dr. Cornelia Sojka**, die mir nicht nur als Doktorandin in unserem Arbeitskreis immer wieder Motivation und Denkanstöße auf den Weg gegeben hat.
- Mein ganz besonderer Dank aber gilt **meinen Eltern**, die durch ihre Unterstützung, Motivation und ständiges Interesse überhaupt erst diese Arbeit ermöglicht haben !

Inhaltsverzeichnis

A Einleitung.....	2
1 Problemstellung und Zielsetzung.....	2
2 Die Gattung Eriocephalus.....	4
2.1 Systematik und Verbreitung.....	4
2.2 Morphologie, Anatomie.....	7
2.3 Verwendung von Eriocephalus-Arten.....	8
3 Eriocephalus tenuifolius DC. – Die Kap-Kamille.....	9
3.1 Chemische Merkmale von Eriocephalus tenuifolius.....	10
B Methodik.....	14
1 Erfahrungen mit der Nutzung von MS-Datenbanken für die Identifizierung.....	14
1.1 Abfrage einzelner Datenbanken durch den Anwender.....	15
1.2 Abfrage einzelner oder gebündelter Datenbanken durch Routinen und Programme.....	18
1.3 Die Rolle des Retentionsindex.....	21
C Ergebnisse.....	25
1 Das ätherische Öl von Eriocephalus tenuifolius.....	25
1.1 Tabellarische Übersicht aller Einzelkomponenten.....	25
1.2 Chemie des ätherischen Öls.....	30
1.2.1 Hemiterpen-Derivate (HT).....	30
1.2.2 Monoterpene (MT).....	31
1.2.3 Sesquiterpene.....	38
1.2.4 Nicht-terpenoide Ester (NT).....	44
1.2.5 Weitere aliphatische Verbindungen.....	47
1.2.6 Unbekannte Komponenten.....	48
2 Handelsöle.....	51
2.1 Allgemeines, Anbau, und Gewinnung.....	51
2.2 Chemische Zusammensetzung.....	53
2.2.1 Ätherisches Öl.....	53
2.2.2 Extrakt.....	59
2.2.2.1 Matrizinnachweis.....	59
2.2.2.2 Nachweis genuiner Azulene.....	59
3 Wildpflanzen.....	63
3.1 Pflanzenmaterial.....	63
3.2 Geruchscharakterisierung.....	64
3.3 Ölmuster der Wildpflanzen.....	65
4 Ölmuster der Pflanzen aus Stecklingskulturen.....	73
5 Vergleich der Ölmuster von Wildpflanzen, Pflanzen von Stecklingskulturen und Handelsölen.....	77
5.1 Aliphatische Ester und Alkohole.....	78
5.2 Monoterpene.....	82
5.3 Sesquiterpene.....	85
5.3.1 Artedouglasiaoxide.....	85
5.3.2 Laciniatafuranone.....	87
5.3.3 Davanone.....	89
5.3.4 Weitere Sesquiterpene.....	90
5.4 Azulene.....	92
6 Standortbezogene Betrachtungen.....	93
7 Physikalische Daten und Kennzahlen des ätherischen Öls.....	95
7.1 Spezifische Dichte.....	95
7.2 Optische Drehung.....	95
7.3 Refraktionsindex.....	95
7.4 Flammpunkt.....	95
7.5 CAS-Nummer.....	95

7.6 EINECS-Nummer.....	95
D Diskussion.....	96
1 Zusammensetzung der Handelsöle aus <i>E. tenuifolius</i> (Cape Chamomile Oil)...	97
2 Ölmuster der Wildpflanzen - Vergleich mit den Handelsölen	98
3 Ölmuster der Stecklingskulturen.....	100
E Material und Methoden.....	101
1 Pflanzenmaterial.....	101
1.1 Kulturpflanzen.....	101
1.2 Wildpflanzen / Wildpflanzenstecklinge.....	101
2 Gewinnung des ätherischen Öls und des Extraktes.....	102
2.1 Gewinnung der Handelsöle.....	102
2.2 Gewinnung der Laborproben.....	102
2.3 Gewinnung des Kaltextraktes.....	103
3 Fraktionierung und Chromatographie der Öle.....	103
3.1 TSC-Trennung.....	103
3.2 Semipräparative Tieftemperatur-DC.....	104
3.3 TSC-Fünfertrennung.....	104
3.4 Gaschromatographie.....	105
3.5 Massenspektrometrie (MS).....	106
3.6 Matrizinnachweis.....	107
4 Geräte.....	107
4.1 Pyknometer.....	107
4.1.1 Polarimeter.....	107
4.1.2 Refraktometer.....	107
5 Gefahrstoffe.....	108
F Zusammenfassung / Summary.....	110
1 Zusammenfassung.....	110
2 Summary.....	112
G Literaturverzeichnis.....	114
H Lebenslauf.....	120

A Einleitung

1 Problemstellung und Zielsetzung

Die Republik Südafrika (RSA) ist mit über 30.000 einheimischen Pflanzenarten das Land mit dem größten Pflanzenreichtum der Erde. Auf weniger als 1% Anteil der Erdoberfläche finden sich hier über 10% der auf diesem Globus existierenden Arten. Diese Vielfalt und auch die verschiedenen kulturellen Prägungen zahlreicher Volksstämme und Volksgruppen in Südafrika begründen die Tatsache, dass über zwei Drittel der dortigen Bevölkerung mehr als 3000 der wild wachsenden Pflanzenarten traditionell in der Heilkunde nutzen [VAN WYK, 1997].

Infolge der Öffnung Südafrikas nach der Apartheid und im Zeitalter der fortschreitenden Globalisierung wächst der internationale Handel mit Arzneipflanzen. Eine zunehmend intensive Nutzung der wild wachsenden Heilpflanzen bedroht deren Vorkommen, so dass Mittel und Wege gefunden werden müssen, die traditionelle Heilkunde als eine der wichtigsten Säulen der südafrikanischen Medizin aufrecht zu erhalten.

Nur wenige Heilpflanzen werden in Südafrika kultiviert und angebaut. Dies sind vor allem die für den Weltmarkt wichtigen phytomedizinischen Pflanzen wie z.B. Kap-Aloe (*Aloe ferox* Mill.), Buchu (*Agathosma* spp.), Teufelskralle (*Harpagophytum procumbens* DC), Umckaloabo (*Pelargonium sidoides* DC.) und Uzara (*Xysmalobium undulatum* R.Br.) [COETZEE, 1999].

Um die Nutzung von wertvollen Pflanzenressourcen zu verbessern und dabei Natur und Umwelt zu schonen, müssen traditionelles Wissen der einheimischen Naturheiler und die wissenschaftlichen Erkenntnisse zusammen geführt werden. Eine überlegte Vermarktungsstrategie kann den Erfolg auf dem immer anspruchsvoller werdenden internationalen Markt sichern [GRAVEN et al., 1985, 1986 und PIPREK et al., 1982]. Dafür ist heutzutage wichtig, dass die Qualität der Arzneidrogen kontrollierbar ist. Dies setzt voraus, dass die Inhaltsstoffe weitestgehend bekannt sind. Dies betrifft auch das in dieser Arbeit untersuchte Cape Chamomile Oil, das ätherische Öl aus *Eriocephalus tenuifolius* DC.

Dieses Öl erfreut sich aufgrund seines angenehmen, frischen und fruchtigen Geruchs sowie seiner intensiven, tiefblauen Färbung zunehmender Nachfrage innerhalb Südafrikas. Nur ein kleiner Anteil des auf einer Farmfabrik in der Kap-Provinz (Grassroots Natural Products, Gouda, RSA) erzeugten ätherischen Öls wird auf dem

Weltmarkt vertrieben. Auf dieser Farm wird zurzeit das Öl aus dort kultivierten Pflanzen gewonnen, die seit den achtziger Jahren durch Stecklinge hier vermehrt werden. Um den internationalen Handel zu fördern, müssen die sensorischen Eigenschaften des Öls optimiert und die Voraussetzungen einer zuverlässigen Qualitätskontrolle geschaffen werden.

Das Ziel dieser Arbeit ist es somit

- das Handelsöl von *Eriocephalus tenuifolius* in dessen derzeitiger Qualität chemisch zu analysieren und dessen quantitative Zusammensetzung zu erfassen,
- die natürliche Variation der ätherischen Öle von Wildpflanzen der Art *Eriocephalus tenuifolius* zu ermitteln und
- den Einfluss der Stecklingsvermehrung von Wildpflanzen und der anschließenden Kultivierung auf die Zusammensetzung des ätherischen Öls zu untersuchen.

Der letzte Punkt soll Aufschluss darüber geben, ob Wildpflanzenmaterial eine mögliche Ressource für eine neue sensorische Qualität darstellt.

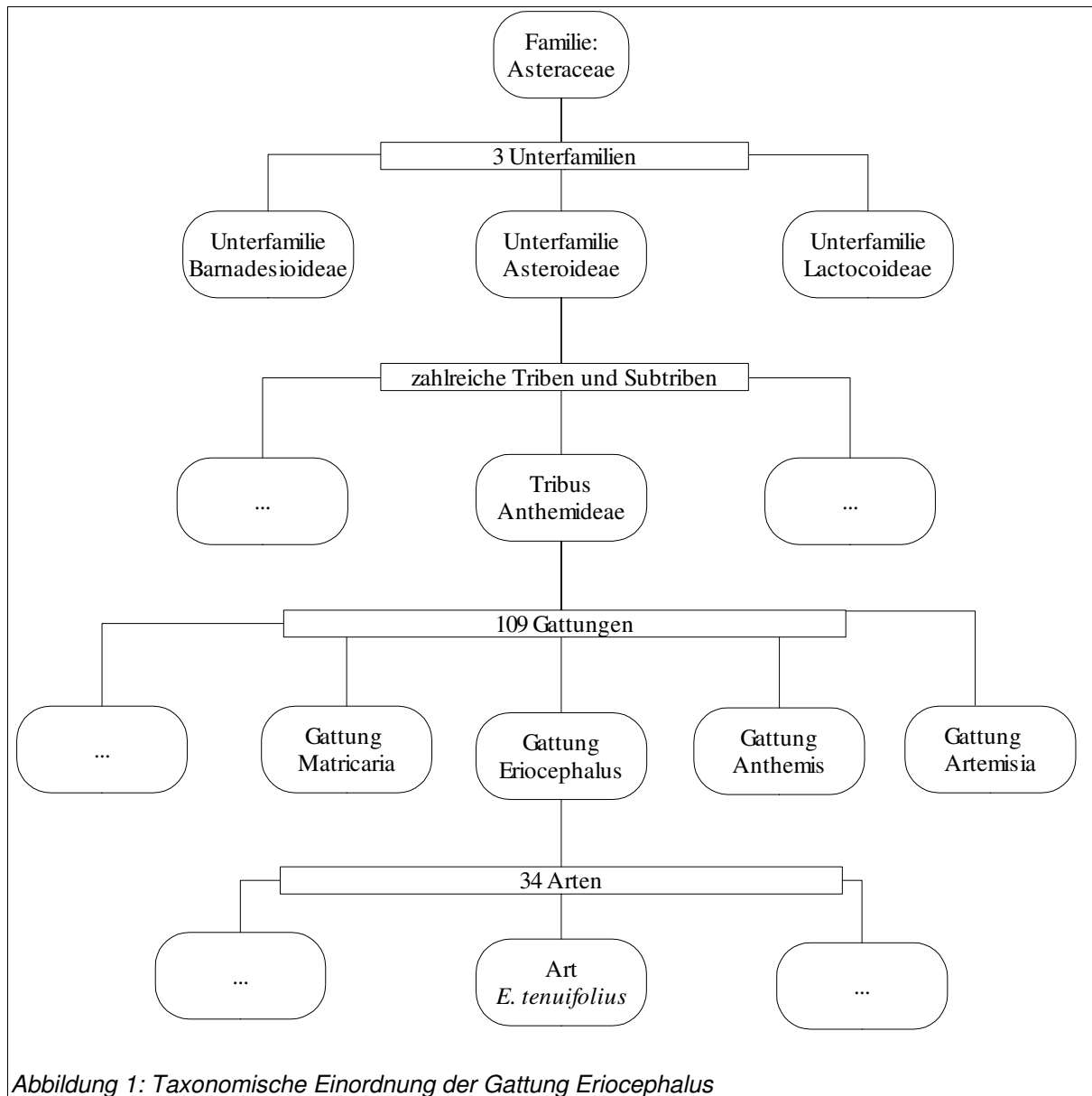
2 Die Gattung *Eriocephalus*

2.1 Systematik und Verbreitung

Die Gattung *Eriocephalus* gehört zur Familie der Asteraceae (Korbblütler). Diese stellt mit ca. 1100 Gattungen und ca. 25.000 Arten die individuenreichste Familie der Dikotyledonen dar. Daher ist es wenig verwunderlich, dass ihre Verbreitung kosmopolitisch ist und sie sich nahezu jeden Lebensraum erschlossen hat. Der morphologisch einheitliche Blütenaufbau bedingt, dass die hohe Artenzahl widerspruchslös in einer Familie untergebracht ist. Vertreten sind einjährige Kräuter, Stauden, Halbsträucher und Sträucher; selten auch Schopfbäume.

Die Asteraceae werden in drei Unterfamilien eingeteilt: die Barnadesioideae, die Asteroideae und die Lactocoideae. Bei den Barnadesioideae handelt es sich um eine erst vor wenigen Jahren geschaffene Unterfamilie, die mit Hilfe morphologischer und chemischer Untersuchungen etabliert werden konnte. Die beiden Letztgenannten bestehen aus zahlreichen Triben und Subtriben. *Eriocephalus* gehört zu der Tribus der Anthemideae, zu der auch andere pharmazeutisch verwendete Gattungen wie z.B. *Matricaria*, *Anthemis* und *Artemisia* gehören, die in der Diskussion der Ergebnisse eine Rolle spielen. Weltweit schließt die Tribus Anthemideae 109 Gattungen und etwa 1740 Arten ein, die hauptsächlich in den gemäßigten Klimazonen der nördlichen Hemisphäre anzutreffen sind [BREMER, 1994].

Die Gattung *Eriocephalus* beinhaltet 34 Arten. Sie ist in Südafrika endemisch und dort mit Ausnahme der Provinz Gauteng über die gesamte Republik verbreitet. Die erste bekannte Bearbeitung der Gattung *Eriocephalus* erfolgte durch W. Harvey im Jahre 1865 [HARVEY, 1865]. Er untergliederte die Art *Eriocephalus punctulatus* in die 4 Variationen *var. pedicellaris*, *var. punctulatus*, *var. tenuifolius* und *var. brevifolius*. Die hier untersuchte Pflanze führte damals die Bezeichnung *Eriocephalus punctulatus var. tenuifolius*. Im Schaubild (Abbildung 1) ist die taxonomische Stellung der Art *Eriocephalus tenuifolius* innerhalb der Asteraceae dargestellt.

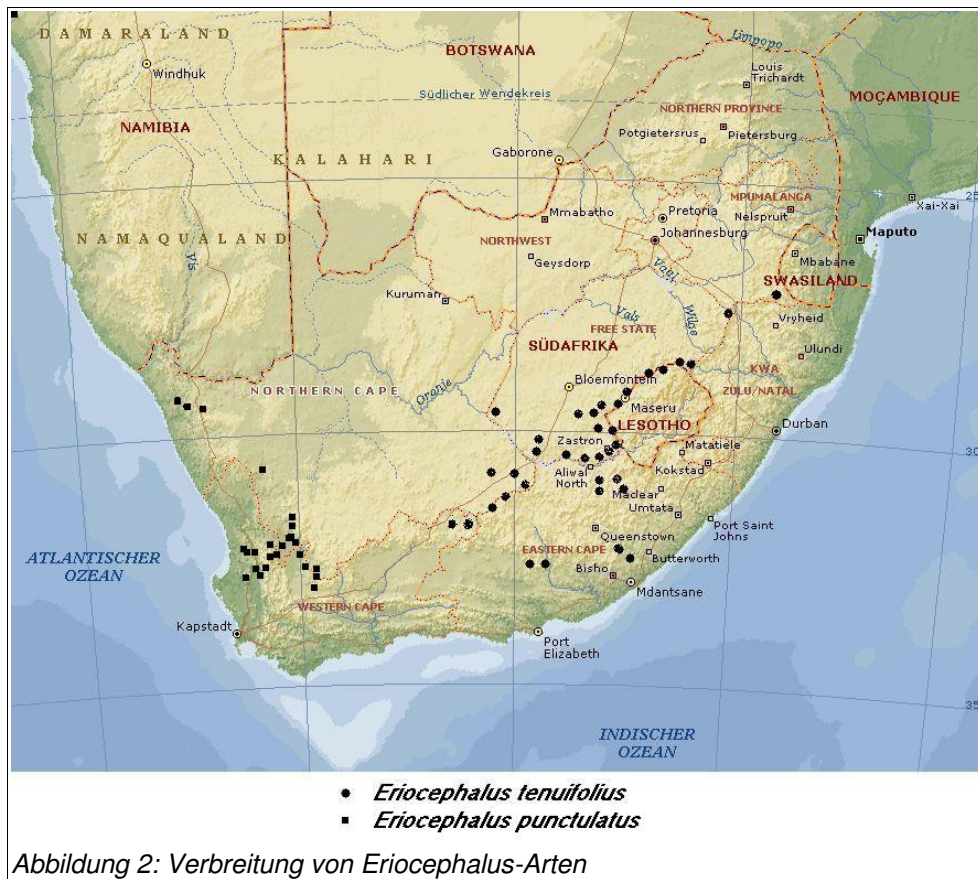


Nachdem im Jahre 1984 BOND und GOLDBLATT schon eine Diskrepanz bei der Benennung von Pflanzen der Gattung *Eriocephalus* beschrieben haben, wurde im Jahr 1988 an der 'University of Stellenbosch' in Südafrika ein Forschungsauftrag zur vollständigen Revision der Gattung *Eriocephalus* vergeben, der von M.A.N. MÜLLER erfolgreich durchgeführt wurde. Nach dessen Unfalltod im Jahre 1997 wurden die Ergebnisse nicht komplett veröffentlicht, Auszüge daraus, inklusive der Neuordnung der Gattung *Eriocephalus* erschienen im Jahre 2001 [MÜLLER et al., 2001]. In dieser Publikation werden insgesamt 14 *Eriocephalus*-Arten beschrieben. Dabei erhebt Müller alle Variationen von *Eriocephalus punctulatus* auf das Niveau einer Art. Die

hier untersuchte Pflanze heißt demnach heute korrekt *Eriocephalus tenuifolius*. *Eriocephalus tenuifolius* wird in der Sprache Afrikaans „Boegoekapok“ oder „Klein-Bergkapokbossie“ genannt [MÜLLER et al., 2001]. Sie steht der *Eriocephalus punctulatus* besonders nahe. Der Unterschied zwischen diesen beiden Pflanzen besteht nach Müller

1. in der Länge der Tragblätter, die bei *Eriocephalus tenuifolius* gleich lang oder länger sind als die Blütenstiele, bei *Eriocephalus punctulatus* jedoch kürzer sind als diese,
2. in der Anzahl der Scheibenblüten, die bei *Eriocephalus tenuifolius* 13-22 beträgt und bei *Eriocephalus punctulatus* 7-10 und
3. in der Verbreitung der Pflanzen.

Eriocephalus tenuifolius ist auf steinigen Hügeln und an trocknen Abhängen in Höhenlagen von 4000-5000 Fuß heimisch. Sie ist Teil der Vegetation der Berge und Hügel im südlichen Mpumalanga, des Free State, Lesotho und des Northern, Western und Eastern Cape (Abbildung 2). *Eriocephalus punctulatus*, in Afrikaans „Kapakbos“, ist hingegen von Springbock an der Grenze zu Namibia im Northern Cape über das Namaqualand im Western Cape bis hin zu den Cedarberg Mountains in Höhen von 300-400 Fuß angesiedelt. In diesem Bereich werden zwei Typen je nach Vorkommen in Regionen mit mehr bzw. weniger Regenfall als 200 mm per anno unterschieden, eine exakte Zuordnung wird jedoch aufgrund mangelnder geographischer Trennung nicht durchgeführt.



2.2 Morphologie, Anatomie

Bei den Pflanzen der Gattung *Eriocephalus* handelt es sich um vielstämmige, immergrüne Sträucher, die bis zu zwei Meter hoch werden und einen Durchmesser bis zu zwei Metern erreichen können. Sie besitzen ein gut entwickeltes Wurzelsystem. Die Pfahlwurzeln können bis zu 6 Meter lang werden, die Lateralwurzeln bilden ein verzweigtes Geflecht, das sich in einem Radius bis zu 2 m um die Pflanze herum ausbreitet. Das extensive Wurzelsystem macht sie resistent gegen Trockenheit und hilft, nach dem Anfressen durch Tiere sich leichter zu regenerieren.

Eriocephalus-Arten sind stark an ihren jeweiligen Standort adaptiert. In Küstennähe haben sie sukkulente Blätter, während die im Landesinneren angesiedelten Pflanzen eher dünnere Blätter aufweisen. Die in der Regel mit feinen silbergrauen Härchen überzogenen, nadelähnlichen Blätter reflektieren die Sonne und reduzieren den Wasserverlust.

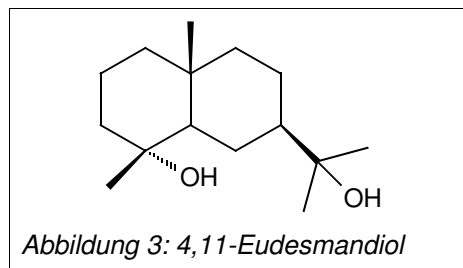
Eriocephalus-Arten haben 2-3 weiße Zungenblüten als Randblüten und purpurfarbene Röhrenblüten als Scheibenblüten. Die Samen sind mit langen weißen Haaren bedeckt und zeigen ein Aussehen wie Baumwolle oder Schnee [MERXMÜLLER, 1967].

Eriocephalus-Arten lassen sich leicht durch Samen oder Stecklinge vermehren, die Keimdauer der Samen beträgt durchschnittlich ca. 10 Tage.

2.3 Verwendung von *Eriocephalus*-Arten

In der traditionellen südafrikanischen Volksmedizin werden Zubereitungen aus Zweigen von *Eriocephalus*-Arten hergestellt und eingesetzt. Dabei finden vor allem Zubereitungsarten wie Infuse, Dekokte, Tinkturen und Tees Anwendung.

In den Überlieferungen finden *E. africanus*, *E. ericoides*, *E. racemosus* und *E. umbellatus* Erwähnung [VAN WYK, 1997]. Sie werden als schweiß- und harntreibende Mittel verwendet. Besonders erwähnt wird *E. umbellatus*, die schon bei den alten Kapbewohnern und den Khoi zur Behandlung von Ödemen bei Wassersucht sowie bei Magen-Darm-Beschwerden eingesetzt wurde. Ebenfalls bekannt und auch heute noch praktiziert, ist der Einsatz bei Menstruationsbeschwerden sowie bei Schmerzen und Schwellungen im Zusammenhang mit Frauenleiden. Für diese Wirkung wird das 4,11-Eudesmandiol (Abbildung 3), ein Sesquiterpenaldehyd, verantwortlich gemacht, dessen spasmolytische Wirksamkeit wissenschaftlich belegt ist.



Außerdem wird der Pflanze eine positive Wirkung bei Herzbeschwerden zugeschrieben, die möglicherweise mit der diuretischen Wirkung in Zusammenhang steht.

In der Naturkosmetik und der Phytotherapie wird ein Dekokt aus Blüten und Zweigen von *E. africanus* zur Stimulierung des Haarwachstums und als belebendes Hauttonikum verwendet [VAN DER WALT, 2000].

Für *E. punctulatus* (ohne Angabe der Varietät) wird beschrieben, dass das Kraut zusammen mit *Metalasia muricata* („Blombos“, weißer Borstenbusch) bei den südli-

chen Sothos zum Ausräuchern von Hütten verbrannt wurde, in denen eine Person an Erkältung oder Diarrhoe erkrankt oder ein Bewohner gestorben war [WATT und BREYER-BRANDWIJK, 1962].

Gehandelt wird heute ausschließlich das ätherische Öl von *Eriocephalus tenuifolius* (vormals *Eriocephalus punctulatus* var. *tenuifolius*). Es findet Verwendung bei der Herstellung kosmetischer Mittel wie Parfums, Badezusätzen, Hautlotionen, Cremes, Hautgels und Rasierwässern. Auch wird versucht, dieses Öl in der „Aromatherapie“ einzuführen. Es zeichnet sich durch eine tiefblaue Farbe und einen fruchtig-aromatischen Geruch aus. Mitunter findet das Kraut der Pflanze als Gewürz, als Schmuck- und Duftdroge in Potpourris oder Sachets Verwendung.

3 *Eriocephalus tenuifolius* DC. – Die Kap-Kamille

Eriocephalus tenuifolius (Abbildungen 4 und 5) ist ein 30-130 cm hoher vielstämmiger Strauch, der nach unten hin verholzt [MÜLLER et al., 2001].

- Junge Triebe sind kastanienbraun, fest, spärlich filzig behaart bis kahl und dicht mit Blättern besetzt. Diese sind meist gegenständig, seltener wechselständig, kielförmig, mit einer Größe von 4-14 x 0.4-0.6mm. Die Blätter sind weich, spitz und am Grund halb Stängel umfassend. Die Triebe haben in den Blattachseln Kurztriebblattbüschel. Die Farbe variiert von blassgrün bis gelbgrün mit einem durch die Behaarung grünlich-weißen Schimmer. Teilweise befinden sich Drüsen in Schuppen, die auf der Blattoberfläche eingesenkt sind.



Abbildung 4: *Eriocephalus tenuifolius* (Kap-Kamille)

Junge Blätter sind schwach filzig behaart.

- Die Blütenköpfchen stehen in endständigen doldenförmigen Trauben an Blütenstielen, die gleich lang oder kürzer sind als die Tragblätter; dabei sind diese filzig behaart bis haarlos. Sie bestehen aus 2 bis 3 weiblichen Zungenblüten. Diese sind 3.5 - 5.5 mm lang, keilförmig, 3- oder 4-lappig und sind weiß, zuweilen auch rot-violett gefärbt.
- Die 13 - 22 Röhrenblüten sind männlich, mit sterilem Fruchtknoten. Sie sind trompetenförmig und 5-lappig, 3.0 - 4.5 mm lang und korallenrot bis violett gefärbt.
- Der Hüllkelch besteht zumeist aus 5, selten 4 schuppenförmigen Blättern von ungefähr 3.2 x 2.2 mm; der mittlere, dreieckig bis spatelförmige Bereich ist grün, mit breitem, häutigem Rand, gekielt bis leicht abgeflacht und dabei schwach filzig behaart bis haarlos und innen mit vertieft liegenden Drüsen zur Mitte liegend besetzt.
- Die Spreublättchen der Zungenblüten sind bis 4 mm lang, ledrig und wollartig behaart. Die Spreublätter der Röhrenblüten sind häutig, die Ränder sind gefranst und dicht wollig behaart.
- Die Samen sind länglich, ca. 2 - 3 mm lang.
- Die Blütezeit hängt stark von den Regenzeiten ab, dabei tritt die Blüte verstärkt in den Sommerregenzeiten von Januar bis April und von Juli bis September in der Winterregenzeit auf.



Abbildung 5:
Eriocephalus tenuifolius

3.1 Chemische Merkmale von *Eriocephalus tenuifolius*

Über die Zusammensetzung der Inhaltsstoffe des ätherischen Öls von *Eriocephalus tenuifolius* ist nur sehr wenig bekannt. Von ROARD et al. [1977] wurden Untersuchungen am ätherischen Öl von *Eriocephalus punctulatus* durchgeführt. Es kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei den dort untersuchten Pflanzen um *Eriocephalus punctulatus* DC. var. *tenuifolius* bzw. um *Eriocephalus tenuifolius* handelt, denn 14 Monate später erschien der zweite Teil dieser Veröffentlichung [ROARD 1978], in der auf ein Vorkommen der Pflanze in Höhenlagen von 3000 m in den Lesotho Mountains hingewiesen wird. Bei diesen Untersuchungen am ätherischen Öl

wurden 36.5 Gewichts-% des Öls identifiziert, d.h. Zweidrittel des Öls blieb unerkannt. Außerdem finden sich keine Angaben über die Isomere der darin identifizierten Komponenten. Auch bleibt die natürliche Variation der Pflanze hinsichtlich der Zusammensetzung unberücksichtigt. Eine Zusammenstellung dieser Ergebnisse zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Zusammensetzung des Öls von *Eriocephalus tenuifolius* nach ROARD 1978

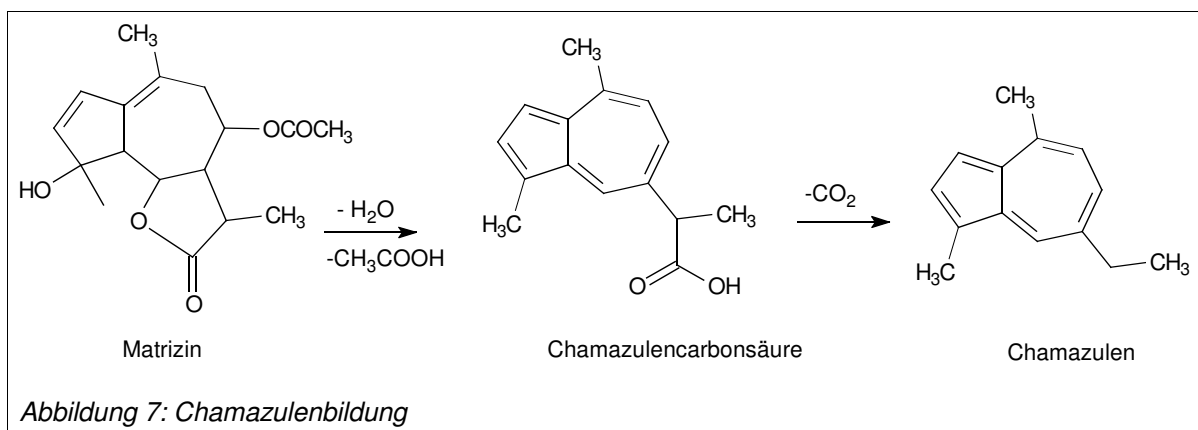
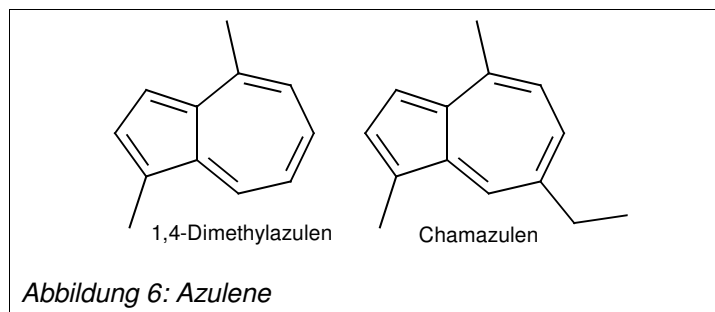
Komponente	[%]
2-Methylbutan-1-ol	0,42
3-Methylbutan-1-ol	0,08
2-Methylpropyl isobutyrat	6,50
α -Pinen	3,50
β -Pinen	1,00
2-Methylpropylisovalerat	0,50
2-Methylbutylisobutyrat	10,20
3-Methylbutylisobutyrat	1,80
Limonen	0,50
<i>p</i> -Cymen	3,50
2-Methylbutylbutyrat	0,50
2-Methylbutylisovalerat	2,00
2-Methylbutylvalerat	0,50
Terpinen-4-ol	5,00
α -Terpineol	0,50
Summe	36,50

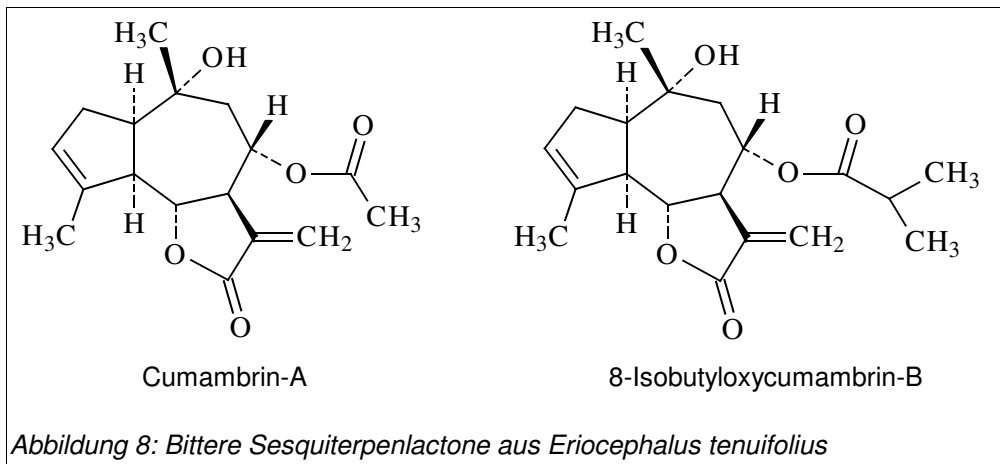
Eine sensorisch hervorstechende Eigenschaft der Pflanze ist ihr bitterer Geschmack. Dieser wird durch Sesquiterpenlactone hervorgerufen. Sesquiterpenlactone kennzeichnen teilweise die verschiedenen Triben und haben damit chemotaxonomische Bedeutung. Als solche wurden aus *Eriocephalus punctulatus* (wahrscheinlich *E. tenuifolius*) das Cumambrin-A und 8-Isobutyloxycumambrin-B isoliert. Das Erste war bereits aus anderen Pflanzen bekannt, Letzteres wurde von DAVIES-COLEMAN et al. [1992] erstmals isoliert und aufgeklärt (Abbildung 8).

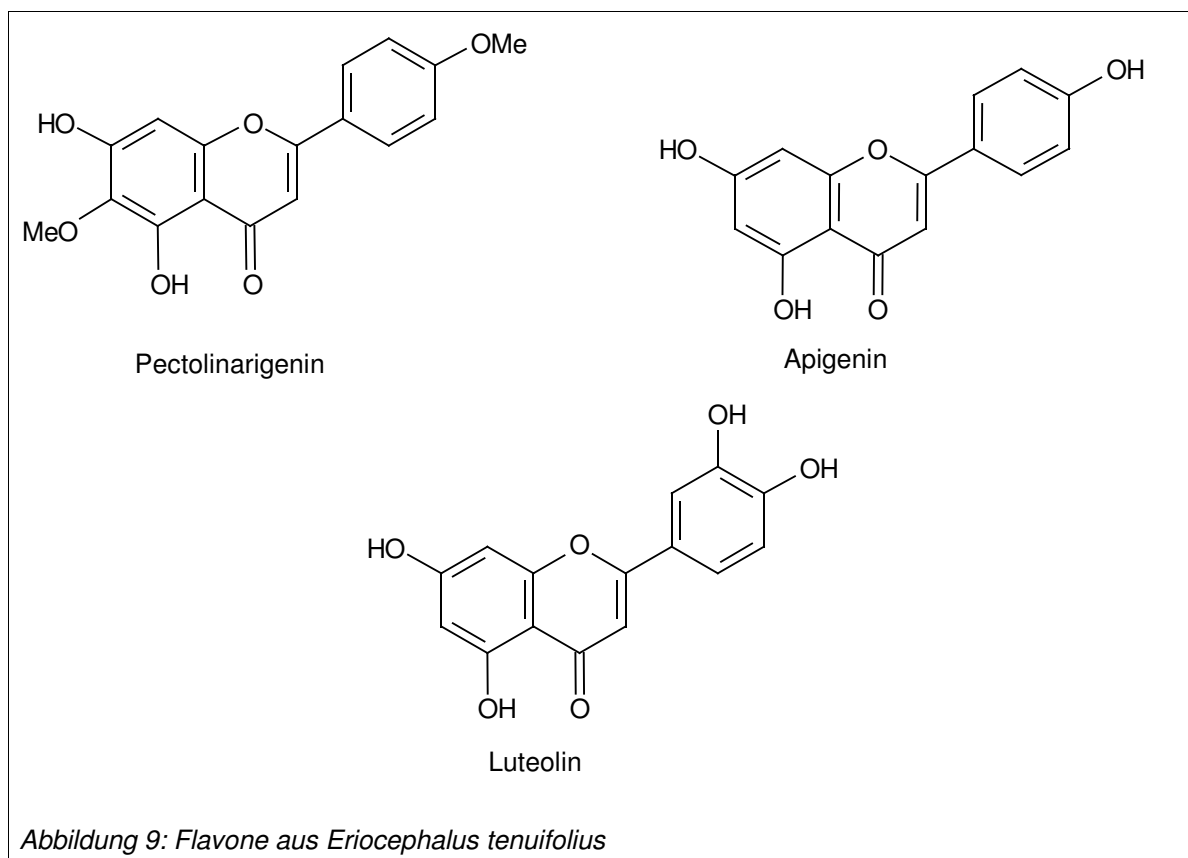
Ein Hinweis auf das Vorkommen von Sesquiterpenlactonen findet sich in der Tatsache, dass im ätherischen Öl Dimethylazulen und Chamazulen nachgewiesen wurden. Azulene bilden sich während der Wasserdampfdestillation. Als Ausgangsver-

bindung für Chamazulen ist Matrizin bekannt. Bei der Destillation wird im sauren Milieu der Pflanze das farblose Matrizin unter Öffnung des Lactonringes und Entacetylierung dehydratisiert. Die schon blau gefärbte, jedoch instabile Chamazulencarbonsäure geht unter Decarboxylierung in das wasserdampfgefährliche 1,4-Dimethyl-7-ethylazulen (Chamazulen) über. Die Umlagerung ist in Abbildung 7 formuliert.

In der Tat konnten ROARD et al. [1978] nach fraktionierter Destillation und präparativer Säulenchromatographie 2 Azulene isolieren und mittels IR und H^1 -NMR identifizieren. Es handelt sich dabei um 1,4-Dimethyl-7-ethylazulen (Chamazulen) und 1,4-Dimethylazulen (Abbildung 6). Der im Rahmen dieser Untersuchung ermittelte Gehalt im Öl betrug 0.32% 1,4-Dimethylazulen bzw. 0.07% Chamazulen.







Schon ZDERO et al. [1987] haben Strukturuntersuchungen an Sesquiterpenlactonen mit $^1\text{H-NMR}$ durchgeführt, die aus verschiedenen Spezies von *Eriocephalus* gewonnen wurden. Darüber hinaus wurden die auf den Blattoberflächen auftretenden Exsudate untersucht. WOLLENWEBER [1989] wies in dem Harz von „*Eriocephalus punctulatus*“ (vermutlich *E. tenuifolius*) aus Ciskei (South Africa) diverse Flavone nach. Im einzelnen waren dies Pectolarigenin, Jaceosidin und Eupalitin (6-Hydroxyluteolin-Derivate) als Hauptkomponenten und Apigenin, Luteolin und Luteolin-3',4'-dimethylether als Nebenkomponten (Abbildung 9).

B Methodik

1 Erfahrungen mit der Nutzung von MS-Datenbanken für die Identifizierung

Für die Aufklärung der Zusammensetzung eines ätherischen Öls ist es heutzutage unabdingbar, auf Stoffdatenbanken mit Substanzinformationen und -spektren zuzugreifen. Für die Identifizierung von Komponenten in ätherischen Ölen bietet sich vor allem die Auswertung massenspektroskopischer Daten (MS-Spektren) an. Diese liegen neben der klassischen gedruckten Form zunehmend auch in Form von EDV-Datenbanken vor [KÖNIG und JOULAIN, 1998; DAVIES, 1990]. Zur Nutzung der Datenbanken bieten sich zwei unterschiedliche Vorgehensweisen an.

1. Abfrage einzelner Datenbanken durch den Anwender
2. Durchsuchen einzelner oder gebündelter Datenbanken durch Routinen und Programme

Diese beiden Möglichkeiten werden im Folgenden beschrieben.

1.1 Abfrage einzelner Datenbanken durch den Anwender

Anbieter solcher Datenbanken sind häufig Firmen, die Massenspektrometer oder Zubehör zur Aufnahme von Massenspektren vertreiben oder Universitäten bzw. ähnliche Forschungseinrichtungen. Diese Datenbanken decken meist nur bestimmte Schwerpunktbereiche ab, können aber meist unentgeltlich benutzt werden. Komplexere Datenbanken sind käuflich zu erwerben. Der Umfang der Datensätze zu einer Substanz ist je nach Ausstattung der Datenbank sehr unterschiedlich und variiert von einfachen chemischen Merkmalen bis hin zu komplexen Spektrenbibliotheken.

Im einfachsten Falle fehlen Suchalgorithmen, häufig werden jedoch einfache Suchalgorithmen angeboten, die es erlauben, durch die Eingabe einzelner Parameter, wie z.B. Substanznamen, Formeln oder Formelfragmente oder Massenpeaks, weitergehende Informationen zu einer Substanz zu erhalten. Gefundene Massenspektren können dann visuell verglichen werden. Vorrangig für eine erfolgreiche Suche ist demnach, dass über die zu identifizierende Substanz schon Informationen vorliegen.

Anhand der frei zugänglichen Internet-Datenbank „NIST-Book“ (<http://webbook.nist.gov>) wird im Folgenden eine solche Abfrage beschrieben, wobei auch die dabei auftretenden Probleme angesprochen werden sollen.

Gesucht wird das Datenblatt und Massenspektrum der Verbindung α -Pinen. Auf der Eingangssite wird der Suchdialog nach dem Namen angefordert. Hier muss der Anwender bereits wissen, welche Schreibweise gefordert ist; die englische Schreibweise führt im Allgemeinen zu guten Suchergebnissen. Da im vorliegenden Fall es jedoch nicht sicher ist, wie das „ α “ anzugeben ist, wird nur das Wort „pinene“ übergeben. Weiterhin wird für den Fall einer erfolgreichen Suche das Massenspektrum angefordert (Abbildung10).

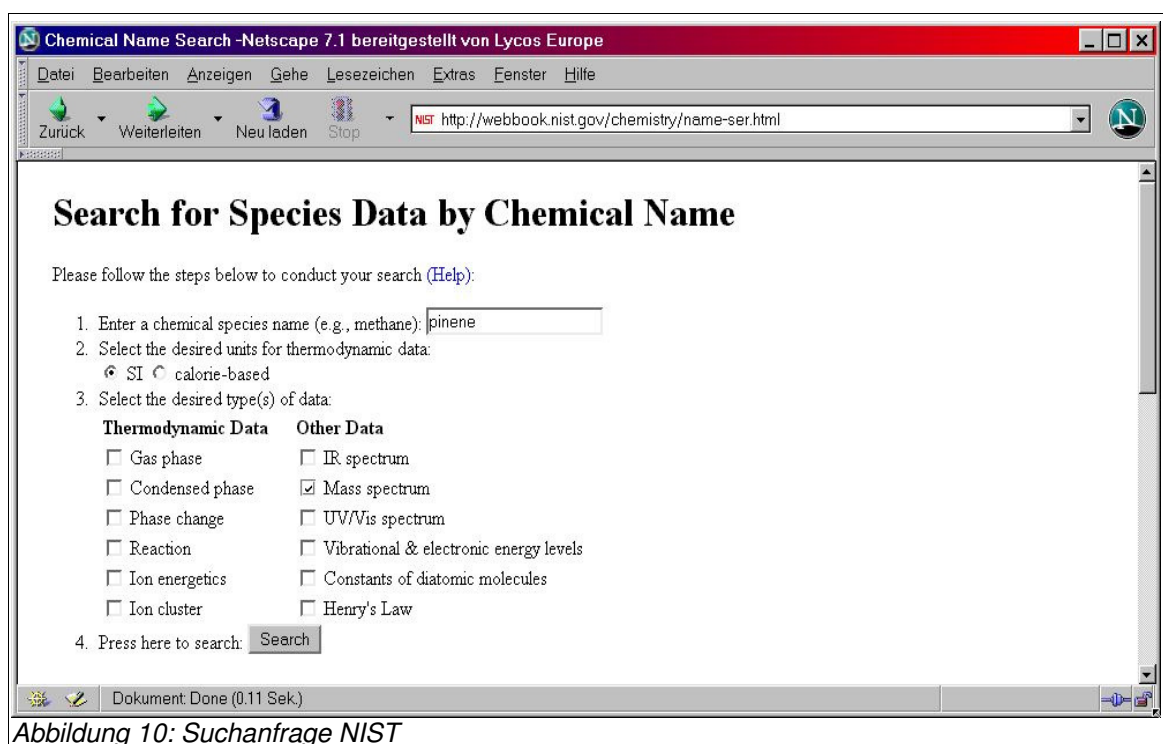


Abbildung 10: Suchanfrage NIST

Sofern die Anfrage mehrere Treffer liefert, erscheint ein Fenster mit einer Liste; in diesem Falle mit „ α -Pinene“ und „Beta-pinene“, wodurch schon die Diskrepanz in der Schreibweise innerhalb der Datenbank deutlich wird. Die gesuchte Substanz wird ausgewählt (Abbildung 11).

Je nach Ausstattung der vorliegenden Datenbank findet man in dem Ergebnisfenster die gewünschten Angaben, Abbildung 12 zeigt den Ausschnitt des Massenspektrums. Entsprechend des Komforts der Datenbank kann der Anwender das Spektrum ausdrucken, heraus kopieren bzw. für andere Anwendungen exportieren. Hierbei muss beachtet werden, in welchem Datenformat ein Auslesen bzw. ein Export der Daten möglich ist. Im gezeigten Fall liegt das verbreitete „JCAMP-DX“-Format (jdx) vor, welches sich zu einem Standardformat zur Darstellung von Massenspektren entwickelt hat.

Search Results - Netscape 7.1 bereitgestellt von Lycos Europe

http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?Name=pinene&Units=SI&CMS=on

Search Results


2 matches were found for your search.

For each matching species the following will be displayed:


- Chemical name
- Chemical formula
- Structure image (if available)

Click on the name to see more data.

1. [α-Pinene \(C₁₀H₁₆\)](#)



2. [Beta-pinene \(C₁₀H₁₆\)](#)



© 1991, 1994, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2003 copyright by the U.S. Secretary of Commerce on behalf of the United States of America. All rights reserved.

NIST Standard Reference Data Program Data Gateway Online Databases Chemistry WebBook

Datenübertragung von webbook.nist.gov...

Abbildung 11: Resultate der NIST-Suchanfrage

α-Pinene - Netscape 7.1 bereitgestellt von Lycos Europe

http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C80568&Units=SI&Mask=100

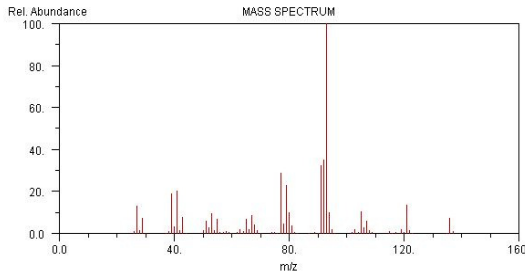
Mass Spectrum

Go To: [Top](#), [References](#), [Notes](#) / [Error Report](#)

Data compilation copyright by the U.S. Secretary of Commerce on behalf of the U.S.A. All rights reserved.

Data compiled by: [NIST Mass Spec Data Center, S.E. Stein, director](#)

Spectrum



Rel. Abundance

α-Pinene
MASS SPECTRUM

m/z

NIST JCAMP-DX Viewer [Help...](#)

Additional Data

View image of digitized spectrum (can be printed in landscape orientation).

Due to licensing restrictions, this spectrum cannot be downloaded.

Owner NIST Mass Spectrometry Data Center
Collection (C) 2002 copyright by the U.S. Secretary of Commerce on behalf of the United States of America. All rights reserved.

Origin Chemical Concepts

Instrument IE (eV) 70

EPA MS number 157903

Datenübertragung von webbook.nist.gov...

Abbildung 12: Datenblatt von α-Pinen aus NIST

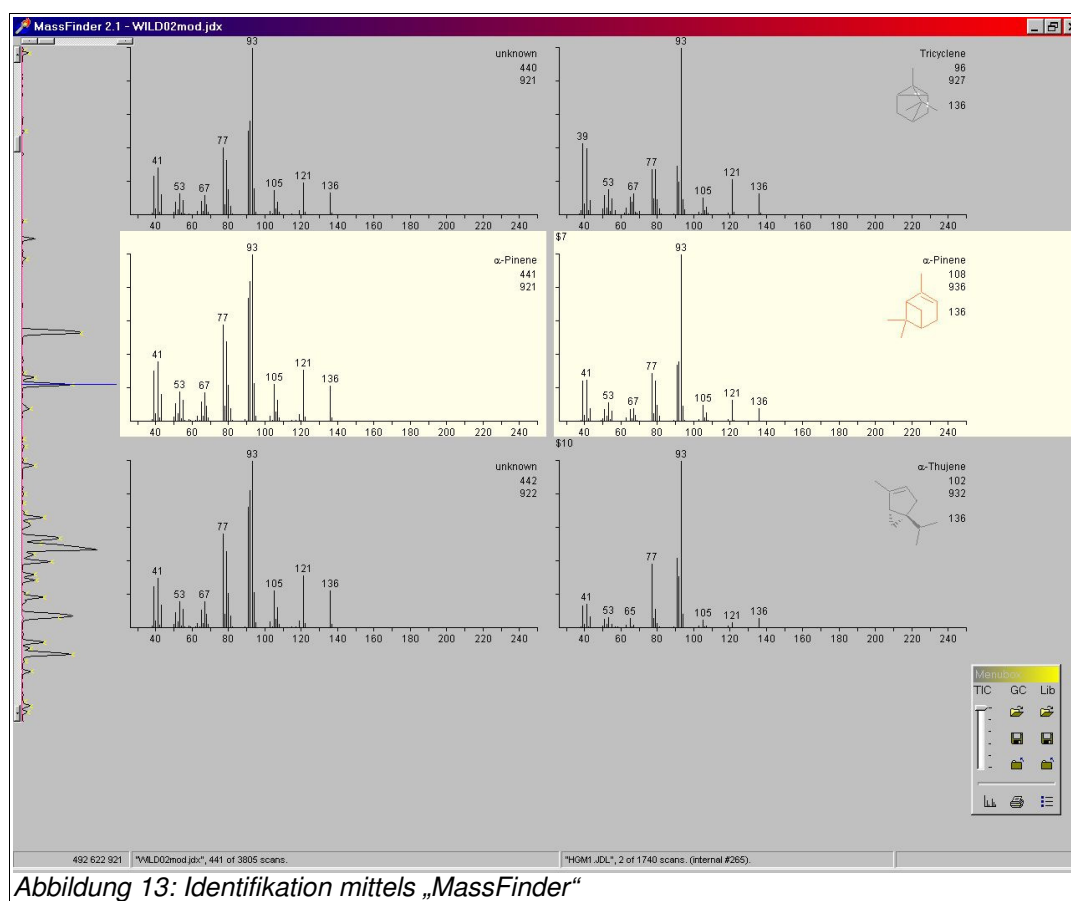
1.2 Abfrage einzelner oder gebündelter Datenbanken durch Routinen und Programme

Routinen und Programme bieten eine komfortablere Möglichkeit, Vergleichsspektren zu erhalten. Dabei werden die gesamten abgespeicherten Daten der massenspektroskopischen Messung eines GC-Laufs mit einem speziellen Programm ausgewertet. Solche Programme sind u.a. „MassLib[®]“ und „MassFinder[®]“, die auch im Rahmen dieser Arbeit eingesetzt wurden [Mass Spectrometry library search system MassLib].

Im Falle von MassFinder[®] werden einzelne oder im Falle von MassLib[®] mehrere Datenbanken angemeldet und das Gaschromatogramm / Massenspektrogramm parallel dazu geladen. Der Anwender kann dann am Bildschirm jede einzelne massenspektroskopische Messung, genannt „scan“, im Chromatogramm markieren und damit das gemessene Massenspektrum sichtbar machen.

MassFinder[®] liefert sofort das am besten übereinstimmende Vergleichsspektrum und darüber hinaus ähnliche Spektren (sortiert nach abnehmender Ähnlichkeit) aus der Datenbank. Diese muss lokal auf dem Rechner gespeichert sein (Abbildung 13).

Nachteilig ist bei MassFinder[®], dass nur eine Datenbank zur Zeit abgefragt werden kann.



Bei der Verwendung des Programms „MassLib®“ kann der Anwender mehrere Datenbanken, die lokal gespeichert oder im Netzwerk zugänglich sind, gleichzeitig abfragen. Allerdings muss hier jede Suchanfrage von Hand gestartet werden und dauert wesentlich länger als bei „MassFinder®“. Dies wird zum großen Nachteil dieser Suchanfrage, wenn bei einer gaschromatographischen Trennung Substanzen nicht getrennt sind und sich ihre Massenspektren überlagern. Beträgt z.B. die Peakbreite einer Substanz im Gaschromatogramm 15 Sekunden, müssen bis zu 15 scans abgefragt werden. Auch wenn extrem starke Peaks vorliegen, muss der Anwender die Spektren in der Peakflanke zur Auswertung heranziehen, weil am Peakmaximum eine Übersteuerung der Hauptsignale vorliegt. Er muss den Verlauf der einzelnen Massensignale innerhalb des Gesamtpeaks verfolgen, damit die Nebensignale nicht überbewertet werden. Dabei ist es sehr zeitaufwändig, jedes Einzelsignal in der Datenbank abzufragen.

Der große Vorteil ist jedoch die Vielfalt der Vergleichsspektren, die in das Programm „MassLib®“ eingebunden werden können. Für diese Arbeit lagen 7 Datenbanken vor, die bis zu 3 Millionen Einzelverbindungen beinhalten [Mass Spectrometry library se-

arch system MassLib].

Beide Programme, „MassFinder[®]“ sowie „MassLib[®]“, bieten auch die Möglichkeit, eigene anwenderdefinierte Datenbanken zu erzeugen. Liegen bestimmte Substanzinformationen nicht in den Standarddatenbanken vor, so kann der Anwender, wie im vorigen Abschnitt beschrieben, individuell in weiteren Datenbanken recherchieren und die Ergebnisse in einer eigenen Datenbank ablegen. Diese können im weiteren Verlauf wiederum in die Auswertungsprogramme eingebunden werden.

Für die Bewertung und Identifizierung der in dieser Arbeit untersuchten Öle wurden beide Programme herangezogen. Solange nur wenige Informationen über die Einzelkomponenten der Öle vorlagen, wurden die Messdaten mittels „MassLib[®]“ ausgewertet. Die damit gewonnenen Informationen wurden dann in einer eigenen Datenbank abgespeichert und für weitere Auswertungen in das Programm „MassFinder[®]“ eingebunden. Auf diese Weise konnten die einzelnen Ölproben dann schneller ausgewertet werden. Wurden bei fortschreitender Arbeit unbekannte Komponenten erkannt, musste eine erneute Auswertung mittels „MassLib[®]“ erfolgen.

1.3 Die Rolle des Retentionsindex

Die Identifizierung einer Einzelkomponente allein auf Grund eines Massenspektrums ist nicht ausreichend. Zusätzlich muss der sogenannte Retentionsindex (RI) bei der gaschromatographischen Trennung ermittelt und herangezogen werden. Der Retentionsindex ist eine Kennzahl, die unabhängig von den chromatographischen Arbeitsparametern errechnet wird.

Den Retentionsindex einer Substanz erhält man, indem man die Retentionszeit der zu identifizierenden Ölkomponeute durch Interpolation in Relation zu den Retentionszeiten zweier Standardkomponenten setzt, die vor bzw. nach der zu identifizierenden Ölkomponeute eluieren.

Meist wird in der Gaschromatographie der Kováts-Index herangezogen. Hierbei wird die homologe Reihe der *n*-Alkane als Standard verwendet. Die Interpolation erfolgt wegen der exponentiellen Beziehung zwischen Retentionszeit und C-Zahl logarithmisch. Jedes *n*-Alkan hat einen Retentionsindex, der der Anzahl seiner C-Atome multipliziert mit 100 entspricht.

Die Berechnung des Kováts-Index erfolgt nach folgender Formel [KOVÁTS, 1958] und IUPAC Compendium of Chemical Terminology 2nd Edition [1997] :

$$I = 100 \left[\frac{\log X_i - \log X_z}{\log X_{(z+1)} - \log X_z} + z \right]$$

X_i = Retentionszeit der zu identifizierenden Ölkomponeute

X_z = Retentionszeit des davor eluierenden *n*-Alkans

$X_{(z+1)}$ = Retentionszeit des danach eluierenden *n*-Alkans

z = Kohlenstoffzahl des davor eluierenden *n*-Alkans

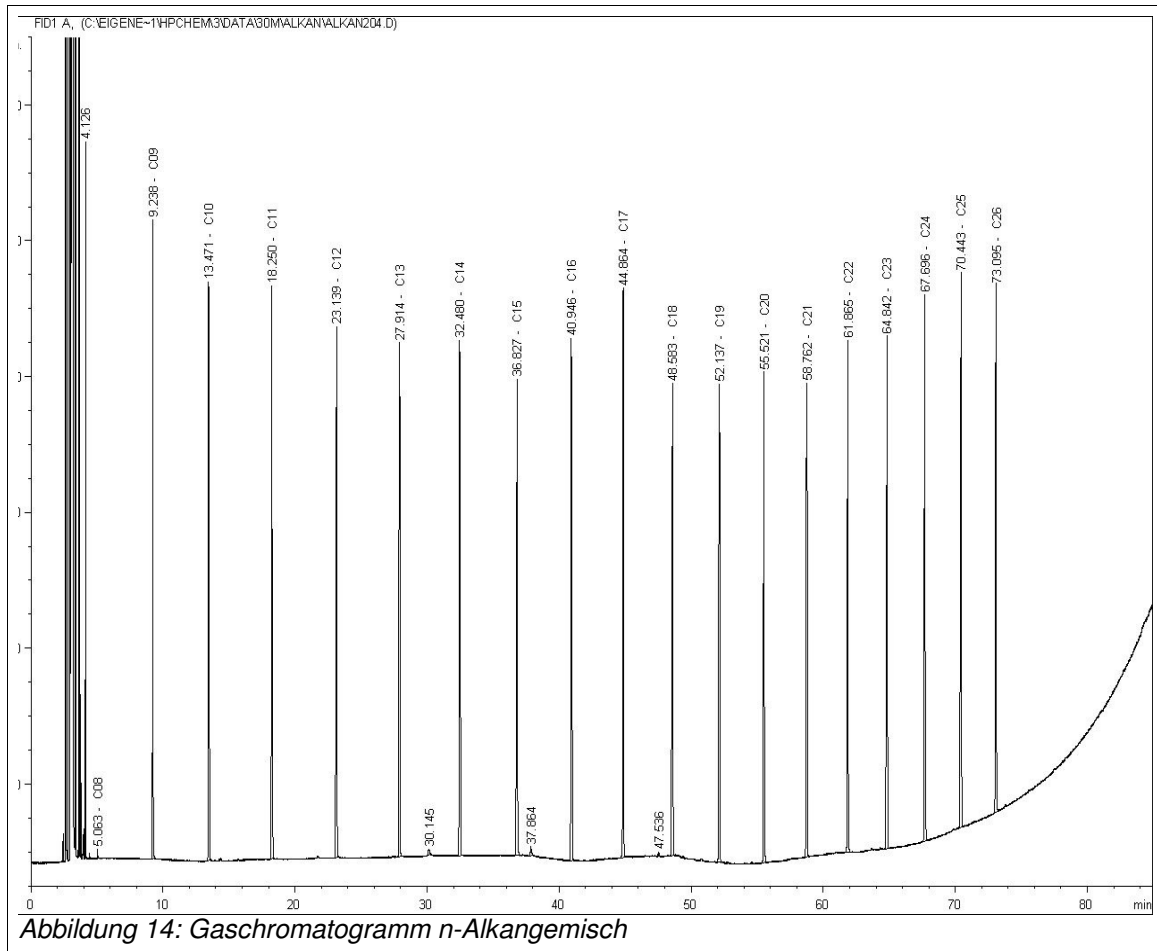
Die Berechnung des Kováts-Index mit dieser Formel darf nur bei isothermer Gaschromatographie angewendet werden.

Wird temperaturprogrammiert chromatographiert, so kann näherungsweise der „lineare Retentionsindex“, ermittelt werden, bei dem anstelle der Logarithmen die absoluten Retentionszeiten verwendet werden.

$$I^T = 100 \left[\frac{t_{Ri}^T - t_{Rz}^T}{t_{R(z+1)}^T - t_{Rz}^T} + z \right]$$

t_{Ri}^T = absolute Retentionszeit

Die Berechnung des linearen Retentionsindex setzt allerdings voraus, dass bei der gaschromatographischen Trennung die *n*-Alkane im linearen Zeitabstand eluieren. Dieses ist nicht immer gewährleistet, denn die Parameter der gaschromatographischen Trennung werden für die zu untersuchenden Öle optimiert und nicht für die Standardlösungen. Abbildung 14 zeigt einen GC-Lauf, bei dem ein *n*-Alkangemisch



unter den Bedingungen chromatographiert wurde, wie sie für die Analytik der in dieser Arbeit untersuchten ätherischen Öle optimiert wurden. Es ist zu erkennen, dass hierbei weder mit dem logarithmischen Kováts-Index, noch mit dem linearen Retentionsindex gearbeitet werden konnte. Deshalb musste eine andere Möglichkeit für die Berechnung eines verlässlichen Retentionsindex gefunden werden.

In einem Diagramm (Abbildung 15) wurden die Retentionszeiten (Tabelle 2) gegen die für die *n*-Alkane definierten Retentionsindices aufgetragen.

Retentionszeit R_t	Retentionsindex R_i
9,238	900
13,471	1000
18,250	1100
23,139	1200
27,914	1300
32,480	1400
36,827	1500
40,946	1600
44,864	1700
48,584	1800
52,137	1900
55,521	2000
58,762	2100
61,865	2200
64,842	2300
67,697	2400
70,443	2500
73,097	2600

Tabelle 2: Retentionszeiten *n*-Alkane

Unter Zuhilfenahme eines Rechenprogramms wurde eine Regressionskurve errechnet. Nachdem eine Regressionskurve zweiten Grades keinen brauchbaren Korrelationskoeffizienten R ergab, wurde dieser bei einer Regressionskurve dritten Grades mit $R=0.99997$ errechnet und als zufriedenstellend für weitere Berechnungen erachtet. Die Kurve ist als gestrichelte Linie ebenfalls in dem Diagramm zu sehen.

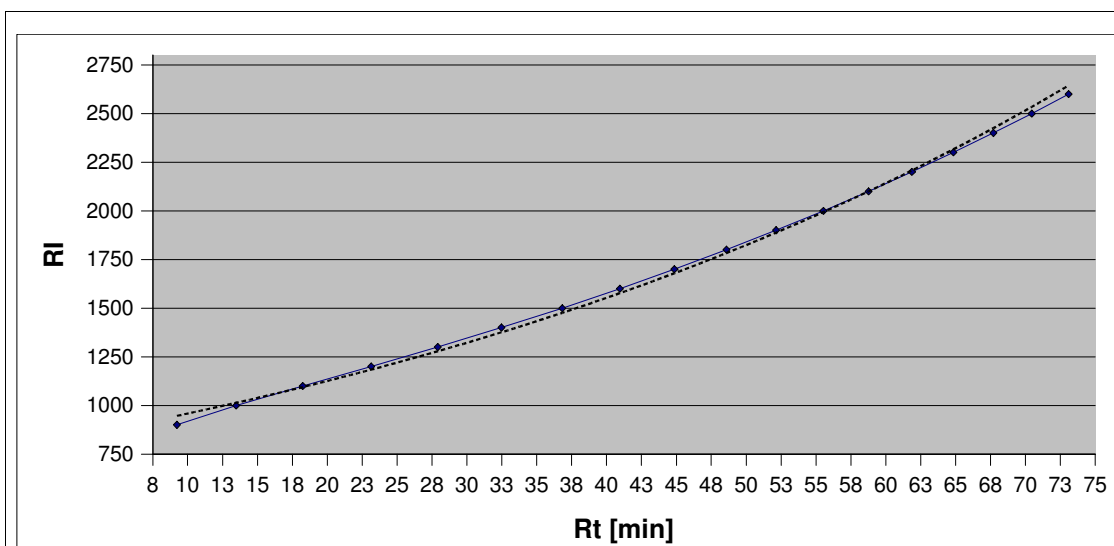


Abbildung 15: Diagramm Retentionszeiten (Rt) / Retentionsindices (Ri)

Die errechnete Funktion für die Kurve lautet :

$$y = 0,00174 x^3 - 0,07134x^2 + 21,79403 x + 710,07821$$

Mit Hilfe dieser Formel wurden in einer Tabellenkalkulation die Retentionsindices der Ölkomponten aus ihren Retentionszeiten berechnet. Verglichen mit Werten aus der Literatur konnte eine gute Übereinstimmung mit den dort genannten Retentionsindices festgestellt werden. Allen in dieser Arbeit ermittelten Retentionsindices liegt die hier beschriebene Berechnung zugrunde.

C Ergebnisse

1 Das ätherische Öl von *Eriocephalus tenuifolius*

1.1 Tabellarische Übersicht aller Einzelkomponenten

In Rahmen dieser Arbeit wurden 35 verschiedene ätherische Öle aus *Eriocephalus tenuifolius* untersucht. Im Einzelnen waren dieses 5 verschiedene Handelsöle, 16 Öle von Wildpflanzen und 14 Öle von den aus diesen Wildpflanzen gezüchteten Stecklingspflanzen. Die Öle wurden alle mittels GC auf einer 30 m PHENOMENEX Zebron ZB-1-Kapillarsäule (100% Dimethylpolysiloxan (Methylsilicon)) getrennt bzw. nach gaschromatographischer Trennung auf einer 60 m Chrompack/Varian CP-Sil-5-Kapillare (100% Dimethylpolysiloxan (Methylsilicon)) einer massenspektroskopischen Messung zugeführt (GC-MS-Kopplung).

Um Aufschluss über die Zusammensetzung zu bekommen, wurden einige Öle mittels Säulenchromatographie an Kieselgel nach KUBECZKA [1973] in 5 Fraktionen vorgetrennt. Sie beinhalten folgende Komponenten:

1. Kohlenwasserstoffe
2. Ester
3. Phenole, Ketone und Oxide
4. Alkohole und Oxide
5. Säuren

Diese Fraktionen wurden ebenfalls der GC bzw. GC-MS zugeführt.

Die Identifizierung der Ölkompnenten erfolgte durch Vergleich der Retentionsindices mit denen der Referenzsubstanzen bzw., sofern keine Referenzsubstanzen vorlagen, mit in der Literatur veröffentlichten Retentionsindices.

Zur Auswertung der Massenspektren wurden sowohl die im vorherigen Kapitel genannten Datenbanken als auch Massenspektrensammlungen des Instituts genutzt.

Mit den oben beschriebenen Methoden konnten über 250 Komponenten getrennt werden, von denen 202 Komponenten in Tabelle 3 in der Reihenfolge ihrer Retentionsindices auf einer ZB-1-Säule aufgelistet sind und diskutiert werden. In den Abbildungen wird immer auf die Peaknummerierungen dieser Tabelle Bezug genommen. Die quantitative Zusammensetzung einzelner Öle wird in späteren Kapiteln besprochen. Im Anschluss an die Tabelle werden alle Komponenten als Strukturformeln dargestellt und nach Stoffgruppen besprochen.

C Ergebnisse

Tabelle 3: Komponenten des ätherischen Öls von *Eriocephalus tenuifolius* in der Reihenfolge der Elution von der ZB-1-Trennsäule

Nr.	Name	R_i
1	3-Methyl-1-butanol	800
2	2-Methyl-1-butanol	801
3	2-Methylpropylacetat	810
4	2-Hexanol	829
5	3-Methyl-2-butylacetat	850
6	Ethyl-2-methylbutanoat	862
7	Propyl-2-methylpropanoat	866
8	2-Methylpropylpropanoat	873
9	3-Methylbutylacetat	878
10	2-Methylbutylacetat	879
11	2-Heptanol	898
12	2-Methylpropyl-2-methylpropanoat	909
13	Santolinatrien	910
14	Ethyl-3-methyl-2-butenat	911
15	Tricyclen	917
16	α -Thujen	922
17	2-Methylpropylmethacrylat	926
18	Benzaldehyd	931
19	α -Pinen	932
20	Camphen	942
21	α -Fenchon	943
22	Verbenen	945
23	Thuja-2,4(10)-dien	946
24	n-Pentylpropanoat	951
25	3-Methylbutylpropanoat	952
26	2-Methylbutylpropanoat	955
27	Sabinen	963
28	β -Pinen	966
29	2-Octanon	967
30	2,3-Dehydro-1,8-cineol	976
31	2-Pentylfuran	976
32	Dehydroxylinalooloxid A	977
33	β -Myrcen	979
34	cis-Epoxyocimen	980
35	2-Octanol	982
36	2-Methylpropyl-2-methylbutanoat	986
37	2-Methylpropyl-3-methylbutanoat	989
38	α -Phellandren	993
39	3-Methylbutyl-2-methylpropanoat	995
40	Lavenderlacton	997
41	2-Methylbutyl-2-methylpropanoat	1002
42	α -Terpinen	1005
43	p -Cymen	1007
44	1,8-Cineol	1013
45	Limonen	1015
46	3-Methylbutylmethacrylat	1019
47	2-Methylbutylmethacrylat	1021

Nr.	Name	R_i
48	2-Heptylacetat	1022
49	<i>cis</i> -Arbusculon	1026
50	2-Methylpropylangelat	1030
51	(<i>E</i>)- β -Ocimen	1033
52	2-Methylbutylbutanoat	1037
53	<i>trans</i> -Arbusculon	1039
54	(<i>E</i>)-3-Hexenylbutanoat	1040
55	γ -Terpinen	1043
56	7-Methyl-2-octanol	1043
57	<i>trans</i> -Sabinenhydrat	1046
58	Linalooloxid	1053
59	Butylangelat	1055
60	Dihydromyrcenol	1059
61	Artemisiaalkohol	1063
62	2-Nonanon	1066
63	<i>p</i> -Cymenen	1067
64	Butyltiglat	1068
65	Terpinolen	1072
66	<i>cis</i> -Sabinenhydrat	1075
67	Linalool	1077
68	3-Methylbutyl-2-methylbutanoat	1082
69	2-Methylbutyl-2-methylbutanoat	1087
70	2-Methylbutyl-3-methylbutanoat	1089
71	Hexyl-2-methylpropanoat	1092
72	1,3,8-Menthatrien	1093
73	α -Campholenal	1097
75	<i>cis-p</i> -Menth-2-en-1-ol	1099
76	Campher	1111
77	<i>trans</i> -Pinocarveol	1116
78	<i>trans-p</i> -Menth-2-en-1-ol	1118
79	2-Octylacetat	1121
80	<i>trans</i> -Verbenol	1125
81	Menthon	1125
82	3-Methylbutylangelat	1128
83	Pinocarvon	1131
84	2-Methylbutylangelat	1134
85	<i>trans</i> -Chrysanthenol	1140
86	Borneol	1143
87	<i>p</i> -Methylacetophenon	1145
88	Lavandulol	1146
89	Cymen-9-ol	1147
90	Terpinen-4-ol	1156
91	Pentylangelat	1162
92	α -Terpineol	1166
93	Pentyltiglat	1174
94	Myrtenol	1175
95	<i>cis</i> -Piperitol	1177
96	α -Campholenol	1184
97	7-Methyl-2-octylacetat	1187

C Ergebnisse

Nr.	Name	R_i
98	<i>trans</i> -Piperitol	1188
99	<i>trans</i> -Carveol	1194
100	<i>cis</i> -Carveol	1200
101	<i>cis</i> -p-Mentha-1(7),8-dien-2-ol	1201
102	Nerol	1207
104	Pulegon	1209
105	Carvon	1209
106	<i>trans</i> -Pinocarvylformiat	1213
107	Ethyl-3-acetoxyhexanoat	1219
108	Piperiton	1220
109	2-Nonylacetat	1221
110	Geraniol	1234
111	Linalylacetat	1241
112	<i>cis</i> -Chrysanthenylacetat	1253
113	Bornylacetat	1266
114	Thymol	1267
115	Phenylmethyl-2-methylpropanoat	1269
116	Nerylformiat	1272
117	Geranylformiat	1273
118	Diosphenol	1273
119	<i>trans</i> -Pinocarvylacetat	1276
120	Carvacrol	1277
121	<i>trans</i> -Sabinenhydrataacetat	1281
122	Terpinen-4-olacetat	1282
123	(<i>E,E</i>)-2,4-Decadienal	1288
124	Myrtenylacetat	1304
125	<i>trans</i> -Carvylacetat	1316
127	α -Terpinylacetat	1332
128	Nerylacetat	1344
129	α -Longipinen	1347
130	(<i>E</i>)- β -Damascenon	1361
131	Geranylacetat	1362
132	(<i>E</i>)-Jasmon	1365
133	2-Phenylethyl-2-methylpropanoat	1368
134	Longicyclen	1370
135	α -Copaen	1374
136	Modhephen	1376
137	α -Isocomen	1383
138	β -Elemen	1387
139	α -Funebren	1387
140	Lyratylacetat	1388
141	Longifolen	1401
142	Unbekannte Komponente MW=220 (A)	1409
143	2-Methylbutylbenzoat	1409
144	Germacren D	1412
145	Isocaryophyllen	1414
146	β -Copaen	1424
147	α -Guajen	1434
148	Aromadendren	1435

Nr.	Name	R_i
149	Prezizaen	1441
150	α -Humulen	1447
151	Unbekannte Komponente MW=220 (B)	1452
152	<i>allo</i> -Aromadendren	1452
153	Unbekannte Komponente MW=202 (C)	1460
154	3-Methylbutylphenylacetat	1460
155	2-Methylbutylphenylacetat	1464
156	Amorpha-4,11-dien	1468
157	Unbekannte Komponente MW=234 (D)	1469
158	Davanaether	1470
159	Amorpha-4,7(11)-dien	1473
160	β -Selinen	1478
161	γ -Humulen	1480
162	1,3-Dimethyladamantan	1483
163	Bicyclogermacren	1489
164	α -Muurolen	1493
165	α -Bulnesen	1498
166	Laciniatafuranon G	1499
167	Artedouglasiaoxid C	1500
168	Laciniatafuranon F	1505
169	Artedouglasiaoxid A	1511
170	Laciniatafuranon E	1515
171	1,4-Dimethylazulen	1517
172	Laciniatafuranon H	1522
173	α -Calacoren	1526
174	Artedouglasiaoxid D	1532
175	Davanon B	1537
176	Isodavanon	1542
177	Davanon D	1551
178	Artedouglasiaoxid B	1553
179	Spathulenol	1561
180	Guaia-6,9-dien-4- β -ol	1562
181	Caryophyllenoxid	1566
182	β -Copaen-4- α -ol	1572
183	4-Dehydroviridiflorol	1573
184	Globulol	1579
185	Viridiflorol	1580
186	4(15)-Dehydroglobulol	1582
187	Unbekannte Komponente MW=250 (E)	1586
188	β -Oplopenon	1588
189	Unbekannte Komponente MW=222 (F)	1589
190	Unbekannte Komponente MW=218 (G)	1598
191	Unbekannte Komponente MW=222 (H)	1608
192	Caryophylla-3(15),7(14)-dien-6-ol	1617
193	Isospathulenol	1619
194	Amorpha-4-en-7-ol	1625
195	α -Cadinol	1626
196	Amorph-4-en-10- α -ol	1637
197	Pogostol	1642

Nr.	Name	R_i
198	Cadalen	1652
199	α -Bisabolol	1666
200	Chamazulen	1700
201	Hexadecansäure	1950
202	Verticellol	2065

1.2 Chemie des ätherischen Öls

Um den chemischen Charakter des Öls besser beleuchten zu können, werden die ÖlkompONENTEN der untersuchten Öle von *Eriocephalus tenuifolius* jeweils einer Stoffgruppe zugeordnet.

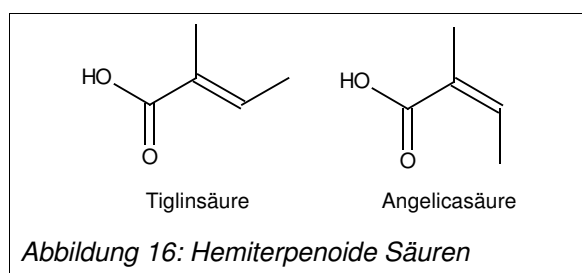
Als solche werden diskutiert:

- Hemiterpen-Derivate (HT)
- Monoterpene (MT)
- Sesquiterpene (ST)
- nicht-terpenoide Verbindungen (NT)
- unbekannte Komponenten (UK)

Von unbekanntem bzw. außergewöhnlichen Substanzen werden Massenspektren abgebildet. Quantitative Aspekte werden in den späteren Kapiteln diskutiert.

1.2.1 Hemiterpen-Derivate (HT)

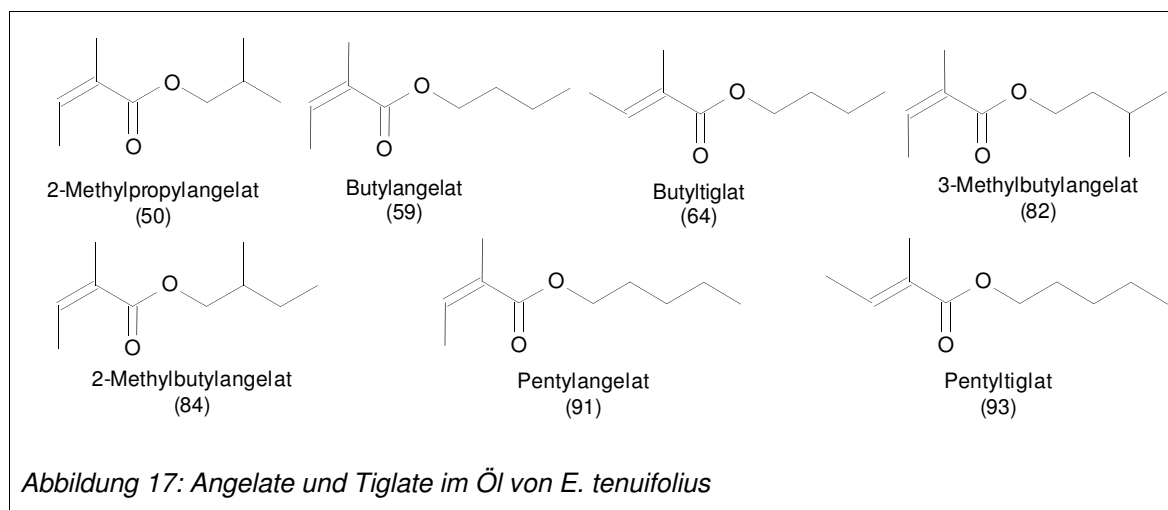
In dem ätherischen Öl von *Eriocephalus tenuifolius* wurden 7 Verbindungen nach-



gewiesen, die in die Kategorie der Hemiterpene einzuordnen sind. Dabei handelt es sich um 2 Ester der Tiglinsäure ((*E*)-2-Methyl-2-butensäure) und 5 Ester des Konfigurationsisomers Angelicasäure ((*Z*)-2-Methyl-2-butensäure)

(Abbildung 16). Die nachgewiesenen Hemiterpensäureester sind in Abbildung 17 strukturell dargestellt.

Als Alkoholkomponenten wurden 2-Methylpropylalkohol, n-Butanol, 3-Methylbutylalkohol, 2-Methylbutylalkohol und Pentylalkohol gefunden.



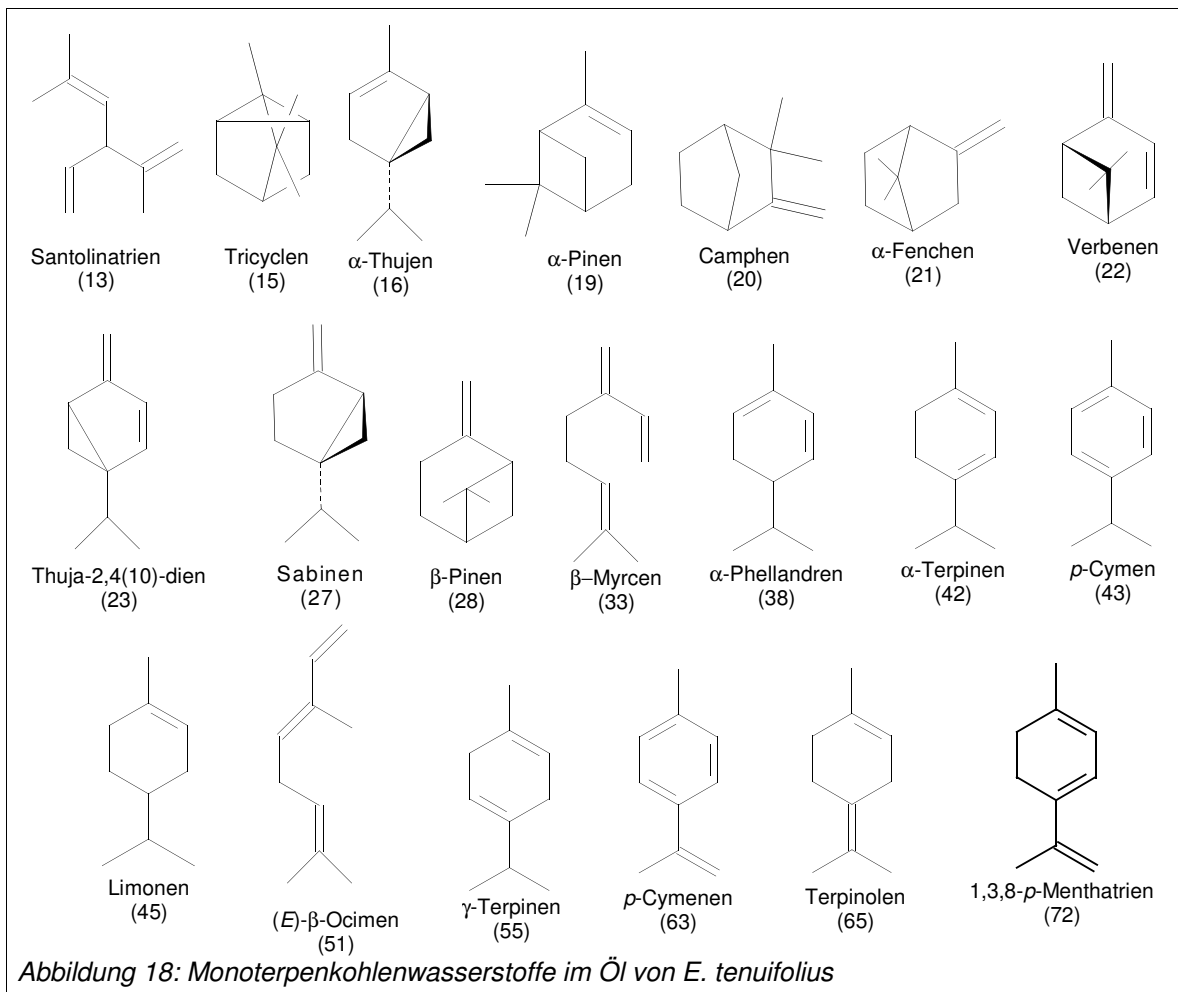
1.2.2 Monoterpene (MT)

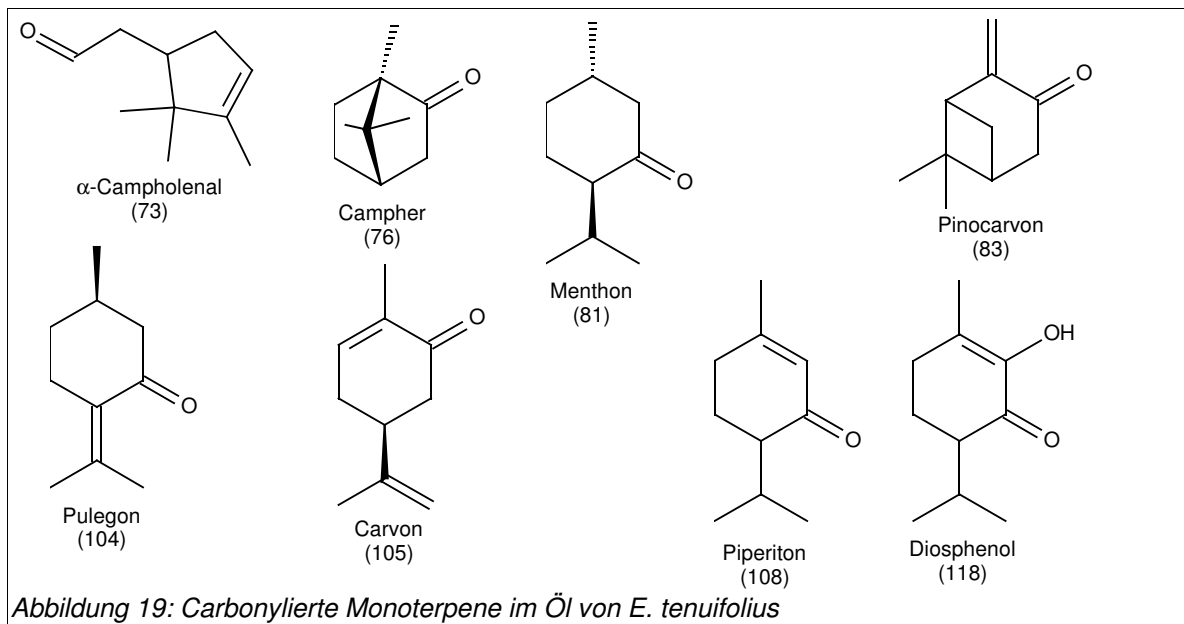
Monoterpene stellen in vielen ätherischen Ölen wie auch im Öl von *Eriocephalus tenuifolius* die Hauptgruppe der Komponenten. In den Ölen von *Eriocephalus tenuifolius* konnten insgesamt 20 Monoterpenkohlenwasserstoffe (Abbildung 18) und 55 oxygenierte Monoterpene identifiziert werden. Im Großen und Ganzen handelt es sich um in ätherischen Ölen häufig vorkommende Strukturen. Letztere werden in den Abbildungen nach funktionellen Gruppen getrennt dargestellt: hydroxylierte und epoxylierte Monoterpene (Abbildung 20), carbonylierte Monoterpene (Abbildung 19) und Monoterpenester (Abbildung 21). Innerhalb der Abbildungen wird die Reihenfolge der Retentionsindices der Substanzen eingehalten.

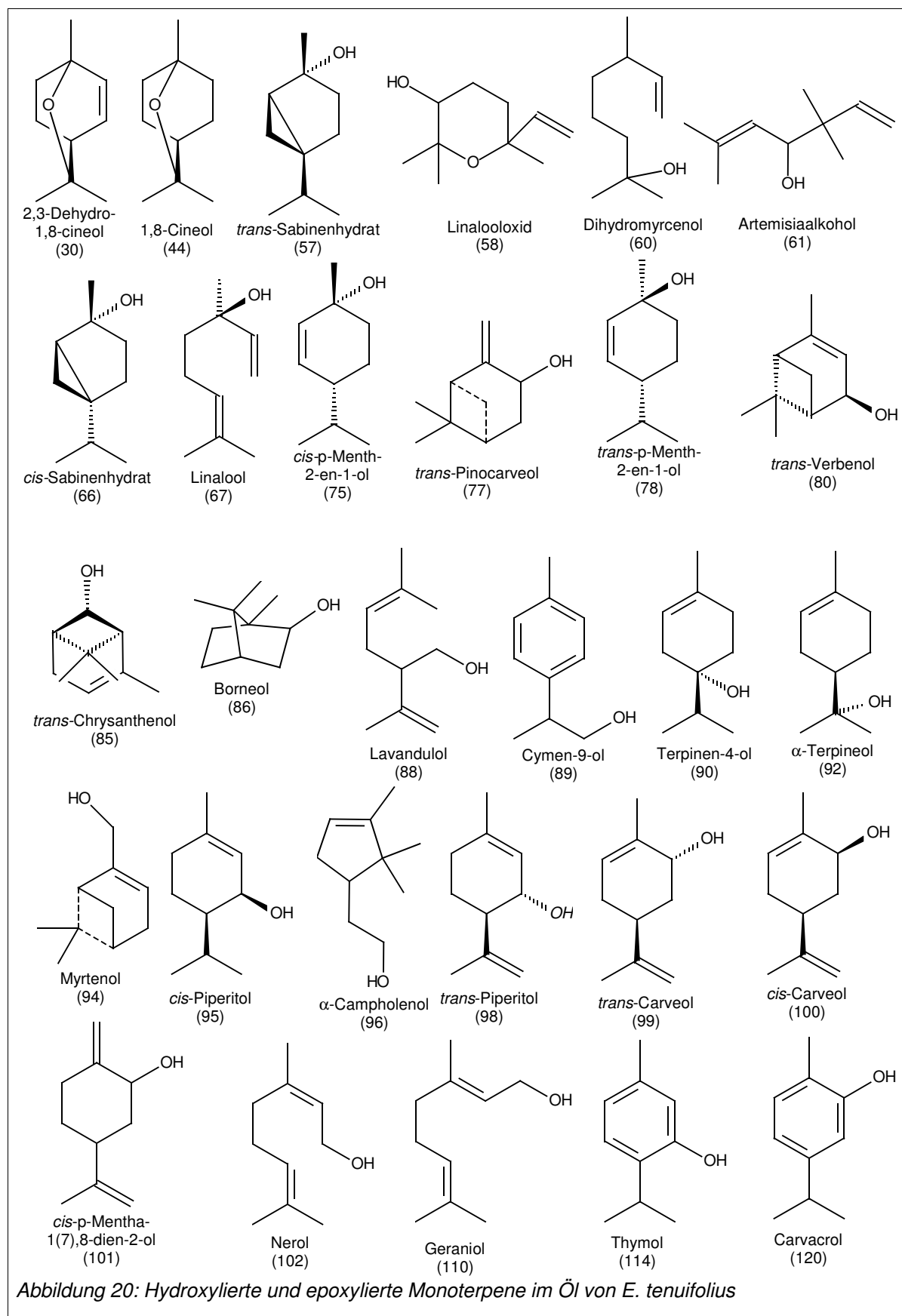
Die Monoterpene werden durch Variationen ihrer Grundgerüste repräsentiert, wobei sowohl acyclische als auch mono-, di- und tricyclische Monoterpene zu finden sind.

Es wurden 15 verschiedene acyclische MT nachgewiesen und zwar Kohlenwasserstoffe und auch oxygenierte MT. Die Einteilung nach Grundgerüsten ist der Tabelle 4 zu entnehmen, wobei die Reihenfolge von oben nach unten den Retentionsindices folgt.

Mit 34 Komponenten ist die Gruppe der monocyclischen Monoterpene am häufigsten vertreten; 30 haben ein p-Menthan-Grundgerüst. Von den 21 bicyclischen Monoterpenen haben 11 ein Pinan-, 5 ein Thujan-, 4 ein Camphan- und eins ein Fenchan-Grundgerüst. 4 monocyclische Monoterpene lassen sich keiner dieser Definitionen zuordnen. An tricyclischen Monoterpenen ist nur das Tricyclen (15) enthalten.







Eine Komponente, die eher selten in ätherischen Ölen vorkommt und deren Mas-

senspektrum ebenso selten in der Literatur zu finden ist, ist das Lyratylacetat (140).
Abbildung 22 zeigt dessen Massenspektrum.

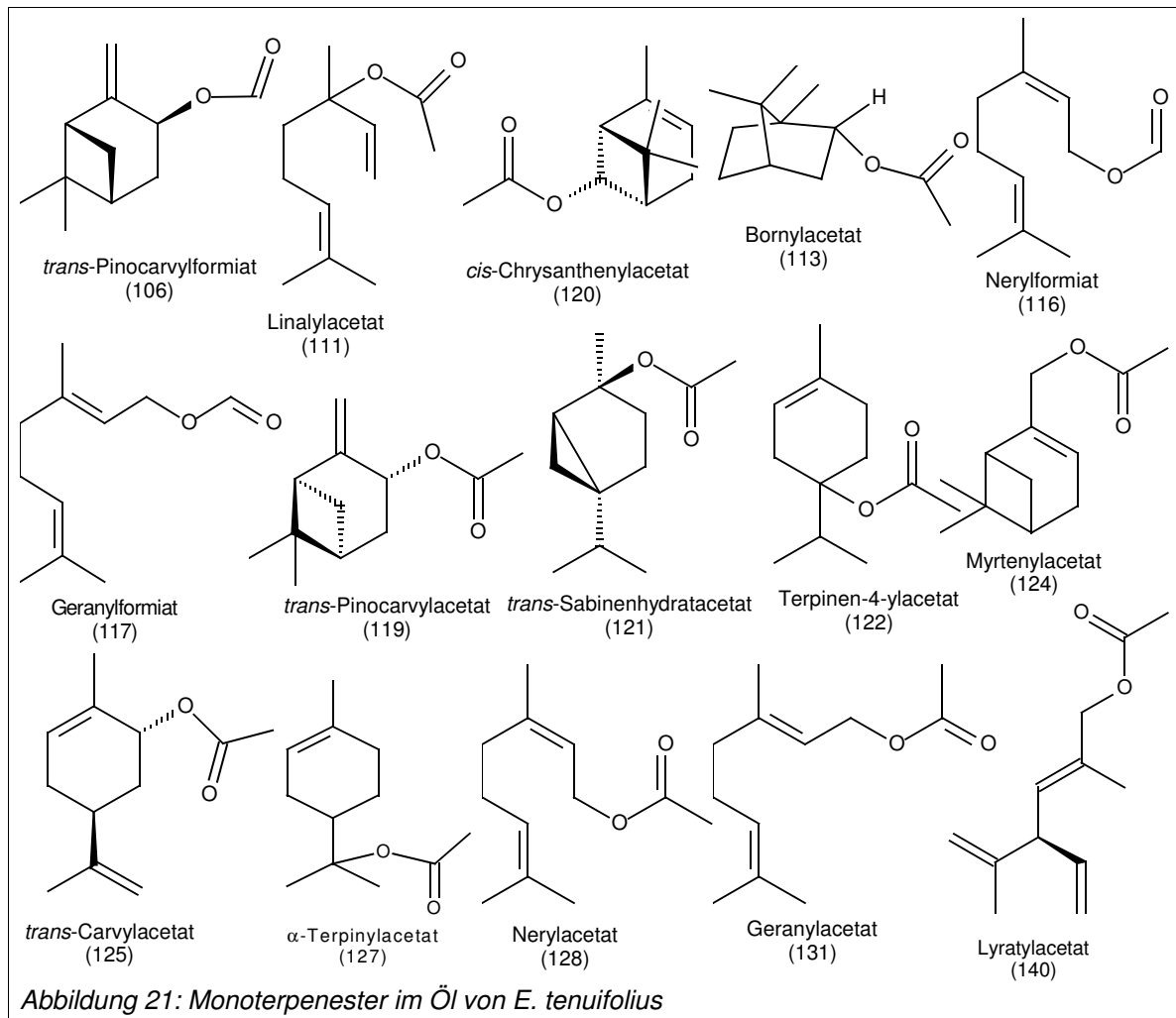
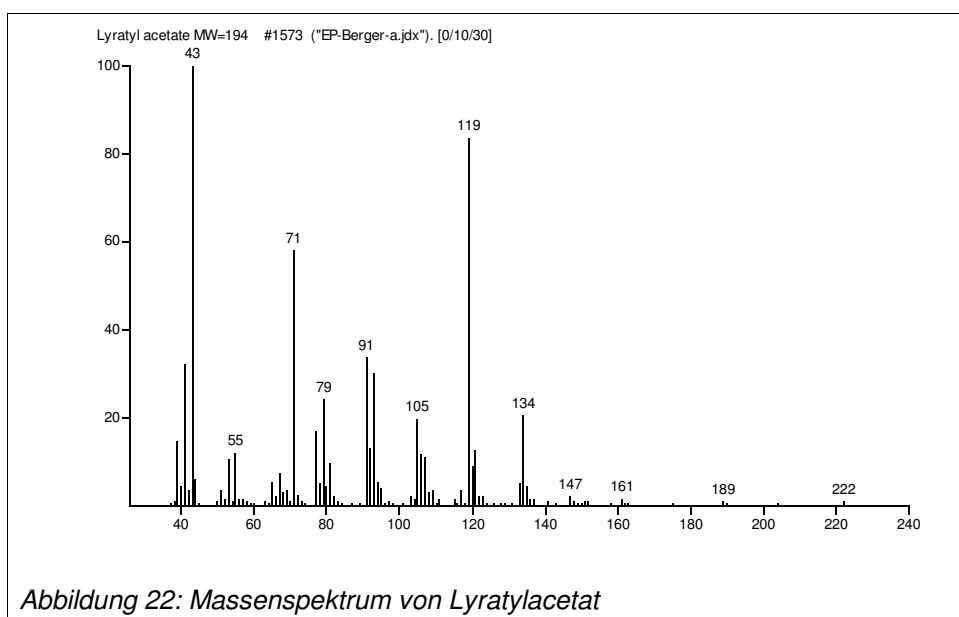


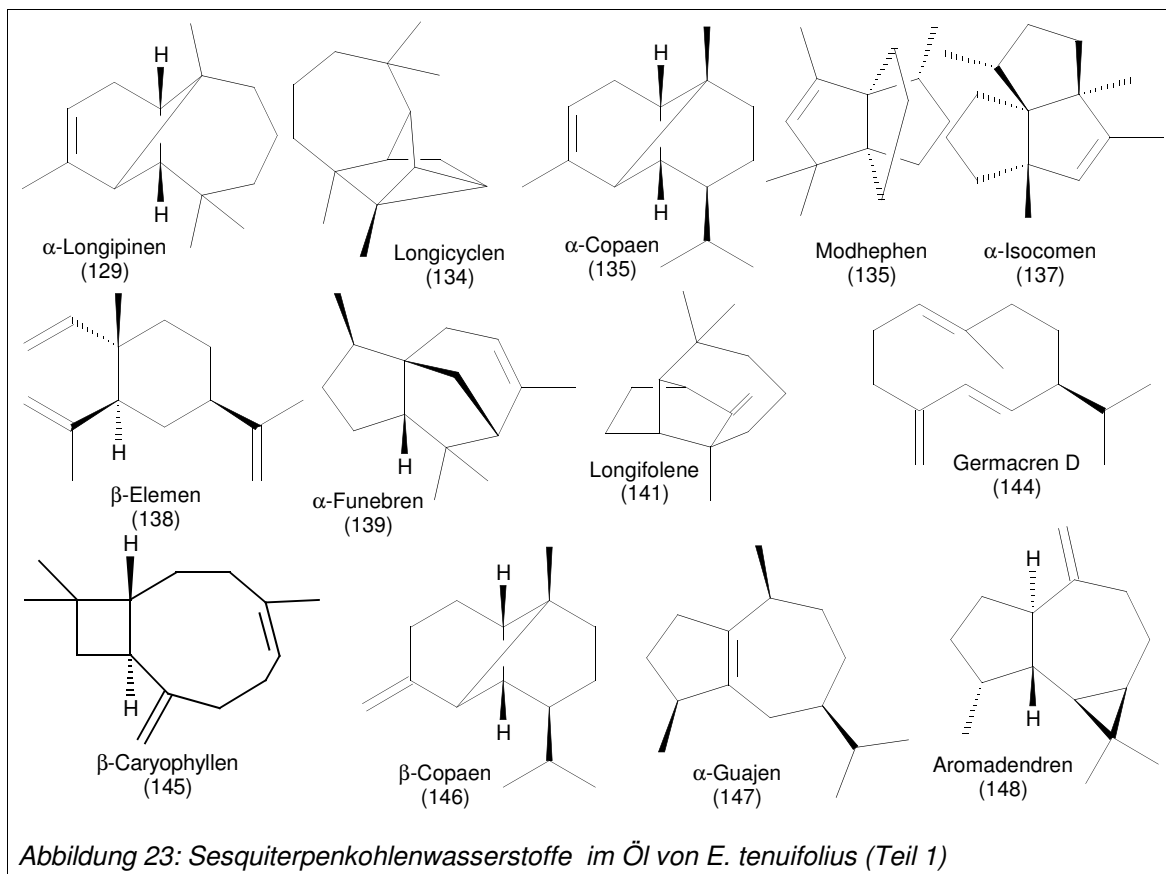
Tabelle 4: Monoterpene

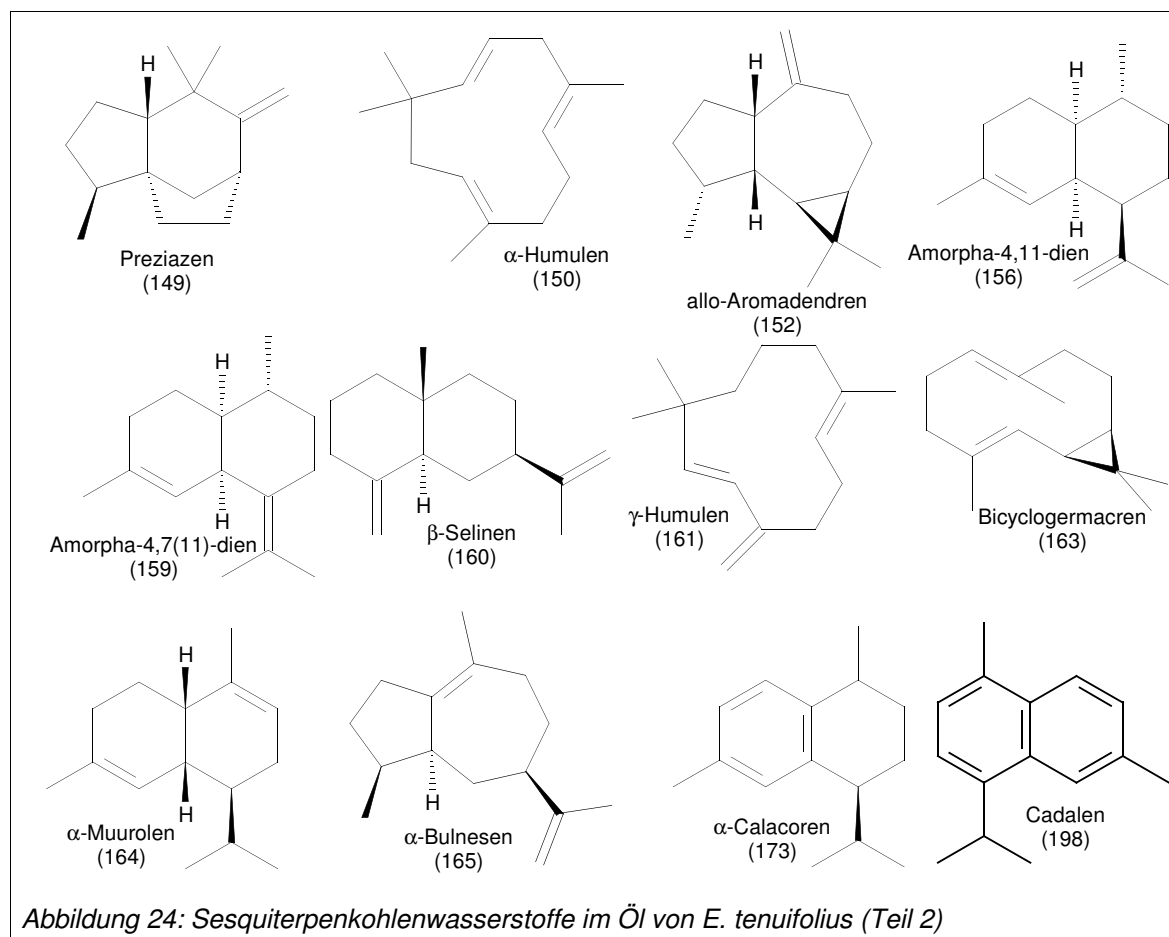
acyclische MT	monocyclische MT	bicyclische MT			
		p-Menthane	Pinane	Thujane	Camphane
Santolinatrien (13)	2,3-Dehydro-1,8-cineol (30)	α -Pinen (19)	α -Thujen (16)	Camphen (20)	α -Fenchon (21)
β -Myrcen (33)	α -Phellandren (38)	Verbenen (22)	Thuja-2,4(10)-dien (23)	Campher (76)	
(E)- β -Ocimen (51)	α -Terpinen (42)	β -Pinen (28)	Sabinen (27)	Borneol (86)	
Linalooloxid (58)	p-Cymen (43)	trans-Pinocarveol (77)	trans-Sabinenhydrat (57)	Bornylacetat (113)	
Dihydromyrcenol (60)	1,8-Cineol (44)	trans-Verbenol (80)	cis-Sabinenhydrat (66)		
Artemisiaalkohol (61)	Limonen (45)	Pinocarvon (83)	trans-Sabinenhydrat-acetat (121)		
Linalool (67)	γ -Terpinen (55)	Myrtenol (94)			
Lavandulol (88)	p-Cymenen (63)	trans-Pinocarvylformiat (106)			
Nerol (102)	Terpinolen (65)	cis-Chrysanthenylacetat (120)			
Geraniol (110)	1,3,8-p-Menthatrien (72)	trans-Pinocarvylacetat (119)			
Linalylacetat (111)	cis-p-Menth-2-en-1-ol (75)	Myrtenylacetat (124)			
Nerylformiat (116)	trans-p-Menth-2-en-1-ol (78)				
Geranylformiat (117)	Menthon (81)				
Nerylacetat (128)	Cymen-9-ol (89)				
Geranylacetat (131)	Terpinen-4-ol (90)				
Lyratylacetat (140)	α -Terpineol (92)				
	cis-Piperitol (95)				
	trans-Piperitol (98)				
	trans-Carveol (99)				
	cis-Carveol (100)				
	cis-p-Mentha-1(7),8-dien-2-ol (101)				
	Pulegon (104)				
	Carvon (105)				
	Piperiton (108)				
	Thymol (114)				
	Diosphenol (118)				
	Carvacrol (120)				
	Terpinen-4-ylacetat (122)				
	trans-Carvylacetat (125)				
	α -Terpinylacetat (127)				

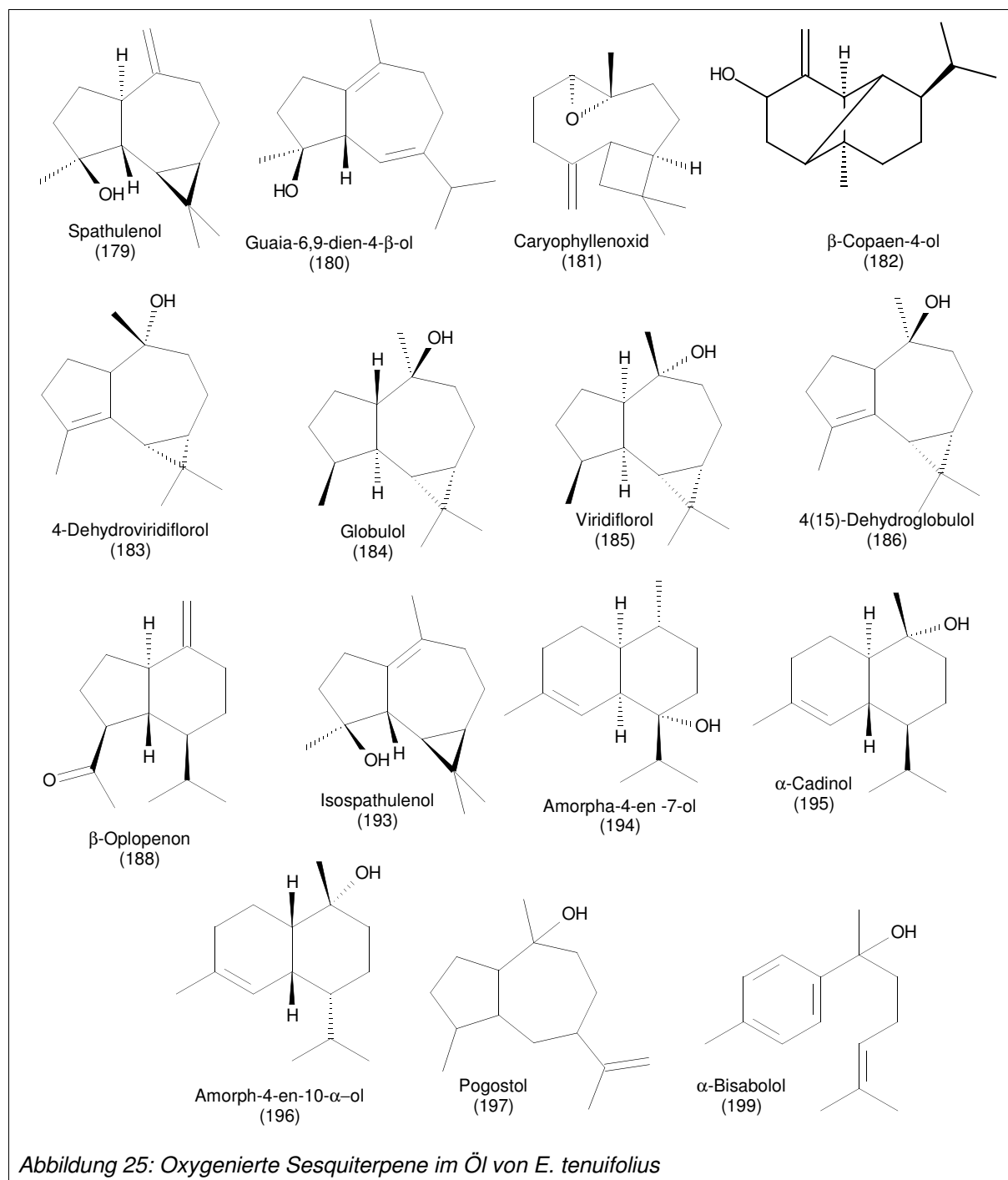


1.2.3 Sesquiterpene

In den ätherischen Ölen von *Eriocephalus tenuifolius* wurden insgesamt 25 Sesquiterpenkohlenwasserstoffe (STKW) (Abbildungen 23 und 24) und 27 oxygenierte Sesquiterpene (OxST) (Abbildungen 25 bis 28) identifiziert. Die Variationen der Grundgerüste ist naturgemäß bei den Sesquiterpenen sehr vielfältig.

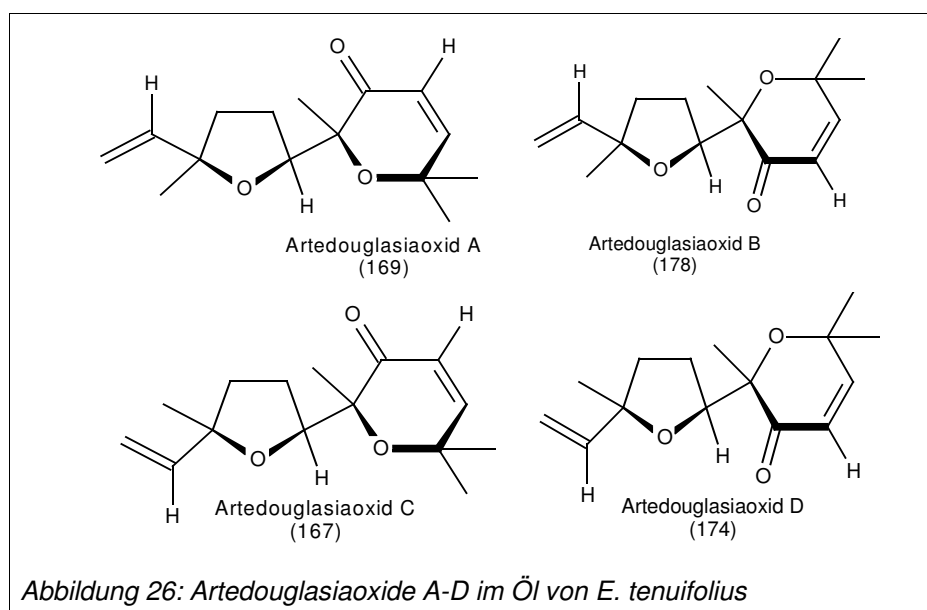




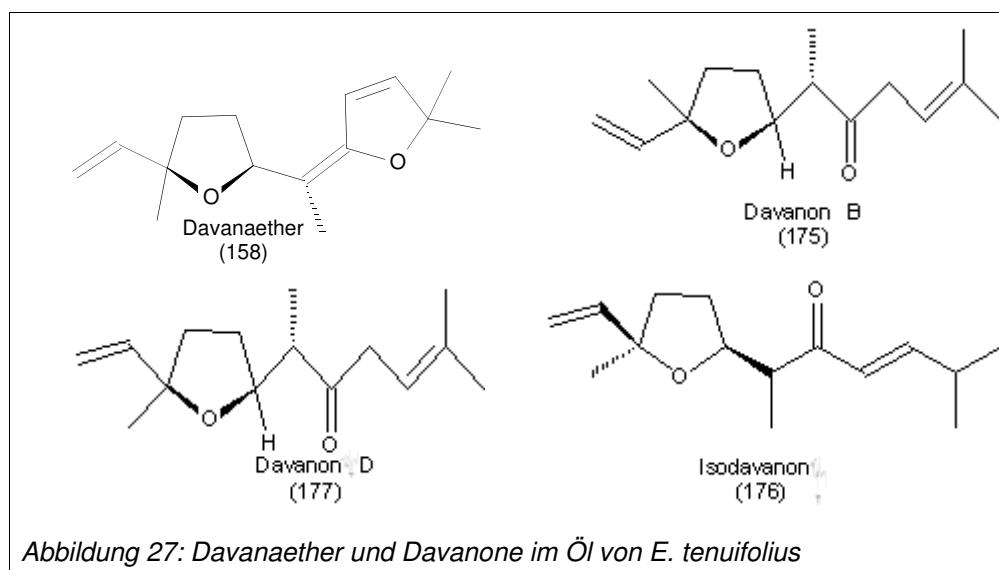


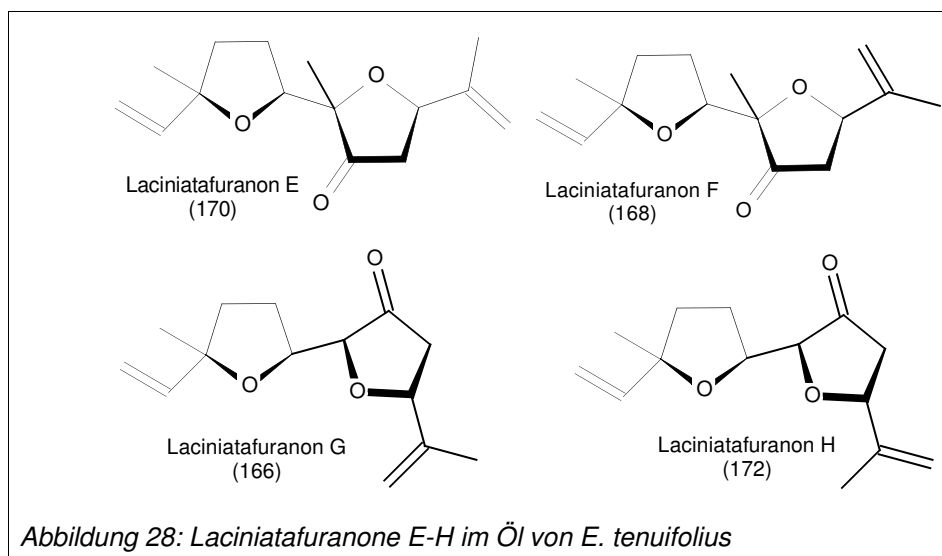
Bemerkenswert sind von den hier dargestellten oxygenierten Sesquiterpenen jene aus den Abbildungen 26 bis 28, die alle einen Furanring tragen. Solche Furanosesesquiterpene sind relativ selten. Die Davanone-Derivate und Davanaether wurden ursprünglich aus Davana-Öl isoliert, das aus *Artemisia pallens* Wall. gewonnen wird [KLIMES et al., 1986]. Die Artedouglasiaoxide A-D und die Laciniatafuranone wurden von WEYERSTAHL et al. [1988] erstmalig aus dem ätherischen Öl von *Artemisia*

laciniata Willd. nachgewiesen und 1992 und 1997 weiter aufgeklärt. 1992 wurden



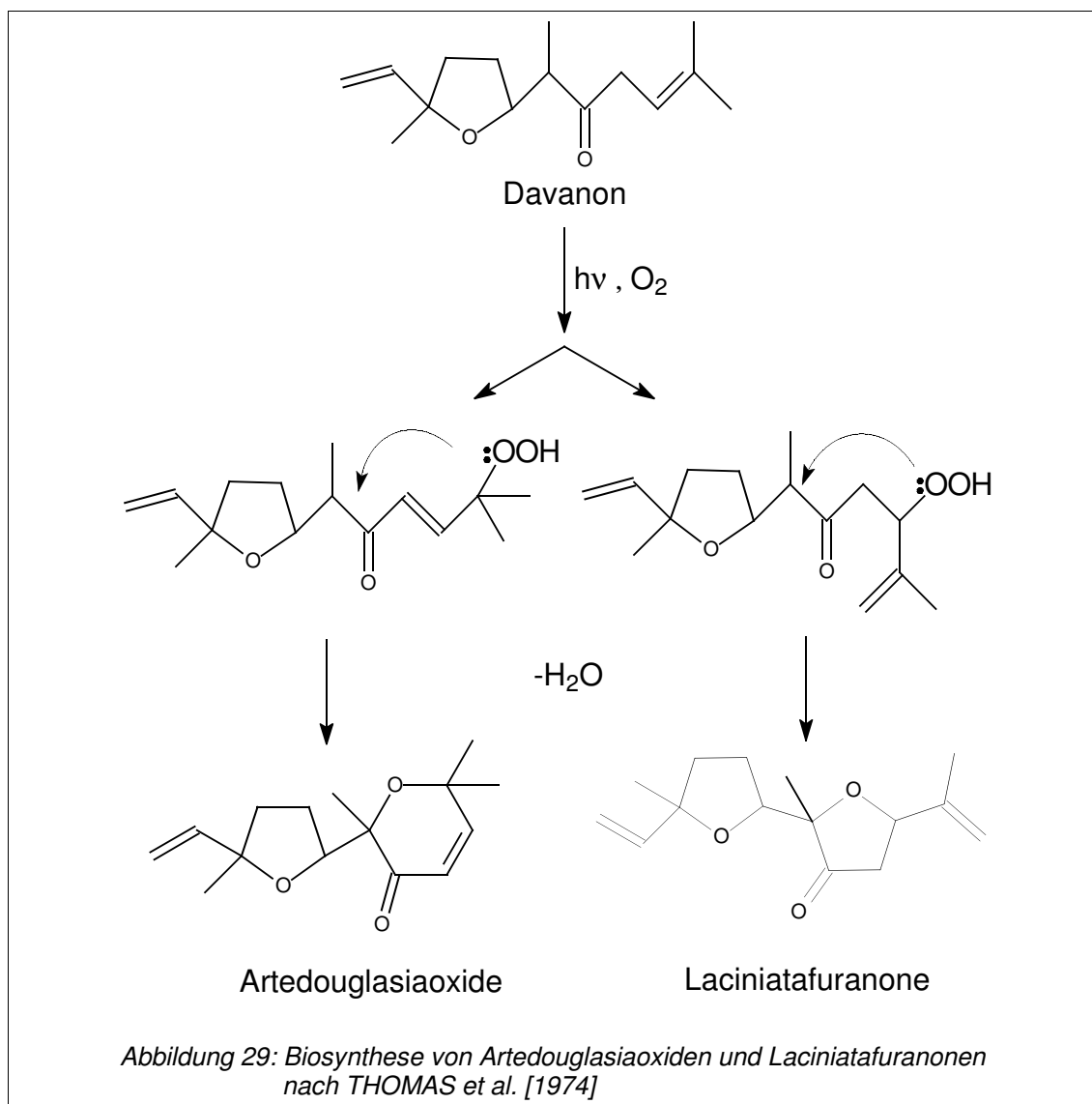
diese Komponenten auch in *Artemisia salsoloides* Willd. und *Artemisia persica* Willd. gefunden.





Ihre strukturelle Ähnlichkeit ist bedingt durch den gemeinsamen Biosyntheseweg (Abbildung 29), der von THOMAS et al. [1974] und APPENDINO et al. [1984] beschrieben wurde. Als Ausgangsverbindung wird das Davanon angenommen.

Die Bezeichnungen A-H beinhalten keine bestimmten stereochemischen Eigenschaften, so dass die Strukturen von Artedouglasiaoxiden und Laciniatafuranonen nicht anhand der Benennungen zu vergleichen sind.



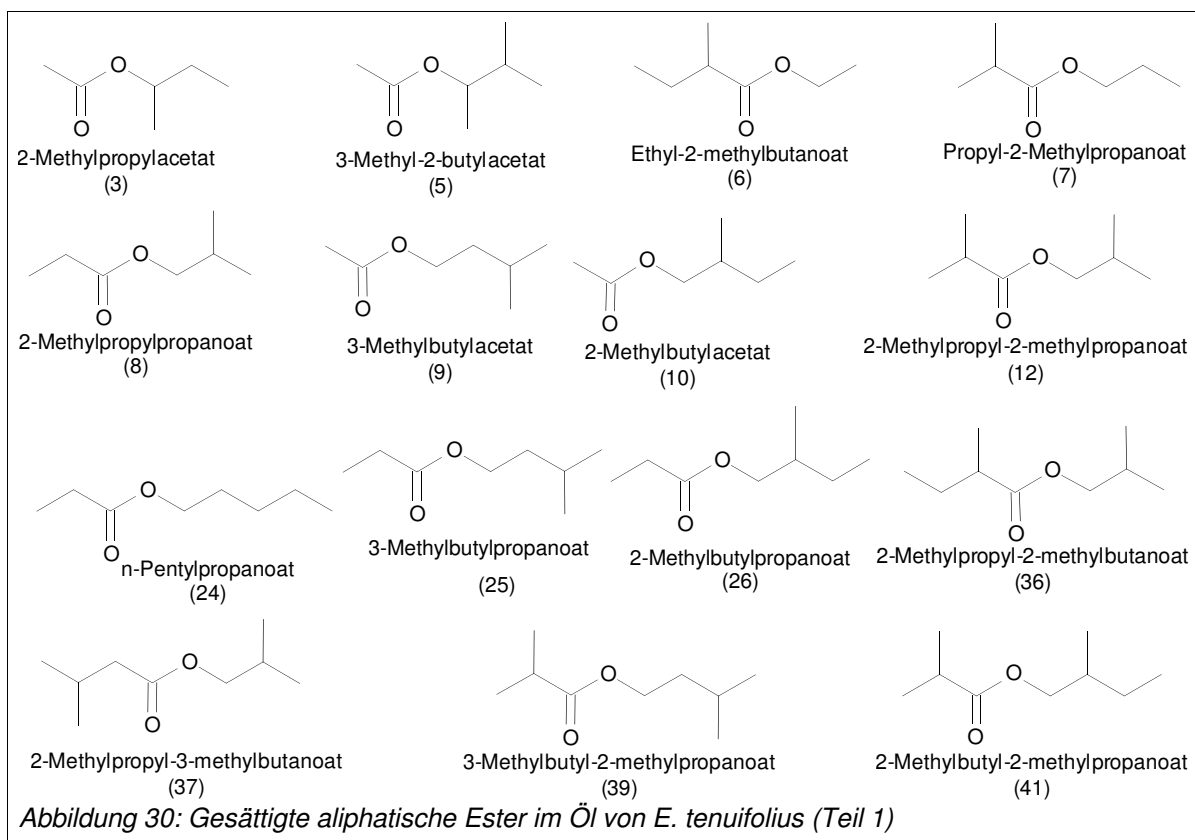
1.2.4 Nicht-terpenoide Ester (NT)

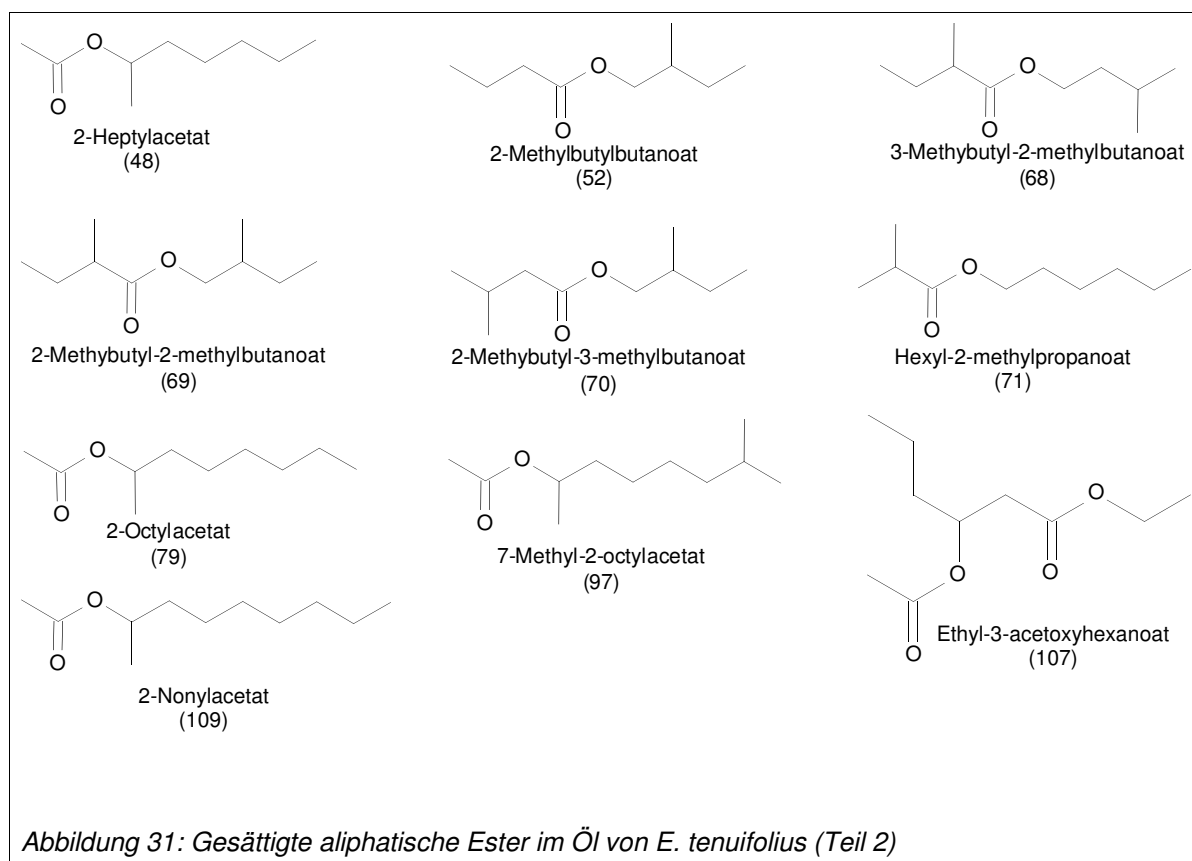
Unter nicht-terpenoiden Estern werden solche Ester verstanden, bei denen weder die Alkohol-, noch die Säuregruppe terpenoiden Ursprungs ist. Die terpenoiden Hemiterpensäureester (Angelate und Tiglate) wurden bereits in Kapitel 1.2.1 beschrieben.

Nicht terpenoide Ester stellen im ätherischen Öl von *Eriocephalus tenuifolius* eine große Gruppe der Komponenten. Insgesamt konnten 35 nicht-terpenoide Ester identifiziert werden. Die Darstellung der nicht-terpenoiden Ester wird unterteilt in:

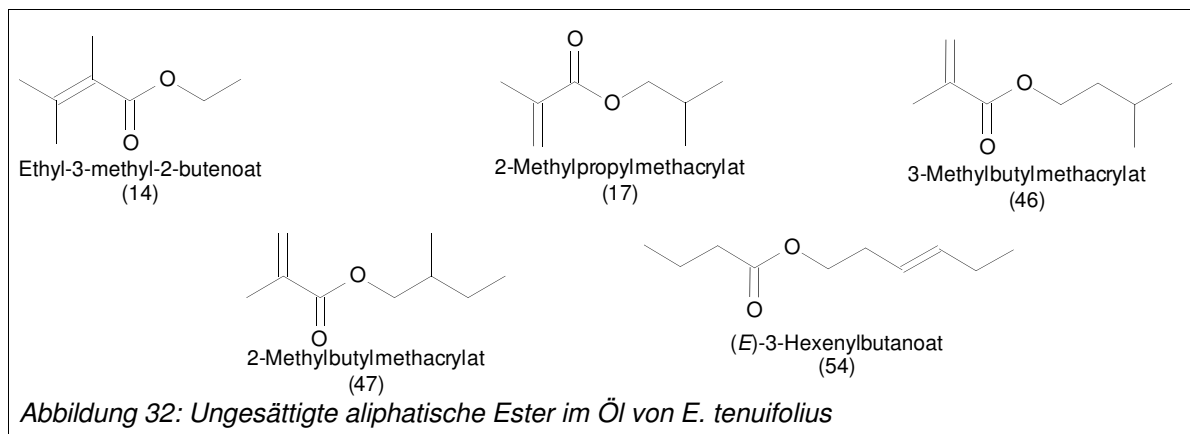
1. gesättigte aliphatische Ester (Abbildungen 30 und 31)
2. ungesättigte aliphatische Ester (Abbildung 32)
3. Ester mit aromatischen Ringen (Abbildung 33)

Innerhalb der Abbildungen wird die Reihenfolge der Retentionsindices der Substanzen eingehalten.

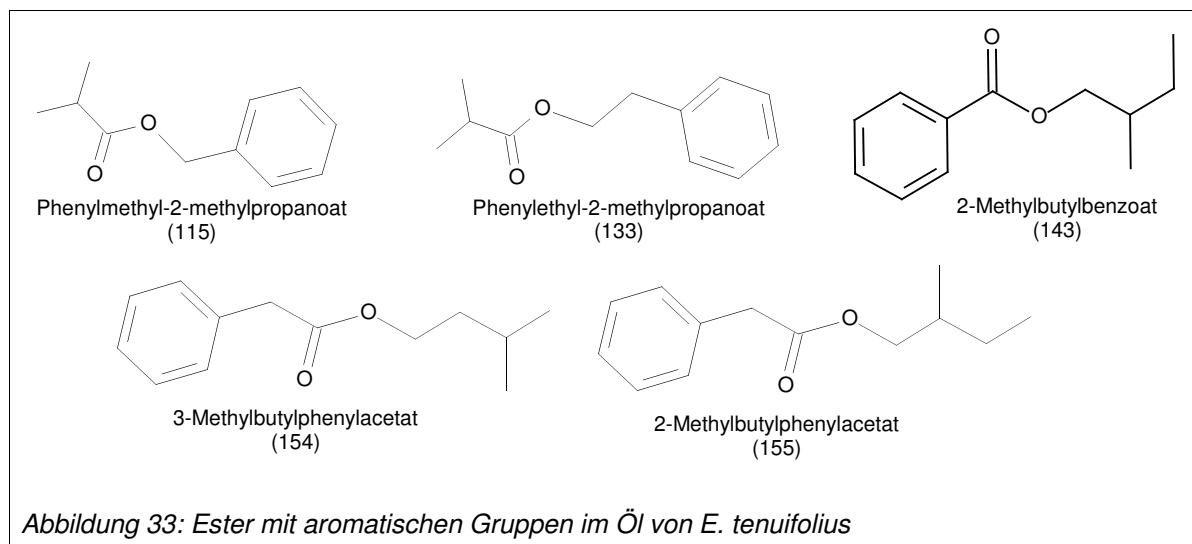




Bei den Alkoholkomponenten handelt es sich vorwiegend um methylverzweigte, kurzkettige Alkohole wie z.B. 2-Methylpropanol, 3-Methyl-2-butanol, Ethyl-2-methylalkohol oder 2-Methylbutylalkohol neben wenigen längerkettigen Alkoholkomponenten. Als Säuregruppen sind kurzkettige, hauptsächlich verzweigte Säuren zu finden wie z.B. Propansäuren, Butansäuren oder Methacrylsäuren.



Mit Ausnahme von (*E*)-3-Hexenylbutanoat (54) finden sich die Doppelbindungen der einzelnen Komponenten ausschließlich in der Säurekomponente wieder.

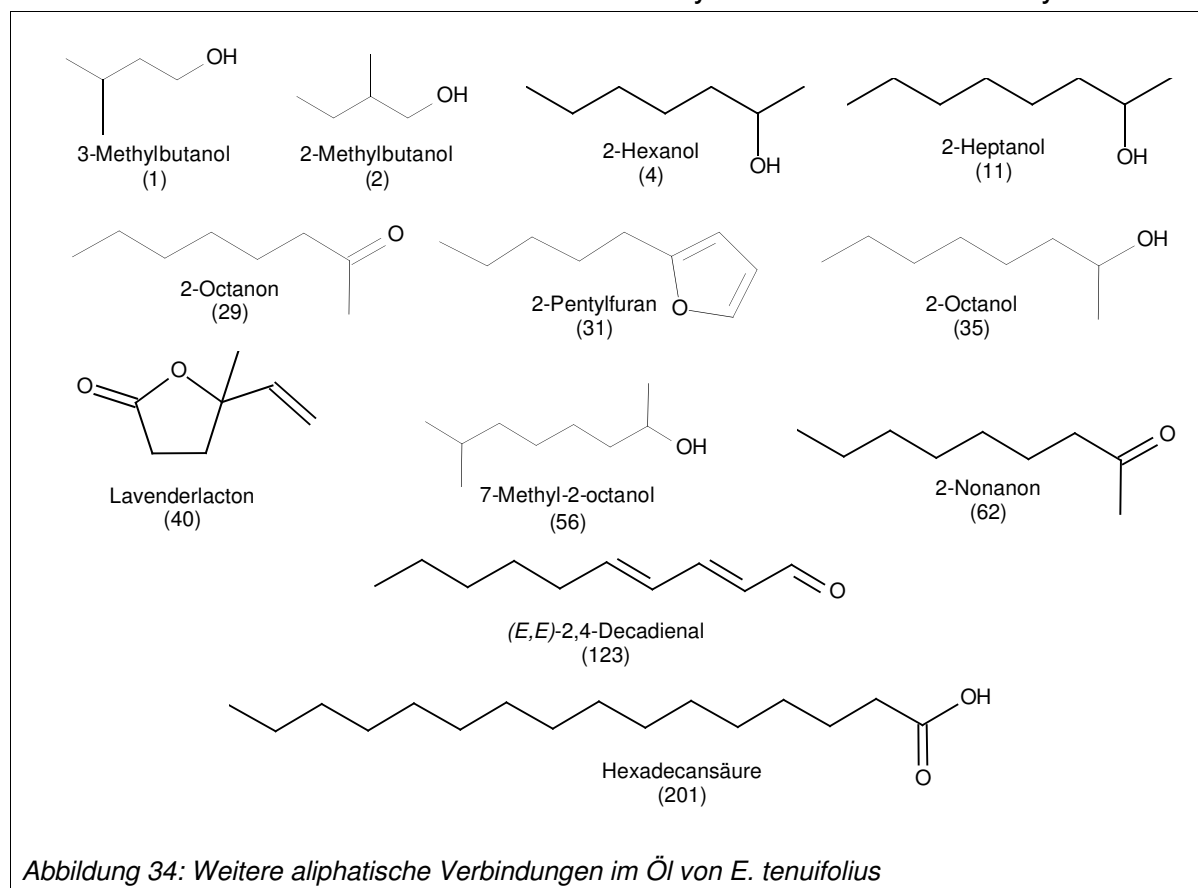


Bei den in Abbildung 33 gezeigten aromatischen Estern befindet sich der aromatische Ring sowohl in der Alkoholkomponente [(115) und (133)] als auch in der Säurekomponente [(143), (154) und (155)].

1.2.5 Weitere aliphatische Verbindungen

Im Öl von *Eriosephalus tenuifolius* wurden noch weitere, bisher nicht bestimmten Gruppen zuzuordnende Verbindungen gefunden. Diese sind der Vollständigkeit halber in Abbildung 34, sortiert nach dem Retentionsindex, aufgeführt. Es handelt sich dabei um freie Alkohole, 2-Pentylfuran, Lavenderlacton, ein Aldehyd und eine Fettsäure.

Bei den Alkoholen handelt es sich um solche, die auch teilweise als Alkoholkomponenten bei den Estern zu finden sind wie 7-Methyl-2-octanol oder 2-Methylbutanol.



1.2.6 Unbekannte Komponenten

Im Öl von *Eriocephalus tenuifolius* wurden einige Komponenten detektiert, die aufgrund fehlender Vergleichsspektren bzw. Vergleichssubstanzen nicht identifiziert werden konnten. Hier sollen nur die wichtigsten mit ihren Massenspektren abgebildet werden. In der Reihenfolge der Retentionsindices wurden sie mit den Buchstaben A bis H benannt und weisen die folgende Massenspektren, die in den Abbildungen 35 bis 42 gezeigt werden, auf.

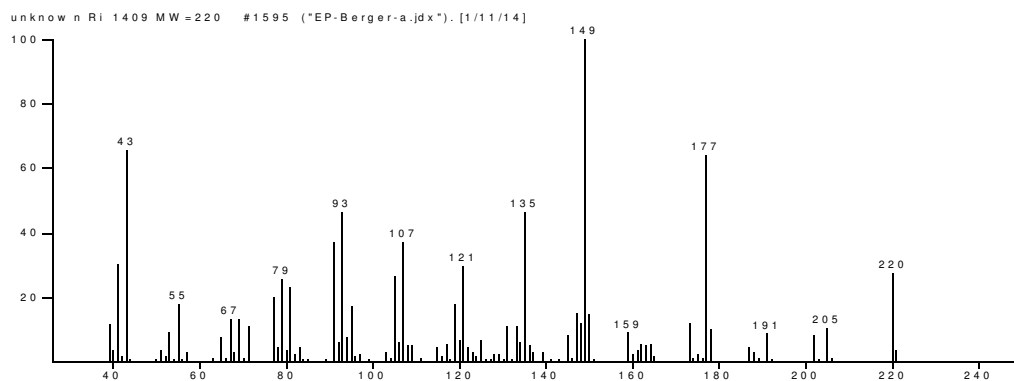


Abbildung 35: Unbekannte Komponente A

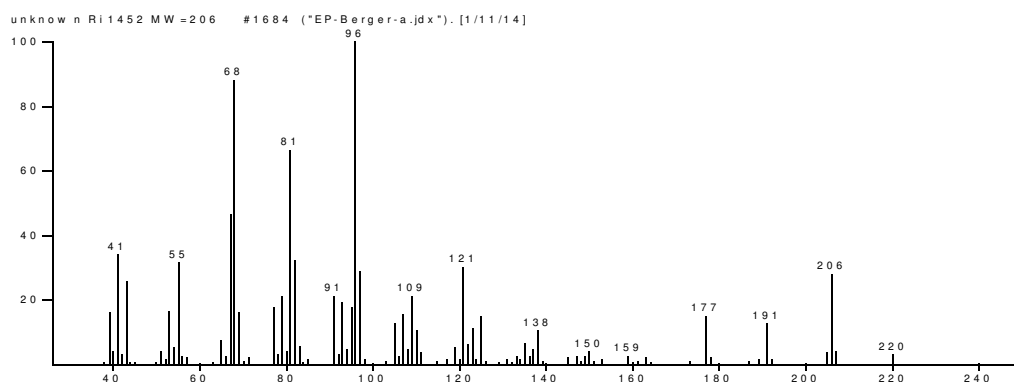


Abbildung 36: Unbekannte Komponente B

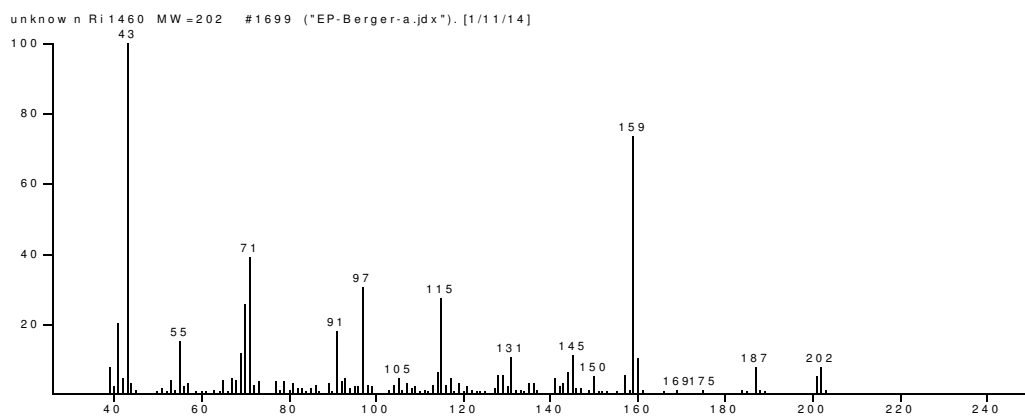


Abbildung 37: Unbekannte Komponente C

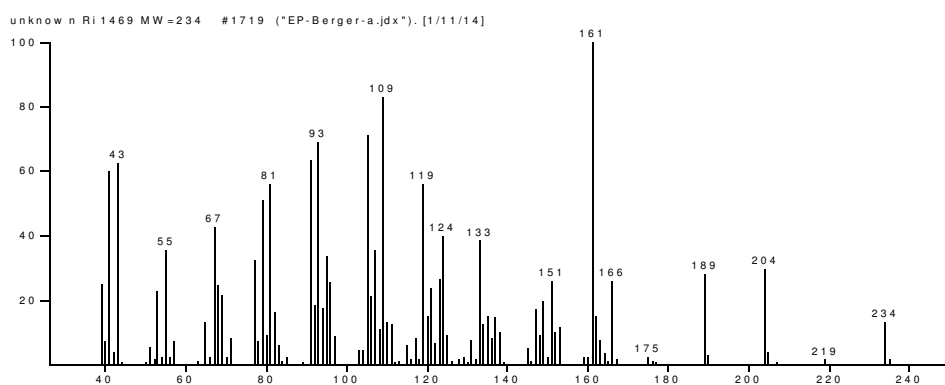


Abbildung 38: Unbekannte Komponente D

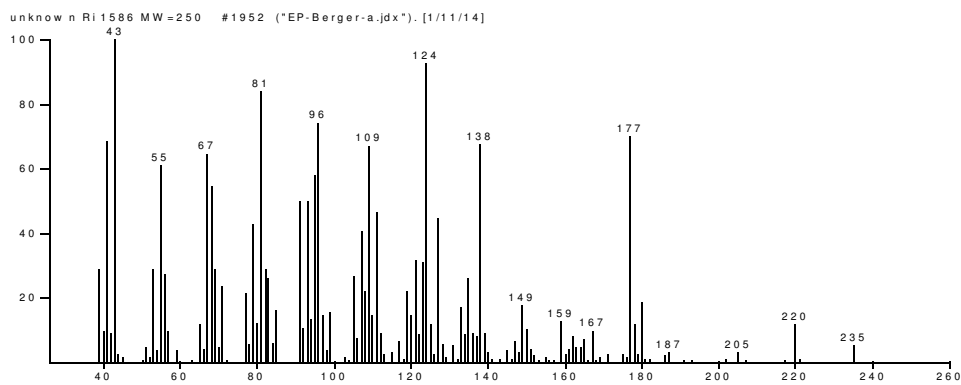


Abbildung 39: Unbekannte Komponente E

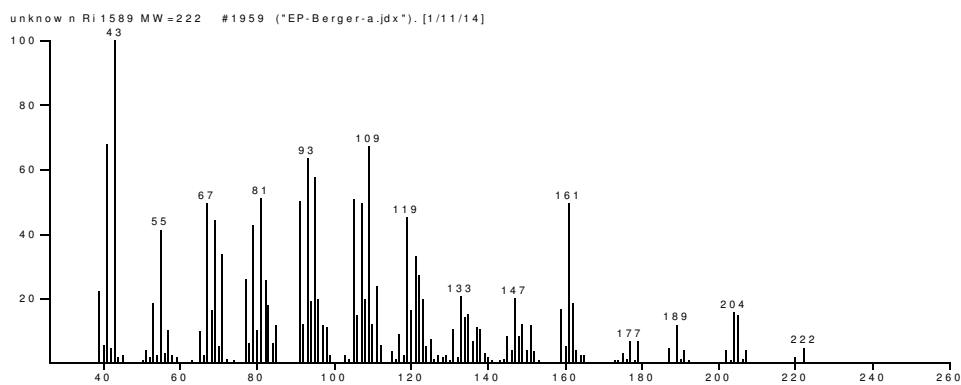


Abbildung 40: Unbekannte Komponente F

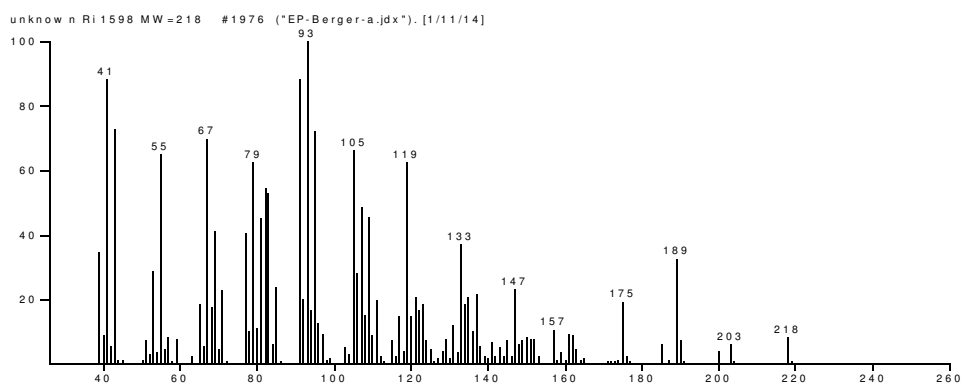


Abbildung 41: Unbekannte Komponente G

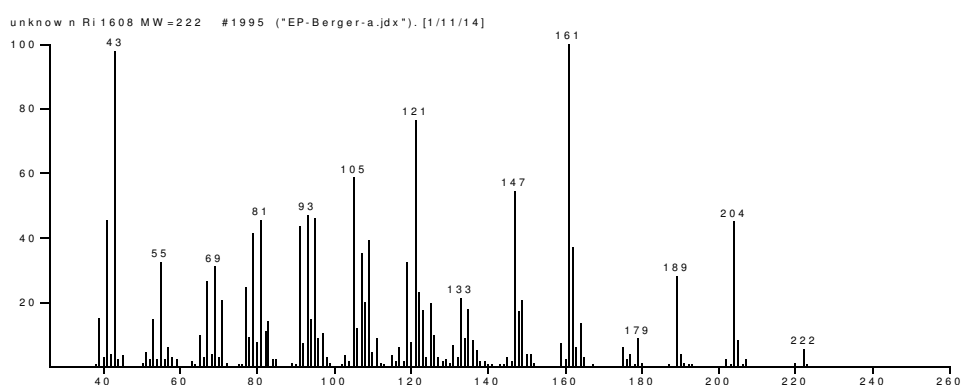


Abbildung 42: Unbekannte Komponente H

Bei diesen Komponenten handelt es sich nach ihren Massenspektren offensichtlich um Sesquiterpene, die mit Literaturquellen und Datenbankeinträgen keine Übereinstimmung mit bekannten Substanzen haben. Auch ihre Retentionsindices liegen nahe, dass hier Sesquiterpene in verschiedenen Oxidationsstufen vorliegen. In der Summe machen diese 8 Substanzen lediglich einen Prozentanteil von ca. 1,8% des Gesamtöls aus, so dass eine weitere Identifizierung durch Isolierung und NMR nicht durchgeführt werden konnte.

2 Handelsöle

2.1 Allgemeines, Anbau, und Gewinnung

Die Pflanze *Eriocephalus tenuifolius* wurde Anfang der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts in der Republik Südafrika zur kommerziellen Gewinnung von ätherischen Ölen entdeckt. Damals wurden einige Pflanzen an deren ursprünglichem Standort im Norden der Drakensberge gesammelt. Auf einer Farm in der Kap-Provinz wurden daraus Stecklinge kultiviert (Abbildung 43). Aus dieser Kultur entstammt die gesamte Ölproduktion der Folgejahre.



Abbildung 43: Kultivierte Stecklinge von *E. tenuifolius*

In den Jahren vor 1998 wurden von WEBBER et al. umfangreiche Forschungen für eine optimierte Anpflanzung von *Eriocephalus punctulatus* durchgeführt. Hier kann wieder davon ausgegangen werden, dass es sich um *Eriocephalus tenuifolius* handelte, da auch diese Pflanzen entsprechend der Literatur ursprünglich in den Drakensbergen gesammelt wurden. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden u.a. die Pflanzabstände und der daraus resultierende Ölertrag pro Hektar untersucht. Das Ergebnis zeigt Tabelle 5.

Tabelle 5: Verschiedene Pflanzdichten und der daraus resultierende Ölgehalt

Pflanzabstand [m]	Ölertrag [kg/ha]	Beobachtung
0,5	19,2	Pflanzen brechen leicht bei Pflege und Ernte, Jäten und Pflege sehr schwierig.
0,8	20,1	Pflanzen brechen leicht bei Pflege und Ernte, Jäten und Pflege sehr schwierig.
1,0	26,2	Genug Bewegungsfreiheit zum Pflegen, Jäten und Ernten.
1,5	15,7	Zu viel unnötiger Freiraum zwischen den Pflanzen.

Aus diesen Ergebnissen ergibt sich ein optimaler Pflanzabstand von 1,0 m zwischen

den Pflanzen, bei dem nach Literaturangaben ca. 26 kg Öl je Hektar erhalten werden.

Vor der kommerziellen Ölgewinnung müssen die Pflanzen einmal am Anfang der zweiten Saison heruntergeschnitten werden (Abbildung 44). Ab der dritten Saison weisen die Pflanzen einen Ölgehalt auf, der für eine ertragreiche Ölgewinnung nötig ist. Der Zeitpunkt der Ölgewinnung liegt im Oktober und November, wenn die Pflanze die größte Blütendichte aufweist [WEBBER et al., 1999].



Abbildung 44: Plantage zwischen Rückschnitt und Ernte

Für die Destillation werden die Pflanzen derart beschnitten, dass mindestens 25% des photosyntheseaktiven

Materials stehen bleibt [WEBBER et al., 1998]. Das Schnittgut wird für die Destillation eingesetzt.

Aufgrund der schlechten wirtschaftlichen Lage in Südafrika steht nicht jedem Produzenten eine eigene Destillationsanlage zur Verfügung, daher werden häufig, wie auch hier, mobile Destillationsanlagen eingesetzt (Abbildung 45). Diese Anlagen



Abbildung 45: mobile Destillationsanlage

destillieren die eingebrachten Pflanzen mittels Wasserdampf. Die Pflanzen liegen im Kessel auf einem Sieb und werden von darunter erzeugtem Wasserdampf durchströmt und extrahiert. Da auf fast allen Far-

men, auch auf dieser Produktionsfarm, Trinkwasser nur in sehr geringen Mengen zur

Verfügung steht, wird das Wasser aus dem direkt neben der Farm befindlichen Fluss verwendet. Da das Wasser mit den Pflanzenteilen nicht direkt in Berührung kommt, können eventuelle Verunreinigungen nicht mit den Inhaltsstoffen in Wechselwirkung treten. Der Destillationsvorgang dauert bei *Eriocephalus tenuifolius* ca. 4 Stunden und extrahiert das enthaltene ätherische Öl nahezu erschöpfend. Der Ölgehalt der kommerziell verwendeten Rohware beträgt nach Aussagen der Produzenten zwischen 0,3 und 0,6%, berechnet auf das eingesetzte Pflanzenmaterial.

Das frisch gewonnene ätherische Öl ist tiefblau und riecht frisch-fruchtig. Es wird nach der Destillation sofort weiter abgekühlt und in kleine Fässer abgefüllt. Diese werden in einen Kühlcontainer verbracht und dort mehrere Monate eingelagert. Anschließend wird es, wie eingangs beschrieben, seiner weiteren Verwendung zugeführt.

2.2 Chemische Zusammensetzung

2.2.1 Ätherisches Öl'

Untersucht wurden 5 Handelsöle des Cape Chamomile Oils, die von der Firma Grassroots Natural Products, Gouda 6821, South Africa, zur Verfügung gestellt wurden. Die einzelnen Öle stammten aus den Jahren 1997 (A), 1999 (2x) (B und C), 2000 (D) und 2001 (E). Ein Öl aus dem Jahre 1999 trug die interne Produktionsbezeichnung „Berger“ und bezeichnet eine Ernte von einem anderen Produktionsfeld. Alle Handelsöle wurden in Form einer 5%igen *n*-Hexan-Lösung sowohl einer massenspektroskopischen Analyse zur Identifizierung der Komponenten mittels GC-MS-Kopplung, als auch einer gaschromatographischen Analyse zur quantitativen Bestimmung der Komponenten zugeführt. Im Ergebnis konnten in den 5 Ölen auf diese Weise 95,7% - 97,1% des Öls strukturell beschrieben werden [MIERENDORFF et al., 2003].

In Tabelle 6 werden 129 Komponenten aufgeführt, die in mindestens einem der untersuchten Handelsöle detektiert wurden. Mit n.n. gekennzeichnete Komponenten beschreiben Substanzen, die in dem jeweiligen Handelsöl nicht nachweisbar waren.

1 Einige Teile dieses Kapitels wurden bereits veröffentlicht: Mierendorff, H.-G.; Stahl-Biskup, E.; Posthumus, M.A.; van Beek, T.A.; "Composition of commercial Cape Chamomile oil (*Eriocephalus punctulatus*)." *Flavour and Fragrance Journal*, **18**: 510-514. (2003). Es sind aber aufgrund fortgeschrittener Untersuchungen die Peaknummerierungen verändert und über 20 Komponenten mehr beschrieben.

C Ergebnisse

Im Unterschied zu der genannten Veröffentlichung [MIERENDORFF et al., 2003] werden in der Tabelle alle Prozentwerte numerisch angegeben, wobei auch Spuren mit den gemessenen Gehalten aufgeführt werden, die in der Summe ca. 2-3% betragen.

Tabelle 6: Zusammensetzung der Handelsöle

Nr.	R_i	Name	A	B	C	D	E
2	801	2-Methyl-1-butanol	<i>n.n.</i>	0,44	0,45	0,45	0,43
3	810	2-Methylpropylacetat	0,09	0,04	0,33	0,06	0,02
4	829	2-Hexanol	0,16	0,09	0,11	0,08	0,07
5	850	3-Methyl-2-butylacetat	0,02	0,08	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>
7	866	Propyl-2-methylpropanoat	0,04	0,04	0,02	0,02	0,22
8	873	2-Methylpropylpropanoat	0,23	0,02	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>
9	878	3-Methylbutylacetat	0,04	0,01	0,02	0,03	0,03
10	879	2-Methylbutylacetat	0,66	0,10	0,37	0,49	0,42
11	898	2-Heptanol	0,03	0,01	0,04	0,03	0,02
12	909	2-Methylpropyl-2-methylpropanoat	12,41	5,29	11,80	11,70	10,80
14	911	Ethyl-3-methyl-2-butenoat	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
15	917	Tricyclen	0,06	0,04	0,04	0,02	0,02
16	922	α -Thujen	0,03	0,04	0,05	0,05	0,07
17	926	2-Methylpropylmethacrylat	0,23	0,11	0,30	0,27	0,16
19	932	α -Pinen	1,20	1,93	0,82	1,32	2,29
20	942	Camphen	0,40	0,70	0,48	0,63	1,01
22	945	Verbenen	<i>n.n.</i>	0,01	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>
25	952	3-Methylbutylpropanoat	0,05	0,02	0,01	0,03	0,18
26	955	2-Methylbutylpropanoat	0,69	0,24	0,20	0,41	0,31
27	963	Sabinen	0,17	0,13	0,07	0,16	0,16
28	966	β -Pinen	0,17	0,27	0,12	0,21	0,33
32	977	Dehydroxylinalooloxid A	0,55	0,48	0,95	0,64	0,65
33	979	β -Myrcen	0,14	0,11	0,06	0,12	0,11
36	986	2-Methylpropyl-2-methylbutanoat	1,73	1,36	1,45	1,59	1,48
37	989	2-Methylpropyl-3-methylbutanoat	1,23	1,17	1,86	1,48	1,25
39	995	3-Methylbutyl-2-methylpropanoat	2,53	2,57	2,23	2,70	2,23
41	1002	2-Methylbutyl-2-methylpropanoat	23,02	21,20	19,86	23,09	20,01
42	1005	α -Terpinen	0,20	0,43	0,53	0,63	0,89
43	1007	p -Cymen	1,76	1,99	1,69	1,24	1,07
44	1013	1,8-Cineol	0,24	0,16	0,53	0,29	0,29
45	1015	Limonen	0,46	0,74	0,27	0,37	0,42
46	1019	3-Methylbutylmethacrylat	<i>n.n.</i>	0,02	0,41	0,23	0,19
47	1021	2-Methylbutylmethacrylat	0,30	0,25	0,15	0,30	0,12
48	1022	2-Heptylacetat	0,16	0,15	0,03	0,02	0,02
49	1026	<i>cis</i> -Arbusculon	<i>n.n.</i>	0,13	0,98	1,08	1,48
50	1030	2-Methylpropylangelat	3,01	1,63	1,81	1,88	1,19
51	1033	(<i>E</i>)- β -Ocimen	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06
52	1037	2-Methylbutylbutanoat	0,08	0,06	0,09	0,05	0,04
55	1043	γ -Terpinen	0,39	0,97	0,68	1,02	1,46
56	1043	7-Methyl-2-octanol	0,61	0,35	0,38	0,40	0,60
57	1046	<i>trans</i> -Sabinenhydrat	0,60	0,36	0,38	0,60	0,58
59	1055	Butylangelat	0,77	0,82	0,78	0,81	0,72

Nr.	R_i	Name	A	B	C	D	E
64	1068	Butyltiglat	0,15	0,07	0,11	0,08	0,05
65	1072	Terpinolen	0,20	0,27	0,18	0,25	0,32
66	1075	cis-Sabinenhydrat	0,09	0,05	0,07	0,12	0,14
67	1077	Linalool	1,24	0,53	0,15	0,97	1,41
68	1082	3-Methylbutyl-2-methylbutanoat	0,97	1,30	2,86	1,03	0,93
69	1087	2-Methylbutyl-2-methylbutanoat	4,56	5,64	3,39	4,44	4,27
70	1089	2-Methylbutyl-3-methylbutanoat	0,84	1,09	0,80	0,94	0,70
71	1092	Hexyl-2-methylpropanoat	<i>n.n.</i>	0,01	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>
73	1097	α -Campholenal	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05
75	1099	cis-p-Menth-2-en-1-ol	0,19	0,17	0,21	0,20	0,21
76	1111	Campher	0,68	1,39	1,63	1,39	2,24
77	1116	trans-Pinocarveol	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>	0,17	0,08	0,09
78	1118	trans-p-Menth-2-en-1-ol	0,13	0,16	0,16	0,14	0,15
79	1121	2-Octylacetat	0,37	0,45	0,39	0,38	0,42
81	1125	Menthon	0,04	0,07	0,34	0,05	0,06
82	1128	3-Methylbutylangelat	0,24	0,32	0,29	0,30	0,23
84	1134	2-Methylbutylangelat	3,08	3,49	3,91	3,16	2,42
86	1143	Borneol	1,02	1,37	2,62	1,51	2,36
90	1156	Terpinen-4-ol	2,32	1,66	2,67	1,89	2,55
91	1162	Pentylangelat	1,03	1,32	1,00	1,09	0,96
92	1166	α -Terpineol	0,39	0,15	0,45	0,25	0,31
93	1174	Pentyltiglat	0,17	0,20	0,21	0,11	0,13
94	1175	Myrtenol	0,03	0,08	0,22	0,20	0,15
97	1187	7-Methyl-2-octylacetat	3,84	4,47	4,60	4,07	3,20
100	1200	cis-Carveol	0,05	0,04	0,07	0,05	0,05
102	1207	Nerol	0,14	0,14	0,15	0,03	0,16
104	1209	Pulegon	0,13	0,09	0,99	0,17	0,10
109	1221	2-Nonylacetat	0,40	0,60	0,66	0,52	0,37
110	1234	Geraniol	0,06	0,04	0,09	0,08	0,11
111	1241	Linalylacetat	5,69	4,41	2,61	4,25	3,21
113	1266	Bornylacetat	0,08	0,28	0,21	0,11	0,23
114	1267	Thymol	0,03	0,05	0,04	0,04	0,04
118	1273	Diosphenol	0,15	0,04	0,79	<i>n.n.</i>	0,04
120	1277	Carvacrol	<i>n.n.</i>	0,03	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>
121	1281	trans-Sabinenhydrataacetat	<i>n.n.</i>	0,02	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>
123	1288	(E,E)-2,4-Decadienal	<i>n.n.</i>	0,04	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>
124	1304	Myrtenylacetat	<i>n.n.</i>	0,05	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>
127	1332	α -Terpinylacetat	0,04	0,08	0,09	0,07	0,06
128	1344	Nerylacetat	0,35	0,64	0,23	0,34	0,70
129	1347	α -Longipinen	0,20	0,20	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>
131	1362	Geranylacetat	0,64	0,53	0,34	0,52	0,74
133	1368	2-Phenylethyl-2-methylpropanoat	0,31	0,54	0,62	0,42	0,41
134	1370	Longicyclen	0,31	0,33	0,29	0,34	0,21
135	1374	α -Copaen	0,98	1,44	0,63	0,91	1,21
136	1376	Modhephen	<i>n.n.</i>	0,02	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>
137	1383	α -Isocomen	<i>n.n.</i>	0,07	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>
138	1387	β -Elemen*	0,39	0,62	0,25	0,40	0,30
139	1387	α -Funebren*	*	*	*	*	*
140	1388	Lyratylyacetat*	*	*	*	*	*

C Ergebnisse

Nr.	R_i	Name	A	B	C	D	E
141	1401	Longifolen	<i>n.n.</i>	0,18	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>
142	1409	Unbekannte Komponente MW=220 (A)	0,04	0,10	0,06	0,06	0,05
145	1414	Isocaryophyllen	0,39	0,63	0,21	0,46	0,41
146	1424	β-Copaen	0,03	0,05	0,02	0,03	0,03
150	1447	α-Humulen	<i>n.n.</i>	0,10	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>
151	1452	Unbekannte Komponente MW=206 (B)	0,20	0,44	0,23	0,25	0,33
153	1460	Unbekannte Komponente MW=202 (C)	0,29	0,30	0,19	0,22	0,18
154	1460	3-Methylbutylphenylacetat	0,23	0,34	0,23	0,26	0,25
155	1464	2-Methylbutylphenylacetat	0,49	0,65	0,54	0,51	0,45
157	1469	Unbekannte Komponente MW=234 (D)	<i>n.n.</i>	0,11	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>
160	1478	β-Selinen	<i>n.n.</i>	0,09	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>
163	1489	Bicyclogermacren	0,18	0,24	0,18	0,21	0,39
164	1493	α-Muurolen	<i>n.n.</i>	0,06	<i>n.n.</i>	0,04	<i>n.n.</i>
166	1499	Laciniatafuranon G	0,26	0,18	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>
167	1500	Artedouglasiaoxid C	1,21	1,72	1,37	1,15	1,65
168	1505	Laciniatafuranon F	0,26	0,44	0,38	0,30	0,35
169	1511	Artedouglasiaoxid A	1,60	2,21	1,79	1,46	2,23
170	1515	Laciniatafuranon E	0,16	0,27	0,29	0,27	0,28
171	1517	1,4-Dimethylazulen	0,27	0,33	0,30	0,29	0,29
172	1522	Laciniatafuranon H	0,30	0,51	0,52	0,36	0,45
173	1526	α-Calacoren	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03
174	1532	Artedouglasiaoxid D	0,43	0,69	0,67	0,43	0,64
175	1537	Isodavanon	0,21	0,41	0,14	0,24	0,47
176	1542	Davanon B	0,20	0,20	0,13	0,25	0,37
177	1553	Artedouglasiaoxid B	0,86	1,32	0,95	0,83	1,17
178	1557	Davanon D	<i>n.n.</i>	0,05	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>	<i>n.n.</i>
179	1561	Spathulenol	0,95	1,11	0,78	0,85	0,94
181	1566	Caryophyllenoxid	0,52	0,75	0,41	0,51	0,56
182	1572	β-Copaen-4-α-ol	0,23	0,51	0,30	0,31	0,37
185	1580	Viridiflorol	0,22	0,27	0,14	0,15	0,18
187	1586	Unbekannte Komponente MW=250 (E)	0,09	0,20	0,15	0,12	0,14
189	1589	Unbekannte Komponente MW=222 (F)	0,10	0,15	0,08	0,11	0,11
190	1598	Unbekannte Komponente MW=218 (G)	0,06	0,14	0,09	0,07	0,14
191	1608	Unbekannte Komponente MW=222 (H)	0,47	0,63	0,32	0,41	0,40
192	1617	Caryophylla-3(15),7(14)-dien-6-ol	0,53	0,88	0,37	0,48	0,51
200	1700	Chamazulen	0,22	0,23	0,04	0,10	0,17
202	2065	Verticellol	0,07	0,02	0,02	0,05	0,05
		Summe	97,1	95,7	95,9	96,2	96,2

* Coeluiert, Peak nicht auftrennbar, Summe der 3 Peaks bei β-Elementen angegeben

Die Abbildungen 46 bis 48 zeigen ein Gaschromatogramm, das ein typisches Komponentenmuster aufweist. Es handelt sich um das oben in der Tabelle aufgeführte Handelsöl B („Berger“).

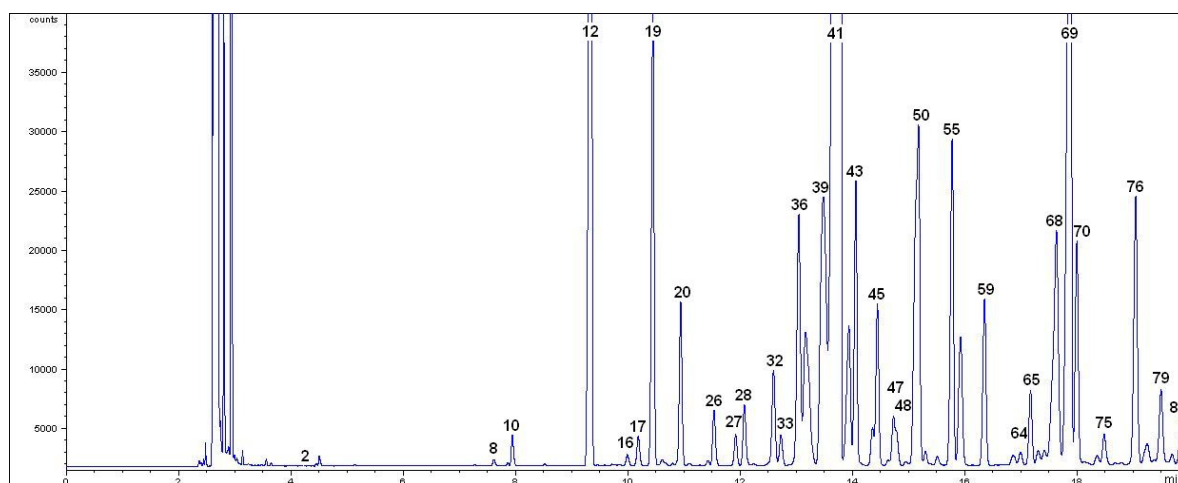


Abbildung 46: Beispielchromatogramm Teil 1

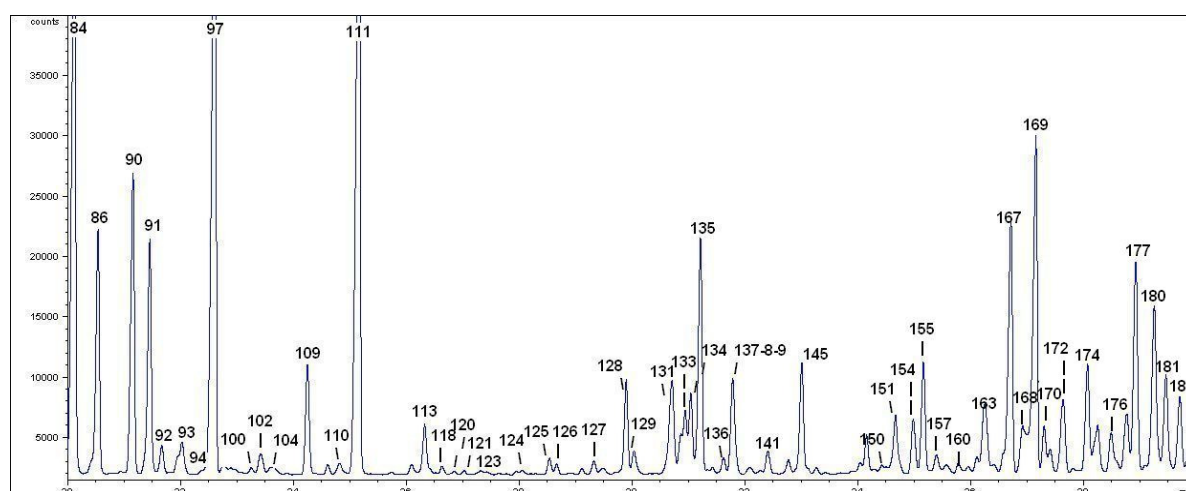


Abbildung 47: Beispielchromatogramm Teil 2

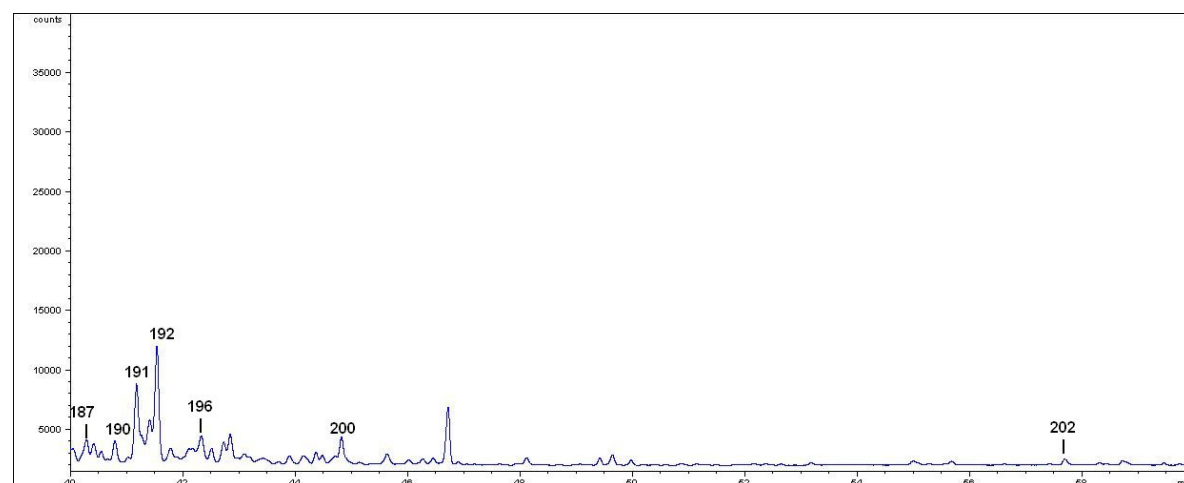


Abbildung 48: Beispielchromatogramm Teil 3

Anhand des Handelsöls „B“ sollte weiterhin überprüft werden, ob und in welcher Größenordnung hoch flüchtige Substanzen vorhanden sind, die durch den Lösungsmittelpack verdeckt werden. Für diesen Zweck wurde anstelle einer Standar-

dinjektionsnadel eine Mikroliterspritze verwendet und nicht, wie bei den übrigen Messungen, 2 μ L einer 5%igen Lösung injiziert, sondern ca. 0,1 μ L des unverdünnten Öls. Danach wurde das Chromatogramm von Anfang an integriert. Im Elutionszeitraum von 0,0 bis 4,0 Minuten konnten zahlreiche Peaks detektiert werden, deren Fläche 0,18% der Gesamtfläche aller Peaks im Chromatogramm ausmacht. Die Abbildung 49 zeigt den Chromatogrammausschnitt von 0 bis 10 Minuten und einen vergrößerten Ausschnitt mit den genannten Komponenten.

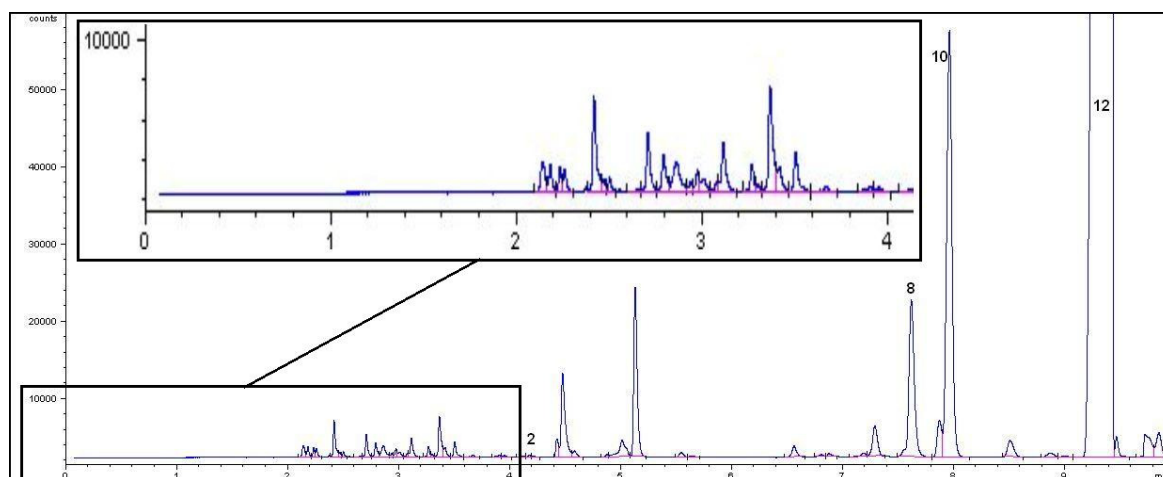


Abbildung 49: Chromatogramm der leichtflüchtigen Substanzen

Wahrscheinlich handelt es sich um kurzkettige verzweigte und unverzweigte Alkohole oder niedermolekulare Ester. Eine massenspektroskopische Auswertung konnte nicht vorgenommen werden, weil die Injektion eines unverdünnten Öls für solche Analysen nicht möglich ist. Bei der quantitativen Auswertung wurden diese Peaks nicht berücksichtigt, da nur ein Handelsöl auf diesem Wege vermessen wurde.

2.2.2 Extrakt²

2.2.2.1 Matrizinnachweis

Das ätherische Öl von *Eriocephalus tenuifolius* weist eine blaue Färbung auf. Bei der Destillation ist zu beobachten, dass diese Einfärbung während der Destillation entsteht. Dieses Phänomen ist auch bekannt für Kamillenöl, dem ätherischen Öl aus *Matricaria recutita*. Die blaue Farbe entsteht dort durch Chamazulen, das über Zwischenstufen aus Matrizin gebildet wird.

Bei der Wasserdampfdestillation von *Eriocephalus tenuifolius* entsteht unter Laborbedingungen nach ca. 30 Minuten diese tiefblaue Färbung, verursacht durch die Komponenten Chamazulen und 1,4-Dimethylazulen. Es war zu überprüfen, ob diese beiden Komponenten wie bei der europäischen Kamille aus dem Proazulen Matricin gebildet werden. Für diese Untersuchung wurde ein „Kaltextrakt“ hergestellt, indem die Blätter der Pflanze im Mörser unter Zugabe von flüssigem Stickstoff zerrieben wurden. Nach Extraktion mit Chloroform und anschließendem Einengen wurde mit Toluol aufgenommen. Diese Lösung wurde für einen Nachweis auf Matrizin verwendet. Der Nachweis auf Matrizin im Kaltextrakt wurde nach Methode DAB 10 durch phosphorsaures Dimethylaminobenzaldehyd mit positivem Ergebnis durchgeführt.

2.2.2.2 Nachweis genuiner Azulene

Zur Prüfung, ob neben dem genuinen Proazulen Matrizin auch die beiden Azulene 1,4-Dimethylazulen und Chamazulen genuin im Öl vorkommen, sollte ein Kaltextrakt sowohl mit dem Öl als auch mit der blauen Farbfraction des Öls gaschromatographisch verglichen werden.

Für den Kaltextrakt wurden die Blätter von *Eriocephalus tenuifolius* mit flüssigem Stickstoff zerrieben, mit Ethylacetat im Ultraschallbad und im Kühlschrank extrahiert und das Ethylacetat nach Trocknung eingengt. Diese Lösung wurde für die Gaschromatographie eingesetzt.

Um die farbgebenden Komponenten des Öls von anderen Komponenten abzutrennen, wurde eine Trockensäulenchromatographie (TSC) des ätherischen Öls an Kieselgel mit *n*-Hexan und eine sich anschließende semipräparative DC durchgeführt. Es zeigten sich zwei blaue Banden. Diese wurden mit dem Kieselgel ausgekratzt und nach Extraktion mit *n*-Hexan als Prüflösung für die Gaschromatographie eingesetzt.

² Einige Teile dieses Kapitels wurden bereits veröffentlicht: Mierendorff, H.-G., Stahl-Biskup, E. "Paper No. B15, 31st International Symposium on Essential Oils 2000, Hamburg, Germany." (2000)

Zum Vergleich wurde das ätherische Öl in *n*-Hexan der Gaschromatographie zugeführt.

Alle drei Lösungen wurden gaschromatographisch und massenspektroskopisch vermessen. Die Abbildungen 50 und 51 zeigen die Gaschromatogramme bzw. den relevanten Ausschnitt der drei Lösungen übereinander gelegt.

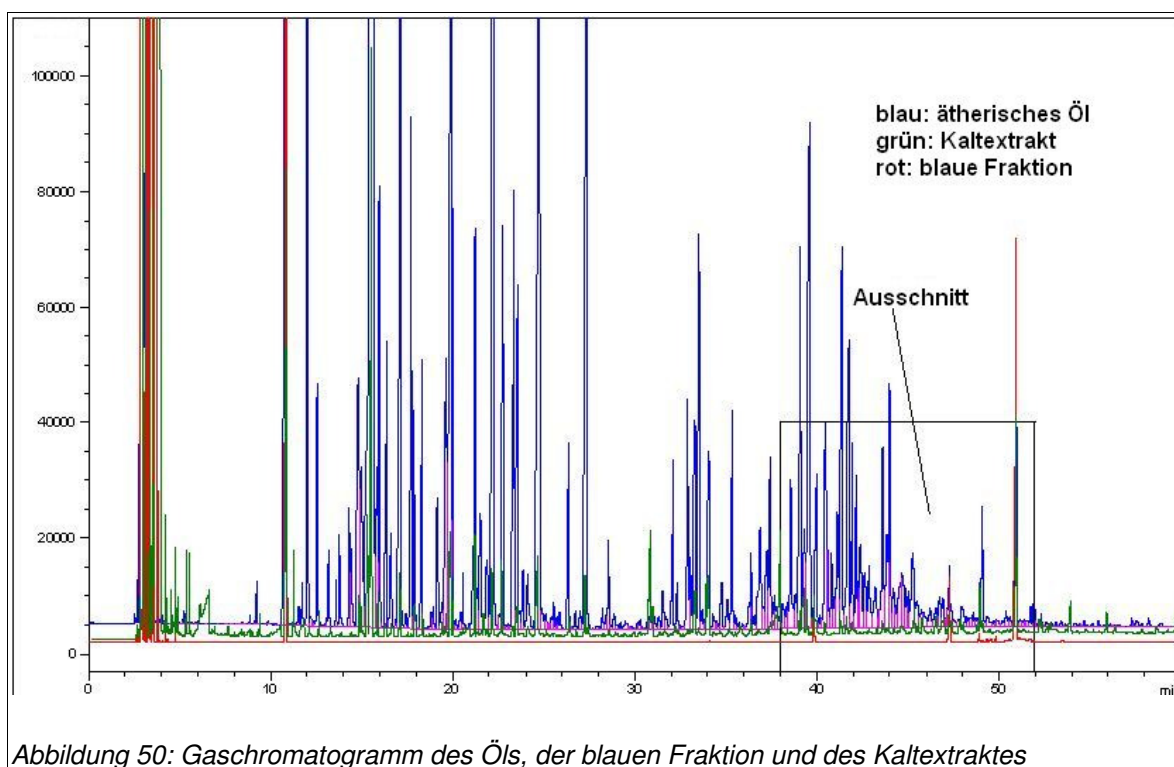


Abbildung 50: Gaschromatogramm des Öls, der blauen Fraktion und des Kaltextraktes

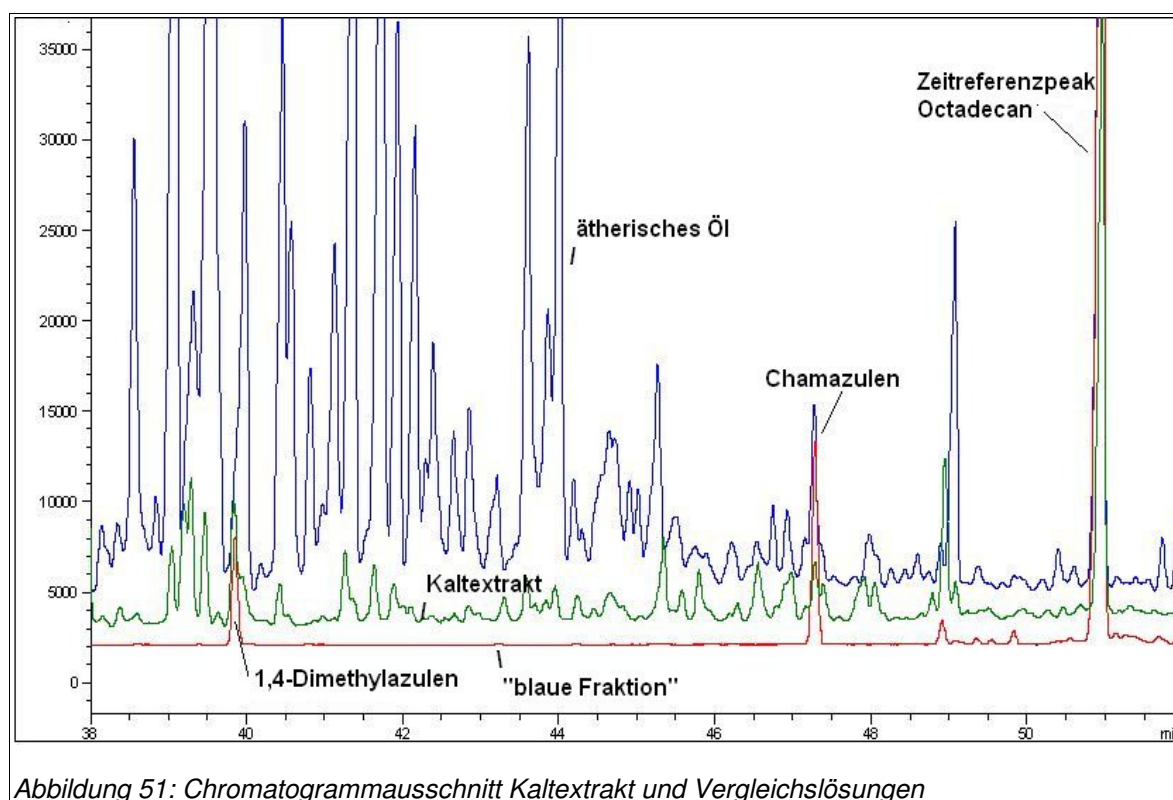
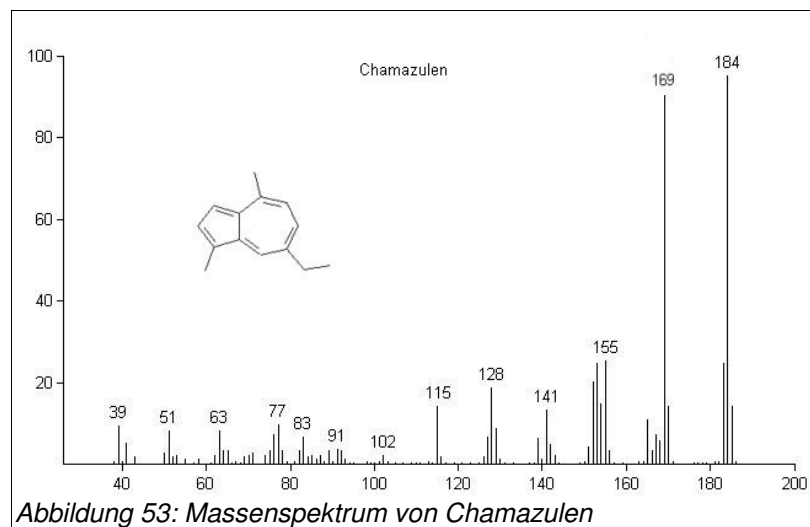
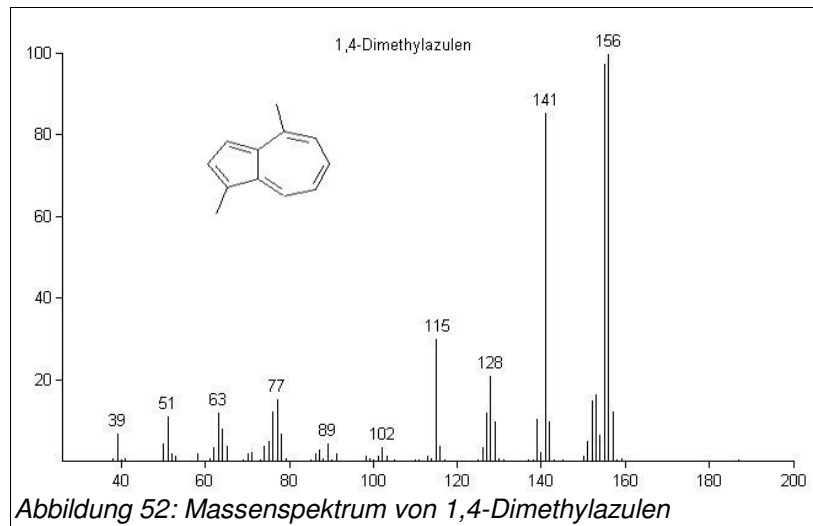


Abbildung 51: Chromatogrammausschnitt Kaltextrakt und Vergleichslösungen

Zusätzlich zu dem ansonsten in dieser Arbeit verwendeten reinen Lösungsmittel *n*-Hexan wurde Octadecan als Zeitreferenzsubstanz hinzugefügt, damit ein exaktes Übereinanderlegen der drei Chromatogramme gewährleistet ist. Zu den Retentionszeiten, an denen im Chromatogramm der blauen Fraktion die beiden Azulene detektiert werden (39,8 min, 47,3 min), sind sowohl im Öl als auch im Kaltextrakt deutliche Peaks zu sehen (Abbildung 51). Ein Vergleich der Massenspektren dieser Substanzen zeigt, dass im Öl diese Komponenten vorliegen, jedoch die Peaks des Kaltextraktes ein deutlich abweichendes Massenspektrum aufweisen. Diese Tatsache ist schon durch das Fehlen der beiden jeweiligen Massenpeaks von 1,4-Dimethylazulen (mz 156) und Chamazulen (mz 184) begründet (Abbildungen 52 und 53).



Auf diese Weise gelang der Beweis dafür, dass die beiden farbgebenden Komponenten 1,4-Dimethylazulen und Chamazulen erst während der Destillation entstehen und nicht genuin in der Pflanze vorhanden sind [MIERENDORFF et al., 2000].

3 Wildpflanzen

3.1 Pflanzenmaterial

Ein Teil des für diese Arbeit verwendeten Pflanzenmaterials wurde auf einer Forschungsreise gesammelt. Das Sammelgebiet liegt nördlich des Königreiches von Lesotho in „Orange Free State“ (Oranje Vrystaat) in der Republik Südafrika (RSA). Dort wurden im August 2000 an 6 verschiedenen Standorten 25 Pflanzenproben von verschiedenen Büschen genommen. Allerdings lag von nur 20 der 25 gesammelten Pflanzen genügend Material vor, um daraus das ätherische Öl zu gewinnen. Tabelle 7 zeigt eine Aufstellung der Standorte, GPS-Koordinaten, Pflanzenmengen und der jeweiligen Ölausbeuten. Das „Sammelgewicht“ bezeichnet die Gesamtmenge des frischen Pflanzenmaterials, das an diesem Standort geschnitten wurde, die zur Destillation eingesetzte Pflanzenmenge wird unter „Destillationsgewicht“ angegeben.

Tabelle 7: Standorte, Mengen und Ölausbeuten der Wildpflanzen *Eriocephalus tenuifolius*

Nr.	Sammelgewicht [g]	Destillationsgewicht [g]	Ölausbeute [mg]	Ölgehalt [%]	GPS Standortkoordinaten		Ortsbezeichnung
					südliche Breite	östliche Länge	
1	285	130	300	0,23	28,41	28,11	Besters Vlei
2	195	75	175	0,23	28,41	28,11	Besters Vlei
3	160	75	366	0,49	28,41	28,04	Mount Morkel
4	250	125	650	0,52	28,41	28,04	Mount Morkel
5	300	135	913	0,68	28,41	28,04	Mount Morkel
6	200	90	305	0,34	28,41	28,04	Mount Morkel
7	200	80	200	0,25	28,41	28,14	Butha Buthe Border
8	340	160	610	0,38	28,41	28,14	Butha Buthe Border
9	400	190	1100	0,58	28,41	28,14	Butha Buthe Border
10	255	105	368	0,35	28,41	28,14	Butha Buthe Border
11	190	75	330	0,44	28,37	28,26	Mooihoek
12	315	135	785	0,58	28,36	28,33	Sunny Side
13	375	170	835	0,49	28,36	28,33	Sunny Side
14	450	220	790	0,36	28,36	28,33	Sunny Side
15	515	245	1270	0,52	28,36	28,33	Sunny Side
16	320	150	444	0,30	28,39	28,22	Kromdraai
17	295	120	410	0,34	28,39	28,22	Kromdraai
18	455	190	804	0,42	28,39	28,22	Kromdraai
19	465	200	636	0,32	28,39	28,22	Kromdraai
20	320	140	480	0,34	28,39	28,22	Kromdraai

Eine Sammlung größerer Pflanzenmengen war nicht möglich, da alle Pflanzen auf Privatland standen und es ohnehin sehr schwierig war, von den Landeignern überhaupt eine Betretungserlaubnis für das jeweilige Gebiet zu bekommen. Von den Pflanzen wurden Zweigproben in Mengen zwischen 160 und 515 g abgeschnitten und in Kühlboxen gelagert. Hauptanliegen war es, neben der Ölgewinnung die

Zweige als Stecklinge zu kultivieren, um neuartiges und vor allem mehr Pflanzenmaterial zu erhalten. Das ätherische Öl dieser Pflanzen wird im nächsten Kapitel besprochen.

3.2 Geruchscharakterisierung

Nach dem Schnitt der Pflanzenproben wurden diese in Plastiktüten verbracht und gekühlt. Nachdem am Ende der Sammlung alle Pflanzen vorlagen, wurden diese vor der Weiterverarbeitung einer sensorischen Prüfung unterzogen und die Geruchseindrücke protokolliert. In der Tabelle 8 wird die Geruchscharakterisierung der gesammelten Pflanzen wiedergegeben. Hierbei wird versucht, den Geruch zu beschreiben und auch anzugeben, inwieweit der Geruch der Wildpflanze dem Geruch einer auf der Farm kultivierten Pflanze ähnlich ist. Dabei wird mit „++“ eine sehr starke Übereinstimmung, mit „+“ eine mäßige und mit „-“ eine geringe Übereinstimmung der Gerüche beschrieben. Der Geruch der auf der Farm kultivierten Pflanzen wird mit „blumig, süßlich, fruchtig und leicht harzig“ beschrieben. Diese Grundnote war in allen gesammelten Pflanzen vorhanden, in der Tabelle werden nur die herausragenden und abweichenden Geruchsnoten wiedergegeben.

Tabelle 8: Geruchscharakterisierung und geruchliche Abweichungen der Wildpflanzen

Nr.	Ortsbezeichnung	Beschreibung der Abweichungen	Ähnlichkeit
1	Besters Vlei	sehr süß	+
2	Besters Vlei	sehr süß	+
3	Mount Morkel	sehr fruchtig	+
4	Mount Morkel	-	++
5	Mount Morkel	Geruch nach „grünem Gras“	+
6	Mount Morkel	-	++
7	Butha Buthe Border	süß und erdig	+
8	Butha Buthe Border	-	++
9	Butha Buthe Border	intensiv fruchtig	+
10	Butha Buthe Border	intensiv fruchtig	+
11	Mooihoek	harzig, kaum fruchtig	-
12	Sunny Side	wenig fruchtig, im ganzen sehr milder Geruch	+
13	Sunny Side	wenig fruchtig, im ganzen sehr milder Geruch	+
14	Sunny Side	wenig fruchtig, im ganzen sehr milder Geruch	+
15	Sunny Side	-	++
16	Kromdraai	fruchtig, harzig, intensiv	+
17	Kromdraai	harzig, kaum fruchtig	+
18	Kromdraai	sehr fruchtig und süß	-
19	Kromdraai	fruchtig, harzig, intensiv	+
20	Kromdraai	extrem harzig !, sonst kaum Ähnlichkeiten	-

3.3 Ölmuster der Wildpflanzen

Die Destillation der Öle wurde aufgrund des Ausfuhrverbotes für frisches Pflanzenmaterial aus Südafrika bzw. Einfuhrverbotes in die Bundesrepublik noch vor Ort im Farmlaboratorium von Grassroots Natural Products, Gouda, SA, durchgeführt.

Die Zusammensetzung der Öle der Wildpflanzen wird der Übersichtlichkeit halber in 2 getrennten Tabellen dargestellt (Tabelle 9 und 10). Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, werden alle Komponenten aus dem Kapitel C-1.1 aufgeführt, auch Komponenten, die in keinem der Wildpflanzenöle nachgewiesen wurden. Die Diskussion der Tabelle erfolgt im Zusammenhang mit dem Öl der Stecklingspflanzen und der Wildpflanzen im anschließenden Kapitel.

Tabelle 9: Zusammensetzung der Öle der Wildpflanzen 01-10 von *Eriocephalus tenuifolius*

Nr.	R _i	Name	Wild 01	Wild 02	Wild 03	Wild 04	Wild 05	Wild 06	Wild 07	Wild 08	Wild 09	Wild 10
1	800	3-Methyl-1-butanol	0,11	0,05	0,13	0,01	0,09	0,06	0,07	0,12	0,08	0,26
2	801	2-Methyl-1-butanol	0,45	0,28	0,56	0,04	0,43	0,39	0,36	0,64	0,70	0,01
3	810	2-Methylpropylacetat	0,06	0,02	0,01		0,11	0,01	0,02		0,08	
4	829	2-Hexanol	0,03	0,18	0,09	0,06	0,09	0,04	0,15	0,05	0,04	0,03
5	850	3-Methyl-2-butylacetat										
6	862	Ethyl-2-methylbutanoat	0,03	0,02	0,02		0,02	0,01			0,00	
7	866	Propyl 2-methylpropanoat	0,08	0,04	0,05	0,04	0,06	0,06	0,05	0,09	0,09	0,04
8	873	2-Methylpropylpropanoat	0,76		0,15					0,83		
9	878	3-Methylbutylacetat	0,03		0,04	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	0,04
10	879	2-Methylbutylacetat	0,11		0,14	0,20	0,10	0,12	0,09	0,20	0,32	0,15
11	898	2-Heptanol			0,07				0,04	0,04	0,02	
12	909	2-Methylpropyl-2-methylpropanoat	9,41	5,85	8,45	10,51	10,93	16,02	7,74	15,21	10,31	7,75
13	910	Santolinatrien			2,74		0,07			0,08		
14	911	Ethyl-3-methyl-2-butenat										
15	917	Tricyclen										
16	922	α-Thujen	0,02	0,04	0,02	0,03	0,01	0,03	0,03	0,05	0,03	0,12
17	926	2-Methylpropylmethacrylat	0,56	0,36	0,55	0,02	0,36	0,43	0,16	0,49	0,26	0,13
19	932	α-Pinen	6,48	2,74	3,63	0,61	0,50	0,14	3,99	4,69	2,89	7,58
20	942	Camphen	0,13	0,24	0,03	0,09		0,04		0,33		1,10
21	943	α-Fenchen					0,41		0,07		0,08	
22	945	Verbenen							0,01		0,03	
23	946	Thuja-2,4(10)-dien					0,01			0,28		
24	951	n-Pentylpropanoat		0,02		0,18						
25	952	3-Methylbutylpropanoat	0,10	0,07	0,02	0,91	0,05	0,04	0,04	0,02	0,01	
26	955	2-Methylbutylpropanoat			0,10		0,19	0,13	0,06	0,09	0,13	
27	963	Sabinen	0,23	0,04	0,21	0,36	0,11	0,23	0,07	0,09	0,09	0,13
28	966	β-Pinen	0,59	0,45	0,51	0,19	0,21	0,08	0,39	0,42	0,18	0,62
29	967	2-Octanon				0,08			0,02		0,14	
30	976	2,3-Dehydro-1,8-cineol	0,07	0,05	0,04	0,03	0,08	0,07	0,08	0,10		
31	976	2-Pentylfuran	0,05	0,06	0,06	0,05	0,03	0,05	0,07	0,05		
32	977	Dehydroxylinalooloxid A									0,36	
33	979	β-Myrcen	0,09	0,04					0,06		0,09	0,06
34	980	cis-Epoxyocimen			0,45		0,20	0,26		0,36		
35	982	2-Octanol		0,07		0,21			0,03			
36	986	2-Methylpropyl-2-methylbutanoat	0,64	0,56	0,86	0,66	1,26	1,56	0,90	0,80	1,32	0,81
37	989	2-Methylpropyl-3-methylbutanoat		0,36	0,19	0,39	0,27	0,28	0,15	0,61	0,53	0,22
38	993	α-Phellandren	0,11									

C Ergebnisse

Nr.	R _i	Name	Wild 01	Wild 02	Wild 03	Wild 04	Wild 05	Wild 06	Wild 07	Wild 08	Wild 09	Wild 10
39	995	3-Methylbutyl-2-methylpropanoat	1,15	1,84	2,88	2,17	2,02	1,74	2,28	2,26	4,33	2,87
40	997	Lavenderlacton										
41	1002	2-Methylbutyl-2-methylpropanoat	18,87	11,43	18,02	15,90	19,59	17,55	19,51	19,28	12,77	15,06
42	1005	α-Terpinen	1,82	0,44	0,64	0,53	0,17	0,59		0,10	0,68	0,92
43	1007	p-Cymen	4,07	0,99	1,72	0,08	0,92	1,29	0,23	0,20	1,91	3,21
44	1013	1,8-Cineol	0,63	0,29	0,25	0,16	0,51	0,23	0,46	0,31	0,27	0,33
45	1015	Limonen	0,39	0,39	0,41	0,33	0,27	0,48	0,58	0,41	0,27	0,38
46	1019	3-Methylbutylmethacrylat	0,08		0,14	0,13	0,07	0,04	0,04	0,22	0,03	
47	1021	2-Methylbutylmethacrylat	0,63	0,07	0,95	1,32	0,58	0,49	0,49	1,28	0,37	
48	1022	2-Heptylacetat							0,01	0,01		
49	1026	cis-Arbusculon										
50	1030	2-Methylpropylangelat	0,73	3,21	9,53	7,24	1,30	2,10	4,49	3,73	5,50	2,35
51	1033	(E)-β-Ocimen									0,09	
52	1037	2-Methylbutylbutanoat				1,32						
53	1039	trans-Arbusculon	0,04						0,06		0,05	
54	1040	(E)-3-Hexenylbutanoat			0,35		0,33	0,31		0,32		
55	1043	γ-Terpinen	3,19	0,67	1,05	0,09	0,55	0,91	0,16	0,10	1,32	1,42
56	1043	7-Methyl-2-octanol				0,11	1,02	3,03	7,76	2,75	0,06	1,00
57	1046	trans-Sabinenhydrat	1,13	2,01	0,88		1,21	2,40		0,45	0,18	
58	1053	Linalooloxid	0,04	0,05	0,04		0,02		0,04		0,04	
59	1055	Butylangelat	0,32	0,19	0,17	0,21	0,26	0,39	0,15	0,27	0,68	0,19
60	1059	Dihydromyrcenol										
61	1063	Artemisiaalkohol			0,07		0,42	0,05	0,02	0,37		
62	1066	2-Nonanon		0,05	0,46	0,22						
63	1067	p-Cymenen	0,10						0,06			0,13
64	1068	Butyltiglat	0,03	0,05	0,04	0,16	0,05	0,13	0,04	0,10	0,06	
65	1072	Terpinolen	0,65	0,25	0,24	0,01	0,14	0,21	0,22	0,04	0,31	0,34
66	1075	cis-Sabinenhydrat	0,93	0,15	0,35	0,01	0,18	0,30		0,03	0,11	0,23
67	1077	Linalool	0,30	0,06	0,12	0,06	0,04	0,50		0,16	1,59	
68	1082	3-Methylbutyl-2-methylbutanoat	0,32	0,53	0,62	0,42	0,84	0,29	0,87	0,59	0,60	0,99
69	1087	2-Methylbutyl-2-methylbutanoat	1,90	1,56	2,18	1,75	2,97	2,72	2,07	1,74	2,75	2,92
70	1089	2-Methylbutyl-3-methylbutanoat	0,14	0,14	0,11	0,24	0,25	0,19	0,11	0,28	0,33	
71	1092	Hexyl-2-methylpropanoat		0,10		0,18	0,32		0,04			
72	1093	1,3,8-Menthatrien	0,07		0,16		0,14			0,15		
73	1097	α-Campholenal	0,33	0,13	0,30	0,05	0,14		0,26	0,34	0,22	0,54
75	1099	cis-p-Menth-2-en-1-ol	1,19	0,71	0,44	0,02	0,27	0,37	0,07		0,50	0,63
76	1111	Campher	0,33	1,07	0,12	0,37	0,20	0,15	0,06	1,69	0,33	5,38
77	1116	trans-Pinocarveol	2,28		0,75	0,06	0,40	0,20	0,80	1,62	1,72	3,16
78	1118	trans-p-Menth-2-en-1-ol	0,61	0,30	0,75		0,49	0,20	0,04			
79	1121	2-Octylacetat		0,36	0,20	0,07	0,05	0,13	1,02	0,72		0,69
80	1125	trans-Verbenol		0,19								
81	1125	Menthon										
82	1128	3-Methylbutylangelat		0,19	0,30	0,42		0,31				
83	1131	Pinocarvon	2,40	0,45	1,03		0,63		0,81	1,31	2,00	2,36
84	1134	2-Methylbutylangelat	1,35	1,65	2,04	2,90	2,05	2,72	1,25	1,59	2,34	0,35
85	1140	trans-Chrysanthemol			0,53		0,26	0,35	0,08	0,29		
86	1143	Borneol	0,55	1,07	0,15	0,64	0,17	0,29	0,38	1,06	0,33	3,92
87	1145	p-Methylacetophenon										
88	1146	Lavandulol			0,16	0,02	0,09	0,15		0,11		0,09
89	1147	Cymen-9-ol										
90	1156	Terpinen-4-ol	8,90	2,08	2,91	0,12	1,61	2,51	0,50	0,44	3,85	4,43
91	1162	Pentylangelat	0,77	0,44	0,61	0,31	0,64	0,50	0,38	0,72	1,01	0,62
92	1166	α-Terpineol	0,36	0,15	0,27	0,14	0,19	0,24	0,20	0,16	0,55	0,23
93	1174	Pentyltiglat		0,14	0,30	0,28	0,21	0,40	0,14	0,12	0,50	
94	1175	Myrtenol	0,33	0,14	0,23		0,21		0,14	0,78	0,13	0,75
95	1177	cis-Piperitol	0,33									
96	1184	α-Campholenol	0,06						0,06	0,26	0,09	0,14

Nr.	R _i	Name	Wild 01	Wild 02	Wild 03	Wild 04	Wild 05	Wild 06	Wild 07	Wild 08	Wild 09	Wild 10
97	1187	7-Methyl-2-octylacetat			0,47		0,30	0,10	6,53	2,11		1,58
98	1188	<i>trans</i> -Piperitol	0,47					0,10				
99	1194	<i>trans</i> -Carveol	0,21	0,14	0,19		0,13		0,14	0,23	0,21	0,34
100	1200	<i>cis</i> -Carveol		0,05	0,06				0,10			
101	1201	<i>cis</i> -p-Mentha-1(7),8-dien-2-ol								0,91		0,10
102	1207	Nerol					0,09				0,14	
103	1208	p-Isopropylbenzaldehyd										
104	1209	Pulegon										
105	1209	Carvon			0,07		0,06	0,18	0,07	0,08	0,06	0,10
106	1213	<i>trans</i> -Pinocarvylformiat								0,01		
107	1219	Ethyl-3-acetoxyhexanoat	0,20						0,04			
108	1220	Piperiton			0,06						0,08	
109	1221	2-Nonylacetat										0,18
110	1234	Geraniol									0,22	
111	1241	Linalylacetat									0,50	
112	1253	<i>cis</i> -Chrysanthenylacetat										
113	1266	Bornylacetat		0,09		0,03		0,07	0,06	0,24		0,24
114	1267	Thymol	0,16		0,06						0,06	0,14
115	1269	Phenylmethyl-2-methylpropanoat	0,13		0,04	0,08	0,05	0,03	0,23	0,05	0,02	
116	1272	Nerylformiat										
117	1273	Geranylformiat										
118	1273	Diosphenol			0,15		0,13					
119	1276	<i>trans</i> -Pinocarvylacetat										
120	1277	Carvacrol	0,13								0,07	0,13
121	1281	<i>trans</i> -Sabinenhydrateacetat		0,01								
122	1282	Terpinen-4-olacetat	0,38		0,24		0,13	0,19	0,02		0,20	0,33
123	1288	(<i>E,E</i>)-2,4-Decadienal										
124	1304	Myrtenylacetat	0,03		0,04	0,19	0,07		0,04	0,29	0,14	0,21
125	1316	<i>trans</i> -Carvylacetat								0,22	0,10	
127	1332	α -Terpinylacetat							0,02			0,11
128	1344	Nerylacetat									0,10	
129	1347	α -Longipinen		0,05						0,04		0,05
130	1361	(<i>E</i>)- β -Damascenon			0,10	0,11			0,09	0,06		0,18
131	1362	Geranylacetat									0,34	
132	1365	(<i>E</i>)-Jasmon										
133	1368	2-Phenylethyl-2-methylpropanoat	0,15		0,08	0,11	0,15		0,16	0,16	0,08	0,17
134	1370	Longicyclen										
135	1374	α -Copaen	0,54	0,69	0,10	0,73	0,06	0,99	0,85	0,53	0,11	0,29
136	1376	Modhephen										
137	1383	α -Isocomen	0,03	0,03	0,03	0,06	0,08		0,08	0,06	0,04	0,07
138	1387	β -Elemen	0,06	0,05					0,07	0,12	0,11	
139	1387	α -Funebren										
140	1388	Lyratylacetat			0,26		0,13	0,33		0,12	0,06	
141	1401	Longifolen										
142	1409	Unbekannte Komponente MW=220 (A)	0,07	0,05			0,07		0,13			
143	1409	2-Methylbutylbenzoat										
144	1412	Germacren D										
145	1414	Isocsaryophyllen			0,12	0,04	0,03	0,26	0,05	0,05		
146	1424	β -Copaen		0,01			0,04					
147	1434	α -Guajen									0,07	
148	1435	Aromadendren	0,02	0,02	0,26					0,01		
149	1441	Prezizaen			0,14	0,16						0,16
150	1447	α -Humulen						0,06				
151	1452	Unbekannte Komponente MW=206 (B)	0,11	0,37	0,12	0,40	0,26			0,28		

C Ergebnisse

Nr.	R _i	Name	Wild 01	Wild 02	Wild 03	Wild 04	Wild 05	Wild 06	Wild 07	Wild 08	Wild 09	Wild 10
152	1452	allo-Aromadendren	0,17		0,09							
153	1460	Unbekannte Komponente MW=202 (C)	0,14	0,71	0,04					0,09		0,08
154	1460	3-Methylbutylphenylacetat										
155	1464	2-Methylbutylphenylacetat										
156	1468	Amorpha-4,11-dien		0,15		0,25	0,20					
157	1469	Unbekannte Komponente MW=234 (D)										
158	1470	Davanaether	0,08		0,12			0,15		0,09		
159	1473	Amorpha-4,7(11)-dien		0,13		0,13	0,16					
160	1478	β-Selinene									0,04	
161	1480	γ-Humulene	0,03			0,10	0,10					
162	1483	1,3-Dimethyladamantan		0,54		0,79	0,51					
163	1489	Bicyclogermacren	0,45	0,37	0,43		0,26	0,46			0,10	
164	1493	α-Muurolen						0,11				
165	1498	α-Bulnesen									1,32	
166	1499	Laciniatafuranon G										
167	1500	Artedouglasiaoxid C	1,20	1,94	1,59	1,50	1,02	1,81	2,05	1,43	0,47	1,49
168	1505	Laciniatafuranon F	0,21	0,34	0,50	0,38	0,49	0,71	0,40	0,48	0,18	0,28
169	1511	Artedouglasiaoxid A	1,87	2,59	2,42	2,36	1,64	2,44	2,94	2,07	1,54	2,18
170	1515	Laciniatafuranon E	0,20	0,23	0,33	0,23	0,21	0,30	0,21	0,18	0,10	0,15
171	1517	1,4-Dimethylazulen	0,16	0,20	0,24	0,22	0,19	0,34	0,34	0,37	0,28	0,37
172	1522	Laciniatafuranon H	0,40	0,76	0,75	0,80	0,78	0,81	0,63	0,56	0,32	0,54
173	1526	α-Calacoren				0,13						0,06
174	1532	Artedouglasiaoxid D	0,56	0,74	0,64	0,67	0,52	0,79	0,88	0,67	0,45	0,69
175	1537	Isodavanon	0,18	0,27		0,27	0,21	0,38	0,29	0,22	0,11	0,21
176	1542	Davanon B	0,11	0,19	0,17	0,16	0,16	0,26	0,11	0,20	0,04	0,12
177	1553	Artedouglasiaoxid B	0,66	1,07	1,00	0,99	0,55	1,31	1,15	0,83	0,62	0,92
178	1557	Davanon D	0,09		0,15	0,20	0,25	0,29	0,39	0,26		0,09
180	1562	Spathulenol	2,24	2,09	4,97	10,79	7,82	3,03	5,63	1,90	0,73	1,22
181	1566	Caryophyllenoxid	0,26	4,79	0,61			0,81		0,17		0,18
182	1572	β-Copaen-4-α-ol	0,60	0,58	0,22	0,46	0,05	0,92	0,64	0,47	0,24	0,44
183	1573	4-Dehydroviridiflorol							0,30			
184	1579	Globulol			0,20		0,02				0,10	0,17
185	1580	Viridiflorol	0,25	0,23	0,16	0,20	0,10	0,28	0,23			
186	1582	4(15)-Dehydroglobulol										
187	1586	Unbekannte Komponente MW=250 (E)	0,27	0,30			0,29					
188	1588	β-Oplopenon			0,49							
189	1589	Unbekannte Komponente MW=222 (F)	0,19	0,19	0,23		0,43	0,44				
190	1598	Unbekannte Komponente MW=218 (G)	0,18	0,25	0,27		0,12					
191	1608	Unbekannte Komponente MW=222 (H)	0,24	0,86	0,16			1,13	0,25	1,31		
192	1617	Caryophylla-3(15),7(14)-dien-6-ol	0,37		0,67			1,21				
193	1619	Isospathulenol				0,41			0,40	0,23		
194	1625	Amorpha-4-en-7-ol	0,22	6,50		8,77	5,61	0,17				0,55
195	1626	α-Cadinol			0,11							
196	1637	Amorph-4-en-10-α-ol	0,32		0,33							
197	1642	Pogostol		10,39			0,14	0,28			13,72	
198	1652	Cadalen	0,15									
199	1666	α-Bisabolol	0,19		0,28				0,23	0,22		0,16
200	1700	Chamazulen	0,17	0,36	0,10	0,37	4,55	0,33	0,26	0,27	0,21	0,23
201	1950	Hexadecansäure				0,14						
202	2065	Verticellol	0,35	0,13					0,17		0,07	
		Summe	92,62	83,46	91,39	84,94	85,45	85,56	86,73	89,58	88,93	89,17

Tabelle 10: Zusammensetzung der Öle der Wildpflanzen 11-20 von *Eriocephalus tenuifolius*

Nr.	R _i	Name	Wild 11	Wild 12	Wild 13	Wild 14	Wild 15	Wild 16	Wild 17	Wild 18	Wild 19	Wild 20
1	800	3-Methyl-1-butanol	0,15	0,13	0,10	0,13	0,05	0,28	0,09	0,23	0,34	0,35
2	801	2-Methyl-1-butanol	0,52	0,66	0,54	0,53	0,41	1,00	0,34	0,84	1,25	1,12
3	810	2-Methylpropylacetat		0,01	0,04	0,02		0,02	0,01		0,11	0,11
4	829	2-Hexanol	0,10	0,09	0,08	0,12	0,10	0,15	0,06	0,10	0,02	0,13
5	850	3-Methyl-2-butylacetat										
6	862	Ethyl-2-methylbutanoat								0,06		
7	866	Propyl 2-methylpropanoat		0,05	0,03				0,02	0,20		0,07
8	873	2-Methylpropylpropanoat				0,74	0,23					
9	878	3-Methylbutylacetat	0,09	0,06	0,02			0,10	0,04	2,17	0,21	0,22
10	879	2-Methylbutylacetat	0,52	0,26	0,01	0,08	0,09	0,64	0,15	0,14	1,60	0,82
11	898	2-Heptanol		0,02	0,01							
12	909	2-Methylpropyl-2-methylpropanoat	8,11	5,16	6,94	6,32	6,93		3,52	11,72	5,39	7,68
13	910	Santolinatrien					0,05		2,46			
14	911	Ethyl-3-methyl-2-butenoat										
15	917	Tricyclen										
16	922	α -Thujen		0,93	0,02							
17	926	2-Methylpropylmethacrylat	0,49	0,28	1,26	0,32	0,30		0,15	0,43	0,46	0,53
19	932	α -Pinen	3,03	3,00	0,22	7,82			3,29	8,90	6,63	3,09
20	942	Camphen						0,06		0,02	0,10	0,41
21	943	α -Fenchon	0,16		0,07		0,06		0,30	0,24	0,10	
22	945	Verbene	0,02									
23	946	Thuja-2,4(10)-dien	0,02	0,09				0,01				
24	951	n-Pentylpropanoat										
25	952	3-Methylbutylpropanoat	0,07		0,02			0,06	0,04		0,08	0,07
26	955	2-Methylbutylpropanoat	0,36	0,15	0,11	0,06	0,15	0,32	0,15	0,06	0,35	0,24
27	963	Sabine	0,31	0,44	0,09	0,05	0,06	0,05	0,04	0,22	0,04	0,03
28	966	β -Pinen	0,36	0,31	0,05	0,65	0,09	0,82	0,57	0,99	0,77	0,38
29	967	2-Octanon	0,01			0,02	0,08	0,01		0,02		0,01
30	976	2,3-Dehydro-1,8-cineol			0,07			0,06			0,07	
31	976	2-Pentylfuran			0,05		0,01				0,05	
32	977	Dehydroxylinalooloxid A										
33	979	β -Myrcen		0,06	0,04	0,09	0,03	0,06	0,09	0,20	0,11	
34	980	cis-Epoxyocimen							0,10	0,25	0,01	
35	982	2-Octanol	0,20		0,01		0,05		0,37	0,46		0,01
36	986	2-Methylpropyl-2-methylbutanoat	0,20	0,29	0,22	0,66	0,50	0,26	0,24	0,42	0,38	0,31
37	989	2-Methylpropyl-3-methylbutanoat	0,63		0,39	0,10	0,25	0,17	0,08	0,20	0,26	0,30
38	993	α -Phellandren	0,46	0,25								
39	995	3-Methylbutyl-2-methylpropanoat	1,73	1,08	0,88	2,59		1,68	1,38	1,97	1,43	1,42
40	997	Lavenderlacton				0,99						
41	1002	2-Methylbutyl-2-methylpropanoat	9,02	13,68	12,48	13,36	13,81	10,36	6,61	13,04	11,18	10,64
42	1005	α -Terpinen	1,80	2,55	1,09	0,08	0,04	0,46	0,07	0,38		0,04
43	1007	p-Cymen	4,41	6,18	1,50	0,12	0,04	1,74	0,41	0,74	0,13	0,10
44	1013	1,8-Cineol	1,89	0,45	0,48	0,22	0,13	0,36	0,09	0,31	0,20	0,15
45	1015	Limonen	0,29	0,42	0,41	0,51	0,22	0,50	0,32	0,44	0,53	0,40
46	1019	3-Methylbutylmethacrylat	0,05	0,14	0,30	0,08	0,06	0,12	0,05	0,11	0,18	0,24
47	1021	2-Methylbutylmethacrylat	0,35	1,01	1,83	0,61	0,58	0,86	0,34	0,75	1,01	1,32
48	1022	2-Heptylacetat	0,03		0,01		0,01					
49	1026	cis-Arbusculon										
50	1030	2-Methylpropylangelat	1,01	3,36	3,29	0,70	2,13	1,11	4,32	6,68	1,52	2,17
51	1033	(E)- β -Ocimen										
52	1037	2-Methylbutylbutanoat										0,61
53	1039	trans-Arbusculon		0,04	0,05	0,07		0,06				0,50
54	1040	(E)-3-Hexenylbutanoat	0,28					0,09	0,25	0,45		

C Ergebnisse

Nr.	R _i	Name	Wild 11	Wild 12	Wild 13	Wild 14	Wild 15	Wild 16	Wild 17	Wild 18	Wild 19	Wild 20
55	1043	γ-Terpinen	3,17	5,21	2,08				0,06	0,57	0,06	
56	1043	7-Methyl-2-octanol	2,52	0,03	1,64	0,03	1,27	0,69	0,69		3,08	2,28
57	1046	trans-Sabinenhydrat	2,48	0,97	1,44							
58	1053	Linalooloxid						0,05	0,01			0,32
59	1055	Butylangelat	0,23	0,09	0,17	0,19	0,19	0,19	0,12	0,36	0,21	0,16
60	1059	Dihydromyrcenol						0,02				
61	1063	Artemisiaalkohol	0,20						0,02			
62	1066	2-Nonanon					0,04		0,16			0,03
63	1067	p-Cymenen	0,10		0,10							
64	1068	Butyltiglat	0,05		0,07	0,03	0,05	0,07	0,03		0,08	0,07
65	1072	Terpinolen	0,64	0,96	0,48							
66	1075	cis-Sabinenhydrat	1,35		0,34			0,05	0,02			
67	1077	Linalool	0,07	1,10	0,38	0,04		0,09	0,08		0,06	0,03
68	1082	3-Methylbutyl-2-methylbutanoat	0,38	0,32	0,20	0,58	0,48	0,23	0,33	0,52	0,35	0,35
69	1087	2-Methylbutyl-2-methylbutanoat	1,15	0,95	0,48	1,79	1,17	0,09	0,91	1,14	0,98	0,59
70	1089	2-Methylbutyl-3-methylbutanoat	0,32	0,10	0,17	0,14	0,27	0,18	0,12	0,29	0,19	0,13
71	1092	Hexyl-2-methylpropanoat		0,04		0,02	0,05	0,03				0,02
72	1093	1,3,8-Menthatrien		0,11								
73	1097	α-Campholenal	0,21	0,15		0,36	0,06	0,34	0,23	0,27	0,21	0,23
75	1099	cis-p-Menth-2-en-1-ol	1,19	1,56	0,59	0,27	0,01	0,34	0,03		0,04	0,05
76	1111	Campher	0,73		0,53	0,24	0,04	0,06	0,08	0,17	0,45	3,09
77	1116	trans-Pinocarveol	1,09	0,64	0,12	0,90	0,10	1,21	0,76	1,31	0,47	0,54
78	1118	trans-p-Menth-2-en-1-ol	0,68	0,92	0,39		0,03					
79	1121	2-Octylacetat	0,29		0,39		0,10		0,11	0,19	0,16	0,50
80	1125	trans-Verbenol		0,79								
81	1125	Menthon										
82	1128	3-Methylbutylangelat	0,24		0,38	0,24	0,34	0,43	0,24		0,51	0,32
83	1131	Pinocarvon	0,91	0,82		0,79	1,97	1,02	0,81	0,92	0,64	0,64
84	1134	2-Methylbutylangelat	1,38	2,02	1,86	1,56		2,84	1,42	2,62	2,18	1,27
85	1140	trans-Chrysanthemol							0,34	0,34		
86	1143	Borneol	0,61		0,54	0,43	0,03	0,10	0,38	0,30	0,28	1,27
87	1145	p-Methylacetophenon	0,06			0,05	0,02	0,05				0,07
88	1146	Lavandulol	0,11						0,16	0,22		
89	1147	Cymen-9-ol				0,02						
90	1156	Terpinen-4-ol	8,98	14,24	5,57	0,24	0,11	2,48	0,29	1,88	0,17	0,16
91	1162	Pentylangelat	0,58	0,16	0,25	0,33	0,40	0,44	0,49	0,84	0,45	0,42
92	1166	α-Terpineol	0,55	0,55	0,26	0,16	0,06	0,24	0,09	0,26	0,12	0,11
93	1174	Pentyltiglat		0,31	0,10	0,15	0,17	0,42	0,24	0,20	0,20	0,38
94	1175	Myrtenol	0,37	0,98	0,15	0,13			0,05	0,26	0,20	
95	1177	cis-Piperitol	0,34		0,16							
96	1184	α-Campholenol		0,30	0,03							
97	1187	7-Methyl-2-octylacetat	0,89		1,91	0,05	0,56	0,11	0,09		0,42	1,51
98	1188	trans-Piperitol	0,03	0,68				0,10				
99	1194	trans-Carveol	0,14			0,21		0,17	0,12		0,15	0,17
100	1200	cis-Carveol										
101	1201	cis-p-Mentha-1(7),8-dien-2-ol										
102	1207	Nerol										
103	1208	p-Isopropylbenzaldehyd	0,12									
104	1209	Pulegon										
105	1209	Carvon	0,08			0,05	0,03	0,05	0,03		0,05	0,05
106	1213	trans-Pinocarvylformiat				0,03			0,04			
107	1219	Ethyl-3-acetoxyhexanoat	0,03			0,02					0,51	0,50
108	1220	Piperiton		0,18		0,01		0,05				0,01
109	1221	2-Nonylacetat										
110	1234	Geraniol										
111	1241	Linalylacetat										
112	1253	cis-Chrysanthenylacetat	0,10						0,10	0,15		

Nr.	R _i	Name	Wild 11	Wild 12	Wild 13	Wild 14	Wild 15	Wild 16	Wild 17	Wild 18	Wild 19	Wild 20
113	1266	Bornylacetat	0,07			0,04		0,05			0,08	0,08
114	1267	Thymol	0,19	0,15								
115	1269	Phenylmethyl-2-methylpropanoat					0,05	0,03	0,02			
116	1272	Nerylformiat							0,11			
117	1273	Geranylformiat								0,16		
118	1273	Diosphenol										
119	1276	<i>trans</i> -Pinocarvylacetat								0,06		
120	1277	Carvacrol	0,15	0,22				0,06				
121	1281	<i>trans</i> -Sabinenhydrateacetat										
122	1282	Terpinen-4-olacetat	0,51	1,15				0,03	0,02			
123	1288	(<i>E,E</i>)-2,4-Decadienal	0,06									
124	1304	Myrtenylacetat	0,12	0,54	0,02			0,10	0,03	0,03	0,44	0,07
125	1316	<i>trans</i> -Carvylacetat										
127	1332	α -Terpinylacetat	0,03	0,40								
128	1344	Nerylacetat										
129	1347	α -Longipinen									0,06	
130	1361	(<i>E</i>)- β -Damascenon				0,08		0,08		0,14	0,07	
131	1362	Geranylacetat							0,14			
132	1365	(<i>E</i>)-Jasmon						0,06				
133	1368	2-Phenylethyl-2-methylpropanoat	0,12	0,17	0,16	0,08	0,19	0,10	0,17	0,17	0,10	0,07
134	1370	Longicyclen										
135	1374	α -Copaen	0,22	0,48	0,29	0,53	0,24	0,58	0,11	0,29	0,21	0,76
136	1376	Modhephen			0,03							
137	1383	α -Isocomen		0,04	0,12	0,02		0,07	0,07	0,13		0,03
138	1387	β -Elemen		0,12		0,12		0,10				0,04
139	1387	α -Funebren										
140	1388	Lyratylacetat	0,19						0,20	0,24		
141	1401	Longifolen										
142	1409	Unbekannte Komponente MW=220 (A)										
143	1409	2-Methylbutylbenzoat										
144	1412	Germacren D									0,46	
145	1414	Isocsaryophyllen		0,01	0,06					0,32		
146	1424	β -Copaen										
147	1434	α -Guajen	0,05				0,06					
148	1435	Aromadendren			0,02			0,05				
149	1441	Prezizaen			0,10			0,16				
150	1447	α -Humulen										
151	1452	Unbekannte Komponente MW=206 (B)					0,27					
152	1452	<i>allo</i> -Aromadendren										
153	1460	Unbekannte Komponente MW=202 (C)										
154	1460	3-Methylbutylphenylacetat				0,06						
155	1464	2-Methylbutylphenylacetat				0,04						
156	1468	Amorpha-4,11-dien			0,23	0,29	0,13	0,23	0,22			
157	1469	Unbekannte Komponente MW=234 (D)							0,05			
158	1470	Davanaether										
159	1473	Amorpha-4,7(11)-dien			0,18	0,22	0,18	0,20	0,23		0,34	
160	1478	β -Selinen		0,06	0,18							
161	1480	γ -Humulen										
162	1483	1,3-Dimethyladamantan			0,71	0,99	1,32	0,64	1,12		0,71	0,75
163	1489	Bicyclogermacren		0,26					0,26	0,37		
164	1493	α -Muurolen		0,02						0,06		
165	1498	α -Bulnesen	0,53									

C Ergebnisse

Nr.	R _i	Name	Wild 11	Wild 12	Wild 13	Wild 14	Wild 15	Wild 16	Wild 17	Wild 18	Wild 19	Wild 20
166	1499	Laciniatafuranon G	0,42			0,44		0,38			0,41	0,36
167	1500	Artedouglasiaoxid C		0,75	1,06	1,47	1,27	1,13	0,49	1,77	1,27	1,37
168	1505	Laciniatafuranon F	0,26	0,21	0,16	0,34	0,16	0,30	0,27	3,13	0,23	0,36
169	1511	Artedouglasiaoxid A	0,79	1,17	1,78	2,85	1,52	1,76	1,12	3,22	1,83	2,27
170	1515	Laciniatafuranon E	0,08	0,13	0,14	0,18	0,09	0,25	0,16	0,25	0,24	0,25
171	1517	1,4-Dimethylazulen	0,12	0,09	0,17		0,20	0,29	0,16	0,31	0,20	0,16
172	1522	Laciniatafuranon H	0,26	0,38	0,57	0,80	0,59	0,77	0,59	0,56	0,87	0,84
173	1526	α-Calacoren	0,02		0,04						0,06	
174	1532	Artedouglasiaoxid D	0,30	0,33	0,53	0,89	0,43	0,75	0,47	0,84	0,70	0,68
175	1537	Isodavanon		0,13	0,20			0,32	0,24	0,26	0,20	0,30
176	1542	Davanon B		0,06	0,13			0,13	0,17	0,17	0,18	0,18
177	1553	Artedouglasiaoxid B	0,34	0,57	0,53	0,54	0,27	0,74	0,33	0,72	0,77	0,95
178	1557	Davanon D		0,04	0,17	0,22		0,20	0,22	0,12	0,24	0,29
180	1562	Spathulenol	0,55	1,10	8,71	9,68	10,88	9,17	12,40	1,81	9,47	10,37
181	1566	Caryophyllenoxid								0,57		
182	1572	β-Copaen-4-α-ol	0,23	0,36	0,26	0,34	0,21	0,49		0,39	0,27	0,53
183	1573	4-Dehydroviridiflorol										0,09
184	1579	Globulol				0,32	0,19			0,22		
185	1580	Viridiflorol						0,28	0,11			0,25
186	1582	4(15)-Dehydroglobulol								0,14		
187	1586	Unbekannte Komponente MW=250 (E)										
188	1588	β-Oplopenon						0,53	0,36	0,39		
189	1589	Unbekannte Komponente MW=222 (F)						0,10				
190	1598	Unbekannte Komponente MW=218 (G)							0,74			
191	1608	Unbekannte Komponente MW=222 (H)										
192	1617	Caryophylla-3(15),7(14)-dien-6-ol		0,37						0,86		
193	1619	Isospathulenol										
194	1625	Amorpha-4-en-7-ol			8,18	12,16	8,73	8,12	12,47		8,54	10,88
195	1626	α-Cadinol										
196	1637	Amorph-4-en-10-α-ol							0,36			
197	1642	Pogostol	16,57				14,75					
198	1652	Cadalen				0,37	0,52		0,33			
199	1666	α-Bisabolol	0,07			0,75		0,56	1,18		0,68	0,56
200	1700	Chamazulen	0,14	0,13	0,20	0,20	0,33	0,22	0,34	0,30	0,42	0,26
201	1950	Hexadecansäure						0,09	0,07			
202	2065	Verticellol		0,06							0,10	
		Summe	91,41	84,81	78,35	80,08	76,56	62,65	69,92	83,54	75,85	81,46

Bei einigen Wildpflanzen ist zu erkennen, dass die in der Summe angegebenen Mengen der Ölkomponten teilweise deutlich unter denen der Handelsöle liegen. Der Grund dafür ist, dass im Chromatogramm einiger Wildpflanzenöle ein oder zwei sehr große Peaks detektiert wurden, die keiner bekannten Komponente zugeordnet werden konnten bzw. ein in sich sehr inhomogenes Massenspektrum aufwiesen, so dass davon ausgegangen werden konnte, dass es sich hier entweder um Zersetzungsprodukte oder um Verunreinigungen handelte. Eine Weiterverfolgung der Herkunft oder eine Identifizierung war aber ausgeschlossen, da, wie in Tabelle 7 zu erkennen ist, nur sehr geringe Mengen an Öl vorlagen.

4 Ölmuster der Pflanzen aus Stecklingskulturen

Die Stecklinge jeweils einer Wildpflanze wurden auf der Farm auf getrennten Feldern kultiviert, nach 3 Jahren die Öle vor Ort destilliert und in Hamburg gaschromatographisch analysiert. Leider konnten nicht alle Pflanzen erfolgreich angezchtet werden, so dass für die gaschromatographischen Untersuchungen lediglich Öle aus 11 Stecklingskulturen zur Verfügung standen. Die Zusammensetzung dieser Öle zeigt Tabelle 11. Die Nummern der Pflanzen beziehen sich auf die Nummer der Wildpflanze, aus der die jeweiligen Stecklinge gewonnen wurden.

Tabelle 11: Ölmuster der Pflanzen aus Stecklingskulturen von *E. tenuifolius*

Nr.	R _i	Name	5	6	8	11	13	14	15	16	18	19	20
1	800	3-Methyl-1-butanol	0,11	0,05	0,09	0,13	0,05	0,19	0,11	0,05	0,15	0,20	0,03
2	801	2-Methyl-1-butanol	0,70	0,50	0,61	0,70	0,37	1,07	0,57	0,29	0,76	1,19	0,41
3	810	2-Methylpropylacetat					0,09	0,07		0,02		0,02	0,02
4	829	2-Hexanol	0,01	0,06	0,03		0,05	0,03	0,03	0,03	0,09		0,08
5	850	3-Methyl-2-butylacetat											
6	862	Ethyl-2-methylbutanoat		0,01							0,15		0,04
7	866	Propyl 2-methylpropanoat	0,06	0,06	0,07		0,06				0,16		0,05
8	873	2-Methylpropylpropanoat	0,22	0,28	0,18			0,30	0,13				
9	878	3-Methylbutylacetat	0,10	0,04	0,08	0,03	0,00	0,01	0,03	0,07	0,38	0,10	0,09
10	879	2-Methylbutylacetat	0,06	0,06	0,10	0,25	0,04	0,07	0,27	0,45	0,08	0,73	0,37
11	898	2-Heptanol			0,03		0,02						
12	909	2-Methylpropyl-2-methylpropanoat	19,87	21,67	19,08	11,84	10,97	11,45	9,10	3,42	19,42	8,13	5,60
13	910	Santolinatrien	0,01		0,03				0,04				
14	911	Ethyl 3-methyl-2-butenoat											
15	917	Tricyclen											
16	922	α -Thujen	0,02	0,06	0,06		0,02						
17	926	2-Methylpropylmethacrylat	0,57	0,51	0,24	0,40	1,29	0,74	0,75	0,02	0,54	0,49	0,48
19	932	α -Pinen	0,54	0,07	1,90	0,97	0,13	2,42	0,96	0,16	1,24	1,50	0,65
20	942	Camphen	0,06	0,07	0,69				0,21	0,07		0,17	0,39
21	943	α -Fenchen	0,08	0,07		0,30	0,15	0,18			0,21	0,12	
22	945	Verbenen									0,04		
23	946	Thuja-2,4(10)-dien	0,01		0,02	0,01				0,07			
24	951	n-Pentylpropanoat											
25	952	3-Methylbutylpropanoat	0,07	0,04	0,01	0,04	0,01	0,02	0,06	0,01	0,04	0,07	0,07
26	955	2-Methylbutylpropanoat	0,23	0,32	0,15	0,40	0,13	0,11	0,43	0,11	0,26	0,56	0,28
27	963	Sabinen	0,09	0,08	0,11	0,19	0,09	0,04	0,10	0,02	0,09	0,06	0,03
28	966	β -Pinen	0,07	0,03	0,15	0,22	0,06	0,34	0,17	0,03	0,15	0,26	0,18
29	967	2-Octanon							0,02		0,18		0,03
30	976	2,3-Dehydro-1,8-cineol	0,06	0,04	0,06		0,08		0,05			0,60	0,02
31	976	2-Pentylfuran	0,05	0,06	0,05		0,03		0,06			0,04	
32	977	Dehydroxylinalooloxid A										0,12	
33	979	β -Myrcen					0,04	0,10	0,03	0,02	0,16		
34	980	cis-Epoxyocimen	0,16	0,10	0,10						0,05		
35	982	2-Octanol				0,11							0,02
36	986	2-Methylpropyl-2-methylbutanoat	2,08	2,76	1,54	0,08	0,52	1,30	0,66	0,28	0,56	0,67	0,52
37	989	2-Methylpropyl-3-methylbutanoat	0,90	0,92	0,95	1,01	1,00	0,46	0,65	0,22	1,16	0,53	0,49
38	993	α -Phellandren				1,22							
39	995	3-Methylbutyl-2-methylpropanoat	1,42	1,51	2,36	1,78	1,69	2,21	2,12	1,24	2,01	2,22	2,68
40	997	Lavenderlacton					0,05						

C Ergebnisse

Nr.	R _i	Name	5	6	8	11	13	14	15	16	18	19	20
41	1002	2-Methylbutyl-2-methylpropanoat	27,36	25,46	21,97	13,53	17,14	28,15	19,39	16,22	23,84	17,12	13,49
42	1005	α-Terpinen	0,71	0,09	0,05	0,93	0,89	0,08	0,43	1,36	0,10	0,04	0,02
43	1007	p-Cymen	0,49	0,72	0,17	3,43	2,62	0,10	2,54	0,07	1,28	0,10	0,08
44	1013	1,8-Cineol	0,74	0,85	0,66	2,25	0,77	0,29	0,61	0,60	0,75	0,55	0,18
45	1015	Limonen	0,18	0,09	0,27	0,10	0,09	0,16	0,14	0,52	0,41	0,27	0,16
46	1019	3-Methylbutylmethacrylat	0,15	0,43	0,13	0,03	0,32	0,13	0,25	1,47	0,06	0,08	0,02
47	1021	2-Methylbutylmethacrylat	0,97	0,72	0,57	0,43	1,58	1,38	1,41	0,93	0,56	1,12	1,37
48	1022	2-Heptylacetat			0,15	0,01			0,08				
49	1026	cis-Arbusculon											
50	1030	2-Methylpropylangelat	1,92	3,33	3,97	1,78	5,75	1,78	2,50	0,18	6,83	1,78	4,44
51	1033	(E)-β-Ocimen											
52	1037	2-Methylbutylbutanoat											0,19
53	1039	trans-Arbusculon					0,19	0,34	0,18	0,04			0,24
54	1040	(E)-3-Hexenylbutanoat	1,27	1,62	1,23	1,41					1,62		
55	1043	γ-Terpinen	0,16	0,24	0,05	2,62	2,02	0,06			0,45	0,52	0,23
56	1043	7-Methyl-2-octanol	1,89	3,43	4,03	5,86	2,43	0,03	1,24	0,45	3,26	4,30	13,99
57	1046	trans-Sabinenhydrat	1,15	1,12	0,06	0,34					0,11		
58	1053	Linalooloxid	0,04								0,07		0,04
59	1055	Butylangelat	0,55	0,68	0,28	0,25	0,33	0,21	0,51	0,16	0,67	0,32	0,39
60	1059	Dihydromyrcenol											
61	1063	Artemisiaalkohol	0,08	0,07	0,02	0,10							
62	1066	2-Nonanon							0,07	0,06			0,08
63	1067	p-Cymenen				0,45	0,21		0,12				
64	1068	Butyltiglat	0,06	0,16	0,10	0,29	0,14	0,07	0,27			0,14	0,10
65	1072	Terpinolen	0,04	0,08	0,04	0,42	0,47		0,10				
66	1075	cis-Sabinenhydrat		0,06	0,07		0,11		0,08	0,08			
67	1077	Linalool		0,14	0,21		0,33	0,22				0,15	
68	1082	3-Methylbutyl-2-methylbutanoat	0,94	0,75	0,73	0,42	0,75	0,60	0,32	0,20	0,44	0,45	0,63
69	1087	2-Methylbutyl-2-methylbutanoat	3,38	4,21	2,80	1,56	0,88	2,80	2,55	1,14	1,44	1,66	0,79
70	1089	2-Methylbutyl-3-methylbutanoat	0,43	0,41	0,54	0,62	0,51	0,38	0,57	0,38	0,54	0,41	0,60
71	1092	Hexyl-2-methylpropanoat	0,21					0,02	0,17				
72	1093	1,3,8-Menthatrien			0,11						0,23		
73	1097	α-Campholenal	0,22		0,27	0,12		0,21	0,42	0,22	0,28	0,24	0,22
75	1099	cis-p-Menth-2-en-1-ol	0,12	0,12		0,80	0,56	0,34	0,07	0,09		0,02	
76	1111	Campher	0,57	0,30	4,56	2,22	1,81	0,98	0,11	1,13	0,25	1,18	6,87
77	1116	trans-Pinocarveol	0,20	0,11	2,01	0,88	0,16	1,79			1,07	0,57	0,65
78	1118	trans-p-Menth-2-en-1-ol	0,20	0,05		0,59	0,49		1,30	0,25	0,10		
79	1121	2-Octylacetat	0,07	0,05	0,68	0,24	0,47				0,05	0,88	0,49
80	1125	trans-Verbenol											
81	1125	Menthon											
82	1128	3-Methylbutylangelat		0,32		0,06	0,47	1,94	1,78	1,42		0,32	1,47
83	1131	Pinocarvon	0,52		1,64	0,76		1,85		0,54	0,86	1,07	
84	1134	2-Methylbutylangelat	2,65	3,54	1,02	1,86	2,80	3,37	4,65	3,45	2,67	3,24	2,19
85	1140	trans-Chrysanthemol	0,44	0,20	0,28						0,66		
86	1143	Borneol	0,41	0,31	2,79	1,32	1,04	0,80	0,10	0,26	0,68	0,61	1,27
87	1145	p-Methylacetophenon				0,08		0,04	0,21	0,10	0,27		0,09
88	1146	Lavandulol	0,13	0,16	0,20	0,25					0,26		
89	1147	Cymen-9-ol		0,07	0,07			0,03					
90	1156	Terpinen-4-ol	0,63	0,96	0,37	9,22	7,49	0,18	7,50	8,18	2,33	0,20	0,19
91	1162	Pentylangelat	0,61	0,60	0,31	0,58	0,48	0,36	0,89	0,85	0,85	0,56	0,99
92	1166	α-Terpineol	0,32	0,14	0,32	0,65	0,34	0,21	0,42	0,52	0,51	0,33	0,20
93	1174	Pentyltiglat	0,12	0,27	0,32	0,22	0,27	0,26	0,38	0,21	0,17	0,34	0,31
94	1175	Myrtenol	0,16	0,63	1,56	0,42	0,27	0,18			0,23	0,35	0,29
95	1177	cis-Piperitol		1,06		0,28	0,19						
96	1184	α-Campholenol	0,26										

Nr.	R _i	Name	5	6	8	11	13	14	15	16	18	19	20
97	1187	7-Methyl-2-octylacetat	0,45	0,05	1,61	0,47	1,52	0,07	0,39	0,29	0,55	0,26	1,14
98	1188	<i>trans</i> -Piperitol		0,11		0,66		0,10		0,09	0,98		
99	1194	<i>trans</i> -Carveol	0,17		0,34	0,18		0,24		0,13		0,21	0,11
100	1200	<i>cis</i> -Carveol											
101	1201	<i>cis</i> -p-Mentha-1(7),8-dien-2-ol			0,15		0,66						
102	1207	Nerol	0,10										
103	1208	p-Isopropylbenzaldehyd				1,73							
104	1209	Pulegon											
105	1209	Carvon	0,07	0,10	0,11			0,06	0,54	0,03		0,03	0,12
106	1213	<i>trans</i> -Pinocarvylformiat			0,02			0,03					
107	1219	Ethyl-3-acetoxyhexanoat				0,05		0,02					0,13
108	1220	Piperiton					0,21	0,02		0,10		0,04	0,03
109	1221	2-Nonylacetat											0,02
110	1234	Geraniol											
111	1241	Linalylacetat											
112	1253	<i>cis</i> -Chrysanthenylacetat									0,11		
113	1266	Bornylacetat			0,22	0,10		0,04				0,04	
114	1267	Thymol				0,19							
115	1269	Phenylmethyl-2-methylpropanoat	0,03	0,03	0,04		0,12		0,08	0,10	0,08	0,10	0,10
116	1272	Nerylformiat											
117	1273	Geranylformiat									0,23		
118	1273	Diosphenol	0,05										
119	1276	<i>trans</i> -Pinocarvylacetat	0,05								0,15		0,17
120	1277	Carvacrol				0,16				0,10			0,09
121	1281	<i>trans</i> -Sabinenhydrateacetat											
122	1282	Terpinen-4-olacetat	0,03	0,04		0,29				0,23			
123	1288	(<i>E,E</i>)-2,4-Decadienal				0,06							
124	1304	Myrtenylacetat			0,42	0,15				0,23	0,06	0,08	0,12
125	1316	<i>trans</i> -Carvylacetat			0,38								
127	1332	α -Terpinylacetat				0,38				0,52			
128	1344	Nerylacetat											
129	1347	α -Longipinen			0,05					0,05		0,15	
130	1361	(<i>E</i>)- β -Damascenon			0,06			0,09		0,10	0,22	1,40	
131	1362	Geranylacetat											
132	1365	(<i>E</i>)-Jasmon											
133	1368	2-Phenylethyl-2-methylpropanoat	0,16	0,17	0,32	0,23	0,21	0,07	0,12	0,30	0,25	0,15	0,08
134	1370	Longicyclen											
135	1374	α -Copaen	0,04	0,42	0,34	0,19	0,17	0,59	0,48	0,44	0,41	0,44	0,86
136	1376	Modhephen											
137	1383	α -Isocomen	0,02	0,10	0,07			0,05		0,10	0,05		0,02
138	1387	β -Elemen	0,28		0,13		0,04	0,07		0,32	0,04		0,05
139	1387	α -Funebren											
140	1388	Lyratylacetat		0,18	0,09	0,16			0,11	0,10	0,30		
141	1401	Longifolen											
142	1409	Unbekannte Komponente MW=220 (A)	0,07		0,11					0,18	0,09		0,19
143	1409	2-Methylbutylbenzoat											
144	1412	Germacren D										0,08	
145	1414	Isocsaryophyllen		0,10	0,09		0,06		0,09	0,12	0,10		0,06
146	1424	β -Copaen	0,01										
147	1434	α -Guajen				0,02			0,07	0,02			
148	1435	Aromadendren											0,09
149	1441	Prezizaen					0,08			0,09			
150	1447	α -Humulen		0,04									
151	1452	Unbekannte Komponente MW=206 (B)	0,91	0,11	0,19	0,06	0,14	0,21	0,19	0,12	0,10		0,10
152	1452	<i>allo</i> -Aromadendren											

C Ergebnisse

Nr.	R _i	Name	5	6	8	11	13	14	15	16	18	19	20
153	1460	Unbekannte Komponente MW=202 (C)		0,03	0,07	0,03				0,02	0,06		0,07
154	1460	3-Methylbutylphenylacetat											
155	1464	2-Methylbutylphenylacetat											
156	1468	Amorpha-4,11-dien	0,09	0,08			0,12	0,09	0,07	0,04			
157	1469	Unbekannte Komponente MW=234 (D)				0,02					0,04		0,05
158	1470	Davanaether		0,16	0,05								
159	1473	Amorpha-4,7(11)-dien	0,04				0,05	0,06	0,06	0,25		0,23	0,10
160	1478	β-Selinen					0,12						
161	1480	γ-Humulen	0,08										
162	1483	1,3-Dimethyladamantan	0,33	0,17			0,54	0,78	0,54			0,92	0,80
163	1489	Bicyclogermacren	0,17	0,44		0,09				0,23	0,16		
164	1493	α-Muurolen		0,07							0,04		
165	1498	α-Bulnesen											
166	1499	Laciniatafuranon G		0,57	0,15	0,44	0,12	0,24	0,04	0,45	0,12	0,29	0,29
167	1500	Artedouglasiaoxid C	0,29	0,68	0,32	0,11	0,29	0,59	0,46	0,35	0,47	0,46	0,69
168	1505	Laciniatafuranon F	0,54	0,31	0,51	0,13	0,29	0,44	0,62	0,84	0,60	0,38	0,84
169	1511	Artedouglasiaoxid A	0,45	0,77	0,50	0,24	0,47	0,90	0,69	0,90	0,70	0,76	0,99
170	1515	Laciniatafuranon E			0,25	0,14	0,18	0,32		0,54	0,32	0,35	0,41
171	1517	1,4-Dimethylazulen	0,31	0,35	0,06	0,02	0,03	0,02	0,35	0,12	0,23	0,22	0,03
172	1522	Laciniatafuranon H	0,81	0,22	0,64	0,31	0,65	0,96	0,92	1,25	0,78	1,12	1,34
173	1526	α-Calacoren				0,03	0,12					0,03	
174	1532	Artedouglasiaoxid D	0,14	0,09	0,15	0,16	0,11	0,23	0,26	0,21	0,20	0,35	0,25
175	1537	Isodavanon	0,13	0,16	0,16		0,04	0,09	0,15	0,15	0,20	0,15	0,34
176	1542	Davanon B	0,08	0,30	0,11		0,05	0,09	0,08	0,06	0,07	0,17	0,13
177	1553	Artedouglasiaoxid B	0,40	0,30	0,37	0,16	0,18	0,11	0,50	0,41	0,49	0,33	0,62
178	1557	Davanon D	0,13	0,33	0,24		0,28	0,33		0,22	0,20	0,39	0,15
180	1562	Spathulenol	5,68	1,12	0,55	0,39	8,05	10,51	8,66	9,80	0,76	10,90	12,95
181	1566	Caryophyllenoxid		0,30	0,11						0,20		
182	1572	β-Copaen-4-α-ol	0,02		0,49	0,24	0,30	0,50			0,47	0,32	0,22
183	1573	4-Dehydroviridiflorol											0,12
184	1579	Globulol	0,05					0,21	0,59		0,19		
185	1580	Viridiflorol	0,04	0,13					0,22				0,33
186	1582	4(15)-Dehydroglobulol											
187	1586	Unbekannte Komponente MW=250 (E)	0,04		0,12			0,10	0,10			0,10	0,06
188	1588	β-Oplopenon									0,25		
189	1589	Unbekannte Komponente MW=222 (F)	0,13	0,10	0,14			0,10	0,20		0,11	0,11	0,09
190	1598	Unbekannte Komponente MW=218 (G)	0,04		0,05			0,06	0,04		0,05	0,08	0,07
191	1608	Unbekannte Komponente MW=222 (H)		0,47	0,54	0,06		0,31				0,43	0,26
192	1617	Caryophylla-3(15), 7(14)-dien-6-ol		0,07							0,29	0,22	0,11
193	1619	Isospathulenol			0,04								
194	1625	Amorpha-4-en-7-ol	3,13	0,12	0,08		1,70	5,92	2,63	6,32		6,35	4,12
195	1626	α-Cadinol											
196	1637	Amorph-4-en-10-α-ol						0,19					
197	1642	Pogostol	0,09			9,45			0,37	6,35			0,82
198	1652	Cadalen		0,08					0,08				
199	1666	α-Bisabolol			0,21	0,03		0,38	0,27	0,42		0,37	0,88
200	1700	Chamazulen	1,27	0,48	0,03	0,04	0,28	2,78	2,00	1,50	0,77	0,35	0,39
201	1950	Hexadecansäure											
202	2065	Verticellol		0,87			0,06					0,58	
		Summe	94,78	93,06	93,94	94,18	88,50	98,35	89,82	81,89	93,24	85,59	95,71

5 Vergleich der Ölmuster von Wildpflanzen, Pflanzen von Stecklingskulturen und Handelsölen

Um die Ölmuster von den im Jahr 2000 gesammelten Wildpflanzen mit den jeweiligen daraus gezüchteten Stecklingskulturen besser vergleichen zu können, wurden die prozentualen Anteile der Komponenten in den Tabellen 9, 10 und 11 auszugsweise in Blockdiagrammen dargestellt. Im linken Bereich der Blockdiagramme sind die prozentualen Werte von 11 Wildpflanzen (hellblau) neben denen der entsprechenden Stecklingspflanzen (dunkelrot) dargestellt. Im rechten Bereich werden die Komponentengehalte der 9 Wildpflanzen gezeigt, bei denen eine Anzucht der Stecklinge nicht gelungen ist. Der schwarze Balken rechts steht für den ÖlkompONENTENGehalt in dem Handelsöl mit der Bezeichnung „Berger“, das auch schon in der Vergleichsbetrachtung der Handelsöle als eine dem Durchschnitt sehr nahe liegende Probe bewertet wurde.

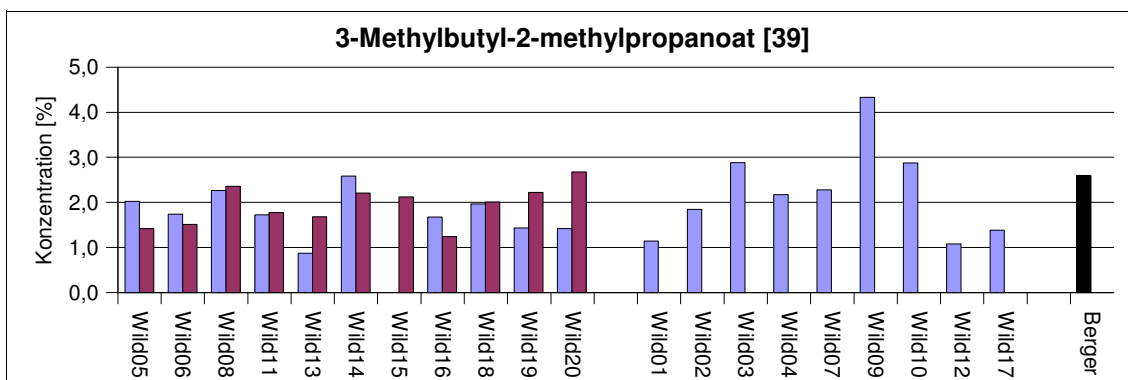
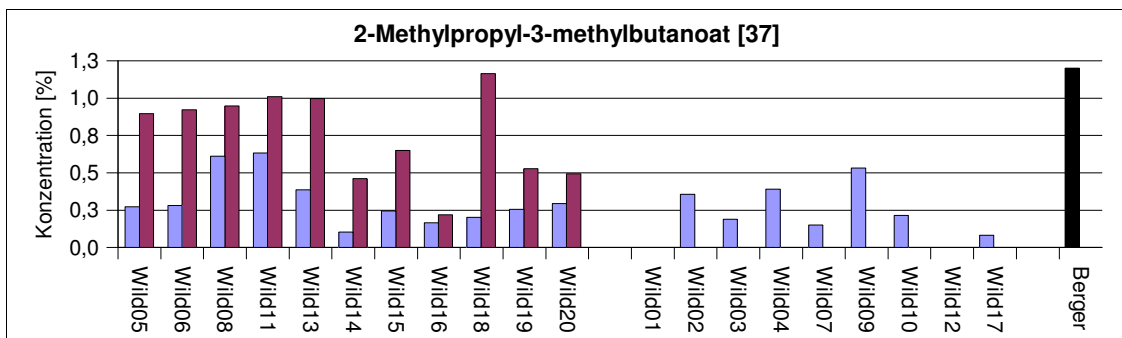
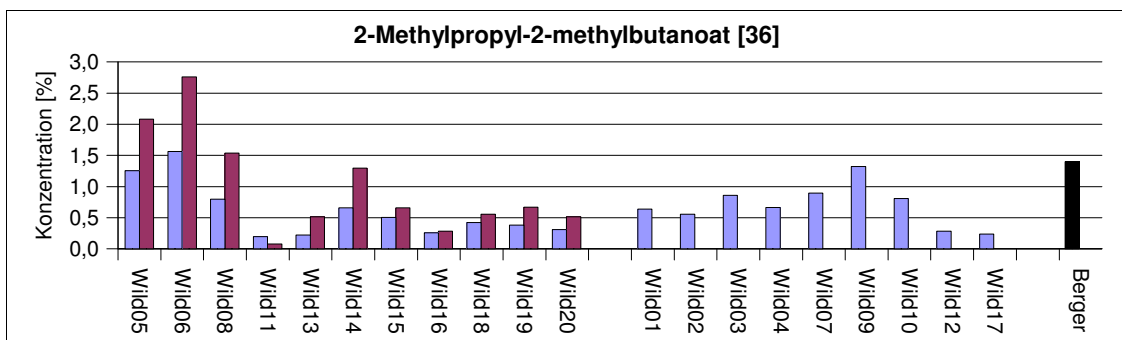
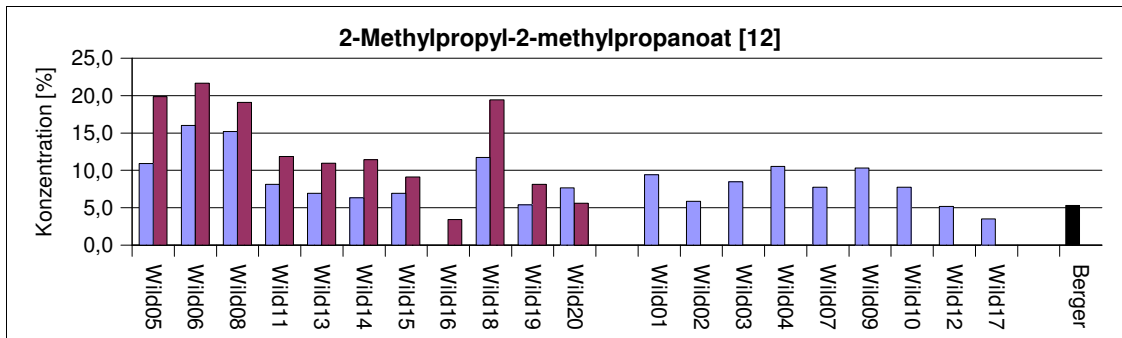
Die Blockdiagramme behandeln die 24 in den Handelsölen prozentual am stärksten enthaltenen Komponenten und die beiden Azulene 1,4-Dimethylazulen [171] und Chamazulen [200]. Weiterhin werden jene Komponenten dargestellt, die in mindestens einer Wildpflanze oder einer daraus kultivierten Stecklingspflanze mit einem Gehalt von über 1% nachgewiesen wurden. Unabhängig von ihrer Konzentration werden alle Laciniatafuranone, Davanonderivate und Artedouglasiaoxide aufgeführt, deren gemeinsames Vorkommen im Öl von *Eriocephalus tenuifolius* sehr bemerkenswert ist. Insgesamt handelt es sich somit um 40 Komponenten, die für den Vergleich der Pflanzen und deren Öle herangezogen werden.

Die Ergebnisbetrachtung gliedert sich in einen Vergleich der verschiedenen Öle aus Wildpflanzen und Stecklingspflanzen und eine sich anschließende Diskussion der standortcharakteristischen Eigenschaften. Dabei werden die Stoffgruppen nacheinander betrachtet und anschließend ein Bezug zu den Handelsölen hergestellt.

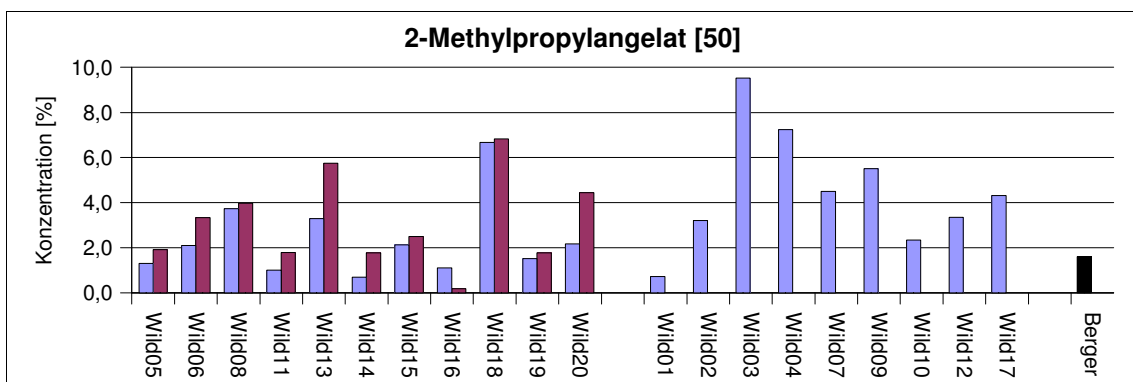
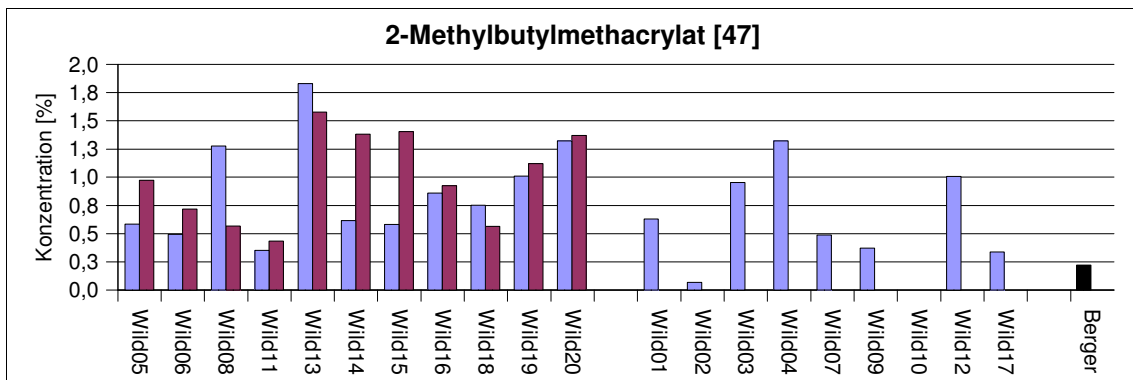
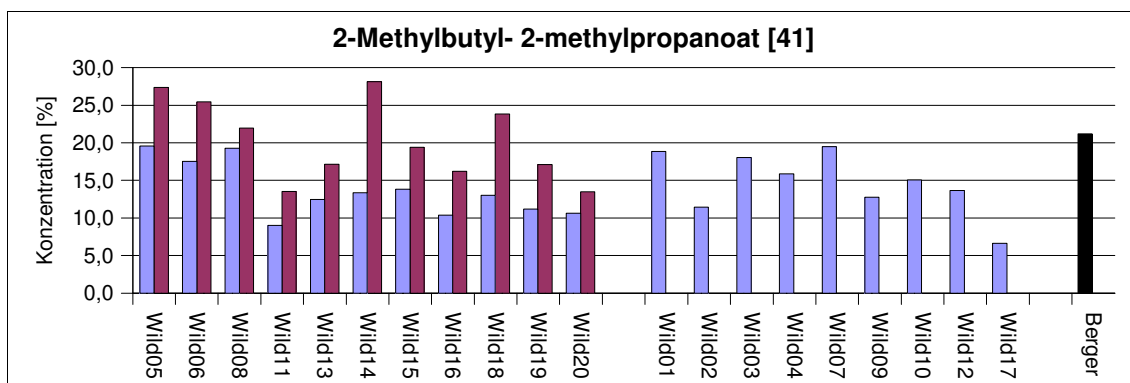
Die einzelnen Komponenten werden in der Reihenfolge ihrer Retentionsindices unter Angabe der laufenden Nummern aus den Tabellen 9 und 10 gezeigt. Für eine bessere visuelle Erfassung werden die einzelnen Konzentrationen nicht in einheitlichen Maßstäben aufgetragen, sondern der höchsten Konzentration der jeweiligen Substanz in einer Pflanze angepasst.

5.1 Aliphatische Ester und Alkohole

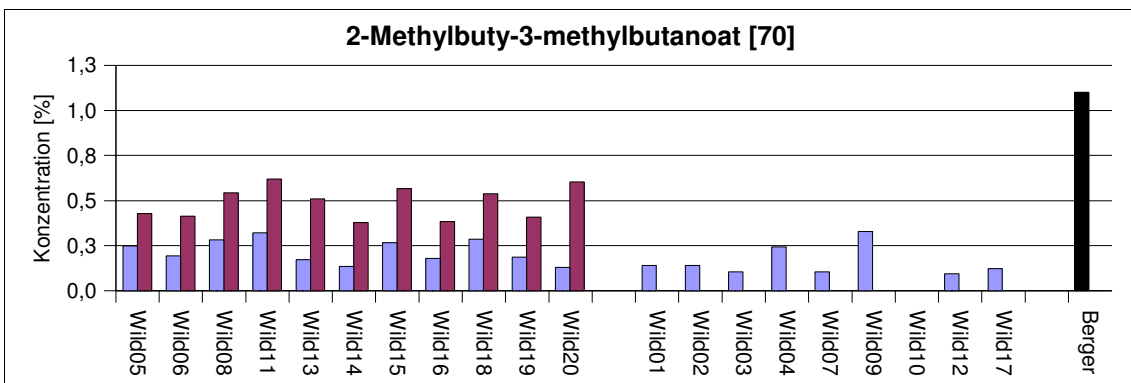
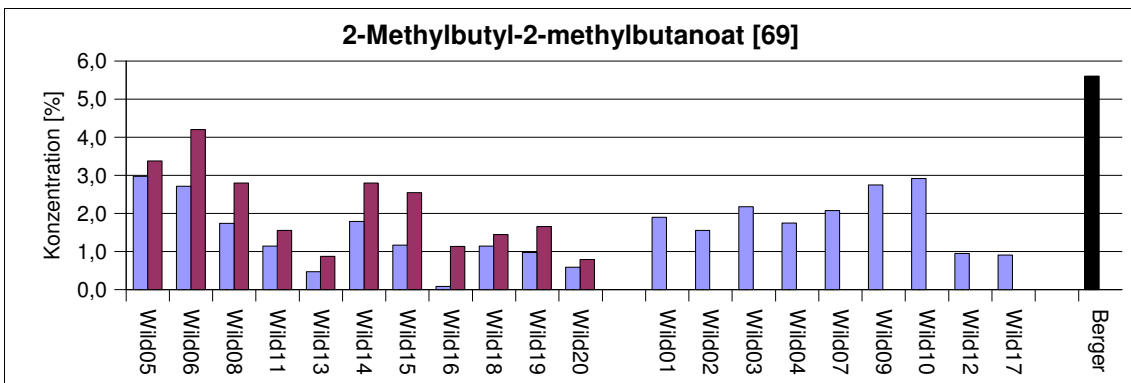
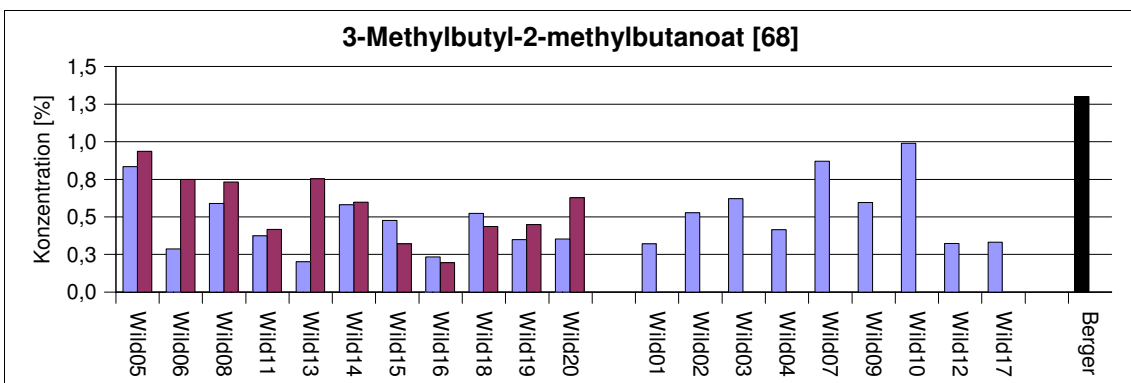
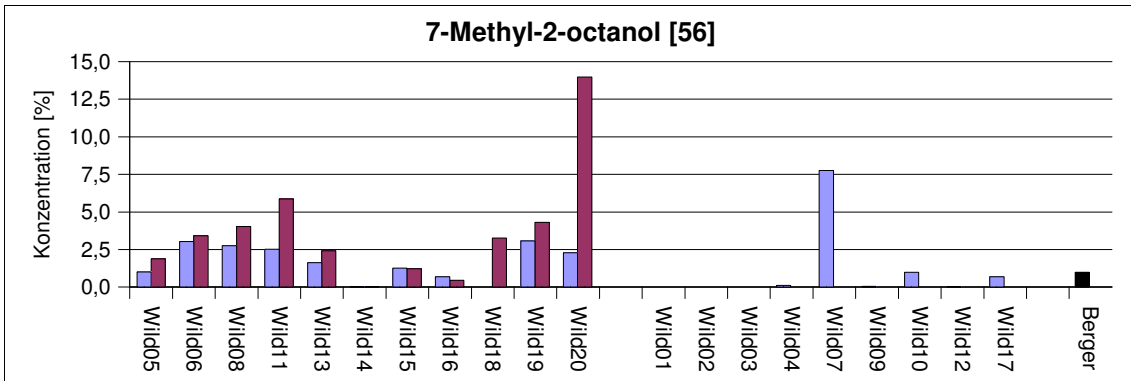
Betrachtet man die 12 wichtigsten kurzkettigen, verzweigten Ester und Alkohole, so ist zu beobachten, dass die %-Gehalte der einzelnen Substanzen in den Stecklingen in der Regel höher liegen als die Gehalte in den Wildpflanzen.

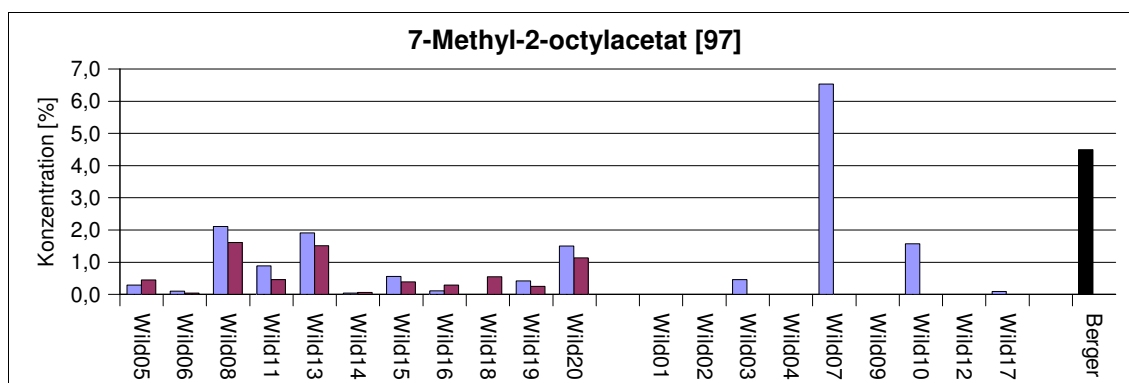
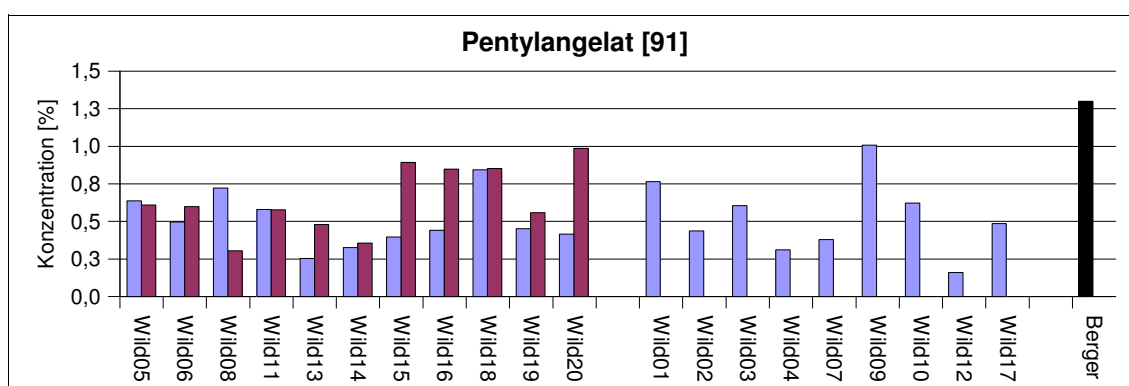
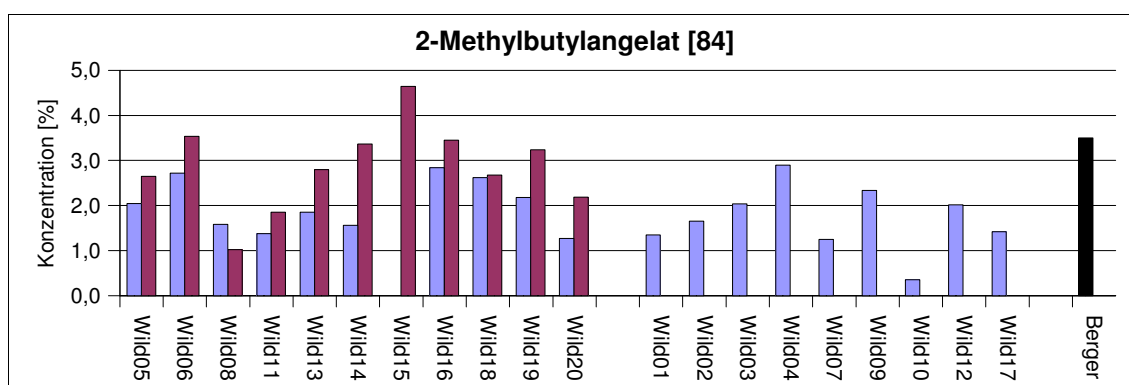


Dies trifft auf 11 der 12 hier betrachteten Substanzen zu. Eine Ausnahme bildet 7-Methyl-2-octylacetat [97], das deutlich differierende Gehalte zeigt, so dass sich in Bezug auf diese Komponente keine Aussage über etwaige Trends in der Konzentration machen lässt. Nur wenige Komponenten, wie z.B. 3-Methylbutyl-2-methylbutanoat [68], weisen allerdings auch in einigen Individuen niedrigere Konzentrationen in den Stecklingspflanzen als die Wildpflanzen auf, wobei aber der Unterschied sehr gering ausfällt.



..



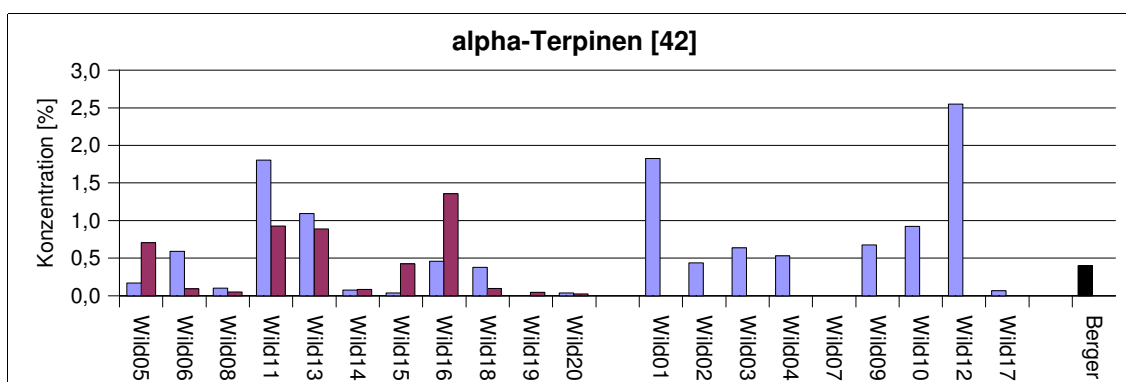
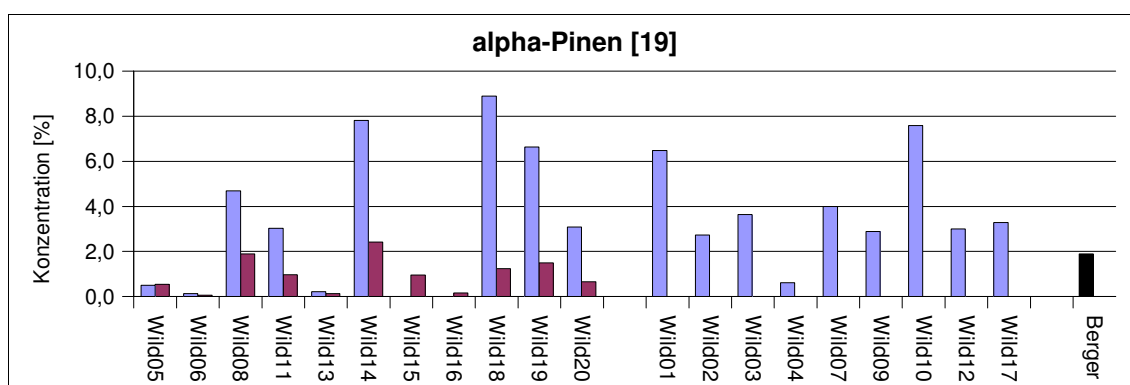


Betrachtet man das Verhältnis der Konzentration der aliphatischen Ester und Alkohole im Vergleich zu einzelnen Komponenten im Handelsöl „Berger“, so kann festgestellt werden, dass diese Gehalte überwiegend einem Trend zu dem dort gemessenen Wert hin folgen. Einzig der Gehalt von 2-Methylpropyl-2-methylpropanoat [12] und 2-Methylbutylmethacrylat [47] fällt aus diesem Trend, wobei der Gehalt dieser Komponenten in den Stecklingspflanzenölen gegenüber denen in den Wildpflanzenölen jeweils ansteigt. Die entsprechenden Gehalte im Handelsöl „Berger“ liegen hier unter dem Durchschnitt der Wildpflanzenöle.

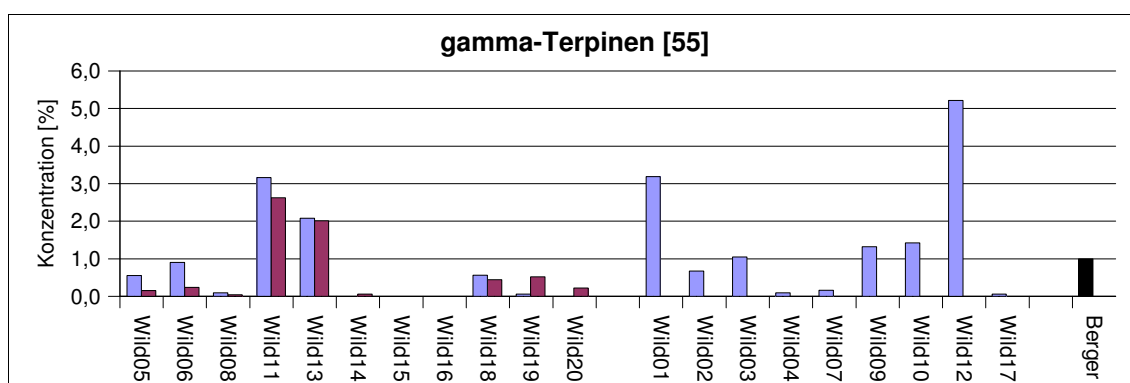
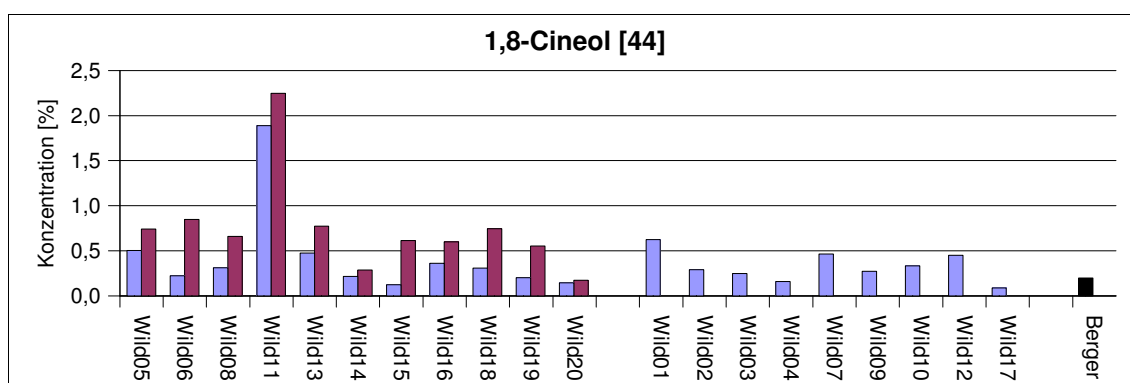
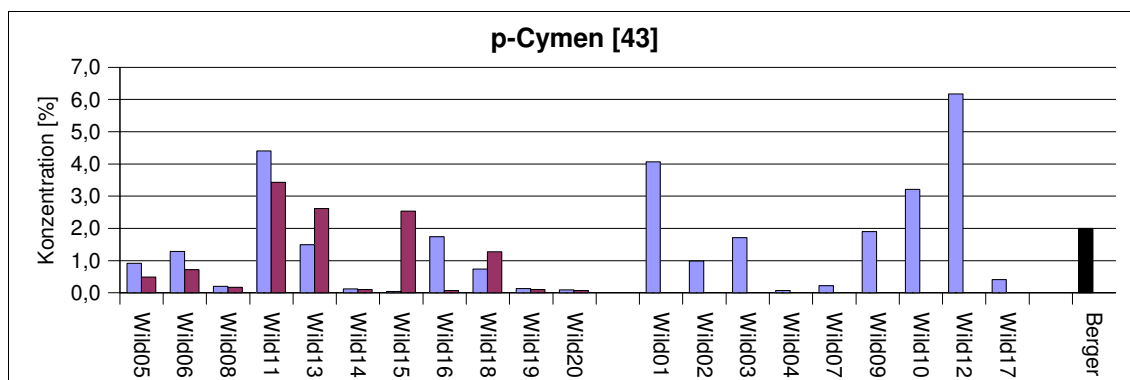
5.2 Monoterpene

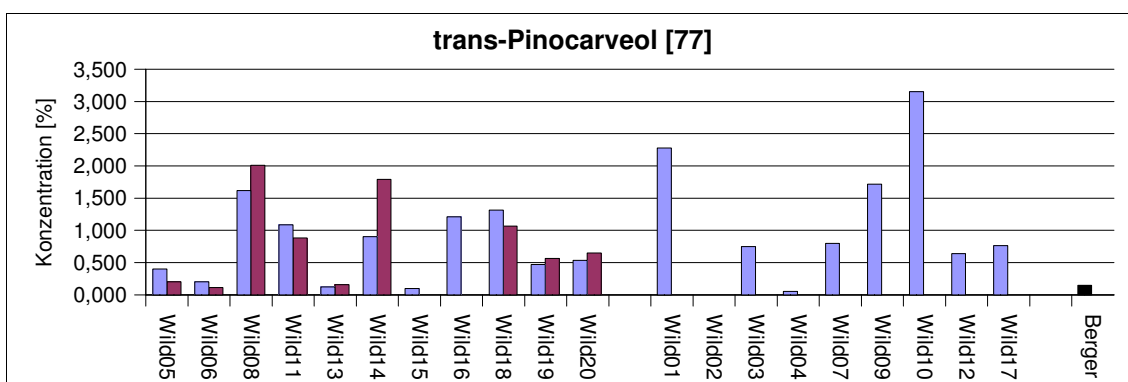
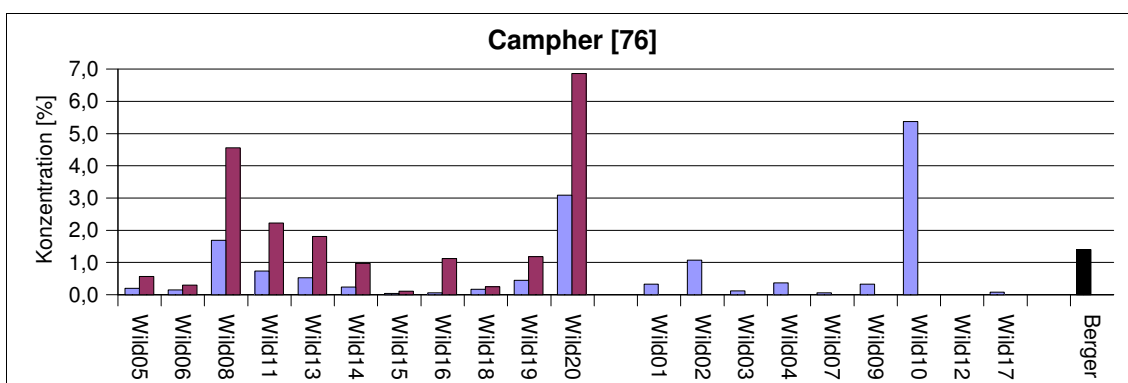
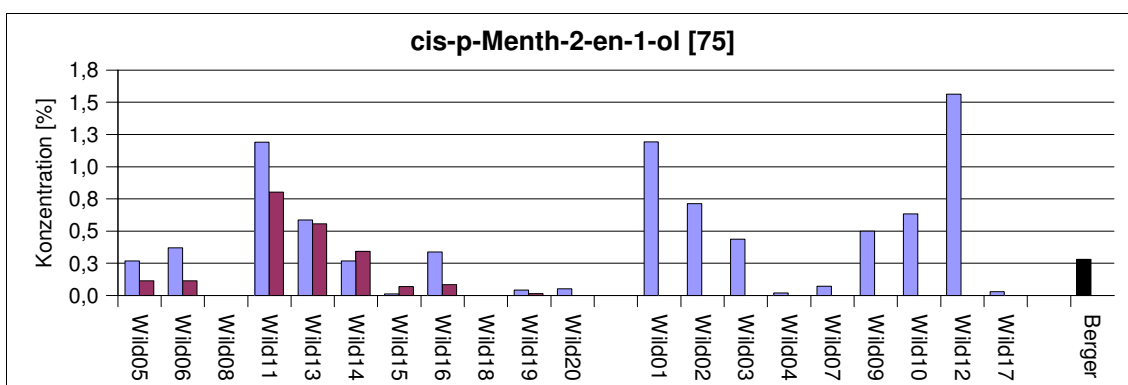
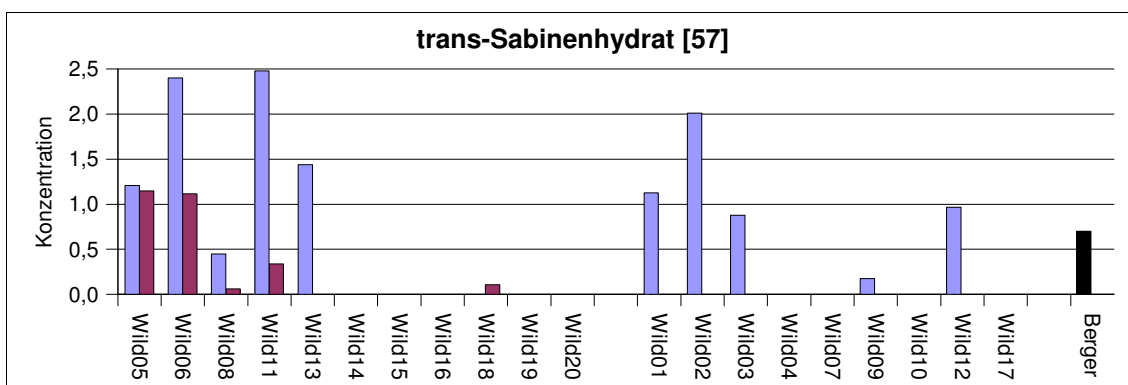
In der Gruppe der 11 betrachteten Monoterpene lässt sich kein Trend beim Vergleich Wildpflanzen / Stecklingspflanzen nachvollziehen. Sofern die Einzelsubstanzen in den Wild- bzw. Stecklingspflanzen überhaupt detektierbar waren, unterliegen sie, obwohl sie in den entsprechenden Chromatogrammen deutlich von allen Nebenpeaks getrennt sind und somit eine genaue Integration möglich ist, starken Gehaltsschwankungen.

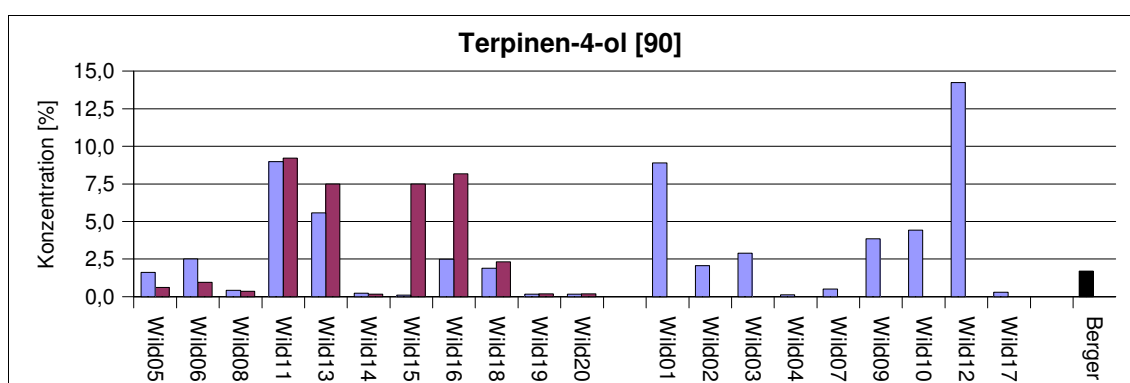
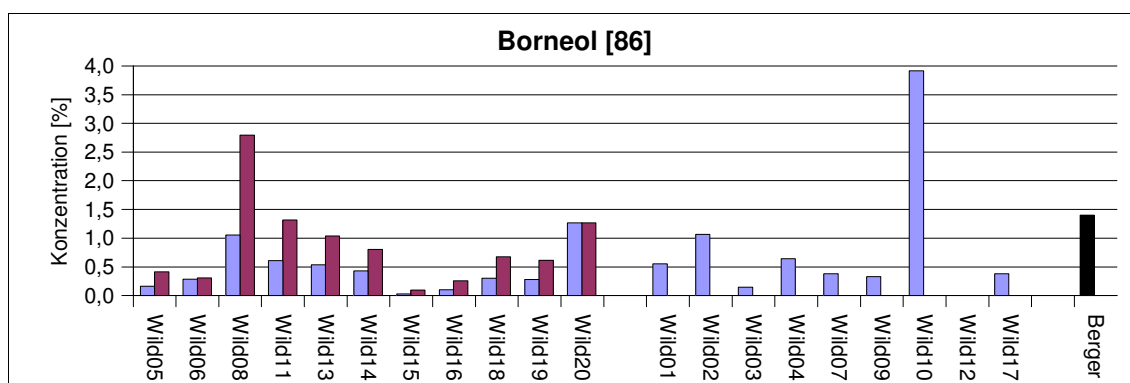
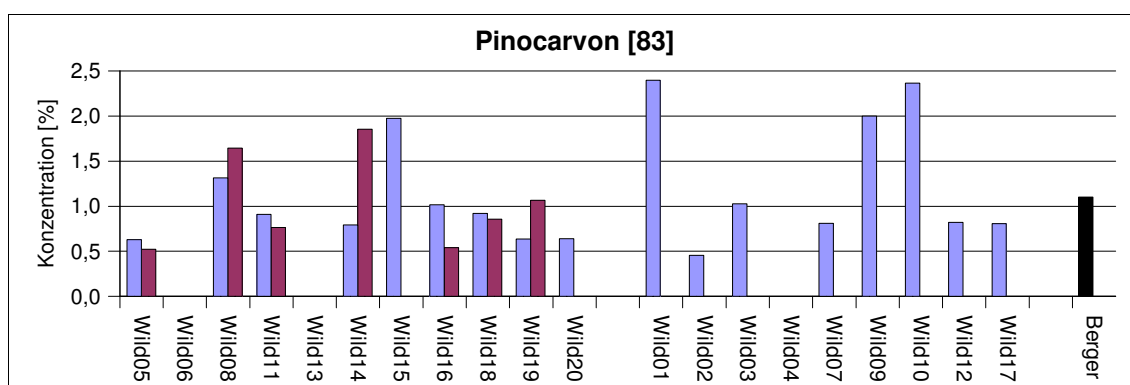
Bei α -Pinen [19], γ -Terpinen [55], *trans*-Sabinenhydrat [57] und *cis-p*-Menth-2-en-1-ol [75] liegen die Gehalte der Stecklingspflanzen unter denen der Wildpflanzen, bei 1,8-Cineol[44], Campher[76], Borneol [86] und Terpinen-4-ol [90] liegen sie darüber. Bei α -Terpinen [42], *p*-Cymen [43] und Pinocarvon [83] sind die Gehalte uneinheitlich, mal steigend, mal fallend. Bezüglich des Handelsöls werden Letztere deshalb nicht weiter betrachtet.



Stellt man den Bezug zum Handelsöl „Berger“ her, so ist festzustellen, dass unabhängig von einem Ansteigen oder Abfallen der Werte in den Stecklingspflanzen gegenüber den Gehalten der Wildpflanzenöle sich die Konzentrationen von α -Pinen [19], γ -Terpinen [55], *trans*-Sabinenhydrat [57] und *cis*-*p*-Menth-2-en-1-ol [75] (abfallend) sowie von Borneol (ansteigend) dem Handelsölgehalten nähern. Bei 1,8-Cineol, Campher und Terpinen-4-ol liegen die Werte der Stecklingspflanzen deutlich über dem Handelsöl „Berger“.



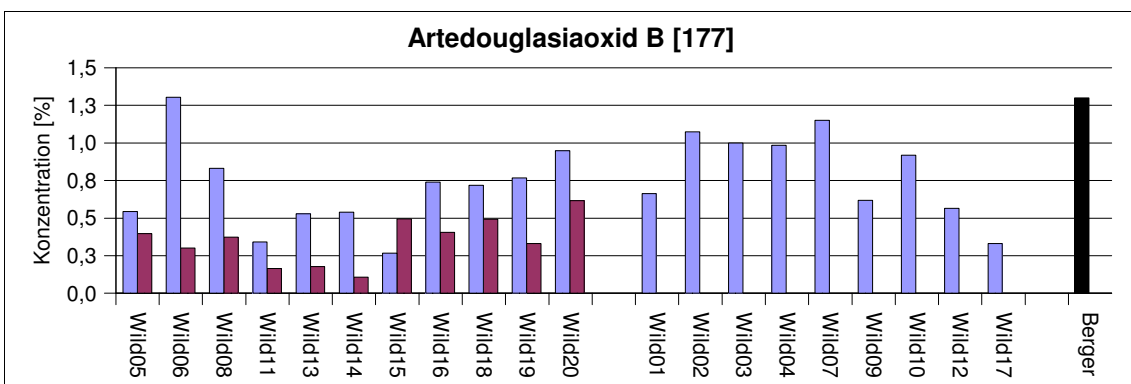
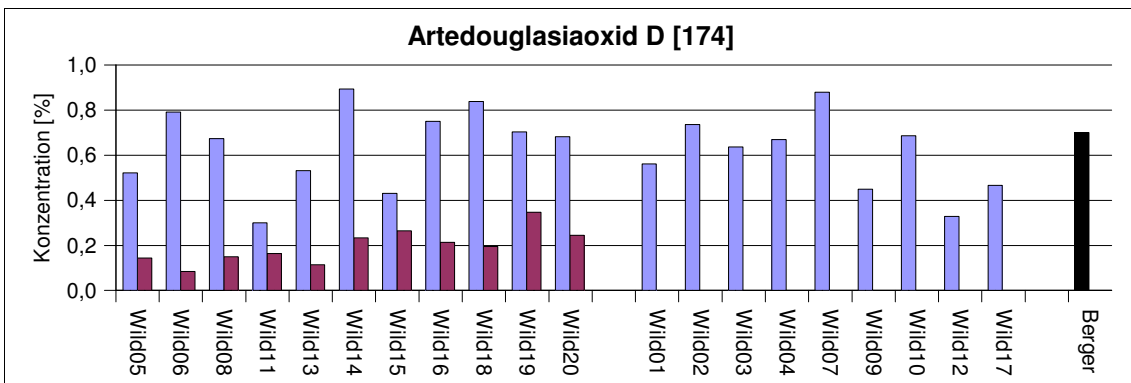
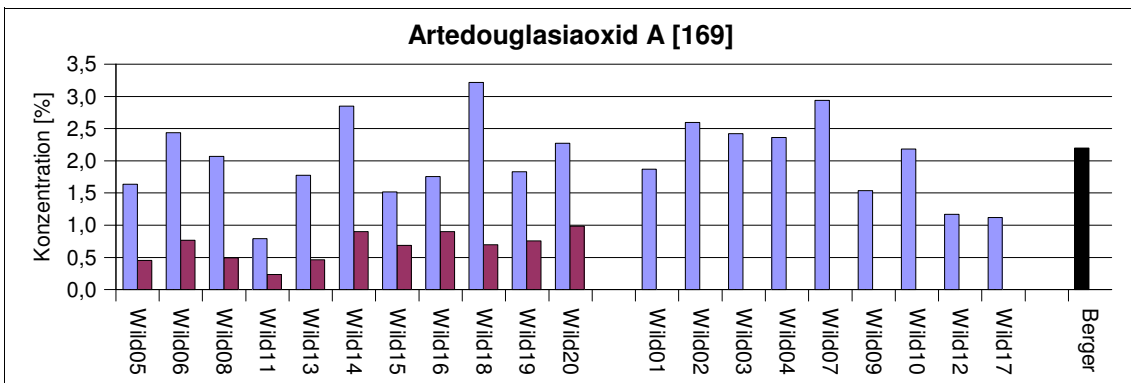
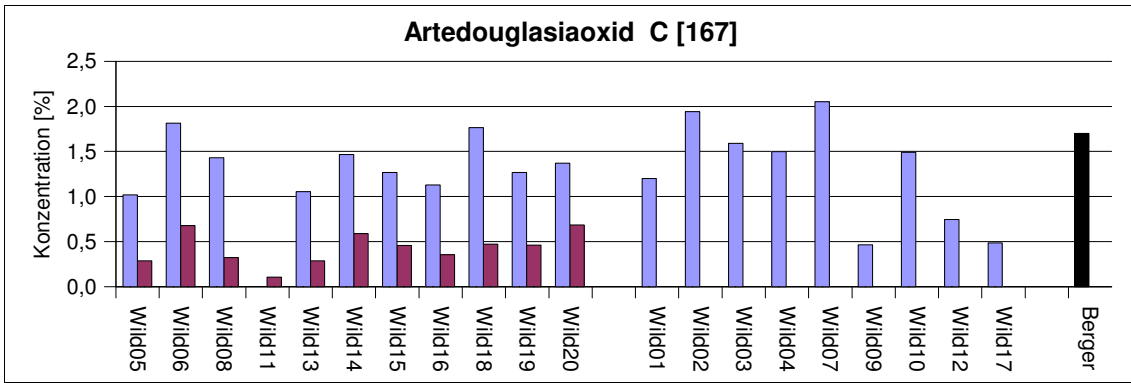




5.3 Sesquiterpene

5.3.1 Artedouglasiaoxide

Bei den Sesquiterpenen Artedouglasiaoxid A-D kann beobachtet werden, dass die Gehalte in den Stecklingspflanzen durchgehend deutlich unter denen der Wildpflanzen liegen. Einzige Ausnahme ist die Wildpflanze 15 beim Artedouglasiaoxid B.



Bei der Betrachtung der Ölkomponenten in Wildpflanzen und Stecklingen im Vergleich zu den Gehalten in den Handelsölen ist bei den Artedouglasiaoxiden eine ungewöhnliche Beobachtung zu machen. Im Durchschnitt liegen die Gehalte in den Wildpflanzenölen nahezu auf dem selben Niveau wie die im Handelsöl „Berger“. Bei 43 von 44 betrachteten Werten (11 Pflanzenpaare, 4 Komponenten) liegen die Werte der Stecklingspflanzen sowohl unter denen der Wildpflanzen als auch unter denen des Handelsöls „Berger“.

Tabelle 12: Gehalte von Artedouglasiaoxiden in den ätherischen Ölen

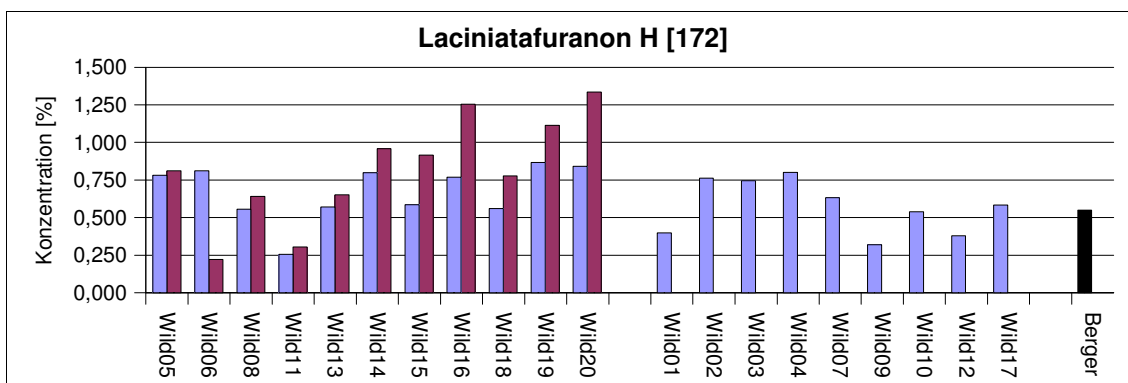
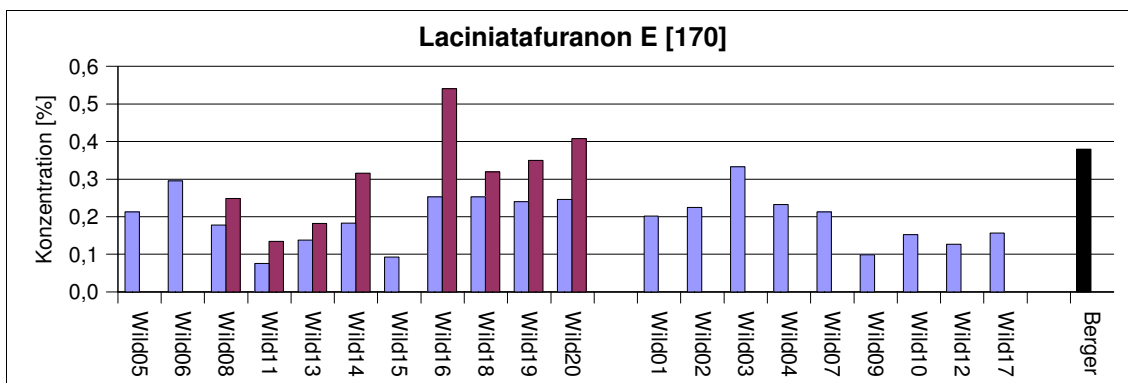
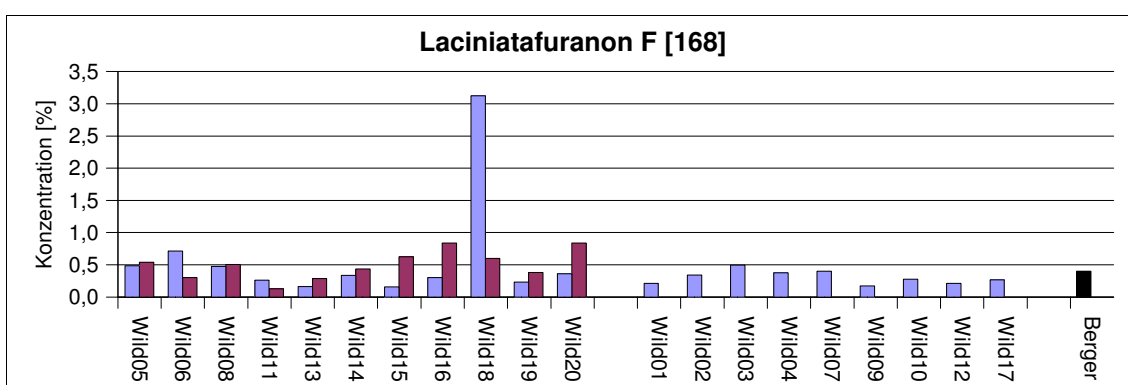
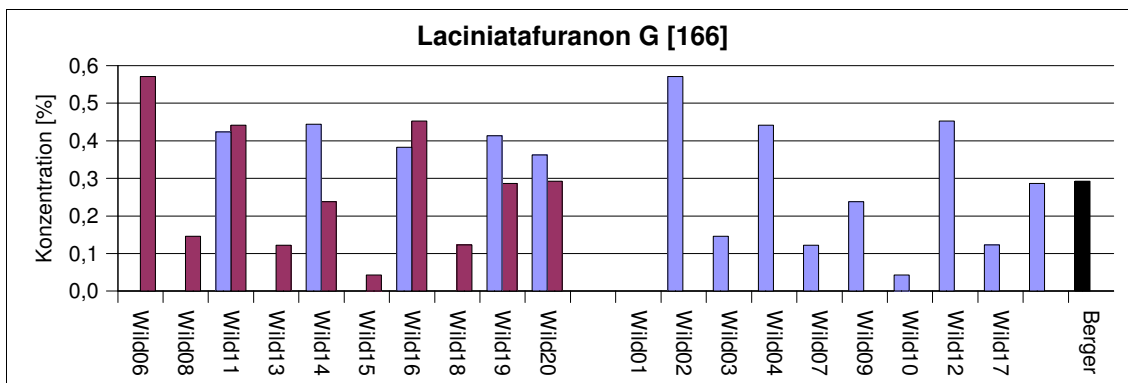
Artedouglasia-oxid	Gehalt [%] Wildpflanzenöl	Gehalt [%] Stecklingspflanzenöl	Gehalt [%] Handelsöl
A	1,30	0,4	1,7
B	2,00	0,7	2,2
C	0,60	0,2	0,7
D	0,70	0,4	1,3

5.3.2 Laciniatafuranone

Bei den Laciniatafuranonen kann beobachtet werden, dass alle Gehalte - mit Ausnahme von einigen Individuen beim Laciniatafuranon E und F - bei den Stecklingspflanzen gegenüber den Wildpflanzen steigen. Allerdings konnte Laciniatafuranon E in drei Stecklingspflanzenölen nicht detektiert werden. Beim Laciniatafuranon G [166] ist auffallend, dass selbst in den Pflanzen, bei denen in der Wildform kein Laciniatafuranon G nachzuweisen war, im Stecklingsöl ein deutlicher Gehalt registriert wurde. Bei Laciniatafuranon H steigen in 10 von 11 Stecklingspflanzenölen die Gehalte wenig, aber durchgehend an.

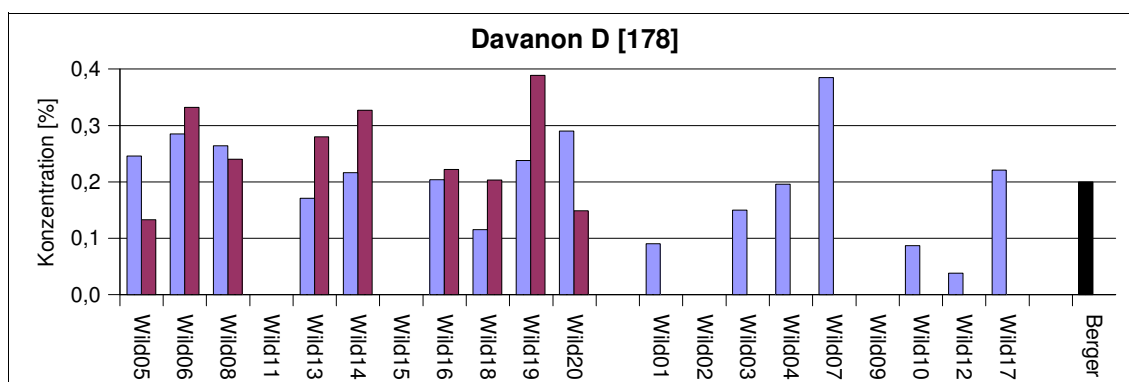
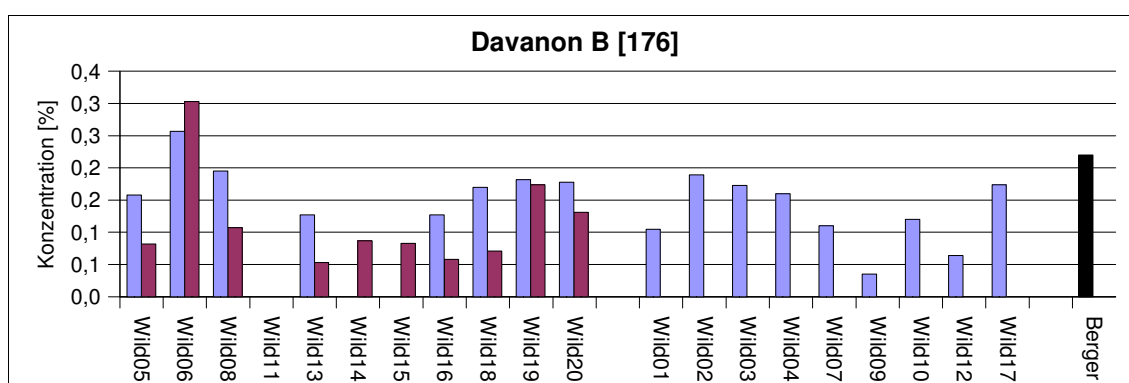
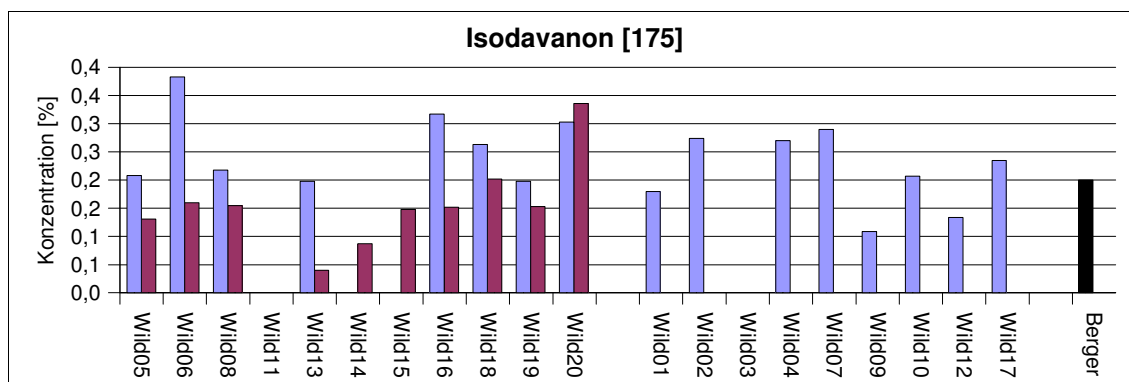
Stellt man den Bezug zum Handelsöl „Berger“ her, so lässt sich für das Laciniatafuranon E feststellen, dass sowohl die Wildpflanzen, als auch die Stecklingspflanzen dem Handelsöl sehr ähnlich sind, sofern Wildpflanze 18 als einziger Ausreißer unberücksichtigt bleibt. Laciniatafuranon F zeichnet sich dadurch aus, dass, sofern detektierbar, sich der Gehalt dem Handelsöl angleicht.

Beim Laciniatafuranon G tritt das Phänomen auf, dass es in 5 Wildpflanzenölen fehlt, es in den entsprechenden Stecklingspflanzen jedoch deutlich in Erscheinung tritt. Im Durchschnitt erreichen die Stecklingspflanzen den Gehalt des Handelsöls, wie oben beschrieben steigen die Gehalte von Laciniatafuranon G in den Stecklingspflanzen an und liegen damit im Durchschnitt über dem Gehalt des Handelsöls.



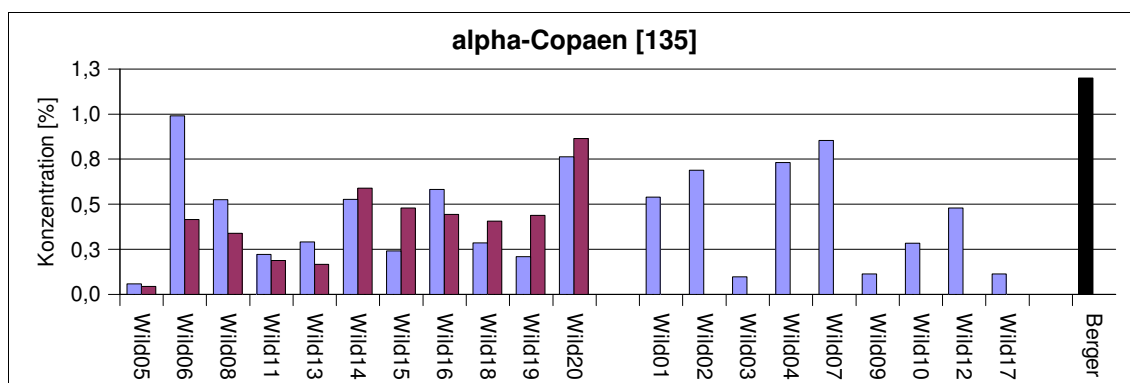
5.3.3 Davanone

Isodavanon, Davanon B und Davanon D lassen keinen eindeutigen Trend erkennen, da die Einzelgehalte sehr stark schwanken. Bemerkenswert ist aber die Wildpflanze 11 und deren Steckling, in deren Ölen keine Substanzen dieser Gruppe nachzuweisen waren.

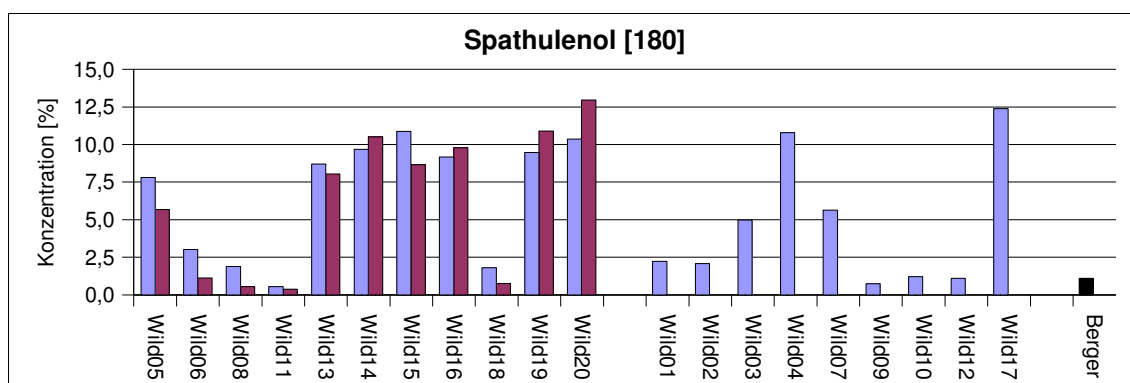


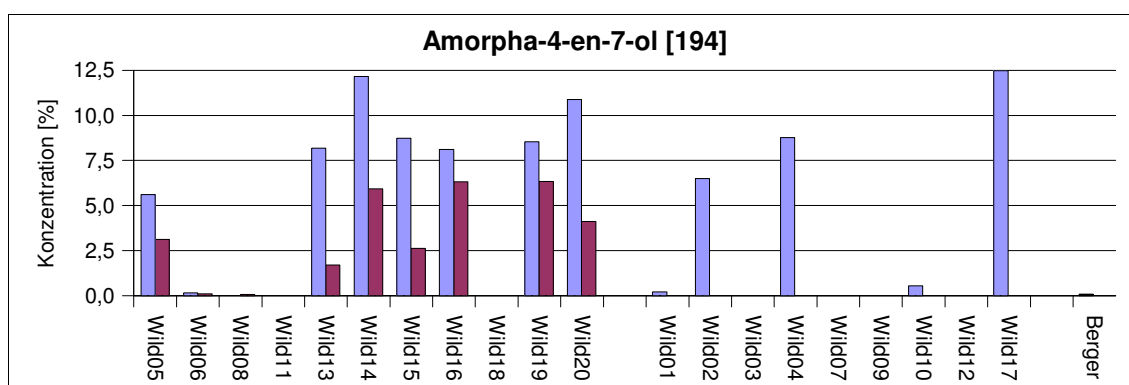
5.3.4 Weitere Sesquiterpene

Beim α -Copaen [135] ist auffällig, dass der Gehalt in den Wildpflanzen sehr stark schwankt. Betrachtet man jedoch die Gehalte von α -Copaen in den daraus entstandenen Stecklingspflanzenölen, so sind die Gehalte wesentlich einheitlicher, liegen aber im Durchschnitt unter denen des Handelsöls.

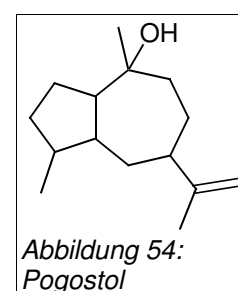


Betrachtet man Spathulenol [180], so lässt sich hier keine Aussage bezüglich eines Trends der Konzentrationsänderung machen. Die Gehalte liegen bei 8 von 11 Wild- und Stecklingspflanzen deutlich über dem Gehalt im Handelsöl. Bei Amorpha-4-en-7-ol [194] trifft diese Aussage ebenfalls zu, jedoch nimmt in jedem Pflanzenpaar die Konzentration in der Stecklingskultur ab. In der Wildpflanze 11 waren beide Substanzen gar nicht oder nur in äußerst geringen Konzentrationen detektierbar.

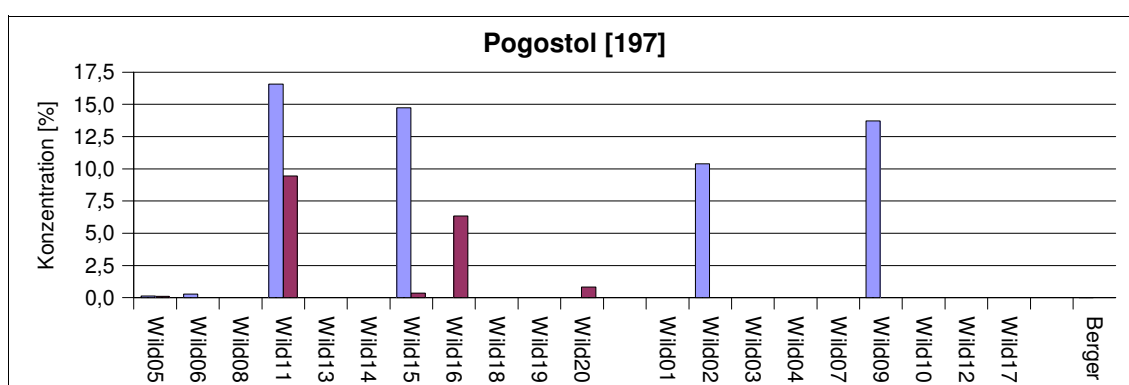




Pogostol [197] war in 14 von 20 Wildpflanzen nicht nachzuweisen. Die Graphik zeigt, dass es in 4 Wildpflanzen in Konzentrationen zwischen 10 und 17,5% auftritt, in 2 unter 0,1%. In den beiden Wildpflanzen, aus denen Stecklinge gebildet werden konnten, ging der Gehalt bei der Kultivierung sehr stark zurück (in Probe Nr.11 von 16,6% auf 9,4% und in Probe Nr.15 von 14,7% auf 0,3%). Bei den zwei übrigen Pflanzen wurde Pogostol erst in den Stecklingen gebildet. Die geruchlich stark abweichende Wildpflanze 11 wies sowohl im Wildpflanzenöl als auch im Stecklingspflanzenöl die jeweils höchste Pogostolkonzentration auf.

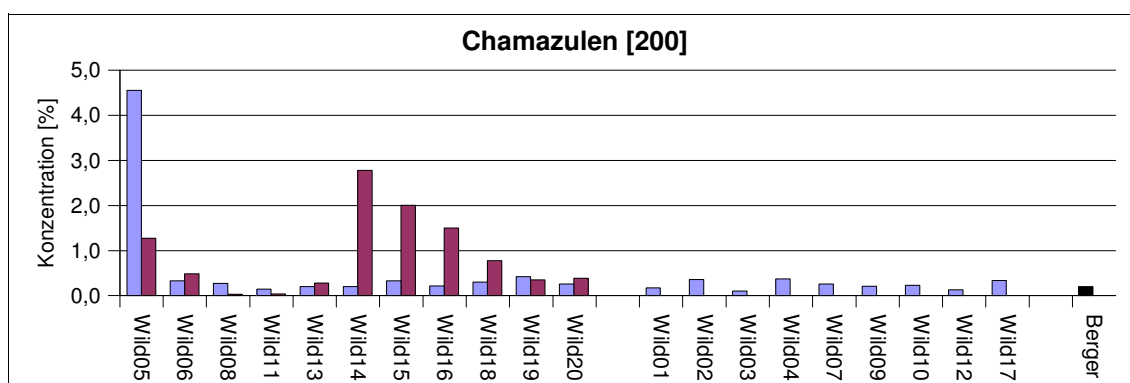
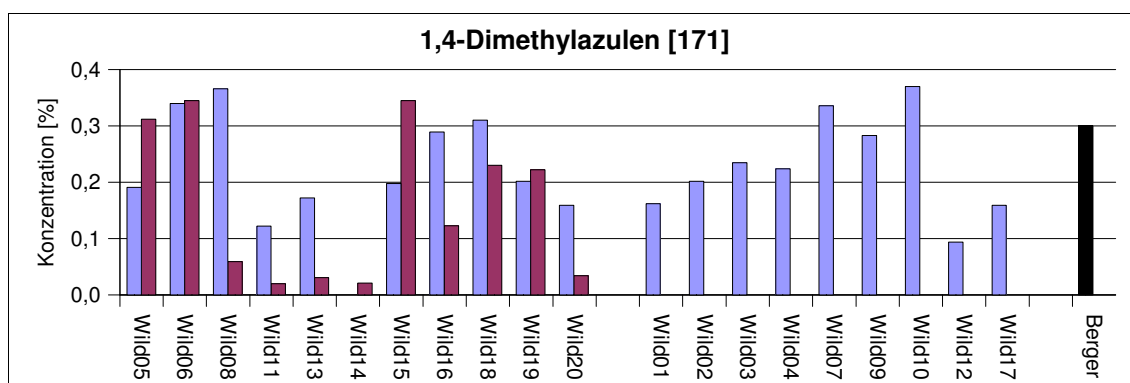


Ein Bezug zu Handelsölen konnte nicht hergestellt werden, da Pogostol in keinem der Handelsöle nachgewiesen werden konnte.



5.4 Azulene

Beim 1,4-Dimethylazulen [171] und beim Chamazulen [200] lassen sich im Vergleich Wildpflanze /Steckling keine Trends in der Konzentration der jeweiligen Substanz erkennen. Die in den Blockdiagrammen zum Ausdruck kommenden sehr starken Schwankungen lassen sich nicht in den Ölen der verschiedenen Pflanzen durch Farb- bzw. Farbtiefenunterschiede erkennen.



Diese Schwankungen liegen wahrscheinlich darin begründet, dass es sich bei diesen beiden betrachteten Komponenten um Artefakte handelt, die in der Pflanze nicht genuin enthalten sind, sondern erst bei der Destillation des ätherischen Öls gebildet werden. Eine Betrachtung der Konzentrationen von den Proazulenen in den einzelnen Pflanzen konnte aufgrund der sehr geringen Sammelmengen nicht durchgeführt werden. Diese wäre auch nur von geringer Relevanz gewesen, da die beiden Azulene aufgrund ihrer geruchlichen Neutralität kaum einen Beitrag zur Aromaentfaltung der Öle leisten.

6 Standortbezogene Betrachtungen

Zur einfacheren Orientierung sind die Standorte in Tabelle 13 noch einmal zusammengestellt. Bei der Auswertung der Blockdiagramme und auch der Tabelle 8 in Bezug auf standortbezogene Ähnlichkeiten lässt sich wenig Auswertbares erkennen. Pflanzen eines Standorts sind sich nicht ähnlicher als Pflanzen verschiedener Standorte, was bedeutet, dass keine standortspezifischen Muster zu erkennen sind. Alle Wildpflanzen haben 2-Methylpropyl-2-methylpropanoat [12], (Ausnahme Pflanze 16 = 0%) und 2-Methylbutyl-2-methylpropanoat [41] als Hauptkomponenten. Die übrigen Komponenten streuen mehr oder weniger und übertreffen ohnehin selten die 2 %-Grenze. Zahlenmäßig auffallende Variationen zeigen sich bei den Komponenten α -Pinen [19] (0-7,82%), *p*-Cymen [43; 0,08-6,18%), 2-Methylpropylangelat (50; 0,73-7,24%), γ -Terpinen [54] (0-5,21), Terpinen-4-ol [90] (0,11-14,24%), Spathulenol [190] (0,73-10,88%), Amorpha-4-en-7-ol [194] (0-12,16%), Pogostol [197] (0-14,75%). In keinem Fall zeigen jedoch auch diese Werte standortspezifische Beziehungen. Möglicherweise hat man es hier mit dem Phänomen von chemischem Polymorphismus zu tun, wie es für viele andere Ätherisch-Öl-Pflanzen gefunden wurde, im Arbeitskreis untersucht an der Gattung Thymus [SCHMIDT et al. 2004]. Dabei handelt es sich um eine infraspezifische chemische Variabilität von Individuen, zurückzuführen auf genetische Variationen, die bei geschlechtlicher Fortpflanzung auftreten. Da sich diese Abweichungen nicht immer in den Stecklingspflanzen fortschreiben, bleibt dies spekulativ, zumal zu wenige Einzelpflanzen von einem Standort untersucht wurden.

Auch ein Vergleich der Ölzusammensetzung der einzelnen Wildpflanzen mit ihren geruchlichen Eigenschaften zeigt keine Entsprechung. Die im Kapitel 3.2 beschriebenen Ähnlichkeiten bei Pflanzen eines Standorts lassen sich in der prozentualen Zusammensetzung nicht wiederfinden.

Interessant ist die Zusammensetzung der Wildpflanze Nr. 11 vom Standort „Mooi-hoek“. Wie auch schon in der Geruchscharakterisierung beschrieben, fällt diese Pflanze in der Zusammensetzung des ätherischen Öls weitgehend aus dem Rahmen. Der eingangs als „harzig, kaum fruchtig“ beschriebene Geruch der Pflanze spiegelt sich wider in der Zusammensetzung der Komponenten. Die Konzentrationen von α -Terpinen [42], *p*-Cymen [43] und 1,8-Cineol [44], aber auch von γ -Terpinen [55] und *trans*-Sabinenhydrat [57] weichen sehr stark von den Durchschnittswerten ab. Dabei sind einige Komponenten entweder überdurchschnittlich vorhanden oder im Gegensatz dazu gar nicht.

*Tabelle 13: Standorte der Wildpflanzen
(Auszug aus Tabelle 7)*

Nr.	Ortsbezeichnung
1	Besters Vlei
2	Besters Vlei
3	Mount Morkel
4	Mount Morkel
5	Mount Morkel
6	Mount Morkel
7	Butha Buthe Border
8	Butha Buthe Border
9	Butha Buthe Border
10	Butha Buthe Border
11	Mooihoek
12	Sunny Side
13	Sunny Side
14	Sunny Side
15	Sunny Side
16	Kromdraai
17	Kromdraai
18	Kromdraai
19	Kromdraai
20	Kromdraai

7 Physikalische Daten und Kennzahlen des ätherischen Öls

Alle hier genannten Messungen wurden anhand des Handelsöls „Berger“ durchgeführt.

7.1 Spezifische Dichte

Die pyknometrisch ermittelte Dichte des Öls beträgt **$D = 0,8896 \text{ g/cm}^3$ bei 20°C .**

7.2 Optische Drehung

Die Messung der optischen Drehung wurde mit einem manuellen Polarimeter durchgeführt und beträgt **-4°** im unverdünnten Öl.

7.3 Refraktionsindex

Die Messung des Refraktionsindex wurde mit einem Abbee-Refraktometer durchgeführt. Der Refraktionsindex beträgt **$n = 1,4302$ bei 25°C .**

7.4 Flammpunkt

Der Flammpunkt des ätherischen Öls liegt bei **$61,7^\circ\text{C}$.**

7.5 CAS-Nummer

94334-04-0

7.6 EINECS-Nummer

305-845-0

D Diskussion

Die Gattung *Eriocephalus* im südlichen Afrika wurde in den achtziger Jahren taxonomisch neu bearbeitet mit der Folge, dass die in den Hochlagen der Drakensberge vorkommenden Pflanzen der Art *Eriocephalus punctulatus* als eigenständige Art *E. tenuifolius* ausgegliedert wurde. Neue Pflanzenbezeichnungen setzen sich immer schwer durch und so ist auch in diesem Fall der Name *E. punctulatus* heute immer noch in Gebrauch. Korrekt ist aber die Bezeichnung *E. tenuifolius*, die in dieser Arbeit nun durchgehend verwendet wird. Auch bei den in der Literatur beschriebenen Pflanzen handelt es sich in Wirklichkeit um *E. tenuifolius*. Auch das heute im Handel befindliche ätherische Öl, das als „Cape Chamomile Oil“ gehandelt wird, wird aus Stecklingskulturen von *E. tenuifolius* gewonnen, auch wenn der Hersteller diesen Namen noch nicht verwendet.

Das vornehmliche Ziel der Arbeit war die Aufklärung der Zusammensetzung des ätherischen Öls von *E. tenuifolius*, das, wie in der Einleitung beschrieben, vorwiegend für kosmetische Zwecke eingesetzt wird. Es wird ausschließlich auf einer Farmfabrik im südafrikanischen Gouda nördlich von Kapstadt aus Stecklingskulturen gewonnen und zeichnet sich rein äußerlich durch sein blaue Farbe aus, was letztlich auch die Assoziation zum europäischen Kamillenöl aus *Matricaria recutita* L. zur Folge hatte. Zunächst stand die Zusammensetzung des Handelsöls im Vordergrund. Bekannt war über dieses Öl nur wenig. Die wissenschaftliche Literatur beinhaltete einige Arbeiten aus den achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts, die nur die Hauptkomponenten beschreiben, wobei häufig nicht einmal die Konfiguration erwähnt wurde. Mit diesen Arbeiten wurden auch nur ca. 35 % des ätherischen Öls abgedeckt.

Das weitere Anliegen der Arbeit war die Zusammensetzung des ätherischen Öls der Pflanze an ihrem natürlichen Standort, eingeschlossen die Frage nach der natürlichen Variation der Ölzusammensetzung. Besonders interessant erschien dann der Vergleich der Ölmuster der Wildpflanzen mit dem der Handelsöle. Diese Aufgabe war mit einer umfangreichen Reisetätigkeit an die natürlichen Standorte der Pflanze in den Drakensbergen, nördlich dem Königreich Lesotho gelegen, verbunden, ein nicht ganz einfaches Unterfangen. Die Öle dieser Pflanzen wurden dann auf der Farm isoliert und in Hamburg untersucht.

Auf dieser Reise wurden außerdem von den an verschiedenen Standorten wachsenden Pflanzen Stecklinge genommen und auf der Farm zum großen Teil erfolgreich kultiviert. Die aus den Stecklingskulturen nach drei Jahren gewonnen Öle wurden ebenfalls analysiert. Damit sollte die Frage beantwortet werden, ob sich das Ölmuster der Ausgangspflanze bei der Kultivierung erhält oder ob es sich ändert und wenn ja, in welche Richtung. Letztlich stand dabei die Idee im Raum, durch neue Stecklingskulturen zu einen sensorisch wertvolleren Öl zu kommen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen, die in den Kapiteln „Ergebnisse“ dargestellt sind, werden nun in dieser Reihenfolge diskutiert. Im Anschluss sollen auch ein paar Gedanken zur Analytik, insbesondere zu den sehr intensiv genutzten Datenbanken, einfließen.

1 Zusammensetzung der Handelsöle aus *E. tenuifolius* (Cape Chamomile Oil)

Für diese Untersuchungen standen fünf Öle zur Verfügung, die in den Jahren 1997 bis 2001 auf der Farm produziert worden waren. Im Ergebnis konnten über 250 Komponenten detektiert werden, die durch intensive Nutzung von MS-Datenbanken weitgehend identifiziert werden konnten. Insgesamt wurden 95,7 bis 97,1 % des Öls abgedeckt, sodass man heute sagen kann, dass das Cape Chamomile Oil in seiner Zusammensetzung aufgeklärt ist.

Es wurden in allen Pflanzen stets wiederkehrende Hauptkomponenten nachgewiesen. Mit über 50 Komponenten stellt die Gruppe der aliphatischen Ester die zahlenmäßig am stärksten vertretene Verbindungsklasse dar. Hier sind 2-Methylbutyl-2-methylpropanoat (19,9% bis 23,0%), 2-Methylpropyl-2-methylpropanoat (5,3% bis 12,4%) und 2-Methylbutyl-2-methylbutanoat (3,4 bis 5,6%) die dominierenden Ester. Unter den terpenoiden Verbindungen, die in der Summe teilweise über 35% des Öls darstellen, findet man hauptsächlich Linalylacetat (2,6 bis 5,7%) und α -Pinen (0,8 bis 2,3%). In der höher siedenden Fraktion (sauerstoffhaltige Sesquiterpene) wurden die Artedouglasiaoxide A-D, einige Davanone und Laciniatafuranone detektiert. Dieser Befund ist bemerkenswert, da solche Sesquiterpene bisher überwiegend nur in *Artemisia*-Arten gefunden wurden.

Chemisch haben die Öle der Kapkamille und der europäischen Kamille nahezu nichts gemeinsam, denn das europäische Kamillenöl besteht zum großen Teil aus Bisabololoiden, also Sesquiterpenen mit Bisabolan Grundgerüst, sowie Farnesen, Spathulenol, den En-in-Dicycloethern und Chamazulen. Letzteres ist auch in der

Kapkamille enthalten und bewirkt die blaue Farbe. Wie auch bei der europäischen Kamille entsteht es während der Destillation aus dem genuinen Matrizin; außerdem konnte die Bildung von 1,4-Dimethylazulen beobachtet werden. Insofern verbietet sich auch ein Austausch von Kamillenöl gegen Kapkamillenöl in der Phytotherapie, wo europäisches Kamillenöl als Inhalat bei Erkältungen eingesetzt wird. Wenn man schon nach Ähnlichkeiten sucht, dann findet man mehr Gemeinsamkeiten mit dem Öl der Römischen Kamille (aus *Anthemis nobilis* L.), in dessen Öl aliphatische Propionate, Butyrate, Isobutyrate, Angelate, Tiglate und weitere aliphatische Ester vorherrschen.

Betrachtet man nun die verschiedenen Handelsmuster, so stellt man fest, dass die im Inhaltsstoffmuster festgestellte Ähnlichkeit auch in der Sensorik zum Ausdruck kommt. Im Ergebnis scheint es so zu sein, dass die auf der Farm kultivierten Stecklingskulturen sich auf eine bestimmte Zusammensetzung des Öls „eingependelt“ haben. Dies ist auch schon daher schlüssig, da wegen der ungeschlechtlichen Vermehrung der Pflanzen durch Stecklinge kein variierendes genetisches Material eingebracht wird. Darüber hinaus sind auf der Farm Wachstumsbedingungen, Boden und Klima weitestgehend gleichbleibend. Im Ergebnis kann die vom Hersteller als „süßlich, fruchtig mit einer kaum wahrnehmbaren harzigen oder herben Note“ als zuverlässiges sensorisches Qualitätsmerkmal angepriesen werden. Erwähnenswert ist noch die Tatsache, dass sich die blaue Farbe des Öls während der Lagerung nach und nach ins Grünliche verändert und schließlich verblasst, ein gutes Kriterium für das Alter des Öls.

2 Ölmuster der Wildpflanzen - Vergleich mit den Handelsölen

Insgesamt wurden 20 Wildpflanzen untersucht, die im Sommer 2001 in den Draakensbergen gesammelt wurden. In den Ölen dieser Wildpflanzen wurden in der Summe über 200 ÖlkompONENTEN detektiert und identifiziert. Mit über 50 Komponenten stellt die Gruppe der aliphatischen Ester wiederum die am stärksten vertretene Verbindungsklasse dar. Hier sind 2-Methylbutyl-2-methylpropanoat (6,6 bis 28,1%) und 2-Methylbutyl-2-methylbutanoat (0,6 bis 5,6%) die wichtigsten Ester. Unter den terpenoiden Verbindungen, die teilweise über 35% des Öls darstellen, findet man in allen Pflanzen α -Pinen (0,1 bis 8,9%). In der höher siedenden Fraktion wurden ebenfalls die Artedouglasiaoxide A-D, einige Davanone und Laciniatafurane detektiert.

Einige Substanzen konnten nicht identifiziert werden, weil von den Wildpflanzen nur

sehr wenig Öl zur Verfügung stand. Dennoch wurden acht Substanzen, deren genaue Struktur nicht geklärt werden konnte, in die tabellarischen Übersichten mit eingebunden, weil sie in einem Großteil der vermessenen Öle in deutlichen Konzentrationen vorkamen und weil diese Substanzen anhand der Massenspektren zumindest bestimmten Stoffgruppen zugeordnet werden konnten. Hierbei handelte es sich zu meist um sauerstoffhaltige Sesquiterpene. Sie wurden als „Unbekannte Komponente“ A-H unter Angabe des wahrscheinlichen Molekulargewichts genannt. Besonders bei den Ölen der Wildpflanzen wurden darüber hinaus noch einige Komponenten ähnlicher Struktur gefunden, diese wurden jedoch wegen der geringen Konzentrationen und dem sporadischen Vorkommen nicht explizit aufgeführt. Bei 18 Ölen wurden trotzdem zwischen 75,9% und 92,6% des Öls identifiziert, lediglich bei zwei Ölen nur 62,5% bzw. 69,9%. Bei der Wildpflanze Nr.17 hatte einer dieser unbekannt Peaks eine Fläche von 9,3%.

Vergleicht man die Wildpflanzenöle mit den Handelsölen und bleiben die quantitativen Verhältnisse zunächst außer Acht, dann kann festgestellt werden, dass es deutliche Überschneidungen in den Inhaltsstoffen zwischen Handelsölen und den Ölen der Wildpflanzen gibt. Ungefähr 70% der Ölkomponenten der Wildpflanzen decken sich mit den Komponenten der Handelsöle. Einige Komponenten der Handelsöle wurden in den Wildpflanzenölen jedoch nicht gefunden. Im Einzelnen waren dies u.a. Linalylacetat, Tricyclen, Lavenderlacton oder auch Neryl- und Geranylformiat. Umgekehrt fehlten einige Komponenten der Wildöle in den Handelsölen, u.a. Pogostol und einige nicht identifizierte sauerstoffhaltigen Sesquiterpene, die einzeln in den Wildpflanzen detektiert wurden.

Berücksichtigt man quantitative Aspekte, so sind Unterschiede zu den Handelsölen deutlicher zu erkennen. Die Komponenten der Handelsöle decken ca. 80% des Wildpflanzenöls ab. Die Hauptkomponenten sind in fast allen Fällen die gleichen, wenn auch variierend im Gehalt. Die übrigen 20% werden überwiegend von unbekannt Sesquiterpenen oder von den bekannten Sesquiterpenen wie Amorpha-4-en-7-ol und Pogostol gestellt. Letzteres ist allerdings nur in wenigen Wildpflanzenölen, darin aber in relativ hoher Konzentration (10 bis 16%) enthalten.

Sensorisch unterscheiden sich die Wildpflanzenöle von den Handelsölen. Zwar prägen die Hauptkomponenten der Wildpflanzenöle, die z.T. in Anteilen von über 28% nachgewiesen wurden, offensichtlich den sensorischen Eindruck des ätherischen Öls, jedoch können auch Minorkomponenten (unter 3%) gegenüber den dominie-

renden Hauptkomponenten offensichtlich die Geruchsnote modifizieren. Weitergehend lässt sich keine Aussage darüber treffen, inwiefern eine bestimmte Substanz einen Beitrag zur geruchlichen Charakterisierung eines ätherischen Öls in Abhängigkeit von deren Konzentration leisten kann, denn die Geruchsschwellenkonzentration variiert stark von Substanz zu Substanz.

Unter Berücksichtigung der quantitativen Verhältnisse wird beobachtet, dass die Hauptkomponenten der Wildöle immer die gleichen sind, wenn auch mit unterschiedlichen Prozentgehalten. Dennoch wurden in allen Pflanzen stets wiederkehrende Hauptkomponenten nachgewiesen.

3 Ölmuster der Stecklingskulturen

Es war bekannt, dass der gesamte Bestand der Pflanzen auf der Produktionsfarm aus Stecklingen gezüchtet wurde, die Anfang der achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts nördlich des Königreichs Lesotho in den Drakensbergen gesammelt worden waren. Um Veränderungen durch die Stecklingsvermehrung aufzudecken, wurden die auf der Forschungsreise in diesem Gebiet gesammelten Pflanzen ebenfalls mittels Stecklingen vermehrt. Nach drei Jahren stand auf der Farm genügend Pflanzenmaterial zur Verfügung, so dass daraus im Feldmaßstab Öle gewonnen werden konnten. Die Unterschiede im Ölmuster zu den Ausgangspflanzen und den Handelsölen wurden im Kapitel C-1 bis C-3 detailliert dargestellt. Im Großen und Ganzen betrachtet lässt sich daraus ableiten, dass die Unterschiede zwischen den Ölmustern der Stecklinge und denen der Handelsöle geringer sind als die Unterschiede zwischen den Mustern von Stecklingsölen und Wildpflanzen. Dies kann in der Weise interpretiert werden, dass die Stecklingsvermehrung offensichtlich eine Veränderung des Öles bewirkt, die möglicherweise letztlich bei der Qualität des Handelsöls endet. Ein zeitlicher Rahmen für diese Entwicklung lässt sich an dieser Stelle nicht festlegen. Eine logische Konsequenz aus dieser Beobachtung ist, dass es unwahrscheinlich ist, durch Stecklingnahme von Wildpflanzen zu einer neuen und vor allem dauerhaft neuen sensorischen Qualität des Öls zu kommen.

E Material und Methoden

1 Pflanzenmaterial

1.1 Kulturpflanzen

Die Kulturpflanzen zur Gewinnung der Handelsöle wurden in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts in der Ursprungsregion von *Eriocephalus tenuifolius* in den Drakensbergen gesammelt und auf dem Gelände der Farmfabrik von Grassroots Natural Products, Gouda, SA, kultiviert. Die Anzucht der Stecklinge findet in überwiegend beheizten Gewächshäusern statt, anschließend werden die Pflanzen ins Freiland verbracht. Hier werden sie im Herbst geerntet, d.h. das Kraut wird ca. 15 cm über dem Boden abgeschnitten. Einen guten Ertrag bieten die Pflanzen bis zum 3. oder 4. Jahr, dann werden sie komplett ausgerissen und durch neue ersetzt, die wiederum aus Stecklingen dieser Pflanzen gezüchtet werden.

1.2 Wildpflanzen / Wildpflanzenstecklinge

Die Wildpflanzen wurden im August 2000 im Rahmen einer Forschungsreise in den Drakensbergen gesammelt. Die Angaben der Fundorte und die gesammelten Mengen zeigt die Tabelle 14.

Tabelle 14: Standorte, Mengen und Ölausbeuten der Wildpflanzen *Eriocephalus tenuifolius*

Nr.	Sammelgewicht [g]	Destillationsgewicht [g]	Ölausbeute [mg]	Ölgehalt [%]	GPS Standortkoordinaten		Ortsbezeichnung
					südliche Breite	östliche Länge	
1	285	130	300	0,23	28,41	28,11	Besters Vlei
2	195	75	175	0,23	28,41	28,11	Besters Vlei
3	160	75	366	0,49	28,41	28,04	Mount Morkel
4	250	125	650	0,52	28,41	28,04	Mount Morkel
5	300	135	913	0,68	28,41	28,04	Mount Morkel
6	200	90	305	0,34	28,41	28,04	Mount Morkel
7	200	80	200	0,25	28,41	28,14	Butha Buthe Border
8	340	160	610	0,38	28,41	28,14	Butha Buthe Border
9	400	190	1100	0,58	28,41	28,14	Butha Buthe Border
10	255	105	368	0,35	28,41	28,14	Butha Buthe Border
11	190	75	330	0,44	28,37	28,26	Mooihoek
12	315	135	785	0,58	28,36	28,33	Sunny Side
13	375	170	835	0,49	28,36	28,33	Sunny Side
14	450	220	790	0,36	28,36	28,33	Sunny Side
15	515	245	1270	0,52	28,36	28,33	Sunny Side
16	320	150	444	0,3	28,39	28,22	Kromdraai
17	295	120	410	0,34	28,39	28,22	Kromdraai
18	455	190	804	0,42	28,39	28,22	Kromdraai
19	465	200	636	0,32	28,39	28,22	Kromdraai
20	320	140	480	0,34	28,39	28,22	Kromdraai

Ein Teil des Materials wurde direkt destilliert, der andere Teil wurde zur Gewinnung von neuem Pflanzenmaterial, den sog. Wildpflanzenstecklingen, kultiviert.

Nach dem Sammeln wurden die Zweige gekühlt und feucht gehalten. Sie wurden aus dem Sammelgebiet auf die Farm verbracht und dort teilweise in beheizten Gewächshäusern kultiviert. Nach einem Anzuchterfolg wurden die Pflanzen ins Freiland verbracht. Von den 20 gesammelten Wildpflanzen konnten 11 soweit kultiviert werden, dass im Mai 2003 daraus hergestellte Öle aus Südafrika nach Hamburg geschickt wurden und diese vermessen werden konnten.

2 Gewinnung des ätherischen Öls und des Extraktes

2.1 Gewinnung der Handelsöle

Vor der Ölgewinnung werden die Sträucher nach der Blütezeit im Spätsommer noch einige Wochen auf dem Feld belassen. Dann wird für die folgende Destillation das Kraut ca. 10-15 cm über dem Boden abgeschnitten. Das Kraut wird in eine mobile Destillationsanlage verbracht. Diese Anlagen destillieren die eingebrachten Pflanzen mittels Wasserdampf. Die Pflanzen werden über einem siedenden Wasserbad mittels Dampf extrahiert. Dieser Vorgang dauert bei *Eriocephalus tenuifolius* ca. 4 Stunden und extrahiert das enthaltene ätherische Öl nahezu quantitativ. Der Ölgehalt der verwendeten Rohware beträgt nach Aussagen der Produzenten zwischen 0,3 und 0,6%. Nach der Destillation wird das Öl sofort weiter abgekühlt und in kleine Fässer abgefüllt. Diese werden in einen Kühlcontainer verbracht und dort mehrere Monate eingelagert.

2.2 Gewinnung der Laborproben

Für die Destillation im Labormaßstab wurde eine Rundlaufwasserdampfdestillationsapparatur verwendet (Abbildung 55). Die Pflanzenprobe wird in einen 2 Liter-Kolben eingebracht und dieser mit 1,5 L Wasser befüllt. Nach dem Befüllen der Destillationsschleife werden 3 mL *n*-Hexan vorgelegt. Anschließend wird nach dem Erreichen der Siedehitze 2,5 Stunden destilliert. Nach dem Abkühlen der Apparatur wird das Destillat über den Hahn in einen Erlenmeyerkolben überführt, über Na₂SO₄ getrocknet und in Braunglasvials abgefüllt. Bis zur gaschromatographischen und massenspektroskopischen Vermessung werden die Lösungen gekühlt gelagert.

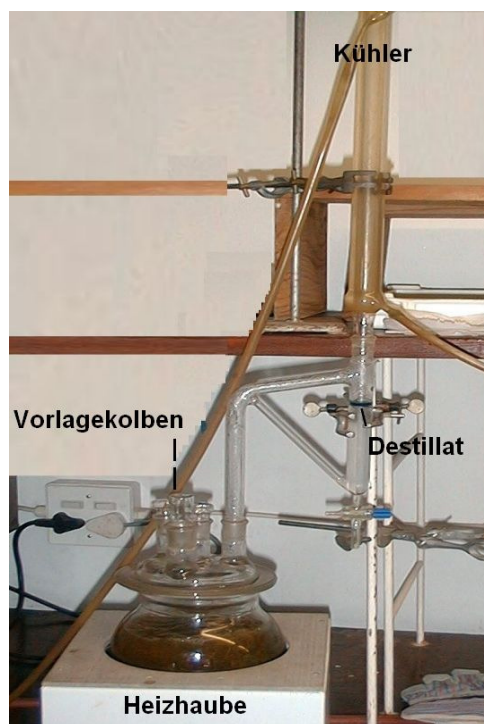


Abbildung 55:
Labordestillationsapparatur

2.3 Gewinnung des Kaltextraktes

10 g Blätter von *Eriocephalus tenuifolius* wurden im Mörser unter Zugabe von ca. 20 mL flüssigem Stickstoff zerrieben und anschließend mit 50 mL Ethylacetat in einem Becherglas bedeckt. Dann wurde 10 Minuten im Ultraschallbad extrahiert und über Nacht im Kühlschrank gelagert. Eine längere Zeit im Ultraschallbad ist zu vermeiden, damit die Lösung sich nicht erwärmt. Dann wurde die Lösung filtriert, über Na_2SO_4 getrocknet und auf 3 mL eingengt. Diese ergeben die Prüflösung für die Gaschromatographie.

3 Fraktionierung und Chromatographie der Öle

3.1 TSC-Trennung

Eine Abtrennung der blauen Komponenten vom restlichen Öl wurde mit einem modifizierten Verfahren nach KUBECZKA [1973] durchgeführt.

Eine Säule (25 cm x 1 cm) wird 20 cm hoch mit Kieselgel zur Trockensäulenchromatographie (TSC 60 A) befüllt. 1 mL des reinen ätherischen Öls wird aufgegeben und mit *n*-Hexan eluiert. Kurz vor der Elution der blauen Fraktion wird das Eluat verworfen und die blaue Fraktion aufgefangen. Diese Lösung wird zur weiteren Verwendung eingengt.

3.2 Semipräparative Tieftemperatur-DC

Unter Verwendung einer HPTLC-Fertigplatte (Kieselgel 60 F₂₅₄ von Merck) der Größe 20 x 10 cm wurde die aus der TSC-Trennung erhaltene Hexanlösung bandenförmig aufgetragen. Die Platte wurde bei -20 °C in der Tiefkühltruhe ca. 8,5 cm hoch entwickelt.

Auf Höhe der blauen Bande wurde das Kieselgel ausgekratzt und in eine Pasteurpipette überführt. Mit ca. 0,5 mL *n*-Hexan wurde die blaue Fraktion quantitativ vom Kieselgel eluiert und für die Gaschromatographie und Massenspektroskopie eingesetzt.

3.3 TSC-Fünfertrennung

Die sog. „Fünfertrennung“ nach KUBECZKA [1973] wird zur Trennung der Ölkompone-
nten nach deren Polarität verwendet. Zur Fraktionierung wird ein mit einer Fritte
einseitig verschlossenes Glasrohr (NS 29/32) mit den Abmessungen Länge = 25 cm,
Durchmesser = 3 cm verwendet und mit 10 cm Kieselgel (ICN Silicia TSC 60 A; ICN
Biomedicals) gefüllt. Auf das obere Ende der Säule werden 1 mL einer 10 %igen *n*-
Hexan-Lösung des Öls gegeben, mit einer 1 cm hohen Schicht Kieselgel über-
schichtet und mit etwas Watte abgedeckt. Eluiert wird mit 150 mL *n*-Hexan (Fraktion
1). Anschließend wird nach dem Trockenlaufen der Säule mit 60 mL Hexan/Diethy-
lether-Gemisch (4:1) eluiert. Das abtropfende Eluat bildet Fraktion 2. Die trocken-
gelaufene Säule wird im Verhältnis 4:3:3 (vom unteren Ende beginnend) bis zur Sub-
stanzaufgabemarke mit einem Spatel herausgenommen und sofort suspendiert in:

Fraktion 3: 20 mL *n*-Hexan

Fraktion 4: 20 mL *n*-Hexan/Diethylether (1:1)

Fraktion 5: 20 mL *n*-Hexan/Diethylether (1:1)

Die Fraktionen 3-5 werden nach folgendem Schema aufgearbeitet: Den Suspensio-
nen wird unter Rühren nach und nach Aqua dest. zugegeben. Dabei wird das Sili-
cagel sulzig (das Wasser verdrängt die absorbierten Komponenten aus dem Silica-
gel). Der Überstand wird dekantiert und der Rückstand zweimal mit je 10 mL Lö-
sungsmittel (s.o.) gewaschen. Die Diethylether enthaltenden Fraktionen werden mit
wasserfreiem Na₂SO₄ getrocknet und unter vermindertem Druck und N₂-Atmosphäre
auf ca. 1 mL eingeengt.

Die Aufteilung der Ölkompontenten erfolgt in

Fraktion 1: Kohlenwasserstoffe

Fraktion 2: Ester

Fraktion 3: Phenole, Ketone, Oxide

Fraktion 4: Alkohole, Oxide

Fraktion 5: Säuren

3.4 Gaschromatographie

Für die gaschromatographische Trennung wurde ein Hewlett-Packard 5890A Serie 2 Gaschromatograph teilweise mit automatischem Probengeber verwendet. Das Gerät war mit Splitinjektor und Flammenionisationsdetektor (FID) ausgestattet. Die Trennsäule war eine Phenomenex Zebron ZB 1. Die Signale wurden zur Peakflächenberechnung der Auswertesoftware HP Chemstation 5 zugeführt. Weitere Parameter zeigt die Tabelle 15.

Tabelle 15: GC-Parameter

Trennsäule	Phenomenex Zebron ZB 1 30 m / 0,25mm / 0,25µm
Trägergas	Stickstoff, 60 kPa
Wasserstoff	150 kPa
Luft	200 kPa
Flussrate	1 mL / min
Splitverhältnis	1 : 10
Temperaturprogramm	45 °C Anfangstemperatur 3 °C / min Heizrate 230 °C Endtemperatur (teilweise auch niedriger)
Injektor	250 °C
Detektor	250 °C
Probengeber	Hewlett Packard 7673

3.5 Massenspektrometrie (MS)

Die Massenspektroskopie wurde mittels GC-MS-Kopplung durchgeführt. Als Trennsystem wurde ein Gaschromatograph Hewlett Packard 5890A mit einer apolaren Trennsäule verwendet. Die Tabelle 16 zeigt die Parameter im Einzelnen.

Tabelle 16: MS-Parameter

Trennsäule	Chrompack CP-Sil 5 60 m / 0,25mm / 0,25µm
Trägergas	Helium
Flussrate	0,9 mL / min
Splitverhältnis	1 : 10
Temperaturprogramm	45 °C Anfangstemperatur 5 °C / min Heizrate 220 °C Endtemperatur (teilweise auch niedriger)
Injektor	220 °C
Detektor	VG Analytical 70s
Elektronenstoßionisation	70eV
Range	39-310 Da

Die Spektren wurden im Scan-Mode aufgezeichnet, in Computerprogramme eingespeist und mit Daten und Referenzspektren verglichen.

3.6 Matrizinnachweis

Nach DAB 10 (modifiziert)

In einem Porzellanmörser werden 1 g Blätter nach Zugabe weniger Milliliter flüssiger Luft zerstoßen und in eine Chromatographiesäule von 15 cm Länge und 1,5 cm innerem Durchmesser eingefüllt, wobei mit einem Glasstab leicht nachgestampft wird. Mörser und Pistill werden zweimal mit je 10 mL Chloroform gewaschen und die Waschflüssigkeiten in die Säule gegeben. Das Perkolat wird in einem Kolben mit langem, engem Hals aufgefangen, das Lösungsmittel auf dem Wasserbad abgedampft und der Rückstand in 0,5 mL Toluol aufgenommen. Diese Lösung wird als Prüflösung verwendet.

In einem Reagenzglas werden 0,1 mL Prüflösung mit 2,5 mL einer Lösung versetzt, die 0,25 g Dimethylaminobenzaldehyd in einer Mischung von 5 ml Phosphorsäure 85 %, 45 ml Essigsäure 30 % und 45 mL Wasser enthält. Die Lösung wird 2 Minuten lang im Wasserbad erhitzt und anschließend erkalten gelassen. Wird nach Zusatz von 5 mL Petrolether geschüttelt, färbt sich in Gegenwart von Matrizin die wässrige Phase deutlich grünlich blau bis blau.

4 Geräte

4.1 Pyknometer

Für die Dichtebestimmung wurden für eine Doppelbestimmung zwei 10,0 mL Pyknometer verwendet. Die Messtemperatur betrug 20,0°C.

4.1.1 Polarimeter

Zur Bestimmung der optischen Drehung wurde ein manuelles Polarimeter verwendet. In einem 200-mm-Rohr wurde die optische Drehung für die Natrium-D-Linie bei $20 \pm 0,2^\circ\text{C}$ gemessen (Natriumdampflampe).

4.1.2 Refraktometer

Zur Bestimmung der Refraktion wurde ein **Abbee-Refraktometer** eingesetzt. Die Messtemperatur betrug 25°C.

5 Gefahrstoffe

Ätherische Öle können die Haut reizen bzw. sensibilisieren. Der Kontakt mit Augen und Haut ist deshalb zu vermeiden.

Nachfolgend sind die wichtigsten verwendeten Gefahrstoffe aufgeführt, die nach Anhang 6 der Gefahrstoffverordnung mit Gefahrensymbolen und Sicherheitsratschlägen versehen sind.

Gefahrstoff	Gefahrenmerkmal	R- und S-Sätze
Aceton CAS-Nr.: 67-64-1	F Leichtentzündlich X _i Reizend	R 11 – 36 – 66 – 67 S 9 – 16 – 26
Acetonitril CAS-Nr.: 75-05-8	F Leichtentzündlich X _n Gesundheitsschädlich	R 11 – 20/21/22 – 36 S 16 – 36/37
Anisaldehyd CAS-Nr.: 123-11-5		S23 – 24/25
Chloroform CAS-Nr.: 67-66-3.	X _n Gesundheitsschädlich	R: 22-38-40-48/20/22 S: (2)-36/37
Dichlormethan CAS-Nr.: 75-09-2	X _n Gesundheitsschädlich	R 40 S 23 – 24/25 – 36/37
Diethylether CAS-Nr.: 60-29-7	F+ Hochentzündlich X _n Gesundheitsschädlich	R 12 – 19 – 22 – 66 – 67 S 9 – 16 – 29 – 33
Dimethylaminobenzaldehyd CAS-Nr.: 100-10-7		
Eisessig CAS-Nr.: 64-19-7	C Ätzend	R 10 – 35 S 23 – 26 – 45
Ethanol UVASOL® CAS-Nr.: 64-17-5	F Leichtentzündlich	R 11 S 7 – 16
Ethylacetat CAS-Nr.: 141-78-6	F Leichtentzündlich X _i Reizend	R 11 – 36 – 66 – 67 S 16 – 26 – 33
Kieselgel CAS-Nr.: 7631-86-9		S22
Methanol CAS-Nr.: 67-56-1	F Leichtentzündlich T Giftig	R 11 – 23/24/25 – 39/23/24/25 S 7 – 16 – 36/37 – 45

Gefahrstoff	Gefahrenmerkmal	R- und S-Sätze
n-Hexan CAS-Nr.: 110-54-3	F Leichtentzündlich X _n Gesundheitsschädlich N Umweltgefährlich	R 11 – 38 – 48/20 – 51/53 – 62 – 65 – 67 S 9 – 16 – 29 – 33 – 36/37 – 61 – 62
Phosphorsäure	C Ätzend	R: 34 S: 1/2-26-45
Salzsäure 37% CAS-Nr.: 7647-01-0	C Ätzend	R 34 – 37 S 26 – 36/37/39 – 45
Toluol CAS-Nr.: 108-88-3	F Leichtentzündlich X _n Gesundheitsschädlich	R 11 – 38 – 48/20 – 63 – 65 – 67 S 6/37 – 46 – 62

F Zusammenfassung / Summary

1 Zusammenfassung

Ziel der Arbeit war eine umfassende chemische Aufklärung des ätherischen Öls von *Eriocephalus tenuifolius* DC. (Asteraceae), die Handelsöle und Öle von Wildpflanzen einschließen sollte.

Zunächst wurden fünf Handelsöle des einzigen Produzenten (Grassroute Natural Products, Gouda, Kap-Provinz, Südafrika) mittels Gaschromatographie (GC) und Massenspektroskopie (GC-MS-Kopplung) untersucht und verglichen. Insgesamt wurden 194 Komponenten identifiziert und weitere acht Substanzen anhand ihrer Massenspektren bestimmten Stoffgruppen zugeordnet. Damit konnten 95,7% bis 97,1% dieses Öls aufgeklärt werden. Mit über 50 Komponenten stellt die Gruppe der aliphatischen Ester die zahlenmäßig am stärksten vertretene Stoffklasse dar. 2-Methylbutyl-2-methylpropanoat (19,9 bis 23,0%), 2-Methylpropyl-2-methylpropanoat (5,3 bis 12,4%) und 2-Methylbutyl-2-methylbutanoat (3,4 bis 5,6%) sind die dominierenden Ester. Unter den terpenoiden Verbindungen findet man hauptsächlich Linalylacetat (2,6 bis 5,7%) und α -Pinen (0,8 bis 2,3%). In der höher siedenden Fraktion (sauerstoffhaltige Sesquiterpene) wurden die Artedouglasiaoxide A-D, einige Davanone und Laciniatafuranone detektiert.

Da die Pflanzen, aus denen auf dieser Farm das Handelsöl gewonnen wurde, über viele Jahre nur durch Stecklinge vegetativ vermehrt wurden, waren die Komponentenmuster der fünf Öle aus den Jahren 2001-2003 sehr ähnlich. Um das chemische Potential von *E. tenuifolius* in Bezug auf ihr ätherisches Öl kennen zu lernen, wurden im weiteren Verlauf mehrere Öle aus Wildpflanzen analysiert, in der Hoffnung auf bessere sensorische Eigenschaften und die Möglichkeit, das Handelsöl sensorisch „aufzuwerten“. Dazu wurden 20 Wildpflanzen von *E. tenuifolius* in den Drakensbergen in Südafrika (nördlich von Lesotho, Provinz Freestate) an sechs verschiedenen Fundorten gesammelt, auf die Farm verbracht und dort jeweils geteilt. Der eine Teil wurde sofort im Labormaßstab destilliert und das gewonnene Öl gaschromatographisch und mittels GC-MS analysiert. Aus dem größeren verbleibenden Teil der Pflanzen wurden Stecklinge genommen, diese weitere drei Jahre kultiviert und durch Stecklingsnahme vermehrt. Das ätherische Öl dieser neuen Stecklingskulturen wurde, sofern erfolgreich kultiviert, analysiert, um die Veränderungen durch die Kul-

tivierung zu verfolgen.

Zunächst wurden die Öle der Wildpflanzen mit dem Handelsöl verglichen. Die Inhaltsstoffe waren im Großen und Ganzen übereinstimmend, die Gehalte unterlagen jedoch deutlichen Abweichungen von den Handelsölen. Einige Komponenten des Handelsöls wurden in den Wildpflanzen nicht wiedergefunden (z.B. Linalylacetat), jedoch wurden auch neue Substanzen detektiert, sogar in beachtlichen Konzentrationen, wie z.B. Pogostol. Wegen der geringen Ölmengen bei den Wildpflanzen konnten einige wenige der neuen Komponenten nicht identifiziert werden.

Nach drei Jahren Strecklingsvermehrung auf der Farm stand von 11 Pflanzen genügend Pflanzenmaterial für eine Ernte zur Verfügung. Es wurde auf die gleiche Weise destilliert wie das Material für die Handelsöle. Diese „Stecklingsöle“ wurden dann mit denen der Wildpflanzen und dem Handelsöl verglichen. Der Vergleich zeigte, dass sich die ätherischen Öle während der Kultur verändert hatten, vermutlich durch Einfluss von Boden und Klima. Auffallend war, dass die Unterschiede zwischen den Ölmustern der Stecklinge und denen der Handelsöle geringer waren als die Unterschiede zwischen den Mustern von Stecklingsölen und Wildpflanzen. Zu erkennen war dies vor allem an den aliphatischen Estern und den Monoterpenen. In der Tendenz bewirkt die Stecklingsvermehrung offensichtlich eine Veränderung des Öls, die möglicherweise bei der Qualität des Handelsöls endet. Eine Konsequenz aus dieser Beobachtung ist, dass durch Stecklingsnahme von Wildpflanzen offenbar keine dauerhafte neue sensorische Qualität des Öls zu erreichen ist, sofern diese Pflanzen unter den selben Boden- und Klimabedingungen wie die Handelsöl-Stecklingskulturen kultiviert werden.

Mit dieser Arbeit wurde ein Beitrag zur Aufklärung der chemischen Zusammensetzung und der immer wichtiger werdenden Qualitätssicherung eines an Bedeutung gewinnenden Handelsöls geleistet, unter besonderer Berücksichtigung einer praxisorientierten Fragestellung.

2 Summary

Chemical composition of the essential oil from *Eriocephalus tenuifolius* DC. (Cape Chamomile Oil)

A comparison of commercial oils with oils from wild plants and transplant cultures

The aim of the dissertation was an extensive chemical elucidation of Cape chamomile oil, the essential oil from *Eriocephalus tenuifolius* DC. (Asteraceae) including commercial oils and oils from wild plants.

First five commercial oils delivered by the only producer of Cape chamomile oil (Grassroute Natural Products, a farm factory in Gouda, Cape Province, Republic of South Africa), were analysed and compared by means of gas chromatography (GLC) and mass spectrometry (GLC-MS). In total 95.5 to 97.1% of the commercial oils could be elucidated. With more than 50 components the aliphatic esters represented the numerically largest group, 2-methylbutyl 2-methylpropanoate (19.9 to 23.0%), 2-methylpropyl 2-methylpropanoate (5.3 to 12.4%) and 2-methylbutyl 2-methylbutanoate (3.4 to 5.6%) being the most dominant esters. Among the terpenoids mainly linalyl acetate (2.6 to 5,7%) and α -pinene (0.8 bis 2.3%) were found. Within the higher boiling fraction (oxygenated sesquiterpenes) the artedouglasia oxides A-D, several davanones und laciniata furanones were detected.

Since the plants, from which the commercial oils were won on the farm had always been propagated using cuttings of the same plants, the component patterns of the five oils of the years 2001 to 2003 were quite similar. In order to find the complete chemical potential of *E. tenuifolius* concerning its essential oil, oils from several wild plants were analysed. The idea was to find better sensory properties and in that way to improve the quality of the commercial Cape chamomile oil. Therefore 20 different samples of wild *E. tenuifolius* were collected at six different locations in the Drakensberge in South Africa (north of Lesotho, province Freestate). They were sent to the farm and there divided into two portions. One portion of the plants was immediately distilled, and the essential oils analysed by means of GLC and GLC-MS. From the other portion cuttings were made which were transplanted and propagated over

three years in order to follow the change in the essential oil composition during cultivation.

At first the oils of the original wild plants were compared with the commercial oils. A rather good correspondence of the components could be found. However, the quantitative proportions differed considerably. On the one hand a few components of the commercial oils could not be detected in the oils of the wild plants (e.g. linalyl acetate). On the other hand some new compounds could be found, even in considerable concentrations (e.g. pogostol). Since only small amounts of the oils from the wild plants were available, a few of these new compounds unfortunately remained unknown.

After propagation and cultivation of the transplants over three years 11 samples had produced enough plant material for further investigations. The transplant cultures were harvested and distilled in the same manner as the plant material for the production of the commercial oils. The oils of the transplant cultures were then compared with the oils from their original wild plants and with the commercial oils of the years 2001-2003. It could be observed that the essential oils were changing during cultivation presumably caused by influences of soil and climate. It was striking that the differences between the oil patterns of the transplant cultures and of the commercial oils were considerably smaller than the differences between the oil patterns of the transplant cultures and of their original wild plants, the aliphatic esters and the monoterpenes being the most important criteria for that observation. Obviously cultivation of transplants causes a chemical change of the original oil which might end with the quality of the commercial oil. That means that transplantation of wild plants and cultivation do not lead to a lasting new sensoric quality of the Cape chamomile oil, at least not if these plants are cultivated under the same conditions of soil and climate as were the transplant cultures of the commercial oils.

With this dissertation a contribution to the chemical elucidation and to the quality assurance of an increasingly important commercial oil was made with special regard to a practically oriented question.

G Literaturverzeichnis

Antonelli, A. und Fabbri, C. *

Study on roman chamomile (*Chamaemelum nobile* L. All.) oil.
Journal of Essential Oil Research, 10: 571-574 (1998)

Appendino, G., Gariboldi, P., Nano, G. M. und Tétényi, P.

Tetrahydrofuran-type-terpenoids from *Tanacetum vulgare*.
Phytochemistry, 23: 2545-2551 (1984)

Bohlmann, F., Ates, N., Jakupovic, J., King, R. M. und Robinson, H. *

Naturally occurring terpene derivatives. Part 449. Types of sesquiterpenes from
Artemisia douglasiana.
Phytochemistry, 21: 2691-2697 (1982)

Bond, P. und Goldblatt, P.

Plants of the Cape flora, a descriptive catalogue.
Journal of South African Botany, 13: 165 (1984)

Bremer, K.

Tribe Anthemideae. Asteraceae, cladistics and classification.
Portland, Oregon, Timber Press, 435-478 (1994)

Coetzee, C., Jefthas, E. und Reinten, E.

Indigenous plant genetic resources of South Africa.
Alexandria, VA.r, ASHS Press (1999)

Davies, N. W.

Gas chromatographic retention indices of monoterpenes and sesquiterpenes on
methyl silicone and Carbowax 20M phases.
Journal of Chromatography, 503: 1-24 (1990)

Davies-Coleman, M. T., English, R. B. und Rivett, D. E. A.

Bitter guaianolides from *Eriocephalus punctulatus*.

Phytochemistry, 31: 2165-2167 (1992)

Graven, E. H., Burger, P. J. und Gardener, B.

Production of essential oils from local Ciskeian aromatic plants.

Soaps, Detergents, Toiletries Revision 15: 26-28 (1985)

Graven, E. H., Gardner, J. B. und Tutt, C. L. C.

Native South African aromatic plants - a possible vehicle for rural development.

In: Progress in Essential Oil Research (Brunke, E.-J.), de Gruyter, Berlin: 461-484 (1986)

Harvey, W. H. und Sonder, O. W.

Flora capensis: systematic description of the plants.

London, L. Reeve & Co, Covent Garden. 3: 44-47, 199-204. (1865)

IUPAC Compendium of Chemical Terminology 2nd Edition (1997)

Internet: <http://www.chemsoc.org/chembytes/goldbook/R05360.pdf>

Klimes, I. und Lamparsky, D.

Analytical results concerning the essential oil of *Artemisia pallens* Wall.

In: Progress in Essential Oil Research (Brunke, E.-J.), de Gruyter, Berlin: 197-214 (1986)

König, W. und Joulain, D.

The atlas of spectral data of sesquiterpene hydrocarbons.

E.B.-Verlag, Hamburg (1998)

Kováts, E.

Gas-chromatographische Charakterisierung organischer Verbindungen Teil 1:

Retentionsindices aliphatischer Halogenide, Alkohole, Aldehyde und Ketone.

Helvetica Chimica Acta, 41: 1915-1932 (1958)

Kubeczka, K.H.

Gaschromatographie – Grundlagen und Anwendungen auf dem
Naturstoffgebiet.

Mitteilung der Deutschen Pharmazeutischen Gesellschaft 304, 277-299 (1971)

Kubeczka, K.H.

Vortrennung ätherischer Öle und ähnlich komplexer Stoffgemische für die GC-
Analyse durch modifizierte Trockensäulenchromatographie.

Chromatographia 6: 106-108 (1973)

Mallavarapu, G. R., Kulkarni, R. N., Baskaran, K., Rao, L. und Ramesh, S. *

Influence of plant growth stage on the essential oil content and composition in
davana (*Artemisia pallens* Wall.).

Journal of Agriculture and Food Chemistry, 47: 254-258 (1999)

Mass Spectrometry library search system MassLib, version 8.5 C.

Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim an der Ruhr, Germany

(1997) using (a) CC, Mass Spectral Database, Chemical Concepts GmbH,

Germany; (b) Wiley, Registry of Mass Spectral Data, John Wiley & Sons, Inc.;

(c) NIST, NIST/EPA/NIH Mass Spectral Database, US Dept. of Commerce.

Merxmüller, H.

Eriocephalus und *Lasiospermum*. In: H. Merxmüller (Hrsg.): Prodomus einer
Flora von Südwestafrika; 139. Asteraceae, Cichoriaceae; S. 58-62; Verlag:
Cramer, Lehre (1962).

Mierendorff, H.-G. und Stahl-Biskup, E.

Paper No. B15, 31st International Symposium on Essential Oils, Hamburg,
Germany. (2000)

Mierendorff, H.-G., Stahl-Biskup, E., Posthumus, M. A. und van Beek, T. A.

Composition of commercial Cape chamomile oil (*Eriocephalus punctulatus*).

Flavour and Fragrance Journal: 510-514 (2003)

Müller, M. A. N., Herman, P. P. J. und Kolberg, H. H.

Flora of Southern Africa

Pretoria, National Botanical Institute, Pretoria, South Africa (2001)

Piprek, S. R. K., Graven, E. H. und Whitfield, P.

Some potentially important indigenous aromatic plants for the eastern seaboard areas of Southern Africa. In: World Crops: Production, Utilization, Description 7 (Aromat. Plants): 255-263, Herausgeber: N. Magaris; Verlag: Niehoff, The Hague 1982

Road, D., Derbesy, M., Peter, H. und Remy, M.

Study of the essential oil of *Eriocephalus punctulatus*.

Parfums, Cosmetics, Aromes, 14: 57-60 (1977)

Road, D., Derbesy, M., Peter, H. und Remy, M.

Contribution to the study of *Eriocephalae punctulatus* essential oil. I. the slight sut.

International Food Flavor Additives (Jan/Feb): 29-31 (1977)

Road, D., Derbesy, M., Peter, H. und Remy, M.

Contribution à l'étude de l'huile essentielle d'*eriocephalus punctulatus*, étude des estere.

Parfums, Cosmétique, Aromes, 14 (März/April): 57-60 (1977)

Road, D., Derbesy, M., Peter, H. und Remy, M.

Contribution to the study of *Eriocephalus punctulatus* essential oil. II. azulenic compounds.

Perfumer & Flavorist (April/May): 32-36 (1978)

Schmidt, A., Bischof-Deichnik, C., Stahl-Biskup, E.

Essential oil polymorphism of *Thymus praecox subsp. arcticus* on the British Isles.

Biochemical Systematics and. Ecology 32, 409-421 (2004)

Sprecher, E.

Rücklaufapparatur zur erschöpfenden Wasserdampfdestillation ätherischen Öls aus voluminösem Destillationsgut.

Deutsche Apotheker Zeitung, 103: 213-214 (1963)

Thomas, A. F. und Dubini, R.

Terpenoids derived from linalyl oxide. 3. isolation, structure, absolute configuration and synthesis of the davanafurans, norsesquiterpenes isolated from *Artemisia pallens*.

Helvetica Chimica Acta, 57: 2066-2075 (1974)

van der Walt, L.

Eriocephalus africanus L.

Internet: <http://www.plantzafrica.com/plantefg/eriocephfr.htm> (2000)

van Wyk, B.-E., van Oudtshoorn, B. und Nigel, G.

Medicinal plants of South Africa.

Briza Publications, Pretoria, South Africa (1997)

Watt, J. M. und Breyer-Brandwijk G. M.

The medicinal and poisonous plants of Southern Africa and Eastern Africa.

E. & S. Livingstone LTD, Edinburgh and London (1962)

Webber, L. N., Magwa, M. L. und van Staden, J.

An investigation to the reduction in the yield of oil from *Eriocephalus punctulatus* during the harvesting period. South African Association of Botanists, 24th Annual Conference, Cape Town (1998)

Webber, L. N., Magwa, M. L. und Van Staden, J.

Field management practices that do not adversely affect plant vigour and longevity of *Eriocephalus punctulatus*.

South African Journal of Science, 95: 351-353 (1999)

Weyerstahl, P., Marschall, H., Schroeder, M., Wahlburg, H. C. und Kaul, V. K.

The sesquiterpene fraction of the essential oil of *Artemisia laciniata* Willd.

Flavour and Fragrance Journal, 12: 315-325 (1997)

Weyerstahl, P., Marschall-Weyerstahl, H. und Kaul, V. K.

Constituents of the essential oil of *Artemisia persica*.

Journal of Essential Oil Research, 4: 1-7 (1992)

Weyerstahl, P., Marschall-Weyerstahl, H., Schroeder, M. und Kaul, V. K.

Terpenes and terpene derivatives. XXIV. Isolation and stereochemistry of the four *Artemisia* oxides.

Liebigs Annalen der Chemie: 917-918 (1988)

Weyerstahl, P., Wahlburg, H. C., Marschall, H. und Kaul, V. K.

Volatile constituents of the essential oil and of the absolute of *Artemisia salsoloides* Willd. from Ladakh.

Flavour and Fragrance Journal, 7: 299-305 (1992)

Wollenweber, E. und Mann, K.

Exudate flavonoids in three essential oil plants from the Ciskei (South Africa).

Fitoterapia, 60: 249-251 (1989)

Zdero, C., Bohlmann, F. und Müller, M

Sesquiterpene lactones and other constituents from *Eriocephalus* species.

Phytochemistry, 26: 2763-2775 (1987)

* In dieses Literaturverzeichnis wurden auch einige Quellen aufgenommen, die nicht direkt im Rahmen dieser Arbeit zitiert werden, jedoch zur allgemeinen Information zum Thema geeignet sind.

H Lebenslauf



- 24.06.1969 geboren als Sohn von Hans-Joachim Mierendorff, 19.06.1934 (Chemiker) und Marion Mierendorff, 15.03.1936 (Laborantin) in Hamburg
- 1975 Einschulung in die Grundschule Glashütte in Norderstedt
- 1979-1989 Lise-Meitner-Gymnasium in Norderstedt / Abitur
- 01.10.1989 bis 30.09 1991 Dienst in der Deutschen Bundeswehr als Zeitsoldat
- bis März 1992 Leitung mehrerer internationaler sozialer Jugendpflegemaßnahmen bei den „Internationalen Jugend Gemeinschaftsdiensten e.V. Bonn“
- 01.03.1992 Immatrikulation an der Universität Hamburg im Fach Lebensmittelchemie
- 01.10.1995 Lebensmittelchemische Vorprüfung
- 01.04.1998 Abschluss des Studiums der Lebensmittelchemie nach Ablegen der ersten Staatsprüfung und des Diploms
- 01.05.1998 bis 30.04. 1999 Praktikum für das zweite Staatsexamen am Institut für Hygiene in Hamburg
- 29.07.1999 Abschluss der Prüfungen zum zweiten Staatsexamen
- 01.08.1999 bis 31.03.2003 Mitarbeiter an der Universität Hamburg, Institut für Pharmazie, Abteilung Pharmazeutische Biologie und Mikrobiologie Gefördert durch die „Hansesche Universitätsstiftung“ und die „Graduiertenförderung der Universität Hamburg“
- seit 2004 Selbstständiger Lebensmittelchemiker und Mitinhaber des Chemischen Laboratorium Dr. H. Ulex, Hamburg