



MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Phytochemische Diversität von *Origanum majorana* L. (Majoran) und vier weiteren *Origanum*-Arten

verfasst von | submitted by

Magdalena Neumüller BSc.

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Magistra pharmaciae (Mag. pharm.)

Wien | Vienna, 2025

Studienkennzahl lt. Studienblatt |
Degree programme code as it appears on the
student record sheet:

UA 066 605

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree pro-
gramme as it appears on the student record
sheet:

Masterstudium Pharmazie

Betreut von | Supervisor:

Dr. Johannes Novak

Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei Johannes Novak, Brigitte Lukas und Dijana Jovanovic für ihre Unterstützung, ihre aufmunternden Worte und ihr offenes Ohr bedanken. Auch den beiden, ohne die der Laboralltag nur halb so angenehm gewesen wäre, Henry und Kolumbus, möchte ich Danke sagen.

Meinem Freund Patrick und meinem Papa gilt besonderer Dank, da sie mich immer unterstützen und auch während anstrengender Phasen die Geduld mit mir behalten haben.

Dank meinen Studienkolleginnen Colette und Vanessa sind auch lange Tage im Labor immer lustig gewesen.

Kurzfassung

Diese Arbeit hatte zum Ziel, flüchtige und nicht-flüchtige Verbindungen von fünf *Origanum*-Arten (wilder und kultivierter *O. majorana*, *O. dubium*, wilder und kultivierter *O. syriacum*, *O. onites* und *O. vulgare*) zu charakterisieren und zu differenzieren. Mittels HPLC wurden sieben polyphenolische Verbindungen identifiziert: Arbutin, Hydrochinon, Kaffeesäure, Luteolin-7-diglucuronid, Rosmarinsäure, Apigenin-7-glucuronid und Lithospermsäure, deren Konzentration zwischen den Arten, Chemotypen und Pflanzenorganen (Blätter vs. Blüten) variierte. Die GC-Analyse der ätherischen Ölkomponten zeigte eine erhebliche inner- und zwischenartliche Variabilität sowie Überschneidungen im Inhaltsstoffmuster verschiedener Chemotypen. Insgesamt ermöglichten die Polyphenol- und ätherischen Ölprofile eine partielle Differenzierung der Arten und verdeutlichten den Einfluss genetischer und ökologischer Faktoren auf die chemische Zusammensetzung.

Abstract

This study aimed to chemically characterize and differentiate volatile and non-volatile compounds from five *Origanum* species; wild and cultivated *O. majorana*, *O. dubium*, wild and cultivated *O. syriacum*, *O. onites* and *O. vulgare*. Using HPLC, seven polyphenolic compounds were identified: arbutin, hydroquinone, caffeic acid, luteolin-7-O-glucuronide, rosmarinic acid, apigenin-7-O-glucuronide and lithospermic acid, whose concentrations varied between species, chemotypes and plant organs (leaves vs. flowers). The GC analysis of essential oils revealed substantial intra- and interspecific variability alongside overlaps in the constituent patterns among different chemotypes. Overall, polyphenolic and essential oil profiles allowed for partial species differentiation and highlighted the impact of genetic and ecological factors on the chemical composition of *Origanum* species.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1. Allgemeine Informationen zur Gattung <i>Origanum</i>	1
1.2. Systematik- Beschreibung der Versuchspflanzen	1
1.3. Inhaltsstoffe	6
1.3.1. Ätherisches Öl (volatil)	6
1.3.2. Weitere sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe (Polyphenole, nicht volatil) .	12
1.4. Zielsetzung	13
2. Theoretische Grundlagen	15
2.1. Hochleistungsflüssigchromatographie.....	15
2.2. Gaschromatographie	16
3. Material und Methodik	18
3.1. Pflanzenmaterial.....	18
3.1.1. Sammlung und Behandlung des Pflanzenmaterials	18
3.1.2. Herkunft des Pflanzenmaterials und der Samen von Wildstandorten .	19
3.2. Verwendete Geräte und Reagenzien	22
3.3. Vorbereitung des Pflanzenmaterials für HPLC und GC.....	23
3.4. HPLC-Analyse.....	23
3.4.1. Herstellung des Lösungsmittels	23
3.4.2. Probenvorbereitung und Extraktion	23
3.4.3. Analyse mittels HPLC und Datenauswertung	24
3.5. GC-Analyse	28
3.5.1. Herstellung des Lösungsmittels	28
3.5.2. Probenvorbereitung und Extraktion	28
3.5.3. Analyse mittels GC und Datenauswertung.....	29
3.6. Statistik.....	34
4. Ergebnisse	35
4.1. Phenolische Verbindungen	35
4.1.1. Zusammenfassende Betrachtung	35
4.1.2. Gegenüberstellung der inkludierten Arten	36
4.1.3. Gegenüberstellung von Blatt und Blüte	40
4.1.4. Quantifizierung relevanter Inhaltsstoffe	43
4.2. Volatile Verbindungen	71
4.2.1. Hauptkomponentenanalyse- Blatt nach Arten	74

4.2.2.	Hauptkomponentenanalyse- Blüte nach Arten	76
4.2.3.	Hauptkomponentenanalyse- Blatt und Blüte	77
5.	Diskussion	79
6.	Fazit.....	91
	Literaturverzeichnis	93
	Abbildungsverzeichnis	104
	Tabellenverzeichnis	108
	Abkürzungsverzeichnis.....	109
	Anhang A.....	110
	Anhang B.....	122

1. Einleitung

1.1. Allgemeine Informationen zur Gattung *Origanum*

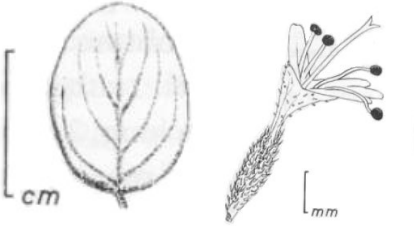
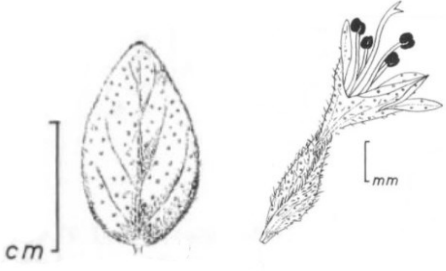
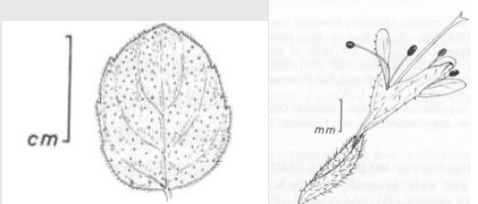
Die Gattung *Origanum* L. gehört zu den Lippenblütengewächsen (Lamiaceae). Ietswaart beschrieb 1980 38 Arten und 17 Hybride. Die meisten *Origanum*-Arten sind im Mittelmeerraum verbreitet, einige kommen endemisch auf bestimmten Inseln oder in bestimmten Gebirgsregionen vor (Ietswaart, 1980; Lukas, 2010a). Nur *O. vulgare* hat ein großes Verbreitungsgebiet, das vom Mittelmeerraum bis nach Zentralasien reicht (Alwafa et al., 2021; Ietswaart, 1980). Viele *Origanum*-Arten sind reich an ätherischem Öl. Aufgrund ihrer aromatischen und pharmakologischen Eigenschaften spielen *Origanum*-Arten seit jeher eine wichtige Rolle in der traditionellen Medizin und bei der Verfeinerung von Speisen und Getränken. Besonders *O. majorana* L. (gehandelt als Majoran) und *O. vulgare* (Oregano) sowie *O. onites* L. (Türkischer Oregano) sind aufgrund ihres charakteristischen Geschmacks weltweit beliebte Gewürzpflanzen (Lukas et al., 2013; Sakkas & Papadopoulou, 2017). Viele *Origanum*-Arten werden traditionell zur Behandlung von Halsschmerzen, Erkältungen und Verdauungsproblemen verwendet. Das ätherische Öl dieser Pflanzen weist aufgrund seines Gehalts an Carvacrol, Thymol und anderen Monoterpenen verschiedenste bioaktive Eigenschaften auf (Soltani et al., 2021). Einige präklinische Studien berichten von einer antiproliferierenden, antidiabetischen und antiinflammatorischen Wirkung, sowie von kardioprotektiven, hepatoprotektiven und vasoprotektiven Eigenschaften (Sharifi-Rad et al., 2021). Darüber hinaus entfalten auch die in der Pflanze enthaltenen Polyphenole bioaktive Wirkungen. Insbesondere die häufig vorkommende Rosmarinsäure zeichnet sich durch ihre entzündungshemmenden und antioxidativen Eigenschaften aus (Amoah et al., 2016). Für die breite Anwendung von *Origanum*-Präparaten ist es notwendig, homogenes Pflanzenmaterial mit stabilen Inhaltsstoffprofilen zu nutzen. Derzeit stellt dies eine Herausforderung dar, weshalb selektive Züchtungsansätze als mögliche Lösung diskutiert werden (Lukas et al., 2013).

1.2. Systematik- Beschreibung der Versuchspflanzen

Die taxonomische Einteilung von *Origanum* ist seit jeher umstritten, weshalb sich zwei verschiedene Gattungskonzepte entwickelt haben. Das Konzept von Benthams (1834) beschreibt *Amaracus* Benth., *Majorana* Benth. und *Origanum* Benth. als eigenständige Gattungen (Bansleben, 2011; Lukas, 2010a). Das linnésche Konzept von 1754 ist

weiter gefasst, es beschreibt *Amaracus* und *Majorana* als Sektionen innerhalb der Gattung *Origanum*. Außerdem definiert Carl von Linné sieben weitere Sektionen, von denen manche Zwischenpositionen der *Amaracus*- und *Majorana*-Sektion darstellen. Die ursprüngliche Einteilung wurde mehrfach überarbeitet. Heutzutage ist die Systematik nach Ietswaart (1980) weitgehend anerkannt, welche die Gattung *Origanum* in drei Gruppen und zehn Sektionen unterteilt (Kirschner, 1981; Lukas, 2010a). Aufgrund des großen Umfangs der Gattung wird hier nur auf die in dieser Arbeit untersuchten Arten eingegangen. Die Sektion *Majorana* (Gruppe B) umfasst laut Ietswaarts ursprünglicher Revision *O. majorana*, *O. onites* L. und *O. syriacum* L. (Lukas et al., 2009). 1985 beschreibt Ietswaart in der „Flora of Cyprus“ *O. majorana* sensu strictu und *O. dubium* Boiss als getrennte Arten (Meikle, 1985). Diese Differenzierung wird im Laufe der Zeit durch zahlreiche Studien gestützt, die sich mit der chemischen Zusammensetzung des ätherischen Öls befassen. Die Variante mit einem geringen Anteil an Cymyl-Verbindungen und einem hohen Gehalt an Sabinen-Derivaten wird als *O. majorana* s. str. klassifiziert. Die Variante mit hohem Carvacrol-Gehalt wird als *O. dubium* bezeichnet (Arnold et al., 1993; Hanoğlu et al., 2024; Turgut et al., 2017). Innerhalb von *O. syriacum* L., werden drei Varietäten unterschieden: *var. syriacum*, *var. bevanii* (Holmes) Ietswaart und *var. sinaicum* (Boiss) Ietswaart (Lukas et al. 2009), wobei sich diese morphologisch schwerer differenzieren lassen (Ietswaart, 1980). Die vier Arten der Sektion *Majorana* sind eng miteinander verwandt und weisen denselben Typ von Ähren, Tragblättern, Kelchen und Kronblättern auf. Sie unterscheiden sich hauptsächlich in der Behaarung und der Form der Blütenstände (Ietswaart, 1980; Meikle, 1985). In Tab. 1 werden die Unterscheidungsmerkmale der vier Arten der Sektion *Majorana* zusammengefasst und gegenübergestellt.

Tab. 1- Unterscheidungsmerkmale der vier Arten in Sektion *Majorana* (Demirbolat et al., 2024; Ietswaart, 1980; Meikle, 1985; Lukas, 2010 a; Abbildung aus Ietswaart, 1980).

Art	Eigenschaften
<i>O. majorana</i>	→ Fein behaarte Oberfläche → Blätter ohne erhabene Blattadern → Reich an Sabinen, <i>cis</i>- und <i>trans</i>-Sabinenhydrat → Lockerer, langgezogener Blütenstand 
<i>O. dubium</i>	→ Grau-weißlich, kraus-behaarte Blätter, mit krausen und einigen längeren, borstigen Haaren besetzter Stängel → Rispen- oder doldenartiger Blütenstand (gedrungen) → Reich an Carvacrol (80 %), γ-Terpinen, ρ-Cymen und Thymol
<i>O. syriacum</i>	→ Behaarter, filziger Stängel → Filzige, spitze Blätter → Erhabene Blattadern an der Unterseite → Rispiger Blütenstand → Reich an Cymyl-Komponenten 
<i>O. onites</i>	→ Rau behaarte, gezähnte Blätter → Doldenförmiger Blütenstand → Meist reich an Cymyl-Komponenten 

Origanum vulgare wird der Sektion *Origanum* (Gruppe C) zugeordnet und weist stark variable morphologische Merkmale, sowie eine vielfältige Variation des Gehalts und der Zusammensetzung des produzierten ätherischen Öls auf (Bansleben, 2011). Aufgrund dieser hohen Variabilität wurden im Laufe der Zeit innerhalb von *O. vulgare* zahlreiche Unterarten oder Varietäten definiert bzw. auch morphologisch abgrenzbare Taxa als eigene Arten geführt, wobei eine umfassende Überarbeitung der taxonomischen Einteilung zeigte, dass viele der definierten Taxa fließend ineinander übergehen. Ietswaart (1980) definierte schließlich sechs Unterarten: ssp. *glandulosum* (Desf.) Ietswaart, ssp. *gracile* (Koch) Ietswaart, ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart, ssp. *virens* (Hoffmannsegg et Link), ssp. *viride* (Boiss) Hayek und ssp. *vulgare*, die sich anhand ihrer Behaarung, Anzahl von Öldrüsen sowie Farbe und Größe ihrer Tragblätter und Blüten unterscheiden lassen (Ietswaart, 1980; Lukas et al., 2015; Soltani et al., 2021). In den folgenden Absätzen werden Herkunft, (traditionelle) Verwendung und Besonderheiten der einzelnen *Origanum*-Arten behandelt. *Origanum majorana* ist in Zypern heimisch. Die Pflanze bevorzugt einen trockenen, felsigen Untergrund und kann in Höhenlagen von bis zu 1500 m wachsen. Die Blütezeit reicht von Mai bis September, mit weißen Blüten (Ietswaart, 1980; Novak et al., 2008). Besonders erwähnenswert ist, dass diese Spezies seit mehreren Jahrhunderten kultiviert wird, wobei sich gehandelte Kultur-Sorten, vermutlich durch lange Selektion, morphologisch von den natürlich vorkommenden Pflanzen unterscheiden (Ietswaart, 1980). *Origanum majorana* findet insbesondere in der Lebensmittelindustrie Verwendung, wo Majoran als Gewürz hauptsächlich für Fleischgerichte genutzt wird. Das ätherische Öl wird zudem zum Backen und zur Verfeinerung von Beilagen, Suppen und Soßen eingesetzt (Novak et al., 2008). In mehreren Studien wird die biologische Aktivität einiger sekundärer Metaboliten belegt, ein interessantes Anwendungsgebiet des ätherischen Öls wäre beispielsweise als Pestizid oder Insektizid um eine natürliche Alternative zur Bekämpfung von Schädlingen zu bieten (Kakouri et al., 2022; Sharifi-Rad et al., 2021). *Origanum dubium* ist in Zypern, sowie in angrenzenden Regionen der Türkei, heimisch (Demirbolat et al., 2024; Turgut et al., 2017). Die Art wächst bevorzugt an trockenen, felsigen Hängen und auf vulkanischem Gestein. Die Blütezeit erstreckt sich von Juni bis August, wobei die Pflanzen weiße Blüten tragen (Meikle, 1985). Aufgrund des hohen Gehalts an ätherischem Öl (6-8 %) hat *O. dubium* in der Türkei als kommerziell genutzte Origanum-Art große Bedeutung. Bisher wurden wilde Bestände hauptsächlich in der Region um Antalya an der Mittelmeerküste geerntet. Die steigende Nachfrage führte jedoch

zu einer Reduktion der natürlichen Vorkommen, weshalb nun auch der gezielte Anbau erforderlich ist (Demirbolat et al., 2024; Turgut et al., 2017). In Zypern wird *O. dubium* auch als „Rigani“ bezeichnet und ist ebenfalls aufgrund seines ätherischen Öls beliebt (Meikle, 1985). Das Verbreitungsgebiet von *O. syriacum* erstreckt sich von der Süd-Türkei bis in den Norden von Ägypten auf die Halbinsel Sinai. Es gibt Bestände in der Türkei, Syrien, Libanon, Israel und Jordanien (Lukas et al., 2009). Die Pflanze wächst bevorzugt auf steinigem Terrain und kann Höhenlagen von über 2000 m erreichen. Besonders häufig findet man *O. syriacum* auf kalkhaltigen Böden. Die Blütezeit erstreckt sich von Mai bis Oktober, mit weißen Blüten (Ietswaart, 1980). Traditionell wird diese Spezies in Syrien zur Behandlung von Atemwegserkrankungen und gastrointestinalen Beschwerden eingesetzt. In Jordanien wird sie zusätzlich zur Linderung von Arthritis genutzt. Historischen Berichten zufolge wurde *O. syriacum* auch gegen Hämorrhoiden, Geschlechtskrankheiten, Schmerzen und Bisswunden verwendet (Lukas et al., 2009). Im Fokus einer Studie steht *O. syriacum* var. *syriacum*, dessen ätherisches Öl auf seine Wirksamkeit gegen Schädlinge (*Spodoptera littoralis*, *Myzus persicae* und *Musca domestica*) untersucht wurde (Benelli et al., 2019). Eine immer bedeutendere Rolle spielt die Anwendung in der Küche, wo *O. syriacum* auch als Za'atar bekannt ist. Lokal bezeichnet der Begriff „Za'atar“ eine Gewürzmischung, bei der neben den getrockneten Za'atar Blüten und Blättern weitere traditionelle Zutaten hinzugefügt werden (Alwafa et al., 2021; El-Alam et al., 2019). Für die Herstellung wird *O. syriacum* ein- bis zweimal jährlich während der Blütezeit, meist aus Wildbeständen, geerntet (Alwafa et al., 2021). Durch Überernte, Urbanisierung und Waldbrände wurden die natürlichen Bestände dezimiert, weshalb die Art mittlerweile auch angebaut wird (El-Alam et al., 2019). *Origanum onites*, auch türkischer Oregano genannt, kommt in weiten Teilen der Türkei, in südlichen Regionen Griechenlands und auf mehreren griechischen Inseln, darunter Kreta, vor. Auch auf Sizilien gibt es einen kleinen, lokal begrenzten Bestand (Ietswaart, 1980; Ozkan et al., 2010; Tepe et al., 2016). Diese Spezies bevorzugt felsige Standorte, häufig auf Kalkstein, und kann bis in Höhenlagen von 1400 m wachsen. Die Blütezeit reicht von April bis August, mit weißen Blüten (Ietswaart, 1980). Türkischer Oregano wird traditionell bei Erkrankungen wie Bronchitis, Diabetes oder bei erhöhtem Cholesterinspiegel angewendet. Pharmakologische Studien zeigen, dass sowohl diverse Extrakte als auch einzelne Inhaltsstoffe ein hohes Aktivitätspotenzial aufweisen. Es wurden insektizide, krebshemmende, antidiabetische, entzündungshemmende, antivirale, antimikrobielle und schmerzlindernde

Wirkungen beobachtet (Oğuz & Kaplan, 2023; Tepe et al., 2016; Tomsuk et al., 2024). *Origanum vulgare* hat ein großes Verbreitungsgebiet, es umfasst die Kanarischen Inseln, das Mittelmeergebiet über West- und Zentralasien bis nach Taiwan. Häufig wachsen die Pflanzen auf kalkhaltigem Boden und können in Höhenlagen von bis zu 4000 m vorkommen. Die Blütezeit dauert von Mai bis Oktober, wobei die Blüten violett, rosa oder weiß sein können (Ietswaart, 1980). Ethnopharmakologisch wird das ätherische Öl von *O. vulgare* bei Verdauungs-, Atemwegs- und Hauterkrankungen eingesetzt. Aktuelle Studien befassen sich mit der Optimierung der Bioverfügbarkeit und Steigerung der pharmakologischen Wirksamkeit bei Hauterkrankungen durch den Einsatz spezieller Nano-Carrier-Systeme (Lombrea et al., 2020). Zahlreiche klinische Untersuchungen belegen das bioaktive Potential von *O. vulgare*. Es wurden neben der antibakteriellen, antimykotischen, antiparasitären, antioxidativen, entzündungshemmenden und anti-tumoralen Wirkung, auch eine Anti-Alzheimer-Wirkung und blutzuckersenkende Effekte nachgewiesen (Kosakowska et al., 2024; Lombrea et al., 2020; Oniga et al., 2018).

1.3. Inhaltsstoffe

Das ätherische Öl und das Spektrum an Polyphenolen verschiedener *Origanum*-Arten weisen eine stark variable qualitative und quantitative Zusammensetzung auf, wobei sich bei den ätherischen Ölen auch innerhalb von Arten verschiedene Chemotypen unterscheiden lassen (Lukas, 2010a). Zu entscheidenden Einflussfaktoren gehören Genetik der Pflanzen, Bodenbeschaffenheit, Klima, Bewässerung, Düngung, Zeitpunkt der Ernte sowie der geografische Standort (Lukas, 2010a; Mesmar et al., 2022; Soltani et al., 2021).

1.3.1. Ätherisches Öl (volatil)

Ätherische Öle sind komplexe, flüchtige Verbindungen (Soltani et al., 2021). Sie werden im glatten endoplasmatischen Retikulum sowie in den Plastiden gebildet. Durch spezielle Transportmechanismen über den Golgi-Apparat gelangen sie zu den Speicherstrukturen der Pflanze. Dazu gehören unter anderem Drüsenhaare, Drüsenschuppen oder schizogene Ölbehälter. Die Pflanze nutzt die Ölkomponente unter anderem als Schutz vor Fraßschädlingen, zur Hemmung von Bakterien- und Pilzwachstum oder um Bestäuber anzulocken (Bansleben, 2011).

Die chemische Zusammensetzung ätherischer Öle umfasst eine Vielzahl von Terpenen. Diese Naturstoffe folgen einem einheitlichen strukturellen Prinzip. Sie bestehen aus 2-Methylbutan- bzw. Isopren-Einheiten (Abb. 1) und werden je nach Anzahl dieser Basiseinheiten in verschiedene Klassen eingeteilt, darunter Mono-, Sesqui-, Di- und Tri-Terpene (Breitmaier, 1999).

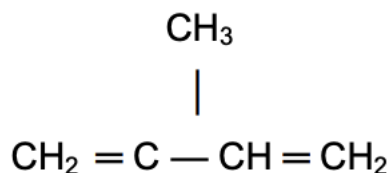


Abb. 1- Strukturformel Isopreneinheit (Bansleben, 2011).

In höheren Pflanzen werden Isopreneinheiten (IPP) grundsätzlich über zwei verschiedene Synthesewege gebildet. Der Mevalonat-Weg, ist im Cytosol lokalisiert. Hier entsteht aus drei Acetyl-CoA-Molekülen durch Kondensation zunächst 3-Hydroxy-3-methylglutaryl-CoA. Durch die Abspaltung von CoA wird Mevalonsäure gebildet, die dann durch Phosphorylierung, Decarboxylierung und Wasserabspaltung in IPP umgewandelt wird (Bansleben, 2011). Der alternative Weg, der in den Plastiden abläuft, wird als Methylerythritolphosphat-Weg bezeichnet. In diesem Syntheseweg wird IPP aus Glycerinaldehyd-3-Phosphat und Pyruvat hergestellt. Diese beiden Moleküle werden zunächst unter Abspaltung von Wasser verbunden, es folgt eine Umlagerung des Kohlenstoffgerüsts sowie eine Reduktion der Aldehydgruppe. Synthasen wandeln die Struktur über zwei Zwischenstufen in 2-C-Methyl-D-Erythritol-2,4-Cyclodiphosphat um. Durch zweimalige Dehydratisierung entstehen schließlich Isopentenylidiphosphat und Dimethylallyldiphosphat als Endprodukte (Bansleben, 2011). Die einzelnen IPP-Einheiten können anschließend durch Kopf-Schwanz- oder Kopf-Kopf-Verbindungen zu den Grundstrukturen der verschiedenen Terpene verknüpft werden (Bansleben, 2011).

Studien zeigen, dass in *Origanum*-Arten variable Anteile an monozyklischen Monoterpenen, wie, γ -Terpinen und Carvacrol, sowie azyklischen Monoterpenen, wie Geraniol, Linalylacetat und β -Myrcen, nachgewiesen werden können. Darüber hinaus sind, abhängig von Art und Chemotyp, auch Sesquiterpenoide wie β -Bisabolen, β -

Caryophyllen, Spathulenol und Germacren-D identifizierbar (Mesmar et al., 2022). Abbildung 2 zeigt beispielhaft die Struktur einiger gängiger Mono- und Sesquiterpene in *Origanum*.

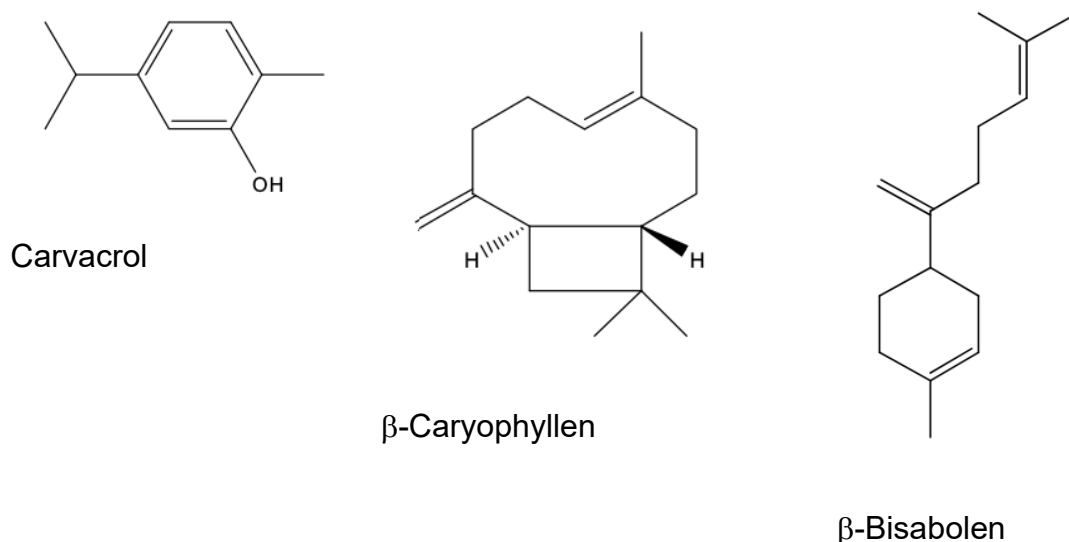
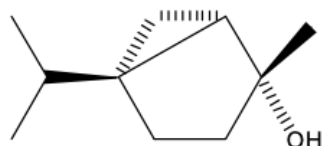


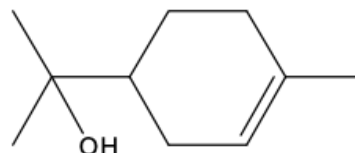
Abb. 2- Strukturen ausgewählter Mono- und Sesquiterpene (Bansleben, 2011).

Im Fokus dieser Arbeit stehen die kommerziell stark genutzten *Origanum*-Arten, zu denen bereits umfangreiche Informationen über die Zusammensetzungen und Eigenschaften ihrer ätherischen Öle vorliegen. Die chemische Zusammensetzung des ätherischen Öls von *O. majorana* ist durch das Fehlen bzw. geringe Mengen von Cymyl-Verbindungen gekennzeichnet, während Sabiny-Verbindungen dominieren und das charakteristische Majoran-Aroma bestimmen (Demirbolat et al., 2024; Kakouri et al., 2022; Lukas et al., 2010b). Eine Analyse einer zypriotischen Majoran-Population identifiziert drei Chemotypen: den vorherrschenden Sabiny-Chemotyp, welcher zu 74 % aus Sabinen, *trans*- und *cis*-Sabinenhydrat sowie *cis*-Sabinenhydrat-Acetat besteht und die vorherrschende Zusammensetzung der ätherischen Ölkomponenten von wildem *O. majorana* darstellt, den α -Terpineol-Chemotyp (73 % der Öl-Komponente α -Terpineol) sowie einen gemischten Sabiny/ α -Terpineol-Chemotyp (41 % Sabiny-Verbindungen, 40 % α -Terpineol) (Novak et al., 2008). Eine weitere Studie mit nepalesischem Probenmaterial beschreibt fünf Chemotypen, darunter Terpeneol-, Linalool- und Carvacrol-reiche Typen sowie eine Differenzierung des Sabiny-Chemotyps in *cis*- und *trans*-Sabinenhydrat-Typen. Aufgrund der atypischen Zusammensetzung der Inhaltsstoffe ist jedoch eine fehlerhafte Bestimmung der Proben nicht ausgeschlossen (siehe Kapitel 5) (Paudel et al., 2022). Kakouri et al. (2022) beschreibt, neben einigen

Ausnahmen, zwei Haupt-Chemotypen: den Terpinen-4-ol-*cis*-Sabinenhydrat-Chemotyp und den Carvacrol-Thymol-Chemotyp, basierend auf Proben aus Tunesien, Griechenland und der Türkei. Abbildung 3 zeigt beispielhaft zwei der gängigen Ätherisch-Öl-Komponenten von *O. majorana*.



trans-Sabinenhydrat

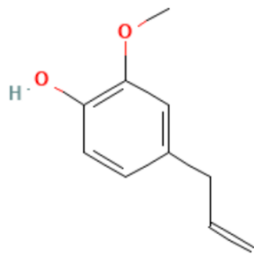


α -Terpineol

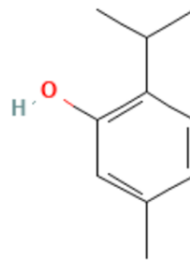
Abb. 3- Strukturformeln charakteristischer Moleküle der Sabinyl- und α -Terpineol-Chemotypen (Bansleben, 2011).

Untersuchungen an *O. dubium*-Populationen aus der Türkei identifizieren Carvacrol als Hauptkomponente des ätherischen Öls (72,3 %-88,2 %), gefolgt von *p*-Cymen, γ -Terpinen, β -Myrcen, α -Thujen und *trans*-Sabinen (Turgut et al., 2017). Laut dieser Studie können vier Chemotypen unterschieden werden: der Carvacrol-Typ, der Linalool-Typ, der Carvacrol-Linalool-Typ und der Thymol-Typ. In zypriotischen Beständen wird hingegen ausschließlich von dem Carvacrol-reichen Chemotyp berichtet (Turgut et al., 2017). Eine ältere Studie beschreibt anhand von Probenmaterial aus Naxos (Griechenland) außerdem einen Chemotyp, dessen Öl sich hauptsächlich aus Linalool (35,5 %) und 1,8-Cineol (32,2 %) zusammensetzt (Arnold et al., 1993). Bei der Untersuchung von *O. syriacum* Probenmaterial aus dem Libanon werden Thymol und Carvacrol als Hauptbestandteile des ätherischen Öls identifiziert (El-Alam et al., 2019; Mesmar et al., 2022). In syrischen *O. syriacum* Populationen dominieren Thymol und Carvacrol in unterschiedlichen Variationen: es kann ein Carvacrol-Chemotyp, ein Thymol-Chemotyp und ein Misch-Typ der beiden unterschieden werden (Lukas et al., 2009). Zu den weiteren ätherischen Ölkomponenten zählen Caryophyllen, Eugenol, Anisaldehyd, Sabinen, Aromadendren, Spathulenol, *t*-Cadinol, Bicyclogermacren und Cadinen (Mesmar et al., 2022). Die Analyse von Pflanzenmaterial aus Palästina ergibt, dass hier Thymol (20,0 %-39,9 %) und α -Terpinen (28,0 %-36,8 %) die vorherrschenden Inhaltsstoffe darstellen (Shehadeh et al., 2019). Studien an ägyptischen Proben identifizieren Sabinenhydrat, Terpinen-4-ol, γ -Terpinene, Thymol und Carvacrol als Hauptkomponenten (Mesmar et al., 2022). Eine weitere Untersuchung ägyptischer Proben von *O. syriacum* ssp. *sinaicum* identifiziert Carvacrol, mit einem Anteil von 74,2 % bis

92,7 % der gesamten Ölkomponente, als dominanten Inhaltsstoff. Zudem sind *p*-Cymen und γ -Terpinen in sämtlichen Proben nachweisbar, mit relativen Anteilen von 1,0 % bis 6,2 % bzw. 1,4 % bis 7,4 % (Badawy et al., 2020). Die Ergebnisse der verschiedenen Studien unterstreichen die geografische Variation der Zusammensetzung des ätherischen Öls (Mesmar et al. 2022). Abbildung 4 zeigt die Struktur ausgewählter Inhaltsstoffe.



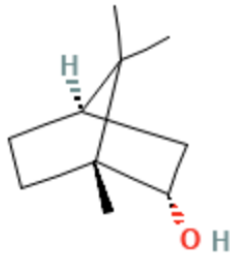
Eugenol



Thymol

Abb. 4- Strukturformeln ausgewählter Inhaltsstoffe von *syr* (PubChem Compound Summary for CID 3314, Eugenol, 2025 und PubChem Compound Summary for CID 6989, Thymol, 2025).

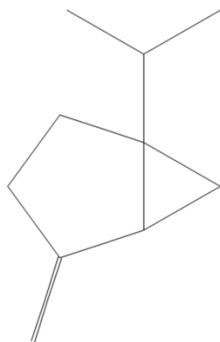
Bei der Analyse von türkischem *O. onites*, welcher im Glashaus kultiviert wurde, können sechs Hauptkomponenten im ätherischen Öl bestimmt werden. Carvacrol ist mit einem Anteil von 84,0 %-88,7 % der dominierende Inhaltsstoff, gefolgt von Thymol (0,0 %-7,5 %), γ -Terpinen (2,6 %-6,2 %), *p*-Cymen (1,5 %-3,2 %), α -Pinen (0,0 %-1,9 %) und α -Terpinen (0,0 %-1,1 %) (Ozkan et al., 2010). In weiterem Pflanzenmaterial aus der Türkei wird außerdem ein Linalool-Chemotyp beschrieben (Lukas et al., 2010b). Stefanaki et al. (2016) analysieren 42 Proben von verschiedenen Standorten auf der Insel Chios. Es werden fünf Hauptbestandteile der Ölkomponente definiert: Carvacrol, Thymol, Borneol, *p*-Cymen und γ -Terpinen. Besonders hervorgehoben wird der hohe Carvacrol-Gehalt (bis zu 90 %) und der Borneol-Anteil, welcher als wichtiges Unterscheidungsmerkmal zu anderen *Origanum*-Arten, insbesondere *O. vulgare* ssp. *hirtum*, bezeichnet wird. Abbildung 5 zeigt die Strukturformel von Borneol.



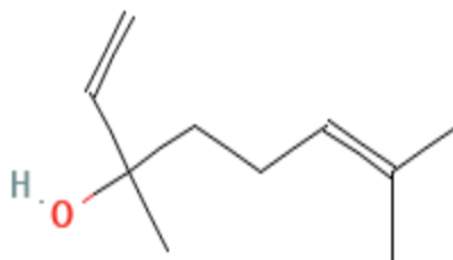
Borneol

Abb. 5- Strukturformel von Borneol aus (PubChem Compound Summary for CID 6552009, Borneol, 2025).

Die Hauptkomponenten des ätherischen Öls von *O. vulgare* sind Carvacrol, Thymol und Linalool, wobei berücksichtigt werden muss, dass der Gehalt je nach Herkunft, Wachstumsbedingungen und Erntezeitpunkt variiert. Bei der Analyse von kultiviertem Probenmaterial aus Estland, der Türkei, Schottland, Moldawien und Italien können sechs Chemotypen identifiziert werden. Diese zeichnen sich jeweils durch ihren hohen Gehalt an folgenden Verbindungen aus: Sabinen, Caryophyllenoxid/(E)- β -Caryophyllen, (E)- β -Caryophyllen, Carvacrol und Thymol/Carvacrol (Raal et al., 2024). Die Unterarten von *O. vulgare* unterscheiden sich stark in ihrem Gehalt an ätherischem Öl und dessen Zusammensetzung. *Origanum vulgare* ssp. *glandulosum*, ssp. *gracile* und ssp. *hirtum* weisen einen hohen Gehalt an ätherischem Öl auf, welches reich an Carvacrol, Thymol, γ -Terpinen und *p*-Cymen ist (Lombrea et al., 2020). Vor allem bei *O. vulgare* ssp. *hirtum* dominieren Carvacrol und Thymol, weshalb hier das typische Origanoaroma besonders intensiv ist (Lukas et al., 2010b; Raal et al., 2024). *Origanum* ssp. *vulgare*, ssp. *viridulum* und ssp. *virens* enthalten im Vergleich geringere Mengen an ätherischem Öl. Dieses enthält neben Sabinen, Linalool und Borneol vorrangig Sesquiterpene und nur geringe Mengen Carvacrol und Thymol (Lombrea et al., 2020; Raal et al., 2024). Abbildung 6 zeigt die Strukturformeln von Sabinen und Linalool.



Sabinen



Linalool

Abb. 6- Strukturformeln von Sabinen und Linalool (PubChem Compound Summary for CID 18818, Sabinen, 2025 und PubChem Compound Summary for CID 6549, Linalool, (+/-)-, 2025).

1.3.2. Weitere sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe (Polyphenole, nicht volatil)

Im Vergleich zu den umfangreichen Informationen, die über das ätherische Öl und dessen Variationen innerhalb der Gattung *Origanum* verfügbar sind, ist das Wissen über ihre Polyphenole noch begrenzt. Dies liegt auch daran, dass bei Polyphenolen aufgrund der Vielzahl möglicher methodischer Einflussfaktoren – wie unterschiedliche Extraktionsmethoden, verschiedene Säulenmaterialien, Probenherkunft oder Probenarten (z. B. Einzelpflanzen im Vergleich zu Teedrogen) – ein Vergleich zwischen verfügbaren Studien schwierig ist (Oniga et al., 2018; Soltani et al., 2021). *Origanum*-Arten enthalten freie Flavonoide wie Flavone, Flavonole, Flavanone und Dihydroflavonole sowie Flavonoid-Glykoside (Soltani et al., 2021). Dabei gelten Luteolin, Apigenin und Naringenin als häufigste Aglyka (Bansleben, 2011). Darüber hinaus enthalten *Origanum*-Arten Rosmarinsäure und deren Methylester sowie andere Phenolsäuren wie Oleanolsäure und Ursolsäure (Mesmar et al., 2022; Soltani et al., 2021). Eine Untersuchung von rumänischem Probenmaterial von *O. vulgare* ssp. *vulgare* zeigt eine Vielzahl polyphenolischer Verbindungen. Darunter geringe Mengen Gentistinsäure, *p*-Cumarinsäure und Quercetin (<0,02 mg/g). Neben Chlorogensäure (2,1±0,1 mg/g), Isoquercetin (0,7±0,2 mg/g) und Rutin (0,6±0,2 mg/g) sticht besonders der Gehalt an Rosmarinsäure hervor (12,8±2,2 mg/g) (Oniga et al., 2018). Rosmarinsäure ist eine phenolische Verbindung, welche besonders häufig in Pflanzenarten der Lamiaceae-Familie vorkommt. Weiters ist sie auch in anderen Familien wie Boraginaceae, Apiaceae und Rubiaceae zu finden. Es handelt sich bei Rosmarinsäure um einen Ester der Kaffeesäure und der (R)-(+)-3-(3,4-Dihydroxyphenyl)milchsäure, die sich von

Phenylalanin und L-Tyrosin ableitet (Abb. 7 links). Der Gehalt an Rosmarinsäure variiert zwischen den *O. vulgare*-Unterarten und wird vom Sammelzeitpunkt beeinflusst (Hitl et al., 2021). Untersuchungen zeigen, dass *Origanum*-Arten zur Vollblüte geerntet werden sollten, da hier der Gehalt an Rosmarinsäure am höchsten ist (Seca & Trendafilova, 2022). Eine weitere interessante Verbindung ist Arbutin (4-Hydroxyphenyl- β -D-Glucopyranosid). Arbutin kommt in verschiedenen Pflanzenfamilien vor, darunter Rosaceae, Lamiaceae und Ericaceae. Es handelt sich um ein Hydrochinonderivat, welches sich aus einem Phenolring und einer Zuckereinheit (β -D-glucopyranosyl-Rest) in *para*-Stellung zusammensetzt (Abb. 7 rechts) (Lukas et al., 2010c). Innerhalb der Gattung *Origanum* variieren die Arbutin-Konzentrationen stark. Während in den kommerziell weit verbreiteten Arten *O. syriacum* und *O. vulgare* kein Arbutin nachweisbar ist, finden sich in *O. dubium* (20,8 mg/g $\pm$ 15,3 mg/g), wildem *O. majorana* (51,3 mg/g $\pm$ 15,4 mg/g) und kultiviertem *O. majorana* (40,6 mg/g $\pm$ 11,2 mg/g) beträchtliche Mengen (Lukas et al., 2010c).

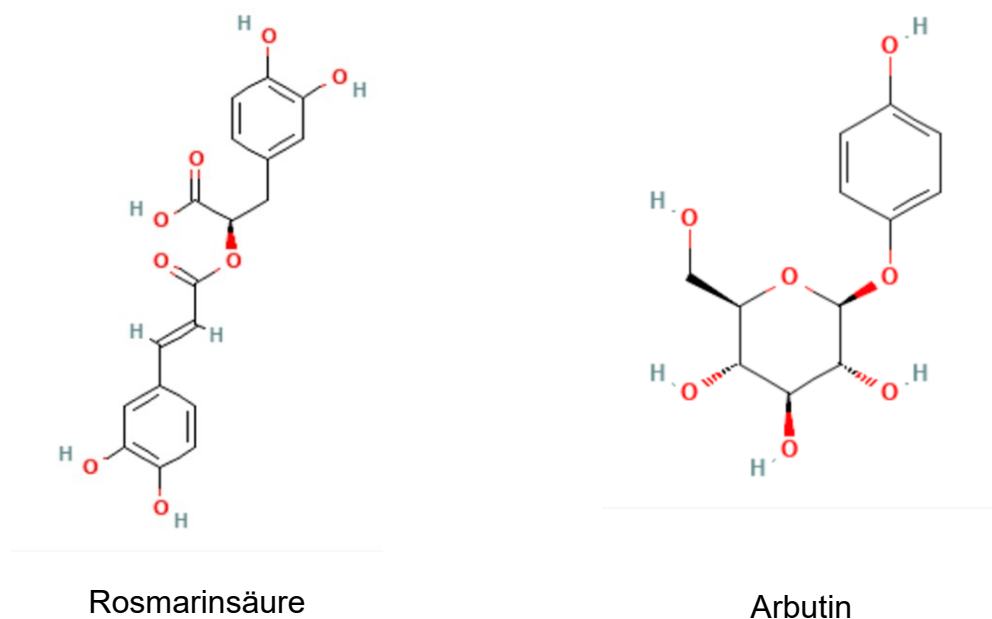


Abb. 7- Rosmarinsäure (PubChem Compound Summary for CID 5281792, Rosmarinic acid, 2024) und Arbutin (PubChem Compound Summary for CID 440936, Arbutin, 2024).

1.4. Zielsetzung

Diese Arbeit hat das Ziel, einen umfassenden Überblick über die Vielfalt der sekundären Pflanzenstoffe in der *Majorana*-Sektion der Gattung *Origanum* zu geben. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die bislang kaum erforschte inter- und intraspezifische Variabilität von Polyphenolen gelegt. Die gewonnenen Ergebnisse könnten

zudem wertvolle Hinweise auf die bisher ungeklärten evolutionären Verwandtschaftsbeziehungen innerhalb der *Majorana*-Sektion liefern.

Die Erkenntnisse dieser Arbeit sollen in das Forschungsprojekt „Die Evolutionsgeschichte von *Origanum majorana* L. und seines außergewöhnlichen Sabinyi-Chemotyps“ einfließen. Mag. Dr. Brigitte Lukas und Prof. Dr. Johannes Novak untersuchen im Rahmen dieses Projekts die bisher nicht zufriedenstellend erklärten Verwandtschaftsbeziehungen zwischen *O. majorana* und seinen engsten Verwandten, mit besonderem Fokus auf seinem mutmaßlich direkten Vorfahren *O. syriacum*. Darüber hinaus wird die genetische Grundlage des charakteristischen Sabinyi-Chemotyps von *O. majorana* erforscht. Das Projekt betrachtet außerdem die Kultivierungsgeschichte sowie auffällige Merkmale des Phänotyps von kultiviertem Majoran.

2. Theoretische Grundlagen

2.1. Hochleistungsflüssigchromatographie

Die Hochleistungsflüssigchromatographie (HPLC) ist ein chromatographisches Trennverfahren, das häufig zur Separation von Substanzgemischen eingesetzt wird (Hänsel & Dingmann, 2010). Es findet breite Anwendung in der Lebensmittelindustrie sowie in medizinischen und pharmazeutischen Bereichen (Pico, 2012). Die Trennung eines Substanzgemisches erfolgt dabei durch die Interaktion der einzelnen Komponenten mit zwei Phasen: der stationären und der mobilen Phase. Bei der HPLC dient eine Flüssigkeit, die das Substanzgemisch enthält, als mobile Phase, welche durch die stationäre Phase geleitet wird (Pico, 2012). In Abb. 8 wird der grundsätzliche Aufbau einer HPLC-Anlage schematisch dargestellt.

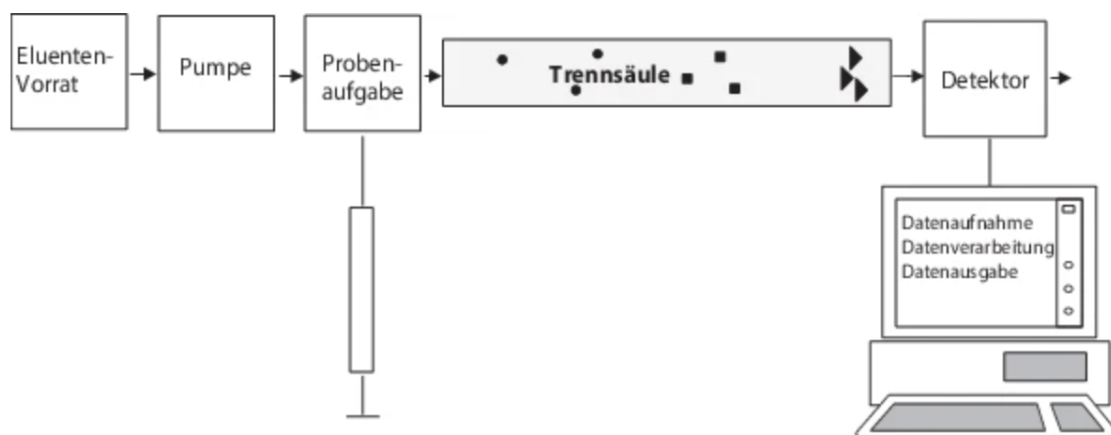


Abb. 8- Schematischer Aufbau einer HPLC-Anlage (aprentas, 2016).

Der Eluenten-Vorratsbehälter enthält die mobile Phase, welche über eine Pumpe weitergeleitet wird. HPLC-Pumpen müssen den Eluenten mit minimalen Druckschwankungen fördern, da eine präzise und konstante Förderrate essenziell für die analytische Genauigkeit ist. Die Probenflüssigkeit wird über ein Einlasssystem hinzugefügt. In vielen Fällen kommt ein Autosampler zum Einsatz. Die chromatographische Trennung der Probenkomponenten erfolgt in der Trennsäule und wird mittels eines nachgeschalteten Detektors oder mehrerer Detektoren analysiert. Für die HPLC-Detektion ist eine hohe Empfindlichkeit sowie ein großer linearer Bereich von Bedeutung. Zusätzlich sollen das Detektionsvolumen, die Ansprechzeit und das Grundrauschen gering sein. Zu den am häufigsten verwendeten Detektoren zählen UV-VIS-Spektroskopie, Massenspektrometrie, Lichtbrechung und Fluoreszenzdetektion (aprentas, 2016).

Ein wesentlicher Vorteil der HPLC liegt in ihrer hohen Trennleistung. Im Vergleich zur Dünnschichtchromatographie ermöglicht die HPLC eine bis zu zehnfach höhere Anzahl an Trennstufen. Darüber hinaus steht eine breite Palette an stationären und mobilen Phasen zur Verfügung, was eine präzise und spezifische Trennung ermöglicht (Hänsel & Dingmann, 2010).

2.2. Gaschromatographie

Die Gaschromatographie (GC) stellt eine weit verbreitete chromatographische Trennmethode dar, bei der gasförmige oder leicht flüchtige Substanzen getrennt und analysiert werden. Als mobile Phase fungiert ein Trägergas, das die zu analysierende Probe durch die Säule transportiert. Die Auswahl des Trägergases hängt von verschiedenen Faktoren ab, darunter die angestrebte Trennleistung, die Geschwindigkeit der Trennung sowie die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Analyten und des verwendeten Detektors. Typische Trägergase sind Helium (He), Stickstoff (N₂) und Wasserstoff (H₂) (Harris et al., 2014). Die stationäre Phase besteht in der Regel aus einer nicht-flüchtigen Flüssigkeit, die entweder auf einem festen Trägermaterial oder direkt auf der Innenwand der Säule gebunden ist. Alternativ können auch feste Teilchen zur Adsorption der Probe verwendet werden (Harris et al., 2014). Man unterscheidet grundsätzlich zwischen offenen Kapillarsäulen und gepackten Säulen. Offene Kapillarsäulen bieten im Vergleich zu gepackten Säulen eine höhere Auflösung, kürzere Analysezeiten, größere Empfindlichkeit und eine geringere Probenkapazität. Aufgrund dieser Eigenschaften werden sie in den meisten gaschromatographischen Analysen eingesetzt (Harris et al., 2014). Abbildung 9 zeigt den schematischen Aufbau einer GC-Anlage.

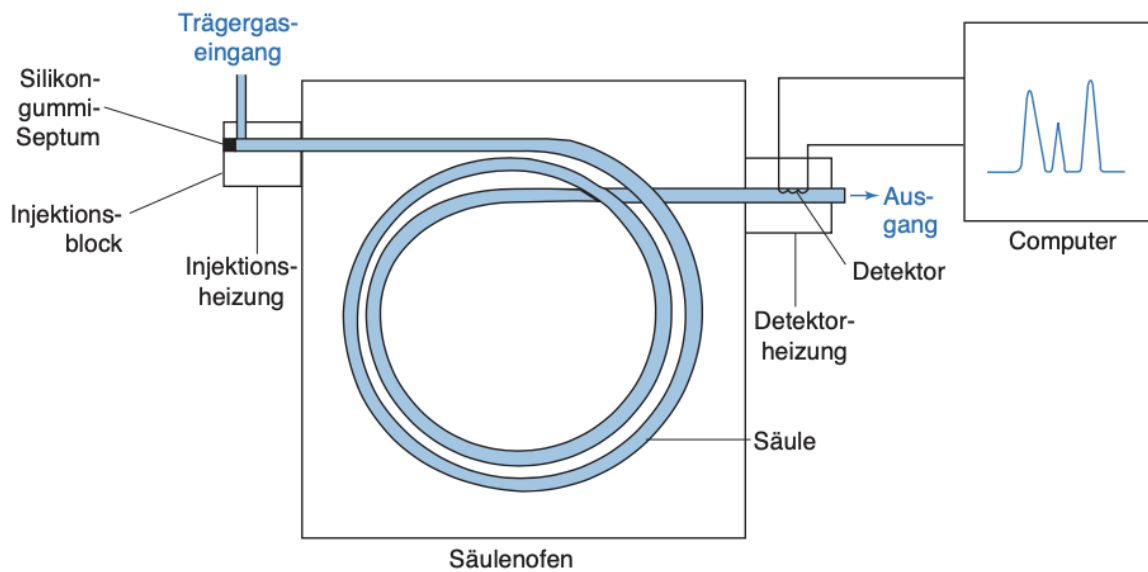


Abb. 9- Schematischer Aufbau einer GC-Anlage (Harris et al., 2014).

Die Probe gelangt über das Septum in den bereits vorgeheizten Einlass-Bereich und verdampft. Das entsprechende Trägergas wird eingeleitet und transportiert den Analyten durch die Säule. Dabei wird die Säule durch den Säulenofen konstant beheizt, um den Dampfdruck für die enthaltenen Verbindungen hoch genug zu halten und um die Elution in einer angemessenen Zeit ablaufen zu lassen. Die nun getrennten Probenkomponenten fließen durch einen Detektor, der die Ergebnisse in Form eines Chromatogramms darstellt (Harris et al., 2014).

3. Material und Methodik

3.1. Pflanzenmaterial

3.1.1. Sammlung und Behandlung des Pflanzenmaterials

3.1.1.1. Wildsammlung

Der Großteil des Probenmaterials wurde wild gesammelt. Das Pflanzenmaterial von *O. majorana* (120 Proben) und *O. dubium* (30 Proben) wurde während einer Sammelreise in Zypern (11.-16. Juni 2023, Sammlerinnen: Brigitte Lukas und Corinna Schmiuderer) in Wildpopulationen gesammelt, wobei mindestens zehn Individuen pro Population, sofern vorhanden, beprobt wurden. Es wurden jeweils 2-3 oberirdische Triebe gesammelt, wobei sich die meisten Pflanzen in Vollblüte befanden. Auch das Pflanzenmaterial von *O. vulgare* (64 Proben) stammt aus Wildpopulationen, ebenfalls in Vollblüte (Juli und August 2023, Sammlerin: Brigitte Lukas). Das wild gesammelte Pflanzenmaterial wurde einzeln in Papiersäckchen verpackt und anschließend bei sommerlicher Raumtemperatur im Schatten getrocknet. Bis zur Extraktion wurde das Probenmaterial dunkel und bei Raumtemperatur gelagert. Sämtliche Details zu den Wildsammlungen sind der Tabelle A1 in Anhang A zu entnehmen.

3.1.1.2. Kultivierung von Samen

Das Pflanzenmaterial von kultiviertem *O. syriacum*, *O. majorana* und *O. onites* wurde im Glashaus aus Saatgut früherer Projekte oder aus handelsüblichem Saatgut gezogen. Die Samen von wildem *O. syriacum* (21 Proben) wurden von einer israelischen Genbank (Israel Gene Bank ARO Volcani Center, Rishon LeZion) bereitgestellt und vom dortigen Personal an verschiedenen Wildstandorten gesammelt (Details zu den Samenherkünften sind in der Tabelle A2 in Anhang A aufgelistet). Die Samen wurden im frühen Frühling 2023 im Glashaus zum Keimen gebracht; die Keimlinge wurden zunächst in kleinen Gefäßen vereinzelt und später in größere Töpfe umgesetzt. Die Pflanzen erreichten erst im Oktober bzw. November ihre erste Blüte und wurden zu diesem Zeitpunkt beprobt (Brigitte Lukas). Die Trocknung der Proben aus dem Glashaus erfolgte in einem Trockenschrank bei 35 °C. Bis zur Extraktion wurde das Probenmaterial dunkel und bei Raumtemperatur gelagert.

3.1.2. Herkunft des Pflanzenmaterials und der Samen von Wildstandorten

Die Sammelorte sind in Abb. 10 bis Abb. 12 ersichtlich (erstellt auf Basis der geographischen Koordinaten der Wildstandorte mithilfe von Google-Earth (<https://www.google.com/intl/de/earth/about/>)). Die Koordinaten der Wildstandorte, Beschreibung der Fundorte sowie Art und Zeitpunkt der Sammlung können der Tabelle A1 in Anhang A entnommen werden. In dieser Arbeit werden Proben von SYR-13, SYR-16, SYR-17, SYR-18 und SYR-19 untersucht, der Vollständigkeit halber sind in Abb. 10 alle Sammelorte vermerkt.



Abb. 10- Herkunft Pflanzenmaterial, Israel (syr).

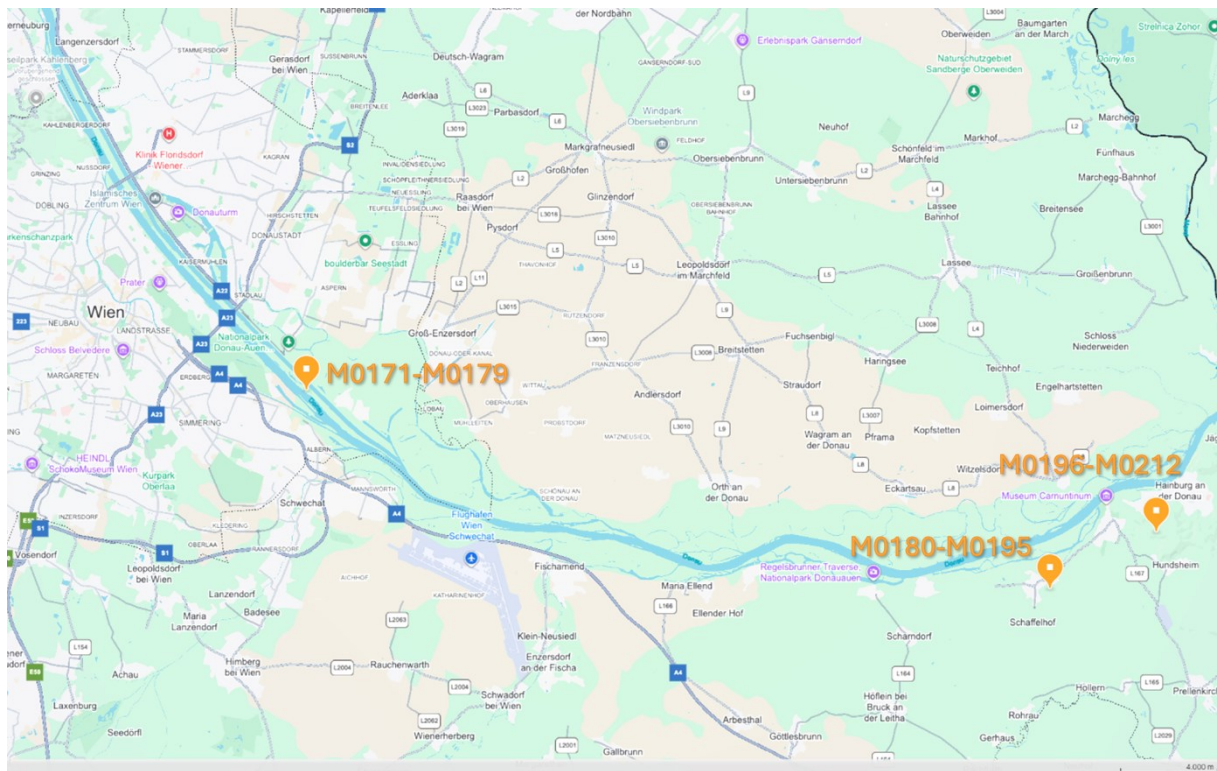


Abb. 11- Herkunft Pflanzenmaterial, Österreich (*O. vulgare* ssp. *vulgare*).



Abb. 12- Herkunft Pflanzenmaterial, Zypern (*maj* und *dub*).

3.2. Verwendete Geräte und Reagenzien

Tab. 2- Verwendete Geräte.

Gerätebezeichnung	Spezifikation
Feinwaage	Mettler Toledo, NewClassicMS, AT0001-165, D-K-19120-01-00, 2023-02
Ultraschallbad	Bandelin electronic, Typ RK156BH, Seriennummer 646.00146671.013, 07-2021
Schüttelmühle	Retsch, Modell MM301, Gerätenummer GFP018
Milli-Q®-Anlage	Merck KGaA, Darmstadt, Deutschland
Spritzenfilter	ROTILABO, Polytetrafluorethylen (PTFE), 0,2µm, 15mm, unsteril

Tab. 3- Verwendete Extraktions-Chemikalien.

Bezeichnung	Batch-Nr.	Ablaufdatum
Methanol, HPLC grade, Chem-Lab (CL00.1363.2500, 2,5L)	29.1600701	01-2024
	29.3311009	09-2024
Dichlormethan AnalaR Normapur, VWR Chemicals Prolabo (23366.327, 2,5L)	14C040510	03-2019
Standard Rosmarinsäure, Sigma Aldrich (Produkt-nummer R4033, CAS-Nummer 20283-92-5)		
Standard <i>p</i> -Arbutin ROTHICHRON, Carl Roth GmbH + Ko. KG (Artikelnummer 6115, CAS-Nummer 497-76-7)	132166257	
Standard Apigenin-7-glucuronid, Phytolab (Artikelnummer 83471)	105278993	
Standard Lithospermsäure, Phytolab (Artikelnummer 80491)	105296800	
Standard Luteolin-7-diglucuronid, Phytolab (Artikelnummer 83412)	132991804	02-2025

3.3. Vorbereitung des Pflanzenmaterials für HPLC und GC

Um das getrocknete Material für die Extraktion vorzubereiten, wurden Blüten und Blätter von den Stielen abgerebelt und getrennt in beschriftete Papiersäckchen sortiert, die Probennummer, die exakte Einwaage sowie das jeweilige Extraktions-Datum wurden im Laborbuch dokumentiert.

3.4. HPLC-Analyse

3.4.1. Herstellung des Lösungsmittels

Als Lösungsmittel wird ein Gemisch aus Milli-Q®-Wasser und Methanol im Verhältnis 1:1 verwendet. Die jeweiligen Anteile von Wasser und Methanol wurden mit einem Messzylinder abgemessen und anschließend in einer Schottflasche durch Schwenken vermischt. Die Flasche wurde mit dem aktuellen Datum beschriftet.

3.4.2. Probenvorbereitung und Extraktion

Für die HPLC-Extrakte wurden im ersten Schritt die jeweiligen Pflanzenmaterialien in 2 ml Kunststoff-Reaktionsgefäße überführt, wobei die Gefäße zu etwa zwei Dritteln mit Pflanzenmaterial gefüllt wurden. Anschließend wurden zwei Metallkugeln hinzugefügt, und die Reaktionsgefäße mittels Adapter in eine Schüttelmühle eingespannt. Im ersten Durchgang erfolgte die Zerkleinerung des Materials zweimal für jeweils 40 s bei einer Frequenz von 30 Hz. Danach wurde überprüft, ob der Zerkleinerungsprozess erfolgreich war. War das Material stark verklebt, wurde es mit einem Spatel gelockert und das Material von den Wänden der Behälter abgekratzt. Anschließend erfolgte ein dritter Durchgang in der Mühle, ebenfalls für 40 s bei 30 Hz. Nach erfolgreicher Pulverisierung wurden die Metallkugeln entfernt. Braune Schnappdeckelgläser wurden am oberen Rand und am Deckel mit der jeweiligen Probennummer, sowie „Blatt“ oder „Blüte“ beschriftet. 150 mg (Blatt) bzw. 100 mg (Blüte) fein zerkleinertes Pflanzenmaterial wurden mittels Wägepapier auf der Feinwaage abgewogen und in das entsprechende Schnappdeckelglas überführt. Stand weniger Material zur Verfügung, wurde in weiterer Folge die Menge des Lösungsmittels entsprechend angepasst. Mit einer Messpipette mit Peleusball wurde das Extraktionsmittel hinzugefügt (150 mg Blattprobe: 24 ml Extraktionsmittel, 100 mg Blütenprobe: 16 ml Extraktionsmittel). Es war darauf zu achten, dass das Probenpulver nicht klumpig und unbenetzt am Boden des Glases haftete und auch nicht durch das Lösungsmittel aufgeschwemmt wurde, sodass es an den Wänden kleben blieb. Sobald die Probe gleichmäßig benetzt war,

wurden die Proben für 30 min bei Raumtemperatur und mit Wasserkühlung in einem Ultraschallbad extrahiert. Der Wasserstand im Ultraschallbad war ausreichend hoch, um den Flüssigkeitsstand in den Schnappdeckelgläsern abzudecken. Nach 10 min wurde eine Kontrolle durchgeführt und falls notwendig, werden die Gläser geschwenkt. Nach 30 min wurden die Gläser entnommen und für weitere 30 min bei Raumtemperatur stehen gelassen, damit sich möglichst viele Schwebstoffe absetzten. Danach wurden etwa 4 ml des Extrakts mit einer Einwegspritze aufgesaugt, wobei darauf geachtet wurde, möglichst kein Pflanzenmaterial mit aufzunehmen. Mittels Spritzenfilter wurden dann je etwa 1,5 ml in vorbereitete und beschriftete HPLC-Vials und Plastik-Reaktionsgefäße (Sicherheits-Back-Up) überführt. Die Extrakte wurden bis zur Vermessung an der HPLC im Tiefkühler (-20 °C) aufbewahrt.

3.4.3. Analyse mittels HPLC und Datenauswertung

Die HPLC-Analyse wurde mit einem Shimadzu Nexera XR Chromatographen (Shimadzu©) unter Verwendung einer Umkehrphasensäule (Waters, X-Bridge Shield RP18, 3,5 µm, 4,8*150 mm) durchgeführt. Das System war mit einem Controller (SCL-40), einer Pumpe (LC20 AC), einem Entgaser (DGU-20A 5R), einem Autosampler (SIL-20 AXR) und einem Photodiodenarray-Detektor (SPD-M 20A) ausgestattet. Der Säulenofen (CTO-20 AC) hielt die Temperatur konstant bei 25 °C, die Flussrate beträgt 0,8 ml/min.

Tab. 4- Gradientenverlauf HPLC.

Zeit (min)	Konzentration von A (%)	Konzentration von B (%)
0	5	95
7	25	75
35	35	65
40	55	45
40,1	70	30
50	70	30
50,1	5	95
55	5	95

Es erfolgte eine Gradientenelution wobei die mobile Phase aus (A) 0,25 % v/v Ameisensäure in Acetonitril/Methanol (60:40) und (B) 0,25 % v/v Ameisensäure in Wasser bestand. Der Gradient basierte auf dem Prinzip der Publikation von González et al. (2017), wobei der Gradient hier verlängert wurde. Der Verlauf des Gradienten ist in Tab. 4 ersichtlich.

Die Datenaufnahme und Auswertung der Chromatogramme erfolgte mit der Software LabSolutions V 5.97 (Shimadzu, Österreich). Die Auswertung der Chromatogramme wurde von Brigitte Lukas durchgeführt. Zu Beginn der Analyse wurden mittels Software ausgewählte Chromatogramme aller fünf inkludierten Arten übereinandergelegt. In den Abb. 13 und 14 sind repräsentative Chromatogramme aller inkludierten Arten (280 nm und 330 nm) beispielhaft gegenübergestellt und die in weiterer Folge quantifizierten Peaks mit Pfeilen hervorgehoben

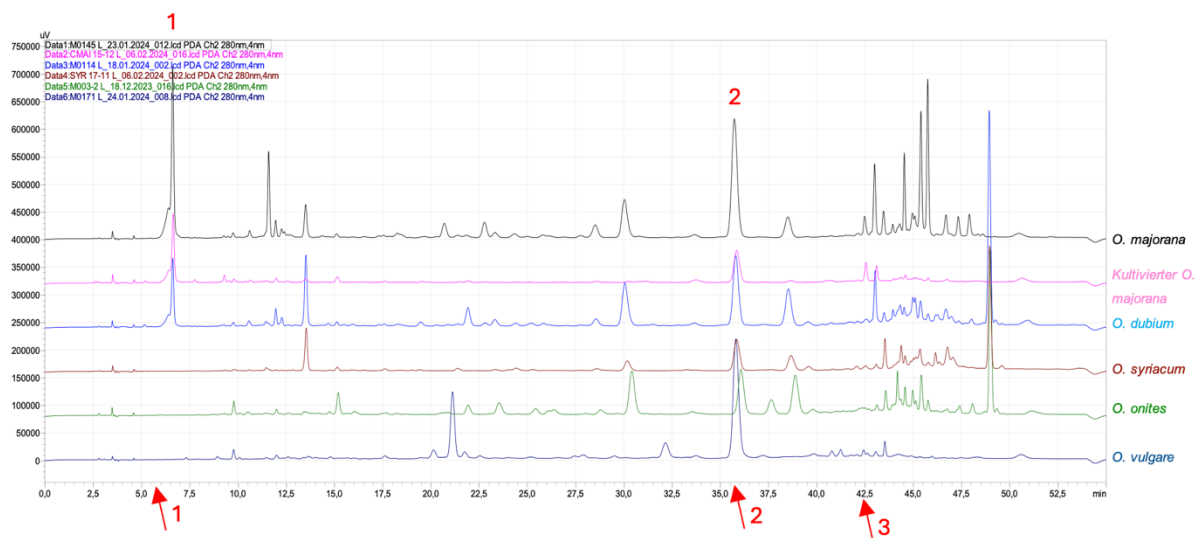


Abb. 13- Chromatogramm bei 280 nm, Pfeil 1: Arbutin, Pfeil 2: Rosmarinsäure, ab Pfeil 3 viele enge Peaks.

Wie in Abb. 13 ersichtlich, zeigte sich bei einer Retentionszeit von 6,6 min (Pfeil 1) ein hoher Peak. Dieser stammte von Arbutin und ist im Chromatogramm bei 280 nm sichtbar. Ein weiterer Hauptpeak befand sich bei RT 35,9 min (Pfeil 2), dabei handelt es sich um Rosmarinsäure. Bei *O. onites* war der Rosmarinsäure-Peak leicht versetzt, da diese Probe zu Beginn der Analysesequenz gelaufen ist und sich im weiteren Verlauf die Retentionszeiten geringfügig verschoben haben. Ab einer RT von ca. 42,4 (Pfeil 3) befanden sich viele Peaks auf engem Raum, was die exakte Zuordnung der Peaks erschwerte.

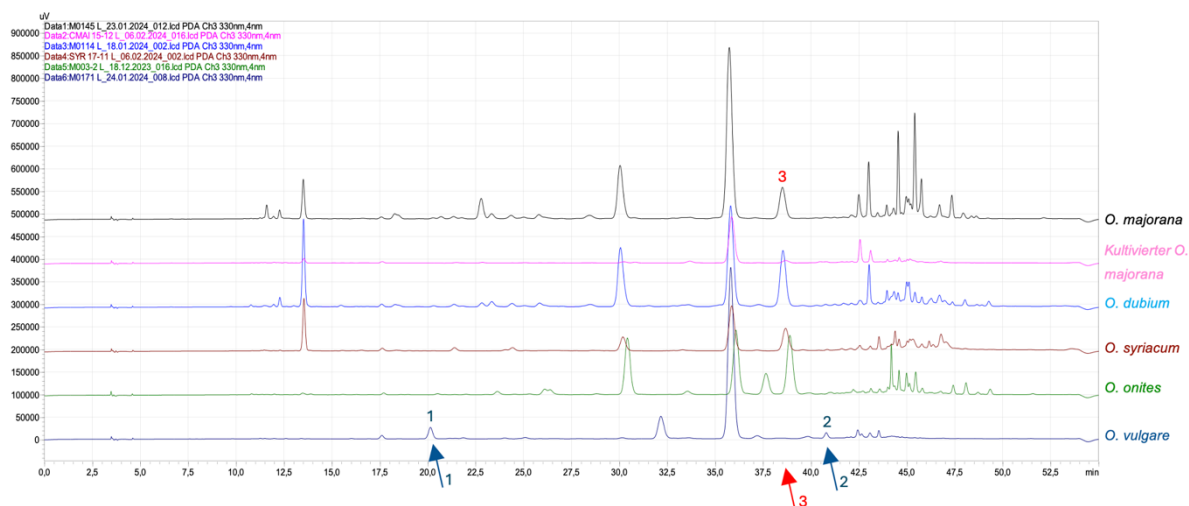


Abb. 14- Chromatogramm bei 330 nm, Pfeil 1: Luteolin-7-diglucuronid in *vul*, Pfeil 2: Lithospermsäure in *vul*, Pfeil 3: Apigenin-7-glucuronid.

Abbildung 14 zeigt das Chromatogramm derselben Probe bei 330 nm. Auch hier erkennt man bei *O. onites* die leicht versetzten Peaks aufgrund der RT-Verschiebung im Laufe der Serie. Bei einer RT von 20,3 min zeigte sich bei *O. vulgare* der Peak von Luteolin-7-diglucuronid, bei ca. 40,7 min der Peak von Lithospermsäure (Pfeil 1 und 2). Pfeil 3 zeigt für die anderen Arten bei ca. 38,5 min einen Peak von Apigenin-7-glucuronid an.

Grundsätzlich wurden die vorhandenen Peaks in der Reihenfolge des Auftretens nummeriert und mit Retentionszeit und Absorptionsmaximum in einer Tabelle aufgelistet. Die daraus resultierende Aufstellung umfasste insgesamt 119 Peaks (Tabelle A3 in Anhang A) und diente als Grundlage zur Peak-Auswertung aller weiteren Proben. In Tab. 5 sind die 43 markantesten Peaks (relative Flächenprozent > 5 in mindestens einer der inkludierten Arten) mit ihrer Retentionszeit (min) und Wellenlänge (nm) der Datenaufnahme zusammengefasst. Die Aufnahme der Fläche der vorhandenen Peaks erfolgte entweder bei 280, 330 oder 354 nm, nahe am Absorptionsmaximum des jeweiligen Peaks (Tabelle A3 in Anhang A). Die automatische Zuordnung der Peaks durch die Software wurde durchgehend visuell überprüft und gegebenenfalls korrigiert. Die Identifizierung und Verifizierung von bisher sieben Peaks basierte auf verfügbaren Literatur-Daten (beispielsweise (González et al., 2017)) und dem direkten Vergleich von Retentionszeiten und UV-Spektren mit jenen von Reinsubstanzen. Die Quantifizierung der einzelnen, in der Probe enthaltenen, Substanzen erfolgte durch den Vergleich mit

jenen von externen Standards. Informationen zur Produktspezifikation der einzelnen Standards sind Tab. 3 zu entnehmen. In den Tabellen A4 bis A8 in Anhang A befindet sich die genaue Aufschlüsselung der fünf Eichreihen, inklusive „Limit of detection“ (LoD) und „Limit of Quantification“ (LoQ), für folgende Standards: Arbutin, Rosmarinsäure, Lithospermsäure, Apigenin-7-diglucuronid und Luteolin-7-glucuronid. Die Quantifizierung wurde in Mikrogramm per Milligramm Trockengewicht ($\mu\text{g}/\text{mg}$ TG) ausgedrückt.

Tab. 5- 43 ausgewählte Peaks (relative Flächenprozent >5 in mindestens einer der inkludierten Arten), RT (min) und Wellenlänge (WL) der Datenaufnahme.

Peak	WL (nm)	Komponente	RT (min)	Peak	WL (nm)	Komponente	RT (min)
006	280	n. i.	6,386	062	330	n. i.	33,790
007	280	Arbutin	6,619	064	330	Rosmarinsäure	35,898
023	280	n. i.	13,362	066	354	n. i.	37,234
024	330	n. i.	13,481	067	330	Apigenin-7- glucuronid	38,566
028	280	n. i.	15,092	080	280	n. i. (DP mit 081)	42,432
034	330	Kaffeesäure	17,635	081	330	n. i.	42,500
038	354	Luteolin-7- diglucuronid	20,309	082	330	n. i. (DP)	42,640
040	354	n. i.	21,265	085	280	n. i.	43,070
042	280	n. i.	21,896	089	280	n. i.	43,520
044	330	n. i.	22,880	092	330	n. i.	44,164
046	354	n. i.	24,178	093	280	n. i.	44,346
048	330	n. i.	25,171	094	354	n. i.	44,572
049	354	n. i.	25,736	095	280	n. i.	44,697
052	280	n. i.	27,637	099	354	n. i.	45,237
053	280	n. i.	28,638	100	280	n. i.	45,350
054	354	n. i.	29,483	101	354	n. i.	45,435
055	280	n. i.	29,773	103	280	n. i.	45,787
056	354	n. i.	30,090	108	280	n. i.	46,747
057	354	n. i.	30,765	112	280	Apigenin	47,957
058	330	n. i.	32,444	115	280	n. i.	49,009
059	330	n. i.	32,900	117	280	n. i.	49,600
060	354	Apigenin-7-O- Glucosid	33,156				

3.5. GC-Analyse

3.5.1. Herstellung des Lösungsmittels

Als Lösungsmittel wurde Dichlormethan, das mit dem als internen Standard gewählten Biphenyl versetzt wurde. Die erforderliche Menge an Biphenyl wurde in einem Vorversuch mit 20 Pflanzenproben bestimmt. Das Verhältnis zwischen der Fläche des Biphenyl-Peaks und dem höchsten Peak einer Probe sollte zwischen 10 %-60 % liegen. Die genauen Ergebnisse dieses Versuchs sind im Anhang A (Tabelle A9) ersichtlich. Aus dem Vorversuch ergab sich eine Einwaage von 0,015 g Biphenyl auf 0,5 L Dichlormethan für alle *O. vulgare*-Proben, sowie eine Einwaage von 0,150 g auf 0,5 L Dichlormethan für die zypriotischen Wildpflanzen (exakte Einwaage 0,1505 g) und die Glashauspflanzen (exakte Einwaage 0,1502 g).

Das Biphenyl wurde mit Wägepapier auf der Feinwaage eingewogen und in einen 0,5 L Messkolben überführt. Der Messkolben wurde mit Dichlormethan auf 0,5 L aufgefüllt. Nach dem Mischen wurde der Messkolben mit einem Stopfen und Parafilm gut verschlossen und im Kühlraum gelagert. Das jeweils unmittelbar benötigte Volumen an Extraktionsmittel wurde in eine Schottflasche abgefüllt.

3.5.2. Probenvorbereitung und Extraktion

Auf der Feinwaage werden mithilfe von Wägepapier etwa 200 mg grob zerkleinertes Blattmaterial bzw. 100 mg Blütenmaterial abgewogen. Sollten größere Blattstücke oder ganze Blütenstände im Material vorhanden sein, werden diese vorsichtig mit einem Spatel oder per Hand zerkleinert. Die Probe wird anschließend in eine Epruvette überführt und das Extraktionsmittel (Blatt: 2 ml, Blüte: 1 ml) wird zugegeben. Mit einem Epruvettenstopfen sowie Parafilm wird die Epruvette sicher verschlossen. Die Epruvetten werden dann für 30 min in das gekühlte Ultraschallbad gestellt. Dabei soll der Wasserstand im Ultraschallbad dem Lösungsmittelstand in den Epruvetten entsprechen. Nach Ablauf der 30 min werden die Proben entnommen. Mit einer Pasteurpipette wird der Extrakt entnommen, wobei möglichst kein Pflanzenmaterial mit aufgenommen werden soll. An der Spitze der Pipette befindet sich dazu ein gedrehter Wattestopfen, der als Filter dient. Der gefilterte Extrakt wird in vorbeschriftete GC-Vials überführt. Diese werden gut verschlossen und bis zur Analyse im Tiefkühler (-20 °C) aufbewahrt.

3.5.3. Analyse mittels GC und Datenauswertung

Die Analyse wurde mittels Agilent Gaschromatographen 7890, gekoppelt mit dem Agilent Massenspektrometer 5973C (GC-MS), durchgeführt. Der Fronteinlass war auf 230 °C temperiert und wurde mit einem Splitverhältnis von 1:10 betrieben. Es wurden 2 µl der Probe injiziert. Als Trägergas wurde Helium mit einer Flussrate von 2 ml/min verwendet. Die Trennung erfolgt auf einer HP-5MS-Säule (30 m × 250 µm × 0,25 µm). Das Temperaturprogramm begann bei 60 °C und wurde mit einer Heizrate von 3 °C/min auf 100 °C erhöht. Anschließend erfolgte der weitere Temperatursteigerung mit 10 °C/min bis zu einer Endtemperatur von 289 °C. Über die Transferleitung (auf 280 °C temperiert) wurde das Eluat der Säule in das Massenspektrometer eingebracht. Identifizierung und quantitative Auswertung der Daten wurde von Ao. Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Johannes Novak mithilfe der Agilent Masshunter Software (Agilent, Kalifornien) durchgeführt. Um den jeweiligen Retentionsindex zu ermitteln, wurde ein n-Alkan-Gemisch unter identischen Bedingungen wie die Proben analysiert. Der Retentionsindex wurde über die Retentionszeiten und die Zahl der C-Atome im entsprechenden Alkan berechnet (Formel 1). Die Bestimmung der jeweiligen Komponenten erfolgte mittels Vergleiches der ermittelten Retentionsindizes und Massenspektren mit publizierten Indizes (Adams, 2007) und Massenspektren (McLafferty & Stauffer, 1989). Durch Peakflächennormalisierung wurde die relative Zusammensetzung analysiert. Die Abbildungen 15-19 zeigen Beispielchromatogramme der gaschromatographischen Untersuchung für Blatt (L) bzw. Blüte (F) von wildem und kultiviertem *O. majorana*, *O. dubium*, *O. syriacum* und *O. vulgare*. Zur besseren Übersicht ist der Biphenyl-Standard gekennzeichnet, der Peak liegt bei ca. 18,6 min.

$$I = 100 \times \left[n + (N - n) \frac{t_{r(\text{unknown})} - t_{r(n)}}{t_{r(N)} - t_{r(n)}} \right]$$

Formel 1- Berechnung des Retentionsindex (I ... Kovats Retentionsindex, n ... Anzahl der Kohlenstoffatome des ersten n-Alkans, N ... Anzahl der Kohlenstoffatome des zweiten n-Alkans, unknown ... unbekannter Peak, t_r ... Retentionszeit).

3.5.3.1. *Wilder O. majorana*

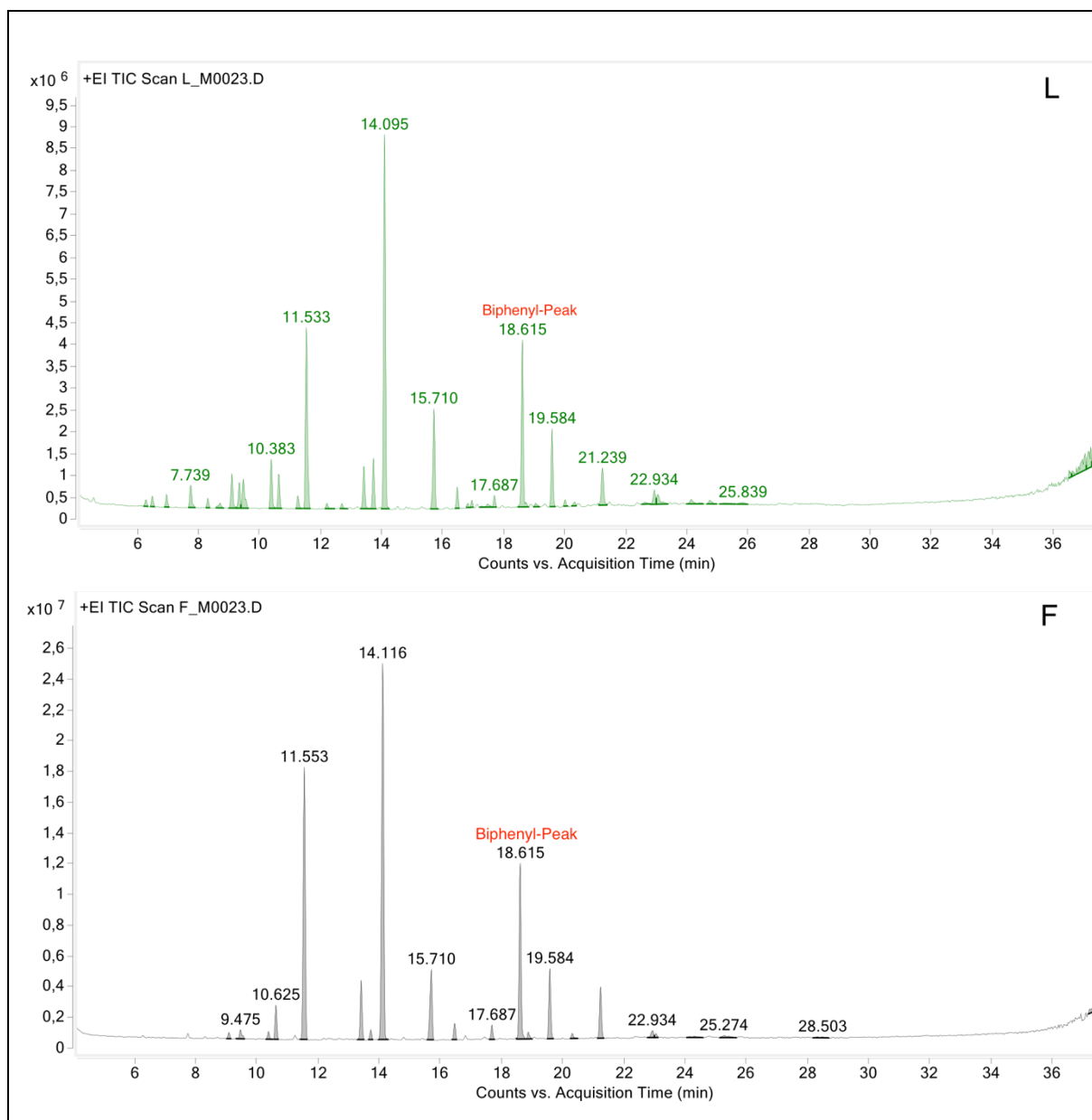


Abb. 15- Beispielchromatogramme *maj* nach Blatt (L)/Blüte (F).

3.5.3.2. Kultivierter *O. majorana*

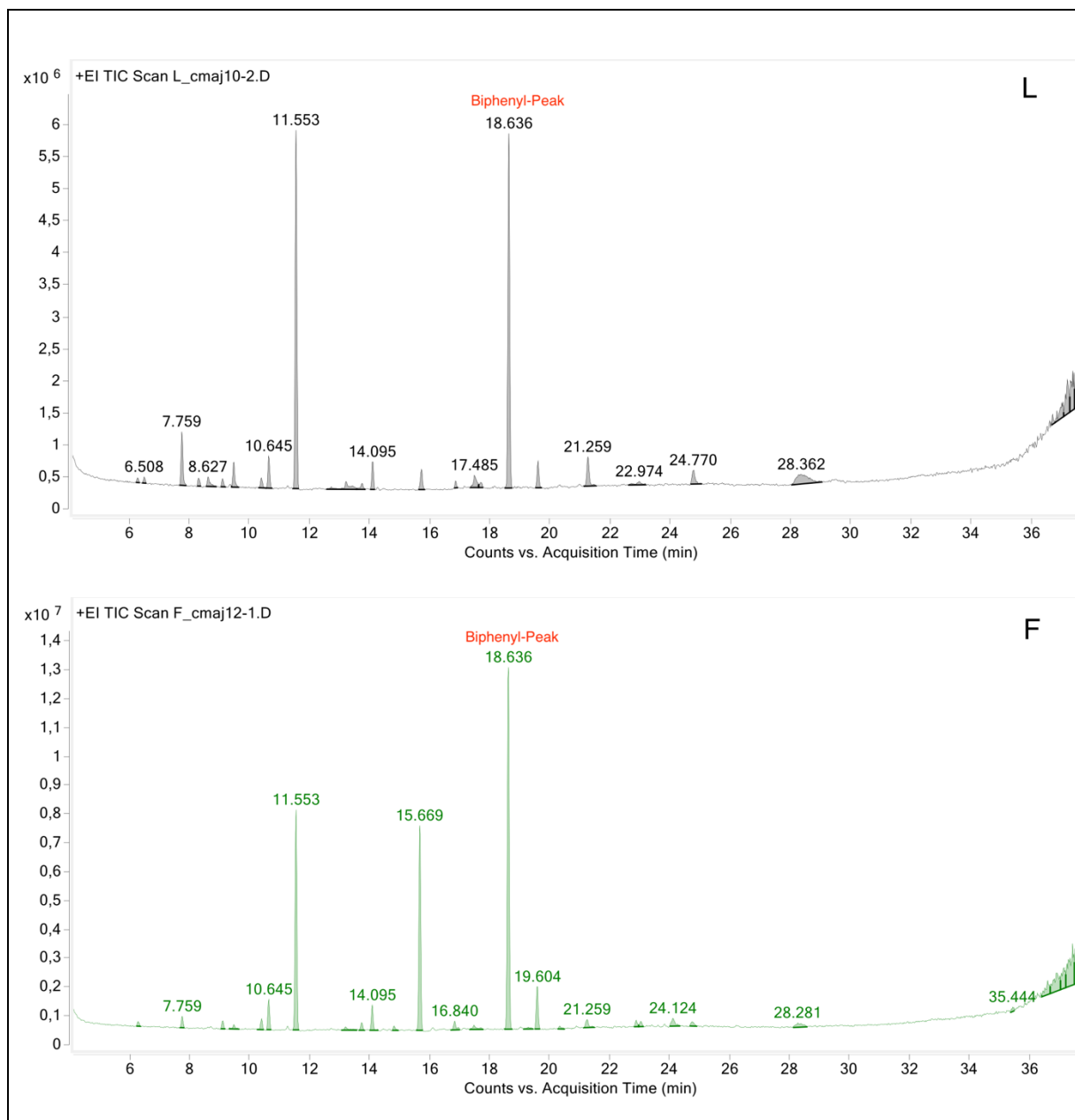


Abb. 16- Beispielchromatogramme *cmaj* nach Blatt (L)/Blüte (F).

3.5.3.3. *Origanum dubium*

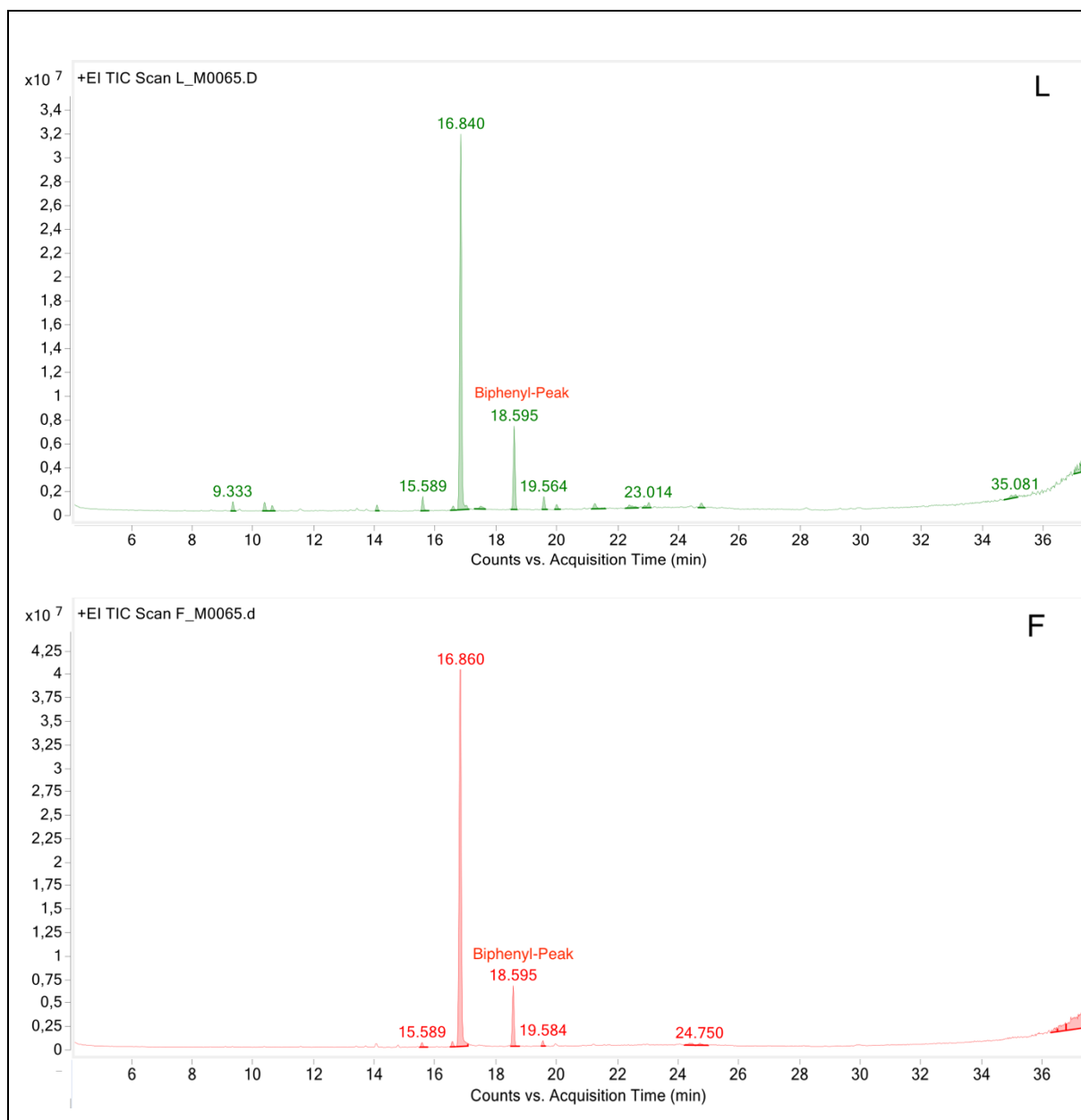


Abb. 17- Beispielchromatogramme *dub* nach Blatt (L)/Blüte (F).

3.5.3.4. *Origanum syriacum*

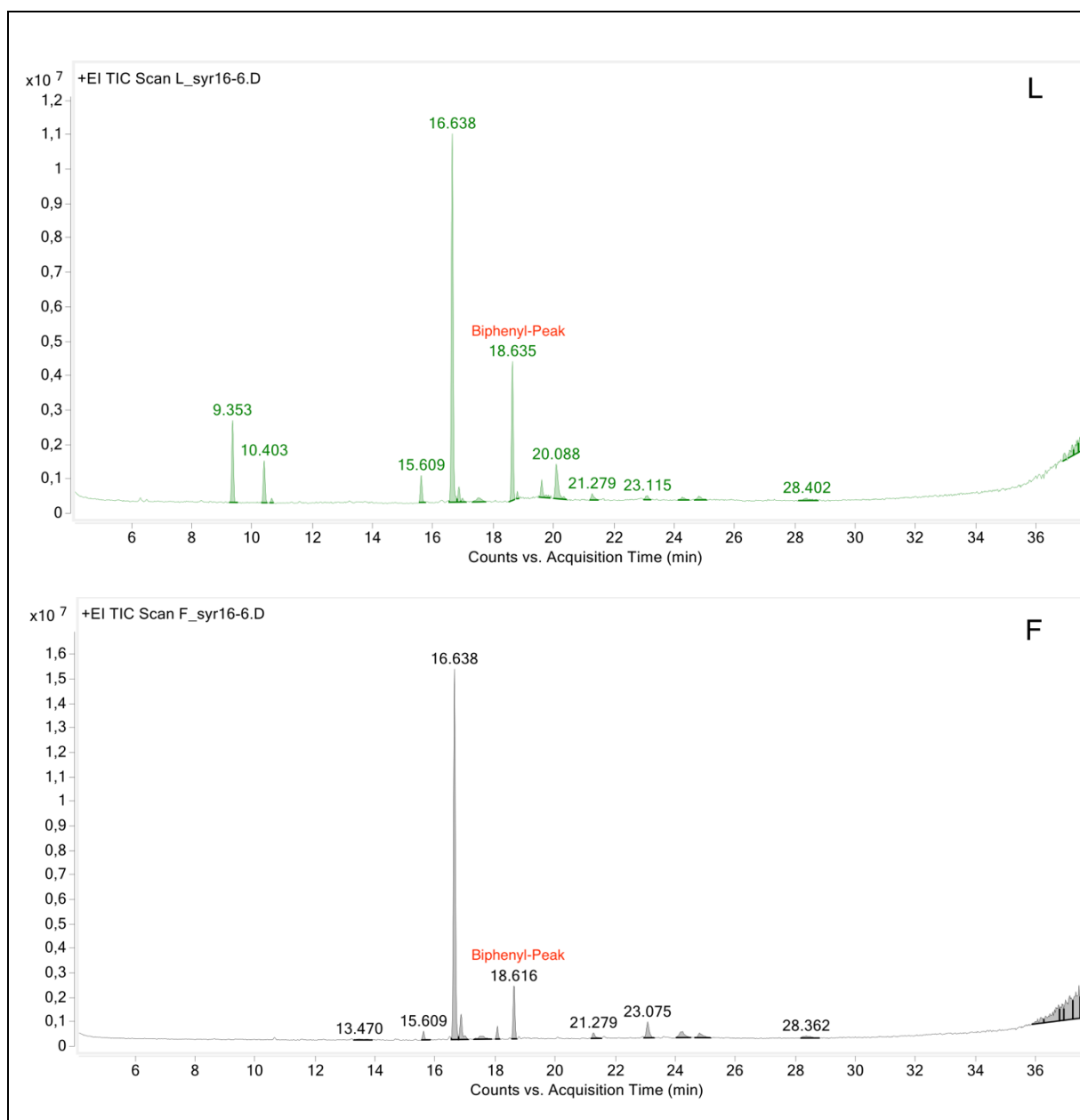


Abb. 18- Beispielchromatogramme *syr* nach Blatt (L)/Blüte (F).

3.5.3.5. *Origanum vulgare*

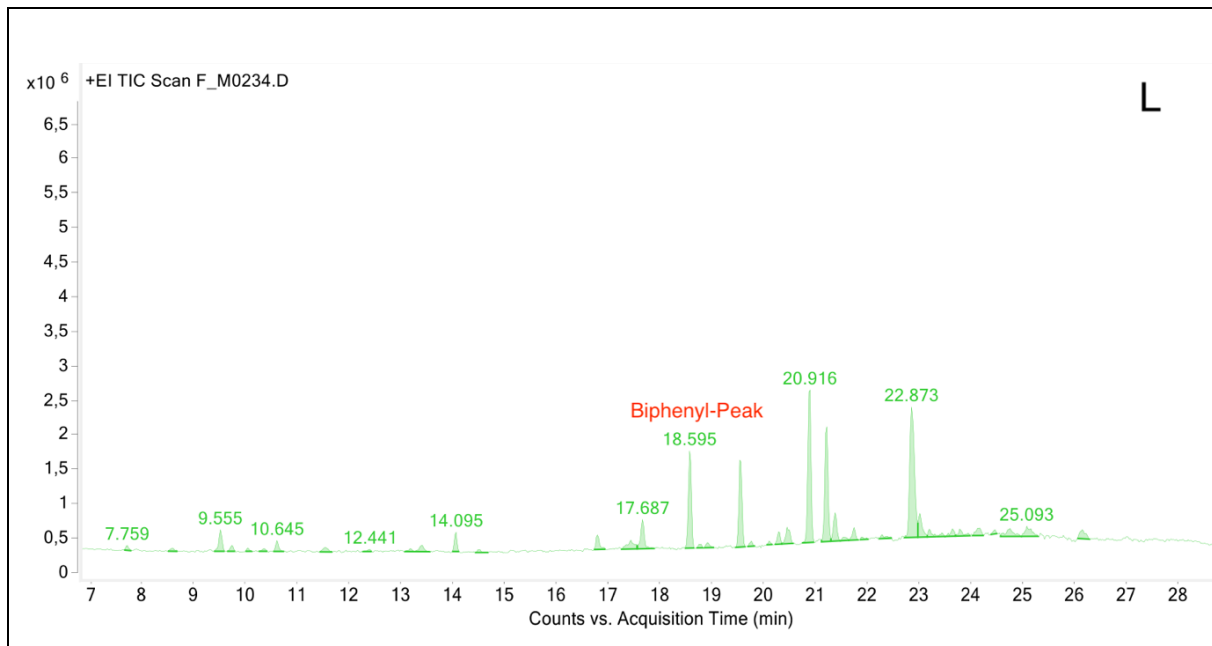


Abb. 19- Beispielchromatogramme *vu*/ Blatt (L).

3.6. Statistik

Statistische Analysen (grundlegende Statistische Parameter, Korrelationen, Varianzanalyse (ANOVA), Tukey (HSD-Test) Hauptkomponentenanalyse (PCA) wurden mittels RStudio 2024.09.1 (Posit team, 2024), R4.4.1 (R Core Team, 2021) und den Softwarepaketen agricolae (Mendiburu, 2020), corrplot (Wei & Simko, 2021), factoextra (Kassambara & Mundt, 2020), FactoMineR (Lê et al., 2008), ggsci (Xiao, 2018), Hmisc (Harrell, 2024), multcompView (Graves et al., 2015) und PerformanceAnalytics (Peterson et al., 2023) durchgeführt und visualisiert. Bei der Hauptkomponentenanalyse wurden nicht die ursprünglichen Peakflächen, sondern jeweils die relativen Flächenprozent für die Berechnung herangezogen (Formel 2).

$$\text{relative Flächenprozent} = \frac{b}{a}$$

Formel 2- Berechnung der relativen Flächenprozent (a ... Summe aller Peakflächen eines Individuums, b ... Fläche jedes einzelnen Peaks eines Individuums)

4. Ergebnisse

Es wurden insgesamt 273 Individuen der Gattung *Origanum* untersucht, wobei 229 Proben von Wildstandorten aus Österreich bzw. Zypern stammten und 44 Proben im Glashaus aus Samen gezogen wurden. Es wurden jeweils Extrakte der Blätter und Blüten von fünf verschiedenen Arten untersucht: wilder *O. majorana* (120 Proben), kultiviertem *O. majorana* (20 Proben), *O. syriacum* (21 Proben), kultiviertem *O. syriacum* (3 Proben), *O. vulgare* (64 Proben), *O. dubium* (30 Proben) und *O. onites* (2 Proben).

4.1. Phenolische Verbindungen

4.1.1. Zusammenfassende Betrachtung

Die Chromatogramme der methanolischen Extrakte wurden nahe des Absorptionsmaximums jedes der detektierten Peaks ausgewertet (280 nm, 330 nm oder 354 nm). Insgesamt wurden 119 Peaks analysiert, von denen bisher sieben identifiziert werden konnten. Die vollständigen Angaben zu Peak-Nummer, Komponenten, RT, Aufnahme-Wellenlänge, UV max, minimalen und maximalen relativen Flächenprozent gesamt und nach Arten sind der Tabelle A3 in Anhang A zu entnehmen. Tabelle 6 gibt einen Überblick über alle bisher mittels kommerzieller Standards identifizierten Peaks, deren Eckdaten und einen Vergleich der maximalen relativen Flächenprozent der einzelnen Arten. Es war deutlich zu sehen, dass Arbutin vor allem in *O. majorana* (wild und kultiviert) in größeren Mengen vorkam. Hydrochinon, Luteolin-7-diglucuronid, Rosmarinsäure und Lithospermsäure erreichten in *O. vulgare* die höchsten relativen Flächenprozent. Kaffeesäure hatte in kultiviertem *O. majorana* die größten relativen Anteile, Apigenin-7-glucuronid in *O. syriacum*. Die quantifizierten Ergebnisse von fünf dieser Komponenten werden in Kapitel 4.1.3. im Detail behandelt.

Tab. 6- Bisher identifizierte Peaks (Peaknummer (Peak), aufgenommene Wellenlänge (WL), Retentionszeit (RT), Maximum (max) der relativen Flächenprozent in den einzelnen Arten) in den Proben von *maj* und *cmaj*, *dub*, *csyr* und *syr*, *oni* und *vul*. Der jeweils höchste durchschnittliche Anteil ist hervorgehoben.

Komponente	Peak	WL	RT	<i>maj</i>	<i>cmaj</i>	<i>dub</i>	<i>syr</i>	<i>csyr</i>	<i>oni</i>	<i>vul</i>
Arbutin	007	280	6,619	32,9	38,5	5,8	0,0	5,8	0,0	0,0
Hydrochinon	012	330	9,713	0,5	0,8	0,3	1,1	0,8	1,0	2,2
Kaffeesäure	034	330	17,635	1,1	8,1	0,5	5,8	4,8	1,0	4,0
Luteolin-7-diglucuronid	038	354	20,309	0,5	0,3	0,2	0,0	0,0	0,2	31,6
Rosmarinsäure	064	330	35,898	45,5	69,6	34,6	36,0	55,3	24,6	75,6
Apigenin-7-glucuronid	067	330	38,566	25,6	15,3	32,0	39,4	26,9	25,4	25,4
Lithospermsäure	071	330	40,731	0,6	0,6	0,4	0,5	0,0	0,3	4,2

4.1.2. Gegenüberstellung der inkludierten Arten

Um einen Überblick über Tendenzen, Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Arten zu erhalten, wurde eine Hauptkomponentenanalyse (PCA) mit allen Proben durchgeführt (Abb. 20). Inkludiert waren insgesamt 538 Messungen (Blatt und Blüte) und alle 119 aufgenommenen Peaks (relative Peakfläche in %).

Bei den ersten beiden Dimensionen lag die erklärte Varianz bei nur 22,8 %. In der ersten Dimension (erklärte Varianz: 15,1 %) zeigte sich eine gute Trennung zwischen *O. vulgare* und *O. majorana*. Weiters ließ sich kultivierter *O. majorana* und wilder *O. majorana* gut unterscheiden. Die Punktwolke von Kulturmajoran überschneidet sich mit den Punktwolken von *O. onites*, *O. syriacum* und *O. dubium*. In der zweiten Dimension (erklärte Varianz: 7,7 %) separierten wilder *O. majorana* und *O. vulgare* deutlich von kultiviertem *O. majorana*, *O. dubium*, *O. onites* und *O. syriacum*. Die wenigen Proben von kultiviertem *O. syriacum* streuten stark, daher wurden diese bei der folgenden PCA sowie allen weiteren Berechnungen exkludiert. Im Vergleich zu den anderen drei Arten ergab sich lediglich für *O. vulgare* und für wilden *O. majorana* eine gute Trennung.

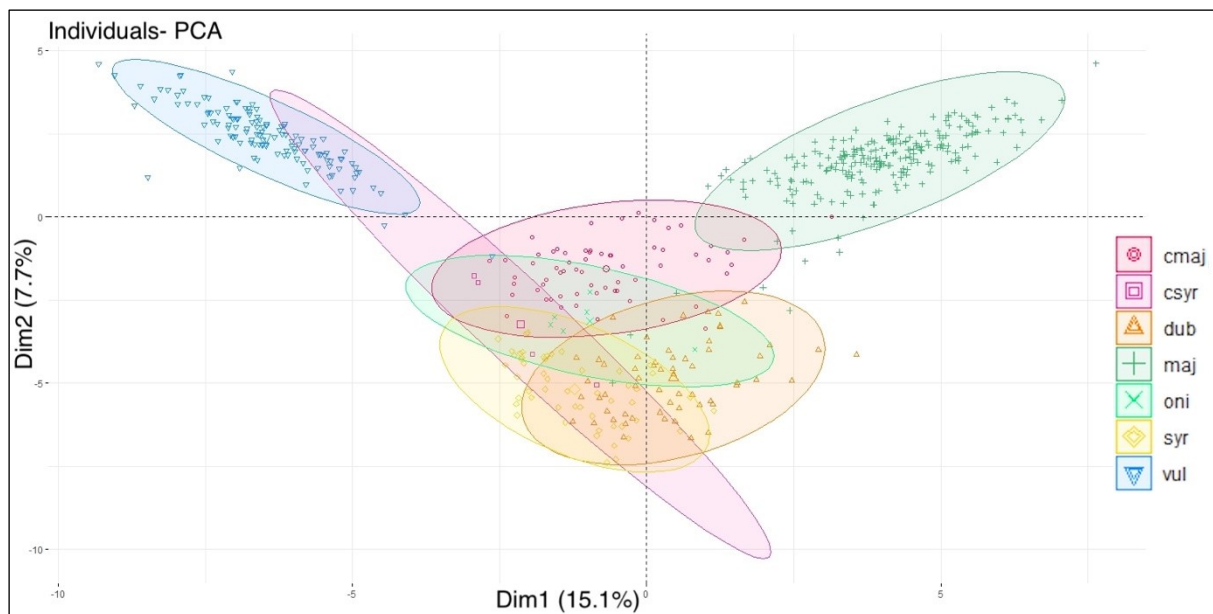


Abb. 20- Hauptkomponentenanalyse aller Messungen auf Basis der relativen Peakfläche (%) und der 119 analysierten Peaks. Die Farben definieren die Art-Zugehörigkeit. Die Ellipsen markieren den Raum, in dem 95 % der Proben einer definierten Gruppe zu liegen kommen.

In Abb. 21 sind jene 20 Inhaltsstoffe aufgezeigt, die den größten Einfluss auf die Trennung der verschiedenen Arten haben. Dazu gehörten Luteolin-7-diglucuronid (A_038), Hydrochinon (A_012), Apigenin-7-glucoronid (A_067), Apigenin (nicht sicher identifiziert, A_0112), sowie weitere, bisher nicht identifizierte Komponenten (A_040, A_078, A_0115, A_024, A_063, A_0110, A_094, A_0101, A_0103, A_044, A_020, A_036, A_035, A_053, A_085, A_088). Die Extrakte von *O. vulgare* zeigten einen hohen relativen Anteil von Luteolin-7-diglucuronid (A_038), Hydrochinon (A_012) und einer weiteren nicht identifizierten Komponente (A_040). Für die Abgrenzung von *O. majorana* waren vorrangig nicht identifizierte Inhaltsstoffe (A_094, A_0101, A_044, A_020) verantwortlich.

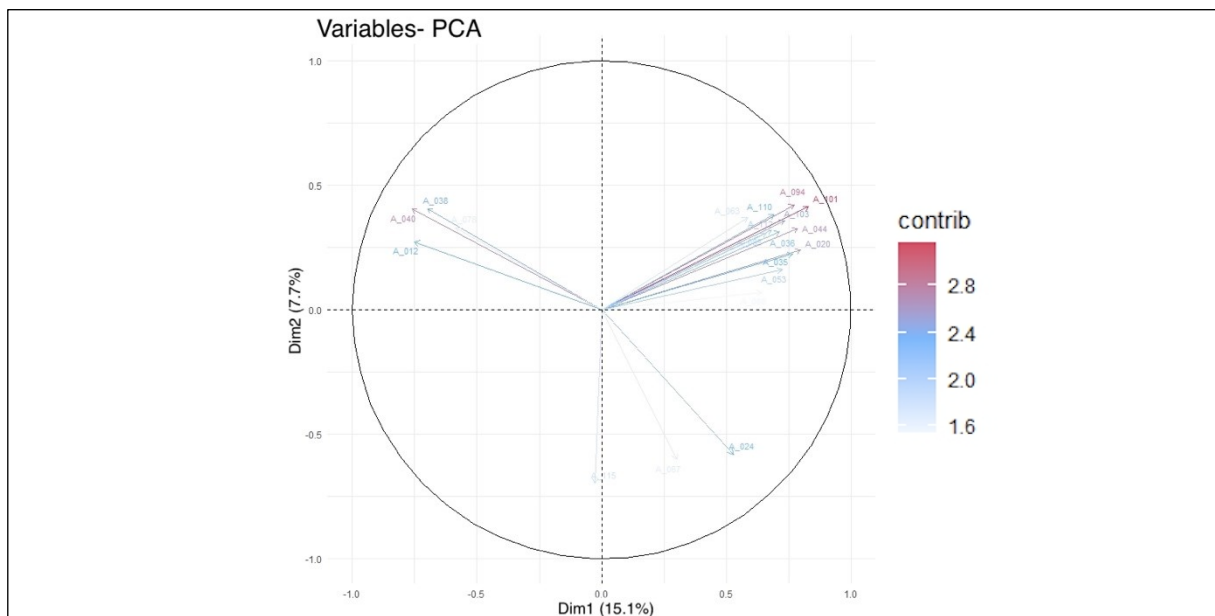


Abb. 21- Loading-Plot mit dem Quadrat-Kosinus ($\cos^2$) der 20 wichtigsten Inhaltsstoffe.

Eine Hauptkomponentenanalyse auf Basis der 20 relevantesten Inhaltsstoffen (definiert auf Basis des Quadrat-Kosinus¹), erhöhte die erklärte Varianz der ersten beiden Dimensionen auf 55,9 % (Abb. 22). Im Vergleich zu Abb. 20 zeigten die Ellipsen von *O. vulgare*, *O. majorana* und *O. dubium* eine geringere Streuung, während jene von *O. syriacum* und kultiviertem *O. majorana* eine größere Ausdehnung aufwiesen. Insbesondere bei kultiviertem *O. majorana* war eine ausgeprägtere Überlappung mit den Ellipsen von *O. onites*, *O. syriacum*, *O. dubium* und *O. majorana* zu beobachten. In der ersten Dimension (erklärte Varianz: 41,6 %) zeigte sich wieder eine deutliche Trennung von *O. vulgare* und *O. majorana*. *Origanum majorana* konnte von *O. syriacum*, *O. onites* und *O. dubium* differenziert werden, während sich diese drei Arten nicht voneinander abtrennen ließen. Die zweite Hauptkomponente (erklärte Varianz: 14,3 %) bestätigte die Trennbarkeit von *O. vulgare* und, bedingt, von wildem *O. majorana*. Die Punktwolken der anderen drei Arten wiesen keine klare Separation auf.

¹ Der Quadrat-Kosinus ($\cos^2$) gibt an, wie gut eine Variable durch die ausgewählten Hauptkomponenten dargestellt wird. Bei einem hohen Quadrat-Kosinus (nahe 1) wird die Variable gut durch die Hauptkomponenten erklärt.

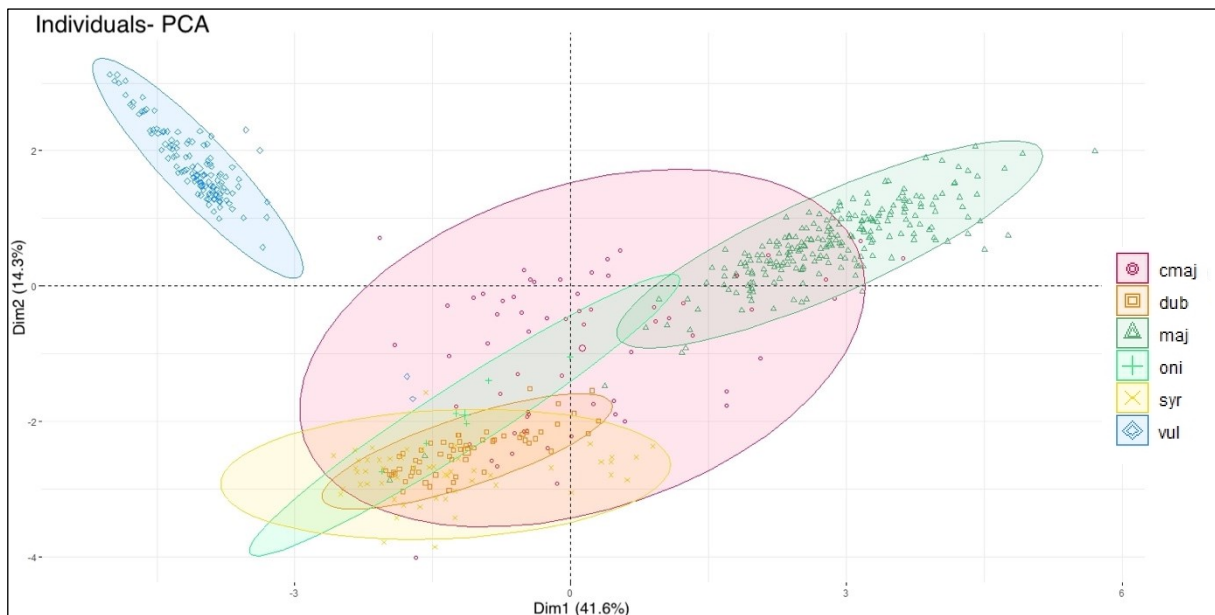


Abb. 22- Hauptkomponentenanalyse auf Basis der relativen Peakflächen (%) und der 20 (nach $\cos^2$) am besten repräsentierten Komponenten. Die Farben definieren die Art-Zugehörigkeit. Die Ellipsen markieren den Raum, in dem 95 % der Proben einer definierten Gruppe zu liegen kommen.

Abbildung 23 zeigt den Loading-Plot der angepassten Hauptkomponentenanalyse. Für die deutliche Abtrennung von *O. vulgare* waren wieder Luteolin-7-diglucuronid (D_038) und eine weitere nicht identifizierte Verbindung (D_040) hauptverantwortlich. Zwei Peaks bisher unbekannter Substanzen (D_094, D_101) ermöglichten die teilweise Differenzierbarkeit von *O. majorana*.

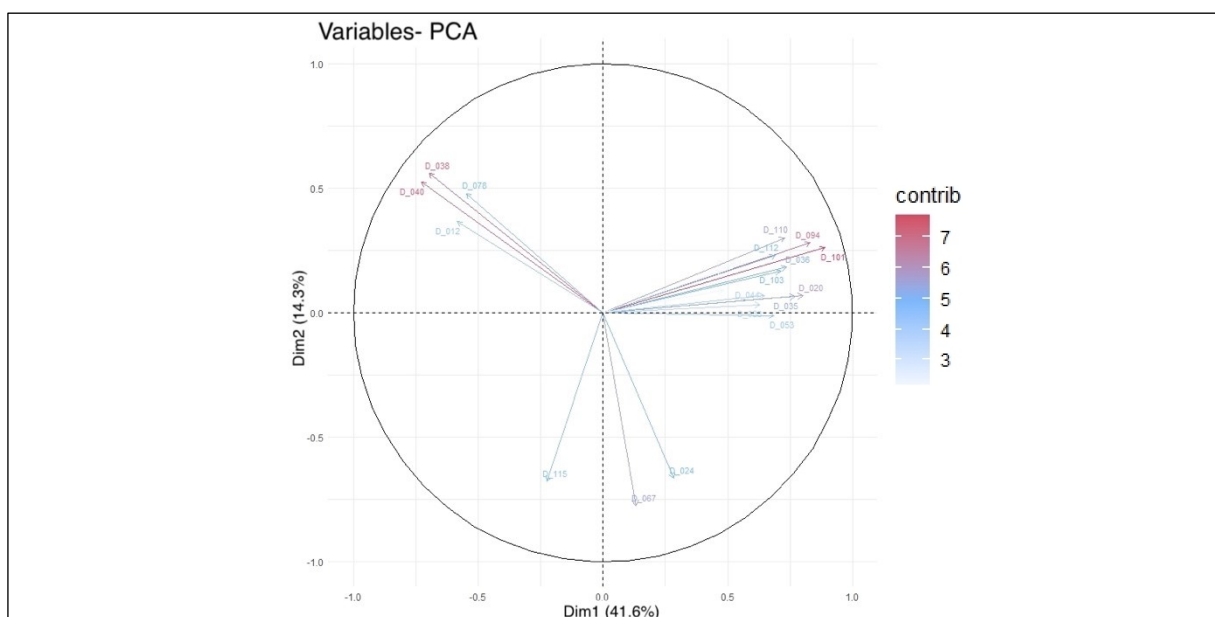


Abb. 23- Loading-Plot mit dem Einfluss der 20 wichtigsten Inhaltsstoffe.

4.1.3. Gegenüberstellung von Blatt und Blüte

Für die Gegenüberstellung von Blatt und Blüte wurde eine PCA-Analyse der Blatt- und Blütenextrakte aller Individuen einer Art, sowie der relativen Flächenprozent aller 119 Peaks durchgeführt. In den folgenden Abbildungen wurden die unterschiedlichen Tendenzen bei den einzelnen Arten deutlich. Für eine aussagekräftige Abbildung zu *O. onites* und zu kultiviertem *O. syriacum* waren zu wenig Datenpunkte vorhanden.

4.1.3.1. *Origanum vulgare*

Abbildung 24 zeigt, dass bei *O. vulgare* kein Unterschied zwischen Blatt und Blüte feststellbar ist, die Punktwolken überlappen vollständig, bei den Blütenextrakten ist eine größere Streuung als bei den Blattextrakten zu beobachten. Die erklärte Varianz betrug 17,2%.

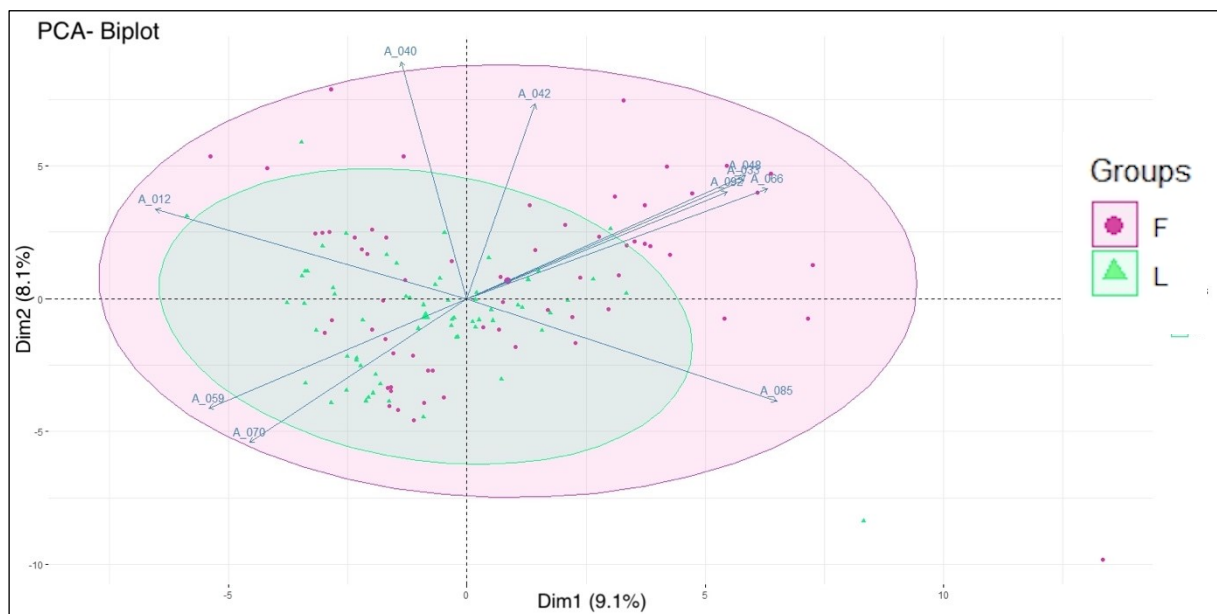


Abb. 24- Biplot Gegenüberstellung Blatt/Blüte von *vul.* Dargestellt sind die 20 Komponenten, die nach $\cos^2$ am besten repräsentiert werden.

4.1.3.2. *Origanum majorana*

Bei *O. majorana* war eine deutlichere Tendenz erkennbar, die Ellipsen von Blatt und Blüte waren schon in der ersten Dimension nahezu getrennt (Abb. 25). Im Blatt waren besonders Arbutin (A_007) und drei nicht identifizierte Komponenten (A_006, A_013, A_019) stärker vorhanden, während in der Blüte vermehrt Apigenin-7-O-glucuronid (A_060) und weitere bisher nicht identifizierte Substanzen (A_037, A_077, A_053) vorlagen. Die erklärte Varianz betrug 18,7 %.

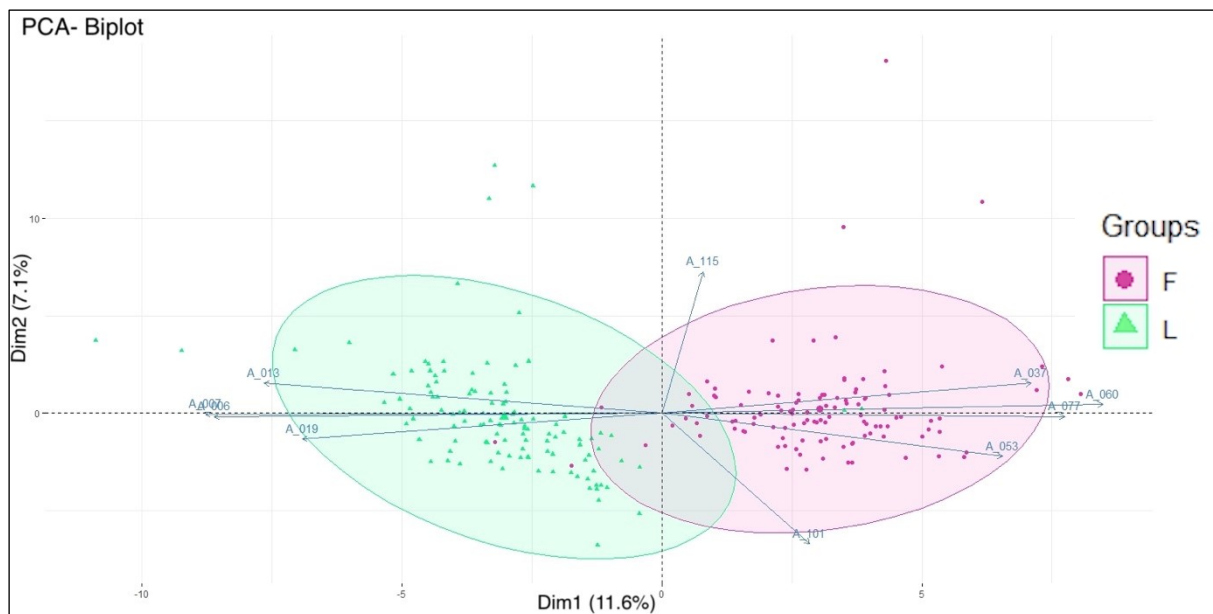


Abb. 25- Biplot Gegenüberstellung Blatt/Blüte von *maj.* Dargestellt sind die 20 Komponenten, die nach $\cos^2$ am besten repräsentiert werden.

4.1.3.3. *Origanum majorana* (kultiviert)

Abbildung 26 zeigt im Vergleich zu wildem *O. majorana* eine stärkere Überlappung der beiden Ellipsen, wobei in der Blüte zwei nicht identifizierte Inhaltsstoffe (A_049 und A_056) für die Trennung Relevanz hatten, während im Blatt vor allem unbekannte Substanzen (A_088, A_113, A_036, A_094, A_35, A_020, A_046) und Vitexin (A_041) wichtig waren. Die erklärte Varianz lag bei 27,5 %.

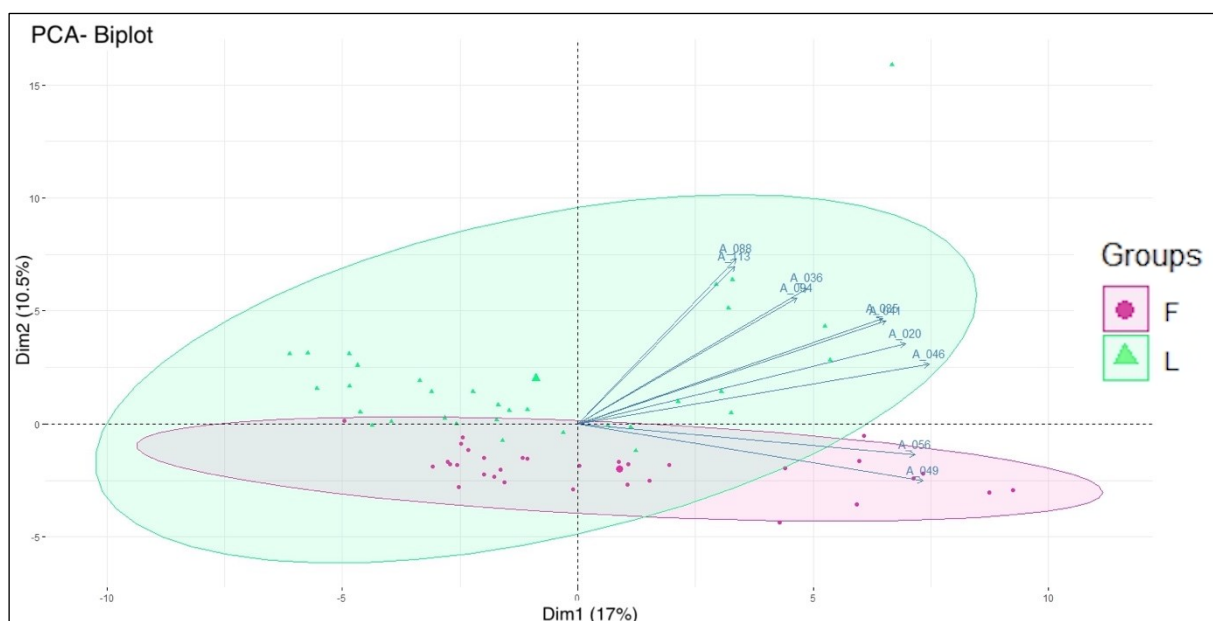


Abb. 26- Biplot Gegenüberstellung Blatt/Blüte von kultiviertem *maj.* Dargestellt sind die 20 Komponenten, die nach $\cos^2$ am besten repräsentiert werden.

4.1.3.4. *Origanum dubium*

Bei *O. dubium* war eine klare Unterscheidung zwischen Blatt und Blüte anhand ihrer jeweiligen Inhaltsstoffe möglich. Die beiden Ellipsen waren mit der ersten Dimension vollständig voneinander getrennt (Abb. 27). Im Blatt waren Arbutin (A_007), Rosmarinsäure (A_064) und verschiedene nicht identifizierte Komponenten (A_103, A_114, A_116, A_091, A_042, A_019, A_098, A_106) für die Abgrenzung verantwortlich. Die erklärte Varianz betrug 26,5 %.

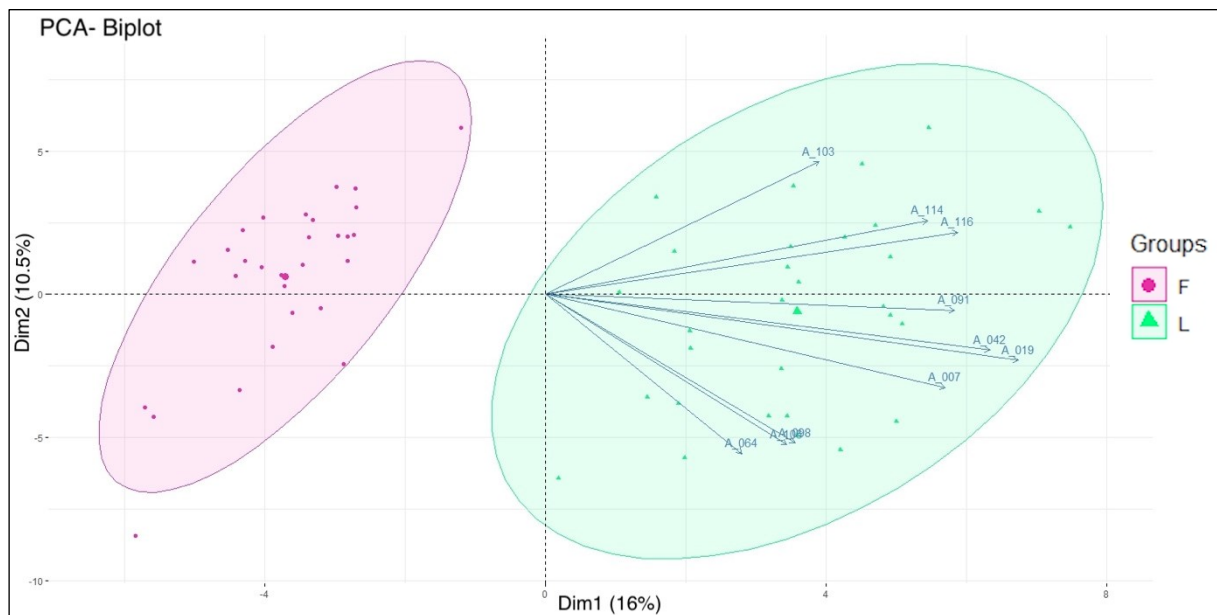


Abb. 27- Biplot Gegenüberstellung Blatt/Blüte von *dub.* Dargestellt sind die 20 Komponenten, die nach $\cos^2$ am besten repräsentiert werden.

4.1.3.5. *Origanum syriacum*

Bei *O. syriacum* zeigte sich trotz leichter Überlappung der beiden Gruppen eine gute Differenzierbarkeit (Abb. 28). Die Blüte hob sich vorrangig durch Apigenin-7-glucoronid (A_067) und Kaffeesäure (A_034) vom Blatt ab. Im Blatt waren Rosmarinsäure (A_064) und diverse nicht identifizierte Komponenten (A_099, A_106, A_056, A_108, A_0109, A_028, A_91) für die Unterscheidung relevant. Die erklärte Varianz betrug 25,9 %.

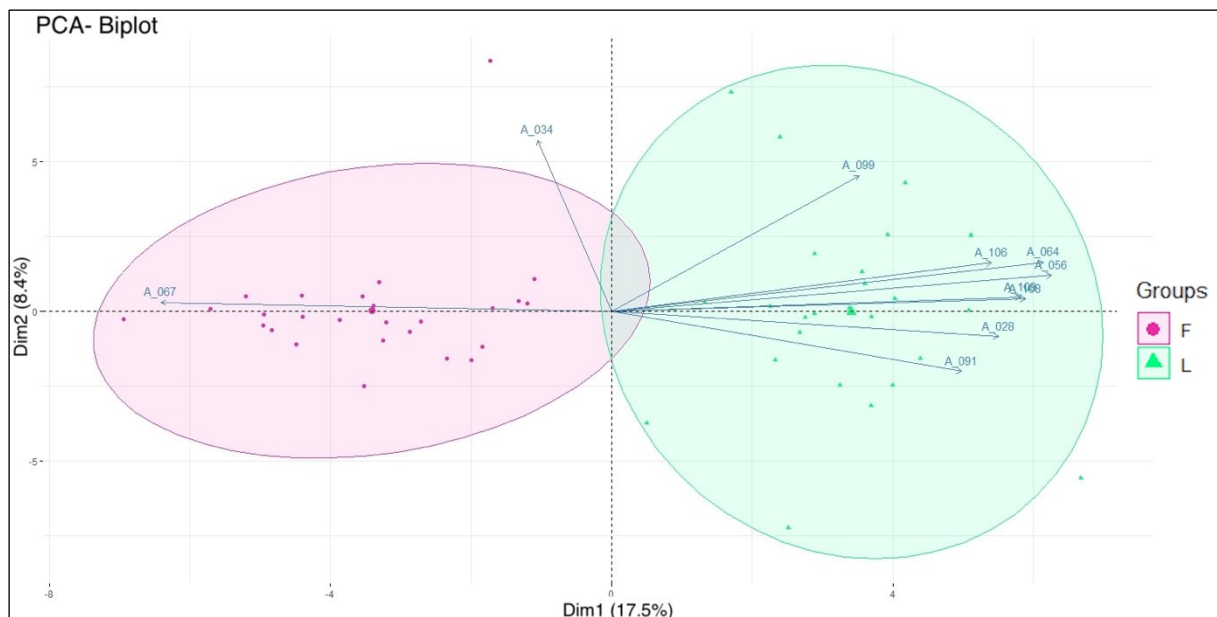


Abb. 28- Biplot Gegenüberstellung Blatt/Blüte von *syr.* Dargestellt sind die 20 Komponenten, die nach $\cos^2$ am besten repräsentiert werden.

4.1.4. Quantifizierung relevanter Inhaltsstoffe

Bei der quantitativen Analyse einzelner Inhaltsstoffe lag der Fokus auf fünf der bisher identifizierten Substanzen: Rosmarinsäure, Arbutin, Apigenin-7-glucuronid, Lithospermensäure und Luteolin-7-diglucuronid. Die in den Boxplots dargestellten Ergebnisse bezogen sich zunächst auf Blatt- und Blütenproben gemeinsam, zuletzt wurden die Blüten- und Blattproben der Arten und Populationen getrennt betrachtet. Genaue Informationen zu den ANOVA-Berechnungen der jeweiligen Komponenten sind Anhang B zu entnehmen.

4.1.4.1. Rosmarinsäure

Abbildung 29 zeigt die Verteilung des Rosmarinsäure-Gehalts in den untersuchten Arten. *Origanum vulgare* wies mit einem Gehalt von 22,4 mg/g Trockengewicht (TG) die höchste durchschnittliche Konzentration auf. Im mittleren Bereich lagen kultivierter *O. majorana* (13,8 µg/mg TG) und wilder *O. majorana* (11,6 µg/mg TG). Dahinter folgten *O. onites* (6,7 µg/mg TG), *O. dubium* (5,7 µg/mg TG) und schließlich *O. syriacum* mit dem geringsten durchschnittlichen Gehalt von 4,1 µg/mg TG. Während sich *O. vulgare* (a) signifikant von den anderen fünf Arten unterschied, konnten wilder *O. majorana* (b) und kultivierter *O. majorana* (b), genauso wie *O. dubium* (c) und *O. syriacum* (c) jeweils nicht voneinander differenziert werden. Eine Unterscheidung von wildem bzw.

kultiviertem *O. majorana* (beide b) von *O. dubium* bzw. *O. syriacum* (beide c) war hingegen möglich. *Origanum onites* ließ sich weder von wildem bzw. kultiviertem *O. majorana*, noch von wildem bzw. kultiviertem *O. syriacum* abgrenzen (bc).

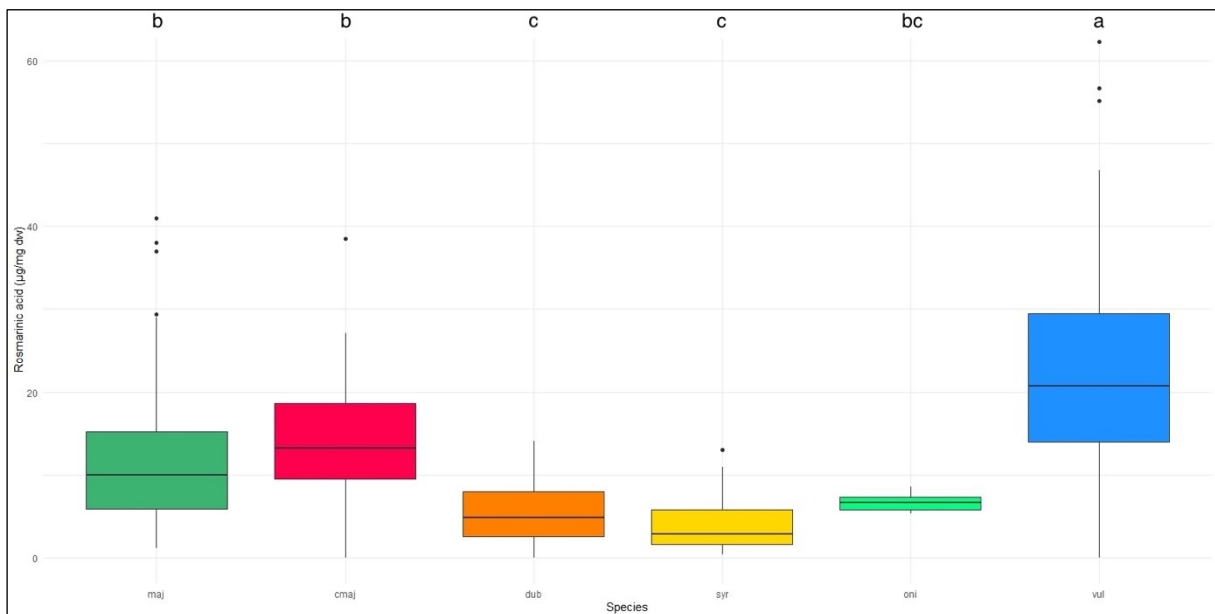
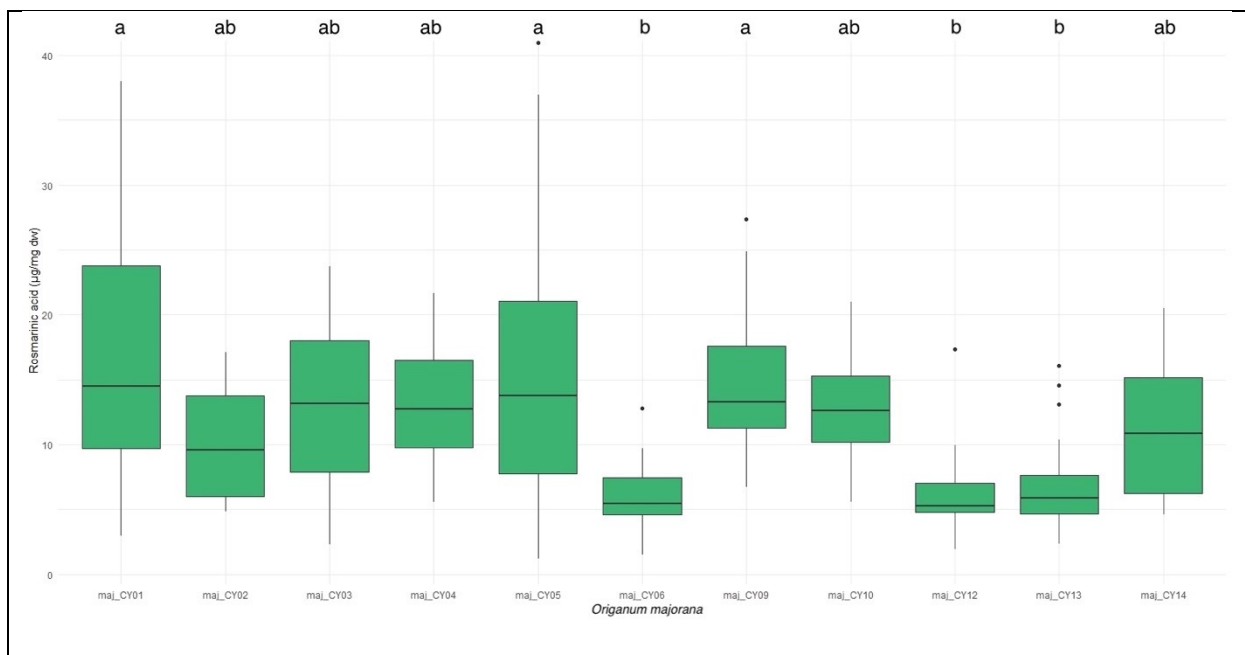
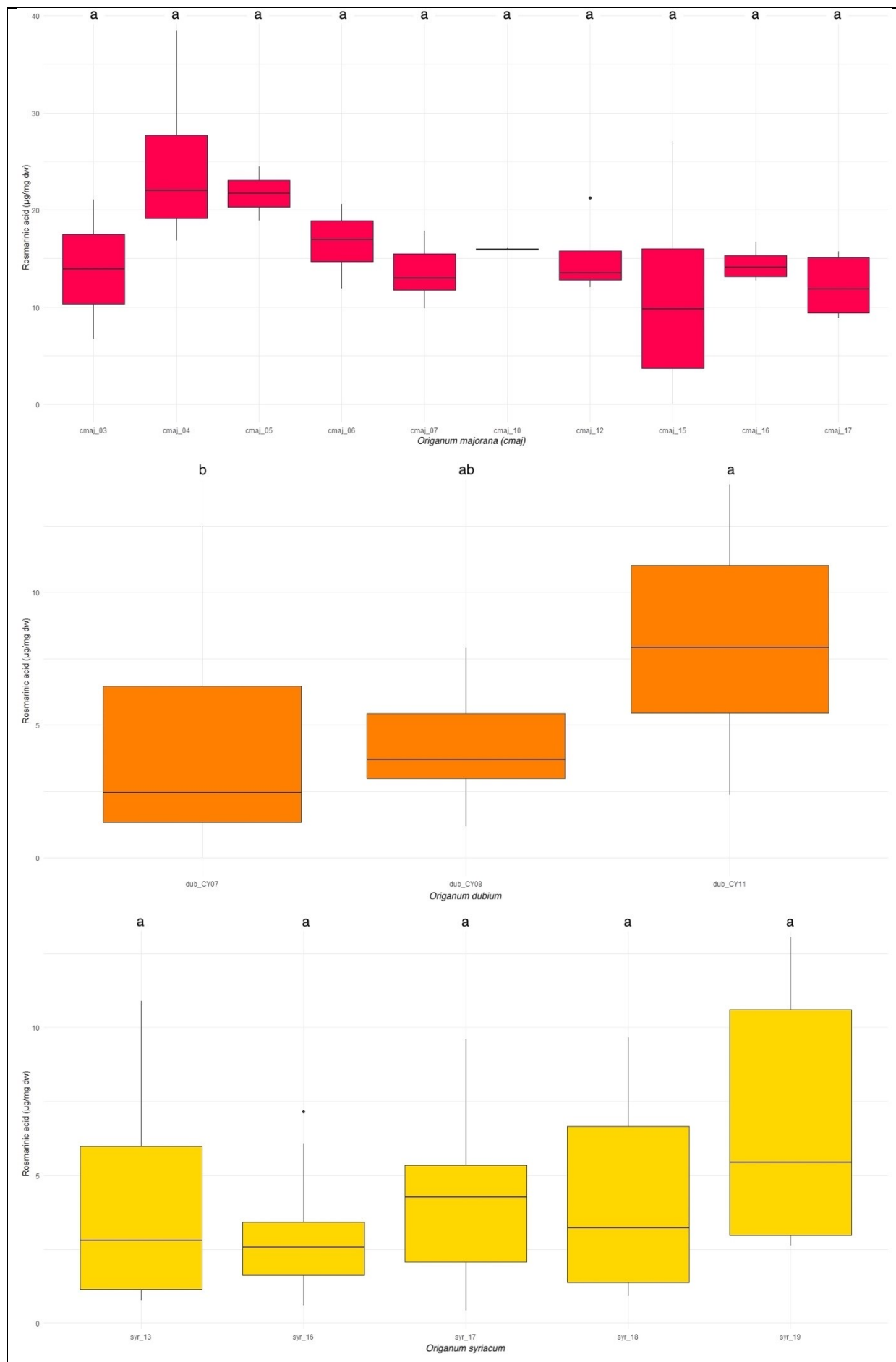


Abb. 29- Rosmarinsäure-Gehalt ($\mu\text{g}/\text{mg}$ TG) in Blatt- und Blütenproben nach Arten (*maj*=grün, *cmaj*=rot, *dub*=orange, *syr*=gelb, *oni*=grün, *vul*=blau). Arten mit demselben Buchstaben unterscheiden sich laut Tukey honestly significant difference (HSD) Test nicht signifikant ($\alpha=0,005$) voneinander.

Abbildung 30 gibt einen Überblick über den Rosmarinsäure-Gehalt der verschiedenen Arten, unterteilt nach einzelnen Populationen. Innerhalb der Art *O. majorana* (grün) wiesen Population 1 und Population 5, beide mit $15,9 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG, die höchsten durchschnittlichen Konzentrationen auf. Gleichzeitig zeigte sich bei diesen beiden Populationen die größte Streuung (Population 1 $n=24$ / $\text{stabw}=8,7$; Population 5 $n=26$ / $\text{stabw}=10,4$). Den niedrigsten durchschnittlichen Gehalt verzeichnete Population 6 mit $6,0 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG. Population 1, 5 und 9 (a) können von Population 6, 12 und 13 (b) signifikant unterschieden werden. Die fünf weiteren Populationen (ab) lagen dazwischen. Bei kultiviertem *O. majorana* (rot) wurde die höchsten durchschnittlichen Konzentrationen in Population 4 ($24,8 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG) und Population 5 ($21,7 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG) gemessen. Population 15 wies mit $11,1 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG den niedrigsten durchschnittlichen Gehalt innerhalb dieser Gruppe auf. Zwischen den Populationen von kultiviertem *O. majorana* (alle a) konnte keine signifikante Unterscheidung getroffen werden. Bei *O. dubium* (orange) traten relevante Unterschiede im Rosmarinsäure-Gehalt zwischen den drei Populationen auf. Die höchste durchschnittliche Konzentration fand sich in Population 11 ($8,1 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG), gefolgt von Population 8 ($4,3 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG) und Population 7 ($3,9$

µg/mg TG). Während sich Population 7 (b) und 11 (a) signifikant voneinander abgrenzen ließen, liegt Population 8 (ab) dazwischen. Innerhalb von *O. syriacum* (gelb) wies Population 19 mit 6,7 µg/mg TG den höchsten durchschnittlichen Rosmarinsäure-Gehalt auf. Im mittleren Bereich fanden sich Population 13 (4,3 µg/mg TG), Population 17 (4,2 µg/mg TG) und Population 18 (4,2 µg/mg TG). Den geringsten durchschnittlichen Gehalt wies Population 16, mit 2,9 µg/mg TG auf. Die *O. syriacum* Populationen ließen sich nicht signifikant voneinander unterscheiden (alle a). *Origanum vulgare* (blau) erzielte im Arten-Vergleich die höchsten durchschnittlichen Rosmarinsäure-Messwerte. Bei der Untersuchung der einzelnen Populationen zeigte Population 2 mit 30,1 µg/mg TG die höchste durchschnittliche Konzentration. Population 1 (24,8 µg/mg TG) und Population 2 (23,9 µg/mg TG) lagen im mittleren Bereich. Mit 13,1 µg/mg TG hatte Population 3 den geringsten durchschnittlichen Rosmarinsäure-Gehalt. Population 3 (b) konnte signifikant von den anderen drei *O. vulgare* Populationen (a) unterschieden werden.





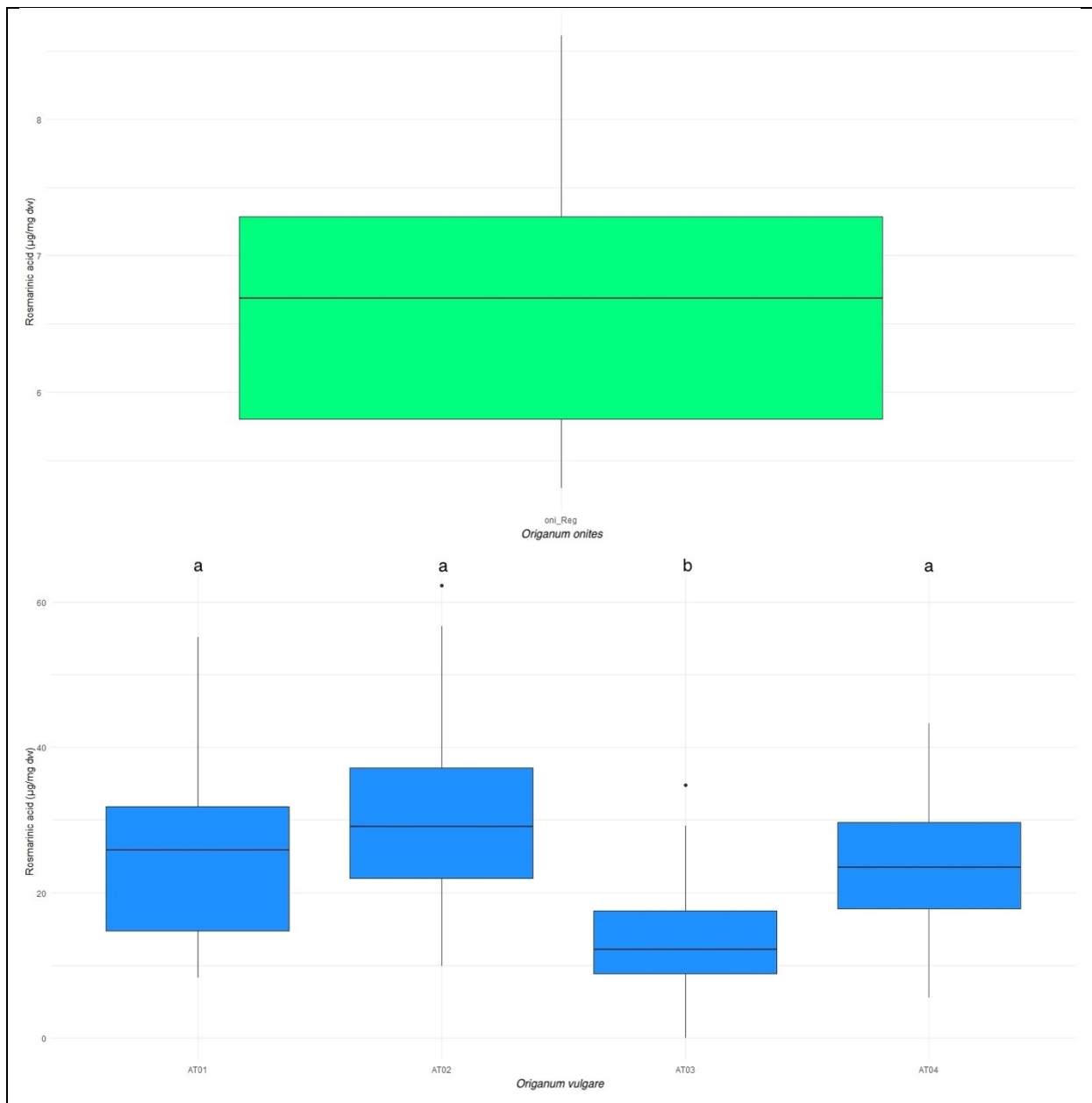
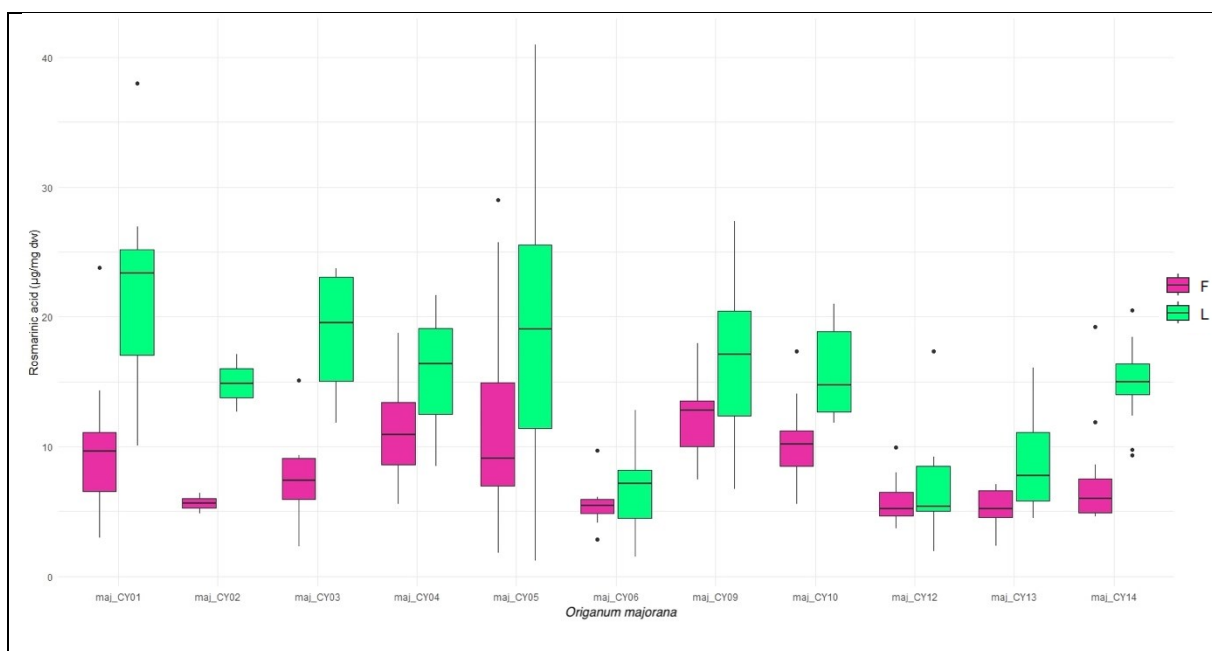


Abb. 30- Rosmarinsäure-Gehalt ($\mu\text{g}/\text{mg}$ TG) in Blatt- und Blütenproben nach Arten und Populationen (*maj*=grün, *cmaj*=rot, *dub*=orange, *syr*=gelb, *oni*=grün, *vu*=blau). Populationen mit demselben Buchstaben unterscheiden sich laut Tukey honestly significant difference (HSD) Test nicht signifikant ($\alpha=0,005$) voneinander.

In Abb. 31 sind die Rosmarinsäure-Konzentrationen von Arten/Populationen getrennt nach Blatt und Blüte dargestellt. Beginnend mit *O. majorana*, ließ sich eine hohe Variationsbreite erkennen. Einige *O. majorana* Populationen (2, 3, 14) wiesen tendenziell stärkere Unterschiede im jeweiligen Gehalt auf, während andere Populationen (z.B. 12) im Großen und Ganzen ähnliche Messwerte bei Blatt und Blüte lieferten. Tendenziell fanden sich im Blatt höhere Konzentrationen als in der Blüte. Auch kultivierter *O. majorana* wies im Vergleich der Populationen eine heterogene Verteilung der

Rosmarinsäure-Konzentrationen auf. Bei den meisten Populationen fanden sich in der Blüte höhere Konzentrationen als im Blatt, vor allem das Blütenmaterial von Population 4 stach mit vergleichsweise hohen Messwerten hervor. Bei *O. dubium* waren auch Unterschiede zwischen Blatt und Blüte erkennbar, diese scheinen jedoch nicht so deutlich ausgeprägt wie bei einzelnen wilden und kultivierten *O. majorana*-Populationen. Generell war der Rosmarinsäure-Gehalt im Blatt überwiegend höher als in der Blüte. *Origanum syriacum* zeigte in diesem Arten-Vergleich insgesamt die deutlichsten Unterschiede zwischen Blatt und Blüte, wobei der Rosmarinsäure-Gehalt in allen Populationen im Blatt höher war. Anders verhielt es sich bei *O. onites*, hier überwog die Rosmarinsäure-Konzentration in der Blüte. Bei *O. vulgare* war der Gehalt an Rosmarinsäure tendenziell im Blatt höher, nur bei Population 4 ähnelte das Messergebnis der Pflanzenorgane einander.





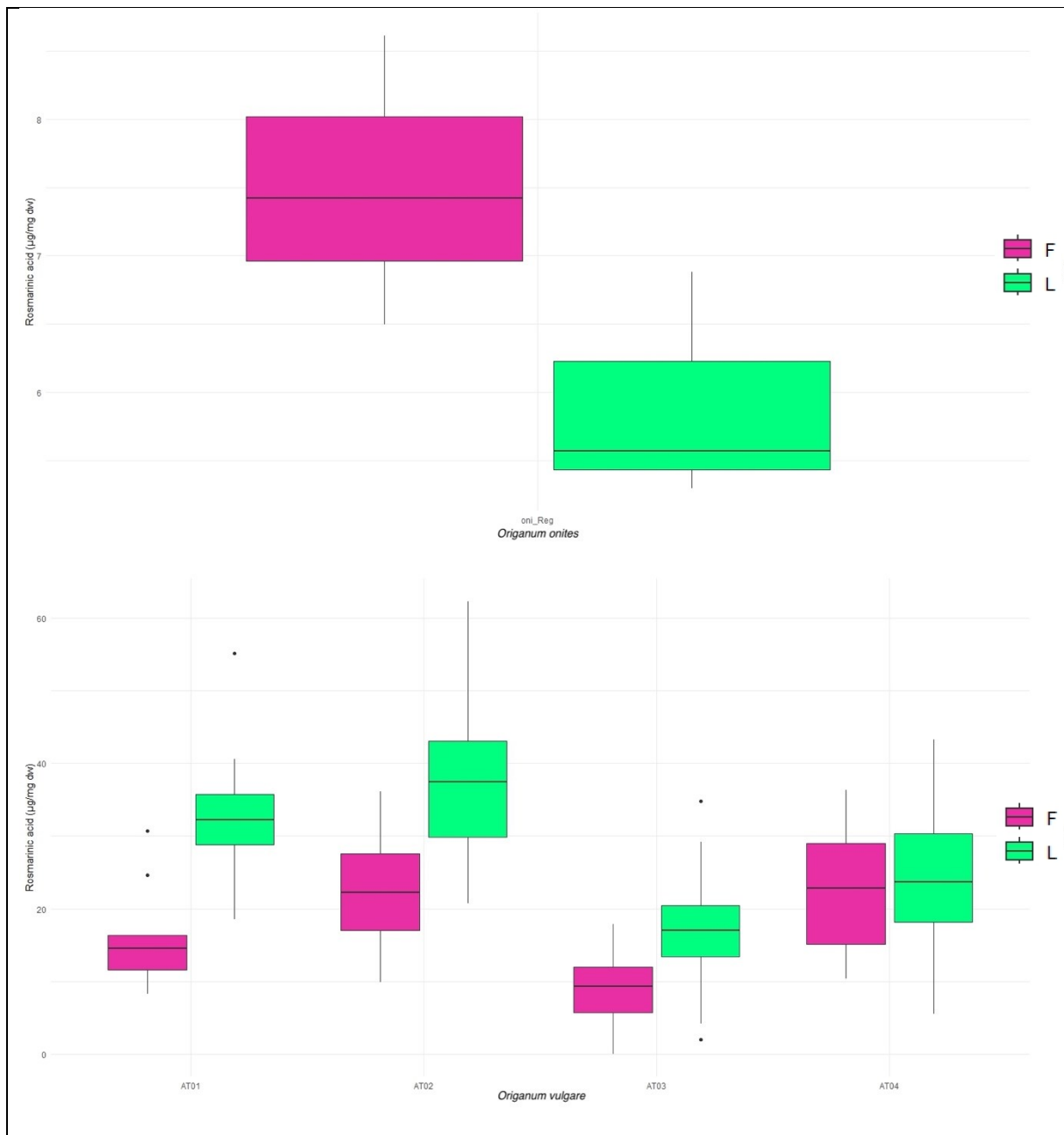


Abb. 31- Rosmarinsäure-Gehalt der Arten/Populationen nach Blatt (L)/Blüte (F).

4.1.4.2. Arbutin

Abbildung 32 veranschaulicht den Arbutin-Gehalt der verschiedenen *Origanum*-Arten. Die höchste durchschnittliche Arbutin-Konzentration wies *O. majorana* mit 32,8 µg/mg TG auf, gefolgt von kultiviertem *O. majorana* (12,4 µg/mg TG) und *O. dubium* (4,9 µg/mg TG). In den Arten *O. syriacum*, *O. onites* und *O. vulgare* konnte in dieser Untersuchung kein Arbutin nachgewiesen werden. Wilder *O. majorana* (a) konnte signifikant von kultiviertem *O. majorana* (b) und *O. dubium* (bc) unterschieden werden.

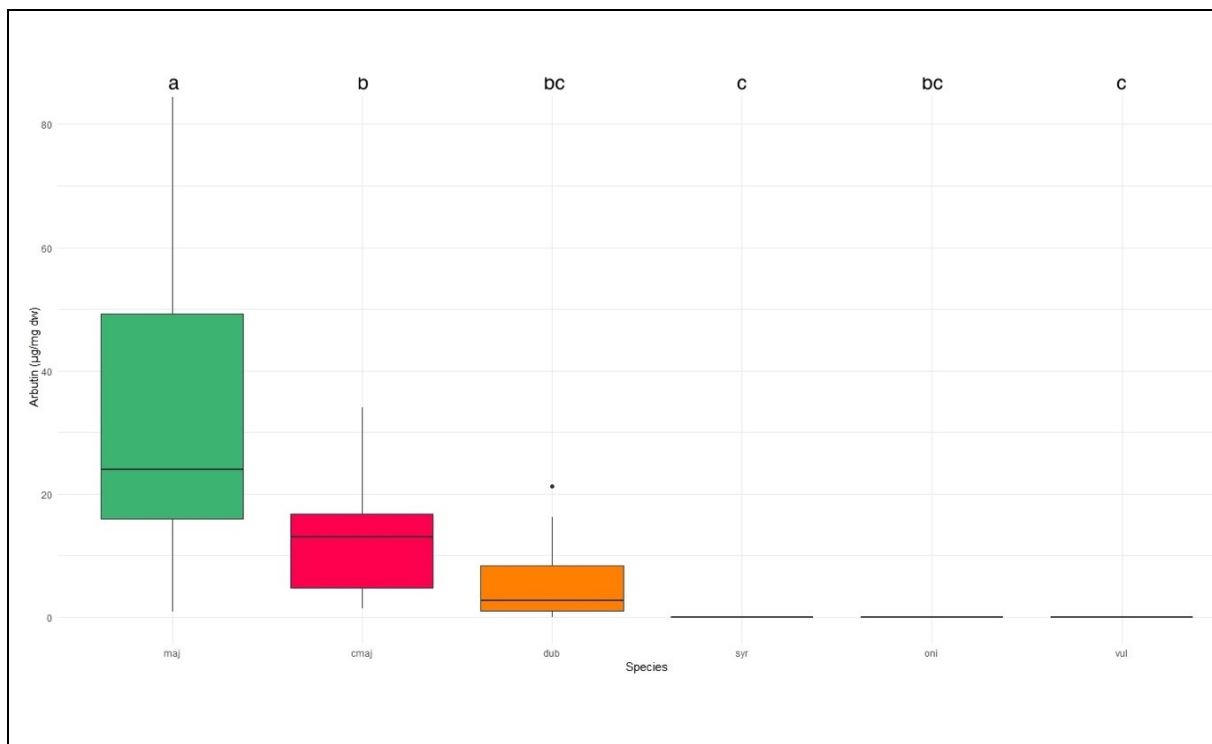
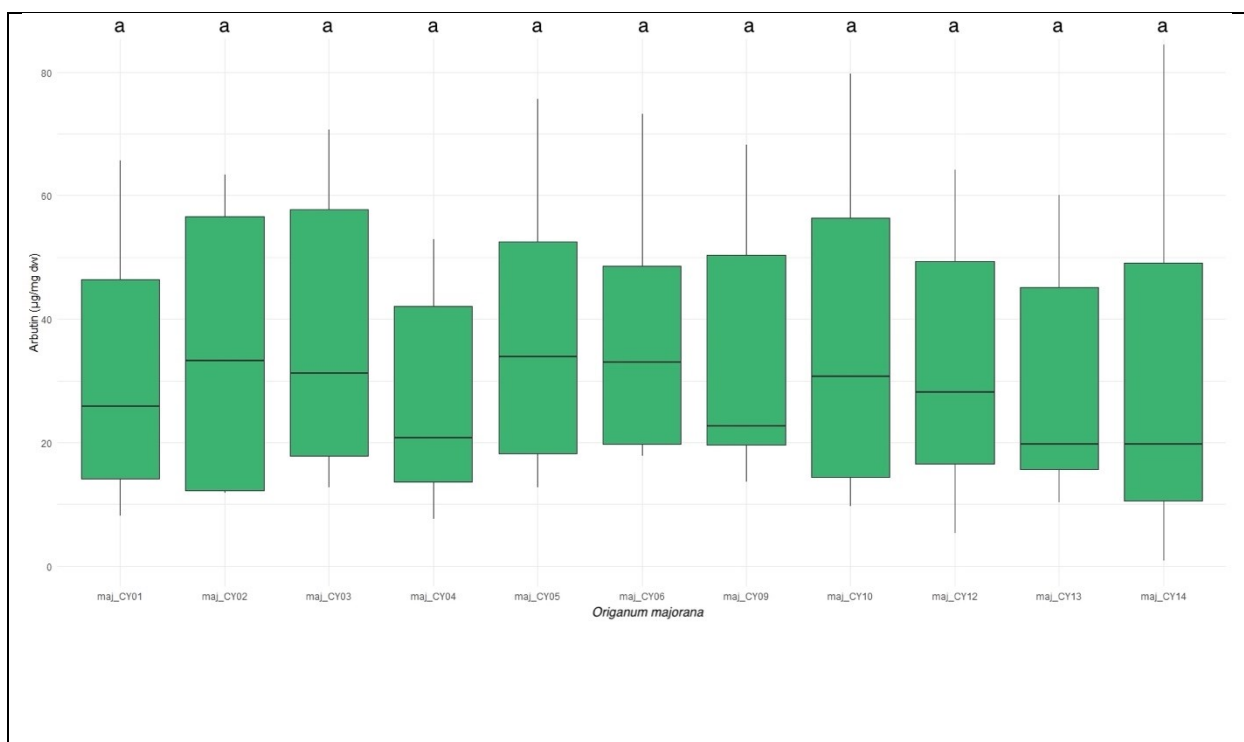


Abb. 32- Arbutin-Gehalt (µg/mg TG) in Blatt- und Blütenproben nach Arten (*maj*=grün, *cmaj*=rot, *dub*=orange, *syr*=gelb, *oni*=grün, *vul*=blau). Arten mit demselben Buchstaben unterscheiden sich laut Tukey honestly significant difference (HSD) Test nicht signifikant ($\alpha=0,005$) voneinander.

In Abb. 33 ist ein vergleichender Überblick der Populationen innerhalb der einzelnen Arten dargestellt. *Origanum majorana* zeigte im Vergleich der Populationen weitestgehend vergleichbare Messergebnisse. Die höchsten durchschnittlichen Arbutin-Konzentrationen wurden in Population 3 (38,0 µg/mg TG) und Population 5 (37,3 µg/mg TG) nachgewiesen, gefolgt von Population 6 (35,7 µg/mg TG), 2 (35,5 µg/mg TG), 10 (35,1 µg/mg TG), 9 (34,6 µg/mg TG) und 12 (32,7 µg/mg TG). Im untersten Drittel befanden sich Population 14 (31,4 µg/mg TG), 1 (30,6 µg/mg TG), 13 (28,7 µg/mg TG) und 4 (27,0 µg/mg TG). Zwischen den Populationen war keine signifikante Unterscheidung möglich (alle a).

Kultivierter *O. majorana* zeigte eine stärkere Variabilität innerhalb der verschiedenen Populationen als die Wildform. Population 4 (23,9 µg/mg TG) wies, dicht gefolgt von Population 5 (23,9 µg/mg TG), den höchsten durchschnittlichen Arbutin-Gehalt auf. Mit abnehmenden Messwerten folgten Population 3 (20,6 µg/mg TG), 6 (18,6 µg/mg TG), 7 (15,6 µg/mg TG), 16 (11,5 µg/mg TG), 12 (11,5 µg/mg TG) und 10 (10,0 µg/mg TG). Die geringsten durchschnittlichen Konzentrationen konnten in Population 15 (8,8 µg/mg TG) und 17 (7,6 µg/mg TG) nachgewiesen werden. Nur Population 4 (a) bzw. die Populationen 15 und 17 (beide b) konnten signifikant differenziert werden, die anderen sieben Populationen (ab) stellten Zwischenpositionen dar. Die Populationen von *O. dubium* wiesen folgende durchschnittliche Arbutin-Konzentrationen auf: Population 11 (5,5 µg/mg TG), Population 7 (5,2 µg/mg TG) und Population 8 (3,2 µg/mg TG). Die Populationen konnten nicht statistisch signifikant unterschieden werden (alle a).



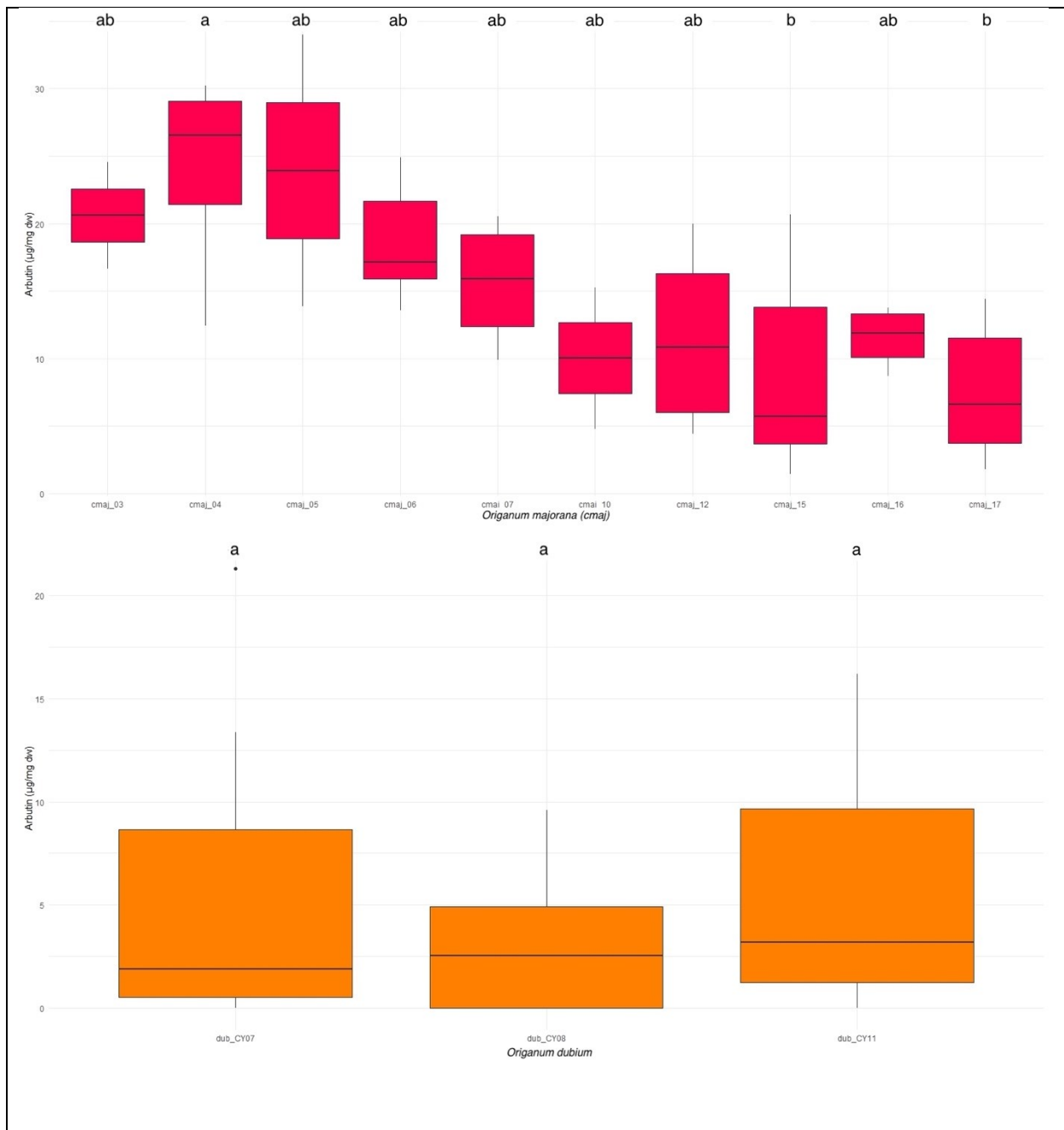
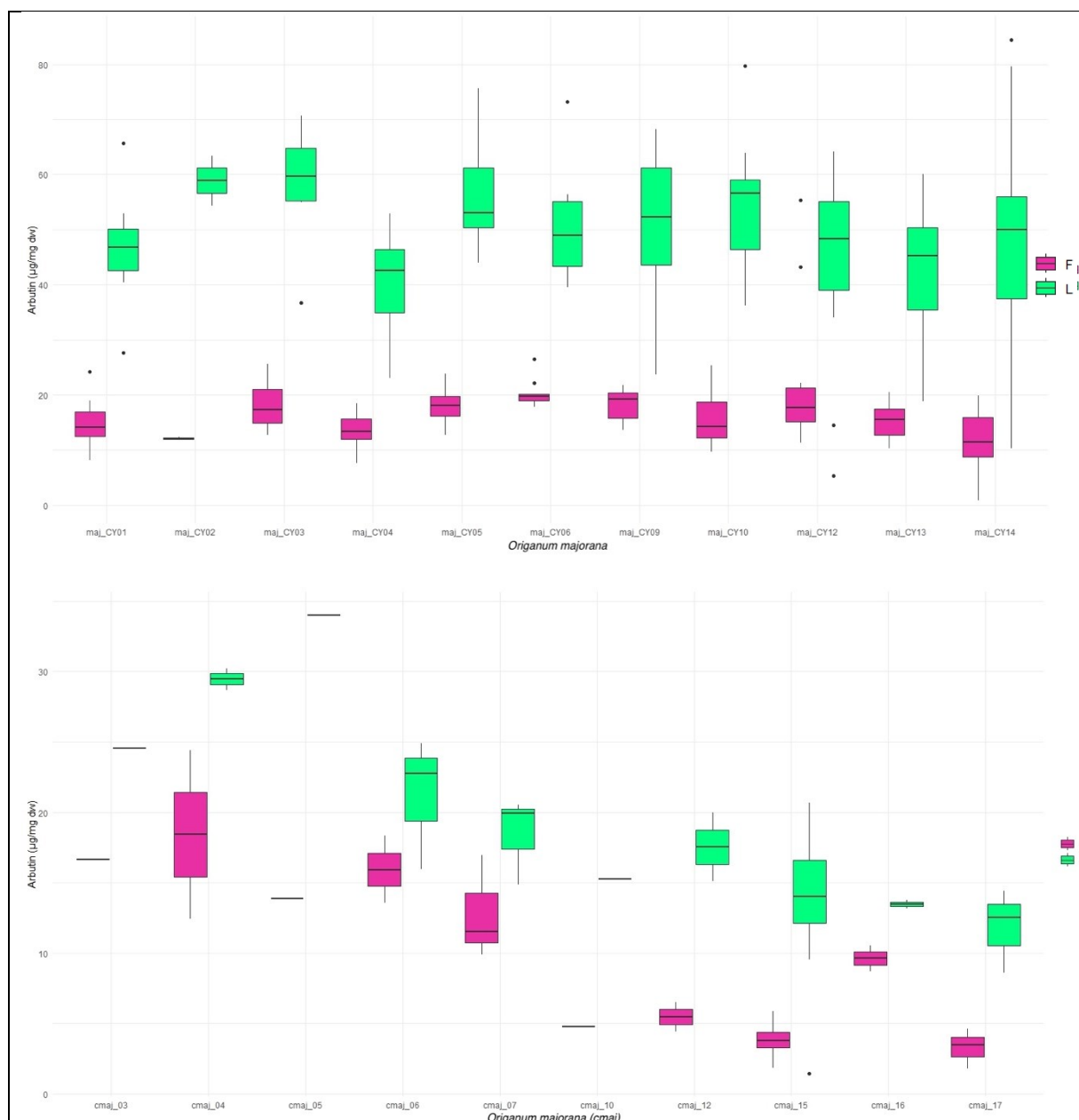


Abb. 33- Arbutin-Gehalt (µg/mg TG) in Blatt- und Blütenproben nach Arten und Populationen (*maj*=grün, *cmaj*=rot, *dub*=orange, *syr*=gelb, *oni*=grün, *vul*=blau). Populationen mit demselben Buchstaben unterscheiden sich laut Tukey honestly significant difference (HSD) Test nicht signifikant ($\alpha=0,005$) voneinander.

Abbildung 34 stellt die Arbutin-Konzentration in Blatt und Blüte gegenüber. Bei *O. majorana* waren deutliche Unterschiede erkennbar, wobei der Arbutin-Gehalt im Blatt im Allgemeinen höher war als in der Blüte. Im Blattmaterial von Population 14 zeigte sich eine auffallend große Spannweite. Ausreißer-Werte konnten in Population 1, 6 und 12 (Blatt und Blüte), sowie in Population 3, 10 und 14 (Blatt) festgestellt werden. Kultivierter *O. majorana* wies ebenfalls relativ deutliche Unterschiede zwischen Blatt und Blüte auf, wobei der Arbutin-Gehalt insgesamt stärker variierte als bei wildem *O. majorana*, im Blatt aber überwiegend höher war. Auch für die Populationen von *O. dubium* wurden im Blatt tendenziell höhere Arbutin-Konzentrationen festgestellt. Auffällig bei *O. dubium* war, dass der Medianwert des Blütenmaterials in den Populationen 7 und 8 bei 0 lag.



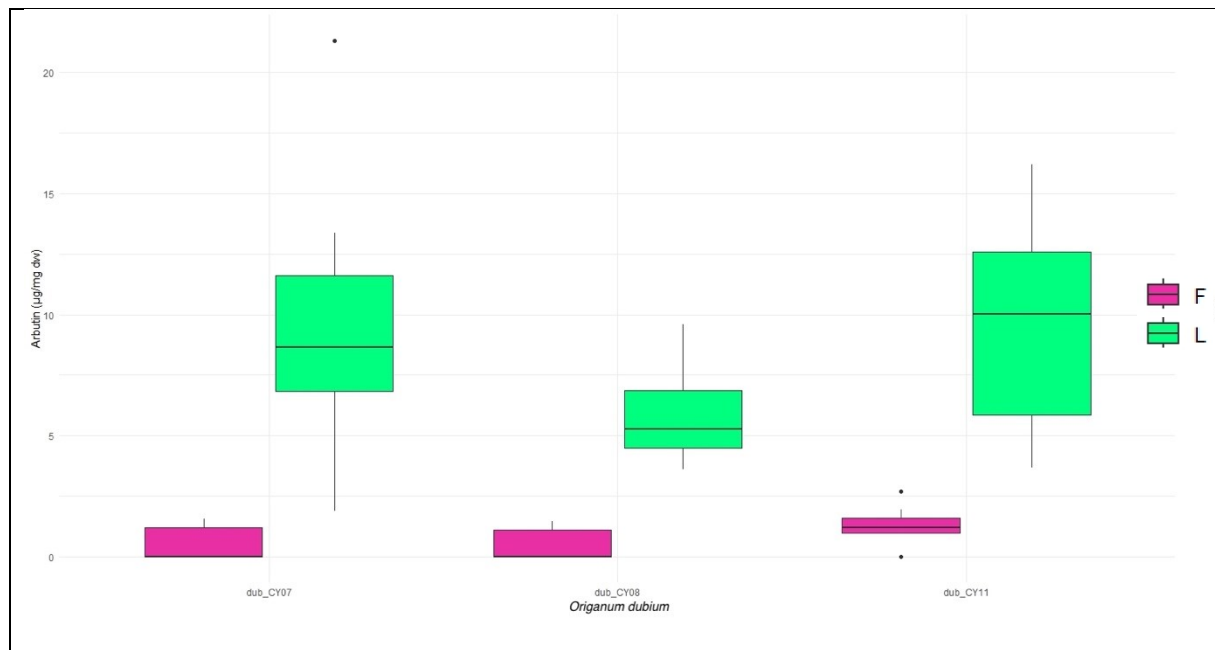


Abb. 34- Arbutin-Gehalt der Arten/Populationen nach Blatt (L)/Blüte (F).

4.1.4.3. Apigenin-7-glucuronid

Abbildung 35 gibt einen Überblick über den Apigenin-7-glucuronid-Gehalt in den untersuchten *Origanum*-Arten. Den höchsten durchschnittlichen Gehalt wies *O. dubium* mit 7,0 µg/mg TG auf, gefolgt von *O. onites* (6,2 µg/mg TG), wildem *O. majorana* (3,6 µg/mg TG), *O. syriacum* (2,9 µg/mg TG) und kultiviertem *O. majorana* (1,5 µg/mg TG). Die niedrigste durchschnittliche Konzentration zeigte *O. vulgare* mit nur 0,4 µg/mg TG. *Origanum dubium* und *O. onites* (beide a) sowie wilder *O. majorana* und *O. syriacum* (beide b) konnten signifikant von den jeweils anderen Arten separiert werden. Kultivierter *O. majorana* (c) und *O. vulgare* (d) unterschieden sich ebenfalls statistisch relevant von den jeweils anderen fünf Arten.

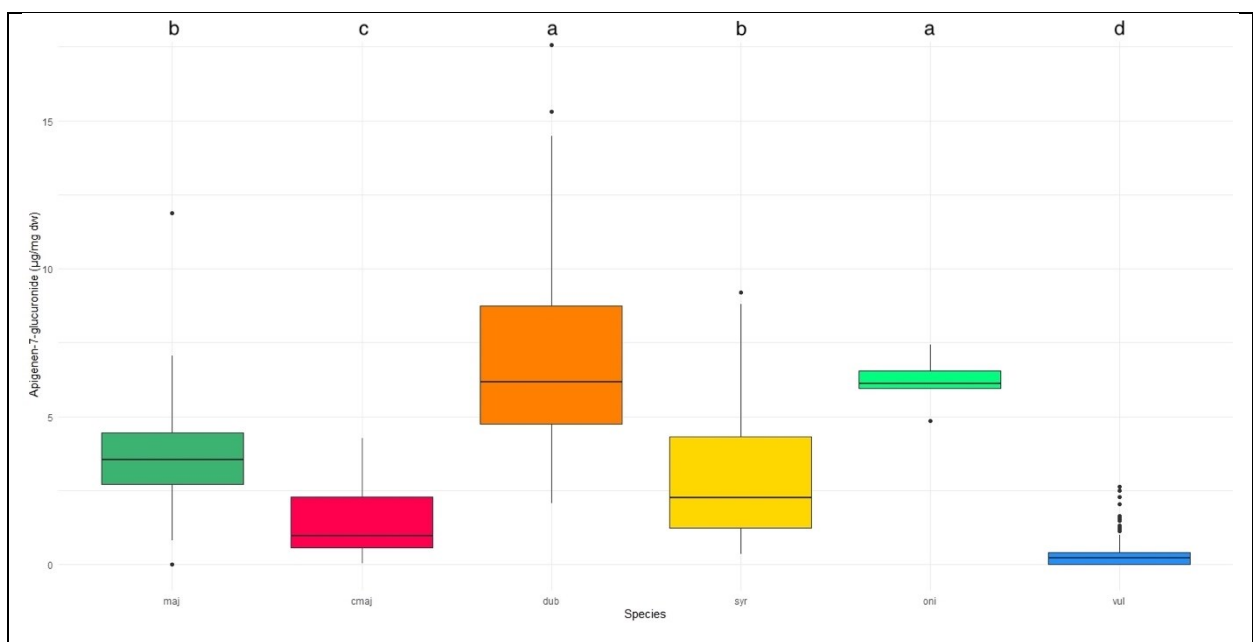
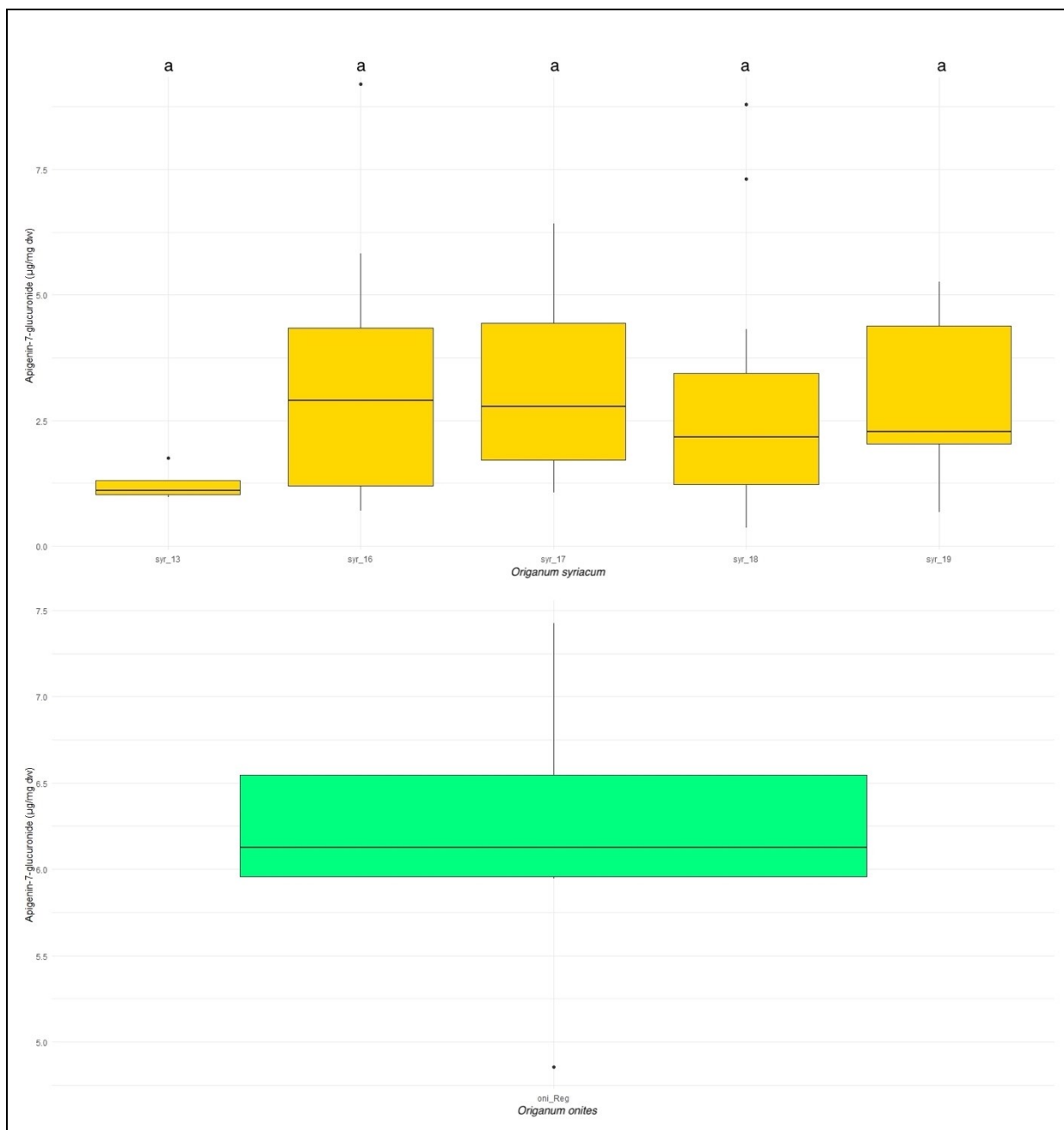


Abb. 35- Apigenin-7-glucuronid-Gehalt (µg/mg TG) in Blatt- und Blütenproben nach Arten (*maj*=grün, *cmaj*=rot, *dub*=orange, *syr*=gelb, *oni*=grün, *vul*=blau). Arten mit demselben Buchstaben unterscheiden sich laut Tukey honestly significant difference (HSD) Test nicht signifikant ($\alpha=0,005$) voneinander.

Abbildung 36 gibt einen Überblick der Apigenin-7-glucuronid-Konzentration der Populationen innerhalb der verschiedenen Arten. Bei *O. majorana* wiesen Population 3 (4,5 µg/mg TG) und 1 (4,3 µg/mg TG) den höchsten durchschnittlichen Gehalt an Apigenin-7-glucuronid auf. Gefolgt von Population 9, 10 und 14 mit jeweils 4,2 µg/mg TG, 4,0 µg/mg TG und 3,9 µg/mg TG. Im mittleren und unteren Bereich der Messwerte befanden sich Population 5 (3,5 µg/mg TG), 12 (3,3 µg/mg TG), 6 (3,2 µg/mg TG), 13 (3,1 µg/mg TG), 4 (2,8 µg/mg TG) und 2 (2,2 µg/mg TG). Nur Population 1 und 3 (beide a) ließen sich signifikant von den anderen neun Populationen (alle ab) unterscheiden. Während die Messdaten von wildem *O. majorana* eine weitestgehend gleichmäßige

Konzentration über die verschiedenen Populationen hinweg aufwiesen, erkannte man bei kultivierten *O. majorana*-Populationen größere Unterschiede im Apigenin-7-glucuronid-Gehalt. Population 7 wies mit 3,6 µg/mg TG die höchste durchschnittliche Konzentration auf. Population 6 zeigte einen durchschnittlichen Gehalt von 3,3 µg/mg TG, gefolgt von Population 16 (2,8 µg/mg TG), 5 (2,2 µg/mg TG), 3 (1,8 µg/mg TG), 4 (1,6 µg/mg TG) und 12 (1,4 µg/mg TG). Die im Durchschnitt niedrigsten Messwerte ergaben sich bei Population 17 (0,7 µg/mg TG), 15 (0,6 µg/mg TG) und 10 (0,6 µg/mg TG). Diese drei (alle d) konnten untereinander nicht statistisch relevant differenziert werden, grenzten sich aber von den anderen sieben Populationen signifikant ab. Population 6 und 7 (beide a) unterschieden sich ebenfalls signifikant von den anderen Populationen, während die Populationen 3 (bcd), 4 (bcd), 5 (abc), 12 (cd) und 16 (ab) jeweils Zwischenpositionen einnahmen. Population 5 und 7 zeigten kaum Variabilität, was auf die jeweils geringe Anzahl an Messwerten (n=2) zurückzuführen, und deshalb nicht aussagekräftig war. Die *O. dubium*-Populationen wiesen, in absteigender Reihenfolge, folgende durchschnittliche Apigenin-7-glucuronid-Konzentrationen auf: Population 7 (7,3 µg/mg TG), Population 8 (7,1 µg/mg TG) und Population 11 (6,8 µg/mg TG). Eine signifikante Unterscheidung war nicht möglich (alle a). Bei *O. syriacum* wiesen Population 17 und 16, mit 3,2 µg/mg TG und 3,2 µg/mg TG die höchsten durchschnittlichen Konzentrationen auf. Population 18 enthielt durchschnittlich 3,0 µg/mg TG, gefolgt von Population 19 mit 2,9 µg/mg TG. In Population 13 (1,2 µg/mg TG) wurde der geringste durchschnittliche Apigenin-7-glucuronid-Gehalt nachgewiesen. Eine signifikante Differenzierung der fünf Populationen war nicht möglich (alle a). Da für *O. onites* nur eine Population (6,2 µg/mg TG) untersucht wurde, war hier kein Vergleich möglich. *Origanum vulgare* zeigte im Arten-Vergleich relativ niedrige Apigenin-7-glucuronid-Konzentrationen. Innerhalb der Populationen wurde der höchste durchschnittliche Gehalt (1,0 µg/mg TG) bei Population 1 (n=18) festgestellt, bei der auch die stärkste Streuung vorlag (stabw=0,81). Population 4, 3 und 2 folgten mit durchschnittlichen Konzentrationen von 0,4 µg/mg TG, 0,3 µg/mg TG und 0,2 µg/mg TG. Für Population 4 wurden drei Ausreißer-Werte registriert, die im Vergleich zu den anderen Messwerten der Population höhere Konzentrationen aufwiesen. Nur Population 1 (a) konnte signifikant von den anderen drei Populationen (alle b) unterschieden werden.





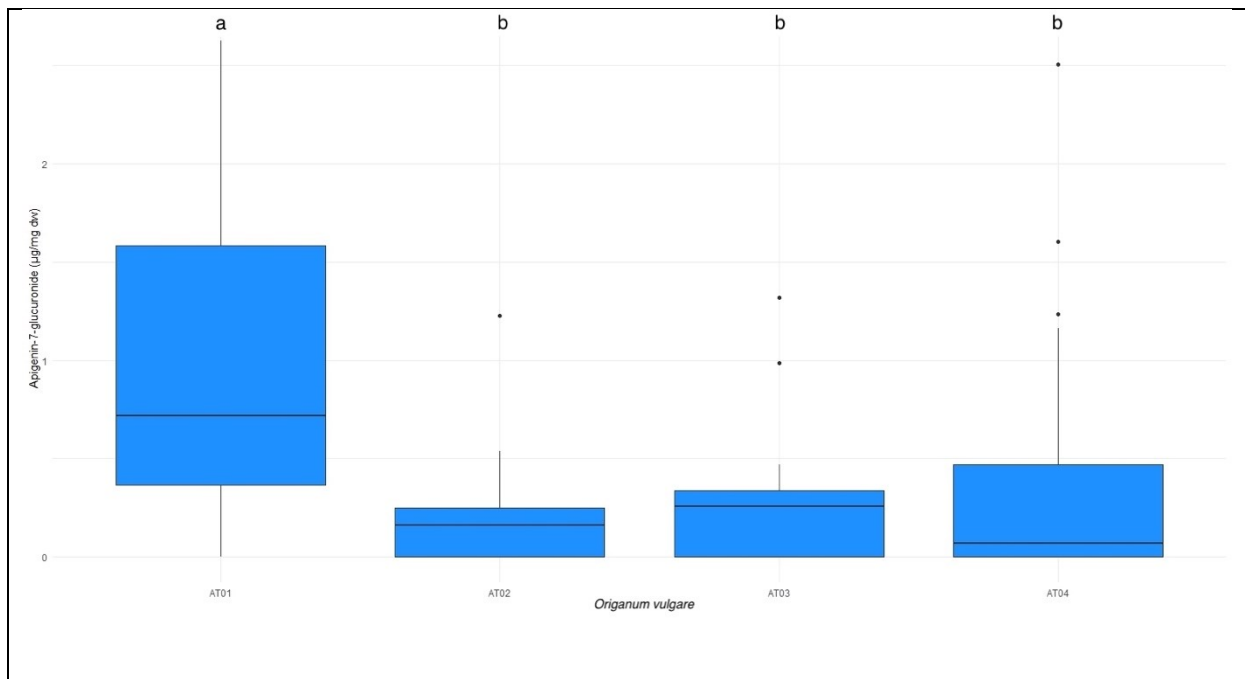
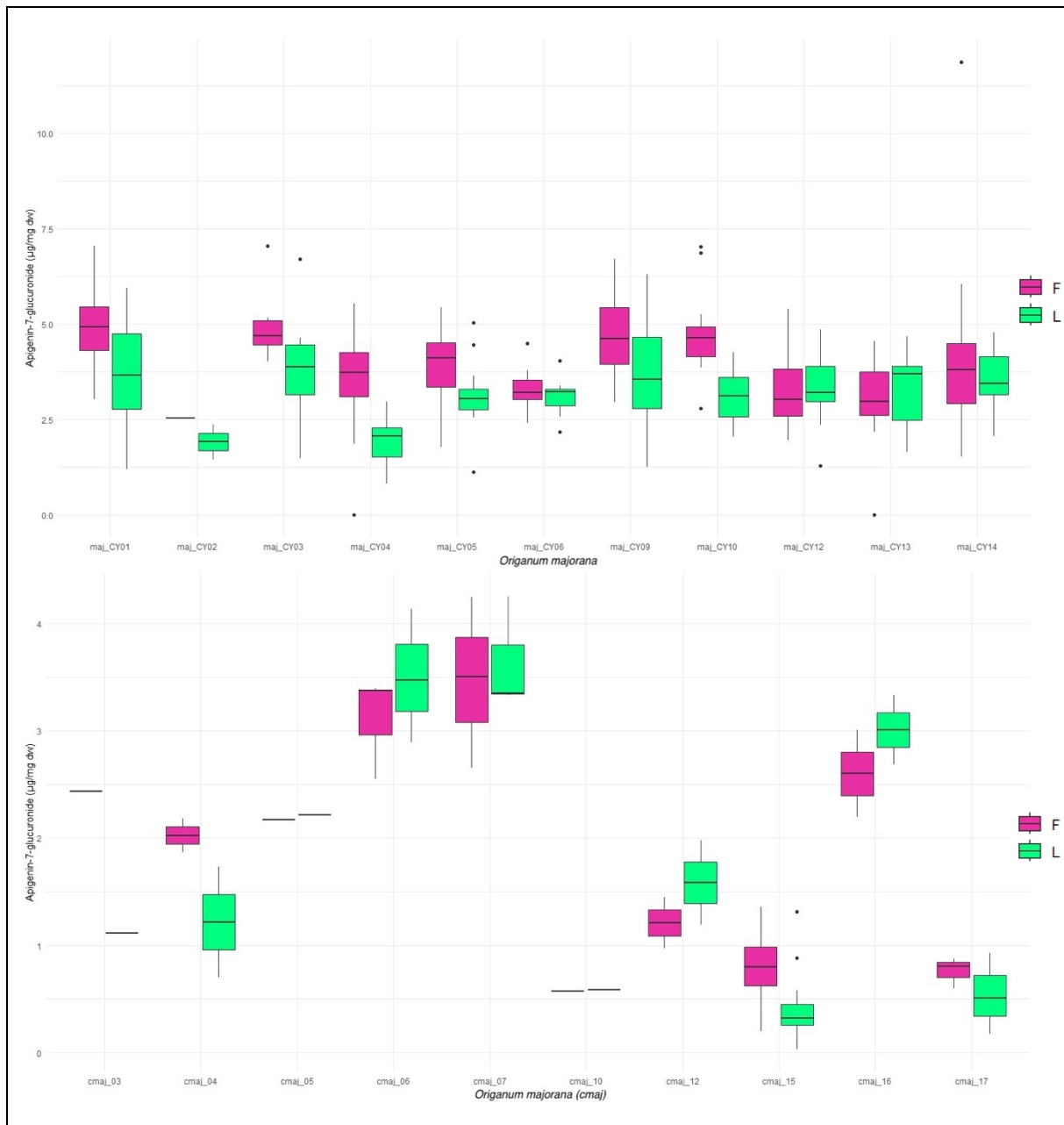
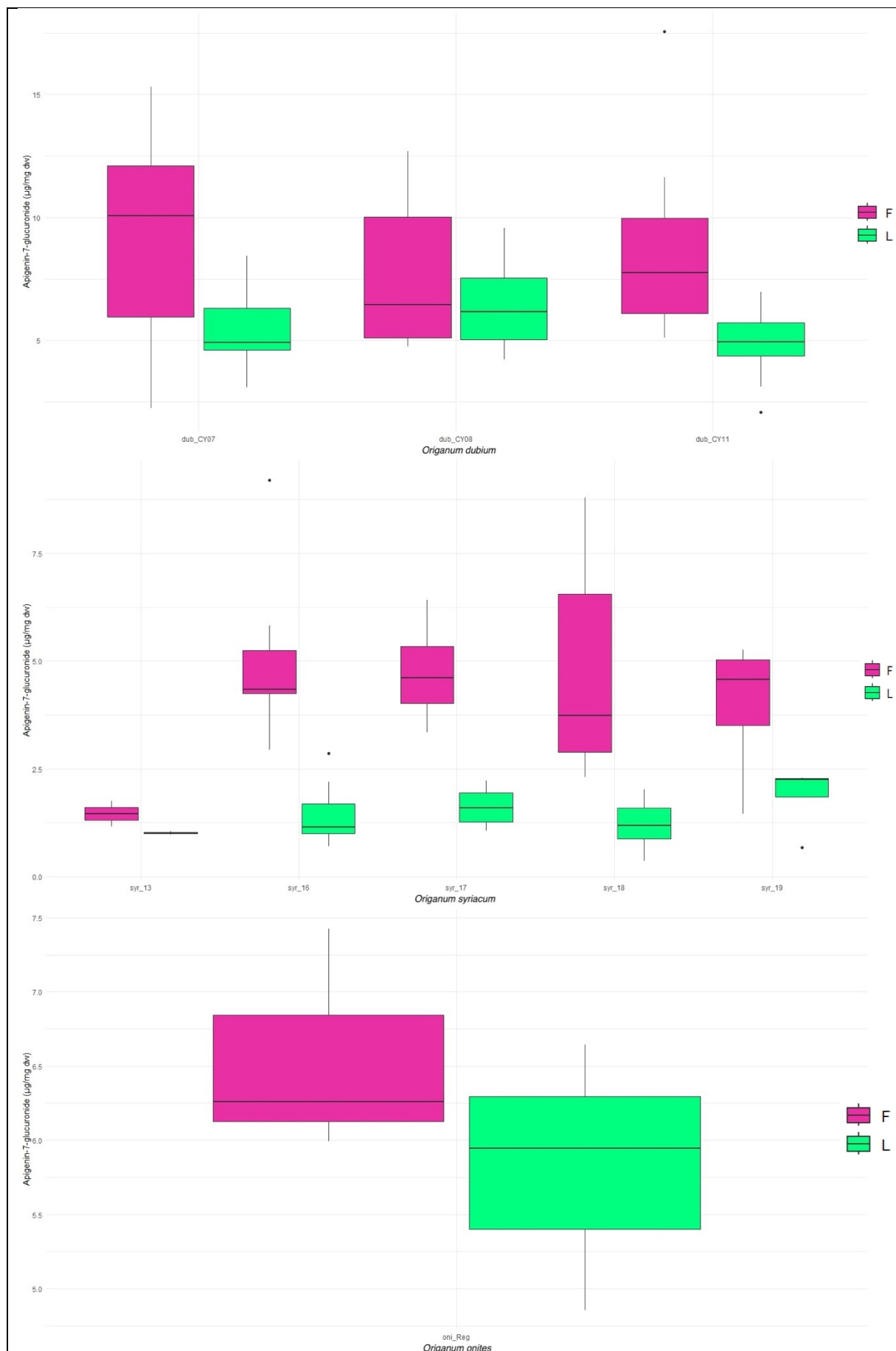


Abb. 36- Apigenin-7-glucuronid-Gehalt ($\mu\text{g}/\text{mg}$ TG) in Blatt- und Blütenproben nach Arten und Populationen (*maj*=grün, *cmaj*=rot, *dub*=orange, *syr*=gelb, *oni*=grün, *vul*=blau). Populationen mit demselben Buchstaben unterscheiden sich laut Tukey honestly significant difference (HSD) Test nicht signifikant ($\alpha=0,005$) voneinander.

In Abb. 37 wird der Apigenin-7-glucuronid-Gehalt nach Blatt und Blüte unterteilt dargestellt. Die Populationen von *O. majorana* zeigten insgesamt eine relativ gleichmäßige Verteilung der Messergebnisse. In der Blüte fanden sich tendenziell höhere Apigenin-7-glucuronid-Konzentrationen als im Blatt, wobei in den Populationen 6, 12, 13 und 14 die Messwerte der beiden Pflanzenorgane vergleichbar waren. Die Messwerte von kultiviertem *O. majorana* zeigten eine eher hohe Variabilität. Bei der Hälfte der Populationen wurde ein tendenziell höherer Apigenin-7-glucuronid-Gehalt in der Blüte festgestellt, die Messwerte der Populationen 6, 12 und 16 wiesen auf höhere Konzentrationen im Blatt hin. Für Population 5 und 10 konnte kaum eine Tendenz für Blatt oder Blüte festgestellt werden. *Origanum dubium* wies bei den drei Populationen tendenziell höhere Apigenin-7-glucuronid-Werte in der Blüte auf. In Population 11 wurden zwei Ausreißer-Werte registriert: ein, im Vergleich zu den anderen zwei Populationen, auffallend hoher Messwert in der Blüte und ein vergleichsweise geringer Wert im Blattmaterial. Bei den fünf Populationen von *O. syriacum* zeigte das Blütenmaterial überwiegend höhere Apigenin-7-Glucuronid-Werte. Auffällig war, dass Population 13 vergleichsweise niedrige Messwerte aufwies. *Origanum onites* wies im Blütenmaterial eine tendenziell höhere Apigenin-7-Glucuronid-Konzentration als im Blatt auf. Im Vergleich der Populationen von *O. vulgare* zeigte Population 1 im Blattmaterial tendenziell

höhere Messwerte als in der Blüte. Die anderen drei Populationen zeigten überwiegend ähnliche Apigenin-7-glucuronid-Konzentrationen in Blatt und Blüte, wobei der Medianwert im Blattmaterial von Population 4 bei 0 lag.





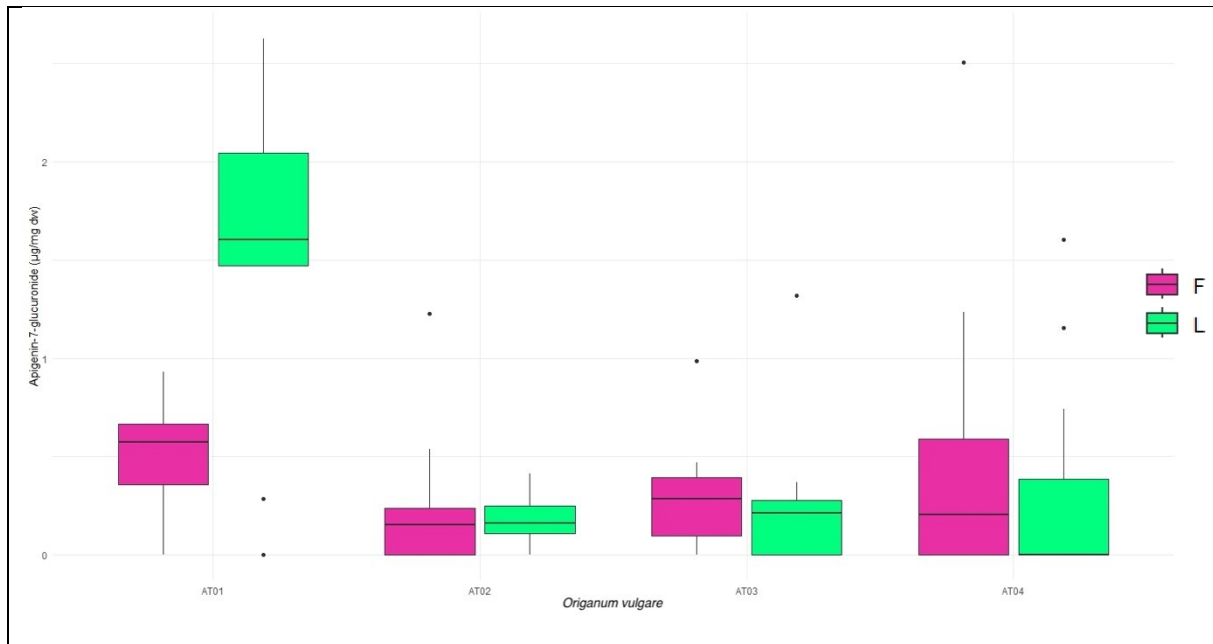


Abb. 37- Apigenin-7-glucuronid-Gehalt der Arten/Populationen nach Blatt (L)/Blüte (F).

4.1.4.4. Lithospermsäure

Abbildung 38 gibt einen Überblick über die Lithospermsäure-Konzentration der sechs Arten. *Origanum vulgare* wies mit 0,7 µg/mg TG den höchsten durchschnittlichen Gehalt auf und zeigte außerdem die stärkste Streuung ($n=125$, $stabw=0,60$). Weitaus geringere durchschnittliche Konzentrationen wurden in *O. majorana* (0,2 µg/mg TG), *O. onites* (0,1 µg/mg TG) und *O. dubium* (0,1 µg/mg TG) nachgewiesen. Kultivierter *O. majorana* und *O. syriacum* zeigten mit jeweils 0,0 µg/mg TG die geringsten durchschnittlichen Messwerte. Nur *O. vulgare* (a) ließ sich signifikant von den anderen fünf Arten (alle b) unterscheiden.

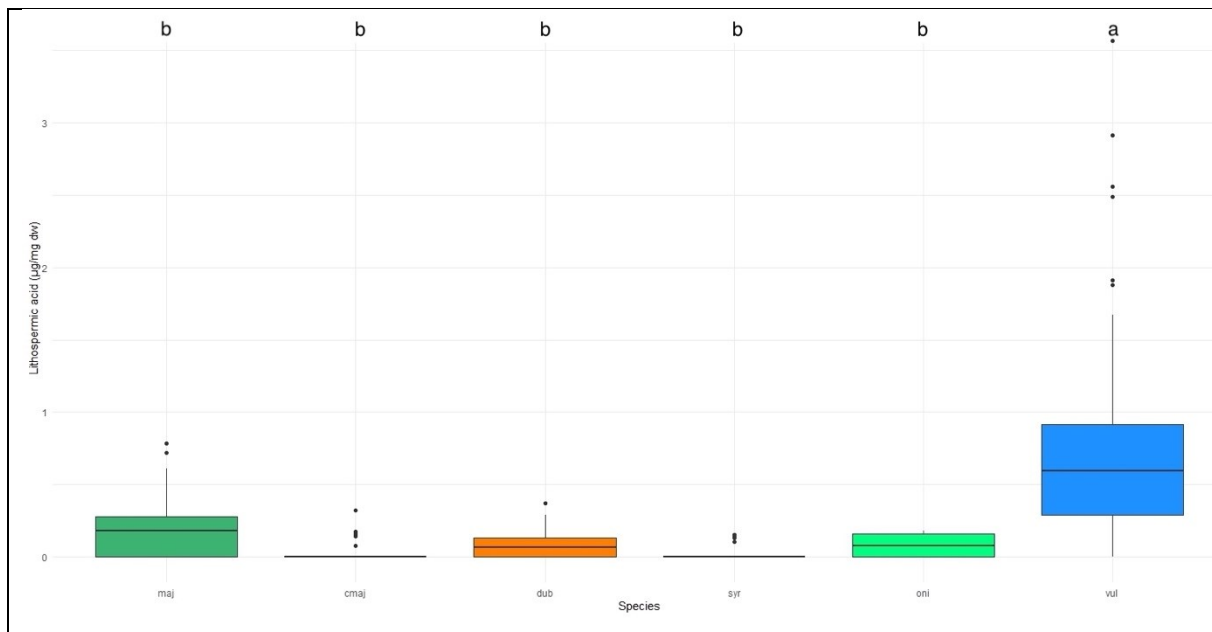
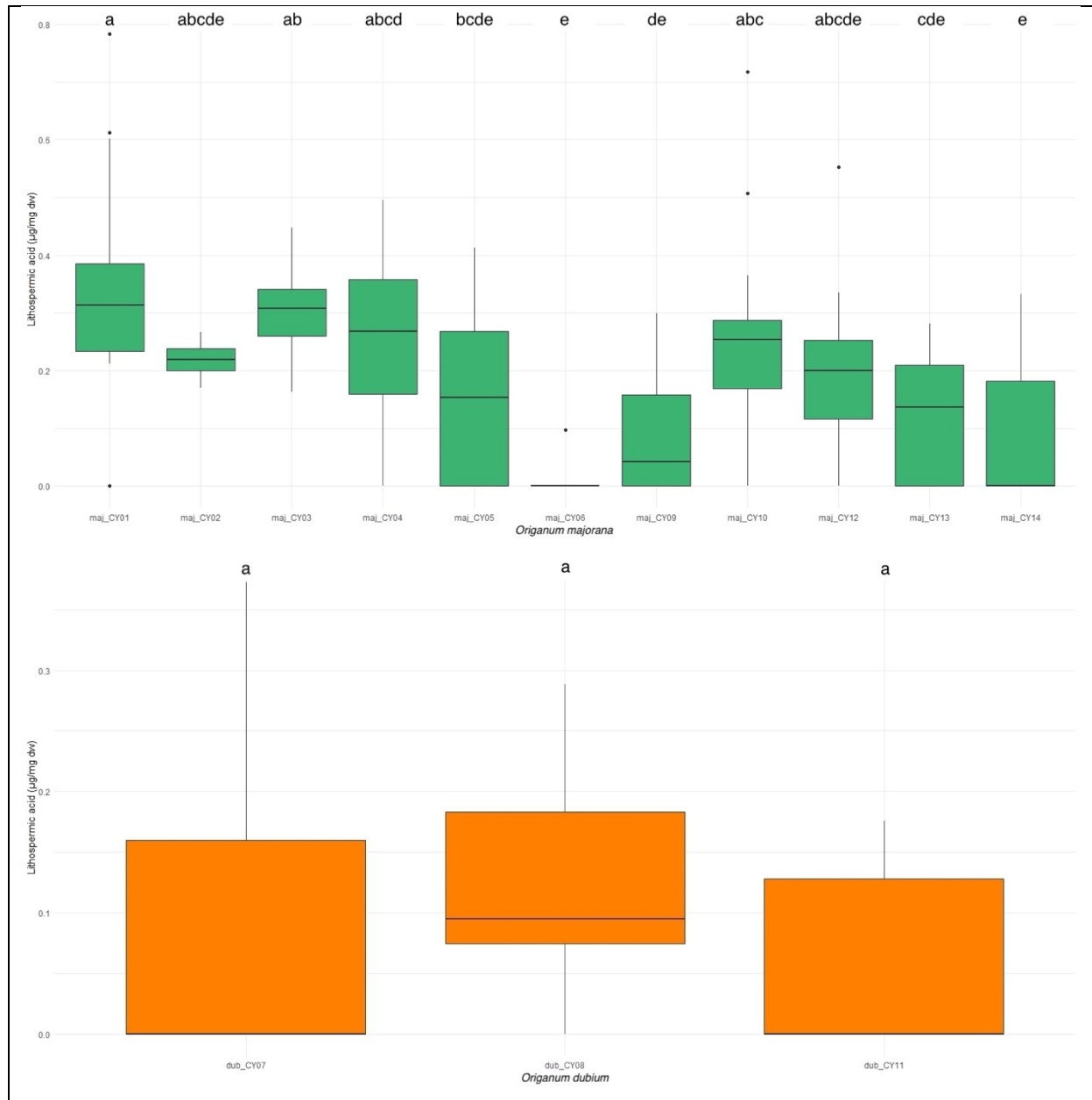


Abb. 38- Lithospermsäure-Gehalt ($\mu\text{g}/\text{mg}$ TG) in Blatt- und Blütenproben nach Arten (*maj*=grün, *cmaj*=rot, *dub*=orange, *syr*=gelb, *oni*=grün, *vul*=blau). Arten mit demselben Buchstaben unterscheiden sich laut Tukey honestly significant difference (HSD) Test nicht signifikant ($\alpha=0,005$) voneinander.

Für den Vergleich der Populationen innerhalb der Arten (Abb. 39) wurden *O. syriacum* und kultivierter *O. majorana* sowie *O. onites* exkludiert, da ihre Konzentrationen zu niedrig für eine aussagekräftige Auswertung war bzw. zu wenig Populationen untersucht werden konnte. Bei wildem *O. majorana* wurden in Population 1 ($0,3 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG) und 3 ($0,3 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG) die höchsten durchschnittlichen Lithospermsäure-Konzentrationen nachgewiesen. Gefolgt von Population 10, 4, und 2 mit durchschnittlich je $0,3 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG, $0,2 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG bzw. $0,2 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG. Im mittleren und unteren Bereich der durchschnittlichen Messwerte lagen Population 12 ($0,2 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG), 5 ($0,2 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG), 13 ($0,1 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG), 9 ($0,1 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG) und 14 ($0,1 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG). Der geringste durchschnittliche Gehalt wurde in Population 6 ($0,0 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG) nachgewiesen. Population 6 ($n=18$) wies die niedrigste Variabilität ($\text{stabw}=0,02$) auf. Eine signifikante Differenzierung war nur für Population 1 (a), sowie Population 14 und 6 (beide e) möglich. Die anderen Populationen nahmen unterschiedliche Zwischenpositionen ein. Innerhalb von *O. dubium* wies Population 8 ($0,1 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG) den höchsten durchschnittlichen Lithospermsäure-Gehalt auf. Population 7 und Population 11 folgten mit durchschnittlich $0,1 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG bzw. $0,1 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG. Es war keine signifikante Unterscheidung der Populationen möglich (alle a). Die Messergebnisse für die Populationen von *O. vulgare* zeigten eine durchschnittliche Konzentration in folgender Reihenfolge: Population 1 mit $1,1 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG, Population 4 mit $0,7 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG, Population 3 mit $0,6 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG und

Population 2 mit 0,5 µg/mg TG. Population 1 (a) unterschied sich signifikant von Population 2 (b), während Population 3 und 4 (beide ab) dazwischen lagen und sich nicht statistisch relevant differenzieren ließen.



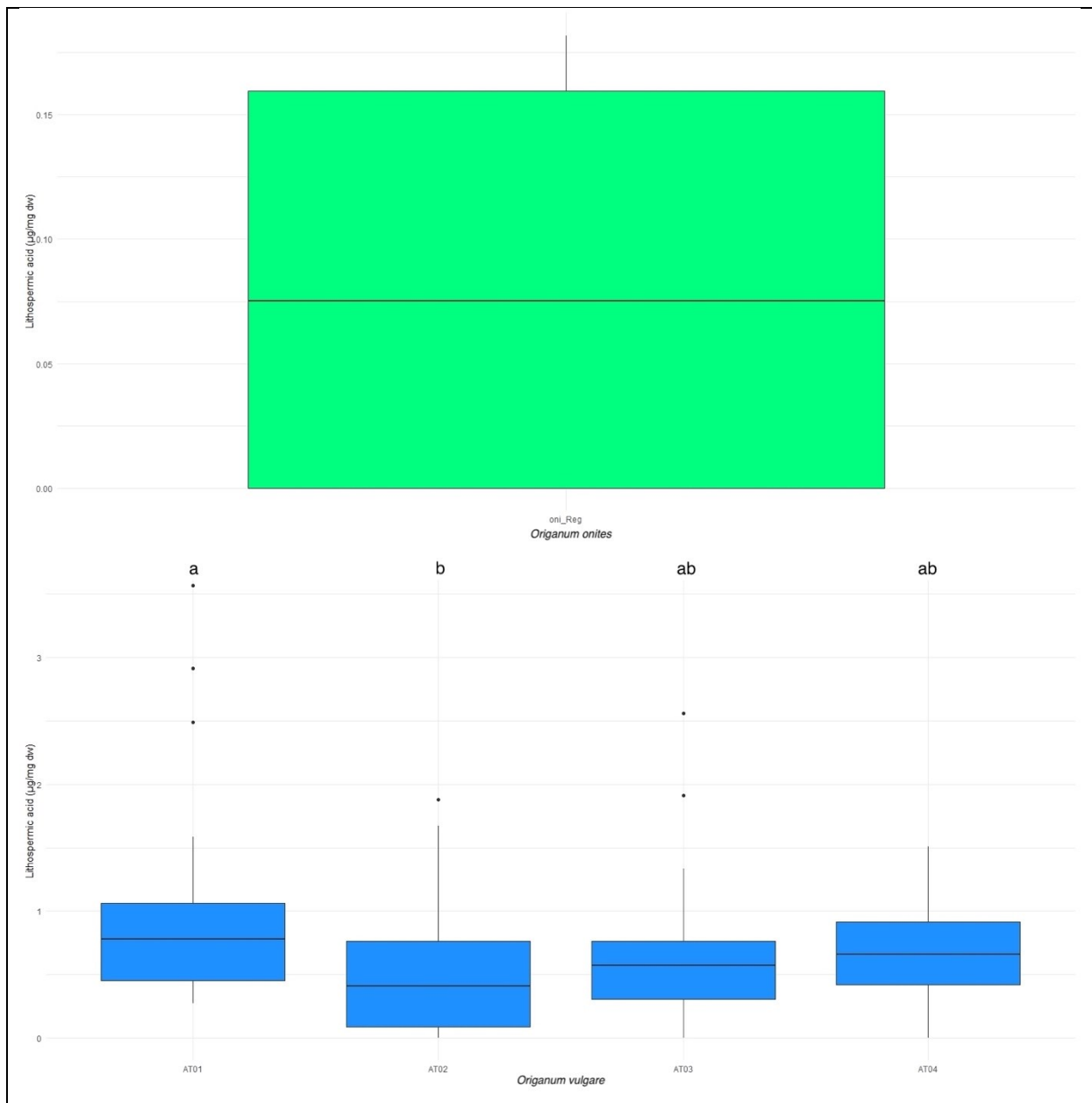


Abb. 39- Lithospermsäure- Gehalt ($\mu\text{g}/\text{mg}$ TG) in Blatt- und Blütenproben nach Arten und Populationen (*maj*=grün, *cmaj*=rot, *dub*=orange, *syr*=gelb, *oni*=grün, *vul*=blau). Populationen mit demselben Buchstaben unterscheiden sich laut Tukey honestly significant difference (HSD) Test nicht signifikant ($\alpha=0,005$) voneinander.

In Abb. 40 ist der Vergleich der Populationen bezüglich ihres Lithospermsäure-Gehaltes in Blatt und Blüte dargestellt. *Origanum majorana* zeigte eine eher heterogene Verteilung der Messwerte: während etwa die Hälfte der Populationen (1, 3, 5, 10, 14) auf höhere Lithospermsäure-Konzentrationen im Blatt hindeuteten, zeigten sich bei den restlichen Populationen (2, 4, 9, 12, 13) tendenziell etwas höhere Konzentrationen in der Blüte. Auffällig war, dass bei Population 6 und 14, sowie im Blattmaterial von Population 5, 9 und 13 der Median bei 0 lag. Innerhalb der *O. dubium* Populationen zeigte

Population 8 im Blatt höhere Lithospermsäure-Konzentrationen, während die beiden anderen Populationen zu etwas höheren Messwerten in der Blüte tendierten. Der Median war bei Population 7, sowie beim Blattmaterial von Population 11 null. Ein einzelner, relativ hoher Messwert wurde im Blattmaterial von Population 7 registriert. Die *O. onites*-Population wies im Blütenmaterial eine tendenziell höhere Lithospermsäure-Konzentration auf. Beim Blattmaterial lag der Median bei 0. *Origanum vulgare* wies ähnliche Messergebnisse für Blatt- und Blütenmaterial auf, der Lithospermsäure-Gehalt war zwar, mit Ausnahme von Population 3, überwiegend in der Blüte höher, eine eindeutige Differenzierung schien aber nicht möglich zu sein.



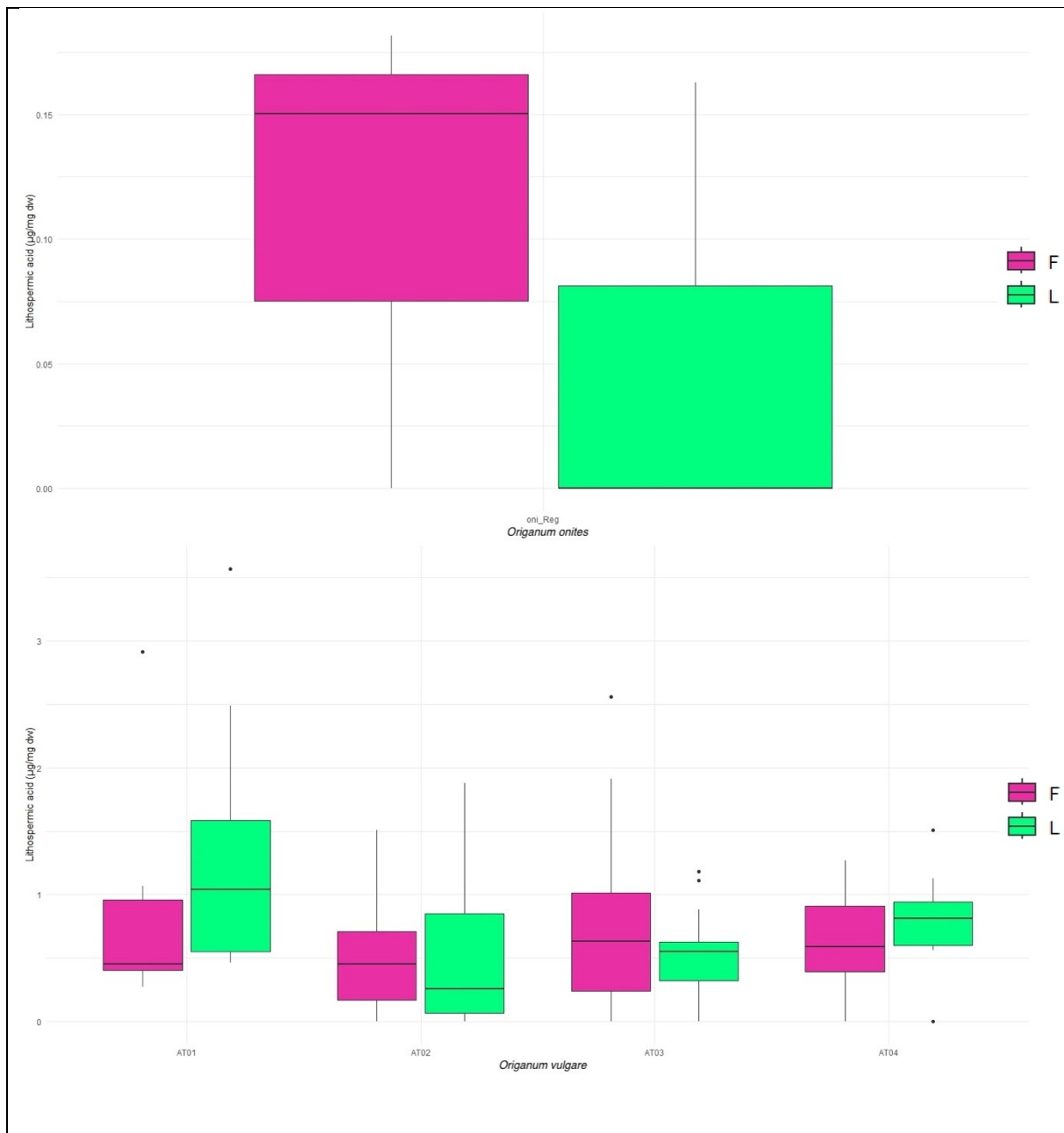


Abb. 40- Lithospermsäure-Gehalt der Arten/Populationen nach Blatt (L)/Blüte (F).

4.1.4.5. Luteolin-7-diglucuronid

Abbildung 41 zeigt deutlich, dass ausschließlich bei *O. vulgare* nennenswerte Mengen an Luteolin-7-diglucuronid nachgewiesen werden konnten, wobei auch hier ein deutlich erhöhter Einzelwert registriert wurde. Außerhalb von *O. vulgare* lagen nur wenige Werte über null, weshalb nur die *O. vulgare* Populationen miteinander verglichen wurden.

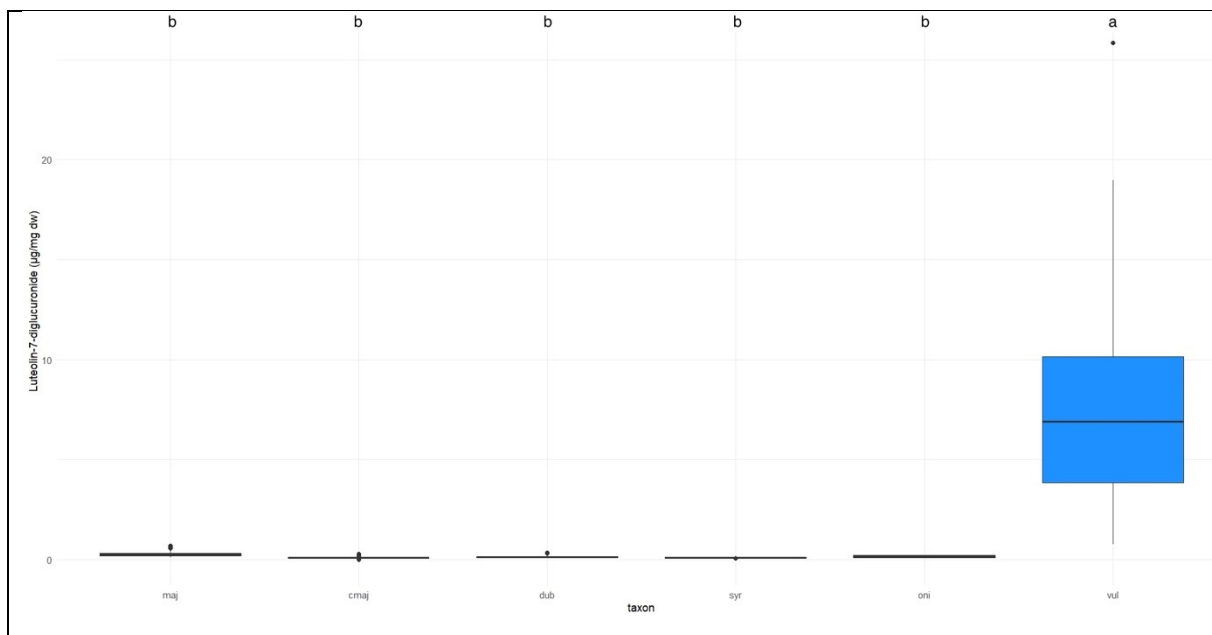


Abb. 41- Luteolin-7-diglucuronid-Gehalt ($\mu\text{g}/\text{mg}$ TG) in Blatt- und Blütenproben nach Arten (*maj*=grün, *cmaj*=rot, *dub*=orange, *syr*=gelb, *oni*=grün, *vul*=blau). Arten mit demselben Buchstaben unterscheiden sich laut Tukey honestly significant difference (HSD) Test nicht signifikant ($\alpha=0,005$) voneinander.

Die durchschnittliche Konzentration von Luteolin-7-diglucuronid war in Population 2 am höchsten ($10,7 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG), gefolgt von Population 3 und 4 (jeweils $6,7 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG) sowie Population 1 mit $5,3 \mu\text{g}/\text{mg}$ TG (Abb. 42). Die stärkste Streuung ($\text{stabw}=5,19$) war bei Population 4 ($n=38$) erkennbar. Population 2 (a) konnte signifikant von den anderen drei Populationen abgegrenzt werden (alle b).

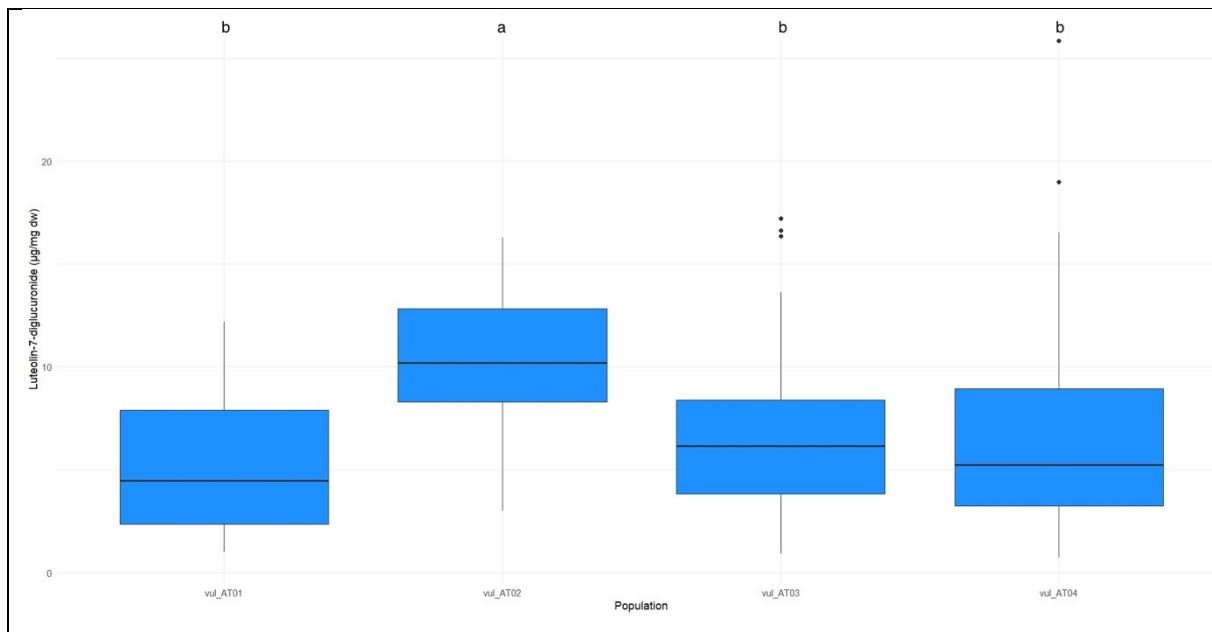


Abb. 42- Luteolin-7-diglucuronid- Gehalt ($\mu\text{g}/\text{mg}$ TG) in Blatt- und Blütenproben nach Population (*maj*=grün, *cmaj*=rot, *dub*=orange, *syr*=gelb, *oni*=grün, *vul*=blau). Populationen mit demselben Buchstaben unterscheiden sich laut Tukey honestly significant difference (HSD) Test nicht signifikant ($\alpha=0,005$) voneinander.

Abbildung 43 stellt den Vergleich der *O. vulgare*-Populationen, unterteilt in Blatt- und Blütenproben, nach ihrem Luteolin-7-diglucuronid-Gehalt dar. Die Populationen wiesen im Blütenmaterial tendenziell höhere Konzentrationen auf. Population 2 zeigte vergleichsweise etwas höhere Messwerte, während das Blütenmaterial von Population 3 eine große Spannweite aufwies.

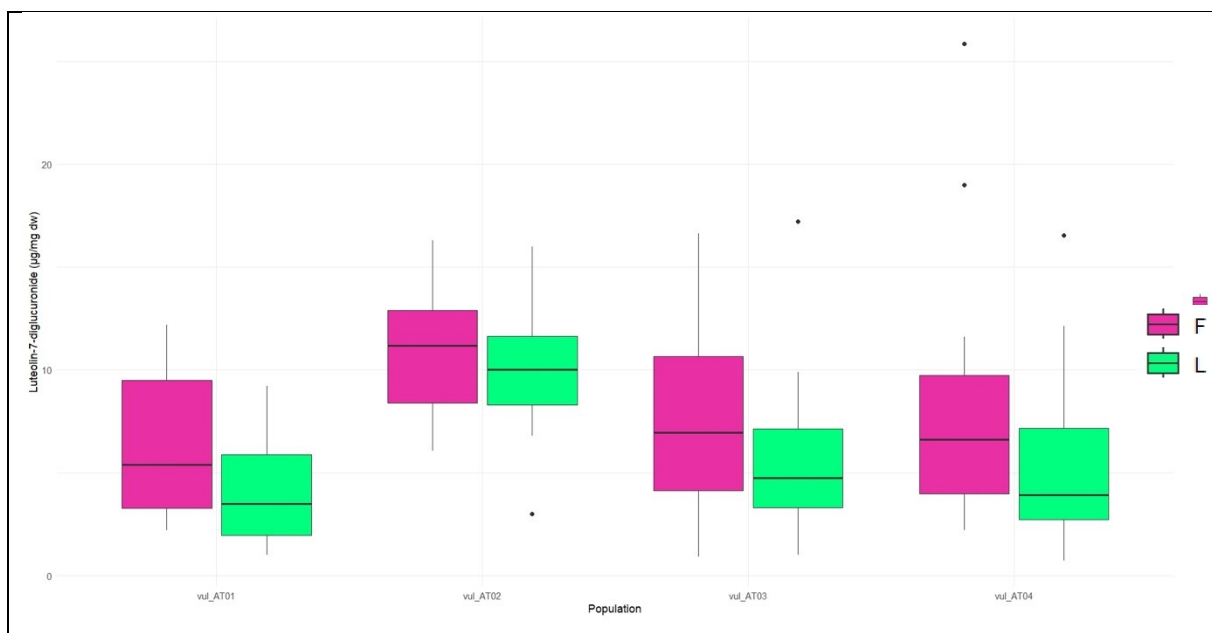


Abb. 43- Luteolin-7-diglucuronid-Gehalt der Populationen nach Blatt (L)/Blüte (F).

4.2. Volatile Verbindungen

Für die gaschromatographische Untersuchung wurden die Dichlormethan-Extrakte der Blätter und Blüten der fünf Arten (*maj*, *dub*, *syr*, *oni*, *vul*) sowie der Kultivare (*cmaj*, *csyr*) herangezogen. Insgesamt wurden 167 Blütenproben und 193 Blattproben analysiert, wobei wilder *O. majorana*, mit 95 Blüten- und 106 Blattproben, den größten Anteil hatte. *Origanum dubium* folgte mit 25 Blüten- und 27 Blattproben, *O. syriacum* war mit 17 Blüten- und 26 Blattproben vertreten. Weiters wurden 12 Blüten- und 6 Blattproben von Kulturmajoran, 9 Blüten- und 14 Blattproben von *O. onites* und jeweils eine Blüten- und Blattprobe von kultiviertem *O. syriacum* in die Auswertung der gaschromatographischen Untersuchung der volatilen Bestandteile einbezogen. Die Unterschiede in der Anzahl der Proben von Blatt und Blüte resultierten daraus, dass teilweise eine unzureichende Menge an Pflanzenmaterial einer der beiden Probenarten verfügbar war. In Tab. 7 sind jene Öl-Komponenten aufgelistet, die in mindestens einer der analysierten Arten Werte von über fünf Flächenprozent erreichten. Die entsprechenden Angaben für alle 23 aufgenommenen Peaks sowie Mittelwerte und Standardabweichungen der Populationen für jeweils Blatt und Blüte getrennt sind in Tabelle A10 in Anhang A angeführt. Im folgenden Absatz wurden die Ergebnisse als Durchschnittswert beider Pflanzenorgane zusammen betrachtet.

Die Zusammensetzung der volatilen Komponenten zeigte eine deutliche Variabilität. In dieser Arbeit wurde zwischen Sabiny- und Cymyl-Komponenten unterschieden, welche aus verschiedenen Biosynthesewegen stammen und das jeweilige Aroma des Majoran- bzw. Oregano-Chemotypes bestimmen. Die Sabiny-Komponenten Sabinen, *cis*- und *trans*-Sabinenhydrat sowie *cis*-Sabinenhydrat-Acetat, die das Majoran-Aroma bestimmen, waren vorrangig in wildem und kultiviertem *O. majorana* vertreten. So wies etwa kultivierter *O. majorana* mit 33,7 % den höchsten durchschnittlichen Anteil an *cis*-Sabinenhydrat auf, darauf folgt wilder *O. majorana* mit durchschnittlich 33,3 %, während *O. dubium* (0,9 %), *O. syriacum* (0,5 %) und *O. onites* (0,3 %) deutlich niedrigere durchschnittliche Anteile zeigten. Sabinen trat am stärksten in *O. vulgare* (15,6 %) auf, während es in den übrigen Arten nur in moderaten (wilder und kultivierter *O. majorana* mit 5,6 % bzw. 7,3 %) bzw. geringen (*O. dubium*, *O. syriacum*, *O. onites* mit jeweils unter 0,3 %) durchschnittlichen Anteilen nachgewiesen wurde. Cymyl-Komponenten, zu denen z.B. *p*-Cymen, *γ*-Terpinen, Thymol und Carvacrol sowie Thymoquinon, zählen, sind charakteristisch für den Oregano-Chemotyp. Carvacrol trat mit auffällig hohen

durchschnittlichen Anteilen in *O. onites* (98,0 %), *O. dubium* (93,1 %) und *O. syriacum* (68,1 %) auf, während *O. vulgare* (9,2 %) sowie wilder und kultivierter *O. majorana* (4,3 % bzw. 2,2 %) deutlich geringere Anteile enthielten. In Anbetracht dessen stachen vier Proben von wildem *O. majorana* innerhalb von Population 14 mit sehr hohen Anteilen an Carvacrol hervor, was nicht dem typischen Ätherisch-Öl-Profil von Majoran entspricht. Der höchste relative Carvacrol-Anteil wurde im Blütenmaterial von Probe M0150 (98,6 %) nachgewiesen, wobei sich auch in den Blättern ein relativer Carvacrol-Anteil von 94,5 % bestimmen ließ. Die Proben M0131 (F=87,8 %, L=1,5 %), M0148 (F=75,4 %, L=52,1 %), M0151 (F=nicht vorhanden, L=79,7 %) und M0152 (F=5,3 %, L=73,5 %) zeigten ebenfalls unerwartet hohe Anteile an Carvacrol (Anhang A, Population 14, Tabelle A10).

Origanum syriacum stach mit einem maximalen γ -Terpinen-Anteil von 52,4 % heraus, während der nächstkleinere maximale Anteil mit 34,5 % bei wildem *O. majorana* festgestellt wurde. ρ -Cymen wies über alle Arten hinweg sehr geringe durchschnittliche Anteile auf ($\leq 0,4$ %), in *O. dubium* und *O. onites* fehlte es vollständig. Weitere auffällige Einzelkomponenten waren Terpinen-4-ol und α -Terpineol, die vorrangig in *O. majorana* auftraten, während sie in *O. onites* vollständig fehlten. Endo-Borneol wurde in vergleichsweise hohen durchschnittlichen Mengen in *O. vulgare* (7,3 %) und wildem *O. majorana* (6,9 %) detektiert. Germacren D und zwei weitere nicht identifizierte Sesquiterpene wiesen nur in *O. vulgare* nennenswerte durchschnittliche Konzentrationen auf. Die genauen relativen Flächenprozent (Mittelwert, max und min) der jeweiligen Arten und Komponenten sind der Tabelle A11 in Anhang A zu entnehmen.

Tab. 7- Die wichtigsten Ölkompontenten (>5 Flächenprozent in mind. einer analysierten Probe), RT, Mittelwert (MW) der relativen Flächenprozent in Blatt und Blüte der einzelnen Arten und in Klammer Maximalwert (max) der relativen Flächenprozent (%).

Komponente	RT	<i>maj</i>	<i>cmaj</i>	<i>dub</i>	<i>syr</i>	<i>oni</i>	<i>vul</i>
Sabinen	7,759	5,6 (21,2)	7,3 (18,6)	0,1 (0,6)	0,3 (1,5)	0,1 (0,4)	15,6 (76,8)
α -Terpinen	9,091	2,7 (11,4)	3,2 (6,3)	0,3 (1,6)	0,5 (3,9)	0,1 (0,1)	1,7 (7,3)
β - Phellandren	9,475	4,6 (12,0)	3,2 (8,3)	0,1 (0,5)	0,9 (9,1)	0,0 (0,1)	3,7 (11,1)
γ -Terpinen	10,382	3,8 (34,5)	3,6 (6,9)	1,9 (11,0)	7,7 (52,4)	0,2 (1,0)	1,9 (7,8)
<i>trans</i> -Sabinenhydrat	10,645	3,8 (8,8)	3,9 (6,1)	0,4 (1,1)	1,6 (15,9)	0,1 (0,3)	2,5 (12,5)
<i>cis</i> -Sabinenhydrat	11,533	33,3 (77,0)	33,7 (68,6)	0,9 (0,6)	0,5 (5,8)	0,1 (0,3)	14,9 (61,5)
Endo-Borneol	13,409	6,9 (18,5)	0,2 (2,3)	0,5 (1,7)	0,9 (6,7)	0,3 (0,8)	7,3 (44,2)
Terpinen-4-ol	13,712	2,6 (15,6)	1,3 (4,0)	0,1 (0,2)	0,5 (3,7)	0,0 (0,0)	1,1 (7,4)
α - Terpeneol	14,075	15,5 (80,1)	3,5 (8,6)	0,4 (1,1)	0,3 (3,6)	0,0 (0,0)	6,9 (38,1)
<i>cis</i> -Sabinenhydrat-Acetat/ Thymoquinon/Linalylacetat	15,699	7,8 (41,5)	31,2 (58,8)	0,6 (1,2)	6,0 (25,6)	0,6 (1,7)	1,2 (8,3)
Carvacrol	16,961	4,3 (98,5)	2,2 (11,4)	93,1 (99,6)	68,1 (99,3)	98,0 (99,7)	9,2 (97,7)
Unbekannt 1	19,584	3,3 (7,9)	2,7 (8,2)	0,6 (1,5)	3,3 (26,3)	0,2 (0,8)	17,1 (84,7)
Germacren-D	20,895	0,0 (0,2)	0,0 (0,1)	0,0 (0,3)	0,0 (0,0)	0,1 (1,4)	9,0 (63,3)
Unbekannt 2	22,994	0,1 (1,4)	1,3 (30,4)	0,0 (0,2)	0,5 (9,4)	0,0 (0,3)	2,3 (20,0)

4.2.1. Hauptkomponentenanalyse- Blatt nach Arten

Zur generellen Gegenüberstellung der Blatt- und Blütenproben wurde eine PCA-Analyse auf Basis aller vermessenen Blatt- bzw. Blüten-Extrakte und der relativen Flächenprozent aller 23 Komponenten durchgeführt. Die Ergebnisse dienen einem ersten Überblick über generelle, artspezifische und artübergreifende Tendenzen.

Beim Vergleich der unterschiedlichen Arten nach ihren volatilen Inhaltsstoffen im Blatt wurde eine erklärte Varianz von 39,0 % festgestellt (Abb. 44). In der ersten Dimension (erklärte Varianz: 28,3 %) konnte *O. syriacum* gut von kultiviertem *O. majorana* abgegrenzt werden, ihre Punktwolken waren weitgehend getrennt. Weiters konnte *O. dubium* von wildem und kultiviertem *O. majorana* unterschieden werden. *Origanum dubium* fiel außerdem durch eine geringe Streuung auf. Grob betrachtet, erkannte man in Dimension 1 eine Unterscheidung zwischen dem sabinyl-reichen Majoran-Chemotyp und dem cymyl-reichen Oregano-Chemotyp. Während die typischen aroma-gebenden Inhaltsstoffe für Oregano, Carvacrol und Thymol, eine klare Tendenz nach links zeigten, zogen die wichtigen Sabinyl-Komponenten (*trans*-Sabinenhydrat, *cis*-Sabinenhydrat, *cis*-Sabinenhydrat-Acetat) nach rechts. In Dimension 2 (erklärte Varianz: 10,7 %) war nur für *O. syriacum* eine relevante Trennung erkennbar, die anderen fünf Arten überschneiden sich. *Origanum syriacum* war die einzige Art, die vereinzelt höhere Anteile an Thymol anreichert, wodurch in der PCA eine Tendenz zu den oberen Quadranten entstand. Außerdem trugen Bornylacetat, δ -Elemen und γ -Terpinen zu einer Ausdehnung in den oberen linken Bereich bei.

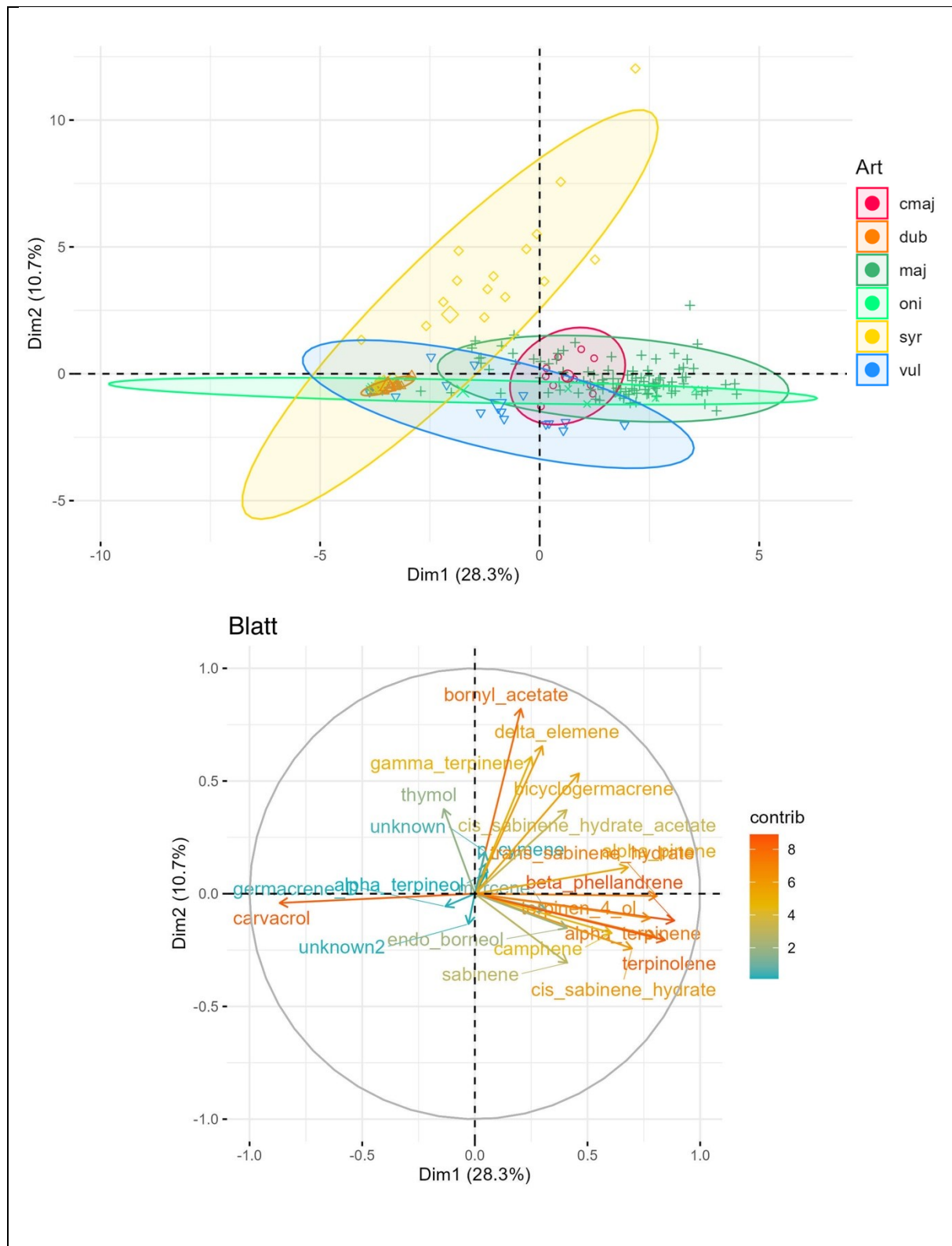
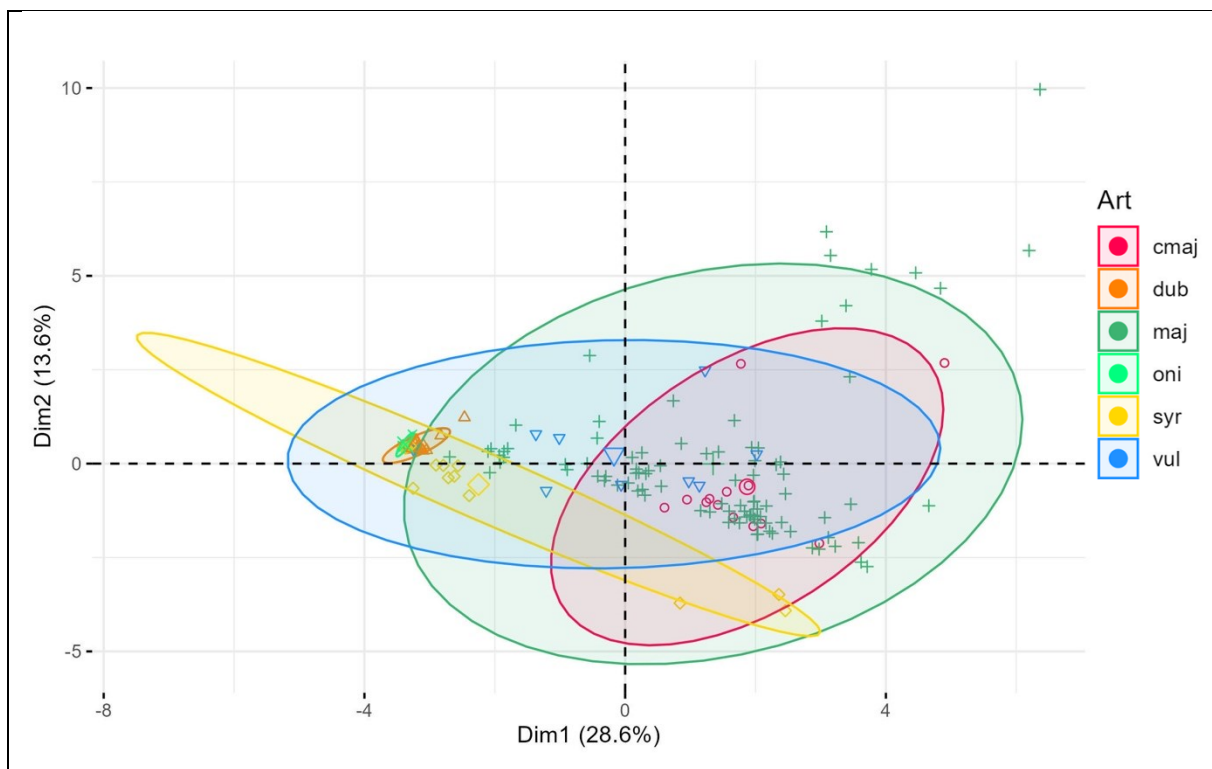


Abb. 44- PCA Blatt nach Arten, basierend auf den relativen Flächenprozent aller detektierter Ätherisch-Ölkomponenten und zugehöriger Loading-Plot.

4.2.2. Hauptkomponentenanalyse- Blüte nach Arten

Die erklärte Varianz der beiden ersten Dimensionen im Vergleich der Blüten-Inhaltsstoffe der verschiedenen Arten betrug 42,2 % (Abb. 45). In der ersten Dimension (erklärte Varianz: 28,6 %) ließ sich im Vergleich zum Blatt eine starke Überlappung der Punktwolken der einzelnen Arten erkennen, einzig *O. dubium* bzw. *O. onites* sowie kultivierter *O. majorana* waren klar voneinander trennbar. Die Ellipse von *O. syriacum* wies eine langgezogene Form auf und überschchnitt sich stark mit den jeweils anderen Arten. Ähnlich der Blatt-PCA, war in Dimension 1 eine gewisse Unterscheidung von Cymyl- und Sabinyll-Komponenten möglich; die Cymyl-Komponenten Carvacrol und Thymol zogen nach links, die Sabinyll-Komponenten (mit Ausnahme von *cis*-Sabinenhydrat) zogen nach rechts. Innerhalb der zweiten Dimension (erklärte Varianz: 13,6 %) war keine Differenzierung möglich. Bezogen auf die Einzelkomponenten des ätherischen Öls nahm Carvacrol Einfluss auf die Abgrenzbarkeit von *O. dubium*, *O. onites* und *O. syriacum* von den restlichen fünf Arten.



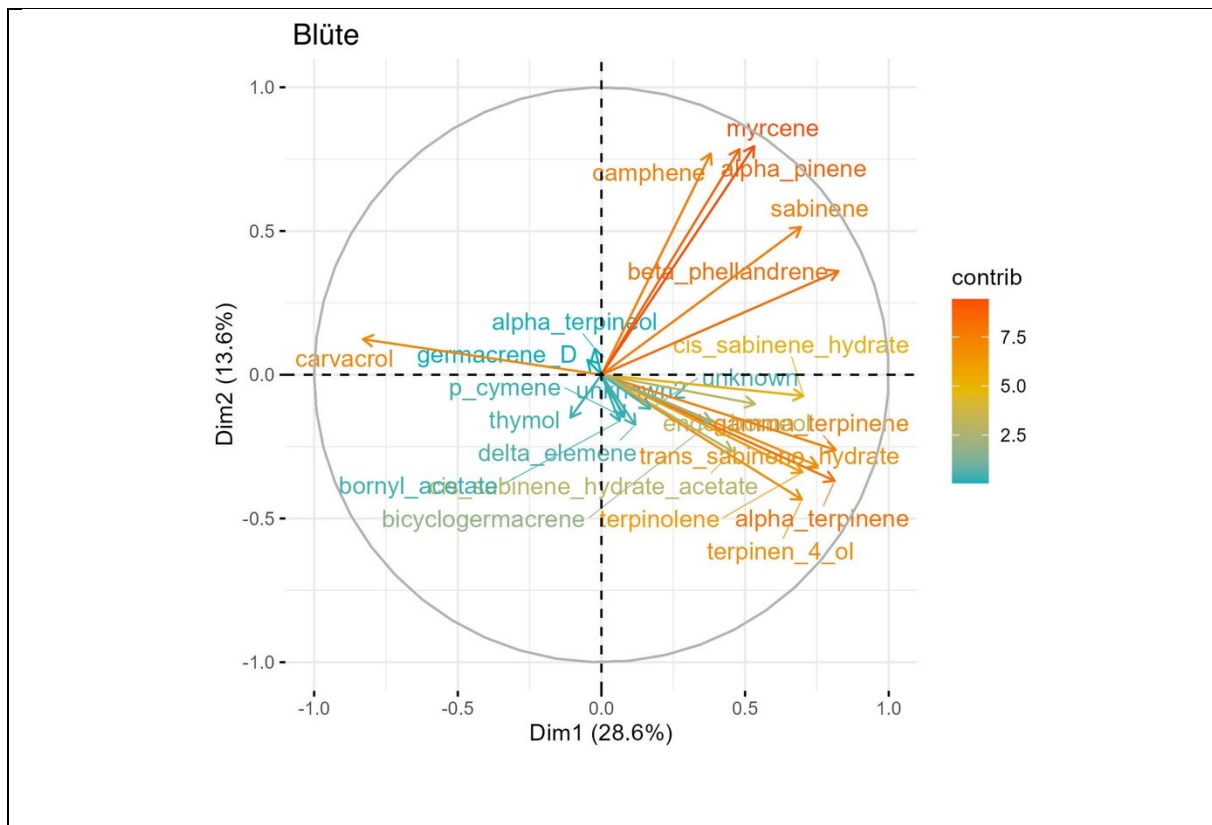


Abb. 45- PCA Blüte nach Arten, basierend auf den relativen Flächenprozent aller detektierter Ätherisch-Ölkomponenten und zugehöriger Loading-Plot.

4.2.3. Hauptkomponentenanalyse- Blatt und Blüte

Die erklärte Varianz der ersten beiden Dimensionen lag bei 36,0 % (Abb. 46). In der ersten Dimension (erklärte Varianz: 25,9 %) war über alle Arten hinweg keine Unterscheidung zwischen Blatt und Blüte möglich, die beiden Punktwolken der entsprechenden Proben überlappten sich weitgehend. In Dimension 2 (erklärte Varianz: 10,1 %) war die Überschneidung etwas geringer, eine klare Differenzierung war jedoch nicht gegeben. Allerdings ließ sich eine allgemeine Tendenz erkennen; der Großteil der Messpunkte für die Blattproben befand sich in den unteren Quadranten, der Gruppenmittelpunkt lag rechts unten. Die Messpunkte der Blütenproben fanden sich hingegen hauptsächlich in den oberen Quadranten, der Gruppenmittelpunkt lag oben links. Abbildung 46 (unten) zeigt den Loading-Plot, welcher den Einfluss der einzelnen Ölkomponenten auf die Abgrenzbarkeit von Blatt und Blüte abbildet. Im Blütenmaterial trugen neben Sabinyl-Komponenten (*trans*-Sabinenhydrat, *cis*-Sabinenhydrat, *cis*-Sabinenhydrat-Acetat) auch Sesquiterpene (Bicyclogermacren, δ -Elemen) und Endo-Borneol zu einer gewissen Differenzierung bei. Bei den Blattproben nahmen sowohl Cymyl- (Carvacrol, γ -Terpinen) als auch Sabinyl-Komponenten (Sabinen) Einfluss auf

die Abgrenzbarkeit. Weiters trugen gewisse Monoterpene (α -Pinen, Camphen, β -Phellandren, Myrcen, Terpinen-4-ol) zur teilweisen Abgrenzung bei.

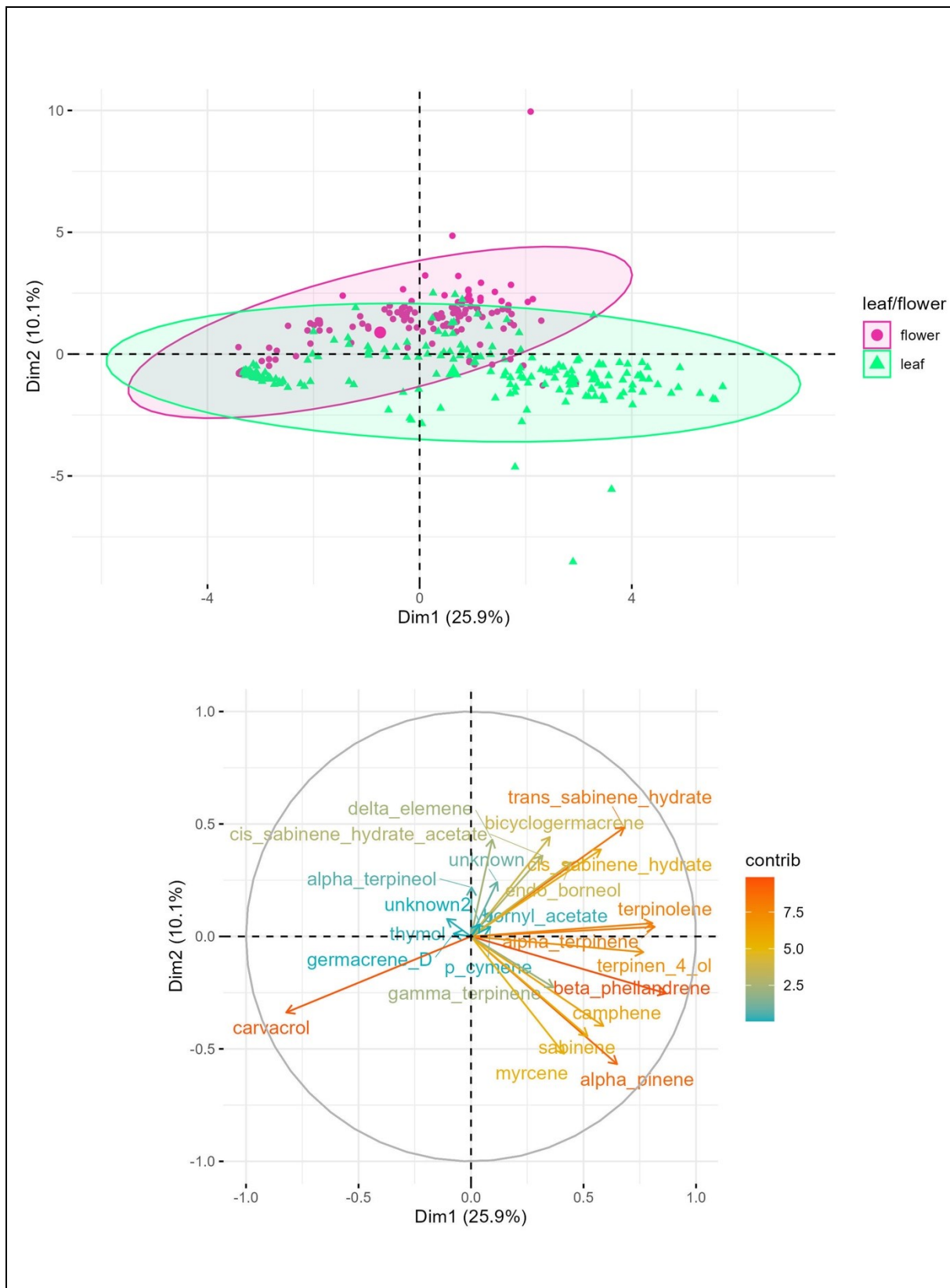


Abb. 46- PCA Blatt/Blüte, basierend auf den relativen Flächenprozent aller detektierter Ätherisch-Ölkomponenten und zugehöriger Loading-Plot.

5. Diskussion

In dieser Arbeit wurden fünf verschiedene *Origanum*-Arten (wilder und kultivierter *O. majorana*, *O. dubium*, wilder und kultivierter *O. syriacum*, *O. onites* und *O. vulgare*) mit einheitlicher Methodik auf ihren Gehalt und die Zusammensetzung ihrer volatilen und nicht volatilen Bestandteile untersucht, um die chemische Variabilität zu erfassen und artspezifische bzw. Blatt/Blüten-spezifische Unterschiede zu untersuchen. Der Fokus lag auf der Analyse der Polyphenole, wofür der wässrig-methanolische Extrakt des Pflanzenmaterials mittels HPLC analysiert wurde. Sieben Inhaltsstoffe konnten bisher identifiziert werden: Arbutin, Hydrochinon, Kaffeesäure, Luteolin-7-diglucuronid, Rosmarinsäure, Apigenin-7-O-glucuronid und Lithospermsäure. Ergänzend wurden die ätherischen Ölkomponenten untersucht, wofür der Dichlormethan-Extrakt der Proben gaschromatographisch vermessen wurde. Folgende Komponenten mit >5 % relativem Flächenanteil in mindestens einer der Proben wurden identifiziert: Sabinen, *trans*-Sabinenhydrat, *cis*-Sabinenhydrat, *cis*-Sabinenhydrat-Acetat, α -Terpinen, β -Phellandren, γ -Terpinen, Endo-Borneol, Terpinen-4-ol, α -Terpineol, Carvacrol, Germacren-D und zwei bisher nicht identifizierte Substanzen. Bei der HPLC-Untersuchung der polyphenolischen Bestandteile zeigten sich innerhalb der untersuchten Arten qualitativ stabile Chromatogramme, während der Gehalt der quantifizierten Komponenten sehr variabel war. Die Hauptkomponentenanalyse (PCA) der HPLC-Ergebnisse (Abb. 23) zeigte, dass sich *O. vulgare* deutlich von den anderen vier *Origanum*-Arten differenzieren ließ. Eine Differenzierbarkeit zeigte sich zudem bei wildem *O. majorana*. Zwar überlappte die Punktwolke von wildem *O. majorana* mit jener von Kulturmajoran, es war aber eine deutliche Abgrenzung zu *O. dubium*, *O. syriacum* und *O. onites* gegeben, wohingegen *O. dubium*, *O. syriacum* und *O. onites* in ihren polyphenolischen Profilen überlappten und keine klare Trennung dieser drei Arten möglich war. Kultivierter *O. majorana* zeigte eine besonders hohe Variabilität und überlappte deutlich sowohl mit wildem *O. majorana*, als auch mit den sich stark überschneidenden Punktwolken von *O. dubium*, *O. syriacum* und *O. onites*. Das könnte auf genetischen Kontakt mit anderen Arten bei der Entwicklung einzelner Zuchtlinien von kultiviertem *O. majorana* hindeuten, was auch Differenzen zwischen den einzelnen Samenherkünften erklären könnte. Für *O. vulgare* ließen sich drei Peaks identifizieren, die für die chemische Abgrenzbarkeit besonders relevant waren. Am deutlichsten stach Luteolin-7-diglucuronid (Peak 38, RT 20,309) hervor, das mit einem relativen Flächenanteil von bis zu 31,6 %

in *O. vulgare* vorlag, während dieser Wert in den übrigen Arten unter 1,1 % blieb. Darüber hinaus wies eine bislang nicht identifizierte Verbindung (Peak 40, RT 21,265) mit 35,9 % einen auffallend hohen relativen Flächenanteil in *O. vulgare* auf. Auch Hydrochinon (Peak 12) zeigte in *O. vulgare* den höchsten relativen Anteil, der mit 2,2 % doppelt so hoch ausfiel wie der zweithöchste relative Anteil von 1,1 % in *O. syriacum*. Der Loading-Plot (Abb. 23) zeigte außerdem, dass vor allem Peak 94 (n. i., RT 44,572) und Peak 101 (n. i., RT 45,435) stark zur Trennung von wildem *O. majorana* gegenüber *O. dubium*, wildem und kultiviertem *O. syriacum*, *O. onites* und *O. vulgare* beitrugen. Interessant war außerdem der Chromatogramm-Bereich zwischen RT 42,500 und RT 49,600, in dem wilder *O. majorana* ein auffälliges Muster bisher nicht identifizierter Peaks zeigte, während dieses in kultiviertem *O. majorana* aber auch in den anderen inkludierten Arten deutlich weniger ausgeprägt oder nicht vorhanden war. Eine mögliche Erklärung für die beobachteten qualitativen und quantitativen Unterschiede zwischen wildem und kultiviertem *O. majorana* sind die zwischen Standorten variierenden Umweltfaktoren während des Pflanzenwachstums sowie der unterschiedliche Erntezeitpunkt. Die Proben von kultiviertem Majoran stammten aus einer Ernte im Herbst (Oktober/November) aus dem Gewächshaus, dadurch waren die Pflanzen über mehrere Wochen einer vergleichsweise geringeren Sonneneinstrahlung, niedrigeren Temperaturen und einer ausreichenden Wasserversorgung ausgesetzt. Im Gegensatz dazu wurde das Pflanzenmaterial von wildem *O. majorana* im Sommer (Juni) an verschiedenen Wildstandorten auf Zypern gesammelt, wo die Pflanzen teilweise starker direkter Sonneneinstrahlung, hohen Temperaturen, Wassermangel und unterschiedlichen Bodentypen (z. B. häufig felsiger Untergrund) ausgesetzt waren. Mehrere Literaturquellen belegen, dass verschiedene Umweltfaktoren den Polyphenolgehalt von Pflanzen maßgeblich beeinflussen können. So berichten etwa de Madeiros Gomes et al. (2021) und Ryu et al. (2023), dass erhöhte UVB-Strahlung und Trockenheit die Bildung freier Radikale und daraus resultierende Zellschäden fördern, worauf die Pflanzen mit einer verstärkten Produktion von Polyphenolen reagieren. Die phenolischen Bestandteile (z.B. Rosmarinsäure) wirken unter anderem als UV-Filter, sie neutralisieren reaktive Sauerstoffspezies (ROS) und verhindern die Entstehung weiterer ROS (De Madeiros Gomes et al., 2021; Ryu et al., 2023). Di Ferdinando et al. (2014) unterstreichen zusätzlich die zentrale Rolle von Flavonoiden beim Schutz vor Lichtstress und der Neutralisation von ROS. Angesichts dieser Erkenntnisse überraschte der hohe relative Anteil an Rosmarinsäure in Kulturmajoran (69,6 %) im Vergleich zum

relativen Flächenanteil von 45,5 % bei wildem *O. majorana*. Die Quantifizierung des Rosmarinsäure-Gehalts fiel ebenfalls bei Kulturmajoran (13,83 µg/mg TG) höher aus als bei wildem *O. majorana* (11,62 µg/mg TG) obwohl die wildgesammelten Pflanzen einer stärkeren Sonnenexposition und Trockenheit ausgesetzt waren und somit ein erhöhter Bedarf an polyphenolischer Schutzwirkung gegen UV-Strahlung und Trockenstress zu erwarten wäre. Betrachtet man den mittleren Gehalt an Flavonoiden am Beispiel von Apigenin-7-glucuronid, zeigten sich sowohl bei wildem als auch bei kultiviertem *O. majorana* eher geringe Konzentrationen. Das wild gesammelte Probenmaterial wies mit durchschnittlich 3,6 µg/mg TG Apigenin-7-glucuronid etwas höhere Werte auf als Kulturmajoran (1,5 µg/mg TG), was die Ergebnisse von Di Ferdinando et al. (2014) stützt. Außerdem wurden bei wildem *O. majorana* ab RT 42 mehrere hohe Peaks nachgewiesen, welche von Flavonoidglykosiden stammen könnten, während Kulturmajoran in jenem Chromatogramm-Bereich keine ausgeprägten Peaks zeigte. Arbutin werden ebenfalls vor Umweltfaktoren schützende Eigenschaften nachgesagt. Hinch et al. (1999) berichten in ihrer Arbeit über eine erhöhte Toleranz der Pflanze gegenüber Frost und Trockenheit, die im Zusammenhang mit dem Arbutin-Gehalt stehen kann, da Arbutin die Zerstörung von Membranen in ausgetrockneten oder gefrorenen Blättern vermindert und antioxidativ wirkt, wodurch die Schäden am Pflanzenmaterial verringert werden können (Hinch et al., 1999). Die erhaltenen Ergebnisse stimmen mit diesen Aussagen überein; die wild geernteten *O. majorana*-Pflanzen waren an ihrem Standort starker Trockenheit ausgesetzt und wiesen mit 32,8 µg/mg TG einen deutlich höheren Arbutin-Gehalt als Kulturmajoran (12,4 µg/mg TG) auf, welcher im Herbst gewachsen ist und stets ausreichend Wasser zur Verfügung hatte. Wie relevant Arbutin für den Schutz gegen Trockenstress einer Pflanze ist, ist jedoch schwer zu beurteilen, da die Identifikation weiterer Peaks noch andauert. Viele nicht identifizierte Peaks fielen in wildem *O. majorana* höher aus als in kultiviertem *O. majorana*, was die Theorie eines erhöhten Polyphenol- und Flavonoid-Gehalts für Pflanzenmaterial von sonnenexponierten, trockenen Standorten stützen könnte. Die Auswertung des entsprechenden Probenmaterials der Sommerernte erfolgt nach dieser Arbeit im Rahmen einer weiteren Masterarbeit, wodurch weitere Erkenntnisse gewonnen werden könnten. Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang auch Peak 115, eine bislang nicht identifizierte Verbindung, die in wildem *O. majorana* mit einem relativen mittleren Flächenanteil von 30,8 % vorlag, während sie in kultiviertem *O. majorana* nicht vorhanden waren. Diese Ergebnisse könnten auf genetische Unterschiede zwischen

wildem und kultiviertem *O. majorana* hindeuten, welche sich durch lang andauernde züchterische Selektion und/oder genetischen Austausch zwischen kultiviertem Majoran und anderen *Origanum*-Arten zurückführen lassen könnten. Wie bereits beschrieben, wird *Origanum* sp. seit jeher in der traditionellen Medizin genutzt. Zahlreiche Studien bestätigen die Relevanz phenolischer Bestandteile für die biologische Aktivität von Arzneidrogen. Alle in dieser Arbeit quantifizierten Komponenten werden in der Literatur bereits in Hinblick auf Vorkommen und potenzielle Wirkweise erwähnt (de Medeiros Gomes et al., 2021; Fecka & Turek, 2008; Lukas et al., 2013; Ryu et al., 2023; Tavakoli et al., 2022). Über Rosmarinsäure gibt es zahlreiche Abhandlungen die unter anderem ihre entzündungshemmende, antioxidative, antidiabetische, antimutagene, neuroprotektive und antimikrobielle Wirkung bestätigen (Amoah et al., 2016; Silva et al., 2022). Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass *O. vulgare* mit 22,4 µg/mg TG den höchsten Rosmarinsäuregehalt im Vergleich der hier inkludierten *Origanum*-Arten aufwies. Wilder und kultivierter *O. majorana* enthielten mittlere Mengen Rosmarinsäure (13,8 µg/mg TG bzw. 11,6 µg/mg TG), während *O. onites*, *O. dubium* und *O. syriacum* mit jeweils weniger als 7 µg/mg TG nur vergleichsweise geringe Konzentrationen aufwiesen. Diese Resultate decken sich mit den Aussagen von Seca & Trendafilova (2022) und Lukas et al. (2013), die von hohen Rosmarinsäure-Konzentrationen in *O. vulgare* (insbesondere ssp. *vulgare*) und einer großen Variabilität zwischen den Populationen berichten. In der Arbeit von Lukas et al. (2013) werden in den untersuchten österreichischen *O. vulgare* Proben durchschnittliche Rosmarinsäure-Gehalte zwischen 11,8 µg/mg TG und 30,0 µg/mg TG festgestellt. Die in der vorliegenden Arbeit gemessene durchschnittliche Konzentration von 22,4 µg/mg TG Rosmarinsäure in *O. vulgare* lag somit innerhalb dieses Bereichs. Über die Wirkung von Arbutin finden sich ebenfalls viele Literaturquellen, die zahlreiche Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten der Substanz nennen. Arbutin wirkt diuretisch, antiseptisch und antiinfektiv (Anwendung v. A. bei Harnwegsinfekten). Es stört die Melanin-Synthese und fungiert als Radikalfänger (Assaf et al., 1987; Fecka & Turek, 2008; Jan et al., 2020; Lukas, 2010a; Lukas et al., 2010b). In Nahrungsmitteln ist Arbutin jedoch nicht erwünscht, da eine Metabolisierung zu Hydrochinon stattfindet, welches nephrotoxische, hepatotoxische, mutagene und karzinogene Eigenschaften hat (Lukas, 2010a). Im Rahmen dieser Arbeit wurde Arbutin ausschließlich in wildem und kultiviertem *O. majorana* (durchschnittlich 32,8 bzw. 12,4 µg/mg TG) sowie in *O. dubium* (4,9 µg/mg TG) nachgewiesen, während es in den anderen *Origanum*-Arten nicht, oder nur in

Spuren vorlag. Das entspricht den Erkenntnissen von Lukas et al. (2010 c), die von hohen Mengen Arbutin in wildem und kultiviertem *O. majorana* (51,3 bzw. 40,6 µg/mg TG) und *O. dubium* (20,8 µg/mg TG) berichten und das Fehlen von Arbutin in *O. vulgare*, *O. syriacum* und *O. onites* bestätigen. Obwohl die im untersuchten Probenmaterial festgestellten mittleren Arbutin-Konzentrationen unter den in genannter Literaturquelle angegebenen Werten liegen, lässt sich klar erkennen, dass Arbutin überwiegend in wildem und kultiviertem *O. majorana* enthalten ist. In der Arbeit von Lukas et al. (2010c) werden außerdem in wildem *O. majorana* höhere Anteile der Substanz als in Kulturmajoran festgestellt, was sich ebenfalls mit den in dieser Arbeit gewonnenen Ergebnissen deckt. Im Vergleich zur gut dokumentierten Rosmarinsäure und zu Arbutin ist die Literatur zu Luteolin-7-diglucuronid begrenzt. So berichten etwa Fecka & Turek (2008) eher allgemein über eine antioxidative, antiallergische und antigonadotropische Wirkung von Luteolinglucuroniden. Gutierrez-Grijalva et al. (2017) oder López-Lázaro (2009) erwähnen Luteolin-7-diglucuronid zwar in Zusammenhang mit Pflanzenarten anderer Pflanzenfamilien (z.B. Verbenaceae, Poaceae), nennen aber keine substanzspezifischen Wirkungen. In einer Studie von Ning et al. (2017) wird durch Luteolin-7-diglucuronid eine signifikante Reduktion von Isoproterenol-induzierten Myokardschädigung und Fibrose bei Mäusen festgestellt, was auf kardioprotektive Eigenschaften hinweist. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigten, dass Luteolin-7-diglucuronid nur in *O. vulgare* in nennenswerter Menge vorlag (7,5 µg/mg TG) während in den anderen Arten kein Luteolin-7-diglucuronid nachgewiesen wurde. Ähnlich limitiert ist die Datenlage zur Wirkung von Apigenin-7-glucuronid. Eine Studie von Hu et al. (2016) bestätigt antioxidative Eigenschaften und stellt im Tierversuch eine Hemmung von LPS-verursachten Entzündungen fest. Die vergleichsweise größte Menge Apigenin-7-glucuronid wurde in dieser Arbeit in *O. dubium* (7,0 µg/mg TG) nachgewiesen. Mit 6,2 µg/mg TG folgte *O. onites*, während die anderen *Origanum*-Arten geringere Mengen aufwiesen. Martins et al. (2014) berichten über vergleichbare Apigenin-7-glucuronid-Konzentrationen in einem hydroalkoholischen Extrakt von *O. vulgare* ssp. *hirtum* (5,8 µg/mg TG), was jedoch in deutlichem Widerspruch zu den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung steht. In den analysierten *O. vulgare*-Proben dieser Arbeit wurde ein durchschnittlicher Apigenin-7-glucuronid-Gehalt von 0,4 µg/mg TG festgestellt, was im Vergleich zu den anderen *Origanum*-Arten die niedrigste Konzentration darstellte. Das deutet darauf hin, dass sich die Subspezies von *O. vulgare* stark voneinander unterscheiden. Außerdem könnte auch die

unterschiedliche Extraktionsmethode einen gewissen Einfluss nehmen. Während in der genannten Literaturquelle ein Methanol/Wasser-Gemisch im Verhältnis 80:20 (v/v) zur Anwendung kommt, wurde in der vorliegenden Arbeit ein Gemisch im Verhältnis 50:50 (v/v) eingesetzt. Vasantha-Rupasinghe et al. (2011) berichten, dass eine höhere Methanolkonzentration im Lösungsmittel zu einer gesteigerten Extraktionseffizienz von Flavonoid-Glykosiden führen kann, was die vergleichsweise erhöhten Gehalte in der Arbeit von Martins et al. (2014) erklären könnte. Darüber hinaus verweisen beispielsweise Chaves et al. (2020) auf eine deutliche Steigerung der Extraktionsausbeute durch wiederholte Extraktionszyklen. In der vorliegenden Arbeit war lediglich ein Extraktionsdurchgang vorgesehen, wohingegen bei den Analysen von Martins et al. (2014) zwei Extraktionsschritte durchgeführt werden. Über Lithospermsäure berichten Fecka & Turek (2008) und Damašius et al. (2014) von antioxidativen, antiviralen, enzymmodulierenden und proliferationshemmenden Effekten. Außerdem blockiert Lithospermsäure die Gonadotropin-Freisetzung, reduziert Atherosklerose und schützt Hepatozyten. Mit 0,7 µg/mg TG wies *O. vulgare* im Vergleich der untersuchten *Origanum*-Arten den höchsten durchschnittlichen Lithospermsäure-Gehalt auf. Die nächst niedrigere Menge wurde in wildem *O. majorana* nachgewiesen (0,2 µg/mg TG), während Lithospermsäure in *O. onites*, *O. dubium*, *O. syriacum* und Kulturmajoran nur in Spuren vorlagen (<0,1 µg/mg TG). Laut Damašius et al. (2014) ist Lithospermsäure in *O. vulgare* nach Rosmarinsäure die quantitativ wichtigste phenolische Komponente, während in wildem *O. majorana* zwar Lithospermsäure enthalten ist, aber in viel geringerem Ausmaß. Diese Aussage deckt sich zwar mit den hier erhaltenen Ergebnissen, ein direkter Vergleich ist jedoch nicht möglich, da in der Literaturquelle keine weitere Quantifizierung durchgeführt wurde. Betrachtet man die unterschiedlichen Pflanzenorgane wird deutlich, dass mit Ausnahme von *O. vulgare*, in allen untersuchten Arten (wilder und kultivierter *O. majorana*, *O. dubium*, *O. syriacum*) eine gewisse Unterscheidbarkeit aufgrund des jeweiligen Polyphenolprofils von Blatt und Blüte gegeben war. *Origanum dubium* zeigte die deutlichste Abgrenzung zwischen Blatt und Blüte, während diese bei *O. syriacum* und wildem *O. majorana* etwas weniger gut zu unterscheiden waren. Kultivierter *O. majorana* wies die vergleichsweise stärkste Überschneidung auf. Einige Substanzen schienen vermehrt im Blatt präsent zu sein, während andere eher in der Blüte vorkamen. Die Hauptkomponentenanalyse zeigte, dass beispielsweise Arbutin sowohl in wildem *O. majorana*, als auch in *O. dubium* stark an der Differenzierung der beiden Pflanzenorganen beteiligt war und überwiegend im

Blatt vorlag. Hinsichtlich der verschiedenen ökologischen Funktionen der Pflanzenorgane, ist eine Anreicherung im Blatt sinnvoll. Die von Hinch et al. (1999) beschriebene Schutzwirkung von Arbutin gegen Trockenstress könnte der Pflanze den nötigen Schutz bieten, um lange Trockenperioden zu überstehen. Auch Rosmarinsäure hatte größeren Anteil an einer Unterscheidung von Blatt und Blüte. Mit Ausnahme von kultiviertem Majoran war der Rosmarinsäure-Gehalt in den Blättern tendenziell höher als in den Blüten, die PCA identifizierte Rosmarinsäure als einen wichtigen Faktor für die Differenzierung von Blatt und Blüte in *O. dubium*- und *O. syriacum*-Proben. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Erkenntnissen von Prinsi et al. (2019), die über eine Akkumulation von Rosmarinsäure zur Abwehr von Fraßfeinden und Pathogenen in Blättern von *Ocimum basilicum*. L. berichten. In den Blüten von *O. syriacum* trägt auch Kaffeesäure maßgeblich zur Abgrenzung gegenüber dem Blatt bei. Das bestätigt die Untersuchung von Prinsi et al. (2019), die Kaffeesäure ebenfalls vermehrt in der Blüte lokalisieren. Auch Apigenin-7-glucuronid spielt eine Rolle bei der Differenzierung von Blatt- und Blütenmaterial, in den Proben von wildem *O. majorana* und *O. syriacum* ist es vermehrt in der Blüte zu finden. Die Datenlage zu Apigenin-7-glucuronid selbst ist sehr limitiert, die Eigenschaften von Flavonoiden im Allgemeinen können für die Blüte allerdings von Vorteil sein; sie schützen empfindliche Gewebe vor UV-Strahlung, können zur Pigmentierung der Blüte beitragen und die Pflanze so attraktiver für Bestäuber machen und sind wichtige Signalmoleküle (Schijlen et al., 2004).

In der Literatur werden häufig Chemotypen in *Origanum* beschrieben, welche sich durch die dominierenden Komponenten im ätherischen Öl definieren (Mesmar et al., 2022; Soltani et al., 2021). Die Analyse der volatilen Bestandteile der inkludierten *Origanum*-Arten bestätigte weitgehend die bisher in der Literatur beschriebenen Inhaltsstoffmuster. Die untersuchten Proben von wildem *O. majorana* stachen durch ihren hohen durchschnittlichen prozentuellen Anteil an Sabinyll-Verbindungen (Sabinen 5,6 %, *cis*-Sabinenhydrat 33,3 %, *cis*-Sabinenhydrat-Acetat 7,8 %) und einem erhöhten relativen α -Terpineol-Anteil von 15,5 % hervor (Tabelle 7). Dieses Profil entspricht den Erkenntnissen von Novak et al. (2008) die den, für wildwachsenden *O. majorana* typischen, Sabinyll-Chemotyp sowie einen gemischten Sabinyll/ α -Terpineol-Chemotyp beschreiben. Auch die Proben von kultiviertem *O. majorana* wiesen hohe mittlere Sabinyll-Anteile auf, wobei insbesondere der hohe relative Flächenanteil an *cis*-Sabinenhydrat-Acetat (31,2 %) auffiel, der bei wildem *O. majorana* (7,8 %) deutlich niedriger

ausfiel. Diese Beobachtung stimmt mit den Erkenntnissen von Novak et al. (2008) überein, die die Kombination von *trans*-Sabinenhydrat, *cis*-Sabinenhydrat und *cis*-Sabinenhydrat-Acetat als typisch für kultivierten Majoran bezeichnen. Sowohl bei wildem als auch bei kultiviertem *O. majorana* überstiegen die relativen Flächenprozent von *cis*-Sabinenhydrat (33,3 % bzw. 33,7 %) jene von *trans*-Sabinenhydrat (3,8 % bzw. 3,9 %), was auf eine Unterscheidung eines *cis*-Chemotyps und eines *trans*-Chemotyps, wie ihn Raal et al. (2024) beschreiben, hindeuten kann. Insgesamt zeigten die Proben von wildem und kultiviertem Majoran eine klare Tendenz zu Sabinyl-Verbindungen sowie vergleichsweise geringe mittlere Anteile an Cymyl-Verbindungen, was *O. majorana* deutlich von den anderen vier Arten unterscheidet. Dieses Ergebnis deckt sich mit dem Resultat mehrerer publizierter Arbeiten, darunter Lukas et al. (2010c), Demirbolat et al. (2024) und Kakouri, et al. (2022). Auffällig waren einige als *O. majorana* deklarierte Proben von Population 14, die mit einem Maximalwert von bis zu 98,6 % Carvacrol (Daten nicht gezeigt) nicht dem typischen Majoran-Chemotyp entsprachen. In der Literatur wird vereinzelt von Carvacrol-reichen *O. majorana*-Beständen berichtet, so beschreiben beispielsweise Baser et al. (1993) wild wachsenden *O. majorana* mit hohem Carvacrol-Gehalt während Kakouri et al. (2022) für Proben aus Tunesien, Griechenland und der Türkei einen Carvacrol-Thymol-Chemotyp identifizieren. Es ist jedoch nicht immer eindeutig, welche Art den Analysen zugrunde liegt. Während manche Autoren dem Konzept von Ietswaart (1985) folgen, verwenden andere ältere oder alternative Gattungskonzepte, die beispielsweise *O. majorana* und *O. dubium* nicht trennen. Im konkreten Fall dieser Arbeit wurden in einer wilden *O. majorana* Population mehrere Einzelpflanzen gefunden, deren morphologische Merkmale vom typischen *O. majorana*-Erscheinungsbild abwichen und eine Tendenz in Richtung *O. dubium* zeigten. Diese Pflanzen wiesen in der GC-Untersuchung sehr hohe relative Carvacrol-Anteile auf, was ebenfalls auf *O. dubium* oder auf eine Hybridisierung von *O. majorana* x *O. dubium* hindeutete. Der Standort dieser vom Chemotyp abweichenden Pflanzen zeigte eine gewisse geographische Distanz zum bekannten Verbreitungsgebiet von *O. dubium* in Zypern und befand sich am Rande eines Dorfes, eventuell handelt es sich hier um Gartenflüchtlinge oder deren Nachkommen. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigten erneut, dass feine morphologische Unterschiede zwischen *O. majorana* und *O. dubium* mit deutlichen Unterschieden im Ätherisch-Öl-Profil einhergehen und stärken das überarbeitete Artkonzept von Ietswaart (1985). Die untersuchten Proben von *O. dubium* zeichneten sich durchgehend durch einen im Mittel

sehr hohen Carvacrol-Anteil (93,1 %) aus, während alle weiteren Komponenten nur in geringen Konzentrationen nachweisbar waren. Dieses Ergebnis deckt sich mit mehreren Literaturangaben, in denen ein hoher Anteil an Carvacrol als typisches Merkmal des ätherischen Öls von *O. dubium* beschrieben wird (Demirbolat et al., 2024; Turgut et al., 2017; Xylia et al., 2024). Mit einem Carvacrol-Gehalt von über 90 % lassen sich die hier untersuchten Proben dem von Turgut et al. (2017) beschriebenen Carvacrol-Chemotyp zuordnen, der für *O. dubium*-Populationen auf Zypern charakteristisch ist. In der Literatur werden Carvacrol und Thymol als zentrale Bestandteile des ätherischen Öls von *O. syriacum* beschrieben (El-Alam et al., 2019; Lukas et al., 2009; Mesmar et al., 2022). Die in dieser Arbeit untersuchten Proben zeigten einen hohen Gehalt an Carvacrol (durchschnittlicher Anteil von 68,1 %), während Thymol (durchschnittlicher Anteil von 0,1 %) nur in Spuren nachweisbar war. Diese Zusammensetzung entspricht dem von Lukas et al. (2009) beschriebenen Carvacrol-Chemotyp, der neben einem Thymol-Chemotyp sowie einem Carvacrol-Thymol-Mischtyp in natürlichen Beständen aus Syrien identifiziert wird. Die Analyse der wenigen *O. onites*-Proben stellte Carvacrol klar als Hauptbestandteil des ätherischen Öls (durchschnittlich 98 %) heraus. Dies entspricht weitgehend Angaben aus der Literatur. Mehrere Studien, darunter jene von Ozkan et al. (2010) und Tomsuk et al. (2024), identifizieren Carvacrol als dominante Komponente, die mit über 80 % Anteil im ätherischen Öl von türkischem *O. onites* vorherrscht. Anders als von Stefanaki et al. (2015) für griechischen *O. onites* beschrieben, kann kein erhöhter Gehalt an Borneol (hier nur durchschnittlich 0,3 %) nachgewiesen werden. Die Untersuchung der ätherischen ÖlkompONENTEN der wenigen *O. vulgare*-Proben gab bereits einen Hinweis auf das variable Ätherisch-Öl-Profil dieser *Origanum*-Art. Kosakowska et al. (2024), Lombrea et al. (2020) und Lukas et al. (2015) beschreiben in ihren Arbeiten das breite chemische Spektrum von *O. vulgare* und unterscheiden zwischen ölreichen, durch phenolische Komponenten (Carvacrol und Thymol, sowie *p*-Cymen und γ -Terpinen) dominierte *O. vulgare*-Varianten (südliches Verbreitungsgebiet mit mediterranem Klima, z.B. Griechenland) und ölrärmeren, von Sabinyl-Verbindungen, azyklischen Terpenen (meist Linalool) und Sesquiterpenen (z.B. Germacren) geprägten Chemotypen (Zentral- und Nordeuropa). Geht man von den durchschnittlichen relativen Flächenprozent der hier analysierten Proben aus, zeigte sich eine für zentraleuropäische Bestände typische Verteilung der Komponenten. Während der Carvacrol-Gehalt mit einem durchschnittlichen Anteil von 9,2 % vergleichsweise niedrig war und Thymol in nur sehr geringen

Konzentrationen nachgewiesen (0,1 %) wurde, waren größere Anteile von Sabinyl-Verbindungen (v. A. Sabinen mit durchschnittlich 15,6 % und cis-Sabinenhydrat mit durchschnittlich 14,9 %), Germacren-D (Sesquiterpen) und Borneol enthalten, was zum Profil der schon beschriebenen, ölärmeren Chemotypen passt (Kosakowska et al., 2024; Lombrea et al., 2020; Lukas et al., 2015). Betrachtet man den maximalen Anteil einiger Komponenten wird deutlich, dass sowohl innerhalb als auch zwischen den *O. vulgare*-Populationen große Unterschiede auftraten, was den Beschreibungen von Lukas et al. (2015) entspricht. Neben der Betrachtung der chemotypischen Ätherisch-Öl-Profile der untersuchten *Origanum*-Arten, wird in der Literatur auch dem Erntezeitpunkt des jeweiligen Pflanzenmaterials ein gewisser Einfluss auf die quantitative und qualitative Zusammensetzung der volatilen Inhaltsstoffe zugeschrieben (El-Alam et al., 2019; Sakkas & Papadopoulou, 2017; Turgut et al., 2017). Während die Proben von *O. majorana*, *O. dubium* und *O. vulgare* Mitte Juni bzw. im Juli und August im Freiland geerntet wurden, war das Pflanzenmaterial von kultiviertem *O. majorana*, *O. syriacum* und *O. vulgare* eine Herbsternte (Ende Oktober/Anfang November) aus dem Glashaus. Nachdem die Ergebnisse der gaschromatographischen Untersuchung auf Basis von Komponentengruppen und relativen Flächenprozent diskutiert werden und die Pflanzenproben trotz unterschiedlichem Erntezeitpunkt größtenteils zur Vollblüte geerntet wurden, sollte der Erntezeitpunkt keinen großen Einfluss auf die hier definierten Hauptchemotypen haben. Für eine aussagekräftige und differenzierte Beurteilung der Auswirkungen des Erntezeitpunkts müssten ausführlichere Analysen der Bestände, geerntet zu unterschiedlichen Zeitpunkten/Vegetationsperioden, durchgeführt werden, wobei andere wichtige Einflussfaktoren wie der geographische Standort ebenfalls berücksichtigt werden müssen. Für den Vergleich von Blatt- und Blütenmaterial wurden zunächst die Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse herangezogen. Die Auswertung aller untersuchten *Origanum*-Proben nach Blatt und Blüte (Abb. 46), ergab α -Pinen, β -Phellandren, Camphen, Sabinen und Myrcen als prägende Inhaltsstoffe des Blattes. Während beispielsweise Oezer (2020) α -Pinen ebenfalls tendenziell im Blattmaterial lokalisiert, zeigen andere Quellen abweichende Ergebnisse (Shafaghat, 2011; Verma et al. 2012) oder erwähnen diesen Inhaltsstoff nicht (Oğuz & Kaplan, 2023). Ein vergleichbares Bild zeigt sich für das Blütenmaterial; im Loading Plot (Abb. 46) ließen *trans*-Sabinenhydrat, *cis*-Sabinenhydrat, *cis*-Sabinenhydrat-Acetat, Bicyclogermacren und δ -Elemen eine Tendenz zur Blüte erkennen, was nur teilweise mit bisherigen Angaben aus der Literatur übereinstimmt. Oezer (2020), Verma et al. (2012) und Oğuz &

Kaplan (2023) ordnen *cis*-Sabinenhydrat eher dem Blattmaterial zu, während nur Shafaghat (2011) die vorliegenden Ergebnisse bestätigt und *cis*-Sabinenhydrat verstärkt im Blütenmaterial nachweist. *Trans*-Sabinenhydrat wird ebenfalls überwiegend dem Blattmaterial zugeordnet (Oezer, 2020; Verma et al. 2012) oder bleibt unerwähnt (Oğuz & Kaplan, 2023; Shafaghat, 2011), was erneut im Widerspruch zu den Erkenntnissen dieser Arbeit steht. Für einen differenzierteren Blick auf die einzelnen *Origanum*-Arten wurden die jeweiligen Loading-Plots von Blatt (Abb. 44) und Blüte (Abb. 45) separat betrachtet, wobei klar wurde, dass die Abgrenzung der Arten anhand des Blattmaterials deutlich besser möglich war. Auf Basis des Blattmaterials ließen sich die Hauptchemotypen gut abgrenzen, beim Blütenmaterial waren die Arten sehr ähnlich, was eine Unterscheidung erschwerte.

Betrachtet man die Unterschiede der beiden Pflanzenorgane auf funktioneller Ebene, lassen sich einige der erhaltenen Ergebnisse gut erklären, während sich andere nur bedingt einordnen lassen. Sekundäre Pflanzenstoffe übernehmen eine zentrale Rolle in der chemischen Interaktion von Pflanzen mit ihrer Umwelt. Besonders volatile organische Verbindungen (VOCs) sind dabei relevant, da sie sowohl der Anlockung von Bestäubern und anderen nützlichen Organismen, als auch der Abwehr von Fraßfeinden und Pathogenen dienen (Boncan, et al., 2020; Muhlemann et al., 2014; Slavković & Bendahmane, 2023). Die untersuchten *Origanum*-Arten zeigten beispielsweise für α -Pinen relativ niedrige mittlere Flächenanteile (max. 2,3 % in Kulturmajoran), diese war jedoch konstant im Blatt höher als in der Blüte. Eine Studie von Slavković & Bendahmane (2023) beschreibt α -Pinen als toxisch und abschreckend gegenüber potenziellen Schädlingen, weshalb die vermehrte Anreicherung im Blatt einen Schutzmechanismus gegen Herbivoren darstellen könnte. Da im Blütenmaterial kaum α -Pinen enthalten war, scheint es nur eine untergeordnete Rolle bei der Anlockung von Bestäubern zu spielen. Zu den Terpenoiden gehören auch Sesquiterpene, wie beispielsweise Bicyclogermacren. Die mittleren Anteile von Bicyclogermacren in den untersuchten Arten waren relativ niedrig (max. 3,3 % im Blütenmaterial von *O. vulgare*) und die Verteilung zwischen den Pflanzenorganen uneinheitlich. Für wilden *O. majorana* wurde überwiegend ein höherer Gehalt in der Blüte nachgewiesen, was sich mit Erkenntnissen von Slavković & Bendahmane (2023) in Einklang bringen lässt, die Bicyclogermacren als Lockstoff für Bestäuber beschreiben. Anders bei γ -Terpinen; bei wildem *O. majorana* konnten in sämtlichen Proben höhere mittlere Gehalte in den

Blättern festgestellt werden. Für *O. syriacum* wurden ebenfalls durchgehend höhere durchschnittliche γ -Terpinen-Anteile in den Blättern festgestellt, besonders auffällig waren Population 13 und 16 mit mittleren Anteilen von 15,0 % bzw. 27,3 %. Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu Erkenntnissen von Slavković & Bendahmane (2023), die γ -Terpinen allgemein vorrangig in der Blüte lokalisieren und mit einer anziehenden Wirkung auf Insekten in Verbindung bringen. Ergänzend berichten Boncan et al. (2020), dass γ -Terpinen auch als Lockstoff für herbivore Insekten fungieren kann, was das Risiko eines Schädlingsbefalls erhöht. Die teilweise von Literaturangaben abweichenden Erkenntnisse verdeutlichen die Komplexität pflanzlicher Kommunikationsmechanismen und deuten darauf hin, dass die genaue Funktion bestimmter volatile organic compounds (VOCs) artspezifisch bzw. genetisch und/oder kontextabhängig sein könnte. Um ein besseres Verständnis für die spezifischen Kommunikationsstrategien zu bekommen, sind weitere Studien, beispielsweise mit dem Fokus auf unterschiedlichen Pflanzenorganen nötig.

6. Fazit

Die vorliegende Arbeit zur chemischen Charakterisierung und Differenzierung flüchtiger und nicht-flüchtiger Inhaltsstoffe von fünf *Origanum*-Arten (wilder und kultivierter *O. majorana*, wilder und kultivierter *O. syriacum* sowie *O. dubium*, *O. onites* und *O. vulgare*) hat gezeigt, dass sowohl die Polyphenolzusammensetzung als auch die Zusammensetzung des ätherischen Öls innerartlich und zwischenartlich sehr variabel ist und unter Einflussnahme genetischer Komponenten sowie diverser Umweltfaktoren stehen dürfte. Mittels HPLC wurden bisher sieben polyphenolische Verbindungen (Arbutin, Hydrochinon, Kaffeesäure, Luteolin-7-diglucuronid, Rosmarinsäure, Apigenin-7-glucuronid, Lithospermasäure) identifiziert, deren Konzentrationen nicht nur zwischen den Arten und innerhalb der Populationen, sondern teilweise auch zwischen verschiedenen Pflanzenorganen (Blätter vs. Blüten) variierten. Anhand ihres Polyphenol-Profiles ließen sich insbesondere *O. majorana* und *O. vulgare* deutlich voneinander abgrenzen. Vor allem das in *O. vulgare* enthaltene Luteolin-7-diglucuronid und Hydrochinon trugen zur Unterscheidung gegenüber Majoran bei, während in *O. majorana* mehrere bisher nicht identifizierte Verbindungen ausschlaggebend waren. Die Identifikation weiterer Peaks ist in Arbeit und könnte noch differenziertere Ergebnisse zur Variabilität der polyphenolischen Inhaltsstoffe in *Origanum*-Arten liefern. Die Analyse der ätherischen Ölkomponten der einzelnen *Origanum*-Arten bestätigt die in der Literatur gut dokumentierte Vielfalt und Variabilität innerhalb der Gattung *Origanum*. In wildem und kultiviertem Majoran dominierten Sabinyl-Verbindungen (z.B. *cis*-Sabinenhydrat) während Cymyl-Verbindungen (v.a. Carvacrol) die Ätherischen Öle von *O. dubium*, *O. syriacum* und *O. onites* prägten. Eine Unterscheidung auf Basis der ätherischen Ölkomponten ließ sich daher nur für *O. majorana* und, bedingt für *O. vulgare*, treffen in denen der Biosyntheseweg für Cymyl-Verbindungen kaum bzw. wenig aktiv ist und hohe bzw. höhere Anteile an Sabinyl-Verbindungen vorkommen. Innerhalb der Arten zeigte sich, dass sich bestimmte Komponenten bevorzugt in den Blättern, andere hingegen in den Blüten anreicherten, was auf die Relevanz der volatilen organischen Verbindungen in Bezug auf die ökologische Funktionalität (z.B. Lockstoff für Insekten) hinweisen könnte. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das hier erarbeitete Inhaltsstoffprofil (sowohl volatile als auch nicht-volatile Komponenten) bedingt eine Unterscheidung zwischen den untersuchten *Origanum*-Arten ermöglichte. *O. onites*, *O. dubium* und *O. syriacum* konnten weder anhand ihres Polyphenol-Profiles, noch ihrer ätherischen Ölkomponten gut voneinander getrennt werden, während sich *O.*

majorana sowohl von Kulturmajoran als auch von *O. vulgare* deutlich abgrenzen ließ. Aufgrund zahlreicher Einflussfaktoren war es schwierig, ein umfassendes, verlässliches und allgemein gültiges Schema der chemischen Zusammensetzung der *Origanum*-Arten abzuleiten. Dennoch ließen sich beispielsweise bei *O. vulgare* und *O. majorana* einzelne Peaks identifizieren, die ausschließlich in diesen Arten vorkommen und als charakteristische Merkmale herausgearbeitet werden konnten. Während für die ätherischen Ölkomponenten bereits eine umfangreiche Literaturbasis vorliegt, fehlen vergleichbare Informationen zu polyphenolischen Bestandteilen weitgehend. Im Rahmen dieser Arbeit konnte ein umfassender Datensatz erstellt werden, der insbesondere die weniger untersuchten polyphenolischen Verbindungen erfasst und neue Einblicke in deren Vorkommen innerhalb verschiedener *Origanum*-Arten sowie einzelner Populationen ermöglicht.

Literaturverzeichnis

- Adams, R. P. (2007). *Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Quadrupole Mass Spectroscopy*, 4. Edition. USA: Allured Publishing Corp.
- Alwafa, R. A., Mudalal, S., & Mauriello, G. (2021). *Origanum syriacum* L. (Za'atar), from Raw to Go: A Review. *Plants*, 10(5), pp. 1001, <https://doi.org/10.3390/plants10051001>.
- Amoah, S. K. (2016). Rosmarinic Acid-Pharmaceutical and Clinical Aspects. *Planta medica*, 82(5), pp. 388-406, <https://doi.org/10.1055/s-0035-1568274>.
- aprentas. (2016). *Flüssigchromatographie, HPLC. In Laborpraxis Band 3: Trennungsmethoden* (Vol. 6). (aprentas, Ed.) Schweiz: Springer International Publishing AG.
- Arnold, N., Bellomaria, B., Valentini, G., & Arnold, H. J. (1993). Comparative Study of the Essential Oils from Three Species of *Origanum* Growing Wild in the Eastern Mediterranean Region. *Journal of Essential Oil Research*, 5(1), pp. 71-77, <https://doi.org/10.1080/10412905.1993.9698172>.
- Assaf, M. H. (1987). Preliminary Study of Phenolic Glycosides from *Origanum majorana*; Quantitative Estimation of Arbutin; Cytotoxic Activity of Hydrochinone. *Planta medica*, pp. 343-345.
- Badawy, A. E.-M. (2020). The essential oil and its main constituents of *Origanum syriacum* ssp. *sinaicum* grown wild in Saint Katherine Protectorate, South Sinai, Egypt. *Al-Azha Journal of Agricultural Research*, 45(1), pp. 116-131, [10.21608/ajar.2020.126664](https://doi.org/10.21608/ajar.2020.126664).
- Bansleben, A. C. (2011). *Verfahren zur Identifizierung aromabedeutsamer flüchtiger Verbindungen in Kräutern mittels gaschromatographischer, sensorischer und chemometrischer Methoden am Beispiel von Oregano*. Retrieved from Opendata Uni Halle: <http://dx.doi.org/10.25673/367>
- Baser, K. H. C., Özek, T., Tümen, G., & Sezik, E. (1993). Composition of the essential oils of Turkish *Origanum* species with commercial importance. *Journal of Essential Oil Research*, 5(6), pp. 619-623, <https://doi.org/10.1080/10412905.1993.9698294>.
- Benelli, G., Pavela, R., Petrelli, R., Cappellacci, L., Bartolucci, F., Canale, A., & Maggi, F. (2019). *Origanum syriacum* subsp. *syriacum*: From an ingredient of Lebanese 'manoushe' to a source of effective and eco-friendly botanical

- insecticides. *Industrial Crops & Products*(134), pp. 26-32,
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.055>.
- Boncan, D. A. T., Tsang, S. S. K., Li, C., Lee, I. H. T., Lam, H. M., Chan, T. F., & Hui, J. H. L. (2020). Terpenes and Terpenoids in Plants: Interactions with Environment and Insects. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(19), pp. 7382–19, <https://doi.org/10.3390/ijms21197382>.
- Breitmaier, E. (1999). *Terpene: Aromen, Düfte, Pharmaka, Pheromone*. Bonn: Teubner Stuttgart.
- Chaves, J. O., de Souza, M. C., da Silva, L. C., Lachos-Perez, D., Torres-Mayanga, P. C., Machado, A. P. D. F., Forster-Carneiro, T, Vázquez-Espinosa, M., Gonzáles-de-Peredo, A. V., Barbero, G. F., & Rostagno, M. A. (2020). Extraction of Flavonoids From Natural Sources Using Modern Techniques. *Frontiers in chemistry* (8), pp. 507887, <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.507887>.
- Damašius, J. V. (2014). Fast screening of the main phenolic acids with antioxidant properties in common spices using on-line HPLC/UV/DPPH radical scavenging assay. *Analytical Methods*, 6(8), pp. 2774-2779, <https://doi.org/10.1039/c3ay41703d>.
- Davis, P. H. (1984). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands* (Vol. 8). Edingburgh: Edingburgh University Press.
- de Medeiros Gomes, J., Cahino Terto, M. V., Golzio do Santos, S., Sobral da Silva, M., & Fachine Tavares, J. (2021). Seasonal Variations of Polyphenols Content, Sun Protection Factor and Antioxidant Activity of Two Lamiaceae Species. *Pharmaceutics*, 13(1), pp. 110-116, <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13010110>.
- Demirbolat, İ., Karık, Ü., & Işcan, İ. (2024). Effect of cultivation and geographical location on chemical composition and enantiomeric distribution in linalool-rich *Origanum dubium* Boiss. essential oils obtained at different growth stages. *Journal of Essential Oil Research*, 36(4), pp. 1-7, <https://doi.org/10.1080/10412905.2024.2404085>.
- Di Ferdinando, M., Brunetti, C., Agati, G., & Tattini, M. (2014). Multiple functions of polyphenols in plants inhabiting unfavorable Mediterranean areas. *Environmental and Experimental Botany*(103), pp. 107-116, <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.09.012>.

- El-Alam, I., Zgheib, R., Iriti, M., El Beyrouthy, M., Hattouny, P., Verdin, A., Fontaine, J., Chahine, R., Lounés-Hadj Sahraoui, A., & Makhoul, H. (2019). *Origanum syriacum* Essential Oil Chemical Polymorphism According to Soil Type. *Foods*, 8(3), pp. 90, <https://doi.org/10.3390/foods8030090>.
- Farhat, M. T. (2012). Analysis of the Essential Oil Compounds of *Origanum Syriacum* L. *European Pharmaceutical Journal*, 59(2), pp. 6-14, <https://doi.org/10.2478/v10219-012-0020-x>.
- Fecka, I., & Turek, S. (2008). Determination of polyphenolic compounds in commercial herbal drugs and spices from Lamiaceae: thyme, wild thyme and sweet marjoram by chromatographic techniques. *Food Chemistry*, 108(3), pp. 1039-1053, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.035>.
- González, M. D., Lanzelotti, P. L., & Luis, C. M. (2017). Chemical Fingerprinting by HPLC-DAD to Differentiate Certain Subspecies of *Origanum vulgare* L. *Food analytical methods*, 10(5), pp. 1460-1468, <https://doi.org/10.1007/s12161-016-0704-2>.
- Google Earth. (2024). Retrieved 03.11.2024, from <https://www.google.com/intl/de/earth/about/>
- Graves, S., Piepho, H. P., Selzer, L., & Dorai-Raj, S. (2015). *multcompView: Visualizations of paired comparisons*. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=multcompView>, Version 0.1-8 [R-Paket]
- Gutiérrez-Grijalva, E., Picos-Salas, M., Leyva-López, N., Criollo-Mendoza, M., Vazquez-Olivo, G., & Heredia, J. (2017). Flavonoids and Phenolic Acids from Oregano: Occurrence, Biological Activity and Health Benefits. *Plants*, 7(1), pp. 2, <https://doi.org/10.3390/plants7010002>.
- Hänsel, R., & Dingmann, T. (2010). Das medizinische Potential von Pflanzenstoffen. In O. Sticher, J. Heilmann, I. Zündorf, R. Hänsel, & E. Steinegger, *Hänsel / Sticher Pharmakognosie Phytopharmazie*. Berlin, Heidelberg: Springer Lehrbuch, https://doi-org.uaccess.univie.ac.at/10.1007/978-3-642-00963-1_7.
- Hanoğlu, A. Y. (2024). Chemical compositions of the essential oils of endemic wild *Origanum majorana* var. *tenuifolium* collected from three different locations during flowering and post-flowering phases in North Cyprus, Multivariate Statistical Analyses. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 27(2), pp. 525-536, <https://doi.org/10.1080/0972060X.2024.2330551>.

- Harrell, F. E. (2024). *Hmisc: Harrell miscellaneous*. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=Hmisc>, Version 5.1-1 [R-Paket]
- Harris, D. C., Werner, G., & Werner, T. (2014). *Gaschromatographie*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, https://doi.org/10.1007/978-3-642-37788-4_24.
- Hincha, D. K., Oliver, A. E. & Crowe, J. H. (1999). Liquid composition determines the effects of arbutin on the stability of membranes. *Biophysical Journal*, 77, 2024-2034.
- Hitl, M., Kladar, N., Gavarić, N., & Božin, B. (2021). Rosmarinic Acid–Human Pharmacokinetics and Health Benefits. *Planta Medica*, 87(4), pp. 273-282, <https://doi.org/10.1055/a-1301-8648>.
- Hu, W., Wang, X., Wu, L., Shen, T., Ji, L., Zhao, X., Si, C. L., Jiang, Y., & Wang, G. (2016). Apigenin-7-O- β -d-glucuronide inhibits LPS-induced inflammation through the inactivation of AP-1 and MAPK signaling pathways in RAW 264.7 macrophages and protects mice against endotoxin shock. *Food & Function*, 7(2), pp. 1003-1013, <https://doi.org/10.1039/C5FO01212K>.
- Ietswaart, J. H. (1980). II. Taxonomic Treatment. In *A taxonomic Revision of the Genus Origanum (Labiatae)*. Leiden, Nederlande: Brill, https://doi-org.uaccess.univie.ac.at/10.1163/9789004628052_005.
- Ietswaart, J. H. (1985). *Origanum*. In R. D. Meikle, & R. D. Meikle (Ed.), *Flora of Cyprus* (Vols. 2, S. 1262-1270). Kew: The Bentham-Moxon Trust.
- Jan, S., Rashid, M., Abd Allah, E. F., & Ahmad, P. (2020). Biological Efficacy of Essential Oils and Plant Extracts of Cultivated and Wild Ecotypes of *Origanum vulgare* L. *BioMed Research International*(2020), pp. 1-16, <https://doi.org/10.1155/2020/8751718>.
- Kakouri, E., Daferera, D., Kanakis, C., Revelou, P. K., Kaparakou, E. H., Dervisoglou, S., Perdikis, D., Tarantilis, P. A. (2022). *Origanum majorana* Essential Oil—A Review of Its Chemical Profile and Pesticide Activity. *Life*, 12(12), pp. 1982, <https://doi.org/10.3390/life12121982>.
- Karmokar, A., Marczylo, T. H., Cai, H., Steward, W. P., Gescher, A. J., & Brown, K. (2012). Dietary intake of rosmarinic acid by Apc mice, a model of colorectal carcinogenesis: Levels of parent agent in the target tissue and effect on adenoma development. *Molecular Nutrition & Food Research*, 56(5), pp. 775-783, <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100617>.

- Kassambara, A., & Mundt, F. (2020). *factoextra: Extract and visualize the results of multivariate data analyses*. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>, Version 1.0.7 [R-Paket]
- Kirschner, J. (1981). J. H. Iestwaart A taxonomic revision of the genus *Origanum* (Labiatae). *Folia Geobotanika & Phytotaxonomica*, 16(4), pp. 390, <https://doi.org/10.1007/BF02852419>.
- Kosakowska, O., Węglarz, Z., Styczyńska, S., Synowiec, A., Gniewosz, M., & Bączek, K. (2024). Activity of Common Thyme (*Thymus vulgaris* L.), Greek Oregano (*Origanum vulgare* L. ssp. *hirtum*), and Common Oregano (*Origanum vulgare* L. ssp. *vulgare*) Essential Oils against Selected Phytopathogens. *Molecules*, 29(19), pp. 4617, <https://doi.org/10.3390/molecules29194617>.
- Lê, S. J. (2008). *FactoMineR: An R package for multivariate analysis*. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=FactoMineR>, Version 2.8 [R-Paket]
- Lombrea, A., Antal, D., Ardelean, F., Avram, S., Pavel, I. Z., Vlaia, L., Mut, A. M., Diaconeasa, Z., Dehelean, C. A., Soica, C., & Danciu, C. (2020). A Recent Insight Regarding the Phytochemistry and Bioactivity of *Origanum vulgare* L. Essential Oil. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(24), pp. Art. Nr. 9653, <https://doi.org/10.3390/ijms21249653>.
- López-Lázaro, M. (2009). Distribution and Biological Activities of the Flavonoid Luteolin. *Mini reviews in medicinal chemistry*(9), pp. 31-59, <https://doi.org/10.2174/138955709787001712>.
- Lukas, B., Schmiderer, C., Franz, C., & Novak, J. (2009). Composition of Essential Oil Compounds from Different Syrian Populations of *Origanum syriacum* L. (Lamiaceae). *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(4), pp. 1362-1365, <https://doi.org/10.1021/jf802963h>.
- Lukas, B. (2010 a). Molecular and phytochemical analyses of the genus *Origanum* L. (Lamiaceae). Wien, <https://phaidra.univie.ac.at/o:1269718>.
- Lukas, B., Rose, S., & Novak, J. (2010 b). Oregano or marjoram? The enzyme γ -terpinene synthase affects chemotype formation in the genus *Origanum*. *Israel Journal of Plant Sciences*, 58(3-4), pp. 211-220, <https://doi.org/10.1560/IJPS.58.3-4.211>.

- Lukas, B., Schmiderer, C., Mitteregger, U., & Novak, J. (2010 c). Arbutin in majoram and oregano. *Food Chemistry*, 121(1), pp. 185-190, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.028>.
- Lukas, B., Schmiderer, C., & Novak, J. (2013). Phytochemical diversity of *Origanum vulgare* L. subsp. *vulgare* (Lamiaceae) from Austria. *Elsevier- Biochemical Systematics and Ecology*, 50, pp. 106-113, <https://doi.org/10.1016/j.bse.2013.03.037>.
- Lukas, B., Schmiderer, C., & Novak, J. (2015). Essential oil diversity of European *Origanum vulgare* L. (Lamiaceae). *Phytochemistry*(119), pp. 32-40, <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.09.008>.
- Martins, N., Barros, L., Santos-Buelga, C., Henriques, M., Silva, S., & Ferreira, I. C. F. R. (2014). Decoction, infusion and hydroalcoholic extract of *Origanum vulgare* L.: Different performances regarding bioactivity and phenolic compounds. *Food Chemistry*(158), pp. 73-80, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.099>.
- McLafferty, F. W. (1989). *The Wiley/NBS Registry of Mass Spectral Data* (Vol. 3). USA.
- Meikle, R. (1985). *Flora of Cyprus*. 2. Royal Botanic Gardens, Kew: The Bentham-Moxon Trust.
- Mendiburu, F. d. (2020). *agricolae: Statistical procedures for agricultural research*. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>, Version 1.3-3 [R-Paket]
- Mesmar, J., Abdallah, R., Badran, A., Maresca, M., & Baydoun, E. (2022). *Origanum syriacum* Phytochemistry and Pharmacological Properties: A Comprehensive Review. *Molecules*, 27(13), pp. 4272, <https://doi.org/10.3390/molecules27134272>.
- Milevskaya, V. V. (2017). Determination of phenolic compounds in medicinal plants from the Lamiaceae family. *Journal of Analytical Chemistry (New York, N.Y.)*, 72(3), pp. 342-348, <https://doi.org/10.1134/S1061934817030091>.
- Muhlemann, J. K., Klempien, A., & Dudareva, N. (2014). Floral volatiles: from biosynthesis to function. *Plant, Cell and Environment*, 37(8), pp. 1936-1949, <https://doi.org/10.1111/pce.12314>.

- Ning, B. Z. (2017). Luteolin-7-diglucuronide attenuates isoproterenol-induced myocardial injury and fibrosis in mice. *Acta Pharmacologica Sinica*, 38(3), pp. 331-341, <https://doi.org/10.1038/aps.2016.142>.
- Novak, J., Lukas, B., & Franz, C. (2008). The Essential Oil Composition of Wild Growing Sweet Marjoram (*Origanum majorana* L., Lamiaceae) from Cyprus – Three Chemotypes. *Journal of Essential Oil Research*, 20(4), pp. 339-341, <https://doi.org/10.1080/10412905.2008.9700026>.
- Oğuz, I. K., & Kaplan, M. (2023). Effect of different natural habitats on the variation in essential oil components of *Origanum onites* L. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 36(2), pp. 95-100, <https://doi.org/10.29136/mediterranean.1162903>.
- Oezer, Z. (2020). Chemical Composition and Antioxidant Activities of Leaf and Flower Essential Oils of *Origanum onites* L. (Lamiaceae) Growing in Mount Ida- Turkey. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 7(3), pp. 813-820, <https://doi.org/10.18596/jotcsa.780334>.
- Oniga, I., Pușcaș, C., Silaghi-Dumitrescu, R., Olah, N. K., Sevastre, B., Marica, R., Marcus, I., Sevastre-Berghian, A. C., Benedec, D., Pop, C. E., & Hanganu, D. (2018). *Origanum vulgare* ssp. *vulgare*: Chemical Composition and Biological Studies. *Molecules*, 23(8), pp. 2077, <https://doi.org/10.3390/molecules23082077>.
- Ozkan, G., Baydar, H., & Sabri, E. (2010). The influence of harvest time on essential oil composition, phenolic constituents and antioxidant properties of Turkish oregano (*Origanum onites* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(2), pp. 205-209, <https://doi.org/10.1002/jsfa.3788>.
- Pandino, G., Lombardo, S., Lo Monaco, A., & Mauromicale, G. (2013). Choice of time of harvest influences the polyphenol profile of globe artichoke. *Journal of Functional Foods*, 5(4), pp. 1822-1828, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.09.001>.
- Paudel, P. N., Satyal, P., Satyal, R., Setzer, W. N., & Gyawali, R. (2022). Chemical Composition, Enantiomeric Distribution, Antimicrobial and Antioxidant Activities of *Origanum majorana* L. Essential Oil from Nepal. *Molecules*, 27(18), pp. 6136, <https://doi.org/10.3390/molecules27186136>.
- Peterson, B. G. (2023). *PerformanceAnalytics: Econometric tools for performance and risk analysis*. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=PerformanceAnalytics>, Version 2.0.4 [R-Paket]

- Pico, Y. (2012). *Chemical Analysis of Food: Techniques and Applications*. Amsterdam: Academic Press- e-book, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384862-8.02001-X>.
- Posit team*. (2024). (PBC, Boston, MA) Retrieved from RStudio: Integrated Development Environment for R. Posit Software: <http://www.posit.co/>.
- Prinsi, B. M., Negrini, N., Faoro, F., & Espen, L. (2019). Insight into Composition of Bioactive Phenolic Compounds in Leaves and Flowers of Green and Purple Basil. *Plants*, 9(1), pp. 22, <https://doi.org/10.3390/plants9010022>.
- PubChem Compound Summary for CID 440936, Arbutin*. (2024). Retrieved Oktober 21, 2024, from National Center for Biotechnology Information: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Arbutin>
- PubChem Compound Summary for CID 5281792, Rosmarinic acid*. (2024). Retrieved 12 2024, from National Center for Biotechnology Information: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Rosmarinic-acid>
- PubChem Compound Summary for CID 18818, Sabinen*. (2025). Retrieved 1 2025, from National Center for Biotechnology Information: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sabin>
- PubChem Compound Summary for CID 3314, Eugenol*. (2025). Retrieved 1 2025, from National Center for Biotechnology Information: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Eugenol>.
- PubChem Compound Summary for CID 6549, Linalool, (+/-)-*. (2025). Retrieved 1 2025, from National Center for Biotechnology Information: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Linalool>.
- PubChem Compound Summary for CID 6552009, Borneol*. (2025). Retrieved 1 2025, from National Center for Biotechnology Information: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/d-Borneol>.
- PubChem Compound Summary for CID 6989, Thymol*. (2025). Retrieved 1 2025, from National Center for Biotechnology Information: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Thymol>.
- R Core Team*. (2021). (RFoundation for Statistical Computing, Vienna, Austria) Retrieved from R: A language and environment for statistical computing: <https://www.R-project.org/>.

- Raal, A. G. (2024). Yield, Composition, and Chemotypes of Essential Oils from *Origanum vulgare* L. Aerial Parts Cultivated in Different European Countries. *Agronomy*, 14(12), pp. 3046, <https://doi.org/10.3390/agronomy14123046>.
- Ryu, D. H., Cho, J. Y., Yang, S. H., & Kim, H. Y. (2023). Effects of Harvest Timing on Phytochemical Composition in Lamiaceae Plants under an Environment-Controlled System. *Antioxidants*(12), pp. 1909, <https://doi.org/10.3390/antiox12111909>.
- Sakkas, H., & Papadopoulou, C. (2017). Antimicrobial Activity of Basil, Oregano, and Thyme Essential Oils. *Journal of Microbiology. and Biotechnology*, 27(3), pp. 429-438, <https://doi.org/10.4014/jmb.1608.08024>.
- Schijlen, E. G., Ric de Vos, C. H., van Tunen, A. J., & Bovy, A. G. (2004). Modification of flavonoid biosynthesis in crop plants. *Phytochemistry (Oxford)*, 65(19), pp. 2631-2648, <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.07.028>.
- Seca, A., & Trendafilova, A. (2022). *Isolation and Identification of Bioactive Secondary Metabolites*. MDPI - Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Shafaghat, A. (2011). Antibacterial activity and GC/MS analysis of the essential oils from flower, leaf and stem of *Origanum vulgare* ssp. *viride* growing wild in north-west Iran. *Natural product communications*, 6(9), pp. 1351-1352.
- Sharifi-Rad, M., Berkay Yılmaz, Y., Antika, G., Salehi, B., Tumer, T. B., Kulandaisamy Venil, C., Das, G., Patra, J. K., Karazhan, N., Akram, M., Iqbal, M., Imran, M., Sen, S., Acharya, K., Dey, A., & Sharifi-Rad, J. (2021). Phytochemical constituents, biological activities, and health-promoting effects of the genus *Origanum*. *Phytotherapy Research*, 35(1), pp. 95-121, <https://doi.org/10.1002/ptr.6785>.
- Shehadeh, M., Jaradat, N., Al-Masri, M., Zaid, A. N., Hussein, F., Khasati, A., Suaifan, G., & Darwish, R. (2019). Rapid, cost-effective and organic solvent-free production of biologically active essential oil from Mediterranean wild *Origanum syriacum*. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 27(5), pp. 612-618, <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2019.03.001>.
- Silva, M. L. (2022). Hypoglycemic effect of rosmarinic acid-rich infusion (RosCE) from *Origanum vulgare* in alloxan-induced diabetic rats. *Natural Product Research*, 36(17), pp. 4525-4531, <https://doi.org/10.1080/14786419.2021.1990282>.
- Slavković, F., & Bendahmane, A. (2023). Floral Phytochemistry: Impact of Volatile Organic Compounds and Nectar Secondary Metabolites on Pollinator

- Behavior and Health. *Chemistry & Biodiversity*, 20(4), p. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202201139>.
- Soltani, S., Shakeri, A., Iranshahi, M., & Boozari, M. (2021). A Review of the Phytochemistry and Antimicrobial Properties of *Origanum vulgare* L. and Subspecies. *Iranian journal of pharmaceutical research: IJPR*, 20(2), pp. 268-285, <https://doi.org/10.22037/ijpr.2020.113874.14539>.
- Stefanaki, A. C. (2016, 1). The Oregano plants of Chios Island (Greece): Essential oils of *Origanum onites* L. growing wild in different habitats. *Industrial Crops and Products*, 82, pp. 107-113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.11.086>.
- Tavakoli, M. T. (2022). Effects of ecological factors on phenolic compounds in *Salvia multicaulis* Vahl (Lamiaceae). *Biochemical Systematics and Ecology*(104), p. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2022.104484>.
- Tepe, B., Cakir, A., & Tepe, A. (2016). Medicinal Uses, Phytochemistry, and Pharmacology of *Origanum onites* (L.): A Review. *Chemistry & Biodiversity*, 13(5), pp. 504-520, <https://doi.org/10.1002/cbdv.201500069>.
- Tomsuk, Ö., Kuete, V., Sivas, H., & Kürkçüoğlu, M. (2024). Effects of essential oil of *Origanum onites* and its major component carvacrol on the expression of toxicity pathway genes in HepG2 cells. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 24(1), pp. <https://doi.org/10.1186/s12906-024-04571-6>.
- Turgut, K., Özyigit, Y., Tütüncü, B., & Sözmen, E. (2017). Agronomic and chemical performance of selected *Origanum dubium* Boiss clones for industrial use. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 41(4), pp. 272-277, <https://doi.org/10.3906/tar-1612-75>.
- Vasantha Rupasinghe, H. P. (2011). Ultra-sonication-assisted solvent extraction of quercetin glycosides from “Idared” apple peels. *Molecules*, 16(12), pp. 9783, <https://doi.org/10.3390/molecules16129783>.
- Verma, R. S. (2012). Compositional Analysis of the Leaf and Flower Essential Oils of Indian Oregano (*Origanum vulgare* L.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 15(4), pp. 651-656, <https://doi.org/10.1080/0972060X.2012.10644100>.
- Wei, T., & Simko, V. (2021). *corrplot: Visualization of a correlation matrix*. Retrieved from <https://github.com/taiyun/corrplot>, Version 0.92 [R-Paket]

- Xiao, N. (2018). *ggsci: Scientific journal and sci-fi themed color palettes for ggplot2*. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=ggsci>, Version 3.0.0 [R-Paket]
- Xylia, P., Chrysargyris, A., & Tzortzakis, N. (2024). *Origanum dubium* Boiss. (Cypriot oregano) Use for the Preservation of Fresh Spearmint Quality and Safety. *Agronomy*(14), pp. 1252, <https://doi.org/10.3390/agronomy14061252>.
- Zhang, S. H. (2022). Carvacrol Suppresses Human Osteosarcoma Cells via the Wnt/ β -Catenin Signaling Pathway. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*, 22(9), pp. 1714-1722, 10.2174/1871520621666210901111932.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1- Strukturformel Isopreneinheit (Bansleben, 2011).....	7
Abb. 2- Strukturen ausgewählter Mono- und Sesquiterpene (Bansleben, 2011).	8
Abb. 3- Strukturformeln charakteristischer Moleküle der Sabinyl- und α -Terpineol- Chemotypen (Bansleben, 2011).	9
Abb. 4- Strukturformeln ausgewählter Inhaltsstoffe von syr (PubChem Compound Summary for CID 3314, Eugenol, 2025 und PubChem Compound Summary for CID 6989, Thymol, 2025).....	10
Abb. 5- Strukturformel von Borneol aus (PubChem Compound Summary for CID 6552009, Borneol, 2025).	11
Abb. 6- Strukturformeln von Sabinen und Linalool (PubChem Compound Summary for CID 18818, Sabinen, 2025 und PubChem Compound Summary for CID 6549, Linalool, (+/-)-, 2025).....	12
Abb. 7- Rosmarinsäure (PubChem Compound Summary for CID 5281792, Rosmarinic acid, 2024) und Arbutin (PubChem Compound Summary for CID 440936, Arbutin, 2024).	13
Abb. 8- Schematischer Aufbau einer HPLC-Anlage (aprentas, 2016).	15
Abb. 9- Schematischer Aufbau einer GC-Anlage (Harris et al., 2014).	17
Abb. 10- Herkunft Pflanzenmaterial, Israel (syr).	19
Abb. 11- Herkunft Pflanzenmaterial, Österreich (O. vulgare ssp. vulgare).	20
Abb. 12- Herkunft Pflanzenmaterial, Zypern (maj und dub).	21
Abb. 13- Chromatogramm bei 280 nm, Pfeil 1: Arbutin, Pfeil 2: Rosmarinsäure, ab Pfeil 3 viele enge Peaks.....	25
Abb. 14- Chromatogramm bei 330 nm, Pfeil 1: Luteolin-7-diglucuronid in vul, Pfeil 2: Lithospermsäure in vul, Pfeil 3: Apigenin-7-glucuronid.	26
Abb. 15- Beispielchromatogramme maj nach Blatt (L)/Blüte (F).	30
Abb. 16- Beispielchromatogramme cmaj nach Blatt (L)/Blüte (F).	31
Abb. 17- Beispielchromatogramme dub nach Blatt (L)/Blüte (F).	32
Abb. 18- Beispielchromatogramme syr nach Blatt (L)/Blüte (F).	33
Abb. 19- Beispielchromatogramme vul Blatt (L).	34
Abb. 20- Hauptkomponentenanalyse aller Messungen auf Basis der relativen Peakfläche (%) und der 119 analysierten Peaks. Die Farben definieren die	

Art-Zugehörigkeit. Die Ellipsen markieren den Raum, in dem 95 % der Proben einer definierten Gruppe zu liegen kommen.	37
Abb. 21- Loading-Plot mit dem Quadrat-Kosinus ($\cos^2$) der 20 wichtigsten Inhaltsstoffe.	38
Abb. 22- Hauptkomponentenanalyse auf Basis der relativen Peakflächen (%) und der 20 (nach $\cos^2$) am besten repräsentierten Komponenten. Die Farben definieren die Art-Zugehörigkeit. Die Ellipsen markieren den Raum, in dem 95 % der Proben einer definierten Gruppe zu liegen kommen.	39
Abb. 23- Loading-Plot mit dem Einfluss der 20 wichtigsten Inhaltsstoffe.....	39
Abb. 24- Biplot Gegenüberstellung Blatt/Blüte von vul. Dargestellt sind die 20 Komponenten, die nach $\cos^2$ am besten repräsentiert werden.	40
Abb. 25- Biplot Gegenüberstellung Blatt/Blüte von maj. Dargestellt sind die 20 Komponenten, die nach $\cos^2$ am besten repräsentiert werden.	41
Abb. 26- Biplot Gegenüberstellung Blatt/Blüte von kultiviertem maj. Dargestellt sind die 20 Komponenten, die nach $\cos^2$ am besten repräsentiert werden.	41
Abb. 27- Biplot Gegenüberstellung Blatt/Blüte von dub. Dargestellt sind die 20 Komponenten, die nach $\cos^2$ am besten repräsentiert werden.	42
Abb. 28- Biplot Gegenüberstellung Blatt/Blüte von syr. Dargestellt sind die 20 Komponenten, die nach $\cos^2$ am besten repräsentiert werden.	43
Abb. 29- Rosmarinsäure-Gehalt ($\mu\text{g}/\text{mg}$ TG) in Blatt- und Blütenproben nach Arten (maj=grün, cmaj=rot, dub=orange, syr=gelb, oni=grün, vul=blau). Arten mit demselben Buchstaben unterscheiden sich laut Tukey honestly significant difference (HSD) Test nicht signifikant ($\alpha=0,005$) voneinander.	44
Abb. 30- Rosmarinsäure-Gehalt ($\mu\text{g}/\text{mg}$ TG) in Blatt- und Blütenproben nach Arten und Populationen (maj=grün, cmaj=rot, dub=orange, syr=gelb, oni=grün, vul=blau). Populationen mit demselben Buchstaben unterscheiden sich laut Tukey honestly significant difference (HSD) Test nicht signifikant ($\alpha=0,005$) voneinander.	47
Abb. 31- Rosmarinsäure-Gehalt der Arten/Populationen nach Blatt (L)/Blüte (F).....	50
Abb. 32- Arbutin-Gehalt ($\mu\text{g}/\text{mg}$ TG) in Blatt- und Blütenproben nach Arten (maj=grün, cmaj=rot, dub=orange, syr=gelb, oni=grün, vul=blau). Arten mit demselben Buchstaben unterscheiden sich laut Tukey honestly significant difference (HSD) Test nicht signifikant ($\alpha=0,005$) voneinander.	51

Abb. 33- Arbutin-Gehalt ($\mu\text{g}/\text{mg}$ TG) in Blatt- und Blütenproben nach Arten und Populationen (maj=grün, cmaj=rot, dub=orange, syr=gelb, oni=grün, vul=blau). Populationen mit demselben Buchstaben unterscheiden sich laut Tukey honestly significant difference (HSD) Test nicht signifikant ($\alpha=0,005$) voneinander.	53
Abb. 34- Arbutin-Gehalt der Arten/Populationen nach Blatt (L)/Blüte (F).	55
Abb. 35- Apigenin-7-glucuronid-Gehalt ($\mu\text{g}/\text{mg}$ TG) in Blatt- und Blütenproben nach Arten (maj=grün, cmaj=rot, dub=orange, syr=gelb, oni=grün, vul=blau). Arten mit demselben Buchstaben unterscheiden sich laut Tukey honestly significant difference (HSD) Test nicht signifikant ($\alpha=0,005$) voneinander.	56
Abb. 36- Apigenin-7-glucuronid-Gehalt ($\mu\text{g}/\text{mg}$ TG) in Blatt- und Blütenproben nach Arten und Populationen (maj=grün, cmaj=rot, dub=orange, syr=gelb, oni=grün, vul=blau). Populationen mit demselben Buchstaben unterscheiden sich laut Tukey honestly significant difference (HSD) Test nicht signifikant ($\alpha=0,005$) voneinander.	60
Abb. 37- Apigenin-7-glucuronid-Gehalt der Arten/Populationen nach Blatt (L)/Blüte (F).	63
Abb. 38- Lithospermsäure-Gehalt ($\mu\text{g}/\text{mg}$ TG) in Blatt- und Blütenproben nach Arten (maj=grün, cmaj=rot, dub=orange, syr=gelb, oni=grün, vul=blau). Arten mit demselben Buchstaben unterscheiden sich laut Tukey honestly significant difference (HSD) Test nicht signifikant ($\alpha=0,005$) voneinander.	64
Abb. 39- Lithospermsäure- Gehalt ($\mu\text{g}/\text{mg}$ TG) in Blatt- und Blütenproben nach Arten und Populationen (maj=grün, cmaj=rot, dub=orange, syr=gelb, oni=grün, vul=blau). Populationen mit demselben Buchstaben unterscheiden sich laut Tukey honestly significant difference (HSD) Test nicht signifikant ($\alpha=0,005$) voneinander.	66
Abb. 40- Lithospermsäure-Gehalt der Arten/Populationen nach Blatt (L)/Blüte (F). .	68
Abb. 41- Luteolin-7-diglucuronid-Gehalt ($\mu\text{g}/\text{mg}$ TG) in Blatt- und Blütenproben nach Arten (maj=grün, cmaj=rot, dub=orange, syr=gelb, oni=grün, vul=blau). Arten mit demselben Buchstaben unterscheiden sich laut Tukey honestly significant difference (HSD) Test nicht signifikant ($\alpha=0,005$) voneinander.	69
Abb. 42- Luteolin-7-diglucuronid- Gehalt ($\mu\text{g}/\text{mg}$ TG) in Blatt- und Blütenproben nach Population (maj=grün, cmaj=rot, dub=orange, syr=gelb, oni=grün, vul=blau). Populationen mit demselben Buchstaben unterscheiden sich laut Tukey	

honestly significant difference (HSD) Test nicht signifikant ($\alpha=0,005$) voneinander.	70
Abb. 43- Luteolin-7-diglucuronid-Gehalt der Populationen nach Blatt (L)/Blüte (F). .	70
Abb. 44- PCA Blatt nach Arten, basierend auf den relativen Flächenprozent aller detektierter Ätherisch-Ölkomponenten und zugehöriger Loading-Plot.....	75
Abb. 45- PCA Blüte nach Arten, basierend auf den relativen Flächenprozent aller detektierter Ätherisch-Ölkomponenten und zugehöriger Loading-Plot.....	77
Abb. 46- PCA Blatt/Blüte, basierend auf den relativen Flächenprozent aller detektierter Ätherisch-Ölkomponenten und zugehöriger Loading-Plot.....	78

Tabellenverzeichnis

Tab. 1- Unterscheidungsmerkmale der vier Arten in Sektion <i>Majorana</i> (Demirbolat et al., 2024; Ietswaart, 1980; Meikle, 1985; Lukas, 2010 a; Abbildung aus Ietswaart, 1980).	3
Tab. 2- Verwendete Geräte.	22
Tab. 3- Verwendete Extraktions-Chemikalien.....	22
Tab. 4- Gradientenverlauf HPLC.	24
Tab. 5- 43 ausgewählte Peaks (relative Flächenprozent >5 in mindestens einer der inkludierten Arten), RT (min) und Wellenlänge (WL) der Datenaufnahme.	27
Tab. 6- Bisher identifizierte Peaks (Peaknummer (Peak), aufgenommene Wellenlänge (WL), Retentionszeit (RT), Maximum (max) der relativen Flächenprozent in den einzelnen Arten) in den Proben von <i>maj</i> und <i>cmaj</i> , <i>dub</i> , <i>csyr</i> und <i>syr</i> , <i>oni</i> und <i>vul</i> . Der jeweils höchste durchschnittliche Anteil ist hervorgehoben.....	36
Tab. 7- Die wichtigsten Öl-Komponenten (>5 Flächenprozent in mind. einer analysierten Probe), RT, Mittelwert (MW) der relativen Flächenprozent in Blatt und Blüte der einzelnen Arten und in Klammer Maximalwert (max) der relativen Flächenprozent (%).	73

Formelverzeichnis

Formel 1- Berechnung des Retentionsindex (I ... Kovats Retentionsindex, n ... Anzahl der Kohlenstoffatome des ersten n-Alkans, N ... Anzahl der Kohlenstoffatome des zweiten n-Alkans, unknown ... unbekannter Peak, t_r ... Retentionszeit). ..	29
Formel 2- Berechnung der relativen Flächenprozent (a ... Summe aller Peakflächen eines Individuums, b ... Fläche jedes einzelnen Peaks eines Individuums)	34

Abkürzungsverzeichnis

CoA	Coenzym A
DP	Doppelpeak
GC	Gaschromatographie
HPLC	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie
LoD	Limit of Detection (Nachweisgrenze)
LoQ	Limit of Quantification (Bestimmungsgrenze)
Min.	Minuten
MW	Mittelwert
n. i.	Nicht identifiziert
nm	Nanometer
PCA	principal component analysis
RT	Retentionszeit
Sek.	Sekunden
SOP	standard operating procedure
stabw	Standardabweichung
TG	Trockengewicht
VOC	volatile organic compound

Anhang A

Tab. A1- *Origanum*-Populationen aus Wildsammlung in Österreich und auf Zypern mit Sammeldatum, Art, Herkunft und Zusatzbemerkungen.

	Population	Datum	Art	Herkunftsangabe	Zusatzbemerkung					
M0009	maj_CY01	11.06.23	O. majorana L. var tenuifolium	Evretou Stausee, Staumauer	nur auf der hinteren Staumauer Richtung NW (große Kalksteinbrocken) viele Pflanzen zwischen mächtigem Ginster, Zistrosen manche Individuen sehr groß, scheinen recht alt zu sein nicht immer klar ob nur ein Individuum besammelt wurde					
M0010										
M0011										
M0012										
M0013										
M0014										
M0015										
M0016										
M0017										
M0018										
M0019										
M0020										
M0021	maj_CY02	11.06.23	O. majorana L. var tenuifolium	Brunnen nahe Miliou	direkt oberhalb des Brunnens zwei Pflanzen an der Straßenböschung keine weiteren Pflanzen in unmittelbarer Nähe gefunden steiniger "Kalkmugel" über abgeernteten Feldern, Weingärten, Ziegenstall					
M0022	maj_CY03	11.06.23	O. majorana L. var tenuifolium	NO von Kathikas						
M0023										
M0024										
M0025										
M0026										
M0027	maj_CY04	11.06.23	O. majorana L. var tenuifolium	Agios Dimitrianos	Steinige Straßenböschung unmittelbar neben der Einfahrt zur Kirche "Durchstich" durch einen Kalkmugel, die Pflanzen links und rechts der Straße					
M0028										
M0029										
M0030										
M0031										
M0032										
M0033										
M0034										
M0035										
M0036										
M0037										
M0038										
M0039	maj_CY05	11.06.23	O. majorana L. var tenuifolium	SO von Simou	Straßenböschung bergauf "oberhalb" der großen Villa					
M0040										
M0041										
M0042										
M0043										
M0044										
M0045										
M0046										
M0047										
M0048										
M0049										
M0050										
M0051				oberhalb der Ortschaft nahe Kirchlein, große Maschinenhalle	steinige Straßenböschung					
M0052										
M0053										
M0054										
M0055										
M0053a	maj_CY06	12.06.23	O. majorana L. var tenuifolium	Akamas Halbinsel	Adonis-Trail die erste Probe relativ früh entlang des Pfades im dichteren Kiefernwald die anderen an der Kreuzung Forststraße/NaturlehrpfadSteinige Straßenböschung über der Forststraße oberhalb des Bachlaufes Aleppo-Kiefern beschatten, Zistrosen sehr zahlreich im Kiefernwald, tw. sehr große Individuen!					
M0054a										
M0055a										
M0056										
M0057										
M0058										
M0059										
M0060										
M0061										
M0062										
M0063										
M0064										
M0065	dub_CY07	12.06.23	O. dubium	O von Gialia	zuerst Forststraße entlang und von dort auf den Nature-Trail gewechselt Nadelwald, sehr viele Zistrosen RIESENZECKEN					
M0066										
M0067										
M0068										
M0069										
M0070										
M0071										
M0072										
M0073										
M0074										
M0075										
M0076										
M0077	dub_CY08	12.06.23	O. dubium	S von Pomos	Abzweigung von der Küstenstraße führt in ein kleines aufgelassenes Gärtchen einige Individuen an der Felswand, einige am Gärtchenrand					
M0078										
M0079										
M0080										
M0081										
M0082										
M0083						maj_CY09	13.06.23	O. majorana L. var tenuifolium	Zw. Kelokedara und Samiou	knapp oberhalb von K., Straßenrand/Böschung einige Kehren weiter, "Steinbruch"/steinige Böschung entlang der Straße hier erst im Aufblühen
M0084										
M0085										
M0086										
M0087										
M0088										
M0089										
M0090										
M0091										
M0092										
M0093	maj_CY10	13.06.23	O. majorana L. var tenuifolium	Zw. Agios Nikolaos und Mandria	auf dem Weg nach Troodos, Pop. "mit Aussicht" steiniger Berghang unterhalb der Straße, Straßenböschung tw. Zwischen Wein					
M0094										
M0095										
M0096										
M0097										

M0098					
M0099					
M0100					
M0101					
M0102					
M0103					
M0104					
M0105	dub_CY11	14.06.23	O. dubium	Stavros tis Psokas	hinter Stavros die Straße entlang, steinige Straßenböschung bzw. nahe und hinter den Leitplanken auf der anderen Straßenseite
M0106					fast alle größeren Individuen tw. Beschnitten
M0107					
M0108					
M0109					
M0110					
M0111					
M0112					
M0113					
M0114					
M0115					
M0116					
M0117	maj_CY12	15.06.23	O. majorana L. var tenuifolium	Nordzypern, W. von Lapidos	Küstenstraße, Steilküste am felsigen Straßenrand/Straßenböschung/Straßengraben bzw. nach hinten in der stacheligen Macchia starke Ziegen-Beweidung, viele Individuen abgefressen Viel C. parviflorus und creticus
M0118					
M0119					
M0120					
M0121					
M0122					
M0123					
M0124					
M0125					
M0126					
M0127					
M0128					
M0129					
M0130					
M0131	maj_CY13	15.06.23	O. majorana L. var tenuifolium	Nordzypern, Pendaktylos	entlang eines ausgeschilderten Wanderwegs der direkt von der Straße abzweigt Richtung Kyrenia-Besucherzentrum weiße Steine aber rötlich-braune Erde die ersten Nummern nahe einer geebneten Fläche (Parkplatz?) etwas weiter oben viele Jungpflanzen auf den Schutthaufen um die geschobene Fläche
M0132					
M0133					
M0134					
M0135					
M0136					
M0137					
M0138					
M0139					
M0140					einige Kehren weiter unten am Beginn des Wanderweges
M0141					
M0142					
M0143	maj_CY14	16.06.23	O. majorana L. var tenuifolium	N von Pano Lefkara	"Kalkmugel" mit Kirchlein überhalb der Stadt Oberhalb einer großen Villa am Hang und einige Meter weiter
M0144					
M0145					
M0146					
M0147					
M0148					
M0149					
M0150				unterhalb der großen Villa	unterhalb der großen Villa am Wasserreservoir/Zisterne
M0151					ein "seltsamer" (dubium?) dabei!?!?
M0152					
M0153				einige Kehren die Straße runter	schon einige km weiter entlang der Straße Richtung Autobahn, steiniger "Durchstich" für die Straße
M0154					riesige (sehr alte?) Büsche!!!
M0155					
M0156		27.06.23	O. majorana	MxO, PM1	
M0157	x		O. majorana	MxO, PM2	
M0158		27.06.23	O. majorana	MxO, PM3	
M0159	x		O. majorana	MxO, PM4	
M0160		27.06.23	O. majorana	MxO, PM5	
M0161	x		O. vulgare ssp. vulgare	MxO, PF4	
M0162		06.07.23	O. vulgare ssp. vulgare	MxO, PF5	
M0163		06.07.23	O. majorana x vulgare	MxO, F1-2	Vollblüte, Blätter merkwürdig hellgrün (bräunliche Pilzspuren?) Vollblüte, Blattfarbe auffällig, hellrosa Blüten (leichte Pilzspuren an den Knospen?) Vollblüte, Blattfarbe nicht so auffällig gräulich wie bei F1-2, hellrosa Blüten wirken etwas dunkler als bei F1-2, leichte Pilzspuren an den Knospen
M0164		06.07.23	O. majorana x vulgare	MxO, F1-3	Vollblüte, optisch wie O. majorana (Blattfarbe ev. etwas zu grünlich?), Blüten weiß im Abblühen
M0165		06.07.23	O. majorana x vulgare	MxO, F1-3 x M	im Abblühen, gräulichere Blätter als M0166
M0166		06.07.23	O. majorana x vulgare	MxO, F1->AL->7xM, 16	
M0167		06.07.23	O. majorana x vulgare	MxO, F1->AL->7xM, ?	
M0168		06.07.23	O. vulgare ssp. vulgare	BOKU, Lehrpflanzenbeete hinter Guttenberghaus	Vollblüte, hellrosa, grüne Brakteen
M0169		06.07.23	O. vulgare ssp. vulgare	BOKU, Lehrpflanzenbeete hinter Guttenberghaus	Vollblüte, etwas dunkleres rosa, Brakteen am oberen Ende rosa verfärbt
M0170		06.07.23	O. vulgare ssp. vulgare	BOKU, Oregano-Gruppe vor dem Gitterhaus	Beginnende Blüte, dunkleres rosa, Brakteen am oberen Ende dunkel rosa verfärbt, dunkelste der drei Varianten
M0171	vul_AT01	11.07.23	O. vulgare ssp. vulgare	Donauinsel, nahe Kraftwerk, Monolith	"Wilde Wiese", natürliches Vorkommen oder durch Baustelle hier?, Viele Lamiaceae, Salbei, die erste Pflanze noch auf dem Weg dahin, Weg-Waldrand
M0172		11.07.23			alle anderen Pflanzen an der beschriebenen Stelle
M0173		11.07.23			Vollblüte
M0174		11.07.23			Herbarbeleg keinem speziellen Individuum zuordnbar
M0175		11.07.23			
M0176		11.07.23			
M0177		11.07.23			
M0178		11.07.23			
M0179		11.07.23			
M0180	vul_AT02	16.07.23	O. vulgare ssp. vulgare	Petronell, östliches Ortsende, Brache zwischen Siedlung und Bahngleis	Brache zwischen Feldern und Weingärten, Wiese schon sehr trocken
M0181		16.07.23			dazwischen viele Spots mit Oregano drin,
M0182		16.07.23			hell- bis dunkelrosa, dazwischen reinweiße (zum ersten Mal in Österreich gesehen)
M0183		16.07.23			Vollblüte
M0184		16.07.23			

M0185		16.07.23			
M0186		16.07.23			
M0187		16.07.23			
M0188		16.07.23			
M0189		16.07.23			
M0190		16.07.23			
M0191		16.07.23			
M0192		16.07.23			
M0193		16.07.23			
M0194		16.07.23			
M0195		16.07.23			
M0196	vul_AT03	17.07.23	O. vulgare ssp. vulgare	Hundsheim, alter Römersteinbruch	die ersten Proben direkt im Steinbruch (sehr trocken), dann entlang der Steinbruchkante nach oben zwischen altem und neuem Steinbruch bis zur Abzweigung nach Hainburg Vollblüte
M0197		17.07.23			
M0198		17.07.23			
M0199		17.07.23			
M0200		17.07.23			
M0201		17.07.23			
M0202		17.07.23			
M0203		17.07.23			
M0204		17.07.23			
M0205		17.07.23			
M0206		17.07.23			
M0207		17.07.23			
M0208		17.07.23			
M0209		17.07.23			
M0210		17.07.23			
M0211		17.07.23			
M0212		17.07.23			
M0213		26.07.23	O. vulgare ssp. unknown	BOKU, Oregano-Gruppe vor dem Gitterhaus Petronell, Solarfeldgasse, Brache hinter dem Kulturhaus	Vollblüte, rein-weiße Variante (wie in Petronell?),
M0214		30.07.23	O. vulgare ssp. vulgare	Mitterbach, Gemeindealpe, Mittelstation neben Alpen-Kart-Startplatz	Vollblüte, relativ niedrig und groß-blütig
M0215	vul_AT04	31.07.23			
M0216					
M0217					
M0218		01.08.23		Mitterbach, zwischen Konradhaus und Erlauf-Stausee	
M0219					
M0220		02.08.23		Mariazell, Bürgeralpe	
M0221					
M0222					
M0223					
M0224					
M0225					
M0226					
M0227					
M0228					
M0229		03.08.23		Mitterbach - Josefsberg, Alexs Alpaka-Ranch	
M0230					
M0231					
M0232					
M0233					
M0234				Richtung Bahnhof Wienerbruck, Mountainbike-Strecke zum Bahnhof	

Tab. A2- Im Glashaus herangezogene *Origanum*-Populationen mit Art, Samenherkunft, Seehöhe, Sammeljahr und Anmerkungen.

aktuelle Laufnummer	Art	Herkunft	Seehöhe (m)	Sammeljahr	Anmerkungen
CMAJ-01	Majorana hortensis Moench		x	2004	IPK Gatersleben, MAJ 1/89
CMAJ-02	Majorana hortensis Moench		x	2004	IPK Gatersleben, MAJ 2/83
CMAJ-03	O. majorana		x	2022	Magic Garden Seeds, abgefüllt am 13. 4. 2021
CMAJ-04	O. majorana		x	2022	Austrosaat AG Wien, abgefüllt 2023
CMAJ-05	O. majorana		x	2021	Kiepenkerl, abgefüllt Wirtschaftsjahr 2021/2022
CMAJ-06	O. majorana		x	2021	ReinSaat St. Leonhard, abgefüllt Wirtschaftsjahr 2022, Keimf. : mind. 81% bis 2024
CMAJ-07	O. majorana		x	2021	Sativa Rheinau AG, abgefüllt 2021/2022, Lotno/N.Rif:24551
CMAJ-08	O. majorana		x	2021	saamenmaier, Traiskirchen, Partie-Nr. 01, Wirtschaftsjahr der Verschließung: 2022
CMAJ-09	O. majorana		x	2022	Rühlemann's Kräuter und Duftpflanzen, ORI06x, abgefüllt September 2022
CMAJ-10	O. majorana		x	1990	Altes Saatgut Hannes, SIAIS IA, V(U?)agliata IUAC
CMAJ-11	O. majorana		x	1987	Altes Saatgut Hannes, Saatgut Linz
CMAJ-12	O. majorana		x	1994	Altes Saatgut Hannes, Frankreich, C
CMAJ-13	O. majorana		x	x	Altes Saatgut Hannes, kleinblättrig, 98635 MH15, 807/5
CMAJ-14	O. majorana		x	Jul.03	Altes Saatgut Hannes, Kleinblatt
CMAJ-15	O. majorana		x	1999	Saatgut Hannes Hybridsorte, ms4*, ms = männlich steril Saatgut Hannes Hybridsorte, ms4*x MH01
CMAJ-16	O. majorana		x	1999	MH01 basiert auf Sorte 'Mara' (Reselektion)
CMAJ-17	O. majorana		x	1999	Saatgut Hannes Hybridsorte, ms01
CMAJ-18	O. majorana		x	1999	Saatgut Hannes Hybridsorte, MH4*
CMAJ-19	O. majorana		x	1999	Saatgut Hannes Hybridsorte, ms06
CMAJ-20	O. majorana		x	1999	Saatgut Hannes Hybridsorte, ms15
CSYR-01	O. syriacum			2022	Magic Garden Seeds, Syrischer Oregano "Zatar", Bio, abgefüllt am 5. 10. 2022
CSYR-02	O. syriacum			2021	Sativa Rheinau AG, abgefüllt 2021/2022, Lotno/N.Rif:24966a
CSYR-03	O. syriacum			2022	Rühlemann's Kräuter und Duftpflanzen, ORI05x, abgefüllt Nov. 2022
SYR-01	O. syriacum var. Bevanii	Syrien	598	Jul.06	Eigensammlung Hannes Syrienreise Pop. 1, Vollblüte
SYR-02	O. syriacum	Syrien		Jul.06	Eigensammlung Hannes Syrienreise Pop. 2, Vollblüte
SYR-03	O. syriacum var. Bevanii	Syrien	525	Jul.06	Eigensammlung Hannes Syrienreise Pop. 3, Vollblüte
SYR-04	O. syriacum var. Bevanii	Syrien	347	Jul.06	Eigensammlung Hannes Syrienreise Pop. 4, Vollblüte
SYR-05	O. syriacum	Syrien	523	Jul.06	Eigensammlung Hannes Syrienreise Pop. 5, Vollblüte
SYR-06	O. syriacum	Syrien	283	Jul.06	Eigensammlung Hannes Syrienreise Pop. 6, Vollblüte
SYR-07	O. syriacum	Syrien	538	Jul.06	Eigensammlung Hannes Syrienreise Pop. 7, Vollblüte
SYR-08	O. syriacum var. Syriacum	Syrien	860	Jul.06	Eigensammlung Hannes Syrienreise Pop. 8, Vollblüte
SYR-09	O. syriacum var. Bevanii	Syrien	937	Jul.06	Eigensammlung Hannes Syrienreise Pop. 9+10 irrtümlich vereinigt, Vollblüte
	O. syriacum	Syrien	575	Jul.06	Eigensammlung Hannes Syrienreise Pop. 9+10 irrtümlich vereinigt, Vollblüte
SYR-10	O. syriacum var. Bevanii	Syrien	270	Jul.06	Eigensammlung Hannes Syrienreise Pop. 11, Vollblüte
SYR-11	O. syriacum L.	Israel	x	x	Botanischer Garten Berlin Dahlem, IL-0-B-0970895, Coastal plain (Bot. Garten Tel Aviv)
SYR-12	Majorana syriaca (L.) Kostel.	Israel	745	2011-07-02	Agr. Research Organization, The Volcani Institute, Israel Gene Bank; 24475
SYR-13	Majorana syriaca (L.) Kostel.	Israel	1360	2009-10-11	Agr. Research Organization, The Volcani Institute, Israel Gene Bank; 23264
SYR-14	Majorana syriaca (L.) Kostel.	Israel	247	2009-08-26	Agr. Research Organization, The Volcani Institute, Israel Gene Bank; 23133
SYR-15	Majorana syriaca (L.) Kostel.	Israel	660	2008-10-30	Agr. Research Organization, The Volcani Institute, Israel Gene Bank; 21971
SYR-16	Majorana syriaca (L.) Kostel.	Israel	117	2008-10-20	Agr. Research Organization, The Volcani Institute, Israel Gene Bank; 21964
SYR-17	Majorana syriaca (L.) Kostel.	Israel	616	2007-07-23	Agr. Research Organization, The Volcani Institute, Israel Gene Bank; 20710
SYR-18	Majorana syriaca (L.) Kostel.	Israel	190	2007-10-01	Agr. Research Organization, The Volcani Institute, Israel Gene Bank; 20414
SYR-19	Majorana syriaca (L.) Kostel.	Israel	760	2005-06-02	Agr. Research Organization, The Volcani Institute, Israel Gene Bank; 19249
SYR-20	Majorana syriaca (L.) Kostel.	Israel	340	2004-01-01	Agr. Research Organization, The Volcani Institute, Israel Gene Bank; 19060
SYR-21	Majorana syriaca (L.) Kostel.	Israel	880	2004-01-01	Agr. Research Organization, The Volcani Institute, Israel Gene Bank; 19057

Tab. A3- Peakliste HPLC: Relative Flächenprozent des ganzen Datensatzes bzw. den einzelnen Arten mit identifizierten Komponenten, Retentionszeit (RT), Wellenlänge und den jeweils min. und max. Werte.

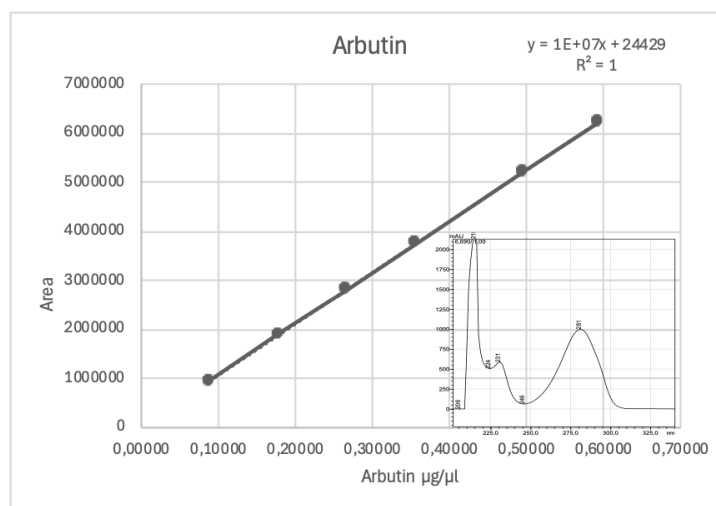
Peak neu		Komponente	RT	Aufnahme	UV max	% min	% max	Min maj	Max maj	Min cmaj	Max cmaj	Min dub	Max dub	Min cysr	Max cysr	Min syr	Max syr	Min oni	Max oni	Min vul	Max vul
007_Arbutin	1	1 Nicht identifiziert	3,096	280 nm	-	0,00	1,85	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,85	
	2	2 N.I.	3,490	280 nm	-	0,00	3,51	0,00	1,45	0,00	3,51	0,00	0,00	0,00	1,01	0,00	0,82	0,00	0,37	0,00	
	3	3 N.I.	3,740	354 nm	-	0,00	0,67	0,00	0,17	0,00	0,67	0,00	0,07	0,07	0,17	0,00	0,32	0,00	0,06	0,00	
	4	4 N.I.	4,607	280 nm	-	0,00	0,37	0,00	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	5	5 N.I.	5,171	280 nm	-	0,00	1,01	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,01	
	6	6 N.I.	6,386	280 nm	282	0,00	9,42	0,00	8,66	0,00	9,42	0,00	1,56	0,00	1,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	7	7 Arbutin	6,619	280 nm	282	0,00	38,45	0,26	32,87	1,13	38,45	0,00	5,77	0,00	5,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	8	8 N.I.	7,702	280 nm	-	0,00	1,80	0,00	1,80	0,00	1,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	9	9 N.I.	8,926	280 nm	-	0,00	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	
	10	10 N.I.	9,232	280 nm	-	0,00	3,39	0,00	1,62	0,00	3,39	0,00	0,00	0,00	0,94	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	
012_HQ	11	11 N.I.	9,443	280 nm	-	0,00	2,36	0,00	0,48	0,00	2,36	0,00	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	12	12 Hydrochinon	9,713	330 nm	-	0,00	2,17	0,00	0,46	0,00	0,75	0,00	0,28	0,00	0,77	0,00	1,11	0,00	0,99	0,00	
	13	13 N.I.	10,527	280 nm	282	0,00	1,09	0,00	0,77	0,00	0,48	0,00	1,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	14	14 N.I.	10,631	330 nm	-	0,00	0,19	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	
	15	15 N.I.	11,017	330 nm	-	0,00	0,15	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,01	
	16	16 N.I.	11,237	330 nm	-	0,00	2,28	0,00	0,66	0,00	2,28	0,00	0,17	0,00	0,74	0,00	0,97	0,00	0,00	0,28	
	17	17 N.I.	11,483	280 nm	-	0,00	1,74	0,00	1,26	0,00	1,17	0,00	1,74	0,00	0,99	0,00	1,62	0,00	0,00	0,29	
	18	18 N.I.	11,515	280 nm	284	0,00	3,53	0,00	3,53	0,00	0,45	0,00	0,60	0,00	0,23	0,00	0,63	0,00	0,00	0,38	
	19	19 N.I.	11,937	280 nm	282	0,00	4,72	0,00	1,12	0,00	2,18	0,00	1,11	0,00	0,42	0,00	0,00	0,00	0,59	0,00	
	20	20 N.I.	12,253	354 nm	348	0,00	1,68	0,00	1,68	0,00	0,50	0,09	1,22	0,00	0,09	0,00	0,24	0,00	0,00	0,44	
034_KS	21	21 N.I.	12,558	280 nm	-	0,00	2,16	0,00	0,58	0,00	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,16	0,00	0,00	1,63	
	22	22 N.I.	13,084	330 nm	-	0,00	1,26	0,00	0,51	0,00	0,39	0,00	0,76	0,00	0,00	0,00	1,12	0,00	0,61	0,00	
	23	23 N.I.	13,362	280 nm	-	0,00	7,48	0,00	5,06	0,00	1,74	0,00	4,44	0,00	0,48	0,00	4,16	0,00	7,48	0,00	
	24	24 N.I.	13,481	330 nm	271/334	0,00	15,77	0,00	8,80	0,00	6,39	2,48	15,12	1,16	15,77	2,33	14,96	0,00	0,29	0,00	
	25	25 N.I.	13,813	330 nm	-	0,00	1,80	0,00	0,35	0,00	0,29	0,00	0,72	0,00	0,00	0,00	0,73	0,00	0,93	0,00	
	26	26 N.I.	14,063	280 nm	-	0,00	1,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,16	
	27	27 N.I.	14,931	280 nm	281	0,00	2,97	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00	0,92	0,00	1,22	0,00	1,46	0,00	0,36	0,00	
	28	28 N.I.	15,092	280 nm	286	0,00	7,26	0,00	1,95	0,00	7,26	0,00	1,72	0,00	1,11	0,00	1,27	0,00	2,35	0,00	
	29	29 N.I.	15,391	354 nm	-	0,00	0,33	0,00	0,33	0,00	0,28	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,11	0,00	
	30	30 N.I.	15,900	280 nm	281	0,00	0,88	0,00	0,45	0,00	0,00	0,00	0,88	0,00	0,00	0,00	0,69	0,00	0,63	0,00	
038_Lut-7-digluconide	31	31 N.I.	15,919	354 nm	-	0,00	0,75	0,00	0,75	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	
	32	32 N.I.	16,476	354 nm	-	0,00	0,63	0,00	0,63	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,30	0,00	0,51	0,00	0,00	0,00	
	33	33 N.I.	16,923	354 nm	-	0,00	0,93	0,00	0,93	0,00	0,33	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,25	
	34	34 Kaffeesäure	17,635	330 nm	328	0,00	8,06	0,00	1,11	0,00	8,06	0,00	0,54	0,59	4,84	0,00	5,77	0,26	1,00	0,00	
	35	35 N.I.	18,320	354 nm	349	0,00	1,90	0,00	1,90	0,00	0,63	0,00	0,88	0,00	0,00	0,00	0,39	0,00	0,00	0,20	
	36	36 N.I.	18,460	354 nm	344	0,00	1,03	0,00	1,03	0,00	0,46	0,00	0,53	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00	0,14	
	37	37 N.I.	19,722	354 nm	-	0,00	0,47	0,00	0,40	0,00	0,16	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	
	38	38 Luteolin-7-digluconid	20,309	354 nm	-	0,00	31,62	0,00	0,54	0,00	0,30	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	1,11	
	39	39 N.I.	20,800	280 nm	-	0,00	1,32	0,00	1,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	40	40 N.I.	21,265	280 nm	-	0,00	35,91	0,00	0,48	0,00	0,00	0,00	0,46	0,00	0,00	0,00	0,63	0,00	0,00	35,91	
041_Vitamin	41	41 N.I.	21,432	354 nm	-	0,00	2,16	0,00	0,68	0,00	0,57	0,00	0,80	0,00	1,60	0,13	2,16	0,00	0,00	0,14	
	42	42 N.I.	21,896	280 nm	-	0,00	9,12	0,00	1,87	0,00	0,78	0,00	2,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,00	
	43	43 N.I.	22,119	330 nm	-	0,00	1,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,66	
	44	44 N.I.	22,880	330 nm	296/328	0,00	5,95	0,00	5,95	0,00	3,12	0,00	3,13	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	45	45 N.I.	23,380	354 nm	344	0,00	2,36	0,00	1,75	0,00	2,36	0,00	1,59	0,00	0,00	0,00	0,28	0,11	1,09	0,00	
	46	46 N.I.	24,178	354 nm	-	0,00	5,64	0,00	0,91	0,00	0,70	0,00	1,10	0,07	1,87	0,00	2,03	0,00	0,08	5,64	
	47	47 N.I.	24,900	280 nm	-	0,00	2,04	0,00	2,04	0,00	0,00	0,00	1,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,75	0,00	
	48	48 N.I.	25,171	330 nm	-	0,00	14,00	0,00	2,09	0,00	1,51	0,00	0,90	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	14,00	
	49	49 N.I.	25,736	354 nm	-	0,00	18,34	0,00	5,94	0,00	2,79	0,00	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	1,62	18,34	
	50	50 N.I.	26,128	330 nm	-	0,00	0,66	0,00	0,66	0,00	0,19	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	
060_Api-7-O-Glu	51	51 N.I.	27,349	354 nm	-	0,00	0,93	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	
	52	52 N.I.	27,637	280 nm	-	0,00	8,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,32	
	53	53 N.I.	28,638	280 nm	288	0,00	8,05	0,00	8,05	0,00	2,88	0,00	2,88	0,00	2,01	0,00	4,22	0,00	1,40	0,00	
	54	54 N.I.	29,483	354 nm	-	0,00	24,65	0,00	16,76	0,00	0,07	0,00	24,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73	
	55	55 N.I.	29,773	280 nm	-	0,00	7,60	0,00	6,90	0,00	0,00	0,00	7,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,60	
	56	56 N.I.	30,090	354 nm	346	0,00	24,38	0,00	21,12	0,00	24,38	0,00	18,84	0,80	7,44	0,56	10,95	5,71	15,67	0,00	
	57	57 N.I.	30,765	354 nm	-	0,00	11,61	0,00	0,11	0,00	0,14	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	11,61	
	58	58 N.I.	32,444	330 nm	336	0,00	13,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					

Tab. A4 - Eichreihe für Standard Arbutin.

	Standard	Messung	Konzentration	Konzentration korr.	Area	RT	File
Level 1	1	1	0,09000	0,08910	920616		Arbutin Std 90-111_25.11.2024_001
		2	0,09000	0,08910	929549		Arbutin Std 90-112_25.11.2024_007
	2	1	0,09000	0,08910	938766		Arbutin Std 90-211_25.11.2024_013
		2	0,09000	0,08910	940314		Arbutin Std 90-212_25.11.2024_019
	3	1	0,09000	0,08910	965286		Arbutin Std 90-311_25.11.2024_025
		2	0,09000	0,08910	965015		Arbutin Std 90-312_25.11.2024_031
Level 2	1	1	0,18000	0,17820	1897500		Arbutin Std 180-111_25.11.2024_002
		2	0,18000	0,17820	1896859		Arbutin Std 180-112_25.11.2024_008
	2	1	0,18000	0,17820	1892660		Arbutin Std 180-211_25.11.2024_014
		2	0,18000	0,17820	1892910		Arbutin Std 180-212_25.11.2024_020
	3	1	0,18000	0,17820	1906356		Arbutin Std 180-311_25.11.2024_026
		2	0,18000	0,17820	1906607		Arbutin Std 180-312_25.11.2024_032
Level 3	1	1	0,27000	0,26730	2812262		Arbutin Std 270-111_25.11.2024_003
		2	0,27000	0,26730	2802219		Arbutin Std 270-112_25.11.2024_009
	2	1	0,27000	0,26730	2813528		Arbutin Std 270-211_25.11.2024_015
		2	0,27000	0,26730	2813734		Arbutin Std 270-212_25.11.2024_021
	3	1	0,27000	0,26730	2810977		Arbutin Std 270-311_25.11.2024_027
		2	0,27000	0,26730	2812060		Arbutin Std 270-312_25.11.2024_033
Level 4	1	1	0,36000	0,35640	3755102		Arbutin Std 360-111_25.11.2024_004
		2	0,36000	0,35640	3753238		Arbutin Std 360-112_25.11.2024_010
	2	1	0,36000	0,35640	3756427		Arbutin Std 360-211_25.11.2024_016
		2	0,36000	0,35640	3756616		Arbutin Std 360-212_25.11.2024_022
	3	1	0,36000	0,35640	3755092		Arbutin Std 360-311_25.11.2024_028
		2	0,36000	0,35640	3756098		Arbutin Std 360-312_25.11.2024_034
Level 5	1	1	0,50000	0,49500	5207843		Arbutin Std 500-111_25.11.2024_005
		2	0,50000	0,49500	5207861		Arbutin Std 500-112_25.11.2024_011
	2	1	0,50000	0,49500	5201899		Arbutin Std 500-211_25.11.2024_017
		2	0,50000	0,49500	5202798		Arbutin Std 500-212_25.11.2024_023
	3	1	0,50000	0,49500	5194878		Arbutin Std 500-311_25.11.2024_029
		2	0,50000	0,49500	5194313		Arbutin Std 500-312_25.11.2024_035
Level 6	1	1	0,60000	0,59400	6225062		Arbutin Std 600-111_25.11.2024_006
		2	0,60000	0,59400	6225080		Arbutin Std 600-112_25.11.2024_012
	2	1	0,60000	0,59400	6220655		Arbutin Std 600-211_25.11.2024_018
		2	0,60000	0,59400	6220651		Arbutin Std 600-212_25.11.2024_024
	3	1	0,60000	0,59400	6211048		Arbutin Std 600-311_25.11.2024_030
		2	0,60000	0,59400	6215655		Arbutin Std 600-312_25.11.2024_036

	StammLösung [µl]	Verdünnung in H2O	Konzentration [µg/µl]
Level 1	90,0	910,0	0,09000
Level 2	180,0	820,0	0,18000
Level 3	270,0	730,0	0,27000
Level 4	360,0	640,0	0,36000
Level 5	500,0	500,0	0,50000
Level 6	600,0	400,0	0,60000

	k	d	
Y=	Steigung	Achsenabschnitt	
	A*X	+B	R ²
	10445966,99	24429,06112	0,999953465
	STFEHLERXY	12792,74953	
	STEIGUNG	10445966,99	
	LOD	0,003673978	
	LOQ	0,012246592	



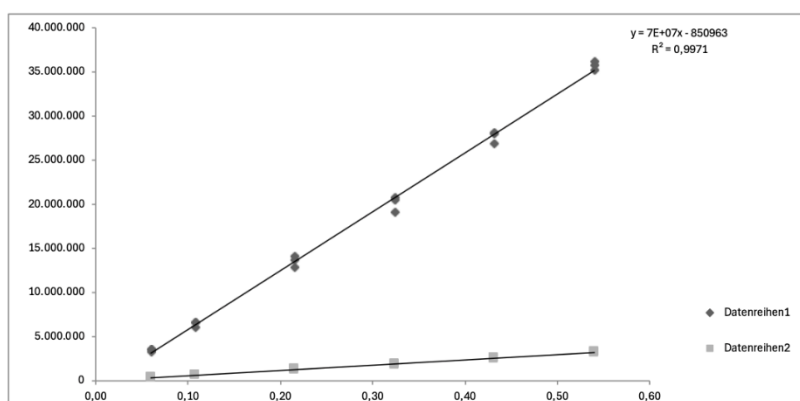
Tab. A5 - Eichreihe für Standard Rosmarinsäure.

	Standard	Messung	Konzentration	Konzentration kor.	Area	RT	File	Konzentration	Area	% vom Hauptpeak	RT
Level 1	1	1	0,06000	0,06000	3.233.313	35,961	Rosmarinsre. Std 60 1-1_29.11.2024_001	0,06000	328910	10,17	33,841
		2	0,06000	0,06000	3.589.361		Rosmarinsre. Std 60 1-1_29.11.2024_019	0,06000	362426	10,10	
	2	1	0,06000	0,06000	3.226.415		Rosmarinsre. Std 60 1-1_29.11.2024_007	0,06000	330847	10,25	
		2	0,06000	0,06000	3.522.478		Rosmarinsre. Std 60 1-1_29.11.2024_025	0,06000	362713	10,30	
	3	1	0,06000	0,06000	3.588.301		Rosmarinsre. Std 60 2-1_29.11.2024_013	0,06000	360975	10,06	
		2	0,06000	0,06000	3.525.920		Rosmarinsre. Std 60 2-1_29.11.2024_031	0,06000	360790	10,23	
Level 2	1	1	0,10800	0,10800	6.032.125		Rosmarinsre. Std 108 1-1_29.11.2024_002	0,10800	597516	9,91	
		2	0,10800	0,10800	6.639.489		Rosmarinsre. Std 108 1-1_29.11.2024_020	0,10800	642906	9,68	
	2	1	0,10800	0,10800	6.027.073		Rosmarinsre. Std 108 1-1_29.11.2024_008	0,10800	595637	9,88	
		2	0,10800	0,10800	6.628.094		Rosmarinsre. Std 108 1-1_29.11.2024_026	0,10800	638890	9,64	
	3	1	0,10800	0,10800	6.599.159		Rosmarinsre. Std 108 2-1_29.11.2024_014	0,10800	637708	9,66	
		2	0,10800	0,10800	6.629.773		Rosmarinsre. Std 108 2-1_29.11.2024_032	0,10800	639524	9,65	
Level 3	1	1	0,21600	0,21600	12.885.285		Rosmarinsre. Std 216 1-1_29.11.2024_003	0,21600	1210319	9,39	
		2	0,21600	0,21600	13.730.382		Rosmarinsre. Std 216 1-1_29.11.2024_021	0,21600	1296483	9,44	
	2	1	0,21600	0,21600	12.870.632		Rosmarinsre. Std 216 1-1_29.11.2024_009	0,21600	1209275	9,40	
		2	0,21600	0,21600	14.046.469		Rosmarinsre. Std 216 1-1_29.11.2024_027	0,21600	1329775	9,47	
	3	1	0,21600	0,21600	13.681.421		Rosmarinsre. Std 216 2-1_29.11.2024_015	0,21600	1286612	9,40	
		2	0,21600	0,21600	14.053.656		Rosmarinsre. Std 216 2-1_29.11.2024_033	0,21600	1327430	9,45	
Level 4	1	1	0,32400	0,32400	19.115.125		Rosmarinsre. Std 324 1-1_29.11.2024_004	0,32400	1780532	9,31	
		2	0,32400	0,32400	20.484.896		Rosmarinsre. Std 324 1-1_29.11.2024_022	0,32400	1897543	9,26	
	2	1	0,32400	0,32400	19.093.422		Rosmarinsre. Std 324 1-1_29.11.2024_010	0,32400	1779230	9,32	
		2	0,32400	0,32400	20.737.125		Rosmarinsre. Std 324 1-1_29.11.2024_028	0,32400	1930087	9,31	
	3	1	0,32400	0,32400	20.490.124		Rosmarinsre. Std 324 2-1_29.11.2024_016	0,32400	1900004	9,27	
		2	0,32400	0,32400	20.732.009		Rosmarinsre. Std 324 2-1_29.11.2024_034	0,32400	1928627	9,30	
Level 5	1	1	0,43200	0,43200	26.893.933		Rosmarinsre. Std 432 1-1_29.11.2024_005	0,43200	2473496	9,20	
		2	0,43200	0,43200	28.040.696		Rosmarinsre. Std 432 1-1_29.11.2024_023	0,43200	2559214	9,13	
	2	1	0,43200	0,43200	26.903.990		Rosmarinsre. Std 432 1-1_29.11.2024_011	0,43200	2475403	9,20	
		2	0,43200	0,43200	28.110.011		Rosmarinsre. Std 432 1-1_29.11.2024_029	0,43200	2587918	9,21	
	3	1	0,43200	0,43200	28.055.523		Rosmarinsre. Std 432 2-1_29.11.2024_017	0,43200	2559743	9,12	
		2	0,43200	0,43200	28.004.040		Rosmarinsre. Std 432 2-1_29.11.2024_035	0,43200	2579909	9,21	
Level 6	1	1	0,54000	0,54000	35.240.414		Rosmarinsre. Std 540 1-1_29.11.2024_006	0,54000	3196324	9,07	
		2	0,54000	0,54000	36.232.084		Rosmarinsre. Std 540 1-1_29.11.2024_024	0,54000	3276167	9,04	
	2	1	0,54000	0,54000	35.227.191		Rosmarinsre. Std 540 1-1_29.11.2024_012	0,54000	3194400	9,07	
		2	0,54000	0,54000	35.740.075		Rosmarinsre. Std 540 1-1_29.11.2024_030	0,54000	3240912	9,07	
	3	1	0,54000	0,54000	36.216.056		Rosmarinsre. Std 540 2-1_29.11.2024_018	0,54000	3276027	9,05	
		2	0,54000	0,54000	35.788.685		Rosmarinsre. Std 540 2-1_29.11.2024_036	0,54000	3241814	9,06	

	StammLösung [µl]	Verdünnung in MeOH 60% [µl]	Konzentration [µg/µl]
Level 1			0,06000
Level 2			0,10800
Level 3			0,21600
Level 4			0,32400
Level 5			0,43200
Level 6			0,54000

	k	d
Y=	Steigung A*X	Achsenabschnitt +B
	66691408,54	-850962,5865
		R²
		0,997107361

STFEHLERXY	630744,6167
STEIGUNG	66691408,54
LOD	0,028372978
LOQ	0,094576592



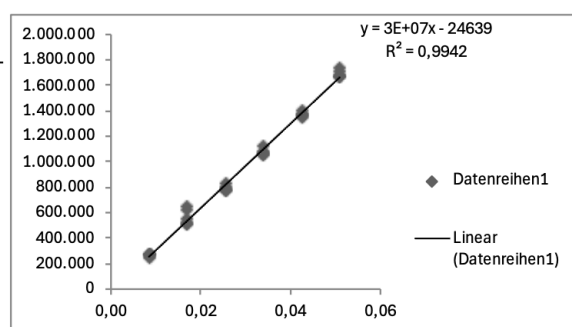
Tab. A6- Eichreihe für Standard Luteolin-7-diglucuronid.

	Standard	Messung	Konzentration	Konzentration kor.	Area	RT	File
Level 1	1	1	0,00880	0,00848	271.856	20,230	Standard 1 1 I1_16.02.2024_001.lcd
		2	0,00880	0,00848	268.383	20,197	Standard 1 1 I2_16.02.2024_007.lcd
	2	1	0,00880	0,00848	255.024	20,199	Standard 1 2 I1_16.02.2024_013.lcd
		2	0,00880	0,00848	248.160	20,187	Standard 1 2 I2_16.02.2024_019.lcd
	3	1	0,00880	0,00848	271.185	20,184	Standard 1 3 I1_16.02.2024_025.lcd
		2	0,00880	0,00848	272.504	20,202	Standard 1 3 I2_16.02.2024_031.lcd
Level 2	1	1	0,01760	0,01696	550.028	20,186	Standard 2 1 I1_16.02.2024_002.lcd
		2	0,01760	0,01696	531.534	20,195	Standard 2 1 I2_16.02.2024_008.lcd
	2	1	0,01760	0,01696	648.131	20,196	Standard 2 2 I1_16.02.2024_014.lcd
		2	0,01760	0,01696	628.715	20,194	Standard 2 2 I2_16.02.2024_020.lcd
	3	1	0,01760	0,01696	509.299	20,190	Standard 2 3 I1_16.02.2024_026.lcd
		2	0,01760	0,01696	506.581	20,198	Standard 2 3 I2_16.02.2024_032.lcd
Level 3	1	1	0,02640	0,02544	834.531	20,189	Standard 3 1 I1_16.02.2024_003.lcd
		2	0,02640	0,02544	806.494	20,199	Standard 3 1 I2_16.02.2024_009.lcd
	2	1	0,02640	0,02544	783.234	20,187	Standard 3 2 I1_16.02.2024_015.lcd
		2	0,02640	0,02544	773.301	20,190	Standard 3 2 I2_16.02.2024_021.lcd
	3	1	0,02640	0,02544	775.879	20,198	Standard 3 3 I1_16.02.2024_027.lcd
		2	0,02640	0,02544	771.444	20,182	Standard 3 3 I2_16.02.2024_033.lcd
Level 4	1	1	0,03520	0,03392	1.118.638	20,189	Standard 4 1 I1_16.02.2024_004.lcd
		2	0,03520	0,03392	1.087.039	20,198	Standard 4 1 I2_16.02.2024_010.lcd
	2	1	0,03520	0,03392	1.070.176	20,195	Standard 4 2 I1_16.02.2024_016.lcd
		2	0,03520	0,03392	1.059.433	20,188	Standard 4 2 I2_16.02.2024_022.lcd
	3	1	0,03520	0,03392	1.064.659	20,177	Standard 4 3 I1_16.02.2024_028.lcd
		2	0,03520	0,03392	1.059.115	20,186	Standard 4 3 I2_16.02.2024_034.lcd
Level 5	1	1	0,04400	0,04240	1.406.122	20,189	Standard 5 1 I1_16.02.2024_005.lcd
		2	0,04400	0,04240	1.379.381	20,191	Standard 5 1 I2_16.02.2024_011.lcd
	2	1	0,04400	0,04240	1.372.094	20,187	Standard 5 2 I1_16.02.2024_017.lcd
		2	0,04400	0,04240	1.364.571	20,182	Standard 5 2 I2_16.02.2024_023.lcd
	3	1	0,04400	0,04240	1.359.183	20,182	Standard 5 3 I1_16.02.2024_029.lcd
		2	0,04400	0,04240	1.353.650	20,182	Standard 5 3 I2_16.02.2024_035.lcd
Level 6	1	1	0,05280	0,05088	1.743.897	20,187	Standard 6 1 I1_16.02.2024_006.lcd
		2	0,05280	0,05088	1.708.771	20,181	Standard 6 1 I2_16.02.2024_012.lcd
	2	1	0,05280	0,05088	1.677.434	20,175	Standard 6 2 I1_16.02.2024_018.lcd
		2	0,05280	0,05088	1.669.419	20,172	Standard 6 2 I2_16.02.2024_024.lcd
	3	1	0,05280	0,05088	1.672.077	20,169	Standard 6 3 I1_16.02.2024_030.lcd
		2	0,05280	0,05088	1.663.850	20,186	Standard 6 3 I2_16.02.2024_036.lcd

	Stammlösung [µl]	Verdünnung in Wasser [µl]	Konzentration [µg/µl]	Konz. [µg/µl] auf 20 ml
Level 1			0,01760	0,0088
Level 2			0,03520	0,0176
Level 3			0,05280	0,0264
Level 4			0,07040	0,0352
Level 5			0,08800	0,044
Level 6			0,10560	0,0528

	k	d	
Y=	Steigung	Achsenabschnitt	
	A*X	+B	R ²
	33150324,3	-24639,04444	0,994179771

STFEHLERXY 37801,15717
 STEIGUNG 33150324,3
 LOD 0,003420886
 LOQ 0,011402952



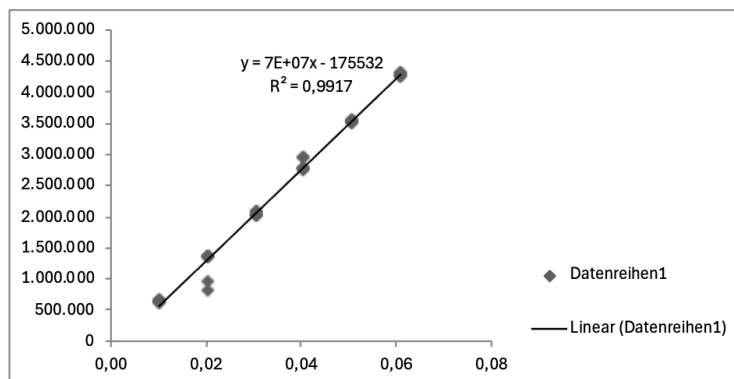
Tab. A7- Eichreihe für Standard Apigenin-7-glucuronid.

	Standard	Messung	Konzentration	Konzentration korr.	Area	RT	File
Level 1	1	1	0,01020	0,01014	654.680	38,677	Standard 1 1 I1_16.02.2024_001.lcd
		2	0,01020	0,01014	658.393	38,672	Standard 1 1 I2_16.02.2024_007.lcd
	2	1	0,01020	0,01014	630.217	38,675	Standard 1 2 I1_16.02.2024_013.lcd
		2	0,01020	0,01014	627.588	38,661	Standard 1 2 I2_16.02.2024_019.lcd
	3	1	0,01020	0,01014	641.099	38,657	Standard 1 3 I1_16.02.2024_025.lcd
		2	0,01020	0,01014	640.406	38,673	Standard 1 3 I2_16.02.2024_031.lcd
Level 2	1	1	0,02040	0,02029	1.368.402	38,656	Standard 2 1 I1_16.02.2024_002.lcd
		2	0,02040	0,02029	1.365.507	38,672	Standard 2 1 I2_16.02.2024_008.lcd
	2	1	0,02040	0,02029	813.572	38,674	Standard 2 2 I1_16.02.2024_014.lcd
		2	0,02040	0,02029	955.451	38,670	Standard 2 2 I2_16.02.2024_020.lcd
	3	1	0,02040	0,02029	1.371.481	38,657	Standard 2 3 I1_16.02.2024_026.lcd
		2	0,02040	0,02029	1.371.824	38,666	Standard 2 3 I2_16.02.2024_032.lcd
Level 3	1	1	0,03060	0,03043	2.027.798	38,665	Standard 3 1 I1_16.02.2024_003.lcd
		2	0,03060	0,03043	2.018.367	38,673	Standard 3 1 I2_16.02.2024_009.lcd
	2	1	0,03060	0,03043	2.029.969	38,663	Standard 3 2 I1_16.02.2024_015.lcd
		2	0,03060	0,03043	2.026.593	38,663	Standard 3 2 I2_16.02.2024_021.lcd
	3	1	0,03060	0,03043	2.078.819	38,662	Standard 3 3 I1_16.02.2024_027.lcd
		2	0,03060	0,03043	2.083.667	38,661	Standard 3 3 I2_16.02.2024_033.lcd
Level 4	1	1	0,04080	0,04057	2.784.949	38,665	Standard 4 1 I1_16.02.2024_004.lcd
		2	0,04080	0,04057	2.777.488	38,670	Standard 4 1 I2_16.02.2024_010.lcd
	2	1	0,04080	0,04057	2.958.022	38,666	Standard 4 2 I1_16.02.2024_016.lcd
		2	0,04080	0,04057	2.952.359	38,656	Standard 4 2 I2_16.02.2024_022.lcd
	3	1	0,04080	0,04057	2.766.499	38,643	Standard 4 3 I1_16.02.2024_028.lcd
		2	0,04080	0,04057	2.770.095	38,662	Standard 4 3 I2_16.02.2024_034.lcd
Level 5	1	1	0,05100	0,05071	3.559.026	38,618	Standard 5 1 I1_16.02.2024_005.lcd
		2	0,05100	0,05071	3.544.430	38,661	Standard 5 1 I2_16.02.2024_011.lcd
	2	1	0,05100	0,05071	3.522.062	38,655	Standard 5 2 I1_16.02.2024_017.lcd
		2	0,05100	0,05071	3.517.055	38,650	Standard 5 2 I2_16.02.2024_023.lcd
	3	1	0,05100	0,05071	3.535.183	38,650	Standard 5 3 I1_16.02.2024_029.lcd
		2	0,05100	0,05071	3.535.919	38,652	Standard 5 3 I2_16.02.2024_035.lcd
Level 6	1	1	0,06120	0,06086	4.327.760	38,666	Standard 6 1 I1_16.02.2024_006.lcd
		2	0,06120	0,06086	4.329.586	38,643	Standard 6 1 I2_16.02.2024_012.lcd
	2	1	0,06120	0,06086	4.249.167	38,648	Standard 6 2 I1_16.02.2024_018.lcd
		2	0,06120	0,06086	4.246.373	38,638	Standard 6 2 I2_16.02.2024_024.lcd
	3	1	0,06120	0,06086	4.295.628	38,635	Standard 6 3 I1_16.02.2024_030.lcd
		2	0,06120	0,06086	4.289.134	38,661	Standard 6 3 I2_16.02.2024_036.lcd

	Stammlösung [µl]	Verdünnung in Wasser [µl]	Konzentration [µg/µl]
Level 1			0,01020
Level 2			0,02040
Level 3			0,03060
Level 4			0,04080
Level 5			0,05100
Level 6			0,06120

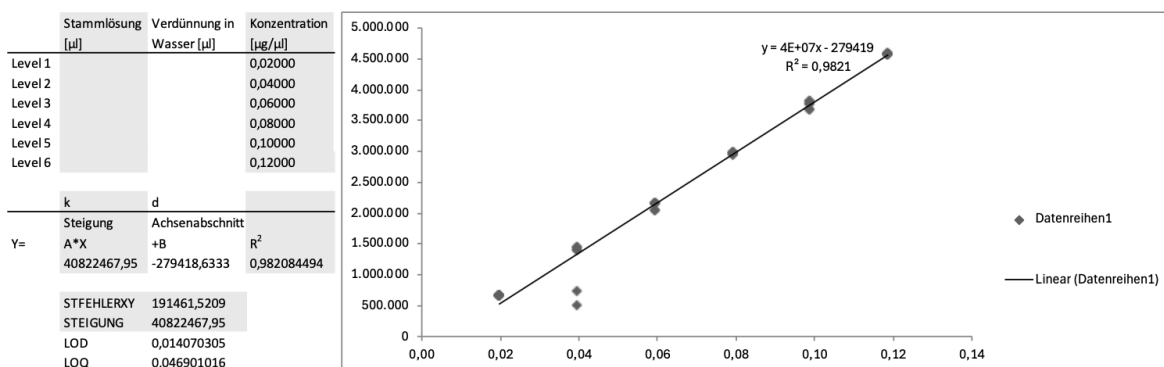
	k	d
Steigung		Achsenabschnitt
A*X		+B
Y=	73273467,74	-175531,5222
		R ²
		0,991684597

STFEHLERXY	119596,3944
STEIGUNG	73273467,74
LOD	0,004896577
LOQ	0,016321924



Tab. A8- Eichreihe für Standard Lithospermsäure.

	Standard	Messung	Konzentration	Konzentration k	Area	RT	File	Konzentration	Area	% vom Hauptpeak
Level 1	1	1	0,02000	0,01976	655.539	40,820	Standard 1 1 I1_16.02.2024_001.lcd	0,02375	0,00	
		2	0,02000	0,01976	666.392	40,819	Standard 1 1 I2_16.02.2024_007.lcd	0,02375	0,00	
	2	1	0,02000	0,01976	671.264	40,820	Standard 1 2 I1_16.02.2024_013.lcd	0,02375	0,00	
		2	0,02000	0,01976	665.936	40,809	Standard 1 2 I2_16.02.2024_019.lcd	0,02375	0,00	
	3	1	0,02000	0,01976	674.795	40,808	Standard 1 3 I1_16.02.2024_025.lcd	0,02375	0,00	
		2	0,02000	0,01976	674.360	40,824	Standard 1 3 I2_16.02.2024_031.lcd	0,02375	0,00	
Level 2	1	1	0,04000	0,03952	1.439.551	40,802	Standard 2 1 I1_16.02.2024_002.lcd	0,09500	0,00	
		2	0,04000	0,03952	1.449.745	40,817	Standard 2 1 I2_16.02.2024_008.lcd	0,09500	0,00	
	2	1	0,04000	0,03952	505.716	40,821	Standard 2 2 I1_16.02.2024_014.lcd	0,09500	0,00	
		2	0,04000	0,03952	731.725	40,818	Standard 2 2 I2_16.02.2024_020.lcd	0,09500	0,00	
	3	1	0,04000	0,03952	1.407.029	40,809	Standard 2 3 I1_16.02.2024_026.lcd	0,09500	0,00	
		2	0,04000	0,03952	1.406.635	40,813	Standard 2 3 I2_16.02.2024_032.lcd	0,09500	0,00	
Level 3	1	1	0,06000	0,05928	2.052.314	40,810	Standard 3 1 I1_16.02.2024_003.lcd	0,19000	0,00	
		2	0,06000	0,05928	2.056.304	40,819	Standard 3 1 I2_16.02.2024_009.lcd	0,19000	0,00	
	2	1	0,06000	0,05928	2.157.703	40,809	Standard 3 2 I1_16.02.2024_015.lcd	0,19000	0,00	
		2	0,06000	0,05928	2.159.294	40,810	Standard 3 2 I2_16.02.2024_021.lcd	0,19000	0,00	
	3	1	0,06000	0,05928	2.162.618	40,809	Standard 3 3 I1_16.02.2024_027.lcd	0,19000	0,00	
		2	0,06000	0,05928	2.162.501	40,808	Standard 3 3 I2_16.02.2024_033.lcd	0,19000	0,00	
Level 4	1	1	0,08000	0,07904	2.984.138	40,808	Standard 4 1 I1_16.02.2024_004.lcd	0,28500	0,00	
		2	0,08000	0,07904	2.995.684	40,813	Standard 4 1 I2_16.02.2024_010.lcd	0,28500	0,00	
	2	1	0,08000	0,07904	2.954.847	40,810	Standard 4 2 I1_16.02.2024_016.lcd	0,28500	0,00	
		2	0,08000	0,07904	2.956.858	40,798	Standard 4 2 I2_16.02.2024_022.lcd	0,28500	0,00	
	3	1	0,08000	0,07904	2.956.242	40,794	Standard 4 3 I1_16.02.2024_028.lcd	0,28500	0,00	
		2	0,08000	0,07904	2.957.225	40,808	Standard 4 3 I2_16.02.2024_034.lcd	0,28500	0,00	
Level 5	1	1	0,10000	0,09880	3.823.555	40,783	Standard 5 1 I1_16.02.2024_005.lcd	0,38000	0,00	
		2	0,10000	0,09880	3.824.386	40,806	Standard 5 1 I2_16.02.2024_011.lcd	0,38000	0,00	
	2	1	0,10000	0,09880	3.690.492	40,796	Standard 5 2 I1_16.02.2024_017.lcd	0,38000	0,00	
		2	0,10000	0,09880	3.691.083	40,796	Standard 5 2 I2_16.02.2024_023.lcd	0,38000	0,00	
	3	1	0,10000	0,09880	3.775.665	40,799	Standard 5 3 I1_16.02.2024_029.lcd	0,38000	0,00	
		2	0,10000	0,09880	3.778.831	40,797	Standard 5 3 I2_16.02.2024_035.lcd	0,38000	0,00	
Level 6	1	1	0,12000	0,11856	4.570.361	40,805	Standard 6 1 I1_16.02.2024_006.lcd	0,47500	0,00	
		2	0,12000	0,11856	4.610.680	40,784	Standard 6 1 I2_16.02.2024_012.lcd	0,47500	0,00	
	2	1	0,12000	0,11856	4.582.029	40,791	Standard 6 2 I1_16.02.2024_018.lcd	0,47500	0,00	
		2	0,12000	0,11856	4.587.220	40,784	Standard 6 2 I2_16.02.2024_024.lcd	0,47500	0,00	
	3	1	0,12000	0,11856	4.572.794	40,784	Standard 6 3 I1_16.02.2024_030.lcd	0,47500	0,00	
		2	0,12000	0,11856	4.567.566	40,803	Standard 6 3 I2_16.02.2024_036.lcd	0,47500	0,00	



Tab. A9- Berechnungen zur Abschätzung der benötigten Biphenyl-Menge.

Probe	höchster Peak	Fläche höchster Peak	Fläche biphenyl	Verhältnis zu höchstem Peak
Origanum vulgare Sesquiterpen		327405	190456	58%
MO070	Carvacrol	8543085	90170	1,06%
MO019	cis-Sabinenhydrat	3910596	80697	2,06%
M0009_F	5-Isopropyl-2-methylbicyclo[3.1.0]hexan-2-ol	5199479,1	1189837,7	22,88%
M0010_F	5-Isopropyl-2-methylbicyclo[3.1.0]hexan-2-ol	4639331,2	1207135,1	26,02%
M0011_F	5-Isopropyl-2-methylbicyclo[3.1.0]hexan-2-ol	2793509,3	1237357,9	44,29%
M0012_F	5-Isopropyl-2-methylbicyclo[3.1.0]hexan-2-ol	6278979,3	1214746,5	19,35%
M0013_F	5-Isopropyl-2-methylbicyclo[3.1.0]hexan-2-ol	3700937	1207778	32,63%
M0009_L	5-Isopropyl-2-methylbicyclo[3.1.0]hexan-2-ol	7912418,1	1270108,2	16,05%
M0010_L	5-Isopropyl-2-methylbicyclo[3.1.0]hexan-2-ol	5695775,7	1147130,8	20,14%
M0011_L	5-Isopropyl-2-methylbicyclo[3.1.0]hexan-2-ol	5398752,8	1214212,4	22,49%
M0012_L	5-Isopropyl-2-methylbicyclo[3.1.0]hexan-2-ol	5774646,7	1173329,4	20,32%
M0013_L	5-Isopropyl-2-methylbicyclo[3.1.0]hexan-2-ol	6422053,3	1272395,8	19,81%
M0171_F	Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	438090,4	131653,9	30,05%
M0192_F	(1R,2S,6S,7S,8S)-8-Isopropyl-1-methyl-3-methylenetricyclo[4.4.0.0.2,7]deca ne-rel	298198,7	97939	32,84%
M0173_F	(1R,2S,6S,7S,8S)-8-Isopropyl-1-methyl-3-methylenetricyclo[4.4.0.0.2,7]deca ne-rel	1073899,8	159280	14,83%
M0175_F	1H-Cycloprop[el]azulen-7-ol, decahydro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-, [1ar- (1a.alpha.,4a.alpha.,7.beta.,7a.be.ta.,7b.alpha.)]-	347780,6	99138,6	28,51%
M0171_L	1H-Cyclopenta[1,3]cyclopropa[1,2]benzene, octahydro-7-methyl-3-methylene-4-(1-methylethyl)-, [3aS- (3a.alpha.,3b.beta.,4.beta.,7.alpha.(3S,3aR,3bR,4S,7R,7aR))-4-isopropyl-3,7-dimethyloctahydro1Hcyclopenta[1,3]cyclopropa[1,2]benzen-3-ol	165972,6	101721,7	61,29%
M0192_L	(3S,3aR,3bR,4S,7R,7aR)-4-isopropyl-3,7-dimethyloctahydro1Hcyclopenta[1,3]cyclopropa[1,2]benzen-3-ol	116379,9	106532,6	91,54%
M0173_L	Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	331099	100451,3	30,34%
M0175_L	1H-Cycloprop[el]azulen-7-ol, decahydro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-, [1ar- (1a.alpha.,4a.alpha.,7.beta.,7a.be.ta.,7b.alpha.)]-	220675,6	81706,1	37,03%

Tab. A10- Liste der durch GC identifizierte Komponenten, jeweils mit Mittelwert, Standardabweichung sowie Minimum und Maximum (rel. Flächenprozent) nach Populationen und Blatt/Blüte.

Population	n	Art	alpha-pinene	camphene	sabinene	myrcene	alpha-terpinene	p-cymene	beta-phellandrene	gamma-terpinene	trans-sabinene	terpinolene	cis-sabinene	endo-borneol	terpinen-4-ol	alpha-terpineol	cis-sabinene	bomyl-acetate	thymol	carvacrol	deltatene	X1	germacrene-D	bicyclo-germacrene	X2
F_maj_CY01	9	MW	0.20	0.20	1.93	0.36	0.31	0.01	0.08	0.34	3.85	0.13	61.29	9.20	0.76	10.13	5.07	0.65	0.01	0.11	0.20	1.99	0.00	0.36	0.02
F_maj_CY01	9	SD	0.42	0.48	2.70	0.56	0.34	0.04	0.83	0.50	0.99	0.12	9.74	4.75	0.35	3.98	1.86	0.53	0.02	0.24	0.13	0.89	0.01	0.62	0.04
F_maj_CY01	9	SD	1.34	1.10	7.06	1.74	2.67	0.32	5.57	3.30	4.22	0.83	42.76	9.00	2.78	7.73	5.24	1.00	0.00	0.09	0.17	2.13	0.00	0.94	0.02
F_maj_CY02	2	MW	0.09	0.05	2.98	0.72	1.13	1.04	1.81	1.99	1.25	0.21	3.91	3.61	1.27	3.68	1.91	0.68	0.00	0.16	0.08	1.59	0.00	0.30	0.10
F_maj_CY02	2	SD	0.00	0.00	0.07	0.19	0.39	0.00	0.39	0.99	0.67	0.00	64.99	11.86	1.12	4.07	5.01	0.92	0.00	0.37	0.09	0.38	0.01	0.95	0.07
F_maj_CY02	2	SD	0.11	0.05	0.79	0.12	0.19	0.00	1.17	0.23	0.17	0.26	5.06	0.70	0.06	0.05	2.52	0.00	0.00	0.52	0.13	0.48	0.02	0.18	0.10
F_maj_CY03	2	MW	1.91	1.76	8.43	1.82	4.01	0.00	6.06	5.81	4.59	1.01	41.99	8.23	3.37	3.61	4.39	0.89	0.02	0.00	0.19	1.35	0.00	0.57	0.00
F_maj_CY03	2	SD	0.30	0.27	0.92	0.05	0.71	0.00	1.75	0.90	0.45	0.05	3.95	0.83	0.28	0.41	2.07	0.34	0.03	0.00	0.01	0.24	0.00	0.54	0.00
F_maj_CY03	2	SD	0.05	0.07	1.94	0.39	0.45	0.04	2.23	1.64	4.05	0.48	34.89	9.34	0.87	26.99	8.81	0.93	0.00	0.45	0.28	3.72	0.00	1.34	0.03
F_maj_CY03	2	SD	0.07	0.06	0.99	0.32	0.67	0.07	0.81	0.76	2.29	0.24	16.58	5.76	0.47	24.91	2.70	0.94	0.00	0.64	0.17	1.81	0.01	0.66	0.07
F_maj_CY03	2	SD	1.43	1.52	6.46	1.61	2.98	0.05	5.39	4.01	3.32	0.68	32.24	6.46	2.91	19.38	5.88	1.04	0.01	0.09	0.16	3.44	0.00	0.97	0.00
F_maj_CY04	11	SD	0.89	1.19	2.09	0.29	1.02	0.06	1.93	1.52	1.55	0.23	12.44	3.48	1.47	18.79	2.66	0.67	0.01	0.23	0.14	1.15	0.01	0.58	0.00
F_maj_CY04	11	SD	0.38	0.29	3.80	0.89	2.36	0.02	3.43	2.14	6.23	0.68	49.37	8.54	1.47	5.26	9.27	0.87	0.01	0.16	0.20	3.35	0.02	1.45	0.02
F_maj_CY04	11	SD	0.72	0.68	3.24	1.02	0.94	0.04	2.56	1.29	1.73	0.36	8.80	3.84	1.44	1.19	3.58	0.54	0.02	0.31	0.21	1.21	0.05	0.81	0.04
F_maj_CY04	11	SD	1.72	1.33	8.15	2.08	4.85	0.40	7.00	6.62	4.85	1.27	35.05	6.01	5.29	4.01	6.85	1.23	0.00	0.00	0.08	2.37	0.00	0.79	0.09
F_maj_CY04	11	SD	0.41	0.69	1.89	0.49	1.57	0.99	1.80	2.21	0.97	0.38	8.66	1.04	2.07	0.75	2.33	0.69	0.00	0.00	0.09	1.39	0.00	0.49	0.26
F_maj_CY05	8	MW	0.53	0.37	4.98	1.25	1.56	0.03	4.18	2.06	3.80	0.43	43.22	4.93	1.01	20.19	6.00	0.43	0.00	0.30	0.19	3.46	0.00	1.07	0.00
F_maj_CY05	8	SD	0.54	0.38	1.52	0.68	1.15	0.09	1.63	1.15	1.98	0.15	11.26	1.78	0.85	13.80	1.85	0.32	0.00	0.78	0.12	1.41	0.00	0.43	0.03
F_maj_CY05	8	SD	1.76	1.12	8.08	1.86	4.09	0.04	5.89	4.75	4.59	0.37	31.59	5.55	2.46	5.67	17.43	0.53	0.03	0.04	0.18	2.79	0.01	1.01	0.02
F_maj_CY05	8	SD	0.51	0.38	2.97	0.88	2.01	0.10	2.10	2.30	2.88	1.87	0.72	15.05	2.42	2.46	21.84	1.03	0.09	0.12	1.12	2.14	0.00	0.37	0.06
F_maj_CY06	6	MW	0.27	0.20	2.79	0.57	1.05	0.00	2.69	1.49	3.42	0.27	53.87	6.76	0.55	13.56	6.00	0.39	0.01	1.91	0.10	3.29	0.00	0.59	0.00
F_maj_CY06	6	SD	0.51	0.35	2.96	0.62	0.30	0.00	1.88	0.32	1.37	0.14	14.04	2.61	0.20	15.56	2.97	0.16	0.02	2.29	0.08	0.52	0.00	0.53	0.01
F_maj_CY06	6	SD	0.87	0.87	6.47	1.45	1.22	0.03	5.34	3.22	3.82	0.41	43.87	6.43	2.34	3.80	3.74	0.65	0.00	1.46	0.15	2.67	0.00	1.07	0.02
F_maj_CY07	7	MW	0.60	0.50	2.71	0.41	0.35	0.05	1.58	1.18	1.71	0.15	11.26	1.78	0.85	13.80	1.85	0.32	0.00	0.78	0.12	1.41	0.00	0.43	0.03
F_maj_CY09	9	MW	0.25	0.10	4.70	0.49	2.99	0.01	3.89	3.54	4.54	0.70	40.11	6.55	2.07	5.64	11.31	0.45	0.00	4.79	0.38	5.19	0.00	1.96	0.36
F_maj_CY09	9	SD	0.49	0.19	6.25	0.68	0.64	0.02	2.32	1.05	1.80	0.11	5.36	2.70	1.15	1.47	4.27	0.25	0.00	4.09	0.17	1.54	0.00	1.08	0.25
F_maj_CY09	9	SD	1.10	0.58	2.03	2.03	7.10	0.39	9.84	1.77	1.77	0.11	22.08	4.00	0.51	6.67	8.62	0.47	0.00	1.48	0.23	0.92	0.00	0.16	0.16
F_maj_CY10	11	SD	0.47	0.50	3.03	0.34	2.06	1.05	1.61	2.41	1.14	0.55	3.84	2.55	2.58	1.47	2.87	0.14	0.02	2.16	0.19	1.51	0.04	0.61	0.00
F_maj_CY11	11	MW	0.17	0.08	3.83	0.38	2.80	0.08	3.29	2.55	4.73	0.69	41.85	9.66	1.31	6.17	12.54	0.67	0.01	2.08	0.28	0.44	0.00	1.94	0.24
F_maj_CY11	11	SD	0.72	0.16	4.76	0.71	0.82	0.15	2.00	0.48	1.36	0.21	5.03	2.87	0.63	0.67	3.77	0.43	0.05	1.02	1.54	1.64	0.00	1.40	0.50
F_maj_CY12	12	MW	0.00	0.00	1.80	0.48	0.48	0.00	1.20	1.21	1.21	0.21	1.20	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F_maj_CY12	12	SD	0.27	0.67	2.70	0.68	1.14	0.85	2.38	1.52	1.78	0.30	3.79	3.32	3.28	1.48	2.81	0.47	0.00	2.82	0.19	1.02	0.02	0.53	0.30
F_maj_CY12	9	MW	0.01	0.01	2.45	0.10	4.25	0.15	1.13	3.89	5.29	1.04	38.47	7.04	2.83	7.69	10.19	0.44	0.03	7.92	0.21	2.62	0.03	1.35	0.05
F_maj_CY12	9	SD	0.01	0.01	0.25	0.05	0.52	0.00	0.52	0.77	0.93	0.11	6.44	1.44	0.90	14.33	2.70	0.48	0.00	0.64	0.19	1.87	0.05	0.55	0.04
F_maj_CY12	9	SD	1.70	1.18	11.90	2.57	3.40	0.14	8.29	4.52	3.51	0.97	26.61	6.42	3.07	11.99	6.15	0.75	0.01	2.14	0.20	3.07	0.03	1.31	0.07
F_maj_CY13	13	SD	0.46	0.59	3.21	0.78	1.06	0.22	2.20	1.41	1.29	0.30	5.30	1.94	1.33	12.83	1.52	0.45	0.03	2.57	0.11	1.15	0.05	0.26	0.18
F_maj_CY13	13	SD	0.01	0.02	0.43	0.03	0.43	0.00	0.11	0.22	0.33	0.13	7.78	6.11	0.22	60.83	9.01	0.35	0.01	8.56	0.22	3.33	0.02	0.81	0.07
F_maj_CY13	13	SD	0.02	0.06	0.33	0.14	0.56	0.00	0.70	0.55	0.93	0.13	8.61	2.31	0.21	22.70	4.84	0.18	0.03	24.97	0.11	1.36	0.03	0.68	0.07
F_maj_CY14	12	MW	0.91	1.02	2.81	1.32	0.55	0.28	2.74	0.97	0.77	0.27	6.80	6.99	0.71	58.24	8.39	0.75	0.00	0.94	0.26	3.82	0.02	1.40	0.01
F_maj_CY14	12	SD	0.47	0.57	2.12	0.53	0.63	0.47	1.85	1.40	0.93	0.26	6.44	1.44	0.90	14.33	2.70	0.48	0.00	0.64	0.19	1.87	0.05	0.55	0.04
F_maj_CY14	11	MW	0.04	0.01	2.55	0.21	3.25	0.24	2.51	3.64	4.96	0.85	34.55	5.67	1.90	4.56	10.71	0.38	0.00	19.07	0.11	3.63	0.03	1.10	0.04
F_maj_CY14	11	SD	0.07	0.03	0.20	0.23	1.92	0.42	1.31	2.18	2.79	0.49	15.93	4.03	1.24	2.14	11.22	0.33	0.00	34.14	0.19	2.73	0.07	0.63	0.12
F_maj_CY14	13	SD	0.83	10.03	12.03	2.08	6.44	0.18	6.22	7.73	18.01	4.01	2.68	1.81	0.77	1.81	0.71	0.36	0.00	24.08	0.11	3.38	0.07	1.03	0.05
F_maj03-1	1	MW	0.78	0.61	6.08	1.05	1.72	0.32	3.47	8.21	1.84	0.46	9.10	3.23	1.57	2.19	6.77	0.35	0.00	38.42	0.23	2.14	0.02	1.12	0.06
F_cyn03-1	1	SD	1.02	0.00	11.96	2.06	1.32	0.51	7.07	3.08	5.16	0.40	32.83	0.07	1.64	5.25	23.45	0.11	0.00	0.00	0.04	3.68	0.00	0.23	0.12
F_cyn06-3	2	MW	0.58	0.09	6.81	0.51	2.29	0.63	2.26	2.60	3.41	0.34	29.36	0.46	0.86	2.69	41.31	0.40	0.12	0.86	0.03	3.45	0.04	1.12	0.15
F_cyn06-7	1	SD	0.75	0.07	2.88	0.73	1.16	0.73	0.39	1.53	0.34	0.19	23.40	0.56	0.50	0.14	23.11	0.16	0.10	1.22	0.05	3.00	0.05	0.17	0.21
F_cyn06-7	1	SD	0.00	0.00	4.27	0.00	2.20	0.00	2.02	1.65	3.19	0.52	38.52	2.31	2.50	5.66	32.45	0.60	0.00	0.00	0.00	3.65	0.00	0.46	0.00

Tab. A11- Liste der durch GC identifizierte Komponenten, jeweils mit Mittelwert, Standardabweichung sowie Minimum und Maximum (rel. Flächenprozent) nach Arten.

	maj				cmaj				dub				syr				oni				vul			
	MW	STD	min	max	MW	STD	min	max	MW	STD	min	max	MW	STD	min	max	MW	STD	min	max	MW	STD	min	max
alpha-pinene	0,9	0,9	0,0	3,0	0,5	0,8	0,0	2,4	0,2	0,2	0,0	0,8	0,6	1,2	0,0	4,7	0,0	0,1	0,0	0,2	0,8	1,2	0,0	4,0
camphene	0,6	0,7	0,0	3,7	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,3	0,0	0,1	0,0	0,8	0,0	0,1	0,0	0,2	0,4	0,9	0,0	4,6
sabinene	5,6	4,5	0,0	21,2	7,3	4,8	1,6	18,6	0,1	0,1	0,0	0,6	0,3	0,4	0,0	1,5	0,1	0,5	0,0	0,4	15,6	19,8	0,0	76,8
myrcene	1,2	1,0	0,0	4,9	0,7	1,1	0,0	3,9	0,3	0,4	0,0	1,3	0,7	1,1	0,0	4,5	0,1	0,2	0,0	0,3	2,0	5,5	0,0	29,2
alpha-terpinene	2,7	1,9	0,0	11,4	3,2	1,3	1,3	6,3	0,3	0,3	0,0	1,6	0,5	0,8	0,0	3,9	0,1	0,4	0,0	0,1	1,7	2,0	0,0	7,3
p-cymene	0,1	0,5	0,0	3,5	0,4	0,9	0,0	4,0	0,0	0,1	0,0	0,7	0,4	0,9	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,9	0,0	3,4
beta-phellandrene	4,6	3,1	0,0	12,0	3,2	2,2	0,0	8,3	0,1	0,1	0,0	0,5	0,9	1,8	0,0	9,1	0,0	0,6	0,0	0,1	3,7	3,3	0,0	11,1
gamma-terpinene	3,8	3,5	0,0	34,5	3,6	1,2	1,5	6,9	1,9	2,4	0,0	11,0	7,7	13,0	0,0	52,4	0,2	0,8	0,0	1,0	1,9	2,1	0,0	7,8
trans-sabinene-hydrate	3,8	2,0	0,0	8,8	3,9	1,5	0,0	6,1	0,4	0,3	0,0	1,1	1,6	3,1	0,0	15,9	0,1	1,3	0,0	0,3	2,5	3,1	0,0	12,5
terpinolene	0,7	0,5	0,0	2,5	0,7	0,6	0,2	3,6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,0	1,7	0,0	0,2	0,0	0,0	0,3	0,4	0,0	1,5
cis-sabinene-hydrate	33,3	17,1	0,1	77,0	33,7	16,5	7,3	68,6	0,9	0,1	0,0	0,6	0,5	1,2	0,0	5,8	0,1	10,1	0,0	0,3	14,9	20,3	0,0	61,5
endo-borneol	6,9	3,3	0,2	18,5	0,2	0,5	0,0	2,3	0,5	0,3	0,0	1,7	0,9	1,4	0,0	6,7	0,3	2,5	0,0	0,8	7,3	12,0	0,0	44,2
terpinen-4-ol	2,6	2,5	0,0	15,6	1,3	0,8	0,0	4,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,5	0,8	0,0	3,7	0,0	1,3	0,0	0,1	1,1	1,9	0,0	7,4
alpha-terpineol	15,5	20,8	0,3	80,1	3,5	1,9	0,0	8,6	0,4	0,2	0,0	1,1	0,3	0,7	0,0	3,6	0,0	2,2	0,0	0,0	6,9	8,9	0,0	38,1
cis-sabinene hydrate acetate/																								
thymoquinon/linalylacetat	7,8	4,6	0,0	41,5	31,2	17,8	1,7	58,8	0,6	0,3	0,0	1,2	6,0	7,2	0,1	25,6	0,6	1,2	0,0	1,7	1,2	2,5	0,0	8,3
bornyl-acetate	0,7	0,5	0,0	2,8	0,2	0,3	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,1	3,4	7,4	0,0	46,7	0,0	0,2	0,0	0,0	0,3	0,4	0,0	1,3
thymol	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,1	0,0	0,5	0,1	0,1	0,0	0,5	2,3	5,2	0,0	24,6	0,1	0,2	0,0	0,5	0,1	0,3	0,0	1,2
carvacrol	4,3	15,0	0,0	98,5	2,2	3,2	0,0	11,4	93,1	4,4	79,8	99,6	68,1	34,4	0,0	99,3	98,0	22,4	94,8	99,7	9,2	25,6	0,0	97,7
delta-elemene	0,2	0,2	0,0	0,8	0,1	0,1	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5	2,2	0,0	14,6	0,0	0,1	0,0	0,3	0,3	0,6	0,0	2,6
unknown	3,3	1,7	0,0	7,9	2,7	1,8	0,0	8,2	0,6	0,4	0,0	1,5	3,3	5,7	0,0	26,3	0,2	0,8	0,0	0,8	17,1	20,2	0,0	84,7
germacrene_D	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0	1,4	9,0	18,6	0,0	63,3
bicyclogermacrene	1,2	0,8	0,0	4,5	0,2	0,3	0,0	0,9	0,1	0,1	0,0	0,3	0,9	1,6	0,0	7,2	0,0	0,3	0,0	0,2	1,1	2,7	0,0	12,9
unknown2	0,1	0,2	0,0	1,4	1,3	6,2	0,0	30,4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5	1,6	0,0	9,4	0,0	0,1	0,0	0,3	2,3	5,0	0,0	20,0

Anhang B

ANOVA Arbutin – ganzer Datensatz

	Q_Arbutin	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50	Q75
cmaj	12.412189	7.645103	64	1.6422904	1.4398219	34.02085	4.752260	13.065803	16.695283
dub	4.904903	5.213577	59	1.7104639	0.0000000	21.32405	1.052955	2.688663	8.362647
maj	32.819199	19.450862	228	0.8701067	0.8681319	84.48027	15.981486	23.990606	49.238799
oni	0.000000	0.000000	6	5.3636978	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
syr	0.000000	0.000000	52	1.8219576	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
vul	0.000000	0.000000	125	1.1751273	0.0000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Q_Arbutin groups
maj 32.819199 a
cmaj 12.412189 b
dub 4.904903 bc
oni 0.000000 bc
syr 0.000000 c
vul 0.000000 c

ANOVA Arbutin – *O. majorana*

	Q_Arbutin	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50	Q75
maj_CY01	30.61034	17.83717	24	3.998336	8.1305618	65.67657	14.08303	25.89411	46.45019
maj_CY02	35.46611	27.27894	4	9.793883	11.7952690	63.42271	12.19698	33.32323	56.59237
maj_CY03	38.03476	22.42917	12	5.654501	12.7641907	70.69249	17.80972	31.17446	57.73893
maj_CY04	26.98054	15.24478	24	3.998336	7.6612601	52.89780	13.67592	20.76576	42.06628
maj_CY05	37.33150	20.49861	26	3.841477	12.7248567	75.64249	18.26681	33.89022	52.58305
maj_CY06	35.70340	17.43865	18	4.616881	17.8460432	73.18733	19.71351	33.03658	48.53850
maj_CY09	34.57245	19.28927	20	4.379958	13.6768630	68.22960	19.60678	22.71598	50.31554
maj_CY10	35.11885	21.53290	24	3.998336	9.7062612	79.75174	14.36759	30.78210	56.34548
maj_CY12	32.73915	18.49154	26	3.841477	5.3594648	64.09487	16.61586	28.15238	49.35923
maj_CY13	28.68649	16.12174	24	3.998336	10.3486105	60.04483	15.61059	19.70817	45.08275
maj_CY14	31.34767	24.40876	26	3.841477	0.8681319	84.48027	10.61430	19.77721	49.04606

Q_Arbutin groups
maj_CY03 38.03476 a
maj_CY05 37.33150 a
maj_CY06 35.70340 a
maj_CY02 35.46611 a
maj_CY10 35.11885 a
maj_CY09 34.57245 a
maj_CY12 32.73915 a
maj_CY14 31.34767 a
maj_CY01 30.61034 a
maj_CY13 28.68649 a
maj_CY04 26.98054 a

ANOVA Arbutin – kultivierter *O. majorana*

	Q_Arbutin	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50	Q75
cmaj_03	20.61608	5.573014	2	4.238023	16.675359	24.55679	18.645718	20.616076	22.58643
cmaj_04	23.94125	8.066827	4	2.996734	12.416494	30.24273	21.423285	26.552889	29.07085
cmaj_05	23.93313	14.266192	2	4.238023	13.845405	34.02085	18.889265	23.933126	28.97699
cmaj_06	18.57087	4.398307	6	2.446823	13.582094	24.88868	15.906859	17.135155	21.67384
cmaj_07	15.61968	4.339393	6	2.446823	9.899080	20.52638	12.381536	15.912268	19.17567
cmaj_10	10.03417	7.417513	2	4.238023	4.789192	15.27914	7.411679	10.034166	12.65665
cmaj_12	11.49949	7.302751	4	2.996734	4.397831	19.97219	5.991468	10.813975	16.32200
cmaj_15	8.81073	5.949932	28	1.132659	1.439822	20.68520	3.680053	5.728171	13.79523
cmaj_16	11.54293	2.346712	4	2.996734	8.704203	13.75184	10.093691	11.857848	13.30709
cmaj_17	7.57248	5.132492	6	2.446823	1.782149	14.43786	3.751035	6.622361	11.53776

Q_Arbutin groups
cmaj_04 23.94125 a
cmaj_05 23.93313 ab
cmaj_03 20.61608 ab
cmaj_06 18.57087 ab
cmaj_07 15.61968 ab
cmaj_16 11.54293 ab
cmaj_12 11.49949 ab
cmaj_10 10.03417 ab
cmaj_15 8.81073 b
cmaj_17 7.57248 b

ANOVA Arbutin – *O. dubium*

	Q_Arbutin	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50	Q75
dub_CY07	5.158303	5.811649	23	1.090184	0	21.324051	0.5082352	1.873147	8.641408
dub_CY08	3.191836	3.233286	12	1.509291	0	9.597227	0.0000000	2.537797	4.916675
dub_CY11	5.518594	5.408279	24	1.067230	0	16.211534	1.2251992	3.189160	9.660550

Q_Arbutin groups
dub_CY11 5.518594 a
dub_CY07 5.158303 a
dub_CY08 3.191836 a

ANOVA Rosmarinsäure – ganzer Datensatz

	Q_RA	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50	Q75
cmaj	13.829656	7.403831	64	0.9929377	0.0000000	38.448646	9.480513	13.252380	18.679034
dub	5.684663	3.898648	59	1.0341558	0.0000000	14.071310	2.556835	4.819080	8.041091
maj	11.621469	6.952643	228	0.5260712	1.1926156	40.981598	5.927721	9.984506	15.203858
oni	6.713414	1.225296	6	3.2429208	5.2959891	8.613372	5.801077	6.689659	7.287605
syr	4.107624	3.189982	52	1.1015654	0.4279561	13.059243	1.618392	2.883426	5.843867
vul	22.416169	11.873619	125	0.7104884	0.0000000	62.283160	13.986718	20.697356	29.481617

	Q_RA	groups
vul	22.416169	a
cmaj	13.829656	b
maj	11.621469	b
oni	6.713414	bc
dub	5.684663	c
syr	4.107624	c

ANOVA Rosmarinsäure – *O. majorana*

	Q_RA	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50	Q75
maj_CY01	15.937559	8.742412	24	1.232209	2.988287	37.98518	9.670701	14.518408	23.807995
maj_CY02	10.261682	5.669575	4	3.018282	4.867358	17.07970	6.017330	9.549834	13.794186
maj_CY03	13.293900	7.220147	12	1.742606	2.283841	23.70381	7.852871	13.167900	18.019954
maj_CY04	13.252823	4.568402	24	1.232209	5.554641	21.66337	9.740348	12.724391	16.526941
maj_CY05	15.893967	10.387346	26	1.183868	1.192616	40.98160	7.785598	13.757098	21.022973
maj_CY06	6.022585	2.776277	18	1.422832	1.525533	12.77830	4.572577	5.463467	7.425572
maj_CY09	14.548322	5.472390	20	1.349817	6.709599	27.36797	11.296949	13.270331	17.560419
maj_CY10	13.050936	4.314723	24	1.232209	5.565449	21.01711	10.214369	12.635937	15.274293
maj_CY12	6.247364	2.925211	26	1.183868	1.947854	17.33804	4.807602	5.253494	7.021728
maj_CY13	7.064290	3.485320	24	1.232209	2.367464	16.09252	4.648250	5.900792	7.645368
maj_CY14	11.182278	5.218373	26	1.183868	4.578930	20.52330	6.247177	10.831636	15.132945

	Q_RA	groups
maj_CY01	15.937559	a
maj_CY05	15.893967	a
maj_CY09	14.548322	a
maj_CY03	13.293900	ab
maj_CY04	13.252823	ab
maj_CY10	13.050936	ab
maj_CY14	11.182278	ab
maj_CY02	10.261682	ab
maj_CY13	7.064290	b
maj_CY12	6.247364	b
maj_CY06	6.022585	b

ANOVA Rosmarinsäure – kultivierter *O. majorana*

	Q_RA	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50	Q75
cmaj_03	13.90224	10.1299775	2	4.863845	6.739267	21.06522	10.320755	13.902243	17.48373
cmaj_04	24.83134	9.5583242	4	3.439257	16.833384	38.44865	19.142662	22.021669	27.71035
cmaj_05	21.69756	3.9245107	2	4.863845	18.922513	24.47261	20.310037	21.697561	23.08508
cmaj_06	16.64493	3.2850647	6	2.808142	11.901049	20.58084	14.677028	16.953101	18.91066
cmaj_07	13.54685	2.9653950	6	2.808142	9.863921	17.83618	11.741458	12.967106	15.47717
cmaj_10	15.96717	0.1745784	2	4.863845	15.843720	16.09061	15.905443	15.967166	16.02889
cmaj_12	15.05654	4.2047098	4	3.439257	12.015850	21.25332	12.772225	13.478498	15.76281
cmaj_15	11.09417	8.5047231	28	1.299917	0.000000	27.06266	3.721522	9.793715	16.00120
cmaj_16	14.40040	1.7885988	4	3.439257	12.720658	16.73180	13.172855	14.074568	15.30211
cmaj_17	12.17057	3.1413459	6	2.808142	8.843827	15.70634	9.414903	11.882309	15.05773

	Q_RA	groups
cmaj_04	24.83134	a
cmaj_05	21.69756	a
cmaj_06	16.64493	a
cmaj_10	15.96717	a
cmaj_12	15.05654	a
cmaj_16	14.40040	a
cmaj_03	13.90224	a
cmaj_07	13.54685	a
cmaj_17	12.17057	a
cmaj_15	11.09417	a

ANOVA Rosmarinsäure – *O. dubium*

	Q_RA	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50	Q75
dub_CY07	3.878839	3.725973	23	0.7044795	0.000000	12.495694	1.329114	2.445546	6.46704
dub_CY08	4.262605	2.183626	12	0.9753077	1.173776	7.897295	2.992507	3.701220	5.43906
dub_CY11	8.126274	3.497513	24	0.6896467	2.366218	14.071310	5.458109	7.921304	11.02056

	Q_RA	groups
dub_CY11	8.126274	a
dub_CY08	4.262605	ab
dub_CY07	3.878839	b

ANOVA Rosmarinsäure – *O. syriacum*

	Q_RA	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50	Q75
syr_13	4.321209	4.660605	4	1.5247608	0.7738929	10.900010	1.147269	2.805468	5.979408
syr_16	2.933283	1.885525	20	0.6818938	0.5972104	7.147190	1.618392	2.578948	3.426562
syr_17	4.223714	3.008716	8	1.0781687	0.4279561	9.608188	2.077807	4.268409	5.335659
syr_18	4.185005	3.161015	12	0.8803211	0.9170456	9.652381	1.377711	3.227861	6.651490
syr_19	6.704522	4.327470	8	1.0781687	2.6309931	13.059243	2.965947	5.432493	10.608243

Q_RA	groups
syr_19 6.704522	a
syr_13 4.321209	a
syr_17 4.223714	a
syr_18 4.185005	a
syr_16 2.933283	a

ANOVA Rosmarinsäure – *O. vulgare*

	Q_RA	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50	Q75
AT01	24.77254	12.514352	18	2.363441	8.298997	55.11433	14.700168	25.82477	31.85971
AT02	30.09243	12.176713	32	1.772581	9.914056	62.28316	21.999930	29.09307	37.11668
AT03	13.05685	7.502945	37	1.648466	0.000000	34.76372	8.855186	12.15222	17.47315
AT04	23.94880	8.823495	38	1.626632	5.509021	43.24602	17.766614	23.51062	29.63393

Q_RA	groups
AT02 30.09243	a
AT01 24.77254	a
AT04 23.94880	a
AT03 13.05685	b

ANOVA Luteolin-7-diglucuronid – *O. vulgare*

Kein Vergleich der Daten, da *O. vulgare* einzige Art mit relevanten Mengen.

	Q_Lut7diglu	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50	Q75
AT01	0.03999983	0.04872939	18	0.013482429	0.004237531	0.2037543	0.01064179	0.02393404	0.04372320
AT02	0.10076371	0.08611418	32	0.010111821	0.013627730	0.3046480	0.03894004	0.05598855	0.16120591
AT03	0.03815094	0.04015599	37	0.009403803	0.003849096	0.2395768	0.01751507	0.02843621	0.04424449
AT04	0.03608580	0.04274536	38	0.009279244	0.003156883	0.2168604	0.01238377	0.01825464	0.04314756

Q_Lut7diglu	groups
AT02 0.10076371	a
AT01 0.03999983	b
AT03 0.03815094	b
AT04 0.03608580	b

ANOVA Apigenin-7-glucuronid – ganzer Datensatz

	Q_Api7glu	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50	Q75
cmaj	1.4774633	1.2058280	64	0.2055228	0.02908793	4.255063	0.5692899	0.9568709	2.2717398
dub	7.0410640	3.2957755	59	0.2140543	2.07039755	17.571586	4.7521685	6.1713113	8.7426060
maj	3.6131688	1.3928559	228	0.1088886	0.00000000	11.867065	2.6992909	3.5393698	4.4526389
oni	6.1866954	0.8512184	6	0.6712346	4.85379172	7.426771	5.9581497	6.1250807	6.5464768
syr	2.9402383	2.1049149	52	0.2280071	0.36065587	9.206018	1.2333767	2.2538823	4.3138620
vul	0.3788393	0.5371392	125	0.1470601	0.00000000	2.627825	0.0000000	0.2299882	0.3969484

Q_Api7glu	groups
dub 7.0410640	a
oni 6.1866954	a
maj 3.6131688	b
syr 2.9402383	b
cmaj 1.4774633	c
vul 0.3788393	d

ANOVA Apigenin-7-glucuronid– *O. majorana*

	Q_Api7glu	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50	Q75
maj_CY01	4.317483	1.3937969	24	0.2667890	1.204155	7.040935	3.507974	4.493629	5.264602
maj_CY02	2.223131	0.5147768	4	0.6534970	1.459905	2.538928	2.140466	2.446845	2.529510
maj_CY03	4.460773	1.4932516	12	0.3772967	1.486188	7.051051	3.872279	4.481368	4.935178
maj_CY04	2.757207	1.3744477	24	0.2667890	0.000000	5.540810	1.853573	2.595593	3.686566
maj_CY05	3.536783	1.0537770	26	0.2563226	1.119882	5.432775	2.906754	3.327046	4.368993
maj_CY06	3.199152	0.5605286	18	0.3080614	2.170136	4.485901	2.898562	3.217115	3.374679
maj_CY09	4.205621	1.4484272	20	0.2922527	1.260849	6.693605	3.203377	4.124998	5.021584
maj_CY10	3.948259	1.2728303	24	0.2667890	2.040489	7.025770	2.958667	3.904910	4.610129
maj_CY12	3.323727	0.9797622	26	0.2563226	1.289491	5.390382	2.792515	3.169476	3.879958
maj_CY13	3.107800	1.0951925	24	0.2667890	0.000000	4.668700	2.544158	3.341401	3.900446
maj_CY14	3.929702	1.9536820	26	0.2563226	1.529093	11.867065	2.974544	3.452677	4.470116

	Q_Api7glu	groups
maj_CY03	4.460773	a
maj_CY01	4.317483	a
maj_CY09	4.205621	ab
maj_CY10	3.948259	ab
maj_CY14	3.929702	ab
maj_CY05	3.536783	ab
maj_CY12	3.323727	ab
maj_CY06	3.199152	ab
maj_CY13	3.107800	ab
maj_CY04	2.757207	ab
maj_CY02	2.223131	ab

ANOVA Apigenin-7-glucuronid - kultivierter *O. majorana*

	Q_Api7glu	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50	Q75
cma_j_03	1.7731475	0.936148130	2	0.31241484	1.11119077	2.4351042	1.4421691	1.7731475	2.1041258
cma_j_04	1.6219326	0.640248917	4	0.22091065	0.70358689	2.1814062	1.4766346	1.8013687	1.9466668
cma_j_05	2.1934965	0.033642023	2	0.31241484	2.16970802	2.2172850	2.1816023	2.1934965	2.2053908
cma_j_06	3.3040673	0.542216260	6	0.18037279	2.55208104	4.1375764	3.0142235	3.3849091	3.4519272
cma_j_07	3.5569975	0.613440915	6	0.18037279	2.65085313	4.2550628	3.3380616	3.4271154	4.0618749
cma_j_10	0.5765957	0.009031967	2	0.31241484	0.57020909	0.5829822	0.5734024	0.5765957	0.5797889
cma_j_12	1.3969441	0.432635167	4	0.22091065	0.96935451	1.9751638	1.1372153	1.3216291	1.5813579
cma_j_15	0.6115444	0.356063445	28	0.08349638	0.02908793	1.3609114	0.3073808	0.5722330	0.8920938
cma_j_16	2.8043137	0.482894989	4	0.22091065	2.19694207	3.3295156	2.5629926	2.8453986	3.0867198
cma_j_17	0.6481293	0.282159364	6	0.18037279	0.17518889	0.9263704	0.5314790	0.7034464	0.8554868

	Q_Api7glu	groups
cma_j_07	3.5569975	a
cma_j_06	3.3040673	a
cma_j_16	2.8043137	ab
cma_j_05	2.1934965	abc
cma_j_03	1.7731475	bcd
cma_j_04	1.6219326	bcd
cma_j_12	1.3969441	cd
cma_j_17	0.6481293	d
cma_j_15	0.6115444	d
cma_j_10	0.5765957	d

ANOVA Apigenin-7-glucuronid - *O. dubium*

	Q_Api7glu	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50	Q75
dub_CY07	7.322842	3.705696	23	0.6972336	2.243799	15.31304	4.601370	6.194058	9.932248
dub_CY08	7.080831	2.728308	12	0.9652762	4.221149	12.69897	4.828050	6.456411	8.237774
dub_CY11	6.751143	3.244750	24	0.6825533	2.070398	17.57159	5.014412	5.771567	7.685150

	Q_Api7glu	groups
dub_CY07	7.322842	a
dub_CY08	7.080831	a
dub_CY11	6.751143	a

ANOVA Apigenin-7-glucuronid - *O. syriacum*

	Q_Api7glu	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50	Q75
syr_13	1.234920	0.354597	4	1.0640630	0.9763701	1.753955	1.028085	1.104678	1.311512
syr_16	3.159266	2.197362	20	0.4758634	0.7030050	9.206018	1.201869	2.897140	4.339925
syr_17	3.183652	1.908984	8	0.7524062	1.0632772	6.421113	1.717079	2.783520	4.434294
syr_18	2.994722	2.619494	12	0.6143371	0.3606559	8.797785	1.228293	2.168474	3.434542
syr_19	2.920188	1.679867	8	0.7524062	0.6726102	5.265256	2.040044	2.285609	4.387712

	Q_Api7glu	groups
syr_17	3.183652	a
syr_16	3.159266	a
syr_18	2.994722	a
syr_19	2.920188	a
syr_13	1.234920	a

ANOVA Apigenin-7-glucuronid - *O. vulgare*

	Q_Api7glu	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50	Q75
AT01	1.0001258	0.8050999	18	0.11154082	0	2.627825	0.3647051	0.71863495	1.5844852
AT02	0.1898631	0.2328940	32	0.08365562	0	1.226855	0.0000000	0.16018481	0.2482930
AT03	0.2534402	0.2688574	37	0.07779814	0	1.319337	0.0000000	0.25540790	0.3374442
AT04	0.3657826	0.5645963	38	0.07676766	0	2.505248	0.0000000	0.06927438	0.4694025

	Q_Api7glu	groups
AT01	1.0001258	a
AT04	0.3657826	b
AT03	0.2534402	b
AT02	0.1898631	b

ANOVA Lithospermsäure - ganzer Datensatz

	Q_LA	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50	Q75
cmaj	0.01755239	0.05653848	64	0.03889381	0	0.3238911	0.000000	0.00000000	0.0000000
dub	0.08030101	0.09908269	59	0.04050834	0	0.3727644	0.000000	0.06828938	0.1325323
maj	0.17434768	0.15585253	228	0.02060645	0	0.7837725	0.000000	0.18075556	0.2813395
oni	0.08246083	0.09088775	6	0.12702666	0	0.1817992	0.000000	0.07514085	0.1595835
syrr	0.01834867	0.04729808	52	0.04314881	0	0.1525109	0.000000	0.00000000	0.0000000
vul	0.66668871	0.60025603	125	0.02783015	0	3.5690416	0.287427	0.59207468	0.9164826

	Q_LA	groups
vul	0.66668871	a
maj	0.17434768	b
oni	0.08246083	b
dub	0.08030101	b
syrr	0.01834867	b
cmaj	0.01755239	b

ANOVA Lithospermsäure - *O. majorana*

	Q_LA	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50	Q75
maj_CY01	0.31312573	0.18189203	24	0.02641163	0.0000000	0.78377253	0.2335334	0.31349935	0.3848486
maj_CY02	0.21896727	0.04030320	4	0.06469502	0.1700834	0.26695586	0.1999647	0.21941490	0.2384174
maj_CY03	0.303164393	0.07378311	12	0.03735169	0.1632663	0.44718070	0.2595907	0.30797492	0.3404341
maj_CY04	0.240544476	0.15538071	24	0.02641163	0.0000000	0.49568923	0.1594505	0.26771235	0.3571596
maj_CY05	0.151664724	0.14916137	26	0.02537547	0.0000000	0.41323505	0.0000000	0.15318054	0.2686002
maj_CY06	0.005417693	0.02298533	18	0.03049752	0.0000000	0.09751848	0.0000000	0.00000000	0.0000000
maj_CY09	0.092097836	0.10911591	20	0.02893249	0.0000000	0.29923190	0.0000000	0.04159914	0.1583482
maj_CY10	0.254562467	0.14428192	24	0.02641163	0.0000000	0.71719329	0.1683685	0.25410975	0.2869529
maj_CY12	0.189944067	0.12377046	26	0.02537547	0.0000000	0.55252754	0.1159781	0.20044369	0.2521479
maj_CY13	0.114833994	0.10059413	24	0.02641163	0.0000000	0.28099397	0.0000000	0.13635588	0.2096987
maj_CY14	0.087020193	0.12099979	26	0.02537547	0.0000000	0.33217467	0.0000000	0.00000000	0.1816828

	Q_LA	groups
maj_CY01	0.31312573	a
maj_CY03	0.303164393	ab
maj_CY10	0.254562467	abc
maj_CY04	0.240544476	abcd
maj_CY02	0.21896727	abcde
maj_CY12	0.189944067	abcde
maj_CY05	0.151664724	bcde
maj_CY13	0.114833994	cde
maj_CY09	0.092097836	de
maj_CY14	0.087020193	e
maj_CY06	0.005417693	e

ANOVA Lithospermsäure - *O. dubium*

	Q_LA	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50	Q75
dub_CY07	0.08223804	0.12278312	23	0.02034617	0	0.3727644	0.00000000	0.00000000	0.1596509
dub_CY08	0.12383291	0.09630679	12	0.02816800	0	0.2883579	0.07476296	0.09517627	0.1834137
dub_CY11	0.05667874	0.06577262	24	0.01991778	0	0.1758869	0.00000000	0.00000000	0.1281172

	Q_LA	groups
dub_CY08	0.12383291	a
dub_CY07	0.08223804	a
dub_CY11	0.05667874	a

ANOVA Lithospermsäure - *O. vulgare*

	Q_LA	std	r	se	Min	Max	Q25	Q50	Q75
AT01	1.0857243	0.9588915	18	0.13647374	0.2696139	3.569042	0.45381775	0.7767730	1.0601079
AT02	0.5028580	0.5066062	32	0.10235531	0.0000000	1.877877	0.08484473	0.4108085	0.7623123
AT03	0.6184262	0.5492620	37	0.09518850	0.0000000	2.561509	0.30566806	0.5708865	0.7619189
AT04	0.6531534	0.4066158	38	0.09392767	0.0000000	1.505826	0.41951765	0.6568435	0.9164686

	Q_LA	groups
AT01	1.0857243	a
AT04	0.6531534	ab
AT03	0.6184262	ab
AT02	0.5028580	b