

Aus dem Department für Nutztiere und öffentliches Gesundheitswesen in der
Veterinärmedizin (Universitätsklinik) der Veterinärmedizinischen Universität Wien

Institut für Tierernährung und funktionelle Pflanzenstoffe

Leiter: Univ.-Prof. Dr.sc.agr. Quendrim Zebeli

**Bewertung von ätherischen Ölen der Muskatnuss (*Myristica fragrans*) mit
Augenmerk auf die toxischen Phenylpropane**

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades Magistra medicinae veterinariae der
Veterinärmedizinischen Universität Wien

vorgelegt von

Sara Csernicska

Wien, im November 2020

- **Betreuer:**

Ao.Univ.-Prof. Dr.phil. Remigius Chizzola

Institut für Tierernährung und funktionelle Pflanzenstoffe

Arbeitsgruppe funktionelle Pflanzenstoffe

- **Begutachter:**

Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Razzazi-Fazeli Ebrahim

Vet Core-Facility for Research, Technologiezentrum

Head of Proteomics Unit

Danksagung

Zuallererst möchte ich mich bei meinem sehr geduldigen und freundlichen Betreuer, Ao.Univ.-Prof. Dr.phil. Remigius Chizzola, herzlichst für die tolle Unterstützung bedanken. Des Weiteren gilt meine Danksagung für den reibungslosen Labor-Verlauf an Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Johannes Novak, Dijana Jovanovic Bsc. und Ing. Harry Bein.

Ein großes Dankeschön an meinem Papa für die eisige und schneereiche Fahrt, sowie an meine Mama und Schwester Anja, die mich alle unterstützt haben, meinen Traum Wirklichkeit werden zu lassen.

Ebenfalls gilt mein Dank Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Razzazi-Fazeli Ebrahim für seine Hilfsbereitschaft und sein Engagement.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Fragestellung dieser Arbeit mit folgender Hypothese	9
1.2. Rechtliche Anforderungen	10
1.2.1. Österreichisches Lebensmittelbuch	10
1.2.2. EU Regulierungen	11
1.2.2.1. Aromen	11
1.2.2.2. Kosmetische Mittel	12
1.2.2.3. Drogenausgangsstoffe.....	14
2. Material und Methodik.....	15
2.1. Probenmaterial	15
2.2. Probenübersicht in tabellarischer Form	16
2.3. Methodik	20
2.3.1. Reagenzien und Lösungen.....	20
2.3.2. Probenvorbereitung	20
2.3.3. Extraktionsverfahren	21
2.4. Gaschromatographie	27
3. Ergebnisse	28
3.1. Probengruppen	30
3.1.1. Gemahlene Muskatnuss	30
3.1.2. Ganze Muskatnuss	34
3.1.3. Muskatblüte	39
3.2. Gewürzmischungen	43
3.3. Vergleich der Zusammensetzung von ätherischen Ölen.....	45

3.3.1.	Gemahlene Muskatnuss	46
3.3.2.	Extraktionsverfahren im Vergleich	52
3.3.3.	Vergleich der absoluten Konzentrationen	54
4.	Diskussion	58
5.	Zusammenfassung	63
6.	Summary	64
7.	Quellenangaben	65
7.1.	Literaturverzeichnis	65
7.2.	Internetquellen	67
8.	Abbildungsverzeichnis	70
9.	Tabellenverzeichnis	72
10.	Abkürzungsverzeichnis	73
11.	Eidesstattliche Erklärung	75

1. Einleitung

Klein, braun, rund und für unser Auge unscheinbar. Olfaktorisch wohlriechend, würzig und gustatorisch leicht scharf mit würzigem Abgang - für unsere Speisen die Gewürznote, die in keinem Haushalt fehlen darf. In dieser Arbeit sehen wir etwas hinter die Kulissen, um die so genannte *Myristica fragrans* (Abb. 1: Foto der Muskatnuss und dessen Samenschale) etwas besser kennen zu lernen.



Abb. 1: Foto der Muskatnuss und dessen Samenschale © Cserniciska Sara

Die Muskatnuss verkörpert den Samen des weiblichen Muskatnussbaums und wird von einem intensiven roten Samenmantel, dem so genannten *Arillus*, sowie von einer harten Samenschale umgeben. Diesem zweihäusigen Baum, welcher immergrün ist, ist es möglich, ein Höhengmaß von bis zu 20 m zu erreichen (FRANKE, 2012).

Ursprünglich stammt die Muskatnuss aus Südostasien (Molukken). Ihre Verbreitung setzte sich über Indien, Malaysia, Sri Lanka, Mauritius, Sumatra und Brasilien bis zu den Karibischen Inseln fort. Von Bedeutung wurde sie um 540 n. Chr., da sie ab jenem Zeitpunkt erstmals nach Europa eingeführt wurde (VAN WYK, 2005). Die Einsetzbarkeit im Lebensmittelbereich wird einerseits durch den reifen getrockneten Samen, andererseits durch die Muskatblüte (*Macis*) gewährleistet, ein weiteres in Verkehr gebrachtes Lebensmittel, welches einem *Arillus* in getrocknetem Zustand (Abb. 2: Foto Muskatblüte getrocknet) entspricht. Die Muskatnuss als Küchengewürz wird verschiedenen Speisen wie z.B. Kartoffelgerichten, Soßen und Suppen, sowie auch Süßspeisen, beigemischt. Gewürzmischungen, welche *Macis* beinhalten, eignen sich für Soßen, Fleisch- und

Fischgerichte. Nicht zu vergessen ist die präsenzte Aromakomponente, weswegen sie auch als Zusatz in alkoholischen Getränken, z.B. dem Dessertwein, dient (VAN WYK, 2005).



Abb. 2: Foto Muskatblüte getrocknet © Csernicska Sara

Sowohl die Parfümerie, als auch die Kosmetika haben die ätherischen Öle der Muskatnuss in ihren Bestand aufgenommen, und bedienen sich ihrer olfaktorischen Reize durch ihr würziges Aroma. Die olfaktorische Komponente der Muskatblüte setzt sich aus Elemicin und Myristicin in Kombination mit Sabinen und β -Pinen zusammen. In der Industrie findet sie ihre Bedeutung nicht nur zur Herstellung von Pflegemittel für Mund und Zähne, sondern auch als Aromazusatz. Das Aroma wird für Liköre und auch für Softgetränke, die dem „Cola“-typischen Geschmack entsprechen sollen, beigemennt (TERNES *et al.*, 2005; HILLER u. MELZIG, 2010).

Mitunter beinhaltet die *Myristica fragrans* auch antimykotische Eigenschaften. Dies bewies ein aus Brasilien stammendes ätherisches Öl einer Muskatnuss. Es hemmte in einer Konzentration von 0,1 % das radiale Wachstum einiger Pilzarten um 60-100 % in absteigender Reihenfolge: *Colletotrichum gloeosporoides*, *Colletotrichum musa*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium semitatum*, *Aspergillus niger* und *Aspergillus glaucus* (VALENTE *et al.*, 2011). Zusätzlich besitzt das ätherische Öl der Muskatnuss eine insektizide und abweisende Wirkung gegen den Tabakkäfer *Lasioderma serricornis*. Die dafür verantwortlichen sechs aktiven Komponenten wurden als Eugenol, Methyleugenol, Methylisoeugenol, Elemicin, Myristicin und Safrol identifiziert (DU *et al.*, 2014).

Das ätherische Öl der Muskatnuss kann bei Krämpfen indiziert sein, um eine zentrale Stimulierung im Verdauungstrakt zu bewirken. Symptome, die für eine Indikation sprächen, sind Magenkrämpfe, Blähungen, Durchfall, Völlegefühl, sowie Atemwegskatarrh. Mitunter kann die äußerliche Anwendung auch bei rheumabedingten Krankheitsanzeichen einen positiven Effekt erzielen (HILLER u. MELZIG, 2010). Die Muskatnuss wird in pulverisierter Form (0,3-1 g) drei Mal täglich oral mit z.B. Leitungswasser eingenommen. Die pharmakologischen Eigenschaften dieser Droge sind antimikrobiell und entzündungshemmend, indem die Bildung von Prostaglandin gehemmt wird (VAN WYK *et al.*, 2004). Das ätherische Öl der Muskatnuss wurde auf antioxidative Kapazitäten gemessen und wurde nach dem Öl der Nelke, des Basilikums, des Lorbeers und des Korianders gereiht. Das Resultat deutet darauf hin, dass die antioxidative Wirkung des ätherischen Öles somit nicht den Haupt-, sondern den Nebenkomponten, wie zum Beispiel Eugenol, zuzuschreiben sein könnte (POLITEO *et al.*, 2006). Nicht nur das Muskatöl, sondern auch Citronellöl, Terpentinöl, Thymian, Eucalyptusöl, Anethol, Myrtol finden als Droge, als so genannte Expektorantien, in verschiedensten, äußerlichen Anwendungsformen ihren Platz. Als Inhaltsstoffe findet man sie in Inhalations-medikation, Erkältungszusätze (Balsam, Säfte und Tropfen), in Tabletten und Teeform (Husten- bzw. Brusttees). Bei obstruktiven Atemwegserkrankungen, wie z.B. Bronchitis, sammelt sich zäher Schleim in der Lunge. Die Aufgabe der Expektorantien umfasst die Stimulation der serösen Drüsenzellen in der Bronchialschleimhaut. Die ätherischen Öle erfüllen die Funktion als Sekretolytika und Sekretomotorika. Als Sekretomotorika tragen sie Sorge für die Verbesserung der mukoziliären Clearance (HÄNSEL u. STEINEGGER, 2015). Mitunter wurde auch gezeigt, dass das Muskatnussöl eine Wirkung auf *human colorectal carcinoma* (HCT 116) und *human breast carcinoma* (MCF-7) Zelllinien zeigte. Die Resultate zeigten, dass das ätherische Öl der Muskatnuss als potente anti-Krebs und antioxidative Droge entwickelt werden könnte (PIARU *et al.*, 2012).

Überdosierungen bewirken Schwindel und Kopfschmerzen. Bei Aufnahmen von mehr als 5 g, kann es zu psychotropen Effekten, Halluzinationen und Tachykardie führen. Bei Schwangeren könnte bei einer zu großen oralen Aufnahme ein Abort eintreten (VAN WYK *et*

al., 2004). Bei Zweckentfremdung kann ein psychotroper Verlauf entstehen, welcher von folgende Symptomatik begleitet wird (TERNES *et al.*, 2005):

- Typisch brennender Geschmack
- Übelkeit
- Schweißausbrüche
- Tachykardie
- Gleichgewichtsstörungen
- Halluzinationen

Diesen Verlauf schreibt man den Phenylderivaten, insbesondere Safrol, Elemicin und Myristicin zu. Jene werden vom Organismus zu Amphetaminderivaten aminiert (Abb. 3: Phenylpropane aminiert zu Amphetaminderivaten). 3,4,5-Trimethoxyamphetamin (TMA), welches mit der Substanz Meskalin verwandt ist, entsteht aus Elemicin. 3-Methoxy-4,5-methylendioxyamphetamin (MMDA) und Methylendioxyamphetamin (MDA) entstehen durch Aminierung von Myristicin. 3,4-Methylendioxyamphetamin (MDMA) wird umgangssprachlich auch „Ecstasy“ genannt und wird aus Safrol gewonnen (TERNES *et al.*, 2005).

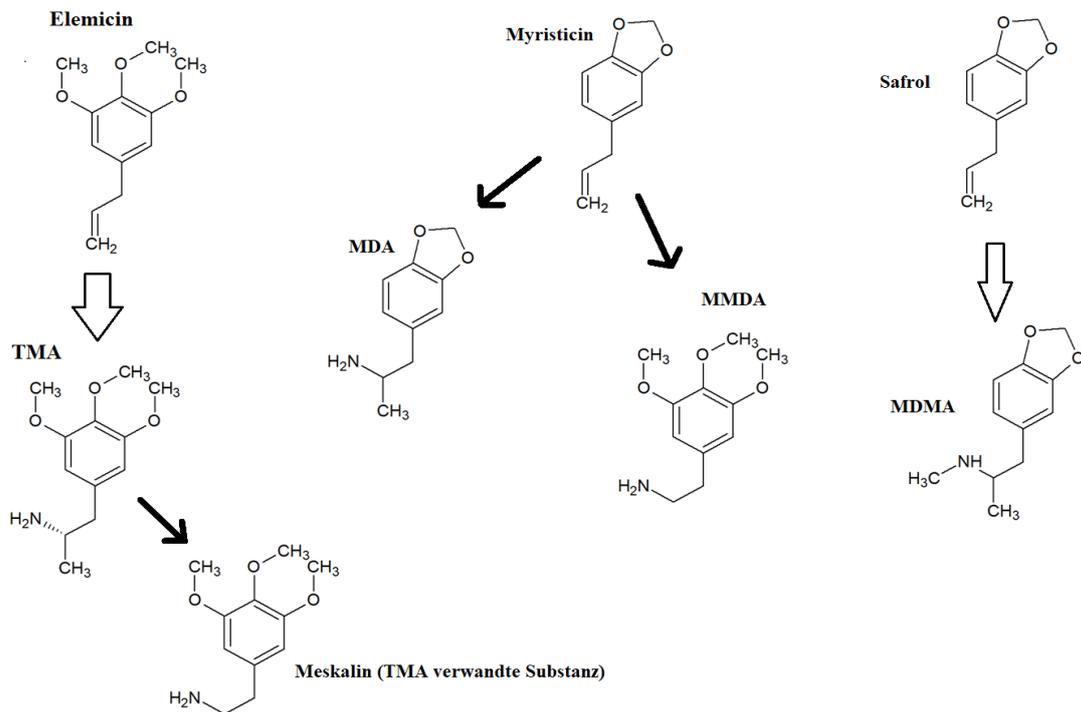


Abb. 3: Phenylpropane aminiert zu Amphetaminderivaten (© in Zusammenarbeit von Ao.Univ.-Prof. Dr.phil. Remigius Chizzola und Cserniciska Sara, unter Anlehnung von Ternes *(et.al. 2005)*)

Zu den phenolischen Verbindungen zählen z.B. Safrol, Myristicin, Eugenol, Thymol bzw Anethol. Diese sind so genannte einfache Phenol bzw. Phenolether, die natürlich in Pflanzen vorkommen. Hier eine kurze Übersicht über die jeweiligen Phenylpropanoide laut dem Handbuch von Ternes *(et.al. 2005)*. Angaben zu den chemischen Strukturen sind in untenstehender Abb. 4 (Übersicht der Phenylpropanoide) zusammengefasst.

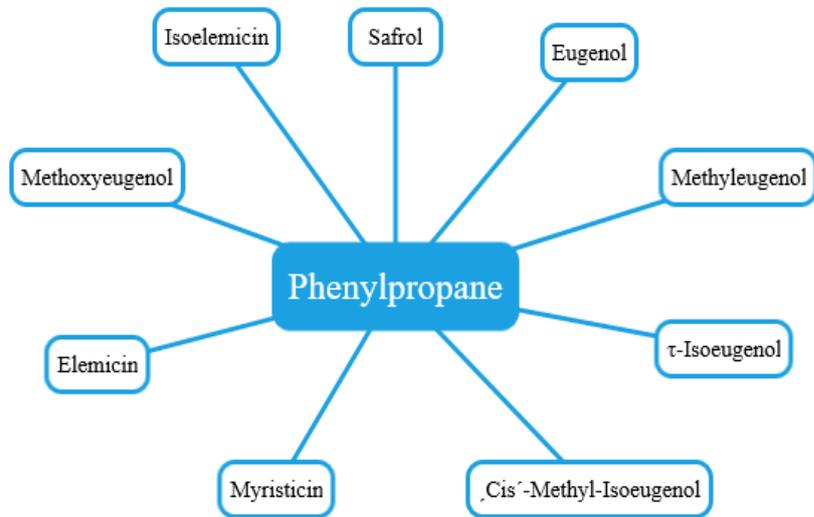
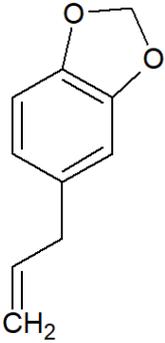
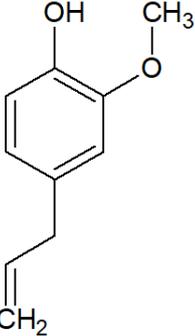
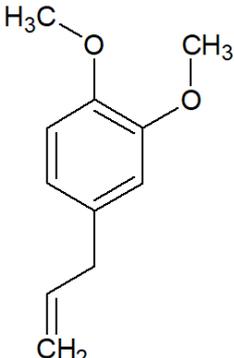
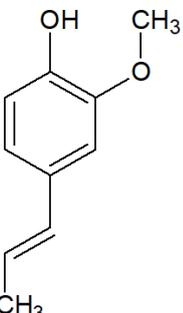


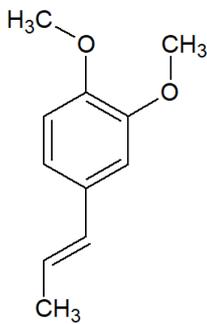
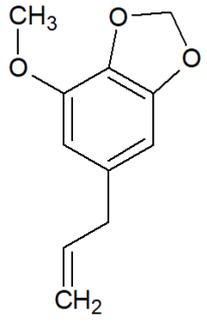
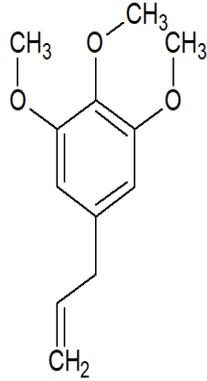
Abb. 4: Übersicht der Phenylpropanoide © Csernicska Sara

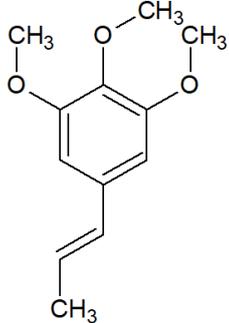
In Tab. 1 werden die flüchtigen Phenole, die zu den Kohlenwasserstoff-Verbindungen zählen, aufgeführt. Es enthält eine Auflistung der Phenylpropane unter der Berücksichtigung ihrer jeweiligen chemischen Eigenschaften.

Tab. 1: Struktur und Nomenklatur der im ätherischen Öl der Muskatnuss vorkommenden einfachen phenolischen Verbindungen (Phenylpropane)

RI ¹	Verbindung: ² Allgemeiner Name IUPAC-Name	Bindung	Summen ² - und Strukturformel ³
1285	Safrol 5-Allyl-benzol-1,3-dioxole 5-Prop-2-enyl-1,3-benzodioxole	(2-propenyl)-benzene	C ₁₀ H ₁₀ O ₂ 

1356	<p style="text-align: center;">Eugenol</p> <p>4-Allyl-2-methoxyphenol 2-methoxy-4-prop-2-enylphenol</p>	(2-propenyl)-benzene	<p style="text-align: center;">$C_{10}H_{12}O_2$</p> 
1403	<p style="text-align: center;">Methyleugenol</p> <p>4-Allyl-1,2-dimethoxybenzene 1,2-dimethoxy-4-prop-2-enylbenzene</p>	(2-propenyl)-benzene	<p style="text-align: center;">$C_{11}H_{14}O_2$</p> 
1448	<p style="text-align: center;">Isogeugenol</p> <p>2-Methoxy-4-propenylphenol 2-methoxy-4- [(E)-prop-1-enyl]phenol</p>	(1-propenyl)-benzene	<p style="text-align: center;">$C_{10}H_{12}O_2$</p> 

1491	<p>Cis-Methylisoeugenol</p> <p>Cis-4-Propenyl Veratrole 1,2-dimethoxy-4-[(Z)-prop-1-enyl]benzene</p>	(1-propenyl)-benzene	<p>$C_{11}H_{14}O_2$</p> 
1517	<p>Myristicin</p> <p>6-allyl-4-methoxy-1,3-benzodioxole 4-methoxy-6-prop-2-enyl-1,3-benzodioxole</p>	(2-propenyl)-benzene	<p>$C_{11}H_{12}O_3$</p> 
1555	<p>Elemicin</p> <p>5-Allyl-1,2,3-trimethoxybenzene 1,2,3-trimethoxy-5-prop-2-enylbenzene</p>	(2-propenyl)-benzene	<p>$C_{12}H_{16}O_3$</p> 

1568	<p style="text-align: center;">Isoelemicin</p> <p>5-Propenyl-1,2,3-trimethoxy 1,2,3-trimethoxy-5-[(E)-prop-1-enyl]benzene</p>	(1-propenyl)-benzene	<p style="text-align: center;">$C_{12}H_{16}O_3$</p> 
------	--	----------------------	---

¹gibt den Retentionsindex und somit das Elutionsverhalten bei einer gaschromatographischen Analyse auf einer apolaren Trennsäule an (ADAMS, 2007).

² Der allgemeine Name und der IUPAC-Bezeichnung, sowie die Summenformel wurden der Quellenangabe Pubchem (siehe Literaturverzeichnis) entnommen.

³ Strukturformeln gezeichnet von © Ao. Univ.-Prof. Dr. phil . Remigius Chizzola

1.1.Fragestellung dieser Arbeit mit folgender Hypothese

Die Muskatnuss als Gewürz enthält reichlich ätherische Öle. Diese sind komplex zusammengesetzte Fraktionen aus flüchtigen Verbindungen, die auch toxikologisch bedenkliche Stoffe, wie Myristicin, Elemicin und Safrol, enthalten können. In dieser Diplomarbeit werden mit Hilfe von ausgewählten Proben aus dem österreichischen Lebensmittelhandel, Daten und Auswertung bezüglich der Zusammensetzung des ätherischen Öles und zur Gehaltsbestimmung der potentiell toxischen Phenylpropane erhoben und im Sinne der Lebensmittelsicherheit diskutiert.

1.2.Rechtliche Anforderungen

1.2.1. Österreichisches Lebensmittelbuch

Gemäß § 77 des LMSVG (Lebensmittelsicherheits- und Verbraucherschutzgesetz) werden die Aufgaben und Organisation der Lebensmittel-Codexkommission (zur fachlichen Beratung des Gesundheitsministers) geregelt. Diese Codexkommission verlautbart im Auftrag des Gesundheitsministers das Österreichische Lebensmittelbuch (ÖLMB, auch Codex Alimentarius Austriacus genannt) laut § 76 des LMSVG. Insbesondere folgende Punkte zum Inverkehrsetzen von Waren nach dem LMSVG werden im ÖLMB berücksichtigt:

Sachbezeichnungen

Begriffsbestimmungen

Untersuchungsmethoden

Verkehrsfähigkeit

Beurteilungsgrundsätze

Richtlinien für das Herstellen und Inverkehrbringen

Das ÖLMB selbst ist keine Rechtsvorschrift im engeren Sinne, stellt jedoch aus rechtlicher Sicht ein "objektiviertes Sachverständigengutachten" dar.

Der *Codex Alimentarius Austriacus* (Kapitel B28 „Gewürze“) gibt den Gehalt an ätherischen Ölen in Prozent an, den das jeweilige Produkt aufweisen sollte. Für die Muskatnuss gelten die in Tab. 2 angeführten Werte.

Tab. 2: Qualitätsanforderungen für Muskatnuss laut österreichischem Lebensmittelbuch:

Ware	Ätherische Ölgehalt in %
Ganze Ware/Produkt	5,5 %
Gemahlene Ware	4,5 %
Macis	7,0 %

1.2.2. EU Regulierungen

1.2.2.1. Aromen

Die VO (EG) Nr. 1334/2008 bestimmt über Aromen und bestimmte Lebensmittelzutaten mit Aromaeigenschaften zur Verwendung in und auf Lebensmitteln:

Artikel 6 (1) verweist auf „Anhang III“, in dem folgendes geregelt wird:

- „Teil A: Stoffe, die Lebensmitteln nicht als solche zugesetzt werden dürfen“:
 - Estragol
 - Methyleugenol
 - Safrol

- „Teil B: Höchstmengen bestimmter Stoffe, die von Natur aus in Aromen und Lebensmittelzutaten mit Aromaeigenschaften vorkommen, in bestimmten zusammengesetzten Lebensmitteln, denen Aromen und/oder Lebensmittelzutaten mit Aromaeigenschaften zugesetzt worden sind“. Tab. 3 gibt in komprimierter Form einen Auszug aus „Teil B“.

Tab. 3: Höchstmengen der Phenylpropane in Lebensmitteln laut VO (EG) Nr. 1334/2008

Bezeichnung des Stoffes	Zusammengesetzte Lebensmittel, in denen die Menge dieses Stoffes eingeschränkt ist	Höchstmenge in mg/kg
Estragol (*) 1-Allyl-4-methoxybenzol	Milcherzeugnisse	50
	Verarbeitetes Obst und Gemüse (einschließlich Pilze, Wurzelgemüse, Knollen, Hülsenfrüchte, Leguminosen), verarbeitete Nüsse und Samen	50
	Fischerzeugnisse	50
	Alkoholfreie Getränke	10
Methyleugenol (*) 4-Allyl-1,2-dimethoxybenzol	Milcherzeugnisse	20
	Fleischzubereitungen und Fleischerzeugnisse einschließlich Geflügel und Wild	15
	Fischzubereitungen und Fischerzeugnisse	10

	Suppen und Saucen	60
	Verzehrfertige pikante Knabbererzeugnisse	20
	Alkoholfreie Getränke	1
Safrol (*) 1-Allyl-3,4- methyldioxybenzol	Fleischzubereitungen und Fleischerzeugnisse einschließlich Geflügel und Wild	15
	Fischzubereitungen und Fischerzeugnisse	15
	Suppen und Saucen	25
	Alkoholfreie Getränke	1

(*) „Die Höchstwerte gelten nicht, wenn ein zusammengesetztes Lebensmittel keine hinzugefügten Aromen enthält und die einzigen Lebensmittelzutaten mit Aromaeigenschaften, die hinzugefügt wurden, frische, getrocknete oder tiefgekühlte Kräuter oder Gewürze sind. Die Kommission schlägt gegebenenfalls Änderungen zu dieser Ausnahme nach Konsultation der Mitgliedsstaaten und der Behörde auf der Grundlage der durch die Mitgliedsstaaten bereitgestellten Daten und der neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse und unter Berücksichtigung der Verwendung von Kräutern, Gewürzen und natürlichen Aromaextrakten vor.“

1.2.2.2. Kosmetische Mittel

Die Verordnung (EG) Nr. 1223/2009 über kosmetische Mittel regelt, dass „Kapitel IV Einschränkungen für bestimmte Stoffe, Artikel 14 Einschränkungen für in den Anhängen aufgeführte Stoffe, (1) Unbeschadet der Bestimmungen von Artikel 3 dürfen kosmetische Mittel bestimmte Stoffe nicht enthalten (Tab. 4) oder sind Einschränkungen unterworfen (Tab. 5)“.

Tab. 4: „Anhang II: Liste der Stoffe, die in kosmetischen Mitteln verboten sind“.

Laufende Nummer	Bezeichnung der Stoffe
360	„Safrol, außer normale Gehalte in verwendeten natürlichen ätherischen Ölen und unter Voraussetzung, dass die Konzentration folgende Werte nicht überschreitet:

	100 ppm im Enderzeugnis, 50 ppm bei Zahn- und Mundpflegemitteln, wobei jedoch Kinderzahnpasten saftrolfrei sein müssen.“
--	--

Tab. 5: „Anhang III: Liste der Stoffe, die kosmetische Mittel nur unter Einhaltung der angegebenen Einschränkungen enthalten dürfen“.

Bezeichnung aller Stoffe	Einschränkungen
Eugenol (2-Methoxy-4-(2-propenyl)-phenol)	<u>Sonstige:</u> Die Stoffe in einer Konzentration von mehr als: <ul style="list-style-type: none"> • -0,001 % in Mitteln, die auf der Haut verbleiben, • -0,01 % in Mitteln, die ab gespült werden, • müssen in der Liste der Bestandteile gemäß Artikel 19 Absatz 1 Buchstabe g angegeben werden
Isoeugenol (2-Methoxy-4-(1-propenyl)-phenol)	<u>Sonstige:</u> Die Stoffe in einer Konzentration von mehr als: <ul style="list-style-type: none"> • -0,001 % in Mitteln, die auf der Haut verbleiben, • -0,01 % in Mitteln, die ab gespült werden, • müssen in der Liste der Bestandteile gemäß Artikel 19 Absatz 1 Buchstabe g angegeben werden
Methyleugenol (1,2-Dimethoxy-4-(2-propenyl)-benzol)	<ul style="list-style-type: none"> • Art des Mittels, Körperteile → Höchstkonzentration in der gebrauchsfertigen Zubereitung • Parfum → 0,01 % • Eau de Toilette → 0,004 % • Cremeparfüm → 0,002 % • Sonstige Mittel, die auf der Haut/im Haar verbleiben, und Mundmittel → 0,0002 % • Auszuspülende/abzuspülende Mittel → 0,001 %

1.2.2.3. Drogenausgangsstoffe

In dieser VO (EG) Nr. 273/2004 ist nachzulesen: „Die Maßnahmen für Sassafrasöl werden derzeit innerhalb der Gemeinschaft unterschiedlich ausgelegt, da es in einigen Mitgliedsstaaten als Mischung betrachtet wird, die Safrol enthält, und daher überwacht wird, während andere Mitgliedsstaaten dieses Öl als Naturprodukt ansehen, für das keine Kontrollmaßnahmen gelten. Diese unterschiedliche Behandlung lässt sich dadurch lösen, dass auch die Naturprodukte in die Begriffsbestimmung für „erfasste Stoffe“ einbezogen werden, so dass Sassafrasöl einer Überwachung unterzogen werden kann; allerdings sollte diese Begriffsbestimmung nur für solche Naturprodukte gelten, aus denen sich die erfassten Stoffe leicht gewinnen lassen.“

2. Material und Methodik

2.1. Probenmaterial

Insgesamt wurden 32 Proben im Lebensmittelhandel eingekauft und in Kategorien, einerseits Probe 1-19 (Tab. 6), andererseits Probe 20-32 (Tab. 7), eingeteilt.

Kurze Beschreibung der Proben:

Probe 1-6: Muskatnuss wurde in geriebener Form erworben.

Probe 7-16: Die Muskatnuss lag als ganzer Samen vor. Diese Proben wurden vor der Gewinnung des ätherischen Öls gerieben.

Probe 17-19: Muskatblüte wurde in getrockneter Form erworben.

Probe 20-32: Gewürzmischungen, welche in der Zutatenliste „Muskatnuss“ angegeben haben. Eine Aufschlüsselung der Zutaten, der einzelnen Produkte, wird in Tab. 8 angegeben.

Das ätherische Öl der Produkte, wurde durch drei verschiedene Verfahrenstechniken, nämlich Wasserdampfdestillation (WD), Mikrodestillation (MD) und Extraktion (E), gewonnen. Welche Verfahrenstechnik angewendet wurde, ist der Tab. 6 und Tab. 7 zu entnehmen.

2.2. Probenübersicht in tabellarischer Form

Tab. 6: Probenliste (Probe 1-19).

Nr.	Probenname	Firma	Methodik		
			WD	MD	E
Muskatnuss gemahlen					
1	Gemahlene Muskat	Sonnentor	X	X	X
2	Muskatnuss	Probio	X	X	X
3	Muskatnuss	EZA	X	X	X
4	Muskatnuss	Le Gusto	X	X	X
5	Muskatnuss	Kotanyi	X	X	X
6	Muskatnuss	Wiberg	X	X	X
Muskatnuss ganz					
7	Muskatnuss	Sonnentor	X	X	X
8	Muskat	Kiano	X	X	X
9	Muskatnuss	Viveria	X	X	X
10	Muskatnuss	Albert Nemes	X	X	X
11	Muskatnuss	Kania	X	X	X
12	Muskatnuss	Alnatura	X	X	X
13	Muskatnuss	Fuchs	X	X	X
14	Muskatnuss	EZA	X	X	X
15	Muskatnuss	Kotanyi	X	X	X
16	Muskatnuss	Wiberg	X	X	X
Muskatblüte					
17	Muskatblüte	Kiano	X	X	X
18	Muskatblüte	Life Earth	X	X	X
19	Muskatblüte	EZA	X	X	X

Tab. 7: Zusammensetzung der Gewürzmischungen laut Etikette.

Nr.	Probenname	Firma	Methodik		
			WD	MD	E
	Gewürzmischung fein				
20	Gemüsebrühe-Würfel, Hefefrei	Naturata		X	
21	Gemüse-Brühwürfel	Ernteseegen-feine Naturkost		X	
22	Gemüsesuppe - Würfel	Knorr		X	
23	Klare Suppe -Würfel	Knorr		X	
24	Bio-Brotgewürz	Life Earth		X	
25	Gewürzzubereitung für Dauerwurst und Selchwurst	Marcel Kropf		X	
26	Leberknödel-Gewürzzubereitung	Marcel Kropf		X	
27	Veggy Würzen ohne Salz-Classic	Kotanyi		X	
28	Golden Milk- mit Curcuma, Ingwer & more	Kotanyi		X	
29	Liptauer-Gewürzzubereitung	Kotanyi		X	
30	Gewürzsalz Gemüse	Le Gusto		X	
31	Bio-Küchenkräuter für die Seele	Spar-wie früher		X	
32	Knusprige Brathendl-Gewürzzubereitung	Spar-Premium		X	

Tab. 8: Zusammensetzung der Gewürzmischungen laut Etikette.

Nr.	Name	Zutaten
20	„Gemüsebrühe–Würfel, Hefefrei“	Meersalz, Sheafett, Gemüse 11,5% (Zwiebeln, Karotten, Lauch, Röstzwiebeln), Maisstärke, Roh-Rohrzucker, Petersilie, Liebstöckelblätter, Knoblauch, Curcuma, Muskat, Pfeffer.
21	„Gemüse-Brühwürfel“	Steinsalz, Sheafett, Maisstärke, Maltodextrin, 5,0% Zwiebeln, 2,4% Lauch, 1,9% Karotten, Liebstöckelblätter, Knoblauch, 0,5% Tomatenpulver, Petersilie, Muskatnuss, Curcuma, Pfeffer, Rosmarin.
22	„Gemüsesuppe–Würfel“	Jodiertes Speisesalz, Geschmacksverstärker (Mononatriumglutamat, Dinatriuminosinat, Dinatriumguanylat), Palmfett, Kartoffelstärke, Gemüse (2,5% Karotten, 2,5% Sellerie, 2% Zwiebeln, Karfiol), Aromen (mi Sellerie), Zucker, Hefeextrakt, Gewürze (Selleriesamen, Curcuma, Muskatnuss), Kräuter (Petersilie, Basilikum), Speisesalz, Zwiebelsaftkonzentrat, Sonnenblumenöl.
23	„Klare Suppe–Würfel“	Jodiertes Speisesalz, Geschmacksverstärker (Mononatriumglutamat, Dinatriuminosinat, Dinatriumguanylat), Palmöl, Stärke, Speisesalz, 2,5% Gemüse (Zwiebeln, Karotten), Hefeextrakt, Maltodextrin, Gewürze (Selleriesamen, Curcuma, Muskat), Fruktose, Aromen, Sojasauce (Sojabohnen, Weizen), Petersilie.
24	„Bio–Brotgewürz“	Piment, Koriander, Kümmel, Anis, Sternanis, Muskatblüten, Fenchel, Kardamom, Zimt.
25	„Gewürzzubereitung für Dauerwurst und Selchwurst“	Gewürze (u.a. Pfeffer, Knoblauch, Kümmel, Muskatnuss, (Sellerie, Senf), Speisesalz, Saccharose, Speisewürzen, Gewürzextrakte, Aroma.
26	„Leberknödel-Gewürzzubereitung“	Kräuter (Majoran, Petersilie), Gewürze (Pfeffer, Muskat, Pastinake), Speisesalz, Dextrose, Speisewürze, Gewürzextrakte.

27	„Veggy Würzen ohne Salz-Classic“	Zwiebel (30%), Kümmel, Knoblauch (13%), Rosmarin (10,5%) Grünkohl (9%), Bohnenkraut, Tomatengranulat (5%), Bärlauch, Schnittlauch, Majoran, Pfeffer, Muskatnuss, Blütenmischung (Ringelblumenblüten, Pfefferminzblätter, Kornblumenblüten rot, Erdbeerblätter, Kornblumenblüten blau, Malvenblüten).
28	„Golden Milk-mit Curcuma, Ingwer & more“	(65%) Curcuma, Zimt, (7%) Ingwer, Pfeffer, Muskatnuss.
29	„Liptauer-Gewürzzubereitungen“	Paprika, Speisesalz jodiert (Speisesalz, Kaliumiodid), Zwiebel, Petersilie, Knoblauch, Schnittlauch, Kümmel, Pfeffer, Cayennepfeffer, Muskatnuss, Basilikum, natürliches Aroma.
30	Gewürzsalz Gemüse	Speisesalz, Reismehl, Pastinaken, Zwiebeln, Pfeffer weiß, Knoblauch, Muskatblüte, Liebstöckel, Curcuma.
21	Bio-Küchenkräuter für die Seele: Weg mit dem Stress	Johanniskraut 15%, Majoran, Melisse, Bohnenkraut, Beifuß, Ringelblume, Ingwer, Kümmel, Rosmarin, Kardamom, Muskatnuss, Lorbeerblatt, Dill, Kreuzkümmel, Piment, Anis, Pfeffer, Koriander, Nelken, Chili, Vanille, Zimt.
32	Knusprige Brathendl-Gewürzzubereitungen	Steinsalz, Paprika 20%, Pfeffer weiß, Rosa Beeren (Schinus terebinthifolius) 6,5%, Pfeffer schwarz, Thymian, Petersilie, Koriander, Knoblauch, Rosmarin 1,6%, Piment, Curcuma, Kümmel, Pfeffer grün, Bockshornklee, Majoran, Estragon, Lorbeer, Muskatnuss, Myrte.

2.3.Methodik

2.3.1. Reagenzien und Lösungen

Herstellung der Standards für GC-Analyse:

Interner Standard 1:

Hexadecan in Hexan 0,2 mg/ml (z.B. 10,0 mg in 50 ml)

n-Hexan (Fa. Roth; Art. Nr.: T 908.1)

n-Hexadecane (Fa. Merck; Art. Nr.: 1.09605.0005)

Interner Standard 2:

0,2 mg/ml Hexadecan in Dichlormethan (DCM)

n-Hexadecane (Fa. Merck; Art. Nr.: 1.09605.0005)

Dichlormethan (Fa. Roth; Art. Nr.: 7562.1)

2.3.2. Probenvorbereitung

Grobes Probenmaterial, z.B. ganze Muskatnüsse oder *Maces* werden in der Schwingmühle (Fa. Retsch; MM301), bei einer Frequenz 30/sec bei 15-20 Sekunden, zerkleinert und am selben Tag noch für weiterführende Analyse bzw. Extraktion verwendet. Zwischen den einzelnen Proben erfolgte eine Reinigung der benutzten Apparatur mittels Ethanol 100 % (Fa. Chem-Lab).

Zerkleinertes Probenmaterial wird mit Wägebapier (Fa. Macherey-Nagel, MN 226 90 x 115 mm) oder Spatel, auf der Feinanalysen Waage (Fa. Mettler Toledo; New Classic MS) eingewogen.

Es wurden drei verschiedene Extraktionsverfahren nämlich, Wasserdampfdestillation (WD), Mikrodestillation (MD) und Extraktion (E) mit Dichlormethan, angewendet, um eine

umfangreiche Komponentenaufschlüsselung zu erhalten. Bei der Wasserdampfdestillation und Mikrodestillation wurde das ätherische Öl der Probe gewonnen. Die Extraktion durch Dichlormethan stellt eine Schnellmethode dar. Man gewinnt ein Extrakt an lipophilen flüchtigen Inhaltsstoffen, doch ist jenes nicht mit einem ätherischen Öl gleichzustellen.

Als Qualitätskontrolle wurde eine Doppelbestimmung (Duplikat) durchgeführt.

2.3.3. Extraktionsverfahren

2.3.3.1. Wasserdampfdestillation

Geräte:

Oberschalige Waage (Fa. Sartorius)

Destillationsapparatur vom Clevenger-Typ (Fa. Hollergschwandtner)

Heizhauben (Fa. Lab Heat, mit 500 ml Kolbenvolumen)

Chemikalien:

Aqua dest.

Die Zielsetzung der Wasserdampfdestillation umfasst die Bestimmung des Gehaltes an ätherischen Ölen.

Die vorbestimmte Einwaage, 3 g jeder Probe inklusive Duplikat, werden in einem Rundkolben exakt mit einer oberchaligen Waage eingewogen. Jener Rundkolben wird mit 400 ml *Aqua dest.* aufgefüllt und vier Siedesteinchen, bestehend aus Polytetrafluorethylen (PTFE), werden hinzugefügt.

Die Destillationsapparatur wird bei geschlossenem Hahn mit *Aqua dest.* aufgefüllt und die Kühlung wird eingeschaltet. Als nächstes werden die Rundkolben mittels Kolbenklemme an der Apparatur befestigt. In weiterer Folge werden die Heizhauben an die Kolben angepasst, fixiert und mit voller Heizkraft gestartet.

Die Destillationszeit beginnt, wenn das Probengemisch zu kochen beginnt und der erste Tropfen aus dem Überlauf tropft. Die Tropfgeschwindigkeit wird auf 40 Tropfen in der Minute mittels Regulation an der Heizhaube eingestellt.

Mit Ende der Destillationszeit wird die Heizhaube ausgeschaltet und abgenommen. Die Proben kühlen etwa 5 Minuten ab. Anschließend wird das ätherische Öl langsam in die Messur der Apparatur abgelassen. Die Anzahl der Teilstriche wird abgelesen. Das ätherische Öl wird möglichst wasserfrei in ein GC-Vials überführt.

Nach Erhalt des ätherischen Öls ist eine Verdünnung von 1:100 mittels Standard 1 durchzuführen, d.h. 5 µl ätherisches Öl mit 495 µl Standard 1 verdünnen.

Die Berechnung der Werte findet wie folgt statt:

$$\text{Ätherisches Öl in \%} = (\text{ml} \times 100) / \text{Einwaage (g)}$$

$$\text{ml} = \text{Teilstriche} \times \text{Mensureinheit (0,01 ml)}$$

Material und sonstiges Zubehör:

Rundkolben (Fa. Schott/Duran, 1000 ml Kolbenvolumen)

Siedesteinchen aus PTFE (Fa. Roth, Art. Nr. L429.1)

GC-Vials (Fa. Shimadzu; Art. Nr. 11090519)

Micro Insert 0,1 ml clear glass (VWR International Art. Nr. 548-0020)

2.3.3.2. Mikrodestillation

Geräte und Diverses:

Eppendorf-Mikrodistillier (Abb. 5) mit zugehörigem Glasmaterial (30 ml GC-Vials)



Abb. 5: Eppendorf-Mikrodistillier mit zugehörigem Glasmaterial © Foto von Csernicska Sara

Chemikalien:

Aqua dest.

Natriumchlorid (Natriumchlorid)

n-Hexan

n-Hexadecan

Material und sonstiges Zubehör:

Burdel Verschluss mit Septen (Fa. Thermo Fisher) Verschluss des Glasmaterials (30 ml, GC-Vials)

Universal-Destillationskapillare

GC Vials (Fa. Agilent; 2 ml) mit Schraubverschluss (Fa. Agilent; mit Septumeinlage: 3 mm PTFE/RS)

Pipettensatz von Sartorius

Siedefritte

Zielsetzung dieses Extraktionsverfahrens ist es, ätherisches Öl via Mikrodestillation zu gewinnen.

Prinzipiell gilt, dass mit Wasser und der Pflanzenprobe befülltes und beheiztes Probengefäß über eine Kapillare mit dem gekühlten Auffanggefäß zu verbinden (Abb. 6). Während der ca. einstündigen Destillationszeit werden die ätherischen Öle mit dem Wasser in das Auffanggefäß überdestilliert. Das lipophile Öl wird dabei im Auffanggefäß in n-Hexan gelöst.



Abb. 6: Befülltes und beheiztes Probengefäß (links) über eine Kapillare (gelb) verbunden mit dem gekühlten Auffanggefäß (rechts). (© Foto von Csernicska Sara)

Vorbereitung der Proben:

Es sollen immer sechs Proben gleichzeitig destilliert werden, um ungestörte Ergebnisse zu erhalten.

Zerkleinertes Probenmaterial wird auf 0,2 g in das Probengefäß eingewogen. Weiteres werden 10 ml *Aqua dest.* und eine Siedefritte hinzugefügt.

Das Auffanggefäß wird mit 1 ml *Aqua dest.*, 0,5 g NaCl und 300 µl Interner Standard 1 (Hexadecan in Hexan) versehen.

Nun werden das Probengefäß und das Auffanggefäß, durch eine universale Destillationskapillare verbunden. An dem Ende des Probengefäßes, wird die Kapillare bis zur schwarzen Markierung durch das Septum durchgeschoben, während am andere Ende der Universal-Destillationskapillare-verbunden mit dem Auffanggefäß-die Verschlüsse nur locker aufgesetzt werden sollten. Mitunter muss die Kapillare im Probengemisch eintauchen.

Nach Ablauf des Mikrodestillations-Programms (Tab. 9: Bedingungen für die Mikrodestillation) wird die Kapillare aus dem Probengefäß herausgezogen und schließlich für einige Minuten bei Raumtemperatur zum Abkühlen belassen.

Tab. 9: Bedingungen für die Mikrodestillation.

Standardprogramm für ätherische Öle wie folgt:			
	Heizen (Probengefäß)		Kühlen (Auffanggefäß)
Heizrate	20 °C/Min		
Destillation	108 °C	15 min	-2 °C
Heizrate	20 °C/Min		
Destillation	112 °C	45 min	-2 °C
Dauer: 90 min			

Nun werden dem Auffanggefäß wenige Milliliter *Aqua dest.* hinzugefügt, sodass die Hexan-Phase in die Verengung aufsteigt. Die Hexanphase wird nun vorsichtig abpipettiert und in ein GC Vial überführt. Jenes kann im Kühlschrank bei -18°C gelagert und dann weiteren Untersuchungstechniken, wie GC-MS und Flammenionisationsdetektor (FID), unterzogen werden.

2.3.3.3. Extraktion mit Dichlormethan

Geräte:

Ultraschallbad (Fa. Bandelin, Sonarex, RK156 H)

Chemikalien:

n-Hexadecan

Dichlormethan

Material und Zubehör:

Eprouvetten

Lamellenstopfen (Fa. Roth; Durchmesser: 16 mm)

Eprouvettenhalterung

Klebestreifen (Tixo)

Einmalspritzen (Fa. Braun; 2teilig, 2 ml)

Rothlabo[®]-Spritzenfilter, PTFE, unsteril, Porengröße 0,2 µm, Durchmesser 15mm (Fa. Roth; Art. Nr.: KC94.1)

GC Vials (Fa. Agilent; 2ml) mit Schraubverschluss (Fa. Agilent; mit Septoneinlage: 3 mm PTFE/RS)

Zielsetzung und Durchführung:

Ziel ist die Extraktion von lipophilen, flüchtigen Pflanzenstoffen mit Dichlormethan als Vorbereitung für die GC-Analyse.

Zunächst werden 0,1 mg zerkleinertes Pflanzenmaterial in einer Eprouvette eingewogen. Der nächste Schritt ist die Zugabe von 1,5 ml Standard 2. Nun werden die Stopfen gut, mittels Tixo, an den Eprouvetten befestigt. In einer Zeit von 30 Minuten extrahieren die Proben im Ultraschallbad, bei Raumtemperatur und ohne Kühlung. Der Überstand wird mittels Einmalspritzen und Spritzenfilter unter einem Abzug in ein GC-Vial überführt.

2.4. Gaschromatographie

Für die gaschromatographische Analysen stand ein Gaschromatograph (7890A) der Firma Agilent Technologies mit einem 5975C VL massenselektiven Detektor (MSD) und einem Flammenionisationsdetektor (FID) zur Verfügung. Die Probeneingabe erfolgte mit einem automatischen CTC-PAL-Probengeber. Als Trennsäule diente eine HP5-MS Kapillarsäule von 30 m Länge, 250 µm Innendurchmesser und einer Beschichtung von 0,25 µm. Nach der Trennsäule wurde der Gasfluss mit einem Deans-Switch zu etwa gleichen Teilen zum MSD und FID geleitet. Helium mit 1,4 ml/min im konstanten-Fluss-Modus wurde als mobile Phase verwendet. Es wurde immer 1 µl eingespritzt, wobei der Einspritzblock auf 250 °C bei einem split-Verhältnis von 40:1 gehalten wurde. Die Temperatur des Säulenofens wurde folgendermaßen programmiert: 1 Minute bei 50 °C, mit 5 °C/min auf 220 °C, mit 15 °C/min auf 280 °C und 4 Minuten bei 280 °C halten.

Der MSD erfasste die Massen von m/z 40-400. Die weiteren Einstellungen waren: MS Source 250 °C, MS Quad 150 °C, Gain Factor 1, Threshold 50, Sample 3 und A/D Samples 8.

Der FID wurde bei 250 °C mit 40 ml/min Wasserstoff und 400 ml/min synthetischer Luft betrieben.

Die Mikrodestillate und die Extrakte konnten direkt gemessen werden, die ätherischen Öle aus der Wasserdampfdestillation wurden vor der Analyse noch 1:100 mit Hexan/Hexadecan verdünnt, d.h. 5 µl Öl mit 495 µl Standard 1 verdünnen.

FID-Signal des Gaschromatographen wurde ausgewertet. Für die Identifizierung der Komponenten wurden die Massenspektren herangezogen, wobei die Gerätesoftware die gemessenen Spektren mit den Einträgen der Spektrenbibliotheken Wiley 275 und NIST 08 verglich. Zusätzlich wurden Retentionsindizes durch Messung der Retentionszeiten der Komponenten der homologen Alkanreihe C₈-C₃₀ berechnet und mit den Literaturangaben abgeglichen (ADAMS, 2007).

Schließlich wurde das Signal des FID herangezogen, um die prozentuellen Anteile der Einzelsubstanzen in den Proben zu berechnen.

3. Ergebnisse

Aus den Proben 1-19, d.h. Probe 1-6 (Muskatnuss gemahlen), Probe 7-16 (Muskatnuss ganz), und Probe 17-19 (Muskatblüte), wurde ätherisches Öl der *Myristica fragrans* durch die drei Extraktionsverfahrensmethoden: Wasserdampfdestillation, Mikrodestillation und Extraktion mit Dichlormethan gewonnen. Das ätherische Öl wurde dann mittels GC/MS überprüft. Mitunter wurde der FID Wert ermittelt, um eine anschließende Komponentenauswertung durchzuführen.

Bei den Gewürzmischungen (Probe 20-32) wurde eine Mikrodestillation, und in weiterer Folge über die GC/MS auch eine Komponentenidentifizierung durchgeführt. Bei den Proben 20-23, bestehend aus den „Suppenwürfeln“, war es zwar möglich die Hexan-Phase zu gewinnen, doch ergab die Analyse durch die GC/MS kein Ergebnis über das Vorhandensein von Komponenten, die in der Muskatnuss enthalten sind.

Die Ergebnisse wurden systematisch aufgeschlüsselt beschrieben nach:

- Monoterpene
- Oxidierte Monoterpene
- Sesquiterpene
- Oxidierte Sesquiterpene
- Phenylpropane
 - (2-propenyl)-benzene – endständige Doppelbindung
 - (1-propenyl)-benzene – mittelständige Doppelbindung

Bei der Wasserdampfdestillation wurde das ätherische Öl anhand der Teilstriche bei der Apparatur abgelesen und mit der Measureinheit (0,01) multipliziert um eine Angabe in Milliliter zu erhalten. Wie bereits im Kapitel 2.3.3.1 Wasserdampfdestillation (S. 21) angeführt wurde für die Proben 1-19 das ätherische Öl (%) errechnet. Eine Darstellung der Ergebnisse folgt in Tab. 10.

Tab. 10: Berechnung des ätherischen Öls in % der Probe 1-19, gewonnen durch Wasserdampfdestillation mit einer Einwaage von 3 g.

Gemahlene Muskatnuss										
Probe	1	2	3	4	5	6				
ml	0,09	0,19	0,17	0,14	0,18	0,10				
Ätherisches Öl (%)	2,83	6,33	5,50	4,50	6,00	3,17				
Ganze Muskatnuss										
Probe	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ml	0,29	0,29	0,30	0,17	0,26	0,37	0,16	0,28	0,21	0,17
Ätherisches Öl (%)	9,50	9,67	9,83	5,67	8,50	12,33	5,17	9,17	6,83	5,67
Muskatblüte										
Probe	17	18	19							
ml	0,61	0,56	0,45							
Ätherisches Öl (%)	20,33	18,50	14,83							

3.1. Probengruppen

3.1.1. Gemahlene Muskatnuss

3.1.1.1. Wasserdampfdestillation

Die Werte der gemahlene Muskatnuss, Probe 1-6, welche durch die Wasserdampfdestillation gewonnen wurden, werden vergleichend in Abb. 7 dargestellt. Die *Monoterpene* erreichten in Probe 4 (36,40 %) das niedrigste und in Probe 2 (73,15 %) das höchste Ergebnis. Der Mittelwert aller sechs Proben betrug 59,2 %. Die am stärksten vertretenen Komponenten bezogen auf den Mittelwert sind Sabinen (19,54 %), β -Pinen (9,36 %), α -Pinen (8,10 %), Limonen (6,85 %) und γ -Terpinen (4,66 %). Die *oxidierten Monoterpene* wurden in Probe 2 (6,07 %) mit den geringsten und in Probe 4 (18,00 %) mit den höchsten Werten analysiert. Der Mittelwert aller Proben ergab 11,88 %. Terpinen-4-ol (7,58 %), Linalool (1,17 %) und α -Terpineol (2,09 %) präsentieren die Hauptkomponenten der oxidierten Monoterpene, da sie höher als 1 % liegen. Die *Sesquiterpene* zeigten den geringsten Wert in Probe 5 (1,51 %) und den höchsten in Probe 3 (5,03 %). Der Mittelwert der Proben der gemahlene Muskatnuss, bezogen auf die Sesquiterpene, liegt bei 3,03 %. Analysiert wurden α -Cubeben, α -Copaen, β -Caryophyllen, *trans*- α -Bergamoten und Germacren D. Jene Komponenten erreichten einen Mittelwert von 0,16-1,07 %. Die *oxidierten Sesquiterpene* ergaben in Probe 5 und Probe 6 kein Ergebnis. Der geringste Wert wurde in Probe 4 (0,17 %) und das höchste Ergebnis in Probe 1 (0,34 %) gefunden. Der Mittelwert der Proben ergab 0,17 %. Es wurde Spathulenol in geringen Mengen in Probe 1 (0,05 %) und Probe 3 (0,08 %) gefunden. Es wurden insgesamt 42 Komponenten im ätherischen Öl der gemahlene Muskatnuss identifiziert. Aus den Hauptkomponenten (>5 %) wurde der Mittelwert der Proben bestimmt, und absteigend gereiht, beginnend mit Sabinen (19,54 %), Myristicin (13,85 %), β -Pinen (9,36 %), α -Pinen (8,10 %), Terpinen-4-ol (7,58 %) und Limonen (6,85 %). Phenylpropane mit einer endständigen Doppelbindung, so genannte (*2-propenyl*)-benzene, wurden bei Probe 2 (15,82 %) mit den geringsten Werten, als auch bei Probe 4 (38,65 %) mit den höchsten Werten gemessen und errechnet. Der Mittelwert ergab 23,60 %. Die (*1-propenyl*)-benzene wurden mit dem geringsten Wert in Probe 5 (0,16 %), und dem höchsten Ergebnis in Probe 4 (3,50 %) gemessen. Alle sechs Proben ergaben einen Mittelwert von 1,02 %.

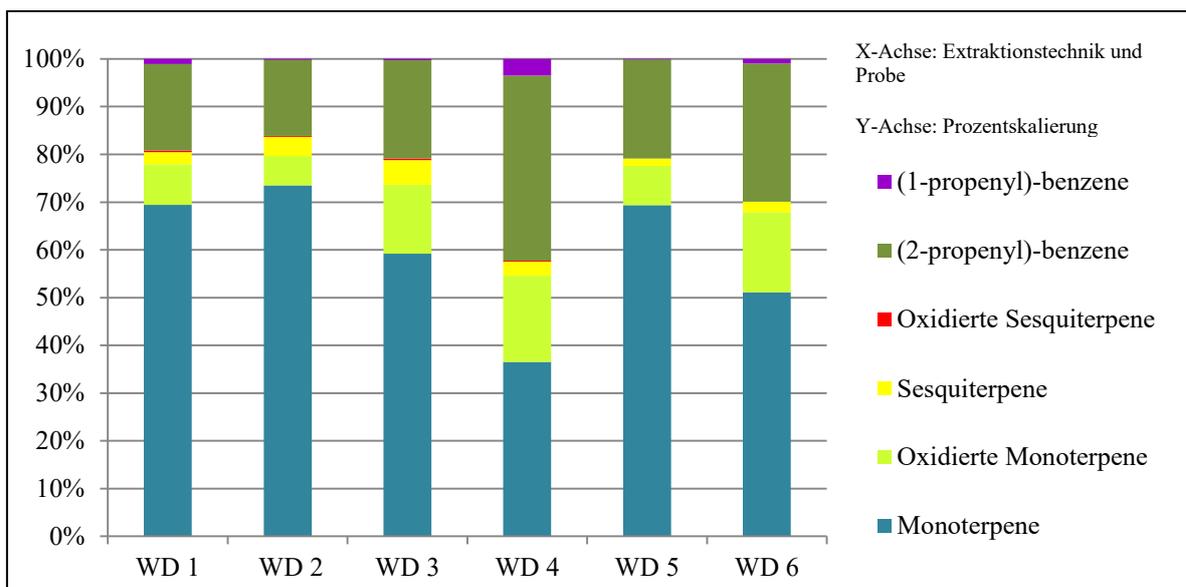


Abb. 7: Prozentangabe der ätherischen Öle durch Gewinnung über die Wasserdampfdestillation von der gemahlene Muskatnuss.

3.1.1.2. Mikrodestillation

Die Werte der gemahlene Muskatnuss, Probe 1-6, welche durch die Mikrodestillation gewonnen wurden, werden vergleichend in Abb. 8 dargestellt. Die *Monoterpene* ergaben den geringsten Werte in Probe 4 (36,45 %) und den Maximalwert in Probe 2 (73,03 %). Der Mittelwert aller sechs Proben betrug 58,68 %. Die am stärksten vertretenen Komponenten, bezogen auf den Mittelwert der Proben 16, sind Sabinen (19,75 %), β -Pinen (7,9 %), α -Pinen (7,2 %), Limonen (6,95 %) und γ -Terpinen (4,94 %). Die *oxidierten Monoterpene* wurden in Probe 2 (6,74 %) als geringster und in Probe 6 (17,71 %) als höchster Wert analysiert. Der Mittelwert aller Proben ergab 12,86 %. Terpinen-4-ol (7,33 %), α -Terpineol (1,71 %) und *cis*-Sabinenhydrat (1,44 %) präsentieren die oxidierten Monoterpene als die am höchsten vertretenen Komponenten. Die Sesquiterpene zeigten in Probe 5 (1,65 %) den geringsten und in Probe 2 (3,79 %) den höchsten Wert an. Der Mittelwert der Proben der gemahlene Muskatnuss bezogen auf die *Sesquiterpene* liegt bei 2,52 %. Analysiert wurden α -Cubeben, α -Copaen, β -Caryophyllen, *trans*- α -Bergamoten, Germacren D. Jene Komponenten erreichten einen Mittelwert von 0,20-0,71 %. Bei den *oxidierten Sesquiterpenen* wurde in Probe 5 (0,01 %) der geringste und in Probe 4 (0,26 %) das höchste Ergebnis gefunden. Der

Mittelwert der Proben ergab 0,17 %. Als Hauptkomponenten, der insgesamt 42 erfassten Komponenten, wurden aus dem Mittelwert der Proben in absteigender Reihenfolge, beginnend mit Sabinen (19,37 %), Myristicin (11,55 %), β -Pinen (9,0 %), Terpinen-4-ol (8,26 %), α -Pinen (7,2 %) und Limonen (6,95 %), aufgeschlüsselt. Phenylpropane mit einer endständigen Doppelbindung, so genannte *(2-propenyl)-benzene*, wurden bei Probe 2 (14,43 %) mit dem geringsten, als auch bei Probe 4 (36,62 %) mit dem höchsten Wert gemessen. Der Mittelwert ergab einen Wert von 22,97 %. Phenylpropane mit einer mittelständigen Doppelbindung, so genannte *(1-propenyl)-benzene*, wurden bei Probe 4 mit dem Höchstwert von 3,51 % und dem niedrigsten Wert bei Probe 2 mit 0,31 % gemessen. Auf alle sechs Proben wurde ein Mittelwert von 1,17 % ermittelt.

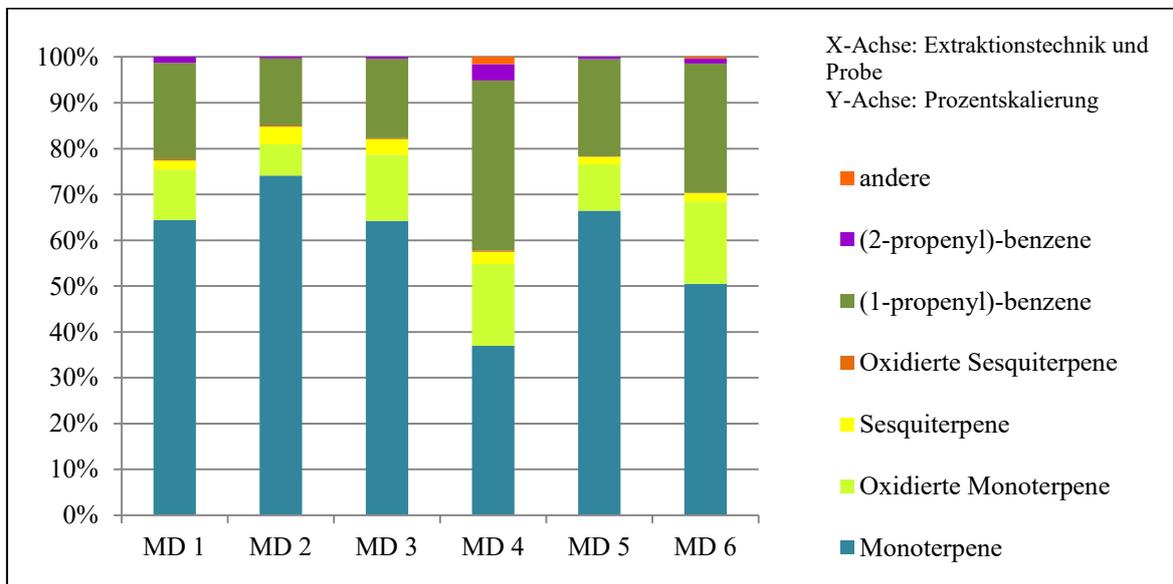


Abb. 8: Prozentangabe des ätherischen Öls durch Gewinnung über die Mikrodestillation von der gemahlene Muskatnuss (Probe 1-6).

3.1.1.3. Extraktion mit Dichlormethan

Die Werte der gemahlene Muskatnuss welche durch Extraktion mit Dichlormethan gewonnen wurden sind in Abb. 9 dargestellt. Die *Monoterpene* erreichten in Probe 4 (28,24 %) das niedrigste und in Probe 2 (69,36 %) das höchste Ergebnis. Der Mittelwert aller sechs Proben betrug 55,02 %. Die am stärksten vertretenen Komponenten bezogen auf den

Mittelwert sind Sabinen (20,19 %), β -Pinen (9,38 %), α -Pinen (8,07 %), Limonen (6,0 %) und γ -Terpinen (3,13 %). Die *oxidierten Monoterpene* wurden in Probe 2 (5,79 %) mit dem geringsten und in Probe 6 (15,02 %) mit dem höchsten Ergebnis analysiert. Der mittlere Wert aller Proben ergab 11,25 %. Terpinen-4-ol (4,51 %), Linalool (2,32 %) und *cis*-Sabinenhydrat (2,09 %) präsentieren die *oxidierten Monoterpene* als die am höchsten vertretenen Komponenten. Die *sesquiterpenen Kohlenwasserstoffe* zeigten in Probe 5 (1,5 %) den niedrigsten und in Probe 2 (5,65 %) den höchsten Wert an. Der Mittelwert der Proben der gemahlten Muskatnuss, bezogen auf die *sesquiterpenen Kohlenwasserstoffe* liegt bei 3,88 %. Analysiert wurden α -Cubeben, α -Copaen, β -Caryophyllen, *trans*- α -Bergamoten und Germacren D. Jene Komponenten erreichten einen Mittelwert von 0,43-1,29 %. Die *oxidierten Sesquiterpene* wurden in Probe 1 (1,01 %) als niedrigstes Ergebnis gemessen. Gleiche Höchstwerte wiesen die Probe 2 und Probe 4 auf, mit jeweils 1,6 %. Der Mittelwert aller sechs Proben ergab 1,4 %. Die Hauptkomponenten, der insgesamt 43 ermittelten Komponenten, wurden aus dem Mittelwert der Proben 1-6 in absteigender Reihenfolge, beginnend mit Sabinen (20,19 %), Myristicin (12,67 %), β -Pinen (9,38 %), Elemicin (8,20 %), α -Pinen (8,07 %) und Limonen (6,00 %), aufgeschlüsselt. Phenylpropane mit einer endständigen Doppelbindung, so genannte (*2-propenyl*)-benzene, wurden in Probe 2 (17,2 %) mit dem niedrigsten und bei Probe 4 (38,37 %) mit dem höchsten Wert gemessen. Der Mittelwert ergab einen Wert von 24,86 %. Phenylpropane mit einer mittelständigen Doppelbindung, so genannte (*1-propenyl*)-benzene, wurden in Probe 4 (4,19 %) als höchstes und in Probe 2 (0,38 %) als geringstes Ergebnis gemessen. Der Mittelwert aller sechs Proben wurde mit 2,29 % ermittelt.

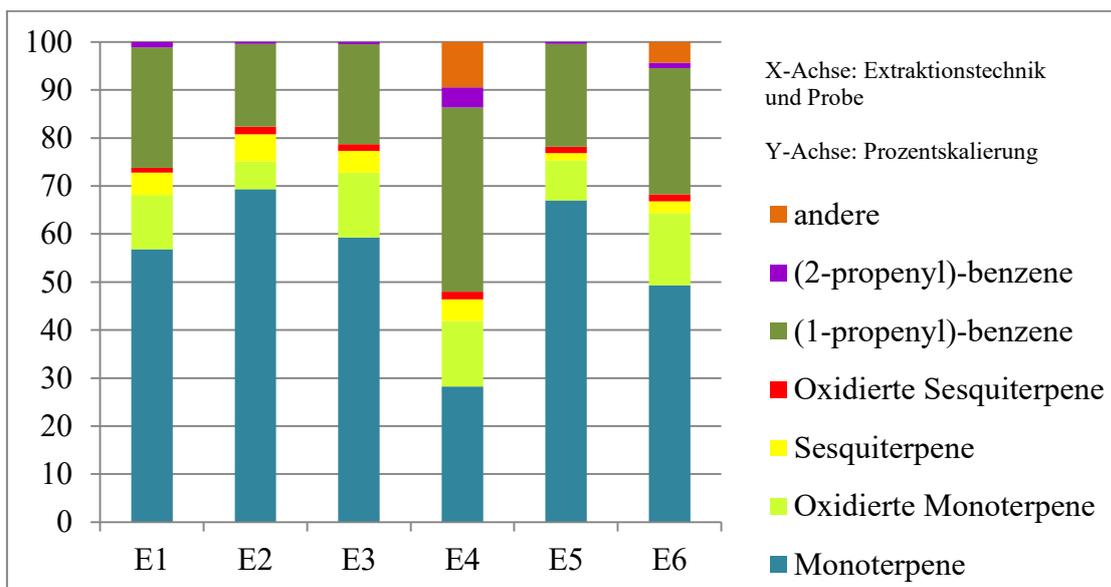


Abb. 9: Prozentangabe des ätherischen Öls durch Gewinnung über die Extraktion von der gemahlene Muskatnuss (Probe 1-6).

3.1.2. Ganze Muskatnuss

3.1.2.1. Wasserdampfdestillation

Die Werte der ganzen Muskatnuss, Probe 7-16, welche durch die Wasserdampfdestillation gewonnen wurden, werden vergleichend in Abb. 10 dargestellt. Die *Monoterpene* erreichten in Probe 15 (69,79 %) den niedrigsten und in Probe 12 (87,56 %) den höchsten Wert. Der Mittelwert aller zehn Proben betrug 80,97 %. Die am stärksten vertretenen Komponenten bezogen auf den Mittelwert sind Sabinen (35,02 %), α -Pinen (15,13%), β -Pinen (13,19 %), Limonen (6,12 %) und γ -Terpinen (2,29 %). Die *oxidierten Monoterpene* wurden in Probe 11 (4,88 %) als geringster und in Probe 16 (6,89 %) als höchster Wert analysiert. Der Mittelwert aller Proben ergab ein Ergebnis von 5,81 %. Terpinen-4-ol (3,29 %) und α -Terpineol (1,02 %) präsentieren die Hauptkomponenten der oxidierten Monoterpene, da sie höher als 1 % liegen. Die *Sesquiterpene* zeigten in Probe 10 (0,65 %) den niedrigsten und in Probe 7 (6,21 %) den höchsten Wert. Der Mittelwert der Proben der gemahlene Muskatnuss, bezogen auf die sesquiterpenen Kohlenwasserstoffe, liegt bei 2,18 %. Analysiert wurden α -Cubeben, α -Copaen, β -Caryophyllen, *trans*- α -Bergamoten, Germacren D, Bicyclogermacren und β -

Bisabolen. Jene Komponenten erreichten einen Mittelwert von 0,11-0,62 %. In den *oxidierten Sesquiterpenen* wurde Guaiol nur in Probe 7 (0,15 %) und Probe 12 (0,04 %) gefunden. Es wurden insgesamt 39 Komponenten im ätherischen Öl der ganzen Muskatnuss analysiert. Aus den Hauptkomponenten, Wert liegt höher als 5 %, wurde der Mittelwert der Proben in absteigender Reihenfolge, beginnend mit Sabinen (35,02 %), α -Pinen (15,13 %), β -Pinen (13,19 %), Myristicin (8,61 %) und Limonen (6,12 %), aufgeschlüsselt. Phenylpropane mit einer endständigen Doppelbindung, so genannte *(2-propenyl)-benzene*, wurden in Probe 11 (4,24 %) mit dem geringsten und in Probe 15 (22,68 %) mit dem höchsten Wert gemessen. Der Mittelwert ergab einen Wert von 11,04 %. Phenylpropane mit einer mittelständigen Doppelbindung, so genannte *(1-propenyl)-benzene* wurden in zwei Proben, Probe 11 (0,15 %) und Probe 7 (0,62 %), ermittelt. Die darin gefundenen Komponenten sind Cis-Methyl-Isoeugenol und Isoelemicin.

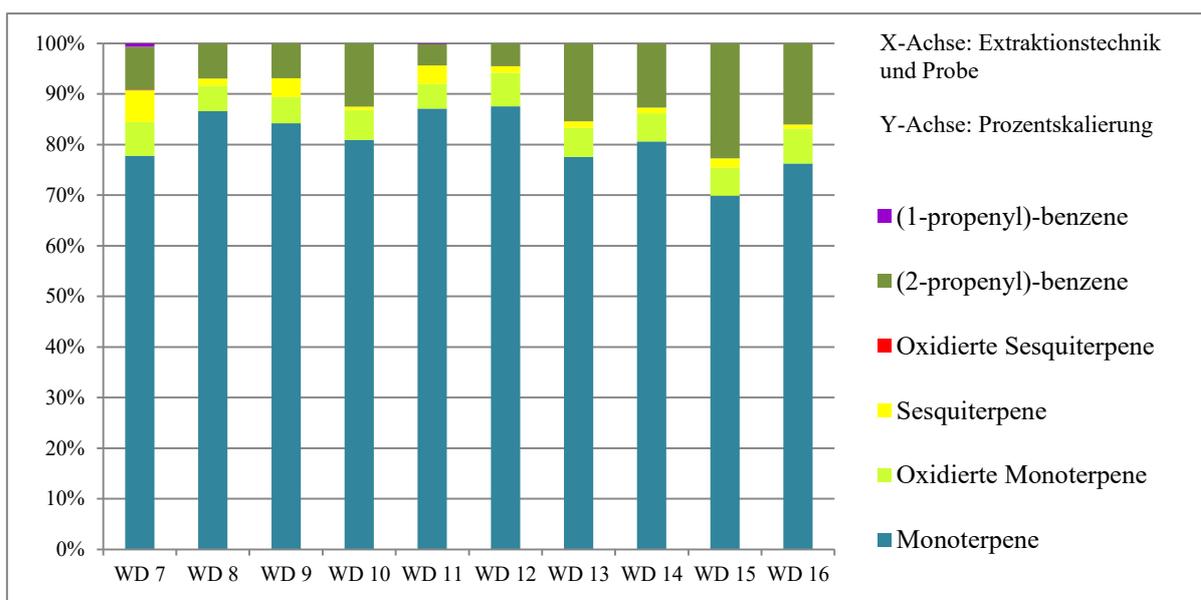


Abb. 10: Prozentangabe des ätherischen Öls durch Gewinnung über die Wasserdampfdestillation von der ganzen Muskatnuss (Probe 7-16).

3.1.2.2. Mikrodestillation

Die Berechnung der Ergebnisse von den Proben 7-16, der im ganzen erworbenen Muskatnüssen werden vergleichend in Abb. 11 dargestellt. Die *Monoterpene* ergaben den geringsten Wert in Probe 10 (70,43 %) und den Maximalwert in Probe 14 (86,26 %). Der

Mittelwert aller sechs Proben betrug 78,89 %. Die am stärksten vertretenen Komponenten, bezogen auf den Mittelwert, welche höher als 5 % liegen, sind Sabinen (35,58 %), β -Pinen (12,27 %), α -Pinen (12,2 %) und Limonen (5,96 %). Die *oxidierten Monoterpene* wurden in Probe 12 (9,86 %) mit dem geringsten und in Probe 8 (5,37 %) mit dem höchsten Wert analysiert. Der Mittelwert aller zehn Proben ergab 7,47 %. Terpinen-4-ol (4,24 %) und α -Terpineol (1,20 %) präsentieren die Hauptkomponenten der oxidierten Monoterpene, da sie über 1 % liegen. Die *Sesquiterpene* zeigten den geringsten Wert bei der Probe 16 (0,87 %) und den höchsten bei Probe 8 (9,83 %). Der Mittelwert der Proben der gemahlene Muskatnuss bezogen auf die *Sesquiterpene*, liegt bei 2,84 %. Analysiert wurden α -Cubeben (Probe 10 kein Ergebnis), α -Copaen, β -Cubeben (Probe 10 und Probe 16 kein Ergebnis), β -Caryophyllen, *trans*- α -Bergamoten, Germacren D und Bicyclogermacren (Kein Ergebnis bei Probe 13 und Probe 16). Diese Komponenten erreichten einen Mittelwert von 0,08-0,93 %. Die *oxidierten Sesquiterpene* ergaben bei Probe 10, 13, 15 und 16 kein Ergebnis. Der geringste Wert wurde bei den Proben 11 und 14 mit jeweils 0,01 % gemessen. Der Maximalwert in dieser Gruppe wurde bei Probe 8 mit 1,35 % ermittelt. Der Mittelwert der Proben ergab 0,22 %. Es wurde Spathulenol von 0,01-0,62 % in der Probenreihe gefunden. Die Proben 10, 13, 15 und 16 ergaben keine Ergebnisse. Den höchsten Wert beinhaltete Probe 8 mit 0,62 %. Es wurden insgesamt 55 Komponenten im ätherischen Öl der ganzen Nüsse analysiert. Aus den Hauptkomponenten, Wert liegt höher als 5 %, wurde der Mittelwert der Proben in absteigender Reihenfolge, beginnend mit Sabinen (35,58 %), β -Pinen (12,27 %), α -Pinen (12,20 %), Myristicin (6,17 %) und Limonen (5,96 %), aufgeschlüsselt. Phenylpropane mit einer endständigen Doppelbindung, so genannte (*2-propenyl*)-benzene, wurden bei Probe 9 (2,23 %) mit dem geringsten Wert, und bei Probe 10 (20,04 %) mit dem höchsten Wert gemessen. Der Mittelwert ergab einen Wert von 23,60 %. Phenylpropane mit einer mittelständigen Doppelbindung, so genannte (*1-propenyl*)-benzene, ergaben bei den Proben 9, 10, 13, 15 und 16 keine Ergebnisse. Den geringsten Wert ergab die Probe 8 (0,10 %). Der höchste Wert wurde in Probe 14 (0,78 %) gemessen. Alle zehn Proben ergaben einen mittleren Wert von 0,19 %.

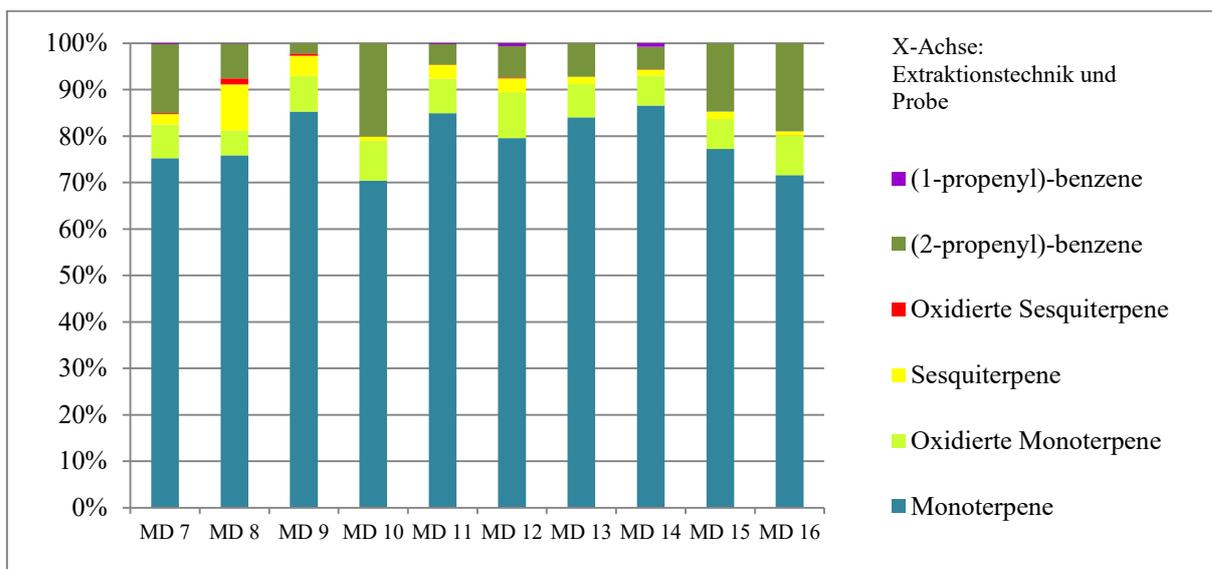


Abb. 11: Prozentangabe des ätherischen Öls durch Gewinnung über die Mikrodestillation von der ganzen Muskatnuss (Probe 7-16).

3.1.2.3. Extraktion mit Dichlormethan

Die Werte der ganzen Muskatnuss, Probe 7-16, welche durch Extraktion gewonnen wurden, werden vergleichend in Abb. 12 dargestellt. Die *monoterpenen Kohlenwasserstoffe* ergaben in Probe 10 (51,49 %) den niedrigsten und in Probe 9 (79,7 %) den höchsten Wert. Der Mittelwert aller zehn Proben betrug 68,55 %. Die am stärksten vertretenen Komponenten, bezogen auf den Mittelwert, welcher höher als 5 % liegt, sind Sabinen (34,89 %), β -Pinen (10,33 %), α -Pinen (7,6 %) und Limonen (6,6 %). Die *oxidierten Monoterpe* wurden in Probe 8 (4,4 %) das niedrigste und in Probe 12 (11,45 %) das höchste Ergebnis analysiert. Der Mittelwert aller Proben ergab 8,13 %. Terpinen-4-ol (2,84 %), Linalool (1,88 %), *cis*-Sabinenhydrat (1,6 %) und α -Terpineol (1,12 %) präsentieren die Hauptkomponenten der oxidierten Monoterpe, da sie höher als 1 % liegen. Die *Sesquiterpenen* zeigten den geringsten Wert in Probe 10 (0,52 %) und den höchsten in Probe 8 (13,38 %). Der Mittelwert der Proben der ganzen Muskatnuss, bezogen auf die sesquiterpenen Kohlenwasserstoffe, liegt bei 3,95 %. Analysiert wurden α -Cubeben (Probe 8, 9, 10, 13 und 16 kein Ergebnis), α -Copaen, β -Caryophyllen (Probe 10, 11, 13, 15, 16 kein Ergebnis) *trans*- α -Bergamoten (Probe 7, 8, 13 und 16 kein Ergebnis), Germacren D (Probe 8, 10, 13 und 16 kein Ergebnis) und β -Bisabolen (Probe 7, 8, 10, 13, 15 und 16). Diese Komponenten erreichten einen

Mittelwert von 0,16-1,08 %. Hinzuzufügen ist, dass nicht auf Vollständigkeit der Werte bei jeder einzelnen Probe geachtet wurde. Es wurden keine Ergebnisse über β -Cubeben oder Bicyclogermacren entdeckt. Bei den *oxidierten Sesquiterpenen* ergaben einzig Probe 7 (0,73 %) und Probe 8 (1,47 %) Ergebnisse. Der Mittelwert der Proben ergab 0,22 %. Es wurden insgesamt 46 Komponenten analysiert. Aus den Hauptkomponenten, welche höher als 5 % liegen, wurde der Mittelwert der Proben in absteigender Reihenfolge, beginnend mit Sabinen (34,89 %;), Myristicin (11,27 %), β -Pinen (10,33 %), α -Pinen (7,6 %) und Limonen (6,6 %), bestimmt. Elemicin erreichte einen Mittelwert von 4,92 %. Phenylpropane mit einer endständigen Doppelbindung, so genannte *(2-propenyl)-benzene*, wurden in Probe 9 (6,22%) mit dem geringsten und in Probe 10 (41,46 %) mit dem höchsten Wert gemessen. Der Mittelwert aller zehn Proben ergab 18,74 %. Phenylpropane mit einer mittelständigen Doppelbindung, so genannte *(1-propenyl)-benzene* ergaben bei Probe 8 (0,63 %), Probe 11 (0,9 %) und Probe 14 (2,48 %) positive Ergebnisse. Alle zehn Proben ergaben einen mittleren Wert von 0,40%.

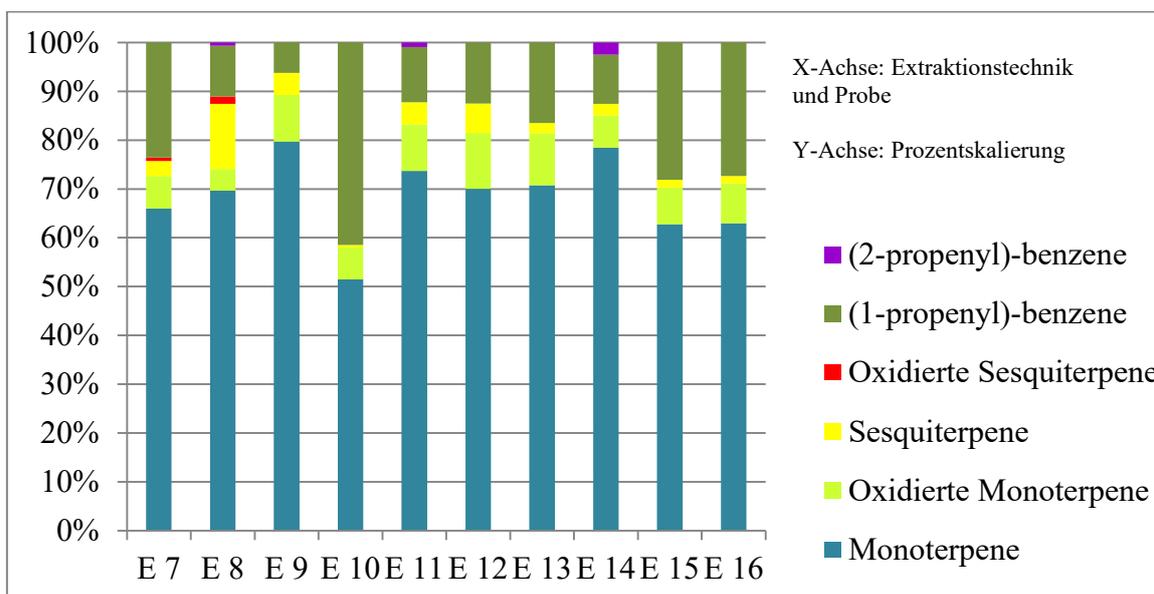


Abb. 12: Prozentangabe des ätherischen Öls durch die Gewinnung über die Extraktion von der ganzen Muskatnuss (Probe 7-16).

3.1.3. Muskatblüte

3.1.3.1. Wasserdampfdestillation

Die Berechnung der Ergebnisse der Muskatblüte, Probe 17-19, wird vergleichend in Abb. 13 dargestellt. Die *Monoterpene* ergaben den geringsten Wert bei Probe 19 (76,34 %) und den Maximalwert bei Probe 17 (80,27 %). Der Mittelwert aller drei Proben betrug 76,34 %. Die am stärksten vertretenen Komponenten bezogen auf den Mittelwert sind Sabinen (24,12 %), α -Pinen (15,00 %), β -Pinen (12,32 %), Limonen (6,28 %) und γ -Terpinen (4,78 %). Die *oxidierten Monoterpene* wurden in Probe 17 (6,65 %) mit dem geringsten und in Probe 19 (10,11 %) mit dem höchsten Wert analysiert. Der Mittelwert aller drei Proben ergab 8,39 %. Ausgegangen von Mittelwerten, welche höher als 1 % liegen, wurden lediglich Terpinen-4-ol (6,34 %) und α -Terpineol (1,86 %) identifiziert. Die *Sesquiterpene* zeigten den geringsten Wert in Probe 19 (0,38 %) und einen Maximalwert in Probe 18 (1,83 %). Der Mittelwert der Proben 17-19 (Muskatblüte), bezogen auf die sesquiterpenen Kohlenwasserstoffe, erreichte einen Wert von 1,24 %. Die identifizierten Komponenten, welche aber unter einem 1 % lagen, sind in absteigender Reihenfolge β -Caryophyllen, α -Copaen, Germacren D und α -Cubeben (Probe 19 kein Wert). Die *oxidierten Sesquiterpene* ergaben bei der Wasserdampfdestillation der Muskatblüten keine Werte. Es wurden insgesamt 31 Komponenten im ätherischen Öl der Muskatblüte analysiert. Aus den Hauptkomponenten, welche höher als 5 % liegen, wurde der Mittelwert der Proben in absteigender Reihenfolge, beginnend mit Sabinen (24,12 %), α -Pinen (15,00 %), β -Pinen (12,32 %), Myristicin (9,29 %), Terpinen-4-ol (6,34 %), Limonen (6,28 %), und γ -Terpinen (4,78 %), bestimmt. Elemicin wurde mit einem Mittelwert von 4,03 % analysiert. Phenylpropane mit einer endständigen Doppelbindung, so genannte (*2-propenyl*)-benzene, wurden in Probe 17 (11,47 %) mit dem geringsten und in Probe 19 (15,42 %) mit dem höchsten Wert gemessen. Der Mittelwert ergab einen Wert von 13,85 %. Phenylpropane mit einer mittelständigen Doppelbindung, so genannte (*1-propenyl*)-benzene, ergaben keine Werte bei dieser Probengruppe, wobei das ätherische Öl mittels Wasserdampfdestillation gewonnen wurde.

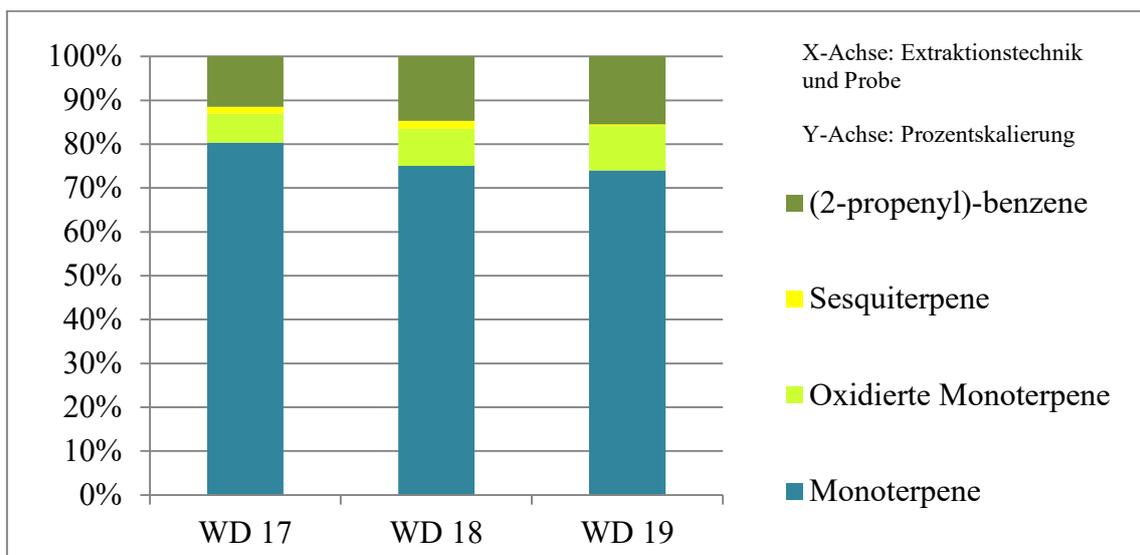


Abb. 13: Prozentangabe des ätherischen Öls durch die Gewinnung über die Wasserdampfdestillation von der Muskatblüte (Probe 17-19).

3.1.3.2. Mikrodestillation

Die Berechnung der Ergebnisse des Öls der Muskatblüte, Probe 17-19, gewonnen durch Mikrodestillation, wird vergleichend in Abb. 14 dargestellt. Die *monoterpenen Kohlenwasserstoffe* ergaben den geringsten Wert in Probe 19 (60,97 %) und den Maximalwert in Probe 18 (72,03 %). Der Mittelwert aller 3 Proben betrug 67,77 %. Die am stärksten vertretenen Komponenten bezogen auf den Mittelwert sind Sabinen (19,48 %), α -Pinen (12,21 %), β -Pinen (11,84 %), Limonen (5,54 %) und γ -Terpinen (5,31 %). Die *oxidierten Monoterpene* wurden bei der Probe 18 (9,94 %) mit dem geringsten Wert, bei Probe 19 (15,11 %) mit dem höchsten Wert, analysiert. Der Mittelwert aller Proben ergab 12,71 %. Terpinen-4-ol (9,4 %) und α -Terpineol (2,03 %) präsentieren die Hauptkomponenten der oxidierten Monoterpene, da sie höher als 1 % liegen. Die *Sesquiterpene* zeigten in Probe 19 (0,42 %) den niedrigsten und in Probe 17 (1,47 %) den höchsten Wert. Der Mittelwert der Proben der Muskatblüte bezogen auf die *Sesquiterpene*, liegt bei 0,91 %. Analysiert wurden den Mittelwerten in absteigender Reihenfolge: β -Caryophyllen, Germacren D, α -Cubeben, Bicyclogermacren, *trans*- α -Bergamoten und β -Bisabolen. Jene Komponenten erreichten einen Mittelwert von 0,02-0,38 %. Die *oxidierten Sesquiterpenen* ergaben den geringsten Wert in Probe 18 (0,03 %) und das höchste Ergebnis

wurde bei Probe 19 (0,21 %) gefunden. Der Mittelwert der Proben ergab 0,10 %. Es wurde bei allen drei Proben Guaiol und Spathulenol gefunden. Manoyl oxid wurde nur bei Probe 18 mit einem Wert von 0,01 % gefunden. Es wurden insgesamt 44 Komponenten im ätherischen Öl der Muskatblüte, welches durch Mikrodestillation gewonnen wurde, analysiert. Aus den Hauptkomponenten, welche höher als 5 % erreichen, werden die Mittelwerte der Proben in absteigender Reihenfolge, beginnend mit Sabinen (19,48 %), α -Pinen (12,21 %), β -Pinen (11,84 %), Myristicin (11,52 %), Terpinen-4-ol (9,40 %), Limonen (5,54 %) und γ -Terpinen (5,31 %), aufgeschlüsselt. Phenylpropane mit einer endständigen Doppelbindung, so genannte (*2-propenyl*)-benzene, wurden bei Probe 17 (14,02 %) mit dem geringsten und bei Probe 19 (22,02 %) mit dem höchsten Wert gemessen. Der Mittelwert ergab ein Ergebnis von 17,52 %. Phenylpropane mit einer mittelständigen Doppelbindung, so genannte (*1-propenyl*)-benzene wurden mit dem geringsten Wert bei Probe 18 (0,26%), und dem höchsten Ergebnis bei Probe 19 (0,7%) gemessen. Von den insgesamt drei Proben wurde ein mittlerer Wert von 0,48 % identifiziert.

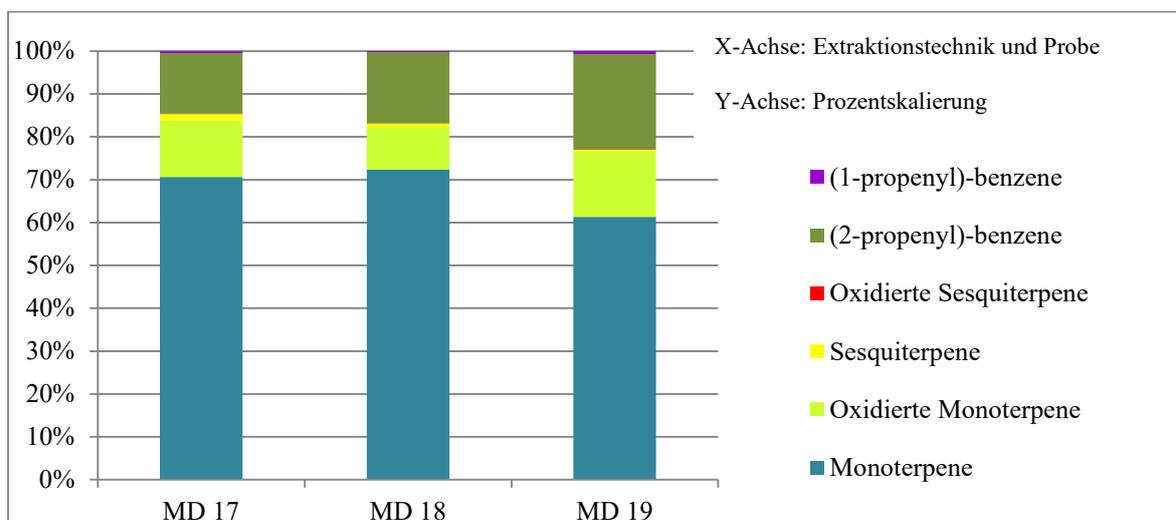


Abb. 14: Prozentangabe des ätherischen Öls durch die Gewinnung über die Mikrodestillation von der Muskatblüte (Probe 17-19).

3.1.3.3. Extraktion mit Dichlormethan

Die Berechnung der Ergebnisse des ätherischen Öls der Muskatblüte, Probe 17-19, gewonnen durch Extraktion mittels Dichlormethan, wird vergleichend in Abb. 15 dargestellt. Die *Monoterpene* ergaben den geringsten Wert in Probe 19 (63,32 %) und den Maximalwert in Probe 17 (76,88 %). Der Mittelwert aller drei Proben betrug 69,17 %. Die am stärksten vertretenen Komponenten bezogen auf den Mittelwert sind Sabinen (25,26 %), α -Pinen (13,47 %), β -Pinen (13,03 %), Limonen (5,91 %) und Myrcen (2,11 %). Die *Oxidierten Monoterpene* wurden in Probe 17 (4,46 %) mit dem geringsten und in Probe 19 (8,42 %) mit dem höchsten Wert analysiert. Der Mittelwert aller Proben ergab einen Wert von 6,77 %. Linalool (1,89 %), *cis*-Sabinenhydrat (1,68 %), Terpinen-4-ol (1,55 %) und α -Terpineol (1,33%) präsentieren die Hauptkomponenten der oxidierten Monoterpene, da sie höher als 1 % liegen. Die *Sesquiterpene* zeigten den geringsten Wert in Probe 19 (3,29 %) und einen Maximalwert in Probe 18 (9,17 %). Der Mittelwert von den Proben der Muskatblüte, bezogen auf die *Sesquiterpene*, ergab einen Wert von 5,72 %. Analysiert wurden die Mittelwerte in absteigender Reihenfolge, beginnend mit β -Caryophyllen (2,25 %), α -Copaen, Germacren D, α -Cubeben, Bicyclogermacren und *trans*- α -Bergamoten. Diese Komponenten erreichten einen Mittelwert von 0,09-2,25 %. Die *oxidierten Sesquiterpene* ergaben den geringsten Wert in Probe 17 (1,00 %) und das höchste Ergebnis in Probe 19 (3,11 %). Der Mittelwert der Proben ergab einen Wert von 1,95 %. Es wurde bei allen drei Proben Guaiol mit einem mittleren Wert von 1,94 %, gefunden. Es wurden insgesamt 43 Komponenten im ätherischen Öl der Muskatblüte analysiert. Die Hauptkomponenten, welche höher als 5 % liegen, werden gemäß ihrer Mittelwerte in absteigender Reihenfolge, beginnend mit Sabinen (25,26 %), α -Pinen (13,47 %), β -Pinen (13,03 %), Myristicin (9,32 %) und Limonen (5,91 %), aufgeschlüsselt. Phenylpropane mit einer endständigen Doppelbindung, so genannte (*2-propenyl*)-benzene, wurden in Probe 17 (12,59 %) mit dem geringsten Wert, und bei Probe 19 (21,24 %) mit dem höchsten Ergebnis gemessen. Der Mittelwert ergab ein Ergebnis von 15,93 %. Der Mittelwert von Elemicin wurde mit 4,03 % analysiert. Phenylpropane mit einer mittelständigen Doppelbindung, so genannte (*1-propenyl*)-benzene, ergaben keinen Wert in Probe 19. Von den insgesamt drei Proben wurde ein mittlerer Wert von 0,11 % identifiziert. Statt Guaiol wurde in der Probe 19 Tetradeconsäure gefunden.

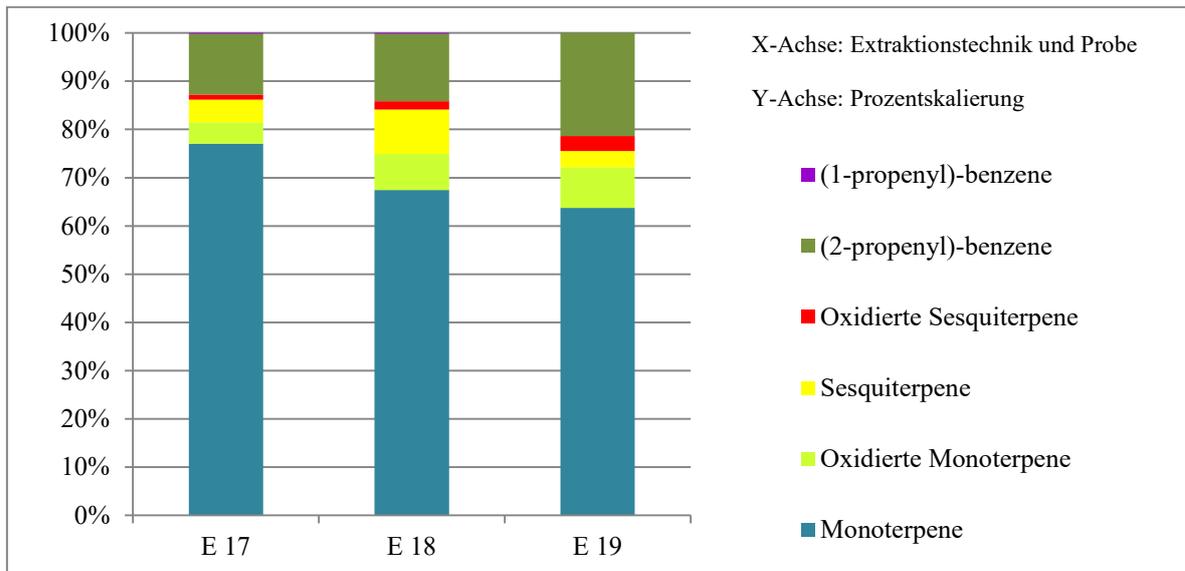


Abb. 15: Prozentangabe des ätherischen Öls durch die Gewinnung über die Extraktion von der Muskatblüte (Probe 17-19).

3.2. Gewürzmischungen

Bei den Gewürzmischungen (Probe 20-32) wurde eine Mikrodestillation, und in weiterer Folge über die GC/MS auch eine Komponentenidentifizierung durchgeführt. Bei den Proben 20-23, bestehend aus den „Suppenwürfeln“ ergab die GC/MS-Analyse kein Ergebnis über das Vorhandensein von Komponenten aus ätherischen Ölen.

Das ätherische Öl der Gewürzmischungen, Probe 24-32, wurde mittels der Mikrodestillation gewonnen und analysiert und ausgewertet (Abb. 16). Die *Monoterpene* wiesen in Probe 30 (9,15 %) niedrigsten Wert und in Probe 32 (61,01 %) den Maximalwert auf. Der Mittelwert aller neun Proben ergab einen Wert von 27,6 %. Die am stärksten vertretenen Komponenten bezogen auf den Mittelwert, welche höher als 2,5 % liegen, sind Limonen (9,11 %), β -Pinen (3,94 %), α -Pinen (3,4 %), Sabinen (2,66 %) und δ -3-Caren (2,58 %). Die *oxidierten Monoterpene* wurden in Probe 28 (2,01 %) mit den geringsten und in Probe 27 (77,83 %) mit dem höchsten Ergebnis gemessen. Der Mittelwert aller neun Proben ergab ein Ergebnis von 25,72 %. Terpinen-4-ol (4,15 %), Linalool (3,05 %) und α -Terpinyl-acetat (1,97 %) präsentieren die Hauptkomponenten der oxidierten Monoterpene, da sie höher als 1 % an ätherischem Öl beinhalten. Die Sesquiterpene zeigten in Probe 27 (1,54 %) den niedrigsten

und in Probe 26 (26,02 %) den höchsten Wert. Der Mittelwert der Proben der Gewürzmischungen ergab ein Ergebnis von 13,02 %. Die Komponenten der sesquiterpenen Kohlenwasserstoffe, welche höher als 1 % liegen, wurden absteigend gereiht, beginnend β -Caryophyllen (8,54 %), Bicyclogermacren (1,84 %) und α -Copaen (1,17 %). Die *oxidierten Sesquiterpenen* ergaben in Probe 27 keinen Wert und das höchste Ergebnis wurde in Probe 28 (61,33 %) gefunden. Der Mittelwert der neun Proben ergab 10,28 %. Zusammengesetzt aus den Komponenten: Elemol, *ar*-Turmerol, Spathulenol, Guaiol, τ -Muurolol, α -Muurolol, eine Komponente mit der molaren Masse 222, *ar*-Tumerone, α -Tumerone, Curlone, Bisabolen und E- α -Atlantone. Es wurden insgesamt 84 Komponenten bei den Gewürzmischungen (Probe 24-32) analysiert. Aus den Hauptkomponenten, welche höher als 5 % liegen, wurde der Mittelwert der Proben in absteigender Reihenfolge, beginnend mit E-Anethol (22,35 %; 2 Werte), Eugenol (15,53 %; 2 Werte), Carvon (13,12 %; ausgenommen Probe 28 und 32), α -Tumeron (10,13 %; 3 Werte), *ar*-Tumeron (8,78 %; 3 Werte), Limonen (9,11 %; alle), β -Caryophyllen (8,54 %; alle) und Myristicin (9,02 %; ausgenommen Probe 27 und 32), analysiert. Phenylpropane mit einer endständigen Doppelbindung, so genannte (*2-propenyl*)-benzene, ergaben bei Probe 27 keine Ergebnisse und bei Probe 30 einen Höchstwert von 46,19 %. Der Mittelwert ergab einen Wert von 14,46 %. Phenylpropane mit einer mittelständigen Doppelbindung, so genannte (*1-propenyl*)-benzene, wurden bei Probe 24 (39,20 %), Probe 26 (0,68 %), Probe 28 (1,25 %) und Probe 31 (5,7 %) ermittelt. Von den insgesamt neun Proben, von denen das ätherische Öl in Prozent gemessen wurde, ergab das einen Mittelwert von 5,2 %. Die Phenylpropane waren, absteigend gereiht nach ihren Mittelwerten, beginnend mit Eugenol (15,53 %; Probe 24 und 31), Myristicin (9,02%; ausgenommen Probe 27 und 32), Meythyleugenol (2,45 %; ausgenommen Probe 27 und 29), Elemicin (1,47 %; ausgenommen Probe 27, 29 und 32), *cis*-Methyl-Isoeugenol (0,44 %; Werte von Probe 26 und 31), und Safrol (0,36 %; Werte von Probe 26 und 28).

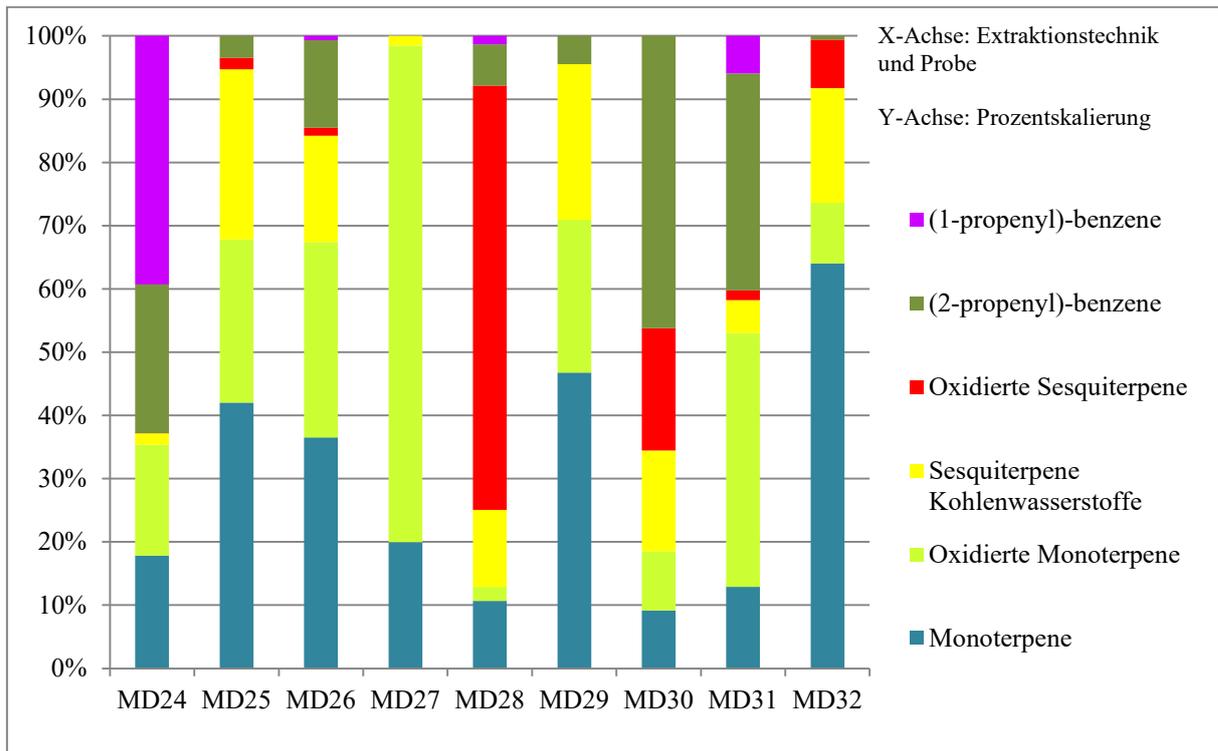


Abb. 16: Aufteilung des ätherischen Öls in % bei den Gewürzmischungen (Probe 24-32).

3.3. Vergleich der Zusammensetzung von ätherischen Ölen

In den Abbildungen des folgenden Kapitels erweisen sich Unterschiede:

Die wichtigsten Komponenten, wie Elemicin, Terpinen-4-ol, δ -3-Caren, α -Thujen, Myristicin, γ -Terpinen, β -Pinen, Cis-Methyl-Isoeugenol, Limonene, Sabinen, Methyleugenol, α -Terpineol und α -Pinen, wurden graphisch dargestellt. Diese Komponenten machen etwa 80-90% des ätherischen Öls aus.

Die Anordnung der Proben erfolgte entsprechend ihrer Ähnlichkeit, die mit einer hierarchischen Cluster-Analyse mit dem Programm SPSS, Version 26 ermittelt wurde..

3.3.1. Gemahlene Muskatnuss

3.3.1.1. Wasserdampfdestillation

Die Hauptkomponenten des ätherischen Öls der gemahlene Muskatnussproben (Probe 1-19), welches mittels Wasserdampfdestillation gewonnen wurde, sind vergleichend in Abb. 17 dargestellt. Die GC/MS und GC-FID-Analysen ergaben Hauptkomponenten als α -Thujen, α -Pinen, Sabinen, β -Pinen, α -Terpineol, Limonen, γ -Terpinen, Terpinen-4-ol, β -Caryophyllen und die Phenylpropane wie Safrol, Methyleugenol, *cis*-Methyl-Isoeugenol, Myristicin und Elemicin. Diese Ergebnisse wurden bei den Proben mit einem Hauptanteil von 80-90 % an ätherischen Ölen erzielt. α -Thujene sind in sehr geringen Prozentanteilen vorhanden, wobei Probe 18 den höchsten Wert von 3,39 % erreicht. α -Pinen zeigt den höchsten Wert bei Probe 14 mit 23,77 %. Den höchsten Wert an Sabinen erreicht Probe 11 mit 56,22 %. Proben 11, 9, 8, 12, 7, 2 und 17 zeigen Werte welche höher als 30 % liegen. Wohingegen in den Proben 19, 3, 4 und 6 ein Sabinen-Anteil unter 20 % auftritt, jedoch erhöhte Anteile an γ -Terpinen, Terpinen-4-ol, Methyleugenol, *cis*-Methyl-Isoeugenol, Myristicin und Elemicin vorkommen. Das β -Pinen zeigt ihren höchsten Wert in Probe 14 mit 16,97 %. Die β -Caryophyllene sind bei allen Proben sehr gering, mit einem Maximalwert von 1,39 %. Auffallend ist, dass in jenen Proben, in denen der Anteil an Sabinen niedrig ist, der Terpinen-4-ol, Myristicin, Safrol, Methyleugenol, Myristicin und Elemicin Anteil höher ist, siehe Probe 19, 3, 4 und 6 im Vergleich zu allen Proben.

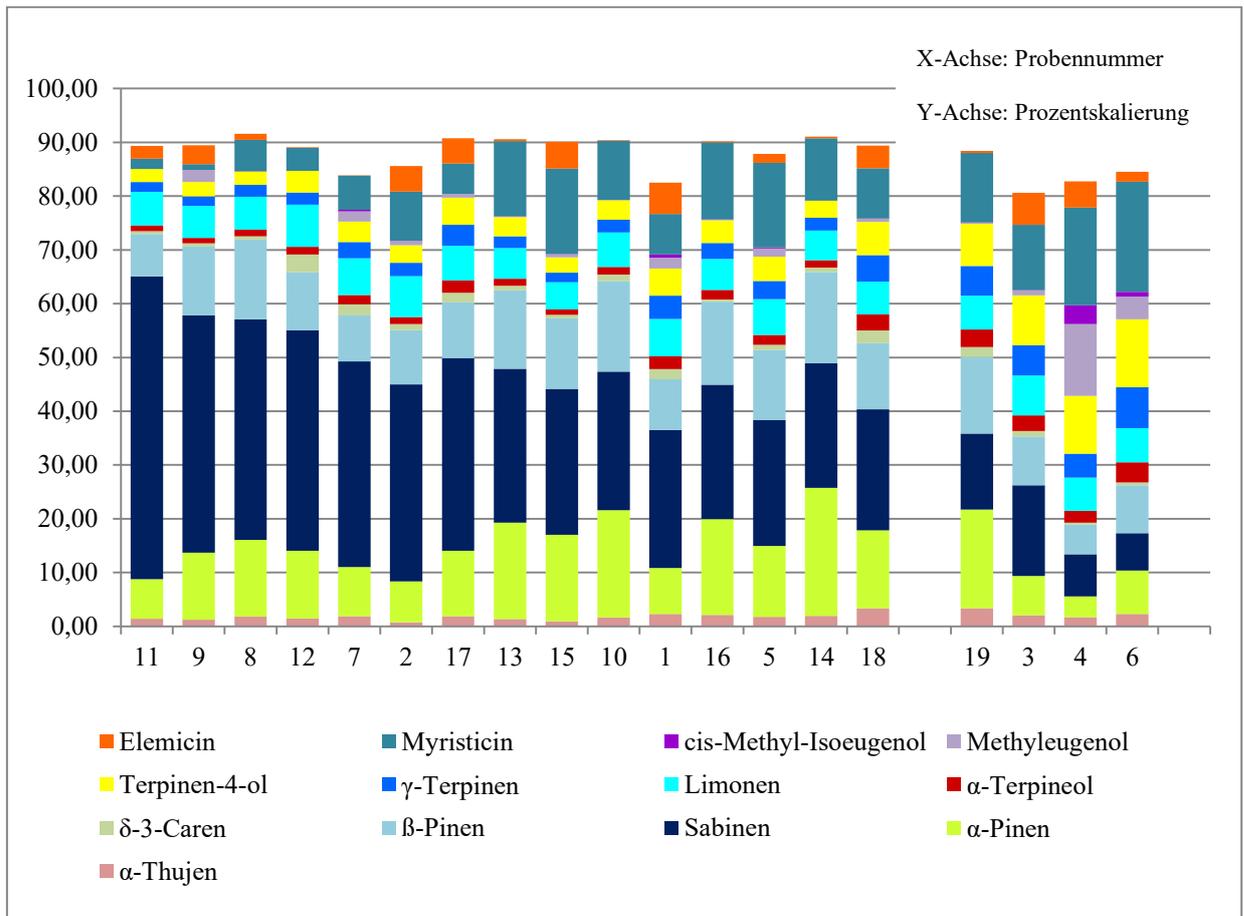


Abb. 17: Vergleich der Hauptkomponenten des ätherischen Öls von Muskatnussproben gewonnen durch Wasserdampfdestillation.

In Abb. 18 findet man eine Darstellung der Phenylpropane in Prozent, wobei das ätherische Öl mittels Wasserdampfdestillation gewonnen wurde. Der Myristicingehalt nimmt einen großen Anteil der Proben ein. Als Ausnahmen zeigen sich Probe 9 und 11, bei welchen Elemicin stärker als Myristicin vertreten ist. Die Probe 10, 12, 13 und 14 weisen kaum Elemicin auf. Safrol konnte, mit Ausnahme von Probe 8 und 11, in allen Proben identifiziert werden.

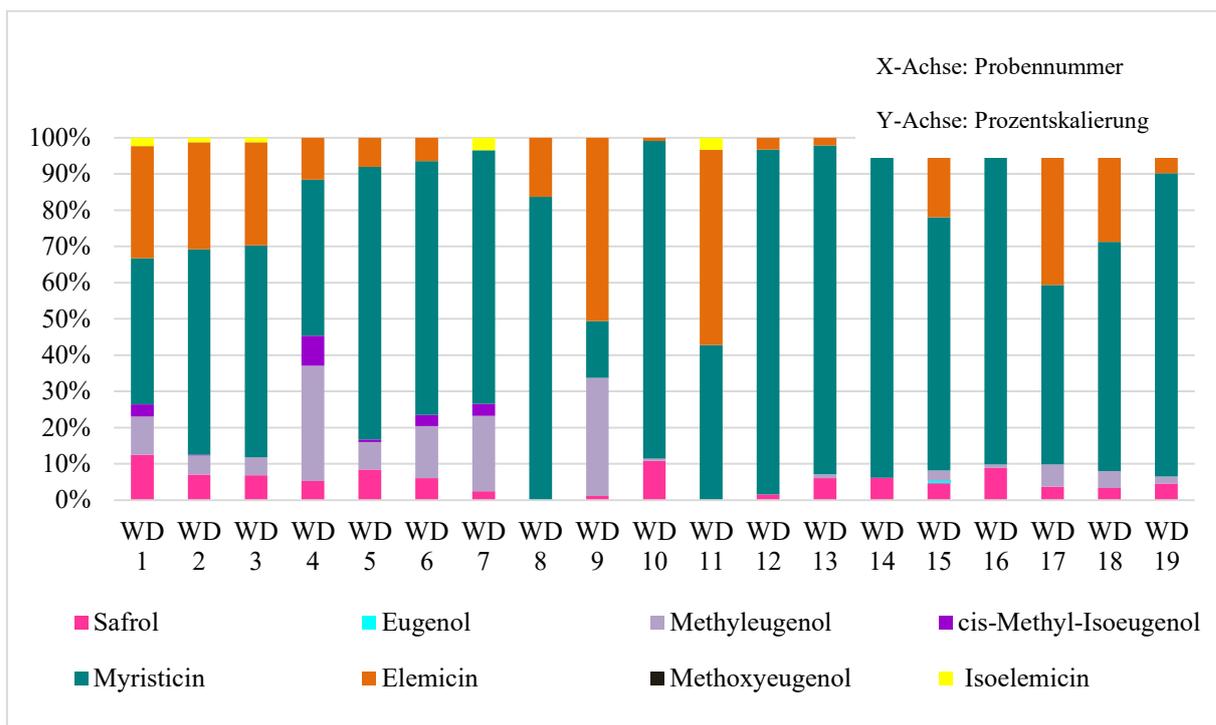


Abb. 18: Phenylpropane in Muskatnussproben. Aufteilung der ätherischen Öle in Prozent.

3.3.1.2. Mikrodestillation

In Abb. 19 sind die Hauptkomponenten von Muskatnussproben im Vergleich dargestellt. Das ätherische Öl der Proben wurde mittels Mikrodestillation gewonnen und in weiterer Folge mittels GC/MS und GC-FID analysiert. Die Hauptkomponenten (α -Thujen, α -Pinen, Sabinen, β -Pinen, α -Terpineol, Limonen, γ -Terpinen, Terpinen-4-ol, β -Caryophyllen) und die Phenylpropane (Safrol, Methyleugenol, *cis*-Methyl-Isoeugenol, Myristicin und Elemicin) ergaben bei den Proben den Hauptanteil im Bereich von 80-90 % auf den Gesamtgehalt an ätherischen Öl. Die Komponente α -Thujen ist sehr geringen Mengen vorhanden, wobei Probe 18 einen Maximalwert von 3,68 % erreicht. Die Komponente α -Pinen zeigt den höchsten Wert bei Probe 13 mit 17,77 %. Den höchsten Wert an Sabinen erreicht Probe 9. Die Proben 9, 11, 14, 13, 15, 2, 12, 7 und 8 zeigen Werte welche höher als 30 % liegen. Wohingegen in den Proben 4 und 6 weniger als 10 % Sabinen vorkommen, jedoch erhöhte Anteile an Terpinen-4-ol, Methyleugenol, *cis*-Methyl-Isoeugenol, Myristicin und Elemicin. β -Pinen hat seinen höchsten Wert bei Probe 16 mit 23,22 %, verhält sich aber in der Aufteilung relativ stabil im Vergleich auf die gesamten Proben. Das β -Caryophyllen ist bei allen Proben

in sehr geringen Mengen, mit weniger als 1,04 % vorhanden, mit Ausnahme die Probe 8, in welcher es einen Wert von 6,49 % aufweist. Auffallend ist, dass in jenen Proben, in den der Anteil an Sabinen niedrig ist, der Terpinen-4-ol, Myristicin, Safrol, Methyleugenol, Myristicin und Elemicin-Anteil höher ist.

--

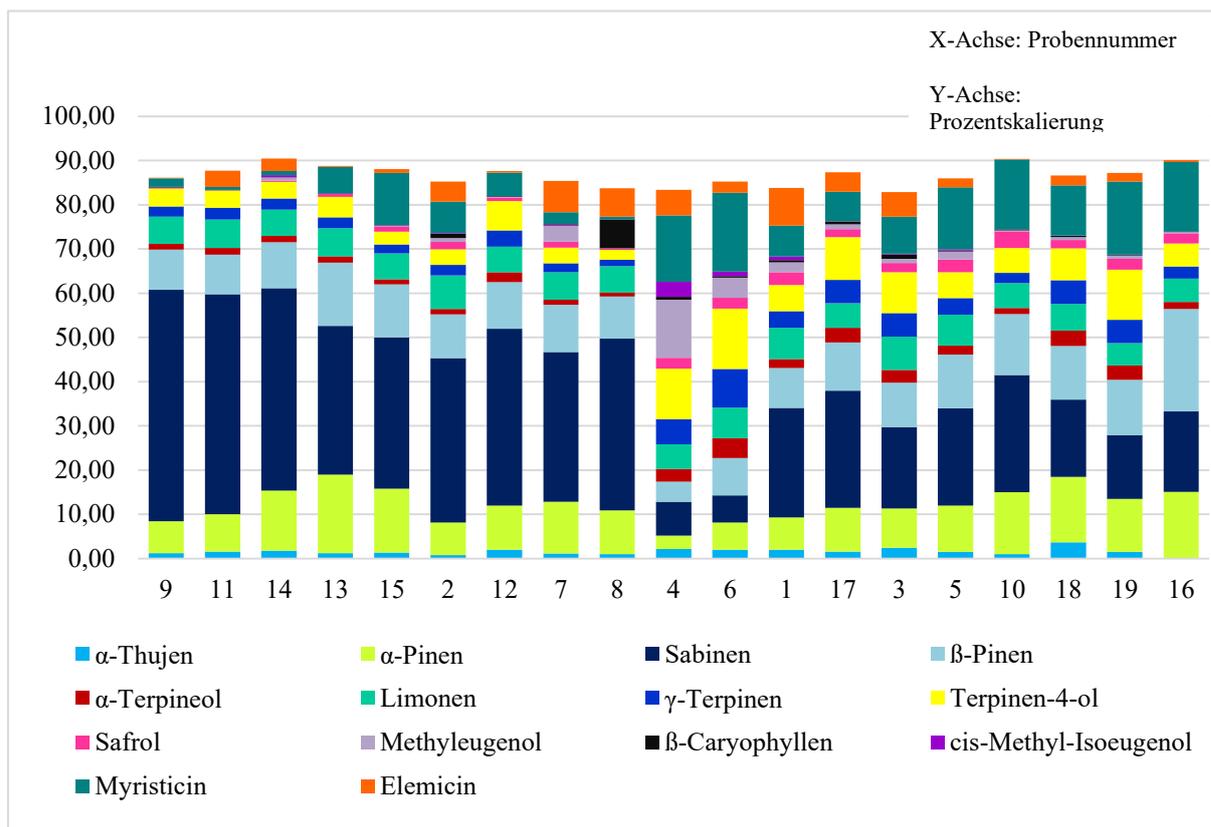


Abb. 19: Vergleich der Hauptkomponenten des ätherischen Öls von Muskatnussproben gewonnen durch Mikrodestillation

In der Abb. 20 werden die Phenylpropane, welche durch Mikrodestillation gewonnen wurden, graphisch dargestellt. Die zwei Hauptkomponenten, die sich hier von der Komponentenliste abheben, sind Myristicin und Elemicin. Myristicin ist bei einem Großteil der Proben in höherer Menge vorhanden als Elemicin. Die Proben 7, 8, 11 und 14 zeigen aber ein umgekehrtes Verhältnis an den Mengenanteilen, somit ist der Elemicin-Anteil höher. Auch Safrol konnte in jeder Probe identifiziert und quantifiziert werden, obwohl die Probe 11 einen geringen Gehalt aufweist.

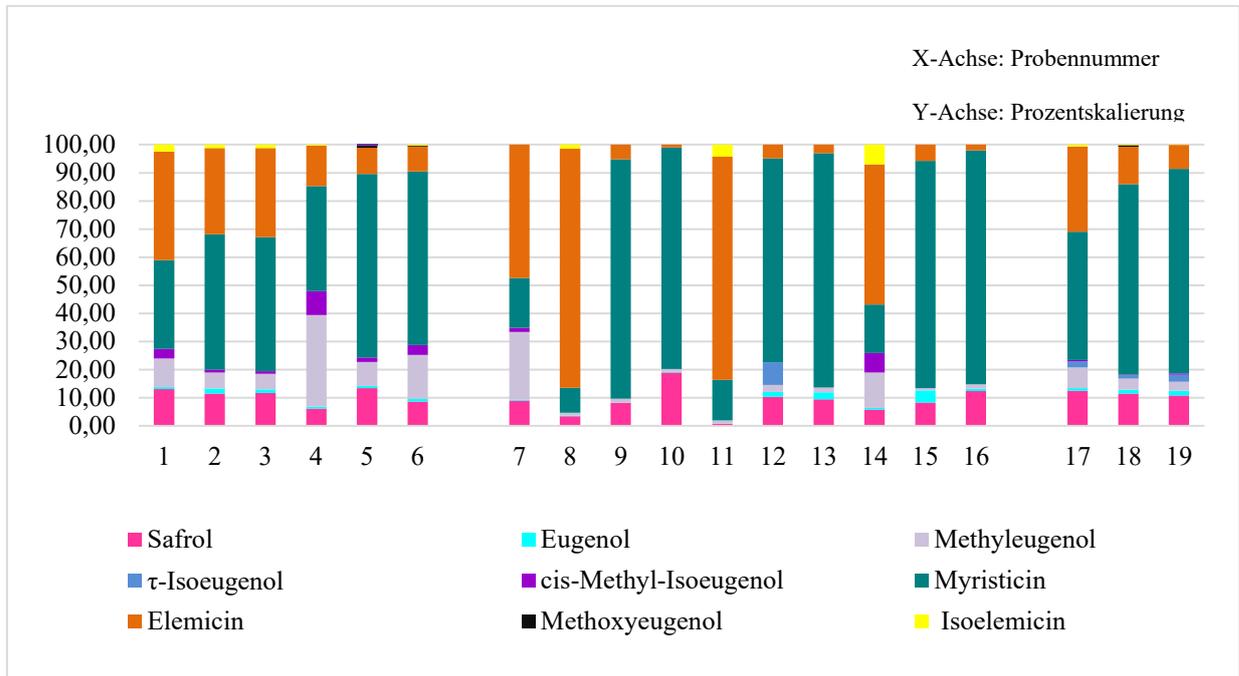


Abb. 20: Phenylpropane der Muskatnussproben. Aufteilung des ätherischen Öls in Prozent, und gewonnen durch Mikrodestillation.

3.3.1.3. Extraktion mit Dichlormethan

In Tab. 21 werden die Hauptkomponenten von Muskatnussproben im Vergleich dargestellt. Die flüchtigen Fraktionen wurden mittels Extraktion durch Dichlormethan gewonnen und in weiterer Folge durch GC/MS und GC-FID Analyse ausgewertet. Die Hauptkomponenten (α -Thujen, α -Pinen, Sabinen, β -Pinen, Limonen, γ -Terpinen, Terpinen-4-ol, β -Caryophyllen) und die Phenylpropane (Safrol, Methyleugenol, *cis*-Methyl-Isoeugenol, Myristicin und Elemicin) ergaben bei den Proben den Hauptanteil im Bereich von 80-90 % auf den Gesamtgehalt an ätherischen Öl. Wobei bei Probe 10 der Gesamtgehalt an ätherischem Öl mehr als 90 % ergab. Die Komponente α -Thujen ist nicht vorhanden. α -Pinen zeigt den höchsten Wert in Probe 19 mit 14,98 %. Das höchste Ergebnis an Sabinen erreicht Probe 9 mit 52,3 %. Die Proben 9, 11, 14, 13, 2, 12, 7 und 8 wiesen Werte an Sabinen von mehr als 30 % auf. In den Proben 4 und 6 wurden weniger als 10 % Sabinen analysiert, dafür jedoch höhere Anteile an Terpinen-4-ol und an Phenylpropanen, wie Methyleugenol, *cis*-Methyl-

Isoeugenol, Myristicin und Elemicin. Die Komponente β -Pinen zeigt den höchsten Wert in Probe 16 (20,6 %) und verhält sich in ihrem Vorkommen in allen Proben relativ stabil. Die β -Caryophyllen-Gehalte sind bei allen Proben sehr gering, mit Werten unter 1,14 %, vorhanden, wobei eine Ausnahme Probe 8 (9,3 %) darstellt. Die Proben mit einem niedrigen Anteil an Sabinen (Probe 4 und 6), weisen höhere Anteile an Terpinen-4-ol und Phenylpropanen, wie Myristicin, Safrol, Methyleugenol und Elemicin, auf.

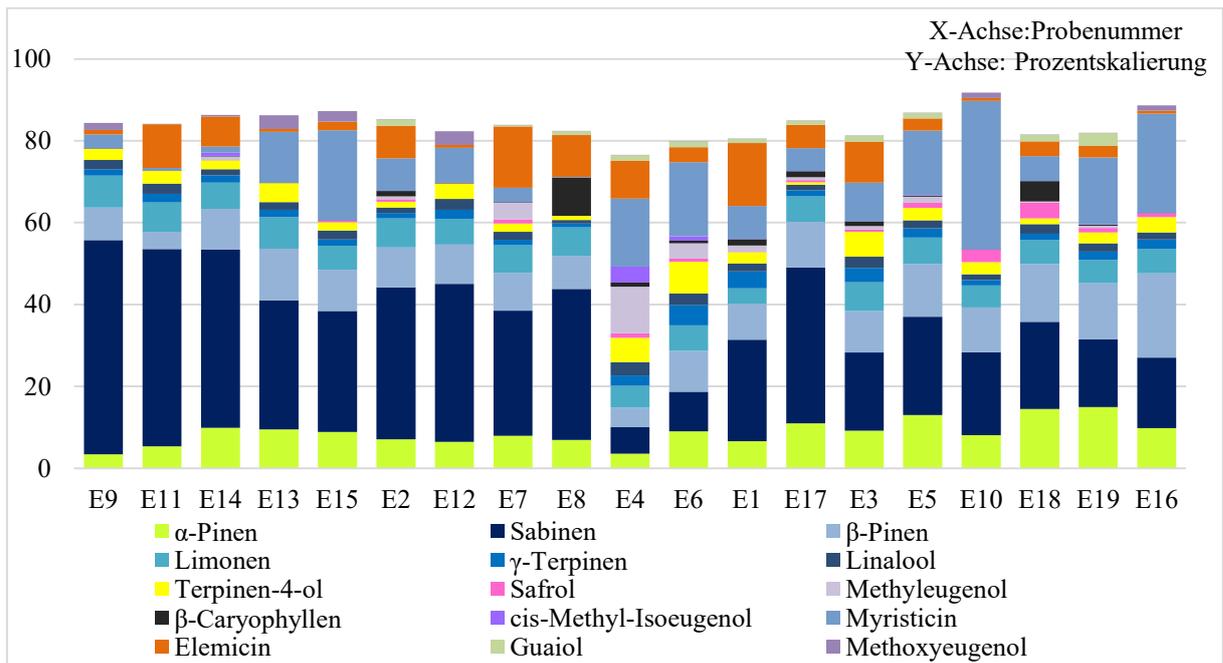


Abb. 21: Vergleich der Hauptkomponenten des ätherischen Öls von Muskatnussproben gewonnen durch die Extraktion mittels Dichlormethan.

Die Phenylpropane wurden durch Extraktion mit Dichlormethan erhalten. Eine schematische Darstellung erfolgt in Abb. 22. Myristicin ist in allen Proben vertretenen, der Höchstgehalt mit 36,29% wurde in Probe 10 gemessen. Das Elemicin erweist hohe Gehalte in einzelnen Proben, außer in Probe 10, 12, 13, 15 und 16. Safrol konnte in den Proben 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 15, 16, 17, 18 und 19 identifiziert werden. Methoxyeugenol wurde in den Proben 9, 10, 12, 13, 14, 15 und 16 als Komponentenanteil analysiert.

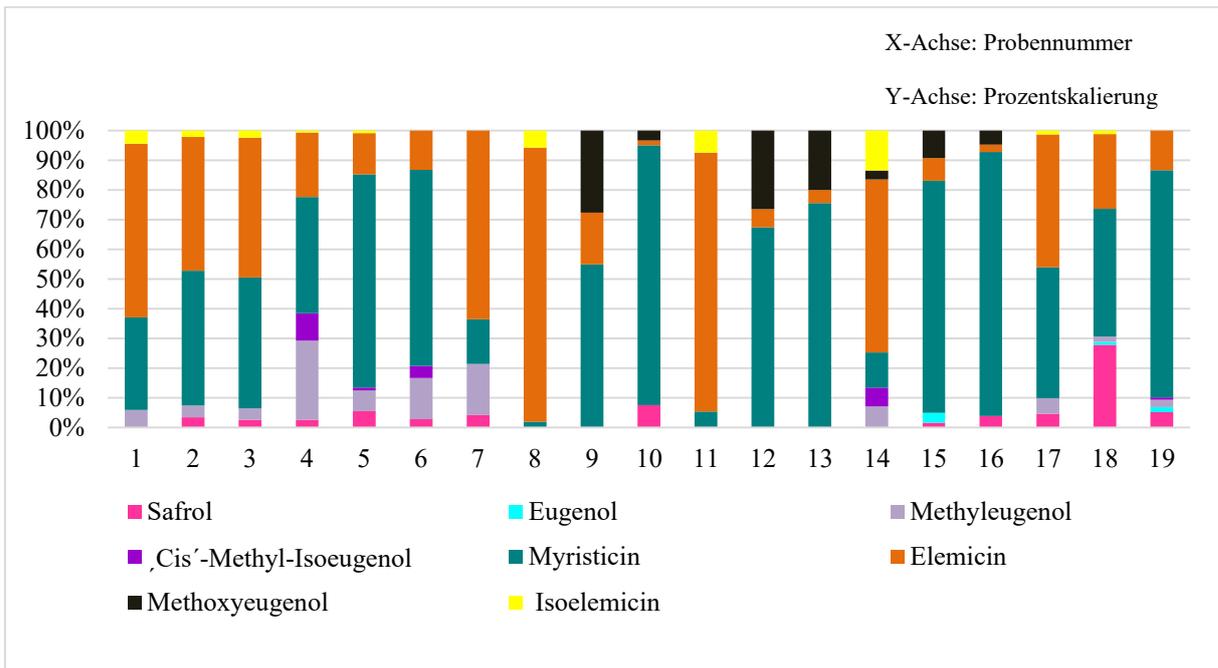


Abb. 22: Phenylpropane in Muskatnussproben nach Extraktion mit Dichlormethan.

3.3.2. Extraktionsverfahren im Vergleich

Das folgende Balkendiagramm in Abb. 23 zeigt eine Gegenüberstellung der einzelnen Proben. Die Proben zeigen die Zusammensetzung der flüchtigen Fraktionen, die durch die drei Isolierungsverfahren als Probenvorbereitung gewonnen wurden. Es wurde dabei versucht ähnliche Proben zu gruppieren.

Die Probe 4 und Probe 6 unterscheiden sich in ihrer Komponentenaufschlüsselung zu den anderen Proben. Bei allen drei Extraktionsmethoden zeigte sich, dass der Gehalt an Monoterpenen, vor allem Sabinen, ist im Vergleich zu den anderen Vergleichsproben niedrig war. Im Gegensatz dazu sind die Phenylpropanoide mit einem höheren Gehalt vertreten. Auch der Gehalt an Methyleugenol ist in Probe 4 und 6 deutlich höher als in den anderen.

Nicht außer Acht zu lassen ist, dass die Extraktion mit Dichlormethan eine Schnellmethode darstellt. Man gewinnt ein Extrakt an lipophilen flüchtigen Inhaltsstoffen, doch stellt dieses nicht gleich ein ätherisches Öl dar.

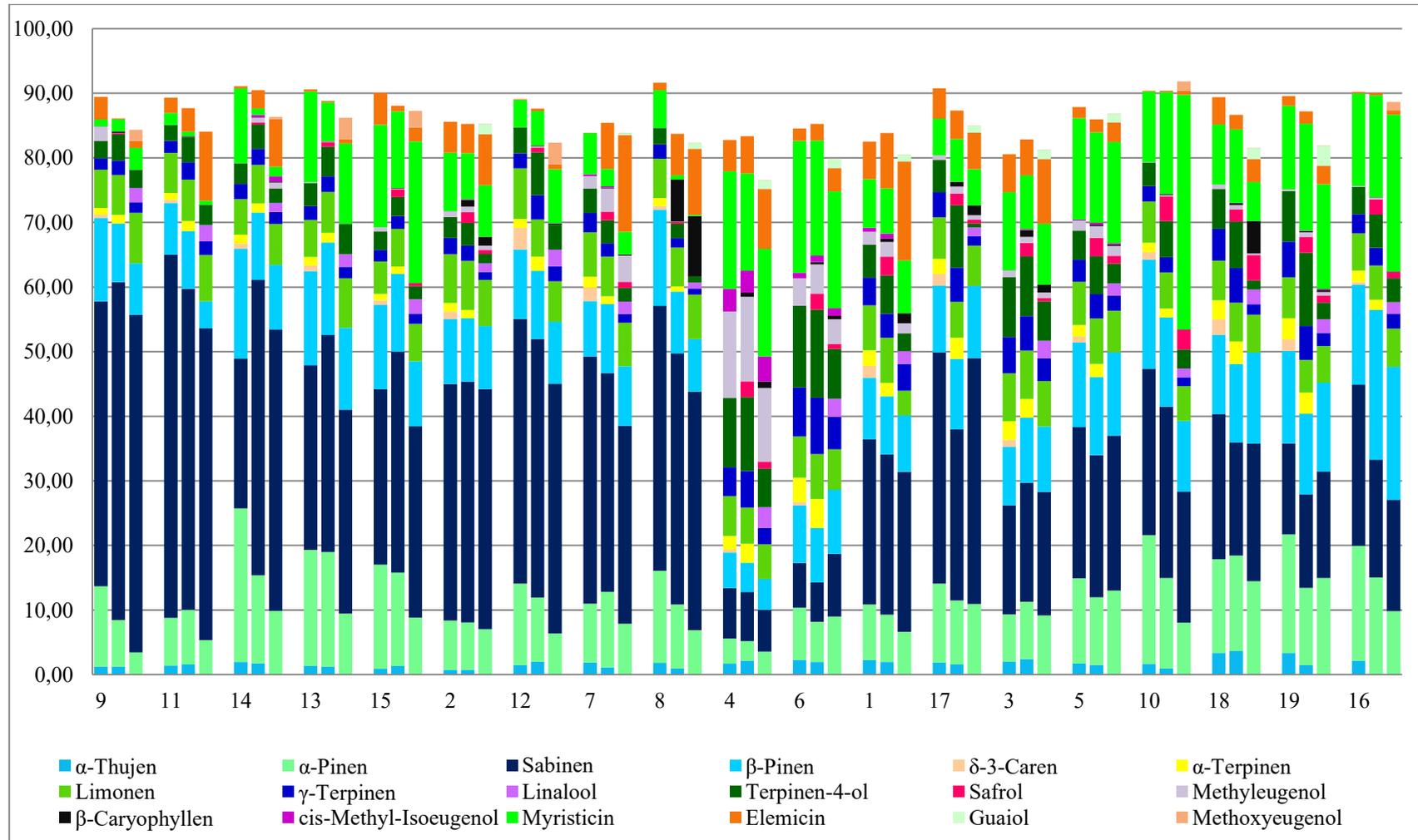


Abb. 23: Zusammensetzung der flüchtigen Fraktionen der einzelnen Proben bei unterschiedlichen Extraktionsverfahren. In jeder Säulengruppe stellt die linke Säule die Wasserdampfdestillation, die mittlere die Mikrodestillation und die rechte die Extraktion mit Dichlormethan dar.

3.3.3. Vergleich der absoluten Konzentrationen

Unter der Annahme, dass alle Komponenten mit derselben Empfindlichkeit wie der interne Standard Hexadecan erfasst werden, ist es möglich, eine quantitative Berechnung für die Ölgehalte und die einzelnen Ölkomponenten durchzuführen.

3.3.3.1. Gehalt der Proben an ätherischem Öl

In Tab. 11 werden die absoluten Konzentrationen in mg/g angegeben. Diese Werte beziehen sich auf die gesamte Summe der ätherischen Öle in Proben 1-6 (gemahlene Muskatnuss) und Proben 7-16 (ganze Muskatnuss), und geben an, wie viel mg an ätherisches Öl pro Gramm Muskatnuss enthalten ist. Dabei ist zu beachten, dass Proben von gemahlene und ganzen Muskatnüssen unterschiedlicher Herkunft waren.

Tab. 11: Mittelwert und Maximalwert in mg/g von der gemahlene Muskatnuss, Probe 1-6, und der ganzen Muskatnuss, Probe 7-16, bezogen auf den Gehalt an ätherischem Öl.

	gemahlene Muskatnuss [mg/g]		ganze Muskatnuss [mg/g]	
	MW	MAX	MW	MAX
WD	30,21	45,27	61,99	106,98
MD	29,78	46,01	46,00	70,57
E	41,36	58,16	41,73	73,66

Die Wasserdampfdestillation ergab bei den gemahlene Nüssen einen mittleren Wert von 30,21 mg/g, während für die ganzen Samen ein mittlerer Wert von 61,99 mg/g errechnet wurde. Die Probe 5 bei den gemahlene Nüssen und die Probe 12 bei den ganzen Nüssen erwiesen sich mit den höchsten Werten.

Die Mikrodestillation ergab bei den gemahlene Nüssen einen mittleren Wert von 29,78 mg/g, hingegen wurde für die ganzen Nüsse einen mittleren Wert von 46,00 mg/g errechnet. Die Probe 5 bei den gemahlene Nüssen und die Probe 12 bei den ganzen Nüssen erwiesen sich mit den höchsten Werten.

Die Extraktion durch Dichlormethan ergab bei den gemahlene Nüssen einen mittleren Wert von 41,36 mg/g, und die ganzen Samen ergaben einen mittleren Wert von 41,73 mg/g. Die Probe 2 der gemahlene Nüsse und die Probe 14 der ganzen Nüsse, erwiesen sich mit den höchsten Werten (siehe Tab 11).

Bei den gemahlene Nüssen (Probe 1-6) wurde im Durchschnitt am meisten bei der Extraktion erhalten, gefolgt von der Wasserdampfdestillation und Mikrodestillation.

Bei den ganzen Nüssen (Probe 7-16) war der Ertrag am besten durch die Wasserdampfdestillation, gefolgt von Mikrodestillation und Extraktion.

Das Balkendiagramm (Abb24.) zeigt die den Vergleich der absoluten Zahlen in mg/g von den Isolierungsverfahren WD, MD und E bezogen auf die Summe an ätherischem Öl.

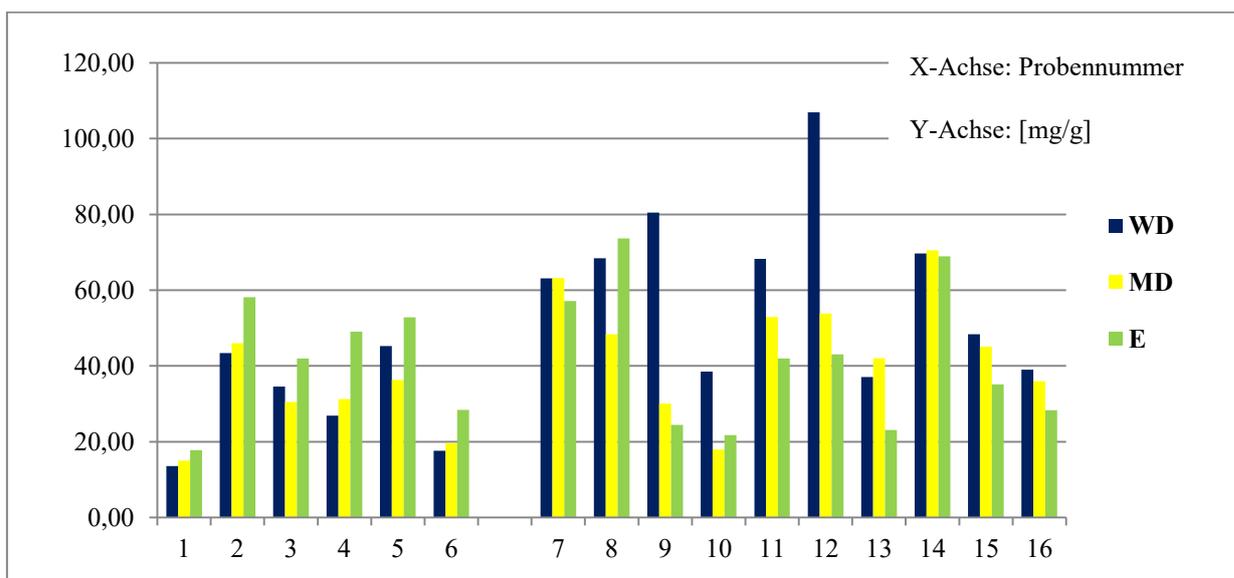


Abb. 24: Vergleich der Extraktionsverfahren WD, MD und E durch die absoluten Zahlen in mg/g bezogen auf die Summe an ätherischem Öl.

3.3.3.2. (2-propenyl)-benzene

In folgender Tab. 12 werden die Werte der Phenylpropane mit einer endständigen Doppelbindung, so genannte (2-propenyl)-benzene (Safrol, Eugenol, Methyleugenol, Myristicin und Elemicin) als absolute Konzentration [mg/g] angegeben.

Tab. 12: Mittelwert und Maximalwert von der gemahlene Muskatnuss, Probe 1-6, und der ganzen Muskatnuss, Probe 7-16, bezogen auf den Gehalt an Phenylpropanen.

	Gemahlene Muskatnuss [mg/g]		Ganze Muskatnuss [mg/g]	
	MW	Max	MW	Max
WD	6,89	10,43	6,00	10,98
MD	6,68	11,60	4,32	9,38
E	10,13	18,82	7,01	13,43

Die Wasserdampfdestillation ergab bei den gemahlene Nüssen einen mittleren Wert von 6,89 mg/g, während für die ganzen Samen ein Mittelwert von 6,00 mg/g errechnet wurde. Die Probe 4 bei den gemahlene Nüssen und die Probe 15 bei den ganzen Nüssen erwiesen sich mit dem höchsten Gehalt an Phenylpropanen mit endständiger Doppelbindung.

Die Mikrodestillation ergab bei den gemahlene Nüssen einen mittleren Wert von 6,68 mg/g, bei den ganzen Nüssen hingegen einen Mittelwert von 4,32 mg/g. Die Probe 4 bei den gemahlene Nüssen und die Probe 7 bei den ganzen Nüssen erwiesen sich mit den höchsten Werten.

Die Extraktion mit Dichlormethan ergab bei den gemahlene Nüssen einen mittleren Wert von 10,13 mg/g, und bei den ganzen Samen einen Mittelwert von 7,01 mg/g. Die Probe 4 bei den gemahlene Nüssen und die Probe 7 bei den ganzen Nüssen erwiesen sich mit den höchsten Werten.

Bei den gemahlene Nüssen (Probe 1-6) wurde im Durchschnitt am meisten bei der Extraktion mit Dichlormethan erhalten, gefolgt von der Wasserdampfdestillation und Mikrodestillation.

Bei den ganzen Nüssen (Probe 7-16) war der Ertrag am besten durch die Verfahrenstechnik Extraktion durch Dichlormethan erhalten, gefolgt von der Wasserdampfdestillation und Mikrodestillation.

Das Balkendiagramm (Abb. 25.) zeigt die Absoluten Konzentrationen in mg/g von den Mittelwerten der Phenylpropane, mit endständiger Doppelbindung, wobei dies auf die gesamte Menge zu beziehen ist.

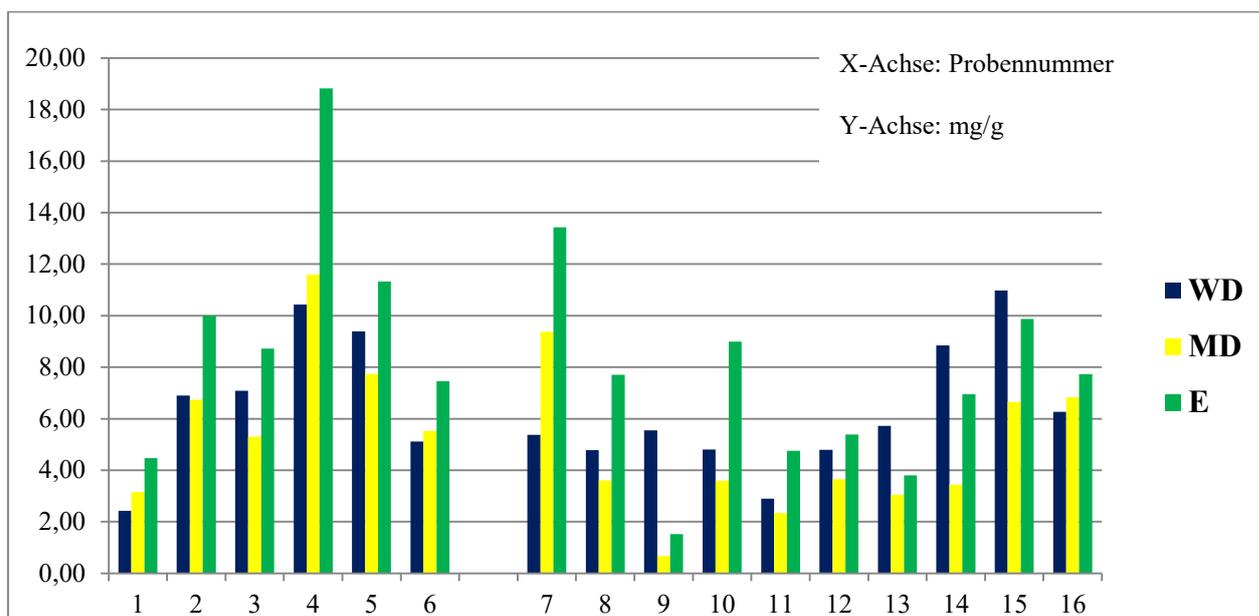


Abb. 25 Absolute Konzentration der 2-propenyl)-benzene [mg/g] in Muskatnussproben.

4. Diskussion

Die erste Frage, die sich stellt ist, was der Prozentanteil an ätherischem Öl in einem Produkt aussagt, bzw. wie jene ätherischen Öle zueinander stehen. Je mehr Prozentanteil an ätherischem Öl ein Produkt aufweist, desto hochwertiger ist es in seiner Qualität. Je hochwertiger die Qualität ist, desto länger halten sich die darin enthaltenen flüchtigen Komponenten. Welche Mindestanforderungen muss nun eine Muskatnuss aufweisen um den Qualitätsanforderungen zu entsprechen. Das österreichische Lebensmittelbuch gibt für die Muskatnuss vor: Die ganze Muskatnuss, die gemahlene Muskatnuss und die Muskatblüte haben eine Mindestanforderung an ätherischem Ölgehalt von mindestens 5,5 %, 4,5 % und 7,0 %.

Die Tab. 10 zeigt den Vergleich des ätherischen Öls der Muskatnüsse, nach Wasserdampfdestillation. Von dieser Tabelle wurde der Gehalt an ätherischem Öl mit dem *Codex Alimentarius Austriacus* verglichen. Jener gibt für die gemahlene Nüsse einen Mindestwert von 4,5 % Gehalt an ätherischem Öl vor. Die Anforderungen wurden erfüllt, mit Ausnahme von Probe 1 (2,83 %) und Probe 6 (3,17 %). Die Probe 4 erfüllt mit 4,5 % gerade noch die Anforderungen. Die Anforderungen für die ganze Muskatnuss ist ein Mindestwert von 5,5 % Gehalt an ätherischem Öl. Die Probengruppe 7-16 erfüllen die Anforderungen, mit Ausnahme von Probe 13 (5,17 %). Die Muskatblüte hat einen Mindestwert von 7,0 % zu erreichen. Die Proben 17-19 erfüllen somit die Anforderungen des *Codex Alimentarius Austriacus*. Ergebnisse dieser Arbeit zeigen somit, dass bei ganzen Nüssen, im Vergleich zu den gemahlene Nüssen, einen höheren Anteil an ätherischem Öl zu verzeichnen ist. Die ganzen Samen wurden noch am gleichen Tag zerkleinert und extrahiert. Dabei wurde versucht, Verluste von ätherischem Öl durch Lagerung (Temperatur, Luftfeuchtigkeit) und Zeitdauer der Lagerung zu vermeiden.

Die Beurteilung des Gehalts an Phenylpropanen mit endständiger Doppelbindung bzw. ihren Bezug zur Lebensmittelsicherheit ist ein vielseitiges Thema. Drei Phenylpropanoide Safrol, Myristicin und Elemecin wrden auf Grund ihrer starken Toxizität herangezogen um eine Risikoabschätzung durchzuführen. Es wurden zehn Publikationen (Tab. 13) mit den Daten der Wasserdampfdestillation (WD), Mikrodestillation (MD) und Extraktion (E) verglichen (Tab. 14). In Tab. 13 werden die Artikel aufgelistet, welche zum Vergleich der eigenen

Proben herangezogen wurden. Aus dem Vergleich ergibt sich, dass die Schwankungsbreite bei den Komponenten und ihren Werten relativ ähnlich verlaufen wie in den vorliegenden Untersuchungen. Im Verhältnis passen die eigenen Proben zu den recherchierten Daten (Tab. 14). Die Schwankungsbreite von Myristicin in Tab. 14 erstreckt sich von 2,3 % bis zu einem Höchstwert von 31,29 %. Eine Erklärung für diese Schwankungen liefert der Artikel 1 (Tab. 13). Jener berichtet, dass der Gehalt an Myristicin im ätherischen Öl sich steigern lässt, als Folge von Variation bei den Temperatur- und Druckverhältnissen des Extraktionsverfahrens (SUDRADJAT *et al.*, 2018).

Tab. 13: Verwendete Artikel, für den Vergleich mit Safrol, Myristicin und Elemicin.

Tabellennr.	Artikel
1	SUDRADJAT <i>et al.</i> , 2018
2	DU <i>et al.</i> , 2014
3	POLITEO <i>et al.</i> , 2006
4	JUKIC <i>et al.</i> , 2006
5	VALENTE <i>et al.</i> , 2011
6	PIARU <i>et al.</i> , 2012
7	PIRAS <i>et al.</i> , 2012
8	SONI <i>et al.</i> , 2016
9	KAPOOR <i>et al.</i> , 2013
10	DUPUY <i>et al.</i> , 2013

Tab. 14: Gegenüberstellung von Safrol, Elemicin und Myristicin (Angaben in % im ätherischen Öl)

Tabellennr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	WD	MD	E
Safrol	1,94	1,6	3,3	3,9	2,8	0,4	4,28	-	1,1	2,35	1,18	1,41	1,09
Myristicin	12,93	2,3	14,8	16,2	10,9	6,8	31,29	6,44	3,8	8,13	10,57	7,23	11,06
Elemicin	0,36	1,7	0,3	1,1	1	0,6	0,45	8,81	5,6	0,78	2,58	2,44	6,05

Der Einsatz von Safrol in Lebensmitteln lag früher in der Nutzung als Geschmacksverstärker. Da es aber für den Menschen möglicherweise karzinogen wirkt und hautreizend ist, ist der Zusatz zu Lebensmitteln nicht mehr erlaubt (VO (EG) Nr. 1334/2008). Safrol kommt zusätzlich in Sassafras-, Sternanisöl und Kampfer (TERNES *et al.*, 2005) vor. Es hat einen so genannten „candy shop“ Aroma und kommt in verschiedenen Pflanzen wie Sassafras, Zimt, Muskatnuss und Pfeffer vor. Safrol ist hepatokarzinogen bei Laborratten und gilt heute als karzinogen und als „Ecstasy Producer“ (KEMPRAI *et al.*, 2019). Laut VO (EG) Nr. 1334/2008 („Aromen und bestimmte Lebensmittelzutaten mit Aromaeigenschaften zur Verwendung in und auf Lebensmitteln“) gibt es für gewisse Lebensmittelzubereitungen für Safrol eine Höchstmenge. Die Höchstmenge an Safrol für Fleischzubereitungen und Fleischerzeugnisse, und für Fischzubereitungen und Fischerzeugnisse beträgt 15 mg/kg. Der höchste Wert an Safrol ergab das ätherische Öl der Probe 10, welche durch die Mikrodestillation gewonnen wurde, und ergab 3,79 %. Umgerechnet auf 1 kg wären das 678 mg, d.h. man dürfte maximal 22 g Muskatnuss von der Probe 10 zu einem Kilogramm Fleisch- und Fischzubereitungen hinzugeben, um den Höchstwert von 15 mg/kg nicht zu überschreiten.

Myristicin kommt in verschiedensten ätherischen Ölen von z.B. Muskatnuss, Dill und Petersilie (TERNES *et al.*, 2005) vor. Präklinische Studien zeigten, dass Komponenten wie Myristicin anxiolytische, antioxidative/chemopräventive, anti-inflammatorische Wirkungen aufweisen (ABOURASHED u. EL-ALFY, 2016). Mitunter kann Myristicin halluzinogene Effekte hervorrufen, sofern es sich in MMDA (Methylendioxyamphetamin) umwandelt. Die minimale Dosierung, die einen psychogenen Effekt auslöst, wäre 5 g Grundsubstanz mit einem Myristicingehalt von 1-2 mg. Diese Dosierung wird schon als toxische Dosis angesehen. Ab einem toxischen Level kann in Bezug auf die Gesundheit ein negativer Effekt folgen und mitunter eine Neurotoxizität im Gehirn induziert werden. Höhere Dosen können im schlimmsten Fall auch letal enden. (RAHMAN *et al.*, 2015).

Auch die Frucht, aus dem das Öl gewonnen wird, spielt eine wichtige Rolle, da die Muskatnuss reif sein muss, um ätherisches Öl mit entsprechender Qualität gewinnen zu können. Der Destillationsprozess hat einen wesentlichen Einfluss auf das gewonnene Öl. Die Hauptkomponentenanalyse in der Publikation von DUPUY *et al.* (2013) ergab, dass die

Extrakte, die zu Beginn der Destillation erhalten wurden, reich an monoterpenen Verbindungen (α -Pinen, β -Pinen, Sabinen, Limonen und α -Thujen) waren. Doch am Ende der Extraktion war das Öl reich an Phenylpropanen (Eugenol, Methyleugenol, Isoeugenol, Myristicin und Elemicin. Die Fraktion welche über neun Stunden an Zeit beanspruchte enthielt am Ende 33% Myristicin (DUPUY *et al.*, 2013). Unterschiedliche Druck- und Temperaturverhältnisse können den Gehalt an Myristicin im ätherischen Öl steigern (SUDRADJAT *et al.*, 2018).

Elemicin findet man in der Banane und in der Muskatnuss als Aromastoff, welcher als mild und voll beschrieben wird. Auch in der Aromatherapie wird es als Duftstoff eingesetzt, um Stress abzubauen (TERNES *et al.*, 2005). Elemicin hat im Vergleich zu den anderen Alkenylbenzenen eine geringe Toxizität und damit eine niedrigere Priorität im Bereich des Risikomanagements. Beim Menschen wurde eine mikrosomale Umwandlung von Elemicin in verschiedene Metaboliten nur bei Inkubationen mit gemischten geschlechtsspezifischen menschlichen Lebermikrosomen beobachtet, wohingegen menschliche Lungen-, Nieren- und Dünndarmmikrosomen nicht in der Lage waren, Elemicin zu metabolisieren (VAN DEN BERG *et al.*, 2012).

Im Fall einer 18 jährigen Studentin wird berichtet, dass sie drei Viertel eines Milchshakes eingenommen hatte, welcher 50 g Muskatnuss beinhaltete. Sie wurde ins Krankenhaus mit Herzklopfen, Schläfrigkeit, Übelkeit, Schwindel, Durst und trockenen Mund eingeliefert. Der klinische Zustand ergab eine Tachykardie (102/Minute), niedrigen Blutdruck (105/68), erweiterte Pupillen (4 mm) und noch weitere Symptome. Die Muskatnuss wurde auch schon in „Hippie-Zeiten“ (1960,1970) für euphorische Zustände benutzt (DEMETRIADES *et al.*, 2005). Dass dies auch noch heutzutage aktuell ist, zeigt der EU-Drogenbericht aus dem Jahr 2019, in dem angeführt wird, dass rund 2969 Liter Safrol sichergestellt wurden. Safrol wirkt schwach hepatocarcinogen und ist genauso wie Myristicin genotoxisch, als auch karzinogen (PELKONEN *et al.*, 2017).

Laut VAN WYK (*et al.*, 2004): „Warnung: Muskatnuss und Muskatblüte sind als Gewürz oder verdauungsfördernde Medizin in kleiner Dosis recht sicher, größere Mengen können jedoch gefährlich sein!“. Das ätherische Öl der Muskatnuss kann viele positive, als auch

negative Aspekte hervorrufen. Doch Grundvoraussetzung dafür ist, wie schon einst Theophrastus Bombast von Hohenheim (Paracelsus; 1493-1541) formulierte: „Die Dosis macht das Gift“.

5. Zusammenfassung

Die Verwendung der Muskatnuss (*Myristica fragrans*) im Bereich Lebensmittel beginnt als Gewürz, setzt sich fort als gustatorische Untermalung von Fleisch- bzw. Fischgerichten und wirkt als würzige Beimengung in Getränken. In der Medizin findet die sie ihre Anwendung bei Verdauungsproblemen und als Expektorantien zur Unterstützung der Lungenfunktion. Darüber hinaus weisen die ätherischen Öle antioxidative, sekretolytische und sekretomotorische Eigenschaften auf. Bei Überdosierungen kann es zu psychotropen Verläufen kommen, welche den Phenylpropanen zugeschrieben werden. Insbesondere Elemicin, Myristicin und Safrol.

Es wurden 32 Proben von der gemahlene Muskatnuss, der ganzen Muskatnuss, von Muskatblüten und Gewürzmischungen untersucht. Das ätherische Öl wurde durch drei verschiedene Extraktionsverfahren gewonnen (Wasserdampfdestillation, Mikrodestillation und Extraktion mit Dichlormethan). Anschließend wurde das ätherische Öl mit Hilfe der GC/MS und GC/FID-Analyse untersucht. Bei den drei Extraktionsverfahren wurden insgesamt 31-55 Komponenten identifiziert: Monoterpene, Oxidierte Monoterpene und (2-propenyl)-benzene präsentieren den höchsten Gehalt. Als Hauptkomponenten wurden α -Pinen, Sabinen, β -Pinen, Limonen, γ -Terpinen und Terpinen-4-ol identifiziert. Die höchsten Bestandteile der (2-propenyl)-benzene erwiesen sich als Myristicin, Elemicin und Safrol. In den Gewürzmischungen wurden vereinzelt hohe Werte an (2-propenyl)-benzen nachgewiesen.

Die Konzentration an ätherischem Öl in den analysierten Proben entspricht zu einem großen Teil den Qualitätsanforderungen, welche der *Codex Alimentarius Austriacus*, vorgibt. Mitunter ist die Aufnahme der Menge an Muskatnuss bzw. ihrer Phenylpropane ausschlaggebend für den weiteren Verlauf. Bei der oralen Aufnahme von geringen Mengen der Muskatnuss, z.B. als Gewürz ist es als Lebensmittel sicher einzustufen. Aus diesem Grund sollte die Menge an aufgenommen Inhaltsstoffen berücksichtigt werden.

6. Summary

The use of nutmeg (*Myristica fragrans*) in food begins as a spice, continues as a gustatory accompaniment to meat and fish dishes and acts as a spicy addition to drinks. As a medicinal plant it is used for digestive problems and as an expectorant to support lung function. The essential oil shows antioxidant, secretolytic and secretomotor properties. Overdoses can lead to psychotropic effects, which are attributed to the phenylpropanes. In particular, elemicin, myristicin and safrole.

Thirty-two samples of ground nutmeg, whole nutmeg, mace and spice mixtures were analysed. The essential oil was extracted by three different extraction methods (steam distillation, microdistillation and extraction with dichloromethane). Subsequently, the essential oil was analysed by GC/MS and GC/FID analysis. A total of 31-55 components were identified in the three extraction procedures: Monoterpenes, Oxidised monoterpenes and (2-propenyl)-benzenes present the highest content in analysed samples. The main components of essential oil were identified as α -pinene, sabinene, β -pinene, limonene, γ -terpinene and terpinen-4-ol. The highest components of the (2-propenyl)-benzenes were found to be myristicin, elemicin and safrole. Isolated high levels of (2-propenyl)-benzenes were detected in the spice mixtures.

The concentration of essential oil in the analysed samples largely complies with the quality requirements of the *Codex Alimentarius Austriacus*. Sometimes the intake of the amount of nutmeg or its phenylpropanes is decisive for the further course. In the case of oral intake of small amounts of nutmeg, e.g. as a spice, it could be classified as a safe food. For this reason, the amount of ingested ingredients should be taken into account.

7. Quellenangaben

7.1. Literaturverzeichnis

- ABOURASHED, E.A., EL-ALFY, A.T. (2016): Chemical diversity and pharmacological significance of the secondary metabolites of nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt.). *Phytochem Rev* **15**, 1035–1056. doi:10.1007/s11101-016-9469-x.
- ADAMS, R.P. (2007): Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. 4th ed., Allured Business Media, Carol Stream, Ill. Alphabetical List of Compounds S.9-29
- DEMETRIADES, A.K., WALLMAN, P.D., MCGUINNESS, A., GAVALAS, M.C. (2005): Low cost, high risk. *Emerg Med J* **22**, 223–225. doi:10.1136/emj.2002.004168.
- DU, S.-S., YANG, K., WANG, C.-F., YOU, C.-X., GENG, Z.-F., GUO, S.-S., DENG, Z.-W., LIU, Z.-L. (2014): Chemical Constituents and Activities of the Essential Oil from *Myristica fragrans* against Cigarette Beetle *Lasioderma serricorne*. *Chemistry & Biodiversity*, 1449–1456.
- DUPUY, N., MOLINET, J., MEHL, F., NANLOHY, F., LE DRÉAU, Y., KISTER, J. (2013): Chemometric analysis of mid infrared and gas chromatography data of Indonesian nutmeg essential oils. *Industrial Crops and Products* **43**, 596–601. doi:10.1016/j.indcrop.2012.07.073.
- FRANKE, W. (2012): *Nutzpflanzen*. 8th ed., Georg Thieme Verlag, Stuttgart. S.329-330
- HÄNSEL, R., STEINEGGER, E. (2015): *Pharmakognosie - Phytopharmazie*. 10th ed., Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Suttgart, Stuttgart. Kap. 19.5, S.709-719
- HILLER, K., MELZIG, M.F. (2010): *Lexikon der Arzneipflanzen und Drogen*. 2nd ed., Spektrum Akad. Verl., Heidelberg. S.397-398
- JUKIC, M., POLITEO, O., MILOS, M. (2006): Chemical Composition and Antioxidant Effect of Free Volatile Aglycones from Nutmeg (*Myristica fragrans* houtt.) compared to its Essential Oil. *Croatia Chemica Acta* **79**, 209–214.
- KAPOOR, I.P.S., SINGH, B., SINGH, G., HELUANI, C.S. DE, LAMPASONA, M.P. DE, CATALAN, C.A.N. (2013): Chemical Composition and Antioxidant Activity of Essential

- Oil and Oleoresins of Nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt.) Fruits. *International Journal of Food Properties* **16**, 1059–1070. doi:10.1080/10942912.2011.576357.
- KEMPRAI, P., PROTIM MAHANTA, B., SUT, D., BARMAN, R., BANIK, D., LAL, M., PROTEEM SAIKIA, S., HALDAR, S. (2019): Review on safrole. *Flavour Fragr J* **35**, 5–23. doi:10.1002/ffj.3521.
- PELKONEN, O., DUEZ, P., VUORELA, P.M., VUORELA, H. (Eds.) (2017): *Toxicology of Herbal Products*, Springer International Publishing, Cham, s.l.
- PIARU, S.P., MAHMUD, R., ABDUL MAJID, A.M.S., ISMAIL, S., MAN, C.N. (2012): Chemical composition, antioxidant and cytotoxicity activities of the essential oils of *Myristica fragrans* and *Morinda citrifolia*. *J Sci Food Agric* **92**, 593–597. doi:10.1002/jsfa.4613.
- PIRAS, A., ROSA, A., MARONGIU, B., ATZERI, A., DESSÌ, M.A., FALCONIERI, D., PORCEDDA, S. (2012): Extraction and separation of volatile and fixed oils from seeds of *Myristica fragrans* by supercritical CO₂. *J Food Sci* **77**, C448-53. doi:10.1111/j.1750-3841.2012.02618.x.
- POLITEO, O., JUKIC, M., MILOS, M. (2006): Chemical Composition and Antioxidant Activity of Essential Oils of Twelve Spice Plants. *Croatia Chemica Acta* **79**, 545–552.
- RAHMAN, N.A.A., FAZILAH, A., EFFARIZAH, M.E. (2015): Toxicity of Nutmeg (*Myristicin*): A Review. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology* **Vol. 5**, 212–215.
- SONI, R., SHARMA, G., JASUJA, N.D. (2016): Essential Oil Yield Pattern and Antibacterial and Insecticidal Activities of *Trachyspermum ammi* and *Myristica fragrans*. *Scientifica (Cairo)* **2016**, 1428194. doi:10.1155/2016/1428194.
- SUDRADJAT, S.E., TIMOTIUS, K.H., MUN'IM, A., ANWAR, E. (2018): The Isolation of Myristicin from Nutmeg Oil by Sequences Distillation. *JYP* **10**, 20–23. doi:10.5530/jyp.2018.10.6.
- TERNES, W., TÄUFEL, A., TUNGER, L., ZOBEL, M. (Eds.) (2005): *Lexikon der Lebensmittel und der Lebensmittelchemie*. 4th ed., Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart. S. 515, 1192, 1185, 1231, 1409, 1851-1870;

- VALENTE, V.M.M., JHAM, G.N., DHINGRA, O.D., GHIVIRIGA, I. (2011): Composition and antifungal activity of the Brazilian *Myristica fragrans* houtt. essential oil. *Journal of Food Safety* **31**, 197–202. doi:10.1111/j.1745-4565.2010.00285.x.
- VAN DEN BERG, S.J.P.L., PUNT, A., SOFFERS, A.E.M.F., VERVOORT, J., NGELEJA, S., SPENKELINK, B., RIETJENS, I.M.C.M. (2012): Physiologically based kinetic models for the alkenylbenzene elemicin in rat and human and possible implications for risk assessment. *Chem Res Toxicol* **25**, 2352–2367. doi:10.1021/tx300239z.
- VAN WYK, B.-E. (2005): *Handbuch der Nahrungspflanzen. Ein illustrierter Leitfaden*, Wiss. Verl.-Ges, Stuttgart. S.259
- VAN WYK, B.-E., WINK, C., WINK, M. (2004): *Handbuch der Arzneipflanzen. Ein illustrierter Leitfaden*, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart, Stuttgart. S.210

7.2.Internetquellen

„Bundesgesetz über Sicherheitsanforderungen und weitere Anforderungen an Lebensmittel, Gebrauchsgegenstände und kosmetische Mittel zum Schutz der Verbraucherinnen und Verbraucher (Lebensmittelsicherheits- und Verbraucherschutzgesetz - LMSVG BGBl. I Nr. 13/2006“

<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20004546>

Letzter Zugriff: 21.10.2020

Codex alimentarius austriacus (Österreichisches Lebensmittelbuch):

<http://www.lebensmittelbuch.at/>

Letzter Zugriff: 21.10.2020

„VERORDNUNG (EG) Nr. 1334/2008 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 16. Dezember 2008 über Aromen und bestimmte Lebensmittelzutaten mit Aromaeigenschaften zur Verwendung in und auf Lebensmitteln sowie zur Änderung der Verordnung (EWG) Nr. 1601/91 des Rates, der Verordnungen (EG) Nr. 2232/96 und (EG) Nr. 110/2008 und der Richtlinie 2000/13/EG“

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32008R1334>

Letzter Zugriff: 21.10.2020

„VERORDNUNG (EG) Nr. 1223/2009 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 30. November 2009 über kosmetische Mittel“

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32009R1223>

Letzter Zugriff: 21.10.2020

„VERORDNUNG (EG) Nr. 273/2004 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 11. Februar 2004 betreffend Drogenausgangsstoffe“

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32004R0273>

Letzter Zugriff: 21.10.2020

PubChem: National Center for Biotechnology Information (U.S. National Library of Medicine):

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>

Zugriff 21.10.2020

Europäischer Drogenbericht 2019-Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union

<https://op.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/6b2ec5f1-8b2c-11e9-9369-01aa75ed71a1>

Letzter Zugriff: 21.10.2020

8. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Foto der Muskatnuss und dessen Samenschale © Csernicska Sara	1
Abb. 2: Foto Muskatblüte getrocknet © Csernicska Sara	2
Abb. 3: Phenylpropane aminiert zu Amphetaminderivaten (© in Zusammenarbeit von Ao.Univ.-Prof. Dr.phil. Remigius Chizzola und Csernicska Sara, unter Anlehnung von Ternes (et.al. 2005))	5
Abb. 4: Übersicht der Phenylpropanoide © Csernicska Sara.....	6
Abb. 5: Eppendorf-Mikrodistiller mit zugehörigem Glasmaterial © Foto von Csernicska Sara	23
Abb. 6: Befülltes und beheiztes Probengefäß (links) über eine Kapillare (gelb) verbunden mit dem gekühlten Auffanggefäß (rechts). (© Foto von Csernicska Sara)	24
Abb. 7: Prozentangabe der ätherischen Öle durch Gewinnung über die Wasserdampfdestillation von der gemahlene Muskatnuss.....	31
Abb. 8: Prozentangabe des ätherischen Öls durch Gewinnung über die Mikrodestillation von der gemahlene Muskatnuss (Probe 1-6).	32
Abb. 9: Prozentangabe des ätherischen Öls durch Gewinnung über die Extraktion von der gemahlene Muskatnuss (Probe 1-6).	34
Abb. 10: Prozentangabe des ätherischen Öls durch Gewinnung über die Wasserdampfdestillation von der ganzen Muskatnuss (Probe 7-16).....	35
Abb. 11: Prozentangabe des ätherischen Öls durch Gewinnung über die Mikrodestillation von der ganzen Muskatnuss (Probe 7-16).	37
Abb. 12: Prozentangabe des ätherischen Öls durch die Gewinnung über die Extraktion von der ganzen Muskatnuss (Probe 7-16).	38
Abb. 13: Prozentangabe des ätherischen Öls durch die Gewinnung über die Wasserdampfdestillation von der Muskatblüte (Probe 17-19).....	40
Abb. 14: Prozentangabe des ätherischen Öls durch die Gewinnung über die Mikrodestillation von der Muskatblüte (Probe 17-19).....	41
Abb. 15: Prozentangabe des ätherischen Öls durch die Gewinnung über die Extraktion von der Muskatblüte (Probe 17-19).....	43

Abb. 16: Aufteilung des ätherischen Öls in % bei den Gewürzmischungen (Probe 24-32). ...	45
Abb. 17: Vergleich der Hauptkomponenten des ätherischen Öls von Muskatnussproben gewonnen durch Wasserdampfdestillation.....	47
Abb. 18: Phenylpropane in Muskatnussproben. Aufteilung der ätherischen Öle in Prozent. ..	48
Abb. 19: Vergleich der Hauptkomponenten des ätherischen Öls von Muskatnussproben gewonnen durch Mikrodestillation.....	49
Abb. 20: Phenylpropane der Muskatnussproben. Aufteilung des ätherischen Öls in Prozent, und gewonnen durch Mikrodestillation.....	50
Abb. 21: Vergleich der Hauptkomponenten des ätherischen Öls von Muskatnussproben gewonnen durch die Extraktion mittels Dichlormethan.....	51
Abb. 22: Phenylpropane in Muskatnussproben nach Extraktion mit Dichlormethan.	52
Abb. 23: Zusammensetzung der flüchtigen Fraktionen der einzelnen Proben bei unterschiedlichen Extraktionsverfahren . In jeder Säulengruppe stellt die linke Säule die Wasserdampfdestillation, die mittlere die Mikrodestillation und die rechte die Extraktion mit Dichlormethan dar.	53
Abb. 24: Vergleich der Extraktionsverfahren WD, MD und E durch die absoluten Zahlen in mg/g bezogen auf die Summe an ätherischem Öl.	55
Abb. 25: Absolute Konzentration der 2-propenyl)-benzene [mg/g] in Muskatnussproben.	57

9. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Struktur und Nomenklatur der im ätherischen Öl der Muskatnuss vorkommenden einfachen phenolischen Verbindungen (Phenylpropane).....	6
Tab. 2: Qualitätsanforderungen für Muskatnuss laut österreichischem Lebensmittelbuch:	10
Tab. 3: Höchstmengen der Phenylpropane in Lebensmitteln laut VO (EG) Nr. 1334/2008....	11
Tab. 4: „Anhang II: Liste der Stoffe, die in kosmetischen Mitteln verboten sind“.....	12
Tab. 5: „Anhang III: Liste der Stoffe, die kosmetische Mittel nur unter Einhaltung der angegebenen Einschränkungen enthalten dürfen“.....	13
Tab. 6: Probenliste (Probe 1-19).....	16
Tab. 7: Zusammensetzung der Gewürzmischungen laut Etikette.	17
Tab. 8: Zusammensetzung der Gewürzmischungen laut Etikette.	18
Tab. 9: Bedingungen für die Mikrodestillation.	25
Tab. 10: Berechnung des ätherischen Öls in % der Probe 1-19, gewonnen durch Wasserdampfdestillation mit einer Einwaage von 3 g.	29
Tab. 11: Mittelwert und Maximalwert in mg/g von der gemahlene Muskatnuss, Probe 1-6, und der ganzen Muskatnuss, Probe 7-16, bezogen auf den Gehalt an ätherischem Öl.....	54
Tab. 12: Mittelwert und Maximalwert von der gemahlene Muskatnuss, Probe 1-6, und der ganzen Muskatnuss, Probe 7-16, bezogen auf den Gehalt an Phenylpropanen.	56
Tab. 13: Verwendete Artikel, für den Vergleich mit Safrol, Myristicin und Elemicin.....	59
Tab. 14:Gegenüberstellung von Safrol, Elemicin und Myristicin (Angaben in % im ätherischen Öl).....	59

10. Abkürzungsverzeichnis

LMSVG	Lebensmittelsicherheits- und Verbraucherschutzgesetz
BGBI	Bundesgesetzblatt
VO	Verordnung
EG	Europäische Gemeinschaft
Kap.	Kapitel
S.	Seite
Abb.	Abbildung
Tab.	Tabelle
z.B.	zum Beispiel
TMA	3,4,5-Trimethoxyamphetamin
MDMA	3,4-Methylendioxy-N-methylamphetamin
MAX	Maximalwert
MW	Mittelwert
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
EO	„essential oil“, ätherisches Öl
NaCl	Natriumchlorid
Nr.	Nummer
<i>Aqua dest.</i>	<i>Aqua destillata</i>
Art.	Artikel

Fa.	Firma
MDA	3,4-Methylendioxyamphetamin
MMDA	3-Methoxy-4,5-methylendioxyamphetamin
MSD	Massenselektiver Detektor
PTFE	Polytetrafluorethylen
d.h.	das heißt
n. Chr.	Nach Christus

11.Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.