

SONDERDRUCK
aus

3 | 2024

VBio

Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland



ÖKOLOGIE
Blühphänologische
Variation



DINOPHYCEEN
Botschafter
gegen Artensterben

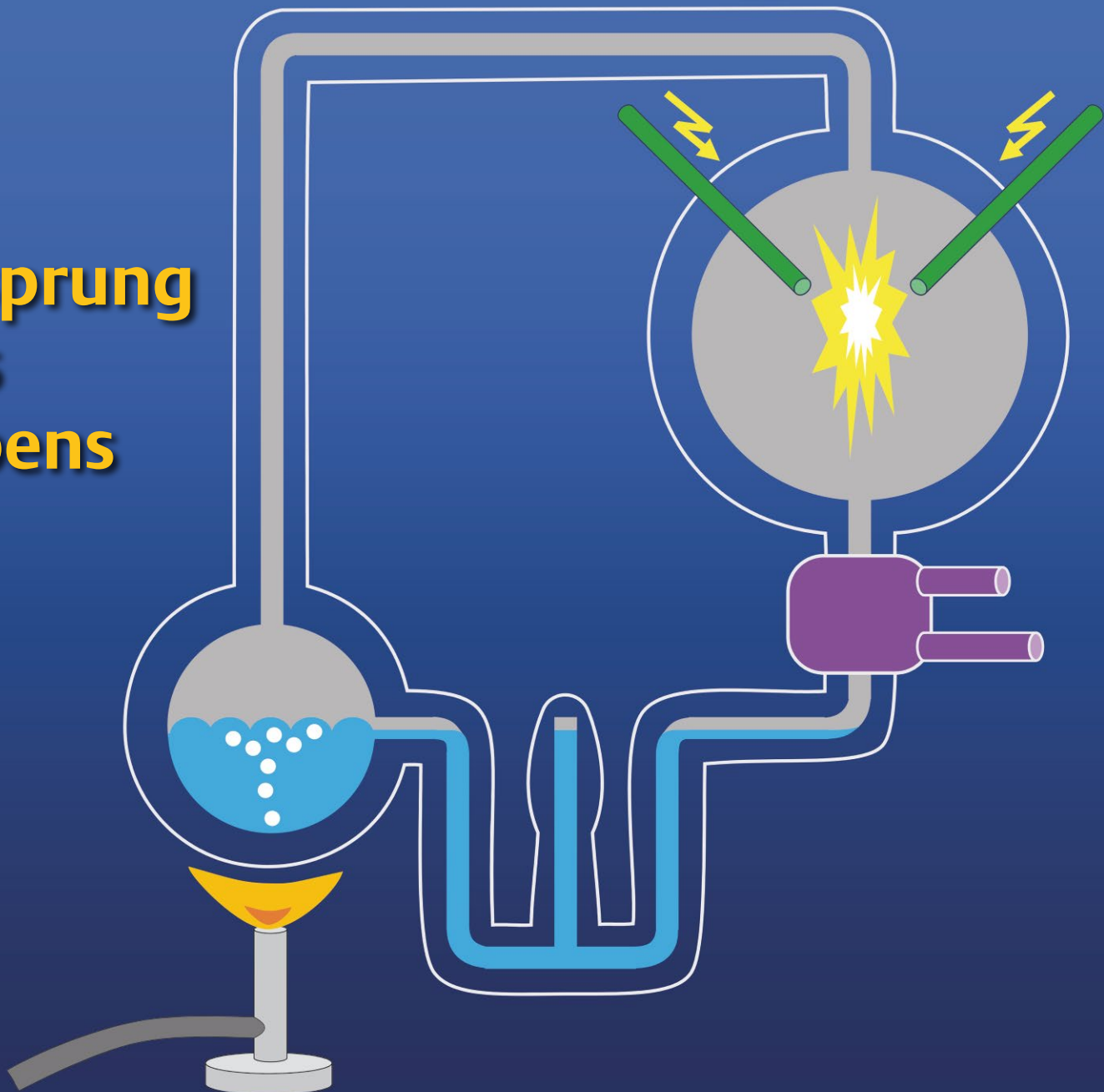


**GEWÜRZ
PFLANZEN**
Ätherische Öle
in Lippenblütlern

BIOLOGIE

IN UNSERER ZEIT

**Ursprung
des
Lebens**



Gewürz- und Heilpflanzen – Teil 1: Lamiaceen

Ätherische Öle in Lippenblütlern

SUSANNE BICKEL

Alle Gewürzpflanzen enthalten ein leicht flüchtiges, niedermolekulares Stoffgemisch, das in ihren unterschiedlichen Organen oft unterschiedlich zusammengesetzt vorliegt. Dieses ätherische Öl ist nicht mit fettem Öl zu verwechseln. Es bestimmt den Duft und Geschmack der Pflanzenteile und damit ihre Eigenschaften als Gewürz für unsere Speisen. Darüber hinaus haben viele Gewürzpflanzen positive Wirkungen auf unsere Gesundheit und manche sogar nachgewiesene Heilwirkungen, gehören also zu den Arzneipflanzen. Aber auch hier gilt der oft zitierte Satz von Theophrast von Hohenheim (Paracelsus, 1493 bis 1541): „Allein die Dosis macht, dass ein Ding kein Gift ist“. Das trifft vor allem auf isolierte und aufkonzentrierte ätherische Öle zu, mit denen man vorsichtig umgehen muss. In den Pflanzen werden sie an besonderen Speicherorten gesammelt und dienen als Abwehrstoffe gegen Schädlinge und Fressfeinde. In dem vorliegenden Artikel soll zunächst einmal geklärt werden, was ätherische Öle sind und wie sie in den Pflanzen synthetisiert werden.

In der Gewürzkunde wird meist der Begriff „Kräuter“ für alle Pflanzen mit heilkräftigen und würzenden Inhaltsstoffen verwendet. Alle bei uns gebräuchlichen Küchenkräuter sind gleichzeitig auch Heilkräuter mit verschiedenen medizinischen Eigenschaften. Kräuter wurden schon im Altertum verwendet, um Tees oder Salben herzustellen, die Beschwerden lindern sollten. In Pfahlbauten aus der Jungsteinzeit (vor etwa 6000 Jahren) fand man Reste

von Mohn-, Engelwurz- und Kümmelsamen [1]. Die Herkunft von Pflanzenarten in Deutschland lässt sich bis zum Mittelalter, dem Einsetzen von schriftlichen Nachrichten, nur aus Bodenfunden erschließen. Der wohl bedeutendste Kräuterkenner des Altertums war der griechische Arzt und gelehrte PEDANIUS DIOSCORIDES (erstes Jahrhundert. n. Chr.), der im Zuge der Arzneimittellehre seinen „Codex“ verfasste. Der erste von fünf Bänden seines Werkes *De*

Die mit einem grünen Pfeil markierten Begriffe werden im Glossar auf Seite 272 erklärt.

Materia Medica enthält etwa 600 exakt beschriebene Pflanzen aus dem kleinasiatischen Raum und aus seiner griechischen Heimat. DIOSCORIDES Methode der Pflanzenbeschreibung wird noch heute verwendet: Name der Pflanze, Synonyme, Herkunft, botanische Eigenschaften, medizinische Wirkung, Ernte, Zubereitung und Anwendung u. a. m. Spätere Kräuterbücher, etwa das von Leonhart Fuchs (*New Kreütterbuch*, 1543, [2]) beruhen weitgehend auf den Beschreibungen von Dioscorides. Heute kennt man etwa 500 Pflanzenarten, deren Verwendung als Heil- bzw. Würzkräuter untersucht wurde. Gewürze und Kräuter werden im Deutschen Lebensmittelbuch [3] definiert als „... Pflanzenteile, die wegen ihres Gehaltes an natürlichen Inhaltsstoffen als geschmack- und/oder geruchgebende Zutaten zu Lebensmitteln bestimmt sind“.

Gewürzpflanzen enthalten in allen Teilen ein leicht flüchtiges, niedermolekulares Stoffgemisch, das ätherische (etherische) Öl. Dieses kommt in unterschiedlicher Zusammensetzung in den verschiedenen Pflanzenorganen vor und trägt zu den würzenden, heilenden und duftspendenden Eigenschaften der Pflanze bzw. ihrer Pflanzenorgane bei. Nicht alles, was von unseren Ahnen als Heilkräuter überliefert wurde, ist aber auch nachweisbar heilend. Hier unterscheiden wir Heilpflanzen und Arzneipflanzen. Heilpflanzen sind alle, die eine Wirkung haben oder in den Überlieferungen so beschrieben werden. Zu den Arzneipflanzen, die von Apothekern und Pharmaherstellern verwendet werden, gehören Pflanzen, die ausreichende und qualitativ möglichst gleichbleibende Inhaltsstoffe besitzen. Diese werden daher meist unter gleichbleibenden Bedingungen angezogen und ihre Wirksamkeit wurde vorher durch wissenschaftliche Studien oder langzeitliche, gut belegte Erfahrungen nachgewiesen. Wie die Beispiele Baldrian (*Valeriana officinalis*) und Kamille (*Matricaria chamomilla*) zeigen, gehören Arzneipflanzen zwar manchmal, aber nicht immer zu den Gewürzpflanzen.

Nach ihren nutzbaren Organen kann man Kräuter grob in Blatt-, Blüten-, Frucht- und Rinden-(Spross-)Gewürze einteilen. Die in unseren Breiten häufigsten Blattgewürze stammen aus gerade einmal vier verschiedenen Pflanzenfamilien: Apiaceen (► Doldenblütler), Asteraceen (Korbblütler), Lamiaceen (Lippenblütler) und Alliaceen (Zwiebelgewächse). Die in unseren Breiten häufigsten Fruchtgewürze stammen wiederum aus der Familie der Apiaceen. Daneben gibt es einige gebräuchliche Exoten, beispielsweise Vanille (Orchidaceen, Orchideengewächse) und den Pfeffer (Piperaceen, Pfeffergewächse).

Der spezielle Teil des vorliegenden Artikels handelt von den Gewürzpflanzen aus der Familie der Lamiaceen und deren besonderen Eigenschaften, denn zu dieser Familie gehören Spezies, die in allen Pflanzenteilen hohe Konzentrationen an ätherischen Ölen besitzen und deswegen als Aroma-, Heil- und Duftpflanzen ausgewiesen sind. Für die Zukunft angedacht sind weitere Artikel zum Thema Gewürz- und Heilpflanzen.



ABB. 1 Ast des Ceylon-Zimtbaumes (*Cinnamomum verum*). Die äußere Rinde der Äste ist grau mit weißen Flecken. Links unten: Zweig mit Blättern. Die jungen Blätter sind durch Anthocyane rot gefärbt. Alle Fotos S. Bickel.

Multifunktionalität der ätherischen Öle

Die wissenschaftliche Bezeichnung „ätherische Öle“ entstand durch die extrem leichte Flüchtigkeit dieser Substanzen; darauf beruht auch die Freisetzung von Duft- und Aromastoffen bereits bei Zimmertemperatur. Das

IN KÜRZE

- Die meisten Gewürzkräuter sind aufgrund ihrer ätherischen Öle gleichzeitig auch Heilkräuter mit **verschiedenen medizinischen Eigenschaften**.
- Ätherische Öle sind **sekundäre Pflanzenstoffe** und bestehen immer aus einer Mischung von zahlreichen, niedermolekularen und leicht flüchtigen Stoffen, von denen die meisten zu den **Terpenen und Phenolen** gehören.
- Sie werden in Drüsenschuppen oder Drüsenhaaren in der Pflanze gesammelt und dienen als **Abwehrstoffe** gegen Schädlinge und Fressfeinde, in der **Anlockung** von bestäubenden Insekten und in der **Keim- und Wachstums-hemmung** anderer konkurrierender Pflanzen.
- **Terpene** können über den **Acetat-Mevalonat-Weg** im Cytoplasma der pflanzlichen Zellen synthetisiert werden, aber auch über den „**MEP-Weg**“ bzw. „**DOX-P-Weg**“ in den Chloroplasten.
- Die meisten **phenolischen Bestandteile** der ätherischen Öle stammen aus dem **Shikimisäureweg der Chloroplasten**, bei dem die aromatischen Aminosäuren Phenylalanin, Tyrosin und Tryptophan entstehen.

TAB 1. KOMMERZIELL GENUTZTE DUFT- UND GEWÜRZPFLANZEN, IHRE ÄTHERISCHEN ÖLE UND DEREN HAUPTBESTANDTEILE (NACH [8], VERÄNDERT)

Familie	Pflanze	Produkt (Beispiel)	Hauptbestandteil	Stoffklasse
Apiaceae (Doldengewächse)	<i>Carum carvi</i> <i>Pimpinella anisum</i> <i>Foeniculum vulgare</i>	Kümmelöl Anisöl Fenchelöl	D-(+)-Carvon Trans-Anethol Trans-Anethol	Monoterpen Phenylpropanderivat Phenylpropanderivat
Asteraceae (Korbblütler)	<i>Chamomilla recutita</i>	Kamillenöl	α -Bisabolol	Sesquiterpen
Cupressaceae (Zypressengewächse)	<i>Juniperus communis</i>	Wacholderöl	α - u. β -Pinen	Monoterpene
Lamiaceae (Lippenblütler)	<i>Rosmarinus officinalis</i> <i>Lavandula angustifolia</i> <i>Mentha x piperita</i>	Rosmarinöl Lavendelöl Minzöl	1,8-Cineol Linalool Menthol	Monoterpen Monoterpen Monoterpen
Lauraceae (Lorbeerengewächse)	<i>Cinnamomum verum</i>	Zimtöl	Zimtaldehyd	Phenylpropanderivat
Myrtaceae (Myrtengewächse)	<i>Syzygium aromaticum</i>	Nelkenöl	Eugenol	Phenylpropanderivat
Pinaceae (Kieferngewächse)	<i>Pinus spec.</i> <i>Picea abies</i> <i>Pinus sylvestris</i>	Terpentinöl Fichtennadelöl Kiefernadelöl	α - u. β -Pinen α -Pinen D-3-Caren	Monoterpene Monoterpen Monoterpen
Rosaceae (Rosengewächse)	<i>Rosa damascena</i>	Rosenöl	Geraniol	Monoterpen
Rutaceae (Rautengewächse)	<i>Citrus limon</i>	Zitronenöl	(+)-Limonen	Monoterpen
Zingiberaceae (Ingwergewächse)	<i>Zingiber officinale</i> <i>Curcuma domestica</i>	Ingwertinktur Curcumaextrakt	(-)-Zingiberen Tumeron	Sesquiterpen Sesquiterpen

Spektrum der Komponenten eines ätherischen Öls ist genetisch festgelegt, wobei die Hauptkomponenten typisch für eine Pflanzenfamilie sein können. Außerdem ist das ätherische Öl in vielen Pflanzen organspezifisch ausgeprägt und/oder vom Entwicklungszustand der Pflanze abhängig. Ein eindrucksvolles Beispiel für Organspezifität liefert der echte Zimtbaum (*Cinnamomum verum*, Ceylonzimt, Abbildung 1). Der auf Ceylon (heute Sri Lanka) heimische, duftende Baum aus der Familie der Lorbeer- gewächse enthält in seiner Rinde ein ätherisches Öl mit dem Hauptbestandteil Zimtaldehyd. In den Blättern, die in manchen Gegenden wie Lorbeerblätter verwendet werden, besteht das ätherische Öl zum Hauptanteil aus Eugenol mit Safrol, und in den Wurzelschösslingen, die zur Ölgewinnung verwendet werden können, befindet sich hauptsächlich Kampfer (auch Campher geschrieben) und Linalool [4].

In Kultur werden Zimtbäume klein gehalten, um aus den jungen Stockausschlägen die Rinde gewinnen zu können. Ein bis zwei Jahre alte Triebe werden geschnitten, von Blättern befreit und in Handarbeit entrindet. Nach dem Abschaben der Außenrinde werden die nur 0,3–1,0 mm dicken Innenrinden ineinandergeschoben (Quills) und an der Luft getrocknet. Hierbei rollen sich die dünnen Rinden von beiden Seiten ein und erhalten ihre hellbraune Farbe. Das ätherische Zimtöl wird durch Wasserdampfdestillation aus der Rinde gewonnen [4, 5].

Beispiele für die Abhängigkeit der Zusammensetzung des ätherischen Öls vom Entwicklungszustand der Pflanzen gibt es zahlreich: Blühendes Basilikum z. B. ändert seinen Geschmack; auch die Blätter von Liebstöckel und Kerbel verlieren ihren typischen Geruch und Geschmack, wenn sie blühen. Blühende Zweige von der Zitronenmelisse kann man zum Dekorieren benutzen; die Blüten sind essbar, die Blätter lassen aber im Aroma nach und werden häufig sogar bitter. In allen genannten Fällen liegt die Ursache für die Veränderung des Geschmacks und Geruchs in der veränderten Zusammensetzung des ätherischen Öls der jeweiligen Pflanze.

Ein gut untersuchtes Beispiel für die entwicklungs- spezifische Ausprägung liefert der Kümmel (*Carum carvi*, Apiaceae), dessen Früchte sowohl als Gewürz als auch als Heilmittel genutzt werden. Kümmelfrüchte enthalten 2,5–6 Prozent ätherisches Öl, dessen Hauptbestandteile Carvon und Limonen sind. Daneben gibt es noch ca. 40 weitere Bestandteile, die mehr oder weniger leicht flüchtig sind [6]. Die Zusammensetzung variiert je nach Region bzw. Standort der Pflanzen und je nach Kulturform. Während das ätherische Öl der Blüten aus ca. 80 Prozent Limonen neben zwei Prozent Carvon besteht, dreht sich das Verhältnis bei der Entstehung der Frucht um: Reife Kümmelfrüchte enthalten als Hauptbestandteil des Öls bis zu 60 Prozent Carvon neben nur noch etwa zwei Prozent Limonen [6, 7]. Carvon ist der Hauptwirkstoff in den Kümmelfrüchten, die als Heilmittel und Gewürz verwendet werden.

Mehr zur Variation von Pflanzeninhaltsstoffen finden Sie in unserem Beitrag „Pflanzenvarietäten und Inhaltsstoffe“ in Biuz 4/22, S. 318.

Die physiologische Aufgabe ätherischer Öle (lipophile Stoffgemische sekundärer Pflanzenstoffe) in den Pflanzen liegt häufig in der Abwehr von Fressfeinden, in der Anlockung von bestäubenden Insekten und in der Keim- oder Wachstumshemmung anderer Pflanzen in unmittelbarer Umgebung (▶ Allelopathie). Ätherische Öle aus mehr als zehn Pflanzenfamilien werden kommerziell genutzt, und zwar hauptsächlich als biogene Heilmittel sowie in der Parfümherstellung und Kosmetikindustrie (Tabelle 1) [8]. Als Beispiel sei hier Anethol aus Anis (*Pimpinella anisum*) genannt, ein zu den Phenolen gehörender, leicht flüchtiger Stoff, der auch im ätherischen Öl von Fenchel und Sternanis vorkommt und für den charakteristischen Geruch und Geschmack der Anisfrüchte sorgt. Anethol kommt als Duft- und Aromastoff in Mundpflegemitteln und Seifen zum Einsatz. Darüber hinaus ist es ein wichtiger Aromaträger bei der Herstellung von Spirituosen und Likören (Pernod, Ouzo, Raki, Anisette). Medizinisch wirkt Anethol u. a. antibakteriell, auswurfördernd und schleimlösend und ist daher Bestandteil vieler Hustenmittel (Antitussiva).

Biosynthese der ätherischen Öle

Die sehr komplexe Zusammensetzung und die extreme Flüchtigkeit einzelner Komponenten haben die Charakterisierung aller Bestandteile eines ätherischen Öls früher unmöglich gemacht. Aber gegen Ende des 19. Jahrhunderts stieg die Zahl der isolierten und charakterisierten Naturstoffe sprunghaft an. Bis Ende der 1930er Jahre waren die wichtigsten Naturstoffklassen gefunden, untersucht und eingeordnet. Viele der flüchtigen Substanzen der ätherischen Öle aus Pflanzen erwiesen sich als Vielfache von Strukturen mit 5 C-Atomen, den sogenannten Isopentenyl- oder Isopreneinheiten, den Grundeinheiten der Terpene (Abbildung 2).

Heute ist man dank moderner Methoden der Analyse (▶ Gaschromatographie, ▶ HPLC, ▶ Massenspektrometrie und ▶ NMR-Spektroskopie) in der Lage, hunderte Komponenten eines Stoffgemisches auf einen Schlag zu analysieren und zu charakterisieren. Trotzdem bleibt eine Schwie-

rigkeit bei der Aufbereitung der Proben bestehen, und zwar die schnelle Veränderung der Stoffe durch Kontakt mit Luftsauerstoff. Sobald ein Pflanzenteil durch Anschneiden oder Zerkleinern verletzt wird, kommt der Inhalt der verletzten Zellen mit dem Sauerstoff aus der Luft zusammen. Stoffe werden dadurch oxidiert und das ätherische Öl verändert sich in seiner Zusammensetzung. Daher wird häufig bei tiefen Temperaturen und unter Stickstoffatmosphäre gearbeitet.

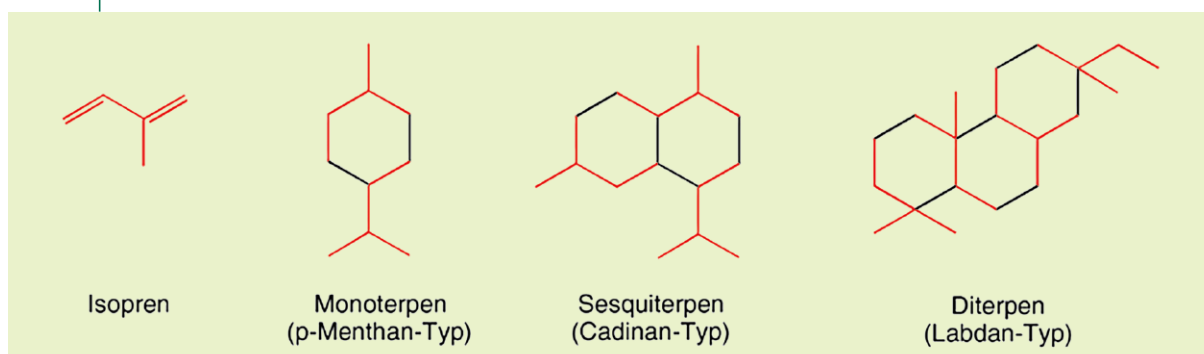
Ätherische Öle bestehen immer aus einer Mischung von zahlreichen niedermolekularen und leicht flüchtigen Stoffen, von denen die meisten zu den Terpenen und Phenolen (synonym Phenylpropanen) gehören. Beide Stoffgruppen werden über verschiedene Stoffwechselwege synthetisiert; allen gemeinsam ist aber die Herkunft aus dem Abbau von Kohlenhydraten im Stoffwechsel der Pflanzen – zum einen aus der Glykolyse und zum anderen aus dem ▶ Pentosephosphatzyklus (s. auch Kästen „DOX-P-Weg“ und „Shikimisäureweg“). Zur Biosynthese von Terpenen sind Pyruvat und Glycerinaldehyd-3-phosphat aus der Glykolyse notwendig, während die Biosynthese der Phenole mit Phosphoenolpyruvat (Glykolyse) und dem Zucker Erythrose-4-Phosphat (Pentosephosphatzyklus) beginnt.

Biosynthese der Terpene

Je nach Anzahl der beteiligten Isopreneinheiten teilt man die Terpene ein in Mono-, Di- und Sesquiterpene mit 10, 20 bzw. 15 C-Atomen. Längerkettige Terpenoide sind nicht mehr leicht flüchtig, daher als Bestandteil eines ätherischen Öles nicht relevant und sollen deshalb hier nicht betrachtet werden. Wie in Tabelle 1 gezeigt, gehören zu den terpenoiden Bestandteilen ätherischer Öle häufig Monoterpene und in einigen Fällen Sesquiterpene (im Kamillenöl und bei den Ingwergewächsen).

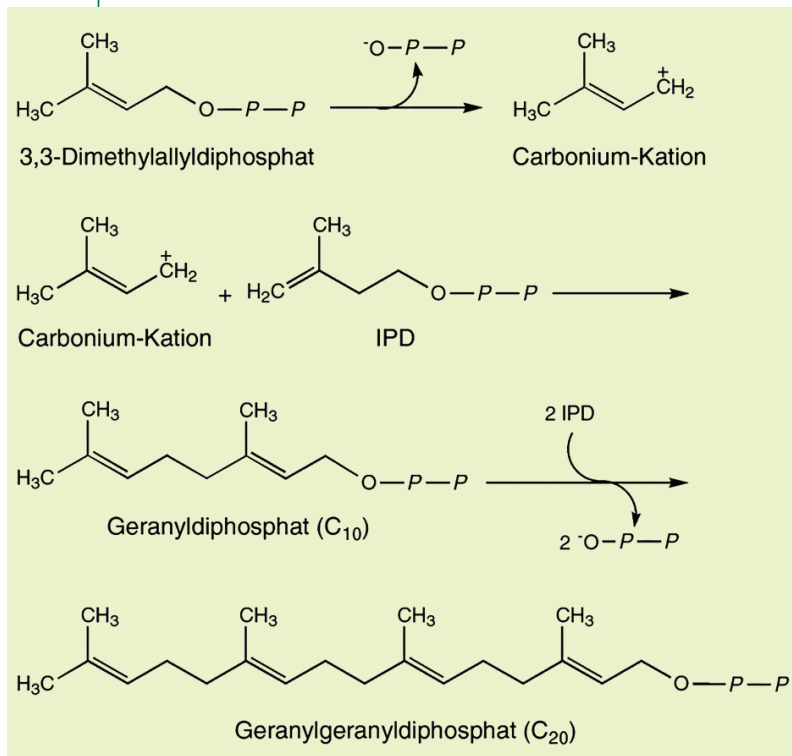
Terpene können über den Acetat-Mevalonat-Weg im Cytoplasma der pflanzlichen Zellen synthetisiert werden. In diesem Fall sind drei Moleküle Acetyl-Coenzym A (Acetyl-CoA) als Starter der Reaktion notwendig. Das Acetyl-CoA (ein Essigsäurerest gebunden an Coenzym A) stammt

ABB. 2 | STRUKTUREN VON ISOPREN UND AUSGEWÄHLTEN TERPENEN



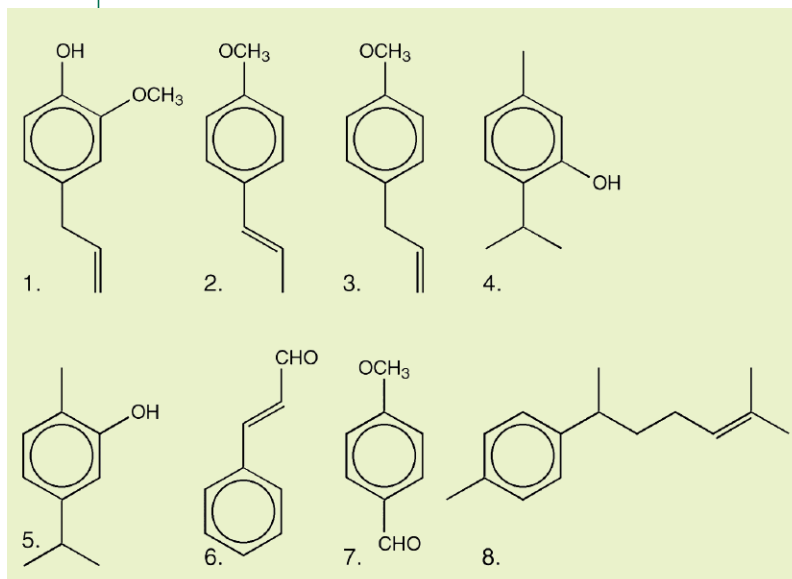
Isopreneinheiten sind rot eingezeichnet. Im Monoterpene sind zwei Isopreneinheiten miteinander verbunden (10 C-Atome), im Sesquiterpene 3 (15 C-Atome) und im Diterpene 4 (20 C-Atome). Abb.: Karin Kiefer.

ABB. 3 | BIOSYNTHESE VON ISOPREN



Die Biosynthese beginnt durch Kondensation der beiden Isomere IPD (Isopentenylidiphosphat) und 3,3-Dimethylallyldiphosphat (DMAPP) zu einer C₁₀-Verbindung, dem Geranyldiphosphat, dem Grundstoff für die Monoterpene. Addition von weiteren IPD-(alternativ IPP*)-Molekülen führt dann zu den länger-kettigen Terpenen. Dieser Teil der Terpensynthese findet sowohl in den Chloroplasten als auch im Cytosol der Zellen statt. *Isopentenylpyrophosphat (IPP) ist der ältere Name für Isopentenylidiphosphat. Abbildung aus [8].

ABB. 4 | AROMATISCHE KOMPONENTEN ÄTHERISCHER ÖLE



1. Eugenol, 2. Anethol, 3. Methylchavicol, 4. Thymol, 5. Carvacrol, 6. Zimtaldehyd, 7. Anisaldehyd, 8. aryl-Curcumen. Abb.: Karin Kiefer.

dabei aus dem Endprodukt der Glykolyse, dem Pyruvat. Die drei Moleküle Acetat werden unter Abspaltung der CoA-Reste zu Mevalonsäure reduziert, welche schließlich unter Verbrauch von ATP zu aktivem Isopren (Isopentenylidiphosphat) umgewandelt wird. Dieser Weg wird der „klassische“ genannt, weil er für lange Zeit als der einzige in Pflanzen zur Verfügung stehende Weg zur Terpensynthese angesehen wurde. Er findet, wie man heute weiß, nicht in den Chloroplasten statt, sondern im Cytosol (Cytoplasma) der Pflanzenzellen und führt unter anderem zu den Sesquiterpenen aus drei Isopreneinheiten (C₁₅) und Polyterpenen wie Kautschuk und Guttapercha [9].

Der zweite Syntheseweg wurde in Samenpflanzen erst um die Jahrtausendwende gefunden und in den Folgejahren komplett aufgeklärt. Er beginnt mit der Verknüpfung von Pyruvat und Glycerinaldehyd-3-Phosphat (G3P) zu einem Zucker mit 5 C-Atomen: 1-Desoxy-D-Xylulose-5-Phosphat (DOXP). Nach diesem Zucker wurde der Syntheseweg benannt (oder synonym „MEP-Weg“, nach der nächsten Substanz in der Kette, s. Kasten „DOX-P-Weg“). Dieser Biosyntheseweg findet in den Chloroplasten der Pflanzenzellen statt [9, 10]. Beide Wege führen zum aktiven Isopren, aus dem durch chemische Addition immer längere Terpenketten entstehen können (Abbildung 3). Die in den Gewürzpflanzen relevanten Terpene werden über den DOX-P-Weg in den Chloroplasten der Pflanzen synthetisiert, wie es an zahlreichen Pflanzenbeispielen (u. a. Kamille, Pfefferminze und Thymian) nachgewiesen wurde [10-13].

Biosynthese der Phenylpropanerivate

Als „Phenole“ bezeichnet man Substanzen, die einen aromatischen Ring mit einer Hydroxylgruppe enthalten. Die Stammverbindung dieser Substanzklasse ist das Hydroxibenzol (C₆H₅OH). Der Name „Phenole“ leitet sich von „Phen“ ab, einer alten Bezeichnung für Benzol. In den ätherischen Ölen findet man häufig Phenylpropane (Abbildung 4). Diese enthalten anstelle der Hydroxylgruppe eine C₃-Seitenkette. In der Abbildung sind einige aromatische Komponenten aus ätherischen Ölen dargestellt. Eugenol kommt unter anderem in den Myrtengewächsen Eukalyptus und Nelken vor, Anethol und Anisaldehyd findet man in den Apiaceen vor allem in Anis und Fenchel. Methylchavicol, Thymol und Carvacrol sind Bestandteile des ätherischen Öls von vielen Lamiaceen (Thymian, Majoran, Oregano, Basilikum). Zimtaldehyd finden wir in den Lorbeergewächsen Zimt und Lorbeer und aryl-Curcumen schließlich in den Ingwergewächsen Curcuma und Ingwer.

Auch die verschiedenen Benzaldehyde sind häufig Bestandteile der ätherischen Öle: Benzaldehyd, der einfachste aromatische Aldehyd, ist die Hauptkomponente im Bittermandelöl. Anisaldehyd (Abbildung 5) ist eine bekannte Komponente in den Gewürzen Fenchel und Anis; Vanillin ist Hauptkomponente des ätherischen Öls der Vanille. Vanillin wird in großen Mengen synthetisch oder

halbsynthetisch hergestellt. Zimtaldehyd (Nr. 6 in Abbildung 4) ist der Hauptbestandteil (75 %) des ätherischen Öls der Zimtrinde. Alle hier genannten Aldehyde sind chemisch gesehen Derivate des Benzaldehyds. In den Pflanzen beginnt die Biosynthese des Zimtaldehyds durch Desaminierung der Aminosäure Phenylalanin (s. Kasten „Shikimisäureweg“). Aus Phenylalanin entsteht so Zimtsäure, die dann über mehrere Schritte zum Zimtaldehyd reduziert wird.

Die meisten phenolischen Bestandteile der ätherischen Öle stammen aus einem Stoffwechselweg in den Chloroplasten der Pflanzen, dem so genannten Shikimisäureweg oder Shikimatweg, der nicht nur für die Pflanzen äußerst wichtig ist, sondern auch für Mensch und Tier. Tiere können keine Aromaten synthetisieren, brauchen sie aber für die Synthese ihrer Proteine. Die aromatischen

ABB. 5 | BENZALDEHYD UND SEINE ABKÖMMLINGE

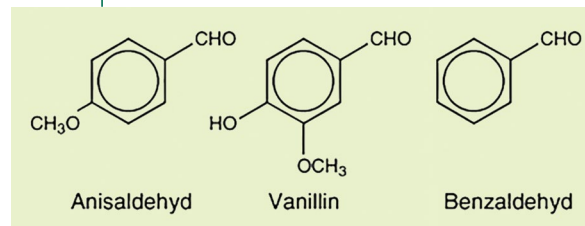


Abb.: Karin Kiefer.

Aminosäuren Phenylalanin, Tyrosin und Tryptophan müssen daher mit der Nahrung aufgenommen werden. Sie entstehen über den Shikimisäureweg in den Chloroplasten der Pflanzenzellen (Kasten „Shikimisäureweg“).

DOX-P-WEG

Der DOX-P-Weg (auch MEP-Weg) beginnt mit der Verknüpfung von Pyruvat (Pyr) und Glycerinaldehyd-3-phosphat (G3P), katalysiert von einer Desoxyxylulosephosphat-Synthase (DXS) unter Kohlenstoffdioxidabspaltung, wobei 1-Desoxy-D-xylulose-5-phosphat (DOX-P, DXP) entsteht. DOXP ist ein phosphorylierter Zucker mit 5 C-Atomen und der Namensgeber des Synthesewegs.

Durch Reduktion und Isomerisierung entsteht MEP (2C-Methyl-D-erythritol-4-phosphat). In weiteren Reaktionen unter CTP- und ATP-Verbrauch erfolgen Zyklisierung und Reduktion mit

Hilfe von Ferredoxin: MEP wird durch CTP (Cytidintriphosphat) aktiviert. Dieses geschieht durch die Cytidindiphosphat-Methylerythritol-Synthase (CMS). Es entsteht 4-Phosphocytidyl-2C-Methyl-D-Erythritol (CDP-ME), welches durch ATP und die Cytidyl-Methyl-Kinase (CMK) zu 4-Diphosphocytidyl-2C-Methyl-D-Erythritol-2-P (CDP-MEP) phosphoryliert wird. Nach der Zyklisierung, bei der Cytidinmonophosphat (CMP) abgespalten wird, erfolgt im letzten Schritt unter Beteiligung von Ferredoxin die Umsetzung zu den beiden Isomeren DMAPP und IPP, den Startermolekülen für die Isoprensynthese (s. Abb. 3).

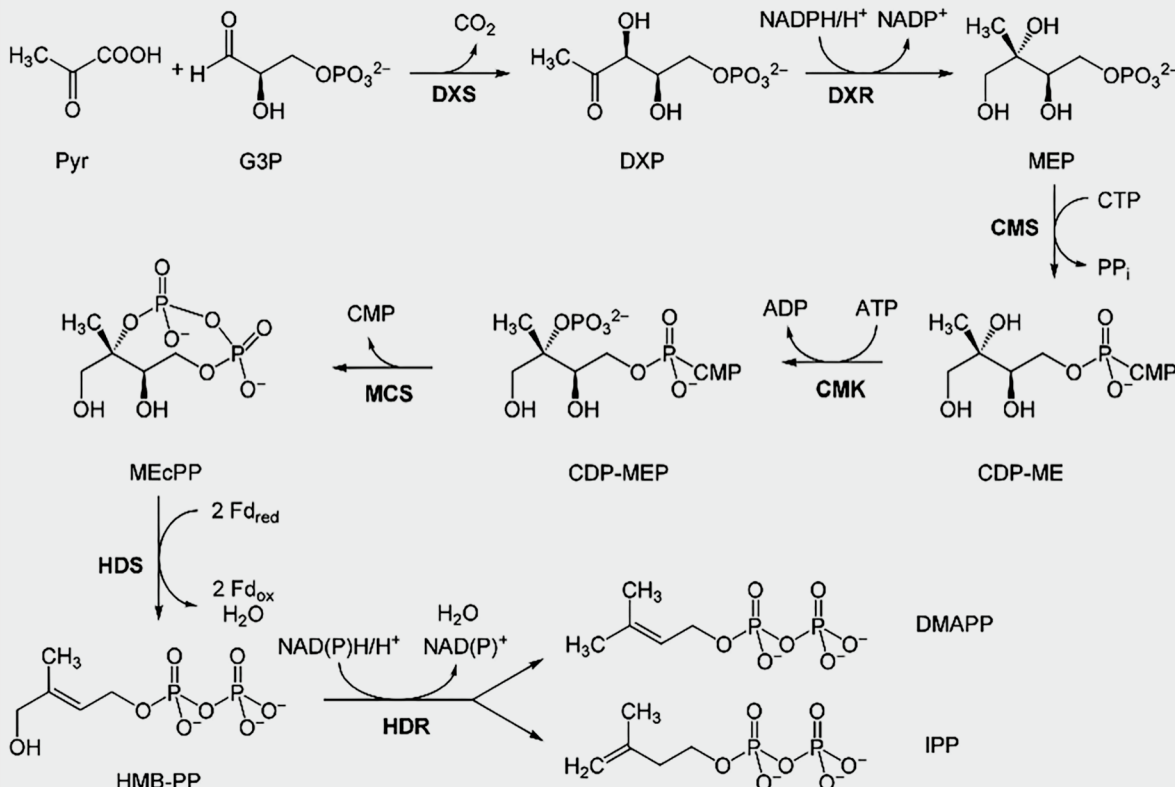
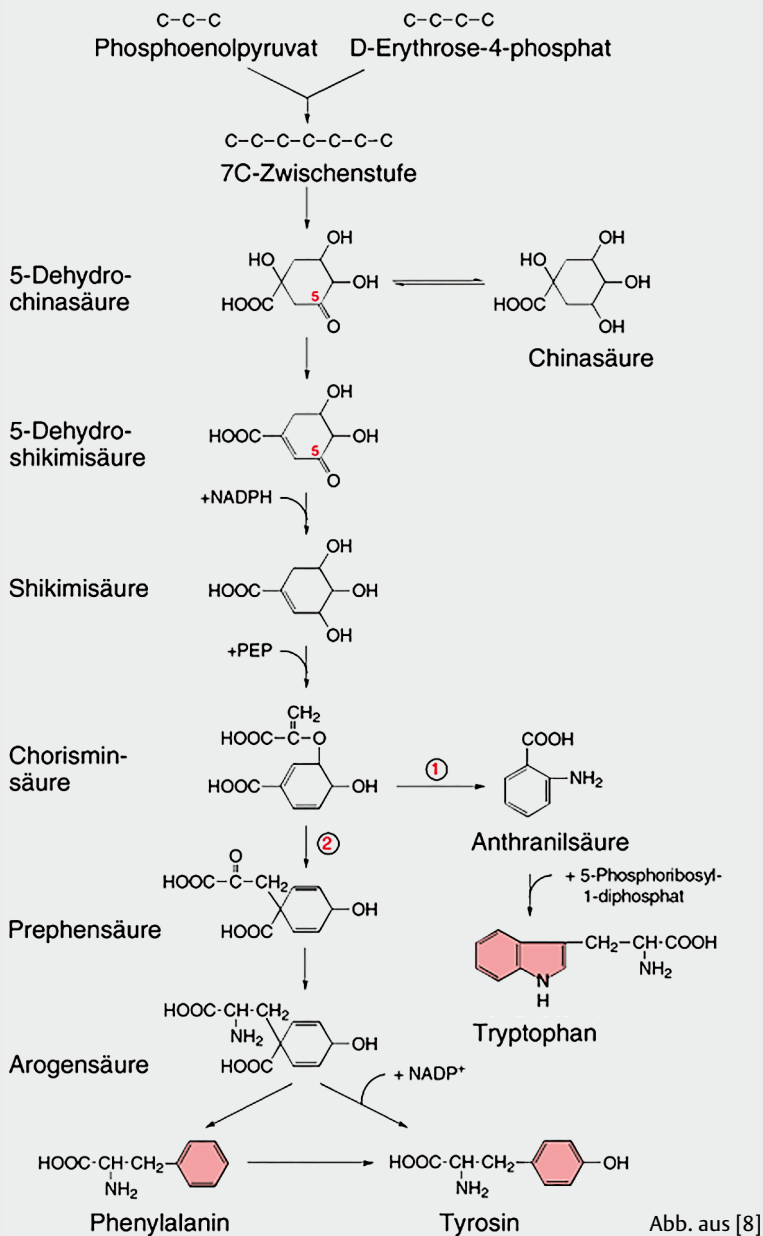


Abb.: Yikrazuul, gemeinfrei über Wikipedia

SHIKIMISÄUREWEG

Einer der wichtigsten Wege zur Synthese von Aromaten ist der Shikimisäureweg, der in den Chloroplasten der Pflanzen stattfindet. Er beginnt mit einem C4-Baustein (D-Erythrose-4-phosphat), an den ein C3-Baustein (Phosphoenolpyruvat) gebunden wird. Diese C7-Zwischenstufe (s. Abbildung) wird zu 5-Dehydrochinasäure zyklisiert. Diese wird schließlich zu Shikimisäure, an die nach Phosphorylierung ein weiteres Molekül Phosphoenolpyruvat gebunden wird. Die entstandene Chorisminsäure wird zu Prephensäure umgelagert, welche dann zu Arogensäure transaminiert wird und in den Anschluss-Stoffwechselweg zum Phenylalanin bzw. Tyrosin eingeht. Alternativ dazu kann Chorisminsäure zu Anthranilsäure umgewandelt werden, welche mit Phosphoribosyl-1-diphosphat kondensiert und über Indol, welches mit Serin reagiert, schließlich Tryptophan bildet. Aus den Aminosäuren Tyrosin und Phenylalanin entstehen durch Transaminierung Zimtsäurederivate, die dann zu weiteren Aromaten umgebaut werden. Zimtsäure entsteht beispielsweise aus der Aminosäure Phenylalanin. Diese wird desaminiert und unter ATP-Verbrauch zu Cinnamoyl-CoA umgewandelt. Im letzten Schritt erfolgt die Reduktion durch NADPH zu Zimtaldehyd.



Speicherorte der ätherischen Öle

Ätherische Öle werden vom Ort ihrer Synthese in die jeweiligen Speicherorte in der Pflanze entlassen. Sie können schizogen oder lysigen in dafür vorgesehenen Räumen unterhalb der Cuticula angesammelt oder aber in Drüsenhaaren, Drüsenschuppen oder speziellen Ölbehältern gespeichert werden. Schizogene Ölbehälter entstehen durch Auseinanderweichen von Drüsenzellen. In die so entstehenden Interzellularräume wird das ätherische Öl abgegeben. Beispiele für schizogene Ölbehälter liefern die Früchte der Apiaceen wie Fenchel, Kümmel und Anis (Abbildung 6).

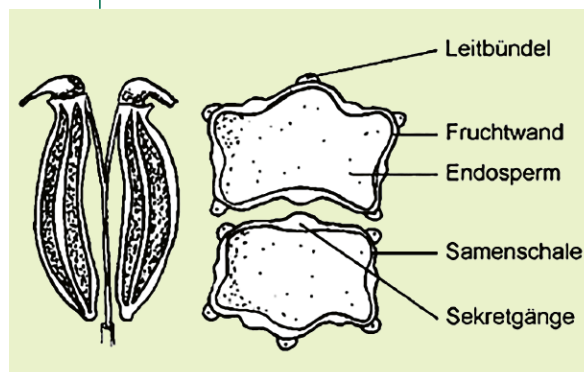
Lysigene Ölbehälter gehen aus mehreren Ölzellen hervor, deren Zellwände sich auflösen (lysiert werden) und so zu einem größeren Sekretbehälter werden. Das Öl bleibt in diesen Hohlräumen zurück. Die kleinen halbtransparenten Pünktchen in der Orangenschale sind solche Ölbehälter. Darüber hinaus gibt es bei zahlreichen Pflanzen Drüsenhaare oder Drüsenschuppen, in denen Exkrete gespeichert werden können. Allen Ölbehältern gemein ist, dass ihre Außenwände für das Öl undurchlässig sind [14]. Das ist wichtig, da es sich zum Teil um sehr aggressive Substanzen handelt, die auch die eigenen Pflanzenzellen schädigen würden.

Die Biosynthese von Menthol in der Minze findet in speziellen Drüsenzellen statt, die sich auf den Blattoberflächen befinden (Abbildung 7). Die im Kreis stehenden Drüsenzellen werden überwölbt von der Cuticula, die sich im Verlauf der Entwicklung der Drüsenschuppe immer mehr abhebt. Der entstehende Subcuticularraum füllt sich mit dem Exkret aus den Drüsenzellen, das über die Zellwände der Öldrüsen abgegeben wird.

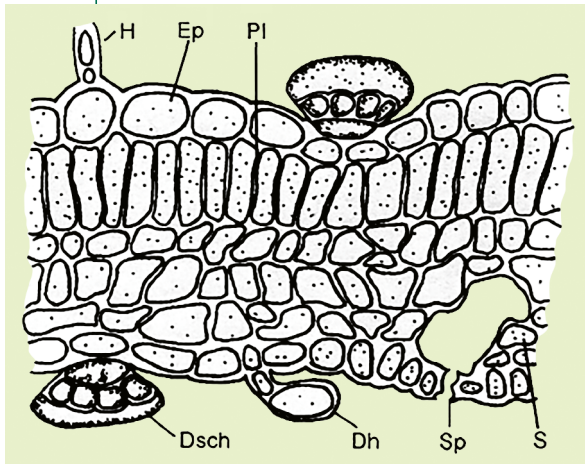
Lamiaceen als Gewürz- und Heilpflanzen

Die Lippenblütler (Labiatae, Lamiaceen) sind überwiegend krautige Pflanzen, die man an den dekussiert gegenständigen Blättern und dem vierkantigen Stängel leicht identifizieren kann. Die typischen Lippenblüten stehen in den Blattachseln in Scheinquirlen zusammen; sie sind extrem zygomorph: Die Oberlippe besteht aus zwei und

ABB. 6 | FRUCHT DES KÜMMELS (*CARUM CARVI*)



Links: ▶ Doppelachäne am ▶ Karpophor, rechts: Querschnitt mit schizogenen Sekretgängen (Ölgängen). Abb.: Karin Kiefer.

ABB. 7 | QUERSCHNITT DURCH EIN BLATT DER PFEFFERMINZE


Dh = Drüsenhaar, Dsch = Drüsenschuppe, Ep = Epidermis, H = Haar, PI = Palisadenparenchym, S = Schwammparenchym, Sp = Spaltöffnung. Abb.: Karin Kiefer.

die Unterlippe aus drei miteinander verwachsenen Petalen (Kronblättern). Selbst der Kelch ist manchmal zweilippig.

Alle Lamiaceen besitzen reichlich ätherische Öle, Bitterstoffe und Gerbstoffe. Gespeichert werden die Öle meist an den Blattunterseiten und/oder – etwas weniger – auf den Blattoberseiten in Drüsenhaaren oder mehr oder weniger runden, in Gruben eingesenkten Drüsenköpfchen. Diese bestehen aus bis zu 20 Zellen oder manchmal noch mehr und werden als typische Labiaten-Öldrüsen oder Ölschuppen beschrieben (Abbildung 7) [8, 14, 15]. Viele Lamiaceen sind schon lange als Heilpflanzen bekannt. Zu den meisten in unseren Breiten bekannten Arten gibt es zahlreiche Varianten. Als Beispiel sei der Lavendel angeführt: Es gibt allein sieben Arten im Mittelmeerraum, die alle ein in der Zusammensetzung und im Aroma unterschiedliches ätherisches Öl produzieren. Von der Pfefferminze gibt es bis zu 30 Arten mit zahlreichen Hybriden. In Tabelle 2 sind die jeweiligen geschmacksgebenden Hauptbestandteile der ätherischen Öle einiger Blattgewürze festgehalten.

Basilikum

Die Heimat des Basilikums (*Ocimum basilicum*) ist wahrscheinlich Indien. In Südeuropa wächst es auch wild; nördlich der Alpen sucht man es vergeblich, da es sehr kälteempfindlich ist. Basilikum ist ein sehr beliebtes Gewürz, wächst als einjähriges Kraut und wird garten- und feldmäßig angebaut. Basilikum besitzt im Vergleich zu anderen Vertretern der Lamiaceen relativ große, glatte und glänzende Blätter, die leicht nach unten gewölbt sind (Abbildung 8). Auf den Blattober- und -unterseiten befinden sich runde, etwas eingesenkte Öldrüsen. Die krautige Pflanze wird etwa 50 cm hoch und verzweigt sich stark. Basilikum ist einjährig; es blüht von Juni bis September mit weißen Lippenblüten (Abbildung 8).

TAB 2. ÄTHERISCHE ÖLE IN BLÄTTERN DER LAMIACEEN

Pflanze	% des essbaren Anteils (Blatt)	Hauptbestandteile des ätherischen Öls
Basilikum	0,04 – 0,8	Methylchavicol, Linalool, Eugenol
Bohnenkraut	0,3 – 3,0	Carvacrol, p-Cymen, α -Pinen
Majoran	0,9 – 2,2	Terpinen, Pinen, Sabinen
Melisse	0,05 – 0,33	Citral, Citronellal, Linalool
Minze	1,0 – 3,0	Menthol, Menthon, Terpinen
Oregano	0,2 – 4,0	Carvacrol, Thymol, Linalool,
Rosmarin	1,0 – 2,5	Cineol, Campher, Borneol
Salbei	1,0 – 2,5	Thujon, Borneol, Campher
Thymian	1,0 – 2,5	Thymol, Carvacrol, Borneol
Ysop	0,3 – 0,9	β -Pinen, L-Pinocamphen

Hauptbestandteile in absteigender Reihenfolge (nach [8], verändert)

Basilikum kommt häufig gerebelt in den Handel. „Rebeln“ nennt man das Abstreifen der getrockneten Blätter von den Stielen. Die Blätter enthalten 0,04 bis 0,8 Prozent ätherisches Öl, das in der Hauptsache aus Methylchavicol (Abbildung 4) und Linalool besteht. Auch Eugenol (Abbildung 4) und Cineol kommen vor. Außerdem enthält Basilikum reichlich Flavonoide und Gerbstoffe. Basilikum wird als frisches Gewürz zu Salaten und Frischkäsen, getrocknet oder besser – weil schonender – lyophilisiert zu Fleischspeisen und Tomatengerichten verwendet. Basilikum gehört zu den empfindlichsten Gewürzkräutern, die schon beim Trocknen der Blätter Aromaverluste erleiden.



ABB. 8 Blühendes Basilikum (*Ocimum basilicum*) im Botanischen Garten Düsseldorf. Rechts unten: Blütenstand vergrößert.



ABB. 9 Rosmarin (*Rosmarinus officinalis*) im Botanischen Garten Düsseldorf; rechtes Bild: blühender Rosmarin im mediterranen Raum (Mallorca), ausdauernder Busch.

(Abbildung 9). An geschützten Standorten kann er aber den einen oder anderen milden Winter überstehen. Als Anpassung an heiße und trockene Standorte besitzt Rosmarin eingerollte, 2 bis 3 cm lange Blätter, die auf der Unterseite behaart sind. Auf der Blattunterseite der nadel-förmigen Blätter befinden sich mehrzellige Öldrüsen auf je einem einzelligen Stiel, diese enthalten das ätherische Öl. Die Pflanze blüht von Ende März bis Mai. Die kleinen, blassblauen Lippenblüten stehen im oberen Teil der Zweige in dichten Scheinquirlen zusammen. Rosmarin ist eine typische Bienenpflanze; sie liefert diesen reichlich Futter in Form von Nektar.

Rosmarinblätter enthalten 1–2,5 Prozent ätherisches Öl, mit den Hauptbestandteilen Cineol (Tabelle 2), Kampfer und Borneol sowie – in unterschiedlicher Menge – α -Pinen (Abbildung 10) neben weiteren Bestandteilen. Cineol ist dabei für den frischen, an Eukalyptus erinnernden Geschmack verantwortlich und Borneol steht für die scharfe, brennende Komponente. Rosmarin enthält Rosmarinsäure, die beim Menschen als ▶ Antioxidans und Entzündungshemmer wirkt; das Vorkommen ist typisch für die Lamiaceen und Boraginaceen (Raubblattgewächse).

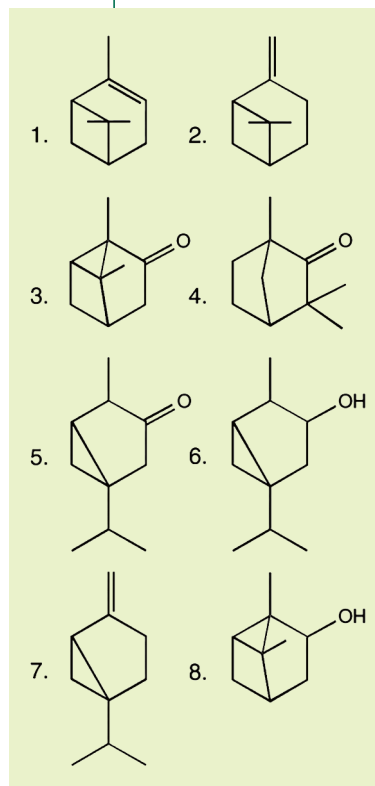
Aus diesem Grund soll man Basilikum erst kurz vor dem Beendigen des Garens zugeben.

Als Heilmittel ist das „Basilienkraut“ heute nicht mehr so gebräuchlich. In der Volksmedizin verwendet man es bei Appetitlosigkeit und als Karminativum bei Blähungen und Völlegefühl. Apotheker M. PAHLOW schreibt in seinem Heilpflanzen-Buch [16] „*Wer kurmäßig Magen und Darm (besonders bei chronischen Blähungen) damit behandeln möchte, der muß täglich 2mal 1 Tasse Tee trinken, nach 8 Tagen Pause von 14 Tagen einlegen, um danach noch einmal 8 Tage lang den Basilienkraut-Tee zu trinken.*“

Rosmarin

Rosmarin (*Rosmarinus officinalis*) ist ein ausdauernder kleiner ▶ Halbstrauch, der im mediterranen Raum heimisch ist. Das Gewürz ist in der italienischen und französischen Küche dominant und nicht wegzudenken. Rosmarin wird dementsprechend in Spanien, Portugal und Frankreich angebaut. An passenden Standorten kann die Pflanze bis zu 2 m Höhe erreichen. In unseren Breiten wird Rosmarin als Topfkultur angeboten, da er nicht winterhart ist

ABB. 10 BIZYKLISCHE MONOTERPENE



1. α -Pinen, 2. β -Pinen, 3. Kampfer, 4. Fenchon, 5. Thujon, 6. Thujol, 7. Sabinen, 8. Borneol. Das bittere Fenchon gehört neben dem oben bereits erwähnten Anethol zu den Hauptbestandteilen im ätherischen Öl des Fenchels. Abb.: Karin Kiefer.

Rosmarinsäure kommt aber noch in zahlreichen weiteren Pflanzen vor und besitzt eine ganze Reihe interessanter biologischer Aktivitäten [17, 18]. Neben den oben genannten Wirkungen besitzt sie antivirale und antibakterielle Eigenschaften; es wird daher vermutet, dass Rosmarinsäure in den Pflanzen zur Verteidigung gegen Fraßfeinde gebildet wird [18].

Rosmarin wird als Gewürz gerne zu Gemüse gegeben; es eignet sich zu Bratkartoffeln ebenso gut wie zur italienischen Fischsuppe oder zur französischen Ratatouille (Gemüse-suppe). Die medizinische Wirkung des Rosmarins ist seit dem Mittelalter bekannt. Die Pflanze wurde als Mittel gegen die Pest in Säckchen eingenäht um den Hals getragen. Äußerlich angewendet fördert Rosmarinextrakt die Durchblutung und wirkt belebend auf den Kreislauf. Das ätherische Rosmarinöl (*Rosmarini aetheroleum*) regt den Appetit an und fördert die Bildung der Magensaftes. Auch bei Koliken, Rheuma und Gicht wird Rosmarin empfohlen. Rosmarinöl wird äußerlich auch zur Förderung der Wundheilung und zur Schmerztherapie angewendet [4]. Es gibt ihn in Badesalz, als Rosmarinwein, als Tee oder als Rosmarin-Spiritus zum Einreiben.

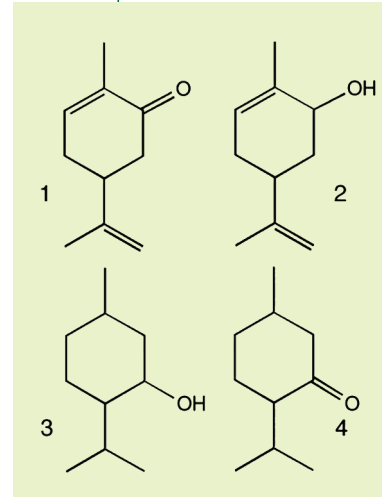


ABB. 11 Zitronenmelisse (*Melissa officinalis*), blühender Spross.



ABB. 12 Pfefferminze (*Mentha x piperita*) im Botanischen Garten Düsseldorf.

ABB. 13 MONOZYKLISCHE MONOTERPENE



1. Carvon, 2. Carveol, 3. Menthol, 4. Menthon. Abb.: Karin Kiefer.

So wird Rosmarin-Spiritus hergestellt: 50 g Rosmarinblätter werden mit 250 g 70%igem Alkohol übergossen und 10 Tage lang im geschlossenen Gefäß aufbewahrt. Danach wird die Blattmasse abgepresst und die Flüssigkeit filtriert [4, 16, 19]. Auch die Kosmetikindustrie braucht große Mengen Rosmarinöl für die Parfümherstellung.

Melisse und Pfefferminze

Melisse (*Melissa officinalis*) wurde schon von den antiken Römern und Griechen als Heil- und Würzmittel verwendet. Die fast herzförmigen, am Rande gesägten Blätter der Melisse (Abbildung 11) duften intensiv nach Zitrone; daher auch der gebräuchliche Name „Zitronenmelisse“. Man muss die Blätter allerdings vor der Blüte ernten, da sie danach ihr Aroma negativ verändern (s. o.). Die 60 bis 100 cm hohen, vierkantigen Sprosse sterben im Winter ab, der Wurzelstock ist aber ausdauernd und treibt im Frühjahr neu aus. Das ätherische Öl der Blätter enthält als Hauptbestandteil Citral, Citronellal und Linalool. Der „Melissengeist“ ist eine Erfindung des Karmeliter-Ordens im 15. Jahrhundert. Ein weiterer Orden, die Benediktiner, brachte das Kraut aus Italien nach Deutschland. So ist die Melisse denn auch Grundstoff vieler Liköre, wie „Benediktiner“, „Abteilkör“ und „Karthäuser“. Melisse wirkt beruhigend und fördert den Gallenfluss. Frische Blätter werden zum Würzen von Salaten genutzt.

Pfefferminze (*Mentha x piperita*) ist ein steriler Bastard aus *Mentha aquatica*, *M. spicata* (Krauseminze) und *M. longifolia*, der im Jahre 1696 zum ersten Mal in England aufgetreten ist und seitdem kultiviert wird [4, 16]. Alle drei oben genannten Wildarten sind – wie der Bastard – auch gute Teepflanzen. Die Pflanze ist ein Flachwurzler mit langen Ausläufern, durch die sie sich vegetativ vermehrt. Man muss sie alle zwei Jahre umpflanzen, damit

sie sich nicht rückkreuzt. Die kräftige bis zu 80 cm hohe Pflanze besitzt vierkantige Stängel, die wenig verzweigt sind. Die gegenständig angeordneten Blätter sind gestielt und eiförmig. An den Spitzen tragen die Sprosse in dichten Scheinwirteln zahlreiche kleine, rosafarbene Blüten, die fast radiärsymmetrisch gebaut sind (Abbildung 12).

Das ätherische Öl der Pfefferminze befindet sich in den Drüschuppen der Blätter (Abbildung 7); es besteht hauptsächlich aus Menthol (bis zu 60%) und Menthon (ca. 20%, Abbildung 13). Das ätherische Öl der Krauseminze (Spearmint) enthält anstelle des Menthols Carvon, den Hauptgeschmacksstoff des Kümmels. Dieses Öl wird bevorzugt für die Herstellung von Kaugummis, Zahnpasten und Arzneimitteln verwendet. Der frische, minzige Geschmacksstoff soll gut sein gegen Mundgeruch.

Destillat aus Pfefferminze (*Menthae Piperitae Aetheroleum*) wird in der Likör- und Bonbonindustrie, aber auch für medizinische und kosmetische Zwecke eingesetzt. Als Gewürz eignet sich die Minze hervorragend zu Fleisch- und Fischgerichten; vor allem in England wird die berühmte Mintsoße zum Lambraten gereicht. In der Volksmedizin gilt der von einem Teelöffel Minzblättern gekochte Pfefferminztee als Heilmittel bei Magen- und Darmbeschwerden, gegen Erbrechen und Blähungen. Das Pfefferminzöl wird als JHP (Japanisches Heilpflanzenöl) zum Inhalieren bei Erkältungskrankheiten empfohlen; außerdem kann man es innerlich anwenden, in dem man 2–3 Tropfen auf Zucker einnimmt und äußerlich durch Einreibungen (bei Muskel- und Nervenschmerzen).

Majoran, Oregano und Thymian

Majoran (*Origanum majorana*) hat seine Heimat in Kleinasien und ist in unseren Breiten ein wichtiges Gewürzkraut. Es wird in vielen Ländern, darunter Ägypten,

Tunesien, und Frankreich angebaut. Die Pflanze wächst dicht am Boden und wird selten höher als 50 cm. Sie ist stark verästelt und besitzt dünne, vierkantige Stängel, die häufig rötlich überlaufen sind. Die Blättchen sind nur 5 bis 25 mm lang und beidseitig behaart, wodurch sie graufilzig erscheinen. Majoran ist frostempfindlich und wird daher nur in frostfreien mediterranen Gebieten in mehrjähriger Kultur gehalten; jenseits der Alpen wird er einjährig kultiviert. Majoran kommt getrocknet und gerebelt in den Handel.

Das ätherische Öl des Majorans befindet sich hauptsächlich in typischen Öldrüsen der Blätter und besteht aus etwa 40 verschiedenen Aromasubstanzen, von denen die Terpene Terpinen, Pinen und Sabinen (Abbildung 10) überwiegen. Im Altertum würzte man den Wein mit Majoran, und zwar um die Liebeskräfte zu stärken; Majoran war der griechischen Liebesgöttin Aphrodite geweiht. Das Kraut ist in Deutschland ein beliebtes Wurstgewürz, das in Blutwurst und Leberwurst immer enthalten sein sollte. Ansonsten verwendet man es zu fetten Speisen und Kohlgerichten. Majoransalbe (Majoranbutter) wird bei Säuglingen auch gegen Schnupfen verwendet, indem man sie auf und unter der Nase verteilt.

Die Heimat des ausdauernden Busches „Echter Dost“ oder Oregano (*Origanum vulgare*) ist das südliche Mittelmeergebiet. Origanum (Abbildung 14) ist eng verwandt



ABB. 14 Oregano (*Origanum majorana*) im Botanischen Garten Düsseldorf.

mit Majoran, was sich unter anderem auch an den Hauptbestandteilen seines ätherischen Öls ablesen lässt. Getrockneter Oregano enthält 0,2–4 Prozent ätherisches Öl. Dieses besteht aus den Terpenen Terpinen und Pinen, enthält aber auch Limonen und Linalool neben den Phenolen Carvacrol und Thymol, die dem Dost seinen leicht herben Geschmack geben [5]. Während Majoran weißrosa blüht, besitzen die Blüten des Oreganos eine kräftigere Rotfärbung. Die Blätter an einer Pflanze sind sehr unterschiedlich in der Größe (1 bis 4 cm lang) und werden zur Triebspitze hin immer kleiner. Oregano ist ein beliebtes Gewürz in der italienischen Küche. Es passt zu Tomatensoßen genauso gut wie zu Pizza, Lammfleisch oder Bohnensuppen. Neben dem bei uns gebräuchlichen Origanum gibt es den Kretischen Dost oder Griechendost (*O. heracleoticum*), der rot-violett blüht. Dieser wird medizinisch auch gegen Rheuma und bei Bronchitis eingesetzt.

Thymian (*Thymus vulgaris*) ist ein kleiner Halbstrauch, der etwa 40 cm hoch wird. Seine Blätter sind nur 4 bis 8 mm lang und an den Rändern eingerollt; er blüht mit rosa Lippenblüten. Thymian stammt von den Felsenheiden des Mittelmeergebietes und wird unter anderem in Frankreich, Ungarn, der Türkei, Spanien, Marokko und Griechenland angebaut. Der echte Thymian ist winterhart und wird in unseren Breiten kultiviert. Daneben gibt es den Spanischen Thymian (*Thymus zygis*) und unseren einheimischen Feldthymian oder Quendel (*Thymus serpyllum*). Letzterer kommt auf der gesamten nördlichen Halbkugel vor [15]. Thymian wurde schon von den antiken Griechen und Römern für medizinische und kulinarische Zwecke gebraucht.

Das Thymianaroma wird vor allem durch die 30 bis 70 Prozent Thymol in seinem ätherischen Öl bestimmt. Auch Carvacrol, Borneol, p-Cymol, Linalool und Terpinen wurden gefunden – neben noch mindestens 50 weiteren Komponenten. Thymian wirkt krampflösend und desinfizierend und ist deshalb Bestandteil von Hustentees und Mitteln gegen Bronchitis, aber auch von Magentees. Als Gewürz passt das Kraut zu allen fetten Speisen, zu Bratkartoffeln wie zu Fleisch. Es ist ein wichtiges Wurstgewürz und wird zu Kräuternessig und Likören verwendet. Geschmacklich interessant ist der Zitronenthymian (*Thymus citriodorus*), der durch seinen säuerlich-zitronigen Geschmack auch gut zu Fischgerichten passt.

Der Kräutergarten

Zum Schluss noch ein kurzer Ausflug in die Gärtnerei: Kräutergärten sind meist kleinere Anlagen in einem größeren Garten. Sie können aus einigen Töpfen und Kästen bestehen oder ein größeres Areal einnehmen – je nach Platz. In Töpfen und Kästen können sie durchaus auch auf der Terrasse oder dem Balkon entstehen. Blühende Gewürzkräuter sind Magneten für zahlreiche Insekten. Das ist heute bei der abnehmenden Artenzahl und Menge an Insekten besonders wichtig. Nicht nur Bienen sind un-



ABB. 15 Einfassung der Beete mit einer niedrigen Buchsbaumhecke.

verzichtbar, auch andere Insekten und Spinnentiere sind Futter für zahlreiche Vögel, Igel und andere kleine Tiere. Der Artenschwund der Wirbeltiere hängt unmittelbar mit dem Insektenschwund zusammen.

Unsere gebräuchlichen Würz- und Arzneipflanzen bevorzugen sonnenexponierte Standorte – viele sind aus südlichen Ländern zu uns gekommen, wie die Beispiele oben zeigen. Einwanderer wie Salbei, Basilikum, Thymian und Zitronenmelisse wachsen am liebsten an einem sonnigen Plätzchen; vor allem Nachmittags- und Abendsonne ist wichtig [19]. Auch die Bodenbeschaffenheit sollte vor der Bepflanzung geprüft werden: Zu viel Sand bedeutet, dass Wasser und Nährstoffe zu schnell abfließen, während ein zu lehmiger Boden bei Trockenheit rissig aushärtet und dann nur sehr langsam Wasser wieder aufnimmt. Die zarten Pflanzenwurzeln können ihn außerdem schlecht durchdringen.

Die Planung eines Kräuterbeetes sollte gut durchdacht sein; am besten fertigt man eine detaillierte Skizze an. Hohe Pflanzen sollten in den Hintergrund oder in das Zentrum gepflanzt werden. Je nach Anlageform setzt man mehrjährige Stauden an die Ränder und einjährige Kräuter um das Zentrum herum oder bei nicht zentrierten Anlagen in den Vordergrund. Alte Kloostergärten sind oft kreuzförmig angelegt. Den Kreuzungspunkt belegt ein Rondell mit einem zentralen Wasserbecken. Stilgerecht ist eine Einfassung der Beete mit niedrigem Buchsbaum (Abbildung 15), der aber seit einigen Jahren leider vom Buchsbaumzünsler regelrecht aufgefressen wird. Anstelle des Buchsbaums kann man auch Lavendel oder Eberraute (*Artemisia abrotanum*) als Umrandung nutzen. Die Eberraute ist ein uraltes Bauerngarten-Gewächs mit intensivem Duft. Sie ist, verwandt mit dem Beifuß und dem Wermut aus der Familie der Korbblütler. Sie wird heute nicht mehr als Gewürz verwendet, weil sie einen sehr hohen Gehalt an neurotoxischem Thujon besitzt. Umrangungen müssen grundsätzlich kurzgehalten werden, weil sie sonst anderen Pflanzen das Licht nehmen.



ABB. 16 Anlage einer Kräuterspirale im Freigelände der TU Dortmund.

Wenn man Platz genug hat, lässt sich auch gut eine Kräuterspirale anlegen (Abbildung 16). Mit einer solchen – dem Steingarten abgeschauten – Anlage kann man den meisten Pflanzenansprüchen gerecht werden, vom unteren Feuchtbiotop bis zur oberen sandhaltigen Trockenrasengesellschaft. Am Spiralenanfang wachsen die feuchtigkeitsliebenden Halbschattengewächse wie Kerbel, Petersilie, Schnittlauch, Sauerampfer. Ganz oben sollten die Sonnenkinder wie Oregano, Majoran, Thymian und Lavendel thronen, zwischendrin auf ansteigendem Gelände pflanzt man beispielsweise Zitronenmelisse, Boretsch, Schnittsellerie, Bohnenkraut, Estragon, Ysop u. a. m. Wie man eine Kräuterspirale anlegt, findet man unter anderem hier [19, 20].

Zusammenfassung

Die in unseren Breiten häufigsten Blattgewürze stammen aus vier Pflanzenfamilien, von denen die Lippenblütler (Lamiaceen) beispielhaft vorgestellt werden. Lippenblütler enthalten hohe Konzentrationen an ätherischen Ölen und sind deshalb bevorzugte Aroma-, Heil- und Duftpflanzen. Ätherische Öle bestehen aus sehr komplex zusammengesetzten, leicht flüchtigen Bestandteilen, die in den Chloroplasten, aber auch im Cytoplasma der Pflanzen über verschiedene Stoffwechselwege synthetisiert und in speziellen Lamiaceen-Drüsenschuppen oder Drüsenhaaren gespeichert werden. Bestandteile, die zur Gruppe der Terpene gehören, werden über den erst im letzten Jahrzehnt des letzten Jahrhunderts gefundenen und aufgeklärten MEP-Weg (Methylerythritolphosphatweg) synthetisiert, während phenolische Bestandteile über den Shikimisäureweg synthetisiert werden, aus dem auch die für uns essenziellen aromatischen Aminosäuren Tyrosin, Phenylalanin und Tryptophan stammen. Die bekanntesten kommerziell genutzten Lamiaceen-Öle sind Rosmarinöl, Lavendelöl und Minzöl, deren Hauptbestandteile jeweils zu der Stoffklasse der Monoterpene gehören. Rosmarinöl enthält zusätzlich Rosmarinsäure, die beim Menschen als Antioxidans und Entzündungshemmer wirkt.

ungshemmer wirkt. Minzöle werden sowohl in der Likör-, Bonbon- und Kosmetikindustrie als auch in der Volksmedizin eingesetzt (Japanisches Heilpflanzenöl) – beispielsweise zum Inhalieren bei Erkältungskrankheiten. Für Tees, die häufig bei Verdauungsbeschwerden angewendet werden, eignen sich die Blätter von Melisse, Minze und Thymian. Rosmarin, Majoran, Oregano und Thymian stammen aus dem Mittelmeerraum und bevorzugt daher im Kräutergarten sonnige Standorte.

Summary

Essential oils in Lamiaceae

The most common leaf spices in our latitudes belong to four plant families, of which the Lamiaceae or Labiatae (commonly known as the mint family) are presented exemplarily. Lamiaceae contain high concentrations of essential oils and are therefore favoured aromatic, medicinal and fragrant plants. Essential oils consist of very complex, highly volatile components that are produced in the chloroplasts, but also

GLOSSAR

Allelopathie: Wechselwirkung einer Pflanze mit anderen Pflanzen der gleichen oder anderer Arten, die zu positiven oder negativen Effekten für die Nachbarpflanzen führen. Ausschlaggebend ist die Abgabe bestimmter Signalmoleküle an die Umgebung, die das Heranwachsen anderer Pflanzen fördern oder behindern.

Antioxidans: Abkürzung von Antioxidationsmittel; Antioxidantien inaktivieren im Organismus reaktive Sauerstoffspezies und verhindern damit oxidativen Stress und Zellschäden. Antioxidantien als „Radikalfänger“ sind heute allgegenwärtige Schlagworte, vor allem im Zusammenhang mit Ernährung und Sport. Man sollte aber nicht vergessen, dass jedes Ding zwei Seiten hat, was vor allem auf Redoxreaktionen im Körper zutrifft. Die Aufnahme von Antioxidantien als Nahrungssupplementierung ist für gesunde Menschen nicht ratsam, da diese nicht gesundheitsfördernd sind. Es spricht aber nichts gegen die Verwendung von Kräutern, die Antioxidantien enthalten, denn dabei kommt es auf die Zusammensetzung mit anderen Stoffen und die Konzentration an.

dekussiert: bedeutet kreuzgegenständig; an den Knoten der Sprossachse stehen bei zweigliedrigen Wirteln die aufeinanderfolgenden Blattpaare jeweils um 90 Grad versetzt übereinander; so beschatten sie sich nicht gegenseitig.

Dolde: Blütenstand, bei dem die gestielten Einzelblüten aus einer stark gestauchten Region der Sprossachse wie aus einem einzigen Knoten entspringen. Eine Doppeldolde ist eine zusammengesetzte Infloreszenz, bei der die Position der Einzelblüten von Teilblütenständen eingenommen wird.

Doppelachäne: Die Achäne ist eine Sonderform der Nussfrucht bei unterständigem Fruchtknoten, bei der Samen- und Fruchtschale zu einer harten, nicht mehr voneinander trennbaren Hülle verwachsen sind. Achänen werden aus zwei Fruchtblättern gebildet und kommen bei Korbblütlern (Asteraceen) und Doldenblütlern (Apiaceen) vor. Die Doppelachäne der Apiaceen besteht aus zwei Fruchtblättern, die anders als bei den Asteraeen bei der Reife in zwei einsamige Früchte zerfallen.

Gaschromatographie: Adsorptions- und Verteilungschromatographie; ein Trennverfahren für Stoffgemische, die gasförmig oder ohne sich zu zersetzen verdampfbar sind. In einer Trennsäule befindet sich die stationäre Phase; als mobile Phase fungiert ein inertes Gas (Helium, Stickstoff, Wasserstoff). Die Trennsäule befindet sich in einem temperierbaren Ofen. Das Trägergas transportiert die zu trennende Probe durch die Säule, wobei jede Komponente des Gemischs unterschiedlich lange an der stationären Phase hängen bleibt. Die Verweildauer ist dabei abhängig von der Polarität und dem Dampfdruck der Komponenten. Im einfachsten Fall erfolgt die Trennung nur aufgrund der unterschiedlichen Siedepunkte der Komponenten. Ein Detektor misst den Austritt der Substanzen aus der Säule,

wobei das Ergebnis i. d. R. gleich mittels eines Schreibers grafisch dargestellt wird. Die Bestimmung der Substanzen aus der Probe erfolgt durch Vergleiche mit Standardsubstanzen wie bei jeder Chromatographie.

Halbstrauch: Pflanzen, die eine Zwischenstellung zwischen Gehölzen und krautigen Pflanzen einnehmen. Die oberen, jungen Triebe sind krautig, die unteren alten Triebe verholzt.

HPLC: Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (high performance liquid chromatography) ist ein chromatographisches Trennverfahren über eine Säule mit einem flüssigen Laufmittel über eine stationäre Feststoffphase (z. B. Kieselgel), wobei die flüssige Probe unter Druck durch die Feststoffphase gepumpt wird. Anders als bei der Gaschromatographie können mit der HPLC-Methode auch nichtflüchtige Proben getrennt, identifiziert und quantifiziert werden. Das Trennvermögen mittels HPLC ist etwa 100-mal größer als das einer üblichen Säulenchromatografie.

Karpophor: stielartiger Fruchträger, der sich aus einem Meristem am Grunde des Fruchtknotens entwickelt.

Massenspektrometrie: Analyseverfahren zur Bestimmung chemischer Elemente oder Verbindungen mit Hilfe der Häufigkeit von geladenen Teilchen (Ionen). Bei bekannter Ladung kann damit die Masse der vorhandenen Teilchen (z. B. in einem Gemisch) ermittelt werden. Die zu analysierende Probe wird chemisch oder in einem elektrischen Feld ionisiert; im Massen-selektor werden die Ionen nach ihrem Masse-zu-Ladung-Verhältnis getrennt. Mit dieser Methode können kleinste Mengen einer unbekannt Substanz erkannt und quantifiziert werden.

NMR-Spektroskopie: Kernspinresonanzspektroskopie (nuclear magnetic resonance spectroscopy); anwendbar auf Atomkerne mit magnetischem Moment, die einen Kernspin besitzen. Magnetisch aktive Atomkerne einer Probe können mit einem angelegten elektromagnetischen Feld wechselwirken. Voraussetzung für die Kernresonanz ist der Kernspin, der $\neq 0$ sein muss. Das ist der Fall bei ungeraden Massenzahlen, beispielsweise bei ^1H , ^{13}C , ^{31}P . Der Teil des angelegten elektromagnetischen Feldes, der mit der Spinbewegung der Atomkerne (Spinpräzession) übereinstimmt (= Resonanz), erzwingt eine phasengleiche „Bündelung“ der Spins. Die resultierende Spannung wird als NMR-Signal gemessen. Die NMR-Spektroskopie ist eine sehr wichtige Methode zur Strukturaufklärung organischer Verbindungen.

Pentosephosphatzyklus: (Pentosephosphatweg) ist ein Stoffwechselweg, der im Cytosol der Zellen stattfindet und der Gewinnung von Reduktionsäquivalenten (NADH, NADPH) sowie der Bereitstellung von Pentosen (Zucker mit 5 C-Atomen) wie z. B. Ribose-5-phosphat dient. Diese sind Vorstufen wichtiger Biomoleküle (CoA, ATP, Nucleinsäuren u. a. m.).

in the cytoplasm of plants via different metabolic pathways and are stored in special glandular scales or glandular trichomes. Components that belong to the group of terpenes are synthesized via the MEP pathway (methylerythritol phosphate pathway), which was only discovered and elucidated in the last decade of the last century. Phenolic components, however, are synthesized via the shikimic acid pathway, from which the aromatic amino acids tyrosine, phenylalanine, and tryptophan, which are essential for us, are also derived. The best-known commercially used Lamiaceae oils are rosemary oil, lavender oil, and peppermint oil, the main components of which belong to the monoterpene class of substances in each case. Rosemary oil also contains rosmarinic acid, which acts as an antioxidant and anti-inflammatory compound in humans. Peppermint oils are used in the liqueur, candy, and cosmetics industries as well as in folk medicine (Japanese Medicinal Plant Oil) – for instance for inhalation in the event of a cold. As a treatment against digestive ailments, the leaves of lemon balm, mint and thyme are frequently used in teas. Rosemary, marjoram, oregano, and thyme are from the Mediterranean region and therefore prefer sunny locations in the herb garden.

Schlagworte

Arzneipflanze, Acetat-Mevalonat-Weg, ätherische Öle, DOX-P-Weg oder MEP-Weg, Drüsenschuppen, Drüsenhaare, Gewürzpflanze, Heilpflanze, Lamiaceen, Phenylpropanderivate, Shikimisäureweg, sekundäre Pflanzenstoffe, Terpene

Literatur

- [1] U. Körber-Grohne (1995). Nutzpflanzen in Deutschland von der Vorgeschichte bis heute. Konrad Theiss Verlag GmbH, Stuttgart.
- [2] L. Fuchs (1543). New Kreütterbuch, Basel, Neudruck 1964, München, Faksimile, H. Marzell, Leipzig.
- [3] B. Rehlender (2022). Leitsätze 2022: Deutsches Lebensmittelbuch – Erarbeitet und beschlossen von der Deutschen Lebensmittelbuch-Kommission beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft.
- [4] E. Teuscher et al. (2020). Biogene Arzneimittel, Lehrbuch der Pharmazeutischen Biologie. 8. Aufl., wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart.
- [5] F. Siewek (1990). Exotische Gewürze, Birkhäuser Verlag, Basel.
- [6] S. O. Solberg et al. (2016). Caraway essential oil composition and morphology: The role of location and genotype, *Biochemical Systematics and Ecology*, Vol. 66, 351–357.
- [7] R. Chizzola (2014). Composition of the essential oil of wild grown caraway in meadows of the Vienna region (Austria), *NPC* Vol. 9, 581–582.
- [8] S. Bickel-Sandkötter (2001). Nutzpflanzen und ihre Inhaltsstoffe, Quelle & Meyer, Wiebelsheim.
- [9] H. K. Lichtenthaler (1989). The Plants 1-Deoxy-D-Xylulose-5-Phosphate Pathway for Biosynthesis of Isoprenoids, *Fett/Lipid* 100 Nr. 4–5, 128–138.
- [10] H. K. Lichtenthaler (1999). The 1-Deoxy-D-Xylulose-5-Phosphate Pathway of Isoprenoid Biosynthesis in Plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50, 47–65.
- [11] K. P. Adam, J. Zapp (1998). Biosynthesis of the isoprene units of chamomile sesquiterpenes. *Phytochemistry* 48, 653–659.
- [12] W. Eisenreich et al. (1997). Monoterpenoid essential oils are not of mevalonate origin. *Tetrahedron Letters* 38, 3889–3892.
- [13] B. M. Lange, R. Croteau (1999). Genetic engineering of Essential Oil Production in mint. *Current Opinion in Plant Biology* 2, 139–144.
- [14] B. Lube-Diedrich (2023). *Arzneipflanzen, Arzneidrogen, Botanik, Eigenschaften, Anwendung*. 4. Aufl. Govi (Imprint) in der Avoxa Mediengruppe Deutscher Apotheker GmbH, Eschborn.
- [15] D. Frohne, U. Jensen (1998). *Systematik des Pflanzenreichs: Unter besonderer Berücksichtigung chemischer Merkmale und pflanzlicher Drogen*, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- [16] M. Pahlow (1993). *Das große Buch der Heilpflanzen, Gräfe und Unzer Verlag GmbH, München*.
- [17] Y. Y. Gao et al. (2015). Über Rosmarin und Rosmarinsäure – Mittel gegen die Pest und mediterranes Gewürz. *Chem. Unserer Zeit* 49, 302–311.
- [18] M. Petersen, M. S. J. Simmonds (2003). Rosmarinic acid, *Phytochemistry* 62, 121–125.
- [19] M.-L. Kreuter (2009). *Kräuter & Gewürze aus dem eigenen Garten*, BLV Buchverlag GmbH & Co. KG, München.
- [20] J. Mayer (2010) *Kräutergarten*, Franckh-Kosmos Verlags GmbH & Co. KG, Stuttgart.

Verfasst von:



Susanne Bickel studierte Biologie und Chemie an der Universität Hannover. Für ihre Dissertation in der Photosynthese-Forschung an der Tierärztlichen Hochschule Hannover erhielt sie 1981 den Heinz-Maier-Leibnitz-Preis. 1983 wechselte sie in das Institut für Biochemie der Pflanzen an die Universität Düsseldorf und wurde dort 1989 habilitiert; sie besitzt die Lehrbefugnis für das Fach Botanik. Frau Bickel war seit 1996 außerplanmäßige Professorin an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf in der Biochemie der Pflanzen und in der Fachdidaktik der Biologie. Seit 2015 ist Frau Bickel im Ruhestand. Sie war zwölf Jahre lang Vorsitzende des Landesverbands NRW im VBIO und vier Jahre lang Sprecherin der Landesverbände im Präsidium des VBIO. Ende 2019 hat sie den Vorsitz abgegeben, war seitdem im Beirat des Landesverbandes NRW und ist seit November 2023 wieder stellvertretende Vorsitzende.

Korrespondenz

Prof. Dr. Susanne Bickel
Eichenwand 5
40627 Düsseldorf
E-Mail: bickel@uni-duesseldorf.de



Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland

**GEMEINSAM
FÜR DIE**

BIEWISSENSCHAFTEN

Gute Gründe, dem VBIO beizutreten:

- Werden Sie Teil des größten Netzwerks von Biowissenschaftlern in Deutschland.
- Unterstützen Sie uns, die Interessen der Biowissenschaften zu vertreten.
- Nutzen Sie Vorteile im Beruf.
- Bleiben Sie auf dem Laufenden – mit dem VBIO-Newsletter und dem Verbandsjournal „Biologie in unserer Zeit“.
- Treten Sie ein für die Zukunft der Biologie.



www.vbio.de

Jetzt beitreten!

